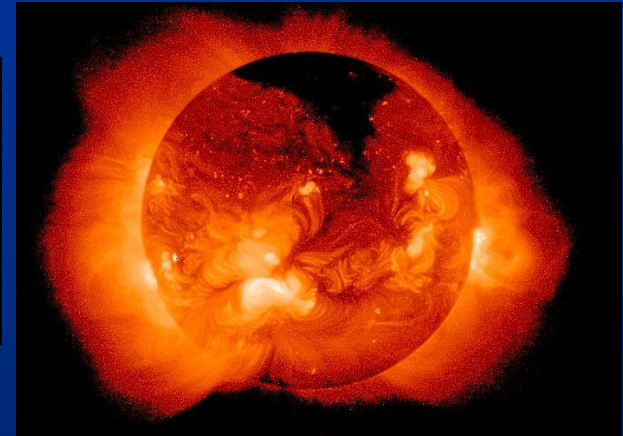
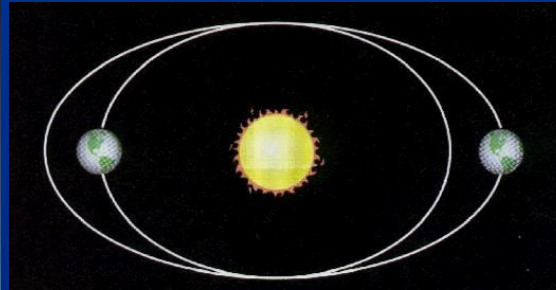
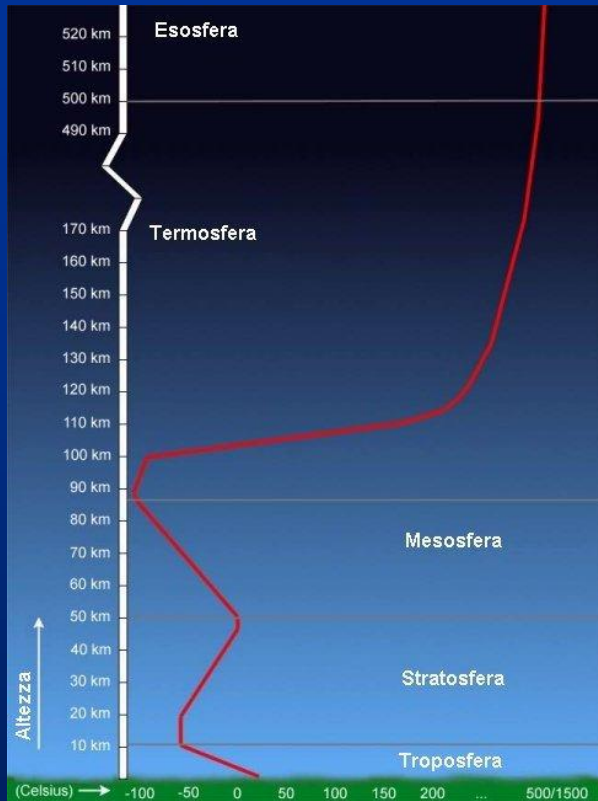


Atmosfere planetarie



Roberto Bedogni

INAF Osservatorio Astronomico di Bologna

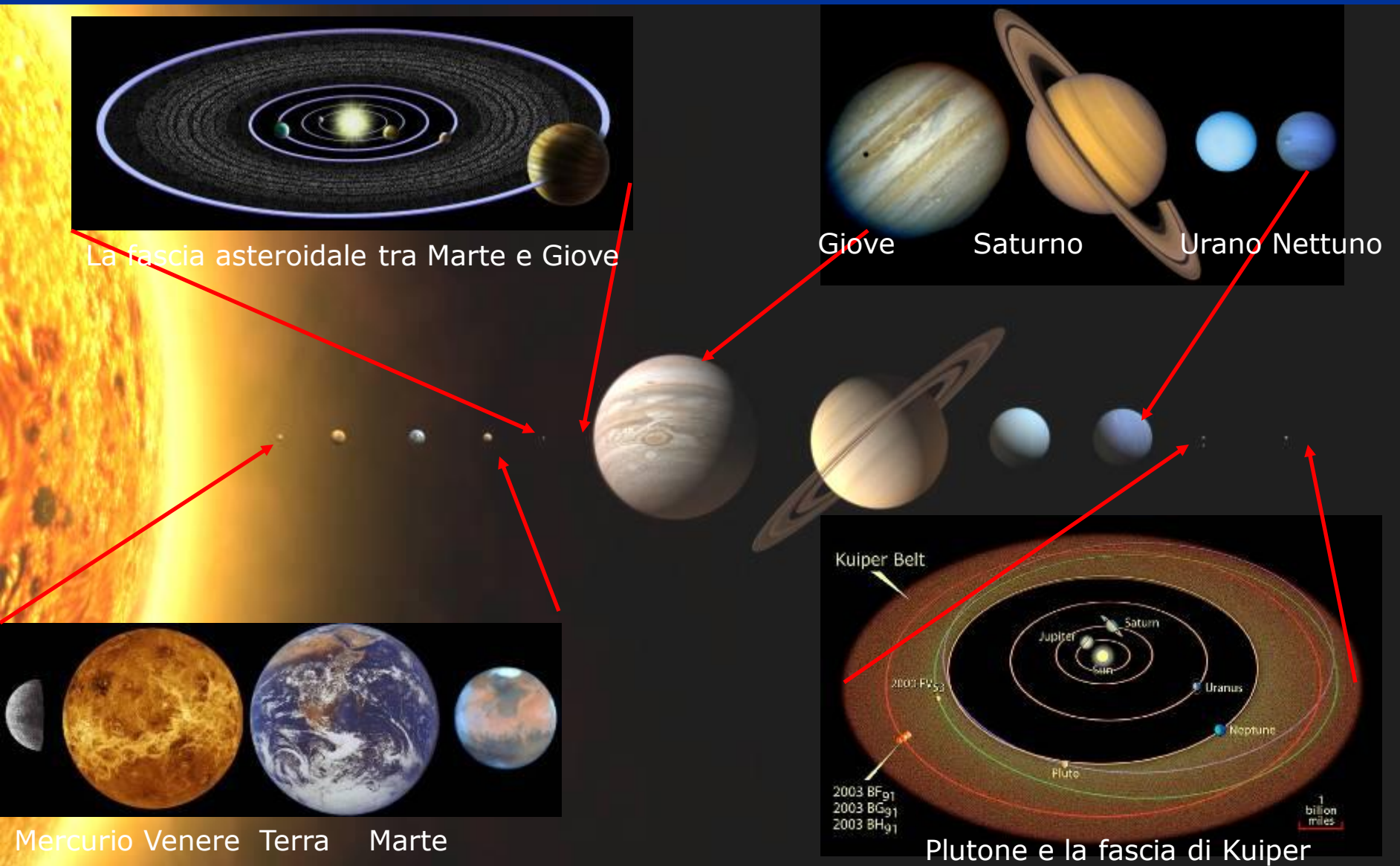
via Ranzani, 1 40127 - Bologna - Italia

Tel, 051-2095721 Fax, 051-2095700

<http://www.bo.astro.it/~bedogni/primolevi>

email: roberto.bedogni@oabo.inaf.it

Il Sistema solare



Atmosfere primordiali

Pianeti terrestri

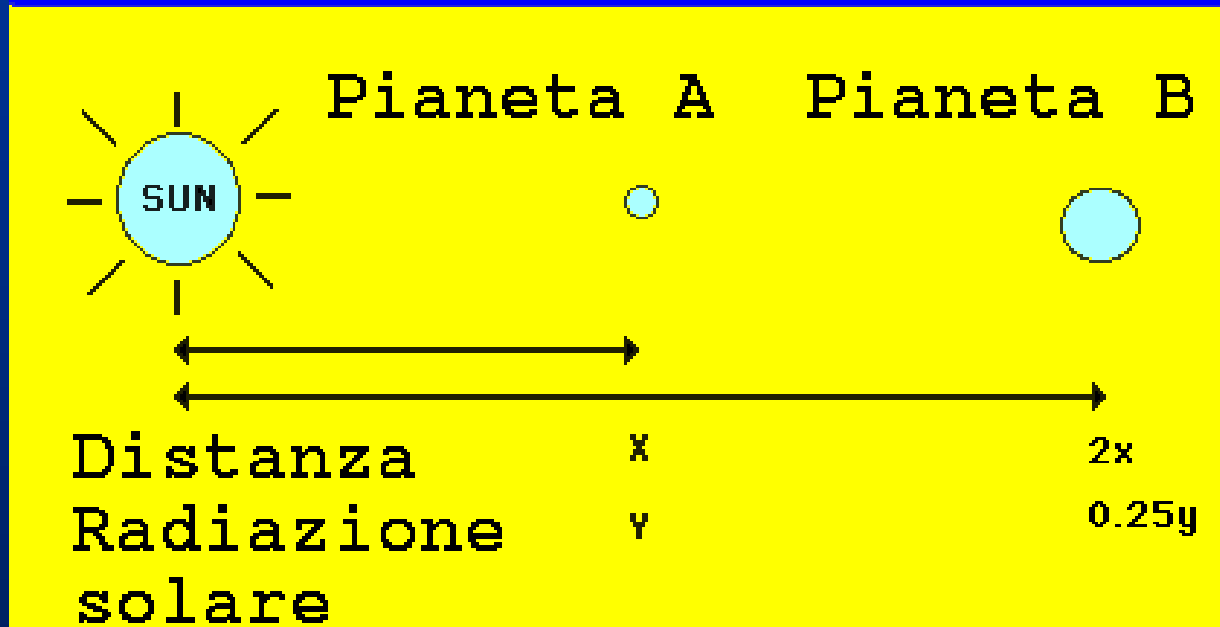
- Non mantengono traccia dell'atmosfera primordiale
- L'atmosfera attuale si è formata in seguito per degassamento ed interazioni chimiche e fisiche
- Le atmosfere sono tenui su croste rocciose

Pianeti gioviani

- Mantengono traccia dell'atmosfera primordiale
- L'atmosfera attuale si è formata in seguito ad interazioni chimiche e fisiche
- Le atmosfere sono spesse e non delimitate al suolo

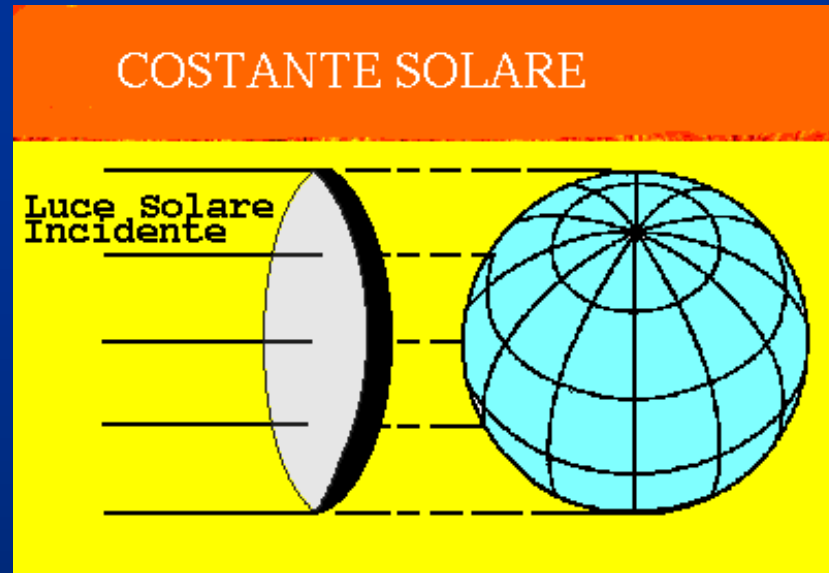
L'irraggiamento solare

Legge dell'inverso di r^2



Fondamentale nel determinare le caratteristiche e l'evoluzione climatica delle atmosfere dei pianeti è **l'irraggiamento solare**: la quantità di energia che raggiunge il pianeta provenendo dal Sole e che diminuisce con l'inverso del quadrato della distanza del pianeta dal Sole.

La Costante Solare



La **costante solare**, C , è definita come:

l'energia che incide nell'unità di tempo su un metro quadrato di superficie esposto perpendicolarmente alla linea di vista, fuori dall'atmosfera terrestre, posto alla distanza media della Terra dal Sole. Le misure danno per la costante solare un valore pari a $C = 1366 \text{ Watt/ m}^2$.

Dal valore della costante solare si ricava quello della **luminosità** L . Questa è semplicemente data dalla costante solare moltiplicata per la superficie di una sfera di raggio d , uguale all'Unità Astronomica:

$$L = C \cdot 4 \pi d^2$$

Costante Solare e luminosità del Sole

La **luminosità solare** è data da

$$L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4 \sim 3,9 \cdot 10^{33} \text{ erg/s}$$

Dove:

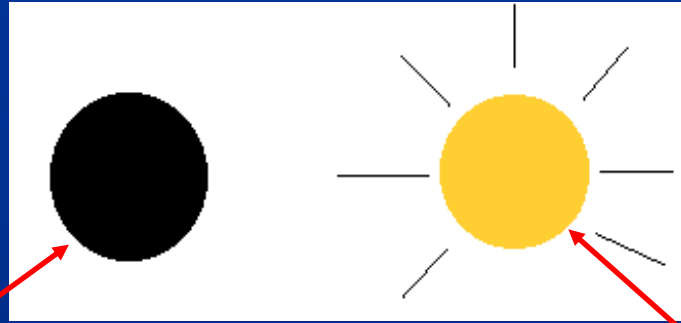
- $L_{\odot}$ = luminosità del Sole
- $T_{\odot} \sim 5800 \text{ K}$ (temperatura di equilibrio del Sole)
- $R_{\odot} \sim 700000 \text{ km}$ (raggio del Sole)
- σ = costante di Stefan-Boltzmann = $5,669 \cdot 10^{-5}$ unità cgs

E produce un **flusso ad una distanza D** pari a :

$$\Phi = L_{\odot} / 4 \pi D^2$$

Che è proprio la costante solare $C = 1366 \text{ Watt/ m}^2$

Albedo e temperatura di un pianeta



Albedo =0 tutta la luce
è assorbita

Albedo =1 tutta la luce
è riemessa (rifletta)

Un pianeta riemette una quantità di energia che è determinata dal suo albedo A . Se ha un raggio R_p ed una temperatura (uniforme) T_p allora vale la seguente relazione

$$(1 - A) \Phi = 4 \sigma T_p^4$$

$$\Phi = L_{\odot} / 4 \pi D^2$$

Questa relazione noto l'albedo ed il valore del flusso di radiazione dal Sole permette di calcolare, seppur in modo approssimato, la temperatura superficiale di un pianeta !

Interazioni Sole - pianeta

Riscaldamento (senza atmosfera) dipende

- dalla distanza dal Sole
- dall'albedo, A , del pianeta

$$\frac{E_{\text{riflessa}}}{E_{\text{incidente}}}$$

Bilancio energetico

Energia emessa ed energia ricevuta devono eguagliarsi

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

$A = 1$ tutta l'energia viene riflessa;

$A=0,8$ ghiaccio

$A=0,7$ nubi

$A=0,1 - 0,25$ rocce;

$A_{\text{Terra}} = 0,38$

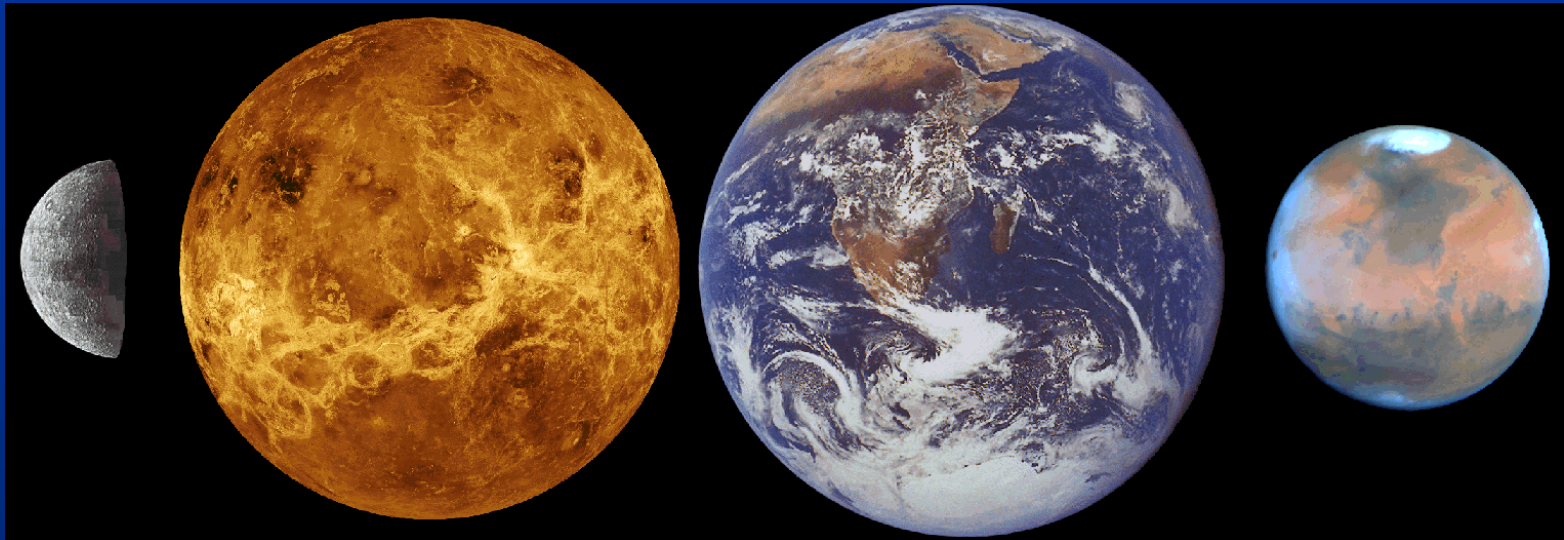
Insolazione dei pianeti rispetto alla Terra

	Φ Luminosità solare sul Pianeta in watt/m²	T_P Temperatura superficiale del pianeta senza atmosfera ° C ma con albedo
Mercurio	8945	+169
Venere	2624	-44
Terra	1366	-27
Marte	588	-57
Giove	50	-171
Saturno	15	-196
Urano	3.7	-219
Nettuno	1.5	-228

Temperature dei pianeti terrestri

Pianeta	Distanza (AU)	Albedo	Durata giorno (g)	T _e (°K)	T _e (°C)	T _s (°K)
Mercurio	0.38	0.11	176	442	169	700 G 100 N
Venere	0.72	0.72	117	229	-44	740 G 240 N
Terra	1	0.38	1	246	-27	288
Marte	1.52	0.25	~1	216	-57	223
Luna	1	0.07	28	273	0	400 G 100 N
G= giorno N=notte K=C+273.16 NB con albedo						

I Pianeti Terrestri



- 1. Vicini al Sole (grande influenza dell'irraggiamento solare)**
- 2. Piccoli, il più grande è la Terra.**
- 3. Con elevate densità (tra 3 e 6 gr/cm³)**
- 4. Superfici solide**
- 5. Atmosfere che sovrastano le superfici**
- 6. Hanno nuclei solidi**
- 7. Pochi satelliti**

Le atmosfere dei Pianeti Terrestri Atmosfere secondarie



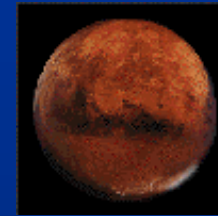
Mercurio



Venere



Terra



Marte (non in scala)

I **Pianeti Terrestri** non hanno, data la loro piccola massa, la possibilità di trattenere gli elementi più leggeri.

Predomineranno quindi nei **Pianeti Terrestri** gli elementi pesanti nei i loro composti più semplici:

N_2 (azoto molecolare)
 CO_2 (anidride carbonica)

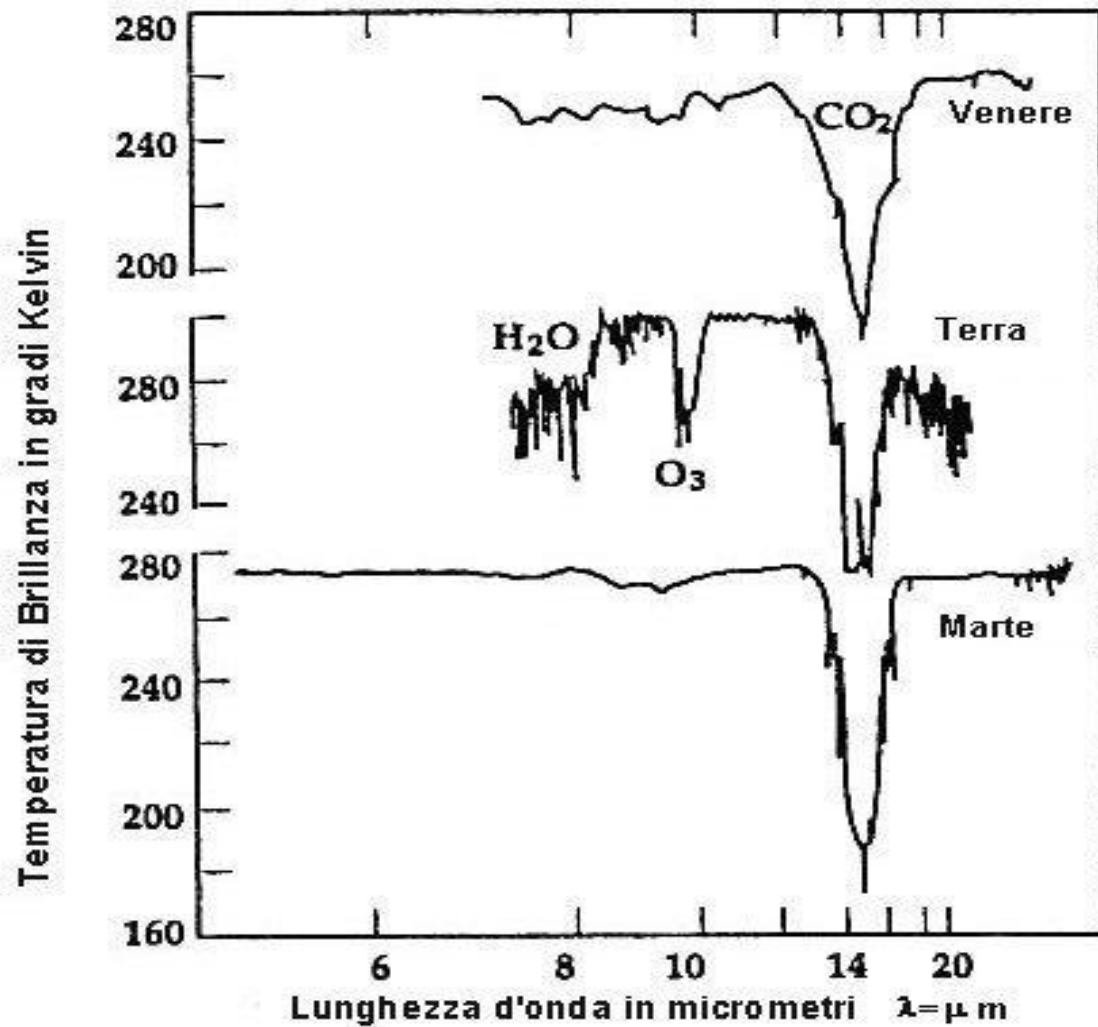
Le loro atmosfere, basate su **Carbonio, Azoto ed Ossigeno** sono atmosfere secondarie che si sono prodotte in seguito all' **azione chimica** (evoluzione geologica) e **biologica** (la presenza della vita organica per la Terra).

Temperature dei pianeti terrestri

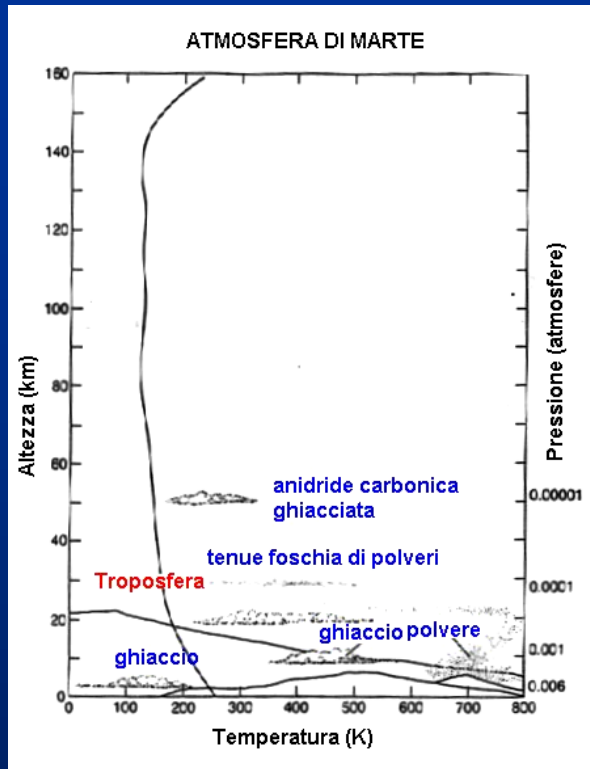


Pianeta	Distanza (AU)	Albedo	Durata giorno (g)	T _e (°K)	T _s (°K)	
Mercurio	0,38	0,11	176	440	700 G	100 N
Venere	0,72	0,72	117	230	740 G	240 N
Terra	1	0,38	1	250	288	
Marte	1,52	0,25	~1	218	223	
Luna	1	0,07	28	273	400 G	100 N
G= giorno N=notte K=C+273.16						

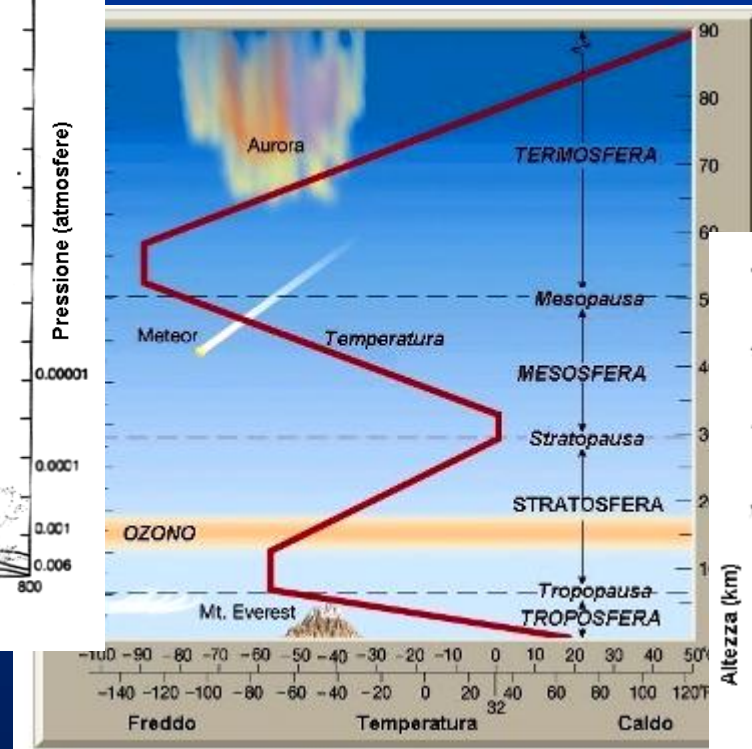
La composizione delle atmosfere di Venere-Terra-Marte



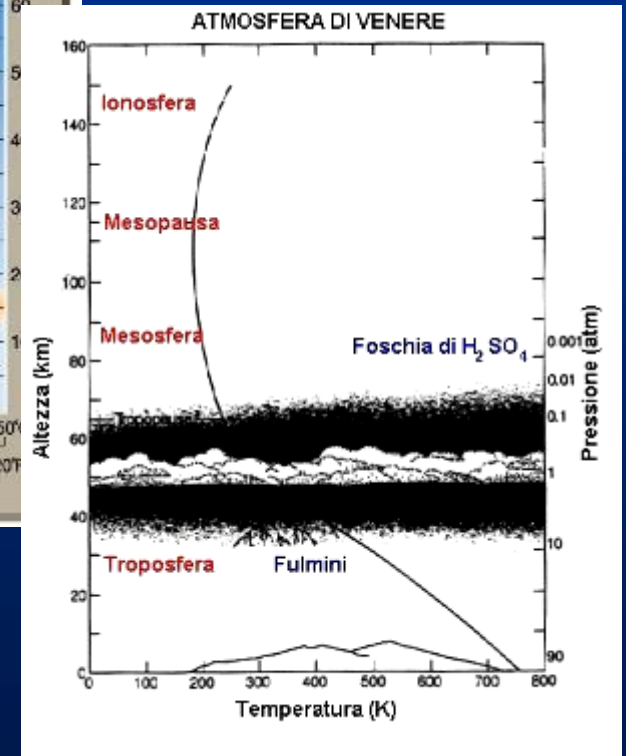
Le atmosfere dei pianeti interni-struttura



Marte

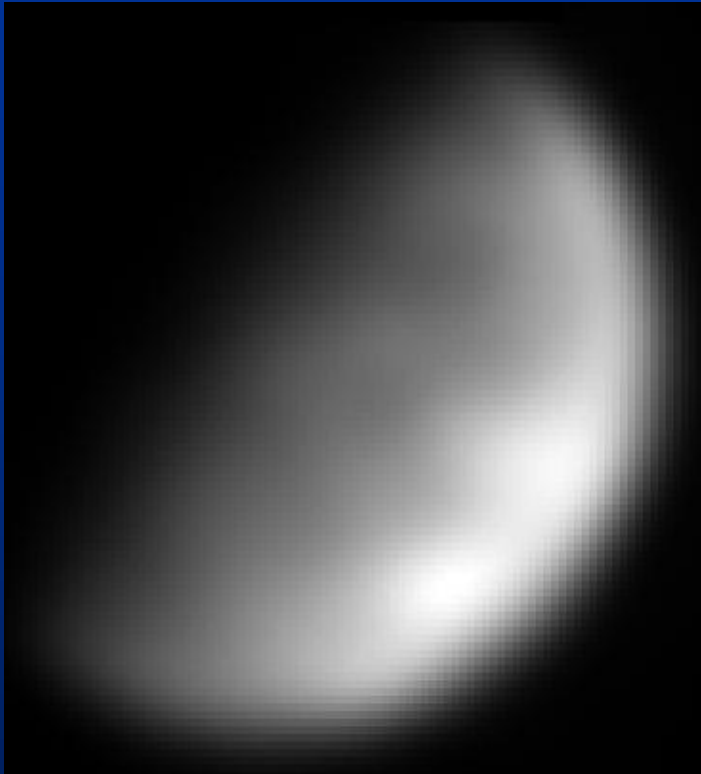


Terra



Venere

Mercurio



Una delle migliori immagini di
Mercurio presa da un telescopio
a Terra

Distanza dal Sole (U.A.) = 0,39

Distanza dal Sole (km) = 57 910 000

Periodo di rivoluzione (anni) = 0,241

Eccentricità = 0,20561

Inclinazione rispetto all'eclittica = 7° 0'

Velocità orbitale media (km/sec) = 47,88

Massa (Terra = 1) = 0,055

Raggio equatoriale (km) = 2 439

Raggio equatoriale (Terra = 1) = 0,382

Densità media (Terra = 1) = 0,98

Accelerazione di gravità (Terra = 1) = 0,284

Velocità di fuga (km/sec) = 4,25

Periodo di rotazione = 58gg 15h 36m

Periodo di rotazione = 1407,6 ore

Inclinazione sul piano dell'orbita = 0,0°

Albedo = 0,10

Magnitudine visuale massima = -1,9

Numero satelliti = 0

Noto sin dall'antichità

L'atmosfera di Mercurio

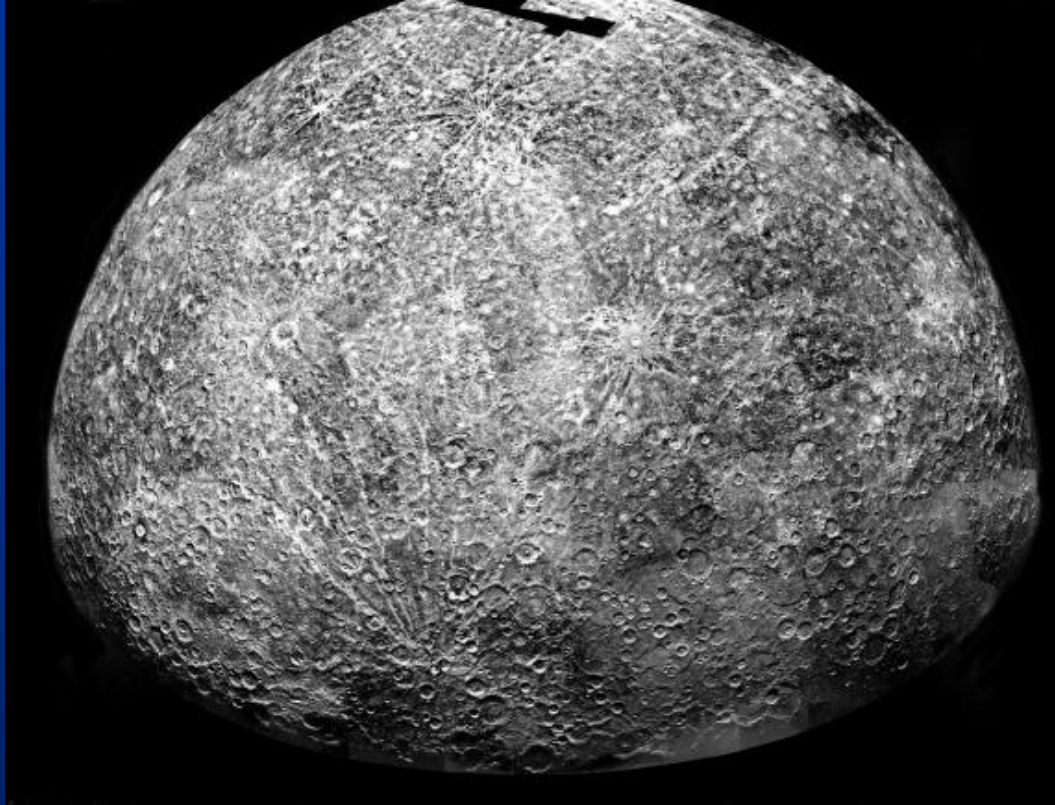


Mercurio, a somiglianza della Luna, è praticamente privo di atmosfera.

La bassa velocità di fuga (4 km/sec per Mercurio), porta ad una diffusione della atmosfera del pianeta nello spazio interplanetario.

Su Mercurio sono rimaste **solo tracce di un'atmosfera** composta in minima parte di idrogeno e per il resto di elio, ossigeno, sodio potassio ed argo.

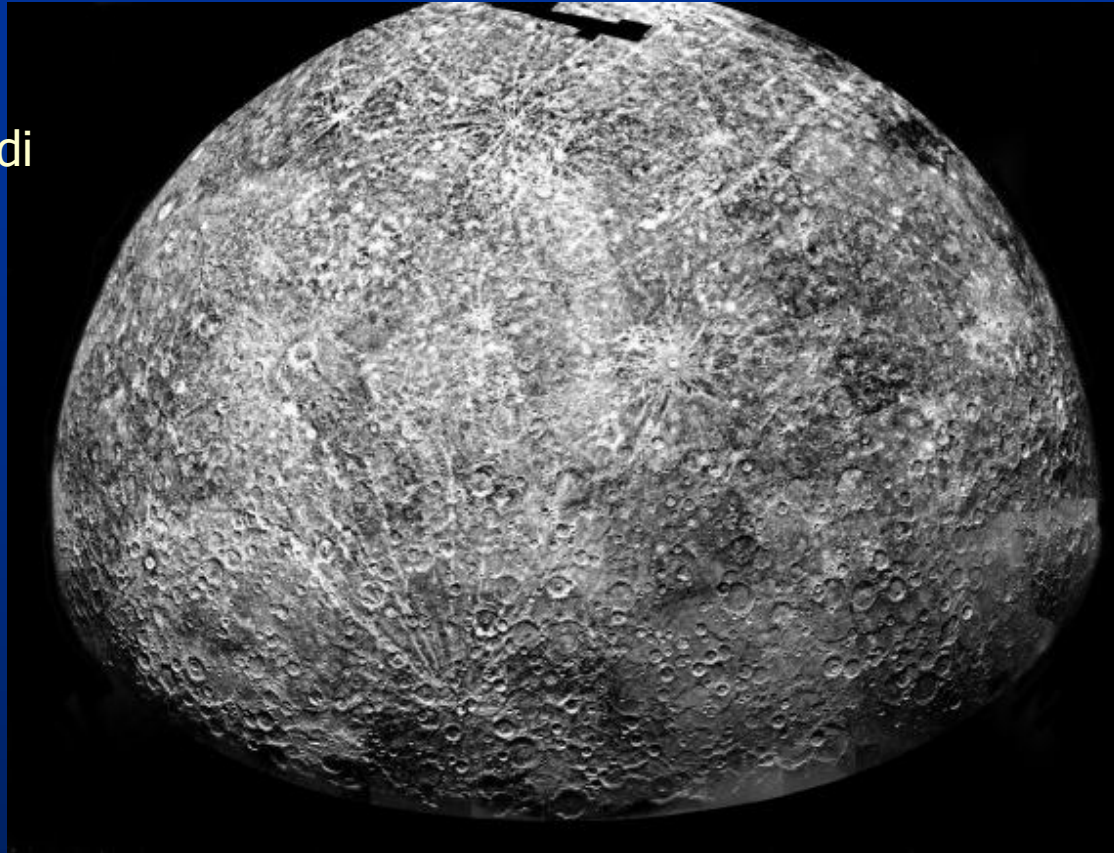
L'atmosfera di Mercurio



Pressione superficiale	$\sim 10^{-15}$ bar (0,001 picobar)
Massa totale dell'atmosfera	~ 1000 kg
Temperatura diurna	da 167°C
Composizione	del vento solare

L'atmosfera di Mercurio

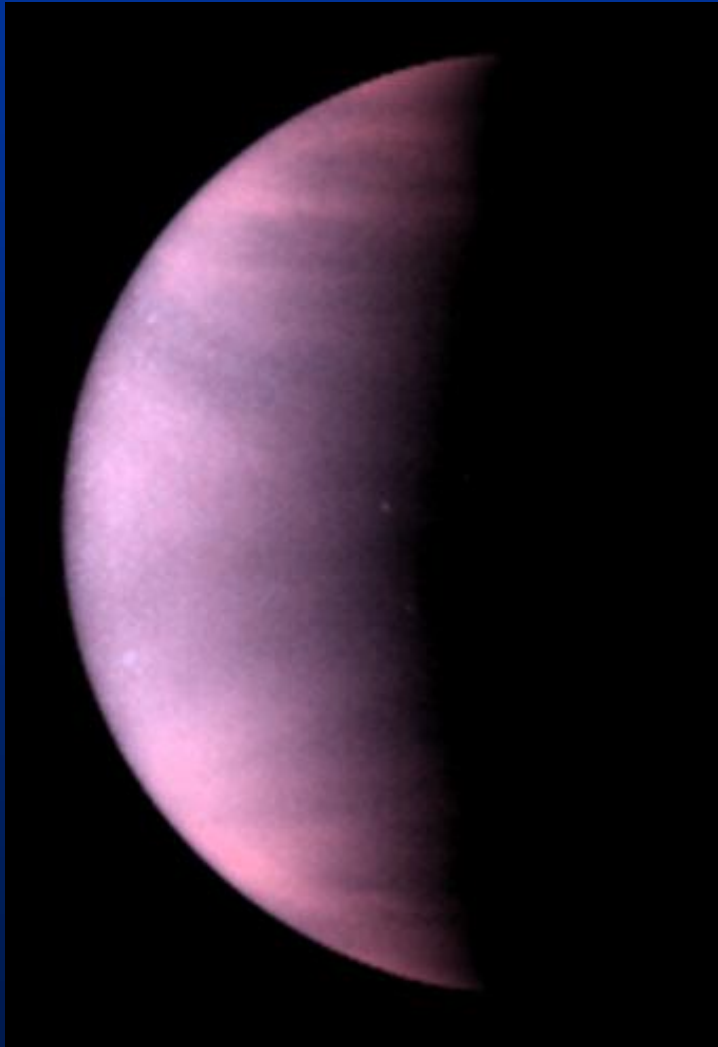
Emisfero sud di
Mercurio



La **temperatura media** su Mercurio è di **440° C** mentre la **pressione** al suolo è di **un miliardesimo di atmosfera**.

Forte è **l'escursione di temperatura** tra la parte illuminata dal sole 430° C (quanto basta per fondere lo stagno ed il piombo) e quella in ombra -185°

Venere



Venere visto dal Telescopio
Spaziale HST

Distanza dal Sole (U.A.) = 0,72

Distanza dal Sole (km) = 108 200 000

Periodo di rivoluzione (anni) = 0,615

Eccentricità = 0,0068

Inclinazione rispetto all'eclittica = 3° 23'

Velocità orbitale media (km/sec) = 35,02

Massa (Terra = 1) = 0,815

Raggio equatoriale (km) = 6 051

Raggio equatoriale (Terra = 1) = 0,949

Densità media (Terra = 1) = 0,95

Accelerazione di gravità (Terra = 1) = 0,881

Velocità di fuga (km/sec) = 10,36

Periodo di rotazione = -243gg 0h 14,4m
RETRO

Periodo di rotazione = -5823,5 ore RETRO

Inclinazione sul piano dell'orbita = 177,3°

Albedo = 0,65

Magnitudine visuale = -4,4

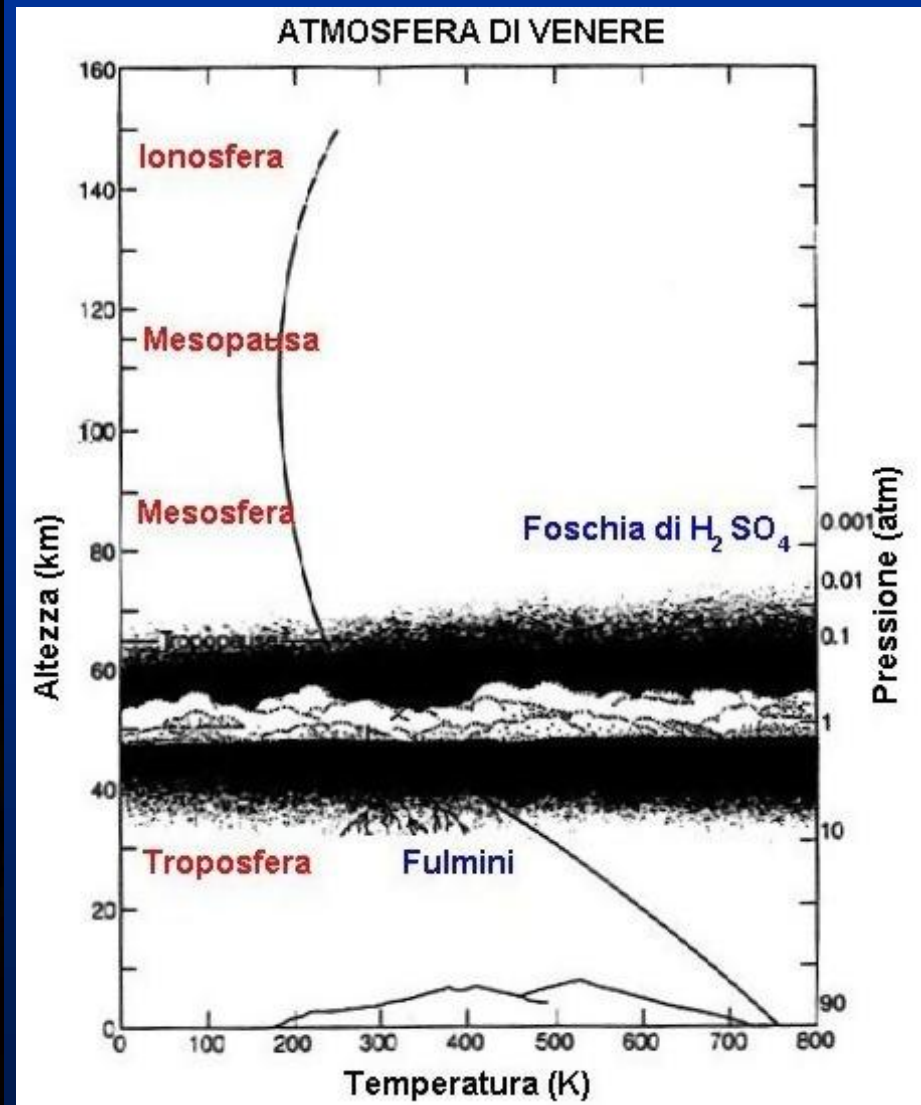
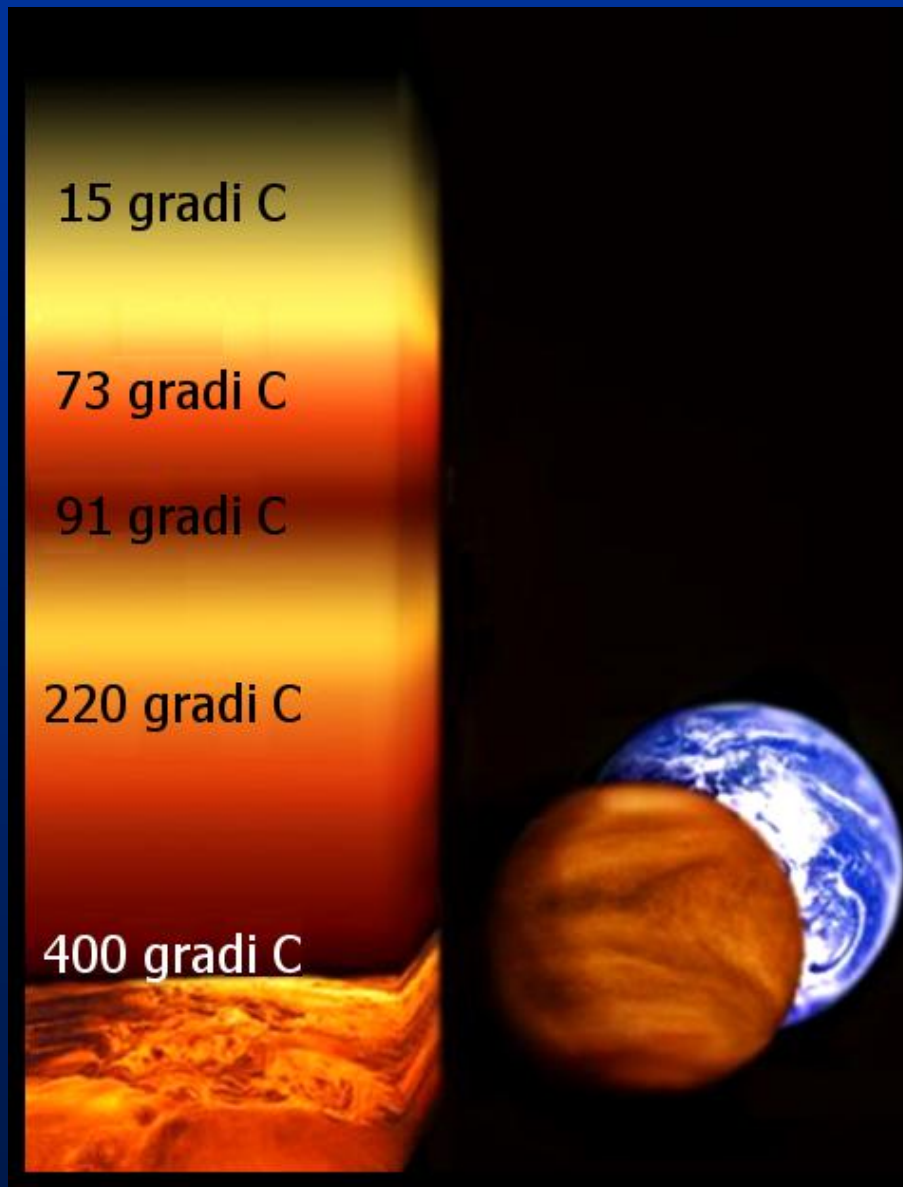
Numero satelliti = 0

Noto sin dall'antichità

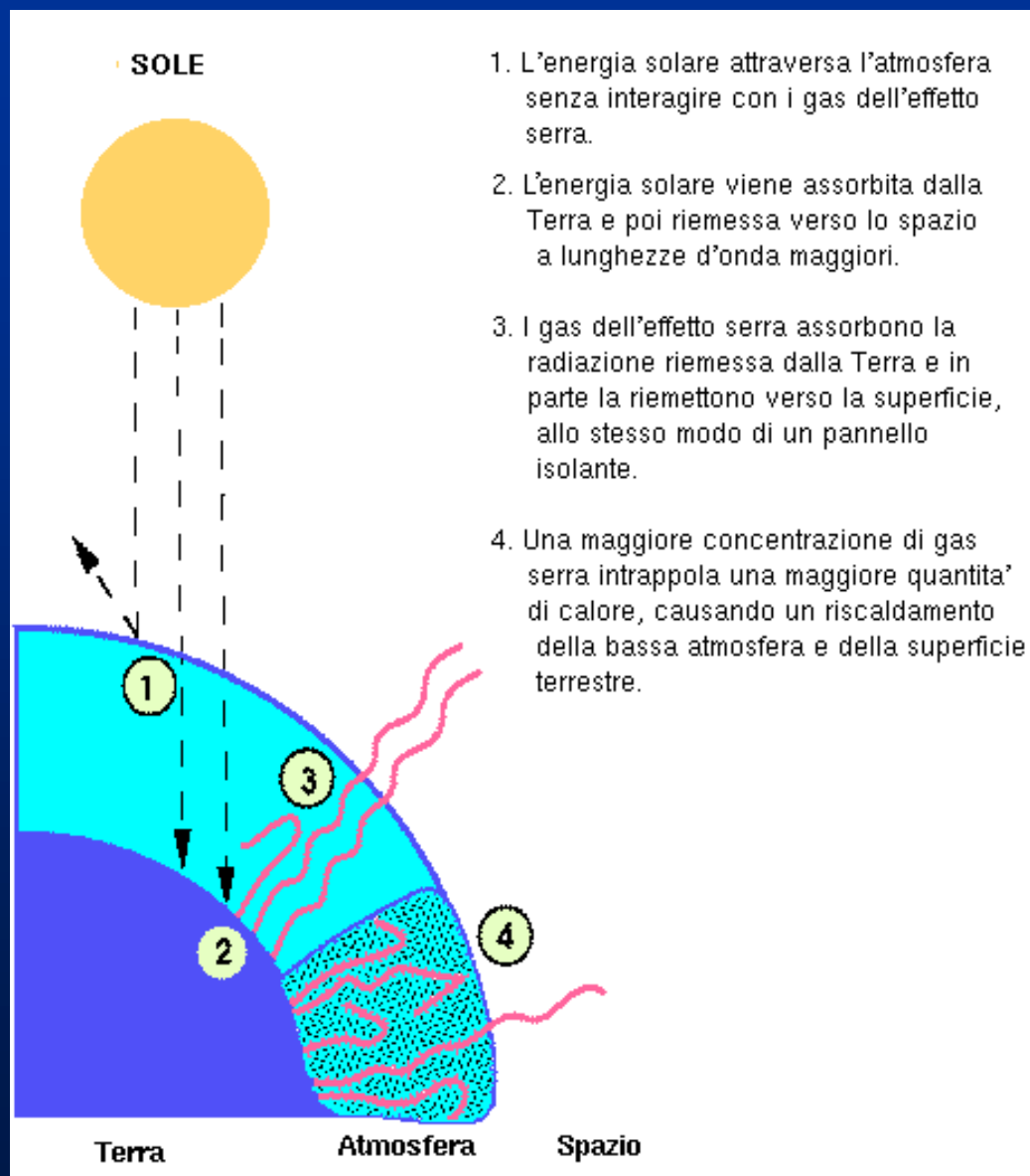
L'atmosfera di Venere

Pressione superficiale	92 bars
Densità superficiale	$\sim 65 \text{ kg/m}^3$
Altezza di scala	15,9 km
Massa totale dell'atmosfera	$\sim 4,8 \times 10^{20} \text{ kg}$
Temperatura media	464 °C
Velocità dei venti	da 0,3 a 1,0 m/s sulla superficie
Peso molecolare medio	43,45 gr/mole
Composizione	CO ₂ 96,5 %, N ₂ 3,5 %
in ppm	SO ₂ 150, Ar 70, H ₂ O 20
	CO 17, He 12, Ne 7

L'atmosfera di Venere



L'effetto serra sulla Terra e su Venere

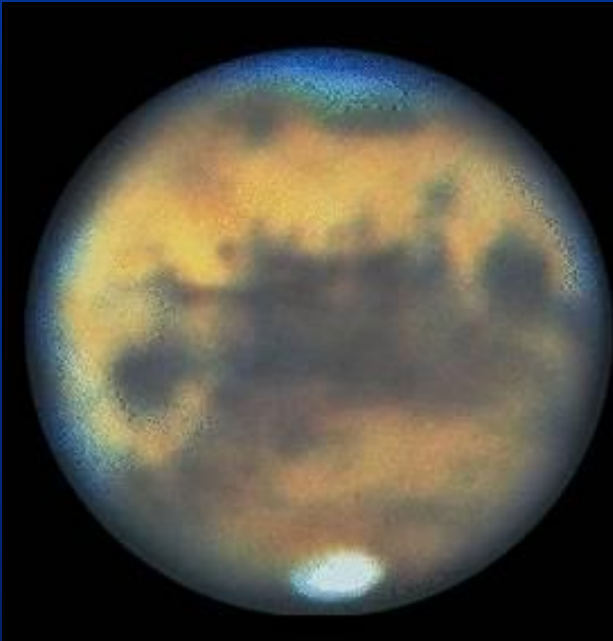


L'effetto serra su Venere-Terra e Marte

Caratteristiche di tre pianeti messi a confronto

	Venere	Terra	Marte
Massa totale (rocce + atmosfera) (10^{24} kg)	5	6	0.6
Raggio (km)	6050	6371	3390
Massa dell'atmosfera / Massa Pianeta	100	1	0.06
Distanza dal Sole d (10^6 km)	<i>108</i>	<i>150</i>	<i>228</i>
Costante solare I_0 (W/m^2)	<i>2610</i>	<i>1370</i>	<i>590</i>
Albedo (%)	75	30	15
Copertura di nubi (%)	100	50	variabile
Temperatura radiativa ($^{\circ}C$)	-39 (NB albedo)	-18	-56
Temperatura alla superficie ($^{\circ}C$)	+427	+15	-53
Riscaldamento per effetto serra ($^{\circ}C$)	466	33	3
Composizione dell'atmosfera			
N ₂ + O ₂ (%)	<2	99	<3
CO ₂ (%)	>98	0.04	>9
Composizione delle nuvole	H ₂ SO ₄	H ₂ O	H ₂ O, CO ₂

Marte



Una foto di Marte presa
dall'Osservatorio Lowell

Distanza dal Sole (U.A.) = 1,52

Distanza dal Sole (km) = 227 940 000

Periodo di rivoluzione (anni) = 1,8808

Eccentricità = 0,093

Inclinazione rispetto all'eclittica = 1° 51'

Velocità orbitale media (km/sec) = 24,14

Massa (Terra = 1) = 0,107

Raggio equatoriale (km) = 3 397,2

Raggio equatoriale (Terra = 1) = 0,532

Densità media (Terra = 1) = 0,72

Accelerazione di gravità (Terra = 1) = 0,38

Velocità di fuga (km/sec) = 5,0

Periodo di rotazione = 24h 37m 22s

Periodo di rotazione = 24,6 ore

Inclinazione sul piano dell'orbita = 25,19°

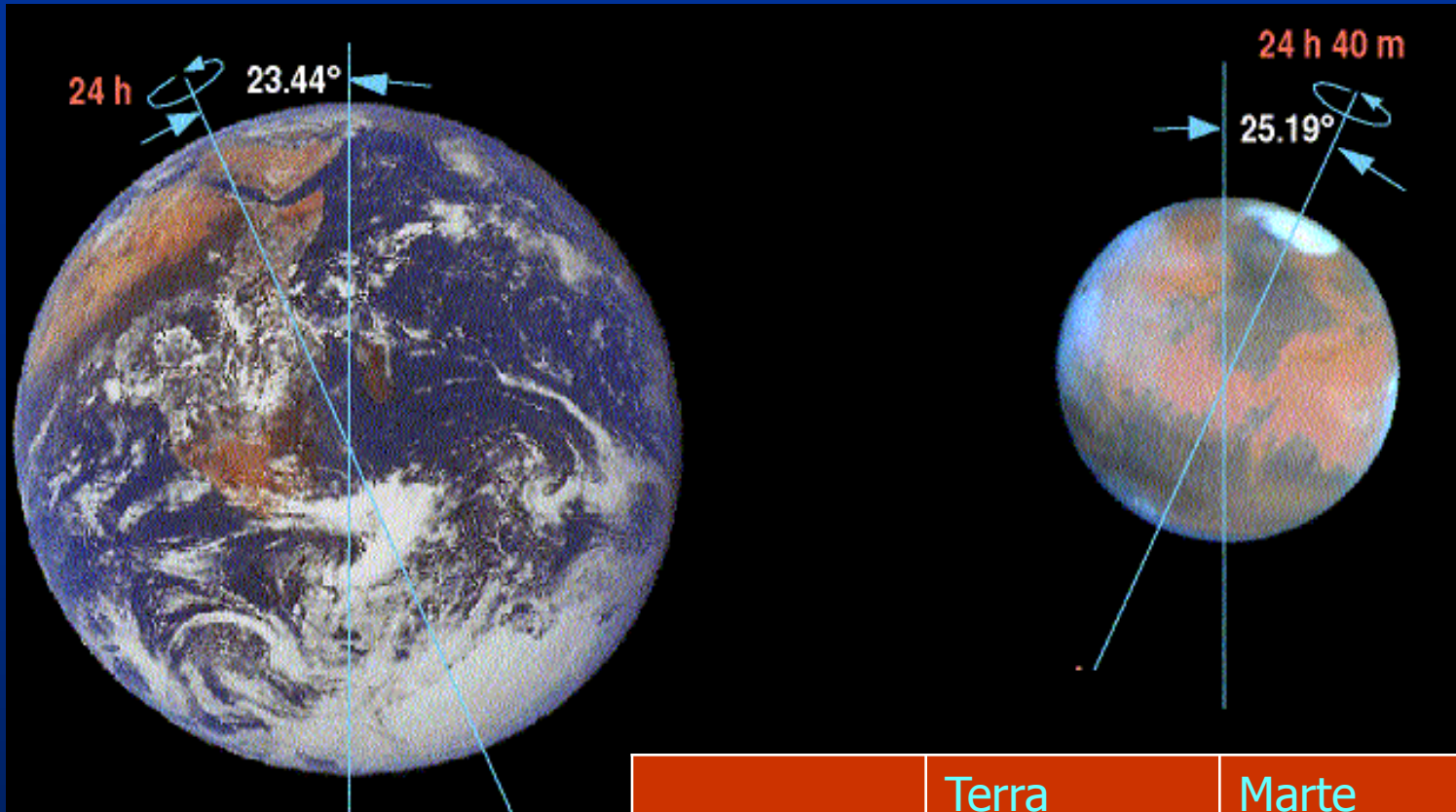
Albedo = 0,25

Magnitudine visuale = -2,01

Numero satelliti = 2

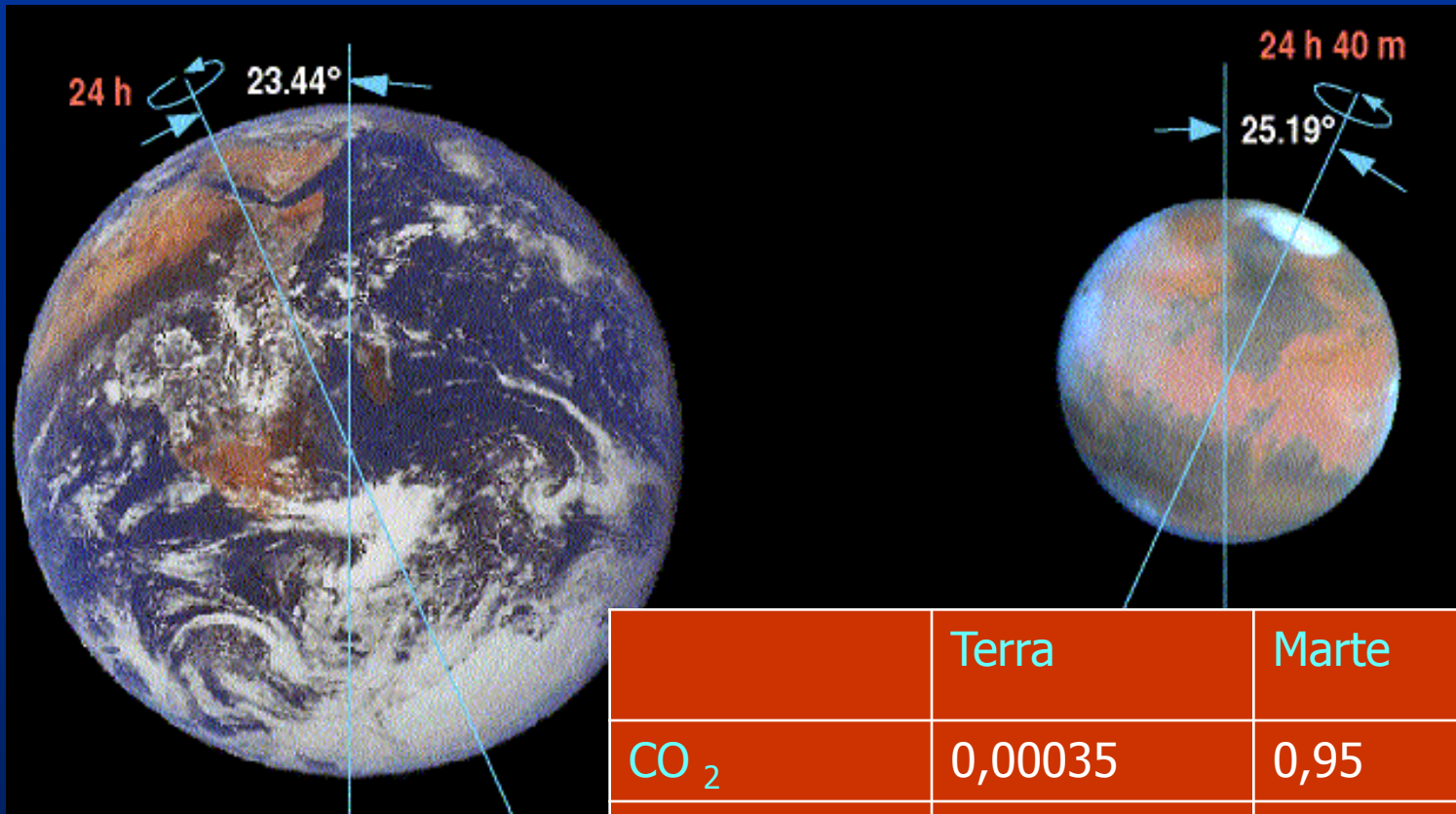
Noto sin dall'antichità

Marte e Terra



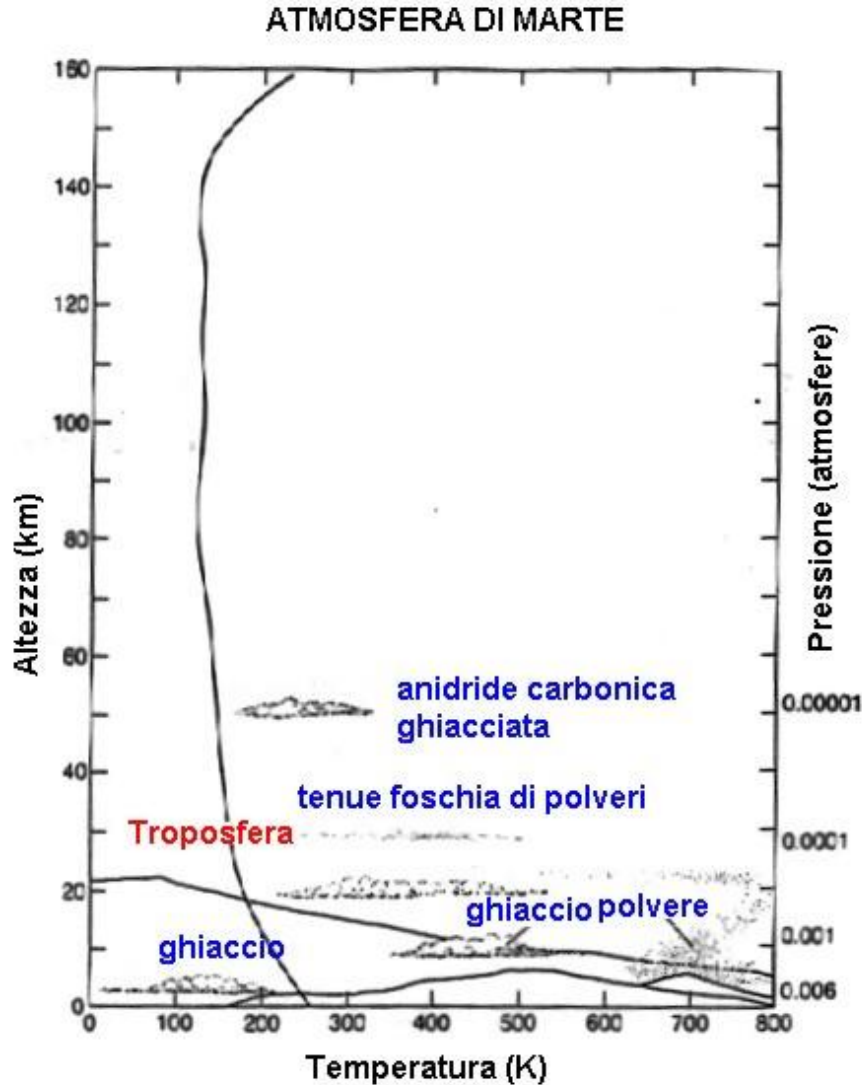
	Terra	Marte
Anno	365 g	686 g
Gravità	9,81 m/s ²	3,72 m/s ²
Luminosità	1	0,44

Marte e Terra atmosfera



	Terra	Marte
CO ₂	0,00035	0,95
N ₂	0,781	0,027
O ₂	0,210	0,0013
H ₂ O	da 0 a 0,04	da 0 a 0,00021
Ar	0,0093	0,016

L'atmosfera di Marte



Composizione	%
Anidride carbonica (CO ₂)	95,32
Azoto (N ₂)	2,7
Argo (Ar)	1,6
Ossigeno (O ₂)	0,13
Vapor d'acqua (H ₂ O)	0,03
Pressione al suolo	7,3 mbar
Pressione parz. (H ₂ O) <	6,1 “

L'atmosfera di Marte

Pressione superficiale	6,36 mb
Densità superficiale	~ 0,20 kg/m ³
Altezza di scala	11,1 km
Massa totale dell'atmosfera	~ 2,5 x 10 ¹⁶ kg
Temperatura diurna	da -89 a -31 °C
Velocità dei venti	5-7 m/s in estate 17-30 m/s tempeste di polvere
Peso molecolare medio	43,34 gr/mole
Composizione	CO ₂ 95,32 %, N ₂ 2,7 %
in volume	Ar 1,6 % O ₂ 0,13 % CO 0,08 %
in ppm	H ₂ O, NO 100, Ne 2,5 HDO 0,85 Kr 0,3, Xe 0,08

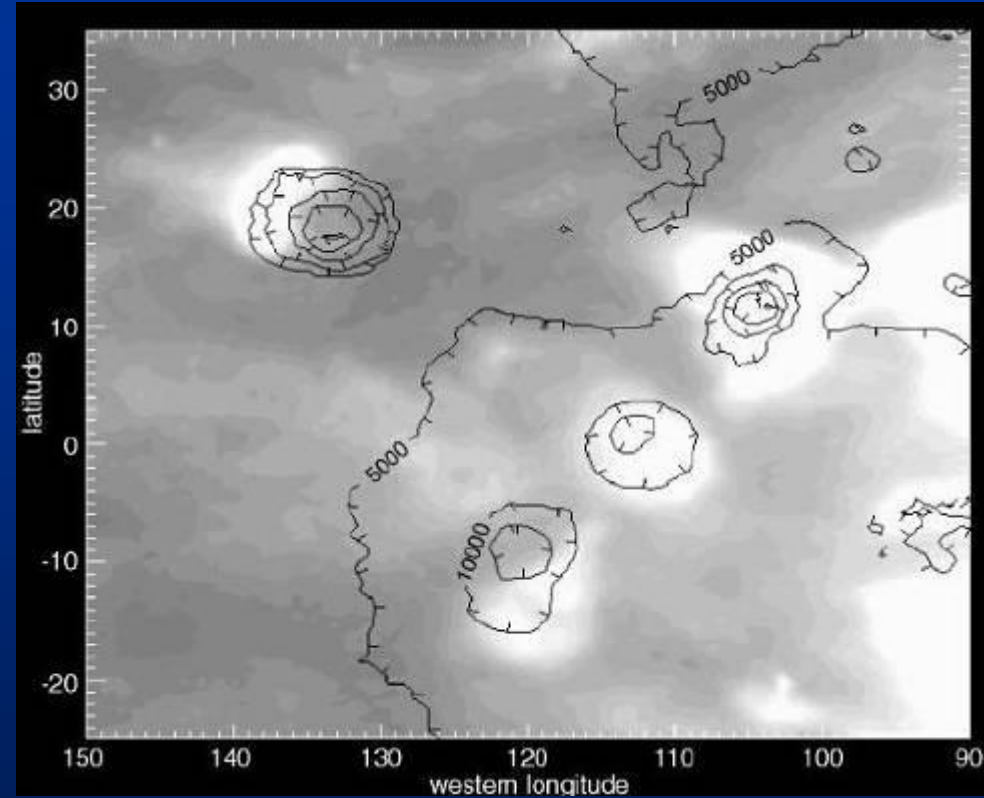
L'atmosfera di Marte



La presenza di acqua

- Date queste pressioni e temperature al suolo ed alla sua velocità di fuga (5,0 km/sec) l'acqua è instabile e congela
- È ragionevole supporre che l'acqua sia esistita
- Con il raffreddamento è venuto a mancare il degassamento dall'interno
- L'atmosfera si è persa nello spazio a causa della insufficiente forza di gravità

Nubi su Marte



Formazione di nubi nell'altopiano **Tharsis**

C'è acqua sul suolo?



Viking 2



Pathfinder



MGS - MOC

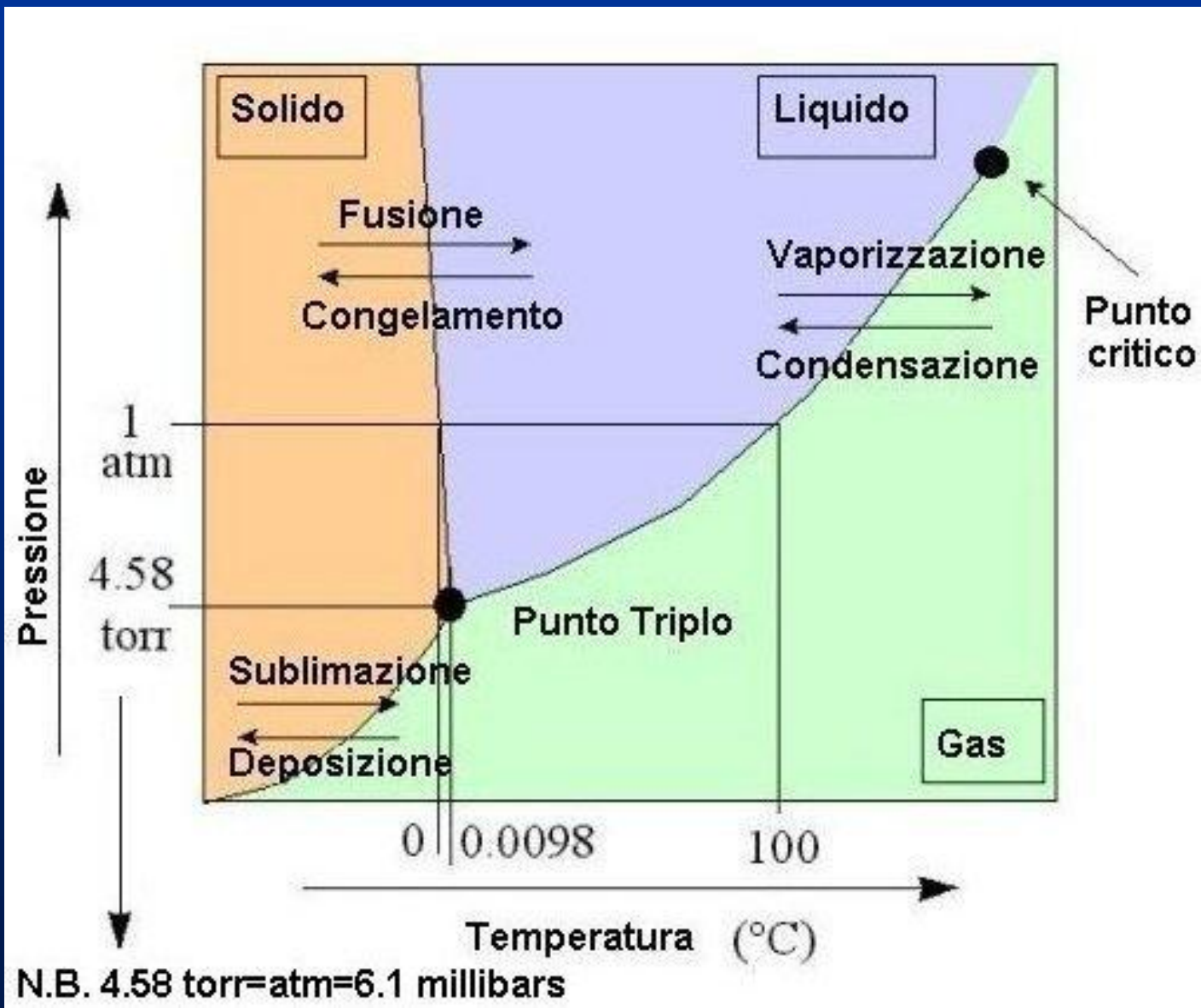
NO !!!

Non c'è traccia di
acqua allo stato
liquido sul suolo
di Marte



MGS - MOC

Diagramma di fase dell'acqua



Ci sono tracce lasciate dall'acqua?

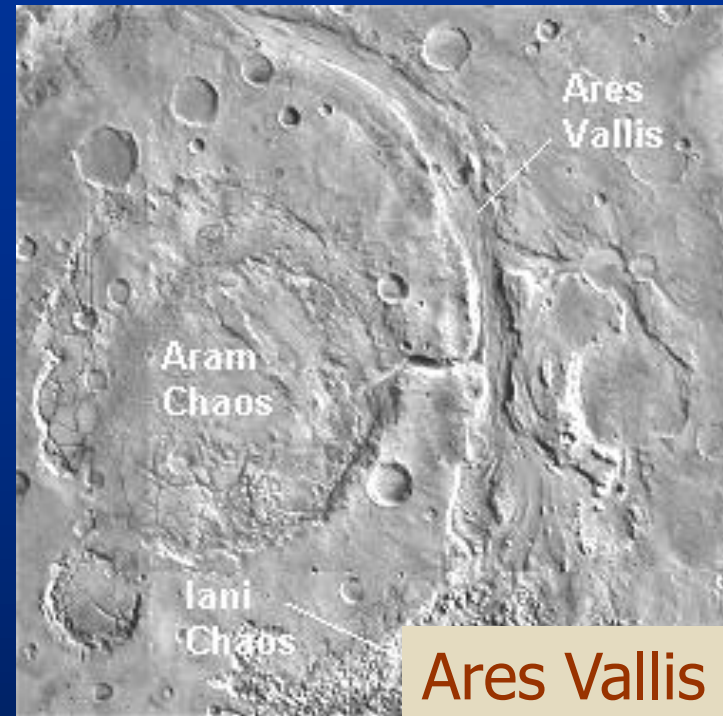
Si



I *veri* canali di inondazione

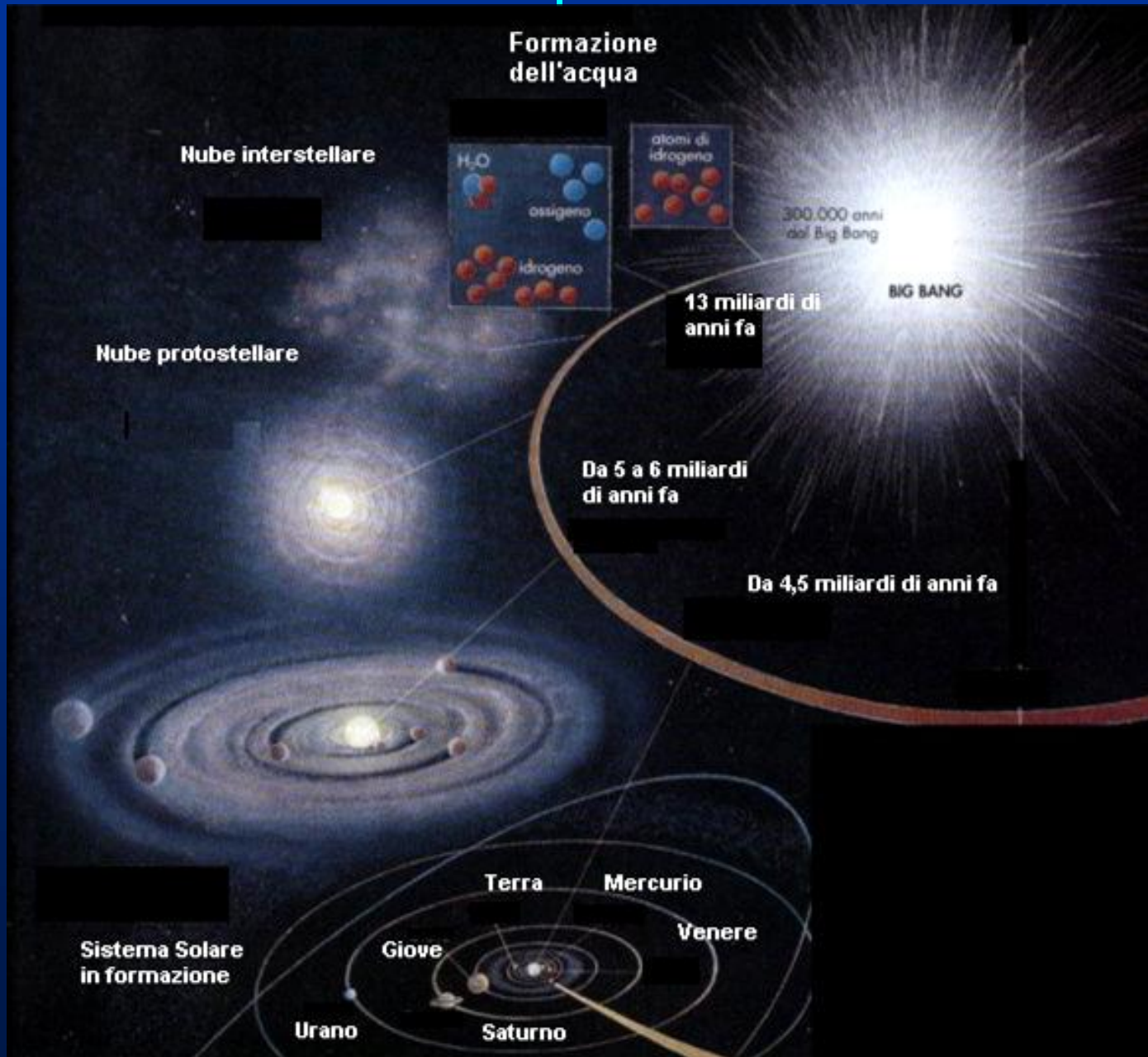


Canali di inondazione:
larghezza > 10 km
lunghezza ~ 2000 km

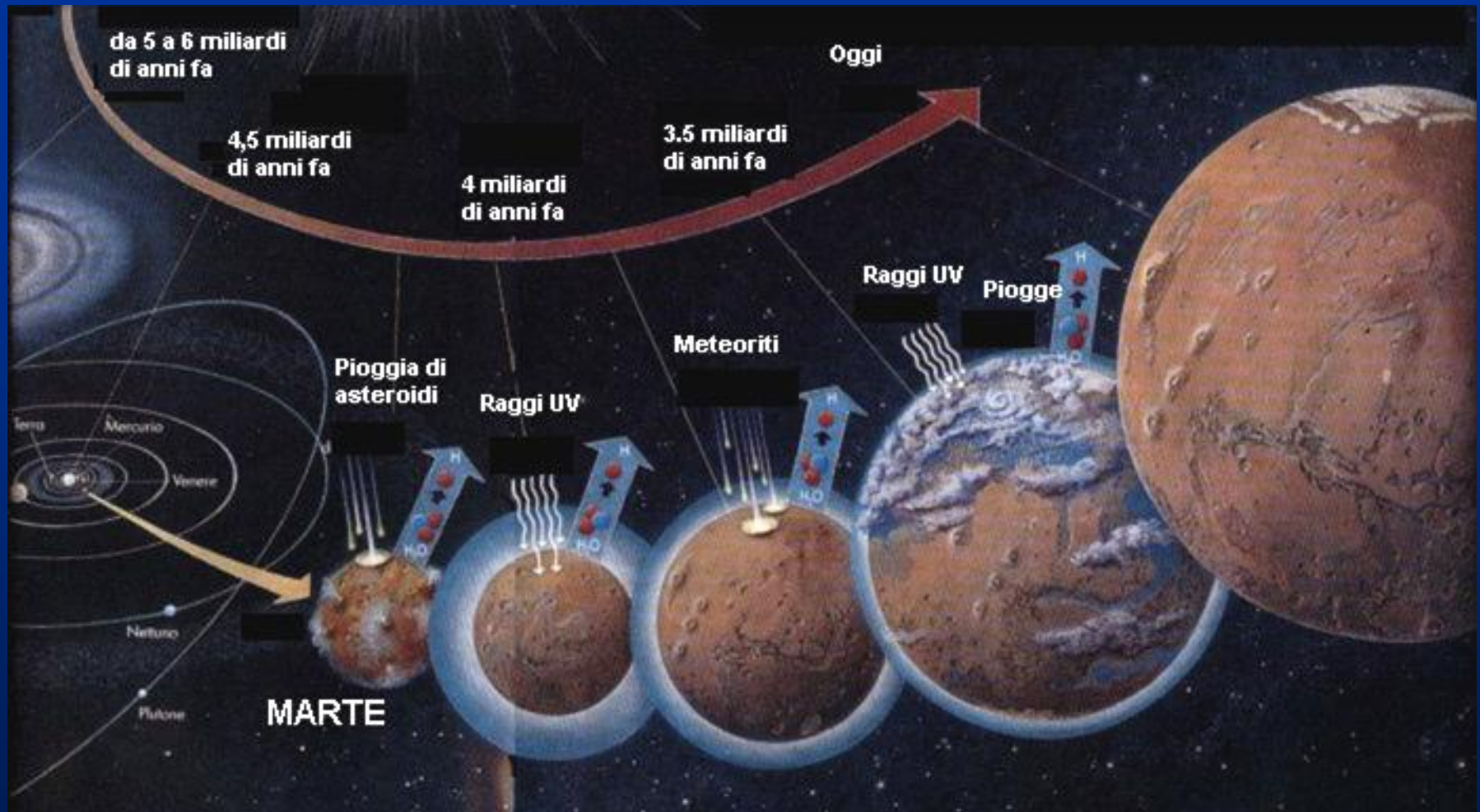


Origine:
Liberazione improvvisa di
immani quantità d'acqua

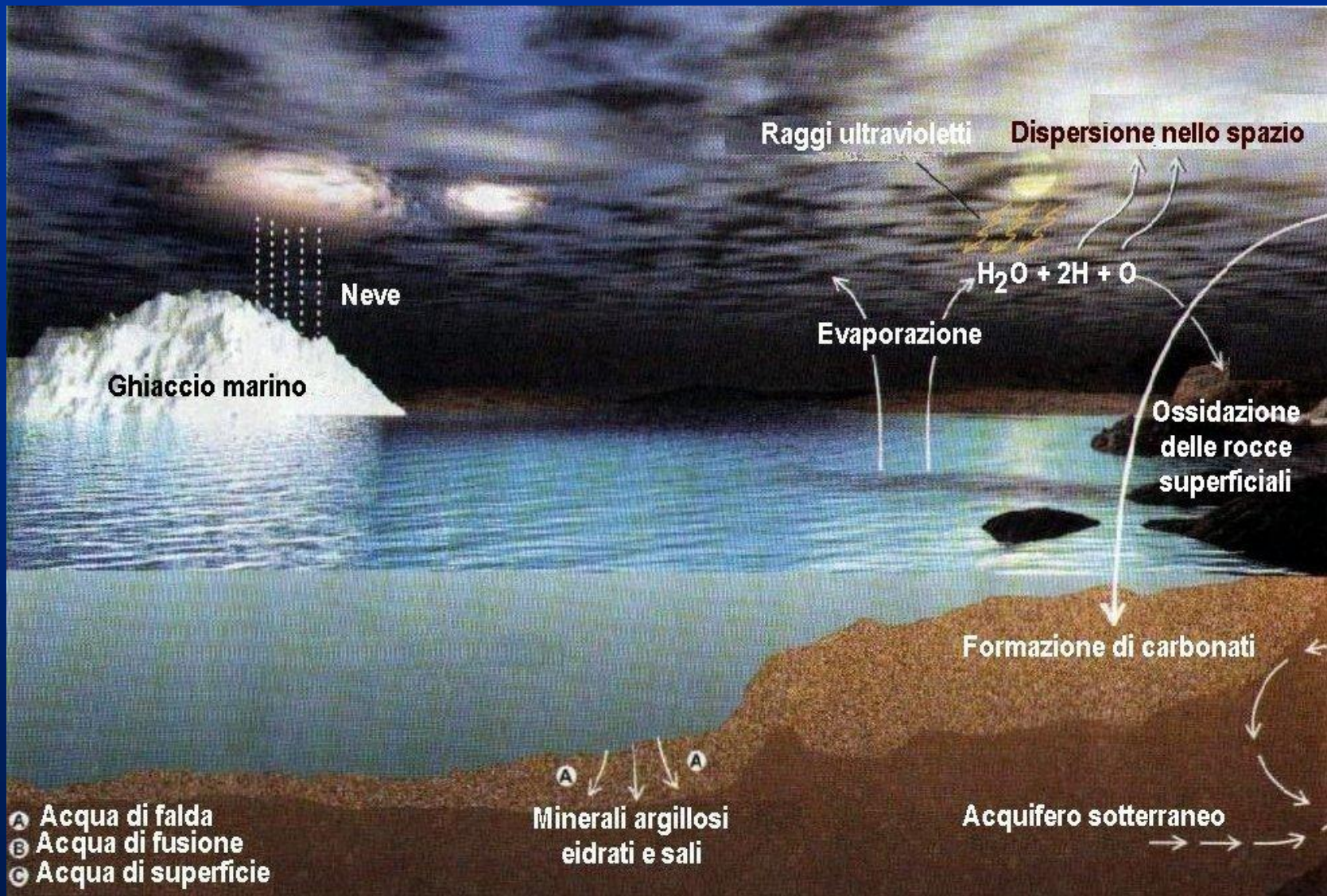
Il ciclo dell'acqua su Marte



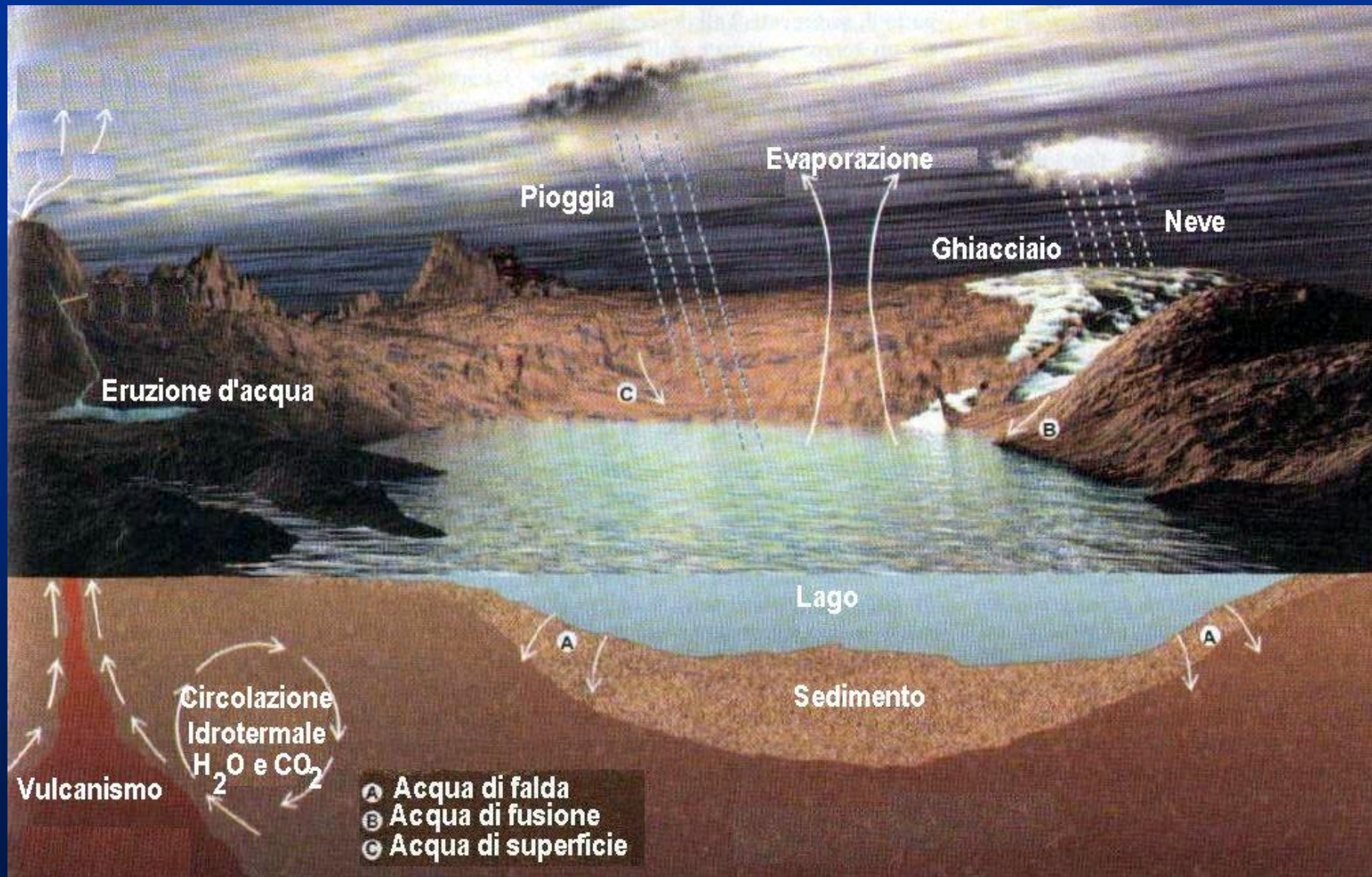
Il ciclo dell'acqua su Marte



L'evoluzione climatica di Marte



L'evoluzione climatica di Marte



Perché è cambiato il clima su Marte

Le variazioni orbitali di Marte possono aver determinato profondi cambiamenti climatici.

1. L' **eccentricità dell'orbita** **cambia** ogni 100000 anni per cui, a grande eccentricità, Marte si avvicina di più al Sole e più luce giunge al polo nord il che genera delle tempeste che depositano, come si è già visto, materiale sabbioso al polo nord.
2. L' **inclinazione dell' asse di rotazione** può essere cambiato di oltre 10° C gradi nell' ultimo milione di anni con conseguenze sui cicli stagionali del pianeta rosso.
3. Il **moto di precessione dell' asse di rotazione** varia con un periodo di 175000 anni ed anche questo ha determinato una variazione dei depositi polari di polvere e ghiaccio.

Certamente l'effetto combinato di questi tre fattori orbitali ha prodotto consistenti variazioni nel clima. Ci sarebbe quindi stato un periodo in cui il pianeta era più caldo ed in grado di trattenere l' acqua in superficie.

L'evoluzione climatica di Marte

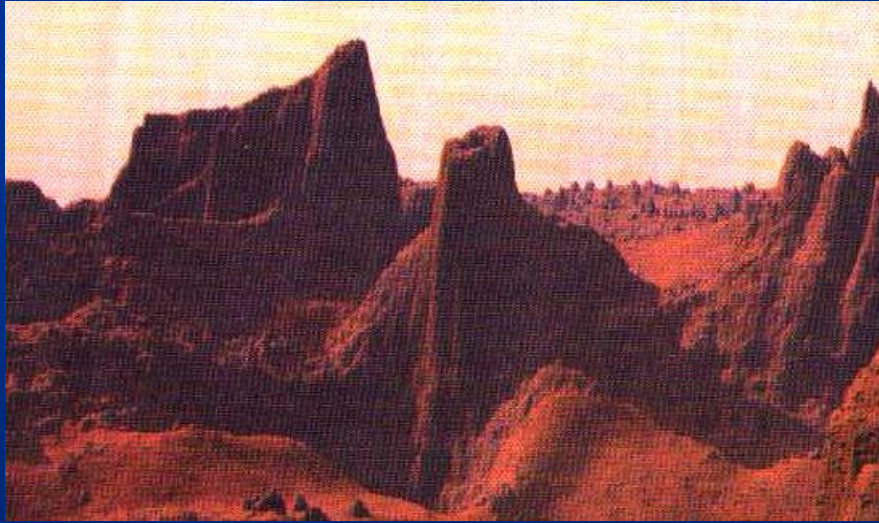
il ciclo dell'acqua

In passato Marte sperimentò episodi con una densa atmosfera, un intenso effetto serra capace di sciogliere i suoli congelati.



Il **ciclo dell'acqua**, durante i passati episodi climatici umidi di Marte aveva, presumibilmente, molte componenti. Una **densa atmosfera** conteneva con ogni probabilità rilevanti quantitativi d'acqua evaporata da mari e laghi. Il **vapore acqueo** a sua volta, condensava in nubi e dava luogo a precipitazioni. La **pioggia** formata in questo modo avrebbe provocato il dilavamento superficiale, e gran parte di quest'acqua si sarebbe infiltrata nel suolo. Le **precipitazioni nevose** si sarebbero accumulate a formare ghiacciai, che a loro volta, avrebbero scaricato le acque di fusione in laghi di ghiaccio. La **circolazione idrotermale**, associata a **vulcanismo**, potrebbe anche avere portato acqua alla superficie da serbatoi profondi.

Marte nel lontano passato probabilmente il clima nel primo miliardo d'anni era ben diverso.



Marte "oggi" presenta una superficie arida, come mostra questo disegno rappresentativo della sua superficie. L'esiguo contenuto d'acqua nella rarefatta atmosfera spesso condensa come ghiaccio particolarmente in prossimità del Polo Nord.

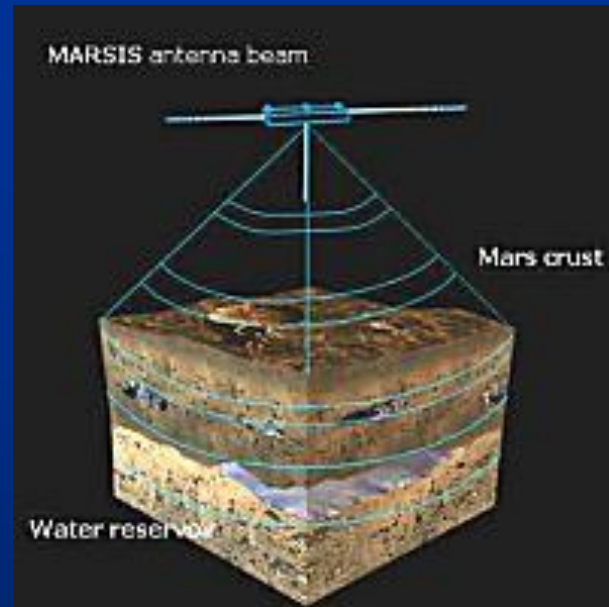


Marte miliardi di anni fa sperimentò episodi durante i quali una densa atmosfera, in grado di esercitare un intenso effetto serra, potrebbe avere riscaldato fortemente il pianeta, promuovendo le condizioni adatte per lo scioglimento dei suoli congelati. Un tale mutamento climatico avrebbe consentito all'acqua di scorrere in superficie e di accumularsi in fiumi e laghi.

La ricerca dell'acqua

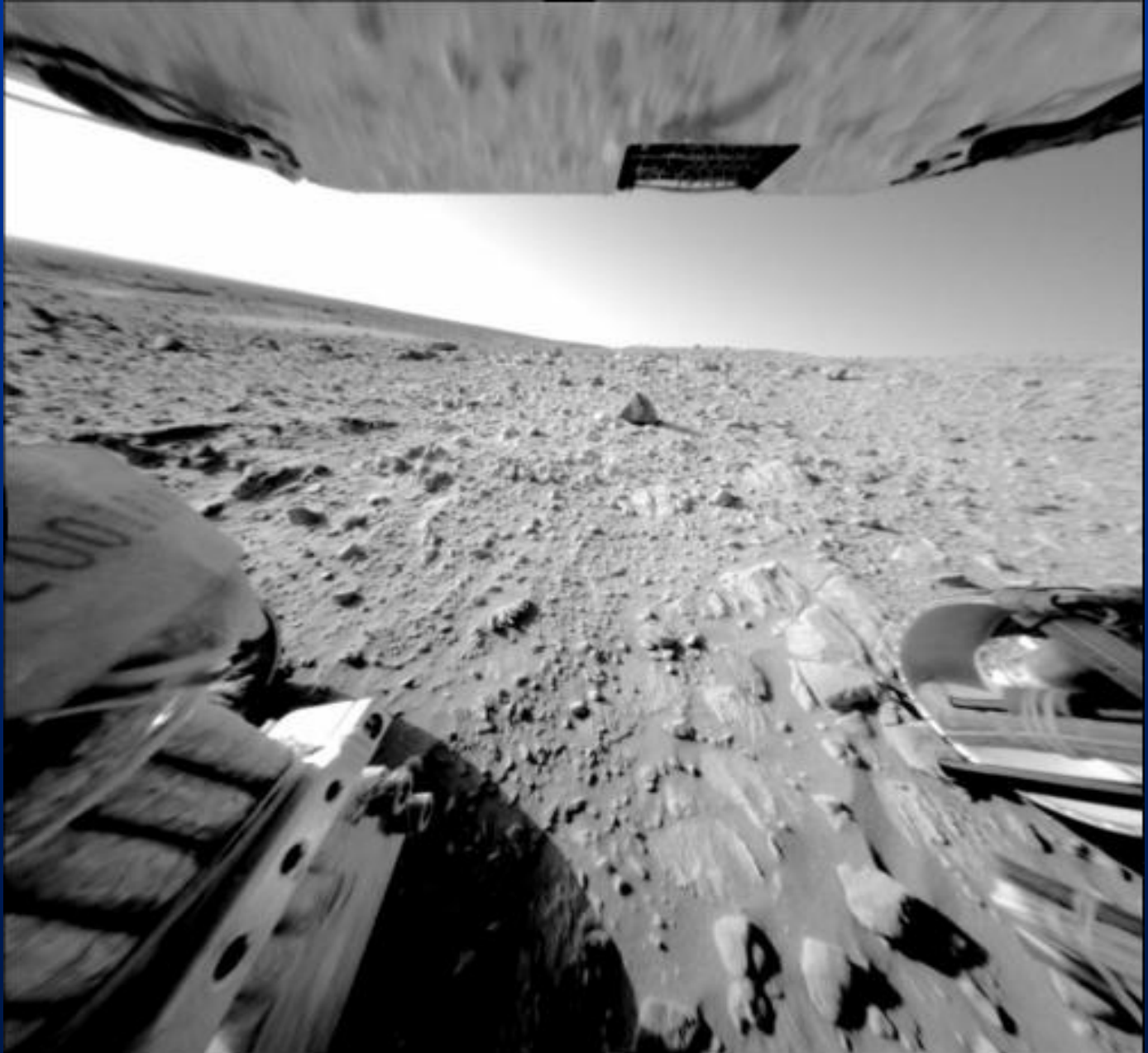


Cercheremo ancora l'acqua con il radar di Mars Express e con i rover, ma abbiamo già trovato segni inequivocabili della sua presenza

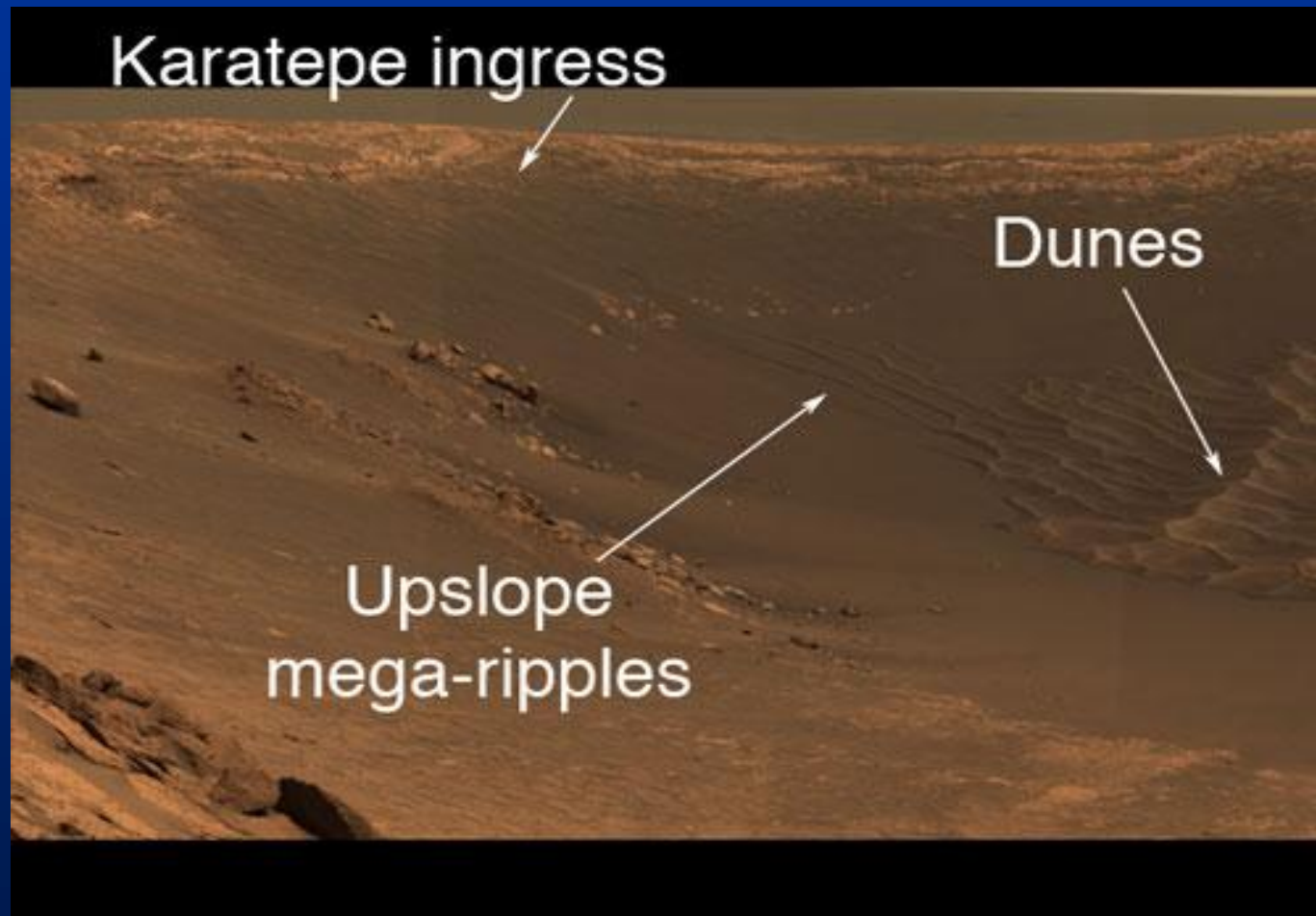


Se c'è stata acqua, allora anche la vita può essersi sviluppata in forme molto semplici od anche più complesse. Poi deve essere scomparsa seguendo il destino dell'acqua

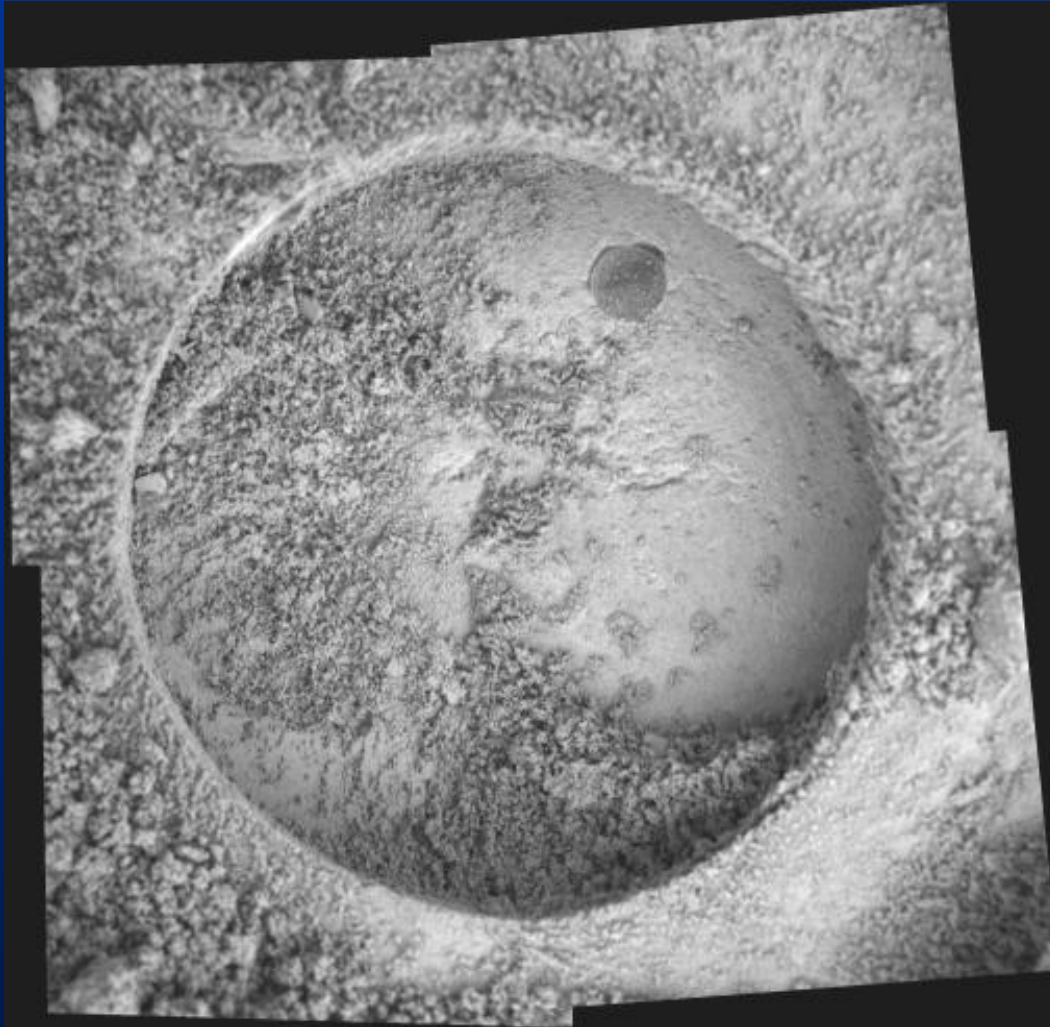
Il rover Spirit



Le missioni Usa- Il rover Opportunity



Il Rover Opportunity scava nel suolo di Marte



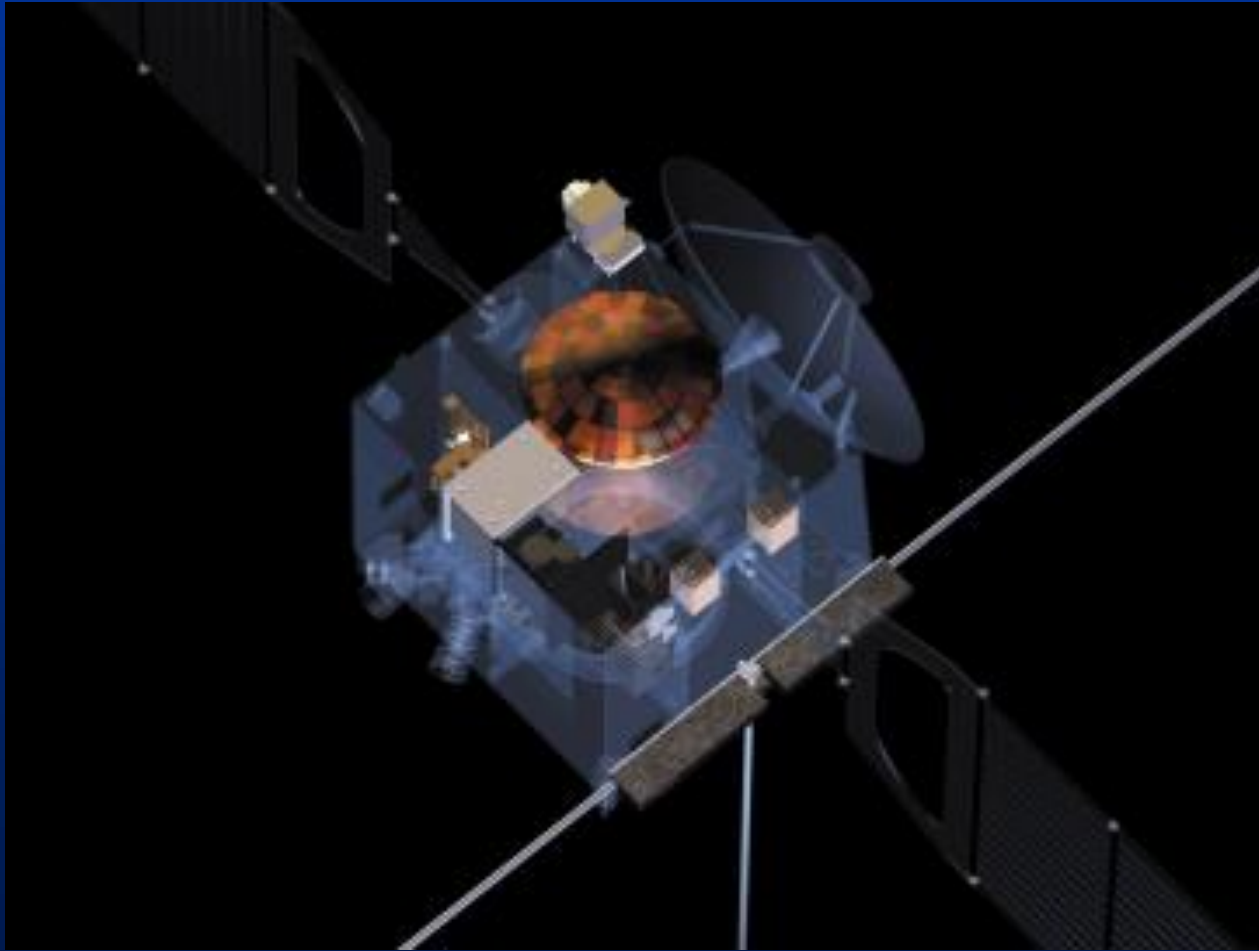
E' stata l'acqua a modellare le sferette di ematite scoperte [dal Rover Opportunity](#).

Lo dimostrano identiche sfere scoperte sulla [Terra](#), nel parco nazionale dello Utah. Le sfere scoperte sulla Terra hanno un diametro compreso fra 1 e 3 millimetri, simili a piccoli mirtilli, come quelle scoperte su [Marte](#).

Effetti del flusso d'acqua su Marte



La missione ESA-Mars Express

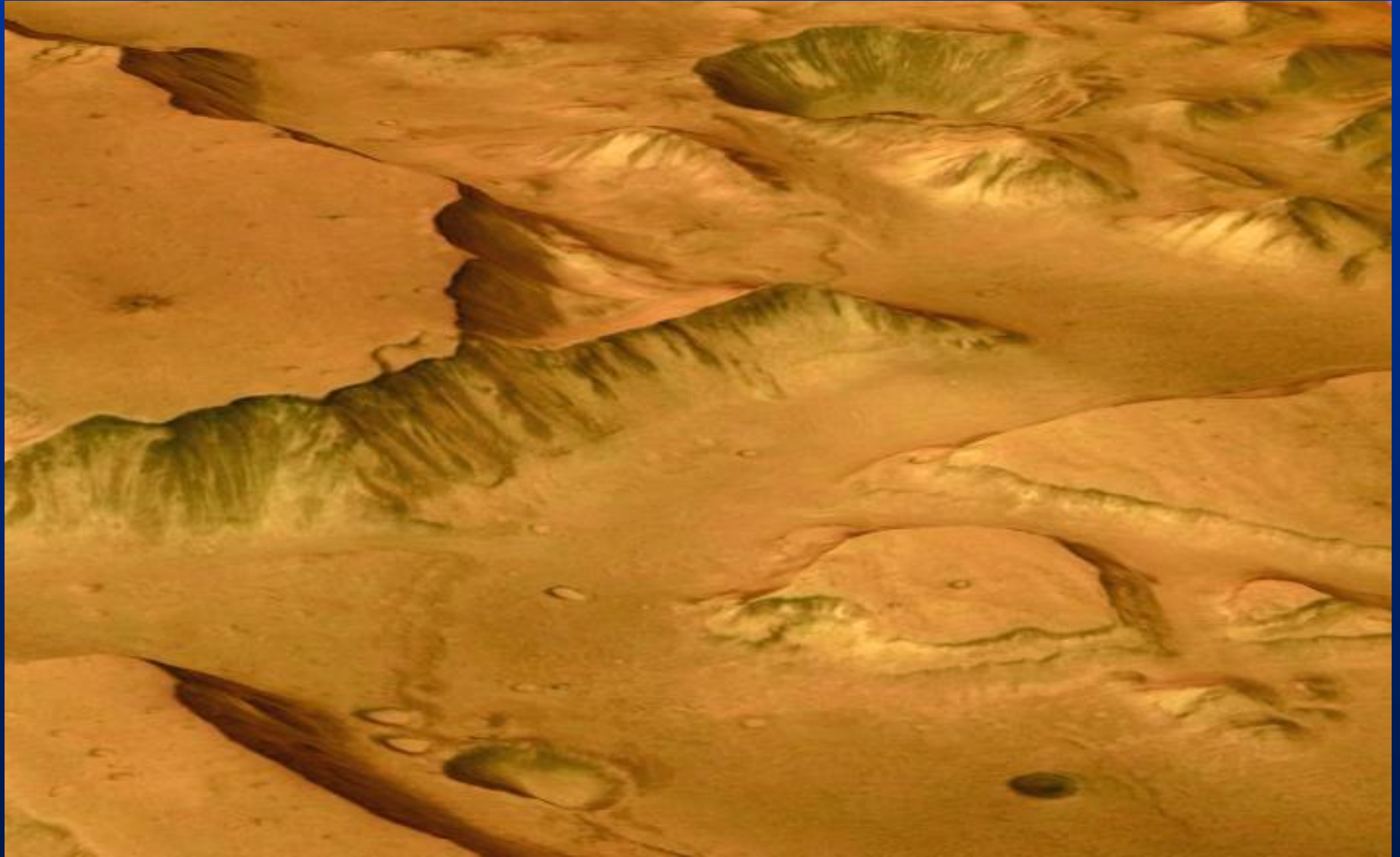


La missione ESA Mars Express La Olympus Caldera



La missione ESA Mars Express

La valle Marineris

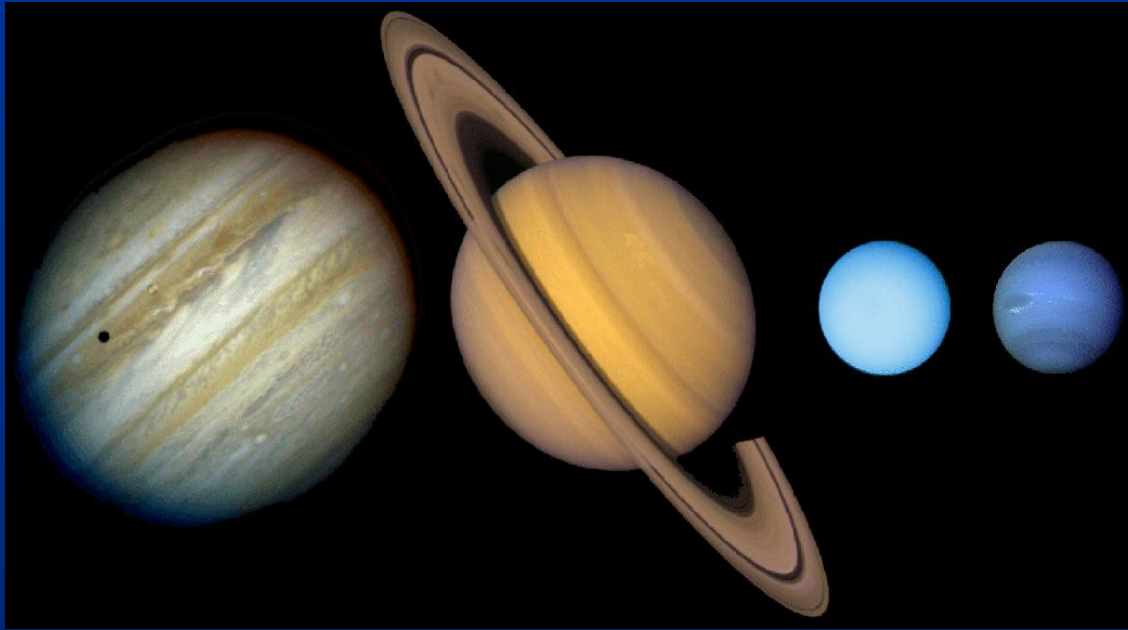


La missione ESA Mars Express

Il Polo Sud di Marte



I Pianeti Giganti



1. Lontani dal Sole
2. Molto più grandi dei pianeti terrestri
3. Con basse densità (tra $0,63$ e $1,67 \text{ gr/cm}^3$)
4. Non hanno superfici solide
5. Atmosfere che sovrastano le superfici
6. Forse hanno dei nuclei solidi
7. Un gran numero di satelliti

La velocità di fuga

Per un corpo di massa **m** soggetto al campo gravitazionale di un pianeta di massa **M** la velocità di fuga, se si trova ad una distanza **R** dal centro del pianeta, è:

$$V_f = (2 G M / R)^{1/2}$$

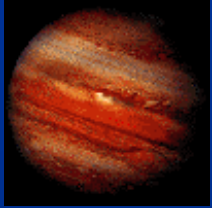
Dove **G**=costante di gravitazione

Se invece di un corpo abbiamo una particella di gas che costituisce la sua atmosfera allora la sua velocità termica

$$V_T = (2 kT / m)^{1/2}$$

dipende dalla temperatura **T** (**k**=costante di Boltzmann) e può essere maggiore della velocità di fuga. In questo caso la particella di gas sfugge alla forza gravitazionale del pianeta e si perde nello spazio interplanetario.

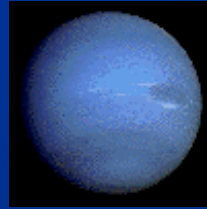
Le atmosfere dei pianeti giganti



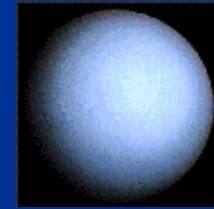
Giove



Saturno



Urano



Nettuno (non in scala)

I Pianeti Giganti non hanno una superficie così come i pianeti terrestri (superficie solida).

I Pianeti Giganti sono abbastanza massicci per trattenere nelle loro atmosfere anche gli elementi più leggeri. La composizione delle loro atmosfere riflette la composizione della nebulosa primordiale:

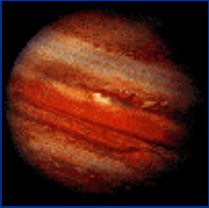
- **90 % Idrogeno H**

- **10 % Elio H_e**

Gli altri sono elementi composti come **CH₄ (metano)** ed **NH₃ (ammoniaca)** presenti in percentuali minime.

Solo gli strati più esterni delle atmosfere dei Pianeti Giganti con pressione variabile da 0,001 bars a circa 10 bars sono accessibili alle osservazioni.

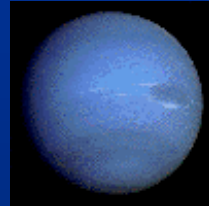
Atmosfere dei Pianeti Giganti-Tecniche di Osservazione



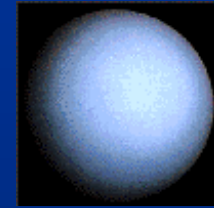
Giove



Saturno



Urano

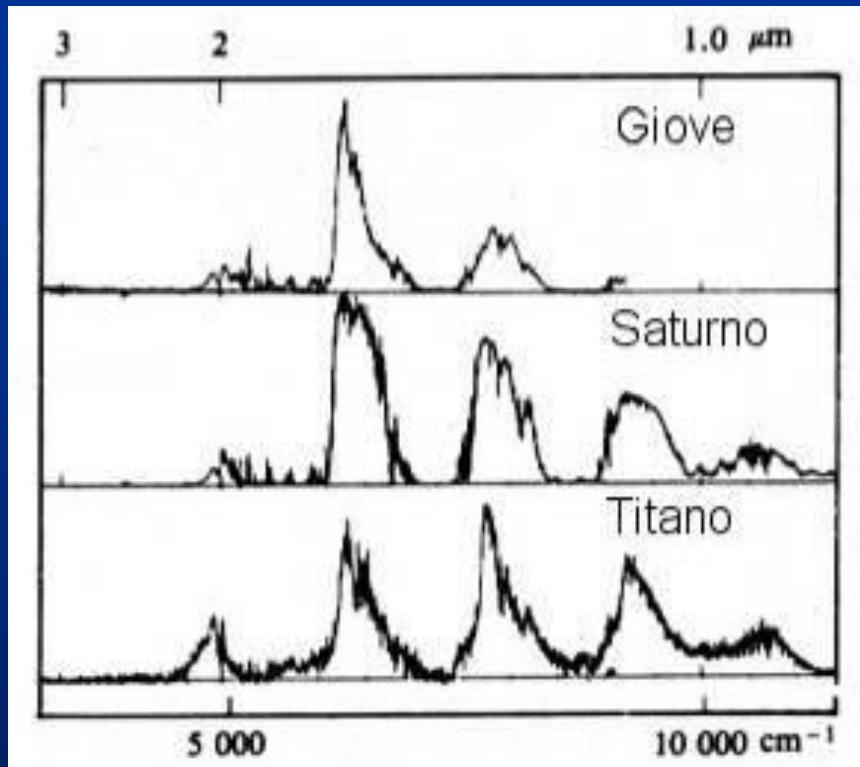


Nettuno (non in scala)

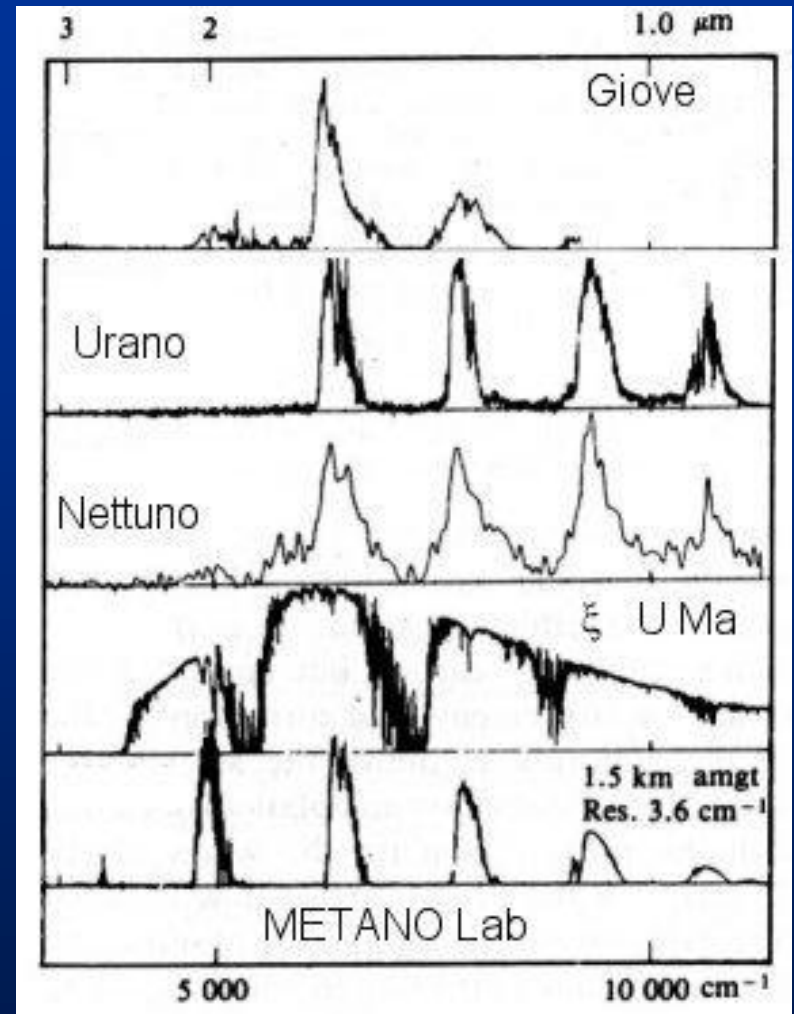
Le atmosfere dei Pianeti Giganti vengono studiate tramite:

- **La Spettroscopia** (che fornisce l'abbondanza chimica delle atmosfere)
- **L'osservazione diretta (Imaging)** da Terra o, in situ, con le sonde spaziali e permette di seguire l'evoluzione temporale delle strutture.

Atmosfere dei Pianeti Giganti-Spettroscopia

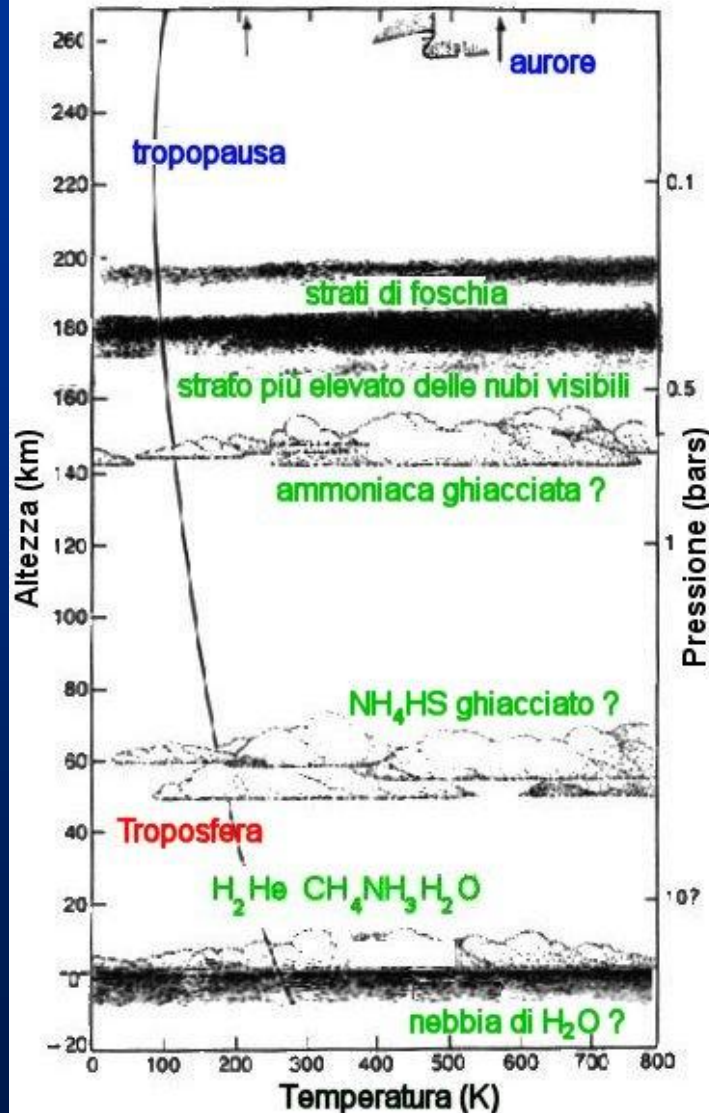


Spettri nel vicino infrarosso
che mostrano
**l'assorbimento nella
banda del metano**

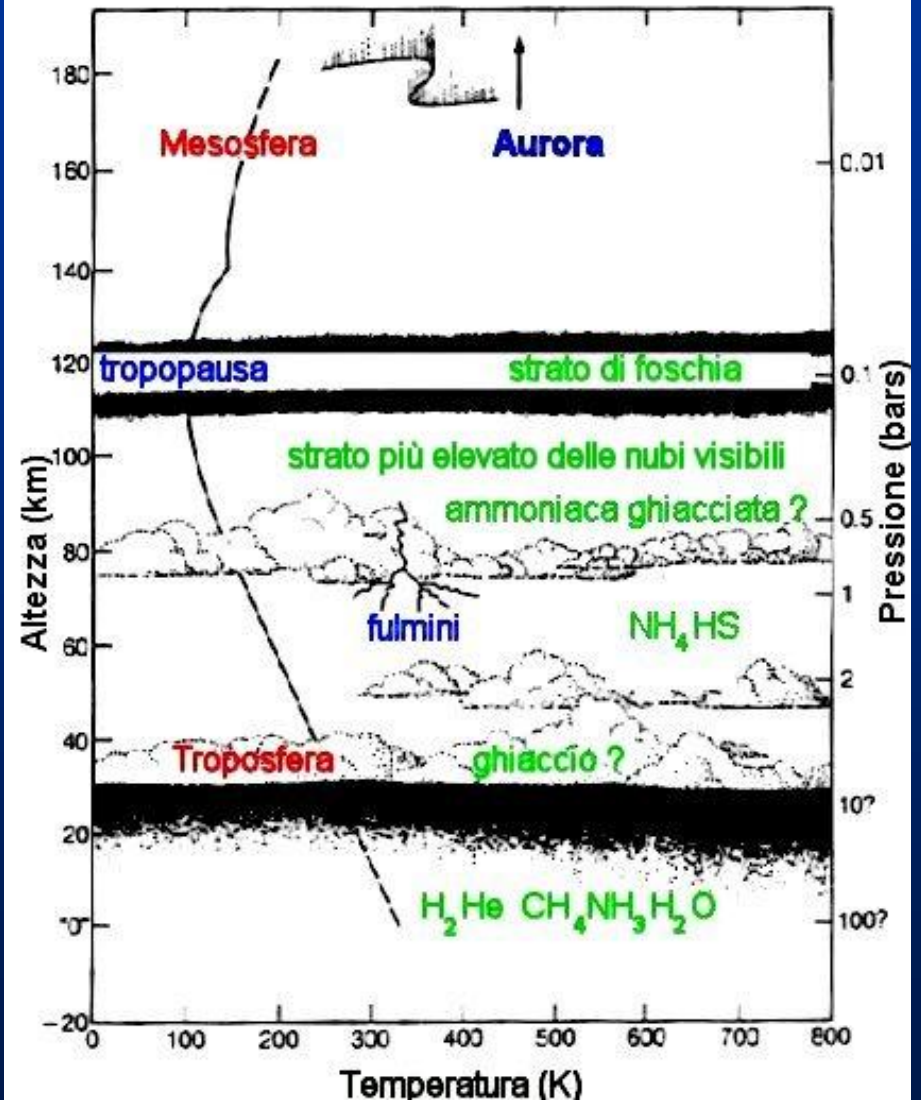


Atmosfere dei Pianeti Giganti

Struttura verticale dell'atmosfera di Saturno



Struttura verticale dell'atmosfera di Giove



Giove



Un'immagine di Giove osservato
da Terra con il Nord Optical
Telescope

Distanza dal Sole (U.A.) = 5,20

Distanza dal Sole (km) = 778 330 000

Periodo di rivoluzione (anni) = 11,862

Eccentricità = 0,048

Inclinazione rispetto all'eclittica = 1°18'

Velocità orbitale media (km/sec) = 13,06

Massa (Terra = 1) = 317,938

Raggio equatoriale (km) = 71 492

Raggio equatoriale (Terra = 1) = 11,209

Densità media (Terra = 1) = 0,24

Ellitticità = 0,0694

Accelerazione di gravità (Terra = 1) = 2,34

Velocità di fuga (km/sec) = 59,6

Periodo di rotazione = 9h 50m 28s

Periodo di rotazione = 9,9 ore

Inclinazione sul piano dell'orbita = 3,12°

Albedo = 0,52

Magnitudine visuale = -2,10

Numero satelliti = 63

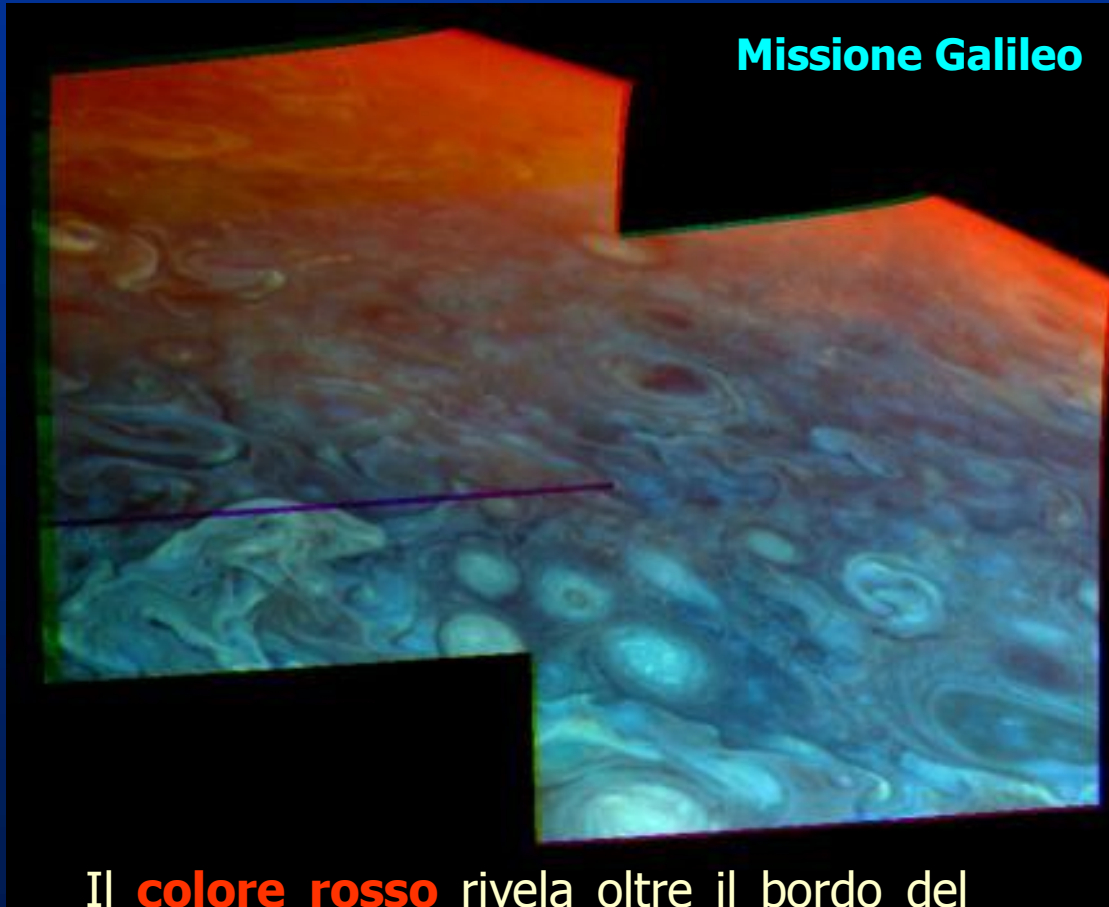
Noto sin dall'antichità

L'atmosfera di Giove

Pressione superficiale	» 1000 bars
Temperatura ad 1 bar	-108 C
Temperatura ad 0,1 bar	-161 C
Densità superficiale ad 1 bar	~ 0,16 kg/m ³
Velocità dei venti	150 m/s a < 30 gradi di latitudine 40 m/s a > 30 gradi di latitudine
Peso molecolare medio	2,2 gr/mole
Composizione	H ₂ 89,8 %, He 10,2 %
in ppm	CH ₄ 3000, NH ₃ 260, C ₂ H ₆ (etano) H ₂ O 4
Aerosol	Ammoniaca ghiacciata, ghiaccio

Foschia nell'atmosfera di Giove

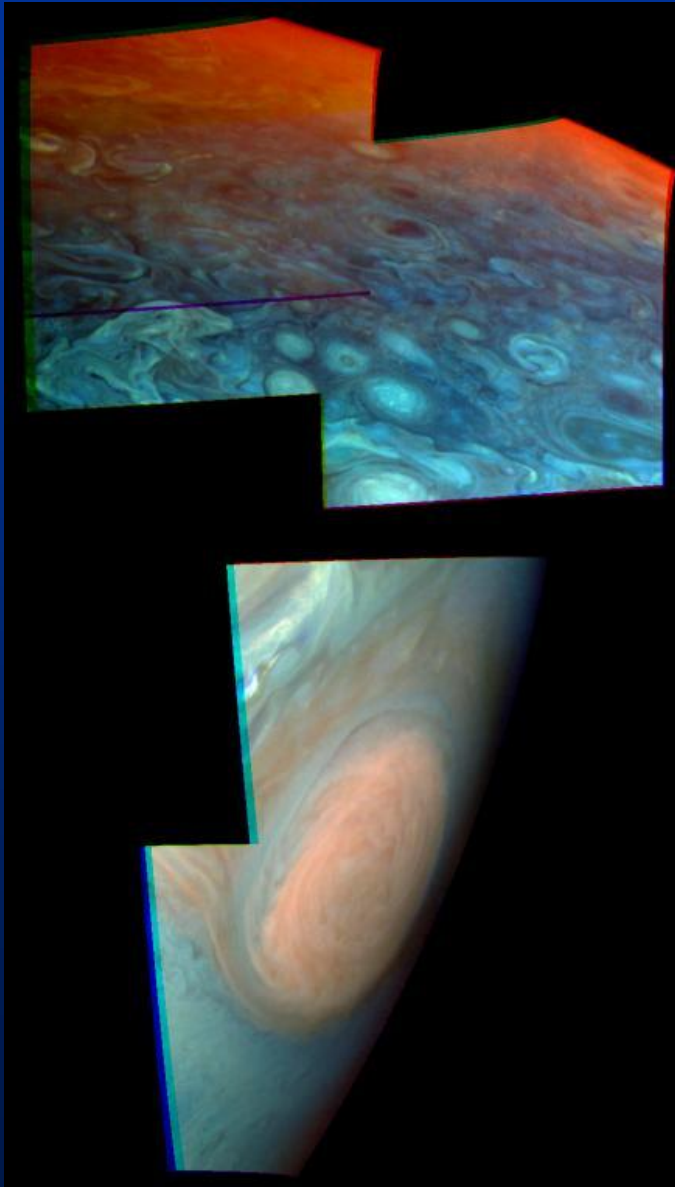
Dettagli dell'atmosfera di Giove ottenuti dalle osservazioni della sonda Galileo



I "falsi" colori di questo mosaico costruito con le immagini della sonda Galileo servono a mettere in evidenza le strutture (nubi) presenti nella zona polare dell'atmosfera di Giove. Il **Rosso** corrisponde ad una immagine nel vicino infrarosso dove il metano è fortemente assorbito fornisce informazioni sulle **nubi più alte**. Il **verde** corrisponde ad una banda più "debole" del metano mentre il **blu** è legato ad un canale al quale l'"atmosfera" di Giove è trasparente.

Il **colore rosso** rivela oltre il bordo del pianeta, **nella zona polare**, la foschia che riempie gli strati più alti dell'atmosfera di Giove.

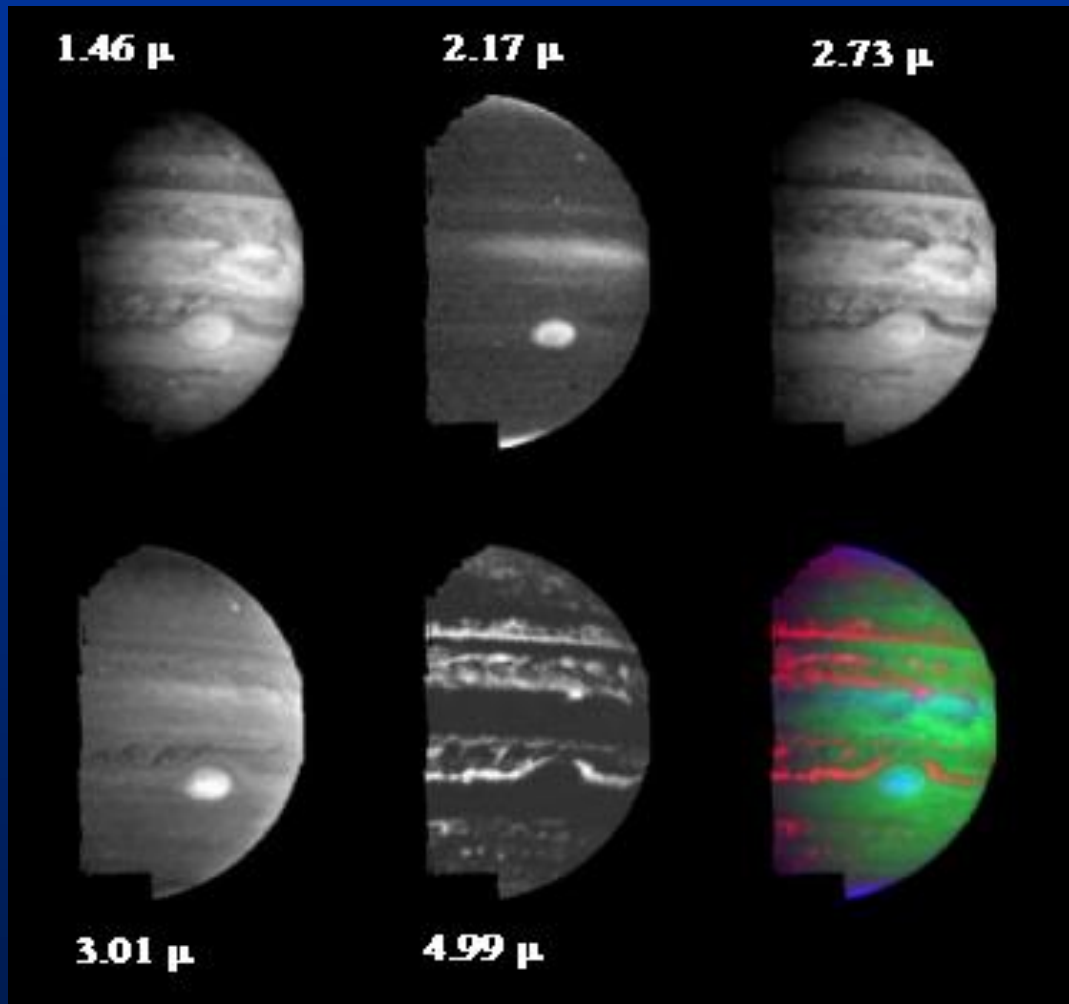
Foschia nell'atmosfera di Giove



Il confronto dell'immagine del bordo di Giove con quella della Grande Macchia Rossa situata a latitudini più basse mostra come alle basse latitudini pure osservando la parte di atmosfera sul bordo del pianeta **NON si osserva foschia negli strati alti dell'atmosfera di Giove.**

Missione Galileo

Nubi nell'atmosfera di Giove



Missione Galileo

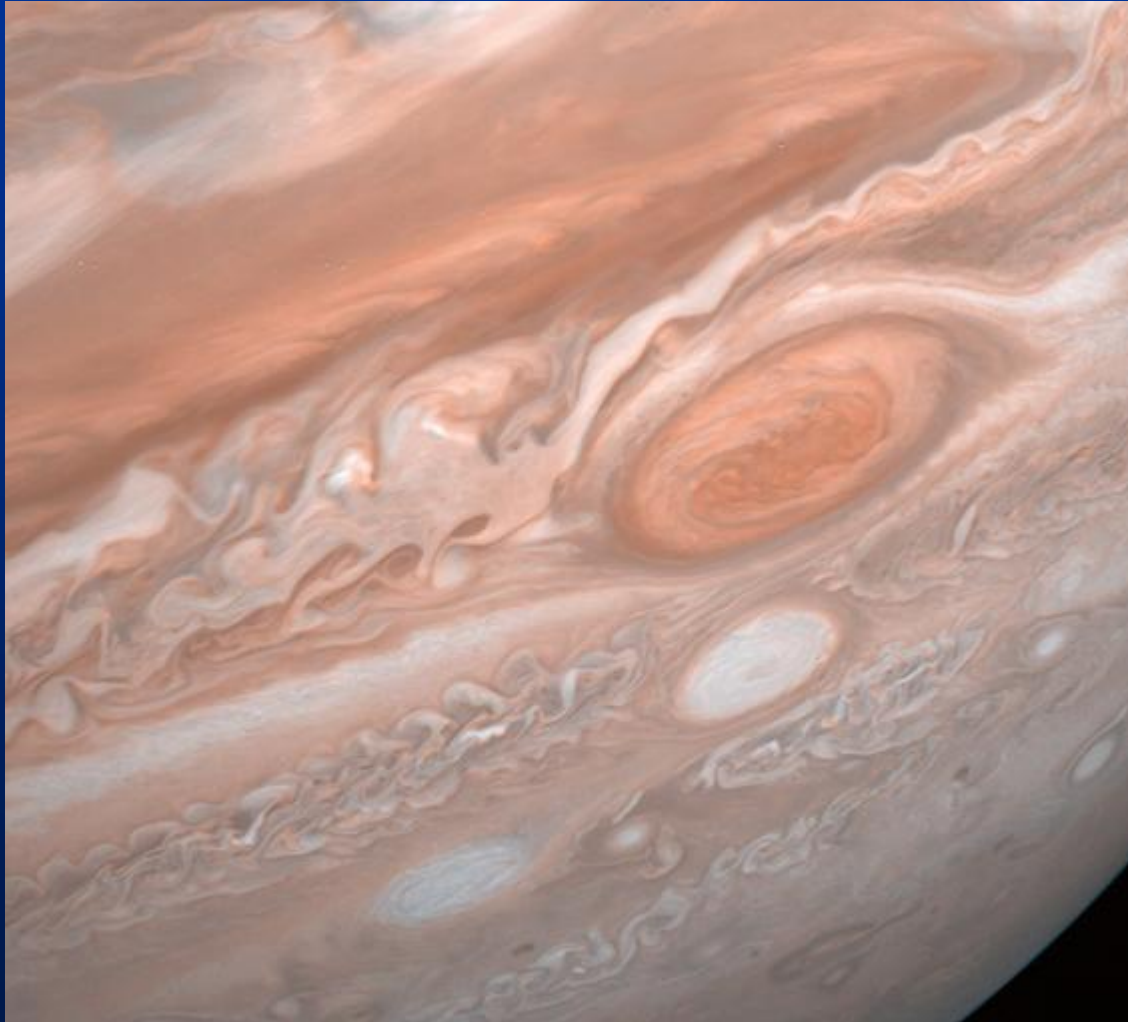
Le **immagini a 1,46 m e 2,73 m** mostrano nubi profonde con pressione pari a circa 3 atmosfere.

L'immagine a 2,17 m mostra solo le nubi e le foschie più alte a parte la Grande Macchia Rossa.

L'immagine a 3,01 m scava ancora più in profondità mentre quella a 4,99 m mostra il calore degli strati visibili più profondi di Giove.

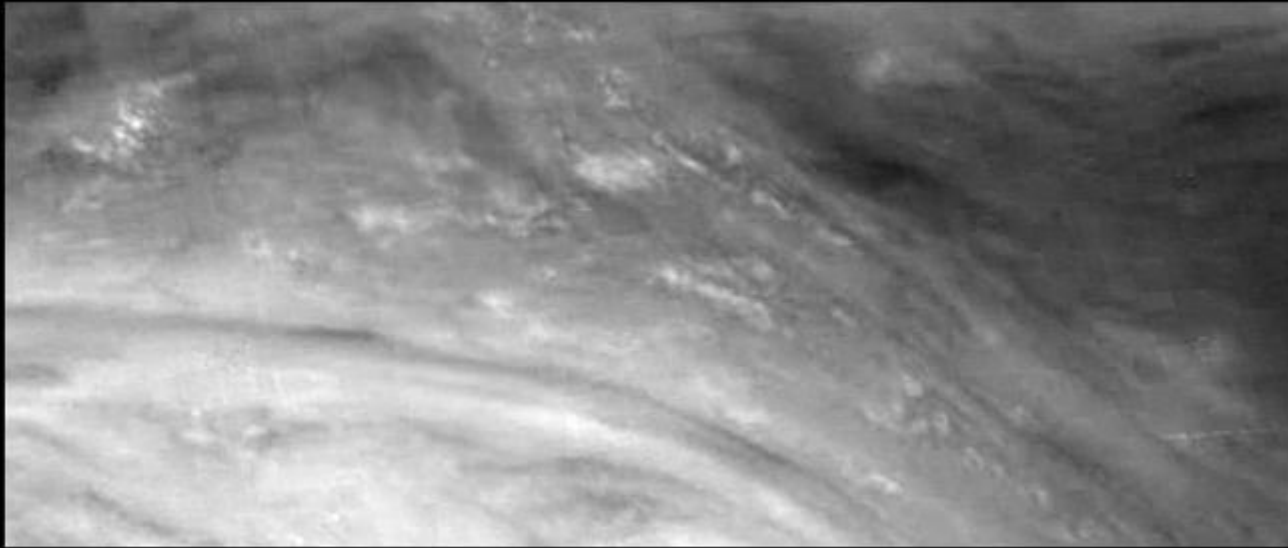
L'ultima **immagine, in basso a destra**, a colori è una composizione delle altre a diverse lunghezze di onda.

La Grande Macchia Rossa e la Macchia Ovale Bianca

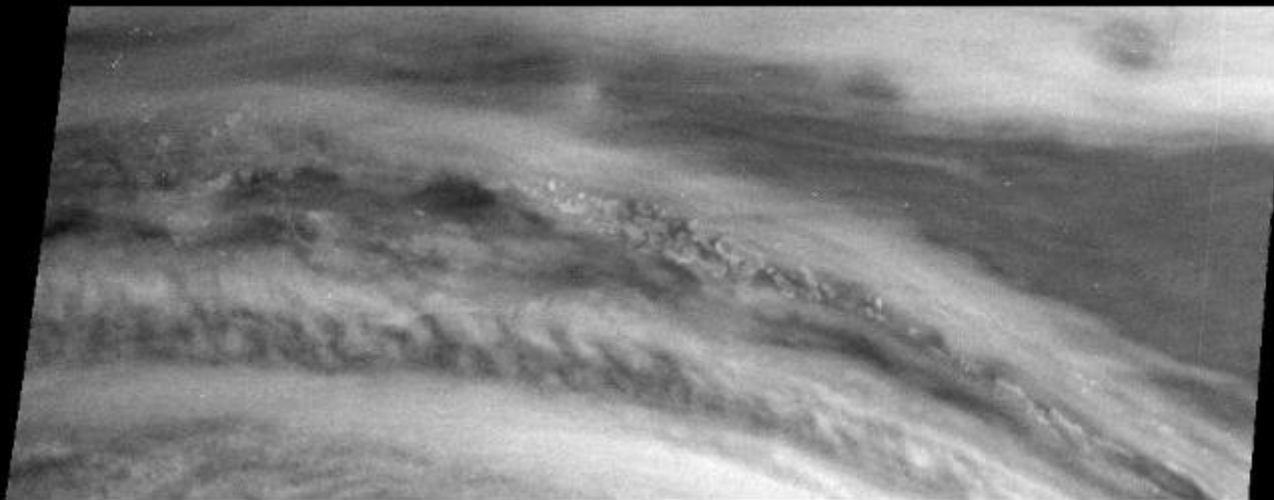


Missione Galileo

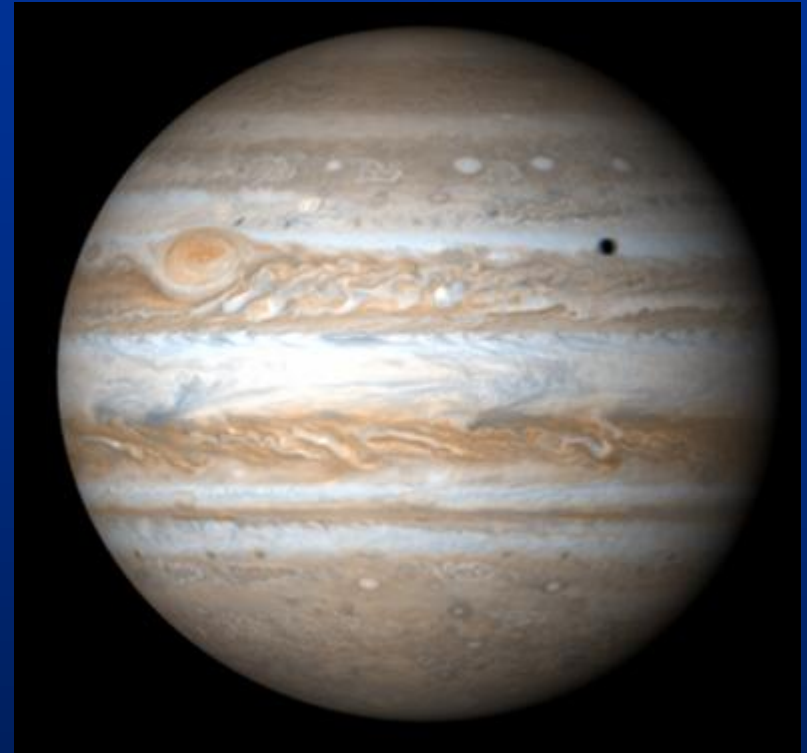
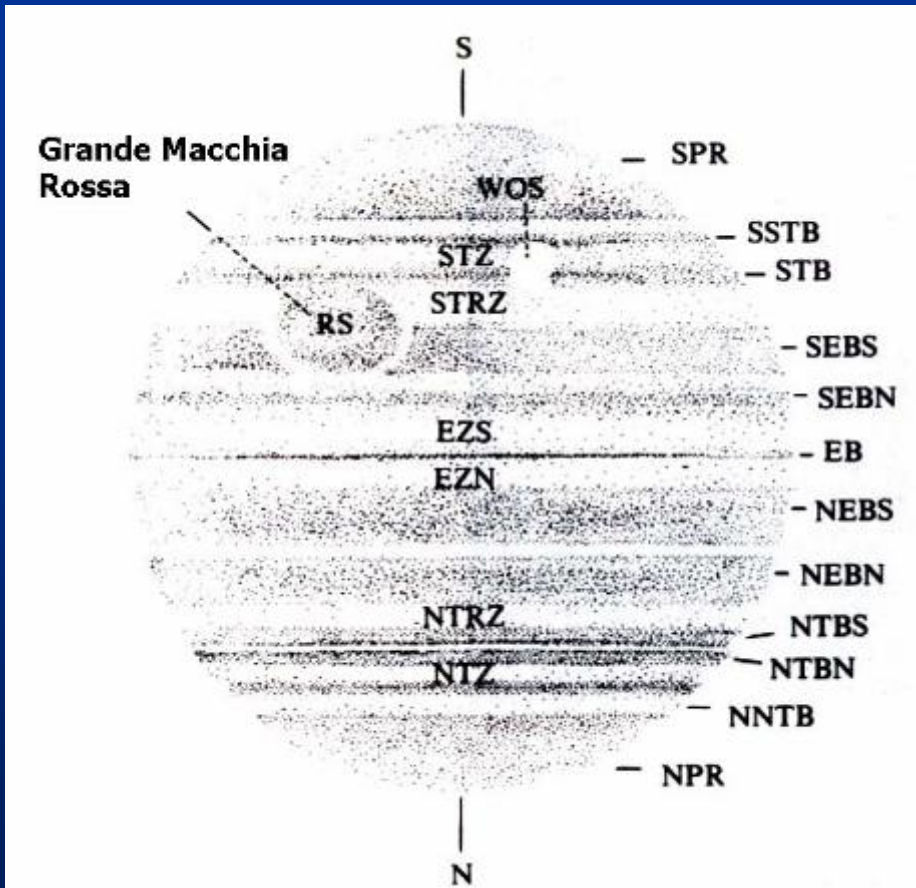
La Grande Macchia Rossa dopo 4 mesi



Missione Galileo

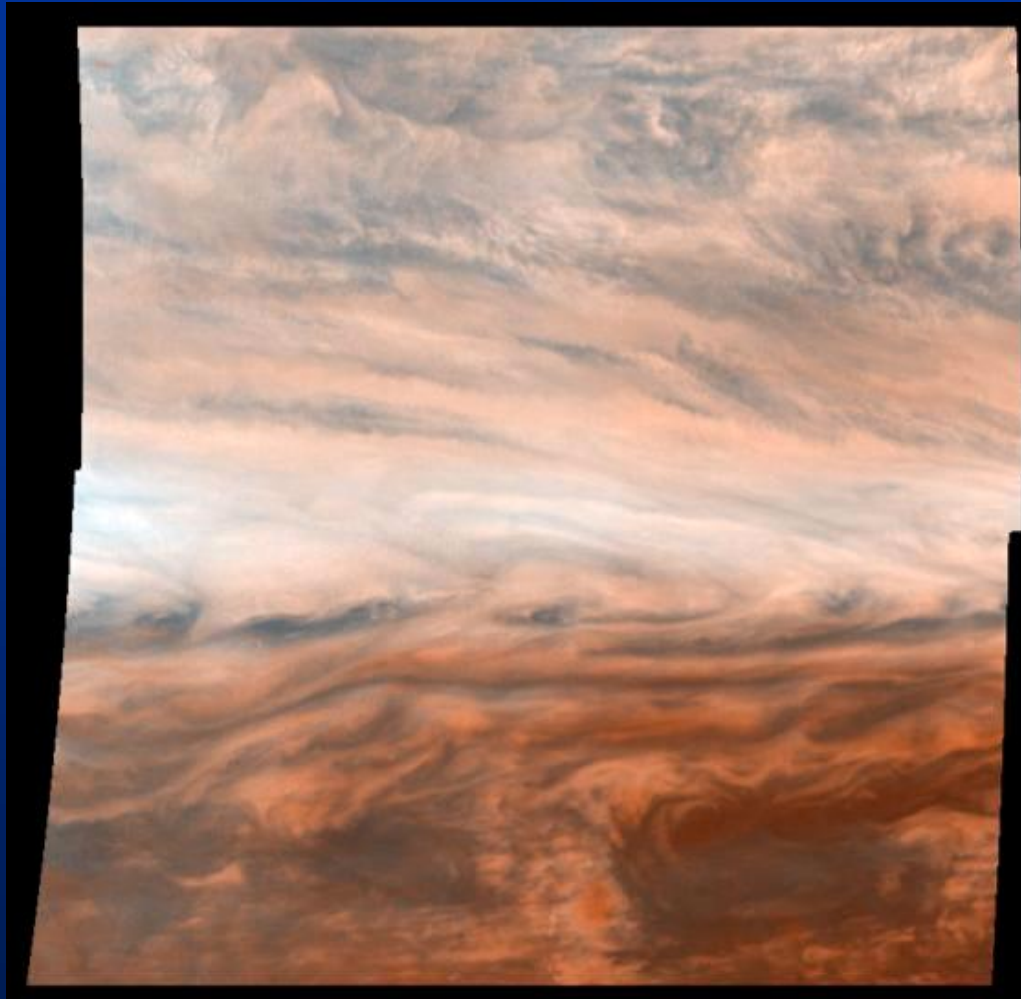


Atmosfera suddivisa in "fasce" e "zone"



Le **zone** sono regioni **anticicloniche (correnti ascendenti)** le fasce, al contrario, sono regioni **cicloniche (correnti discendenti)** poi la intensa forza di Coriolis le stira lungo la direzione orizzontale.

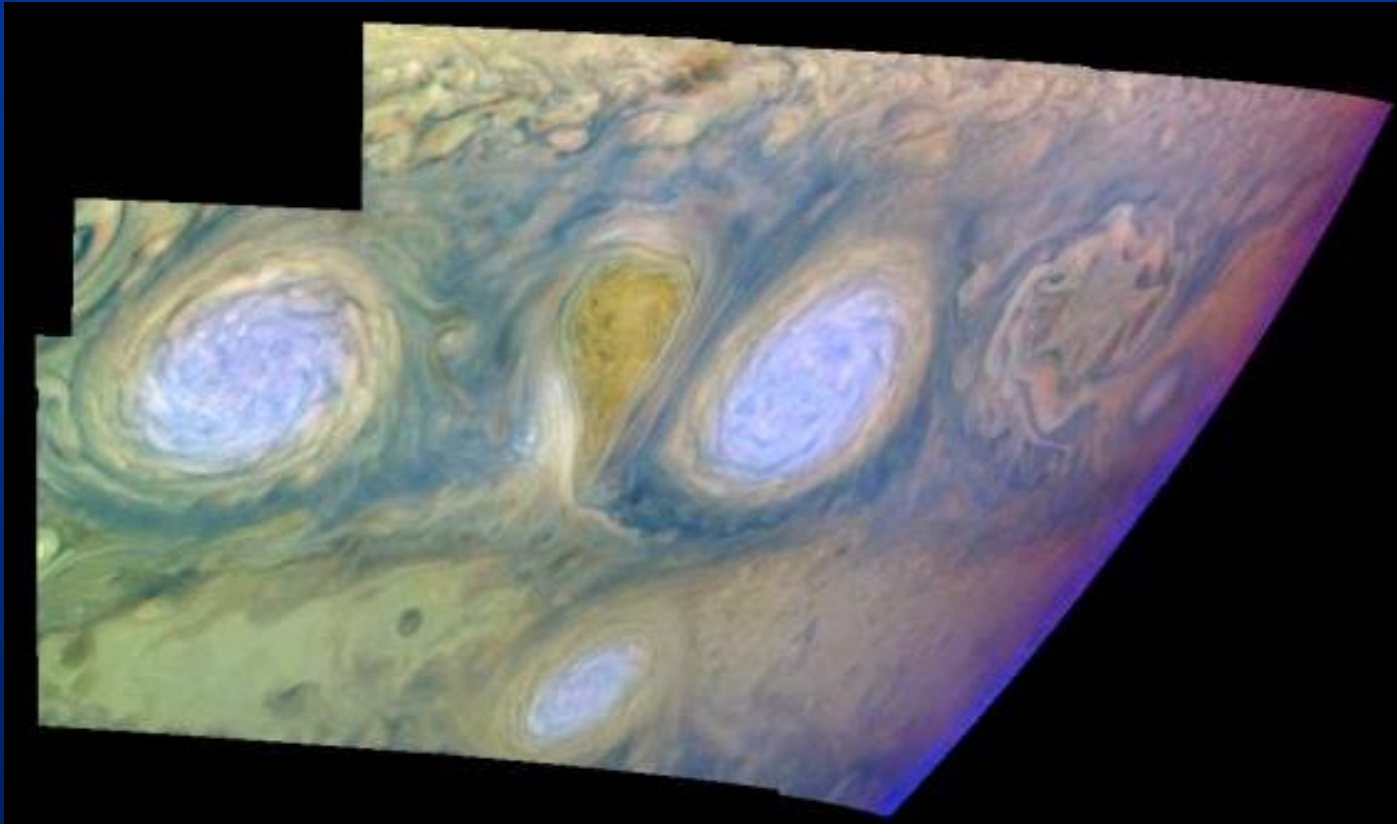
Atmosfera al confine tra "fasce" e "zone"



Missione Galileo

Il mosaico racchiude una porzione tra -13 e + 3 gradi centrata ad una longitudine di 282 gradi Ovest. La risoluzione è di alcune decine di km

Vortici



Missione Galileo

Questo sistema di vortici si trova a sud della GMR. Qui sono mostrati due dei tre grandi "Ovali Bianchi" che sopravvivono in questa regione almeno da 70 anni ! L'Ovale bianco ha un raggio di circa 9000 km e ruota in senso antiorario come l'altra area ciclonica e la GRM.

Saturno



Un'immagine di Saturno osservato
da Terra con il Nord Optical
Telescope

Distanza dal Sole (U.A.) = 9,5538

Distanza dal Sole (km) = 1 429 400 000

Periodo di rivoluzione (anni) = 29,459

Eccentricità = 0,056

Inclinazione rispetto all'eclittica = 2° 29'

Velocità orbitale media (km/sec) = 9,67

Massa (Terra=1) = 95,181

Raggio equatoriale (km) = 60 268

Raggio equatoriale (Terra=1) = 9,449

Densità media (Terra=1) = 0,13

Accelerazione di gravità (Terra=1) = 0,93

Velocità di fuga (km/sec) = 35,49

Periodo di rotazione = 10h 13m 23s

Periodo di rotazione = 10,7 ore

Inclinazione sul piano dell'orbita = 26,73°

Albedo = 0,47

Magnitudine visuale = -0,67

Numero satelliti = 50

Noto sin dall'antichità

Saturno il Pianeta degli Anelli



La caratteristica principale di Saturno, anche se presente pure in tutti gli altri pianeti giganti, sono gli anelli che lo circondano.

Saturno il Pianeta degli Anelli confronto con la Terra



Saturno visto dalla sonda Cassini

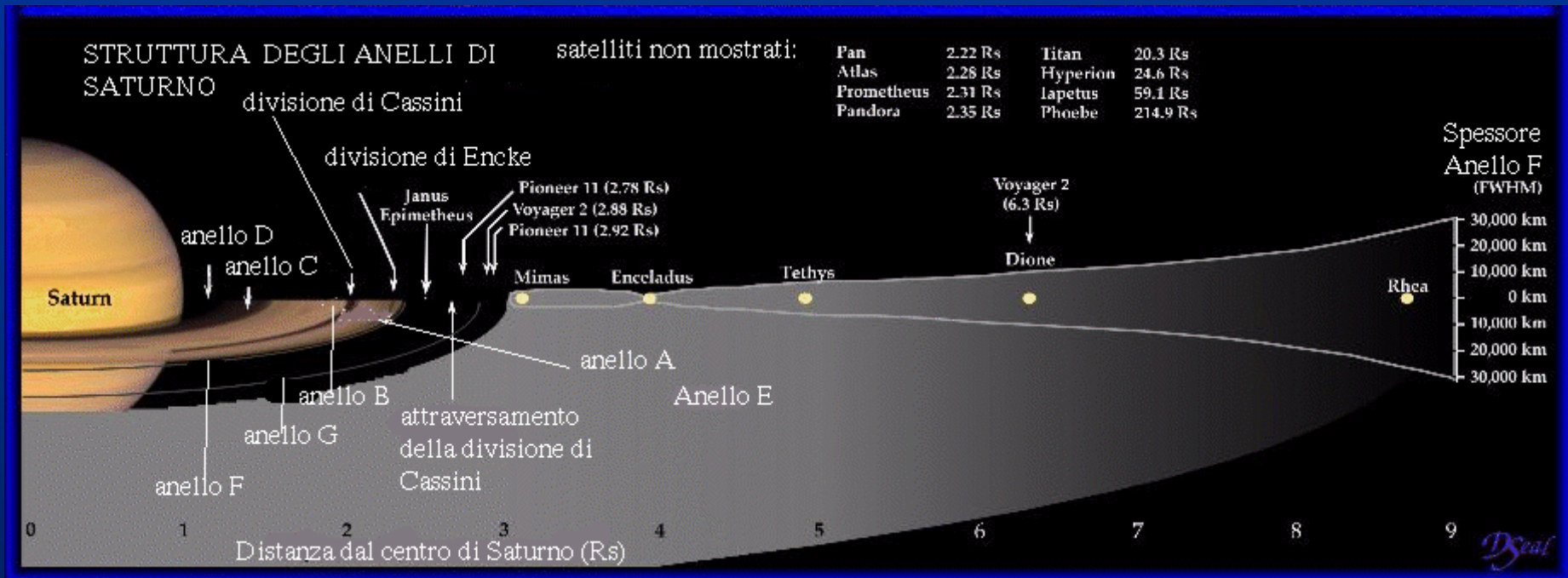


Una delle immagini di Saturno ripreso dalla sonda Cassini in avvicinamento al sistema di saturno il **27 febbraio 2004 da una distanza di circa 70 milioni di km.**

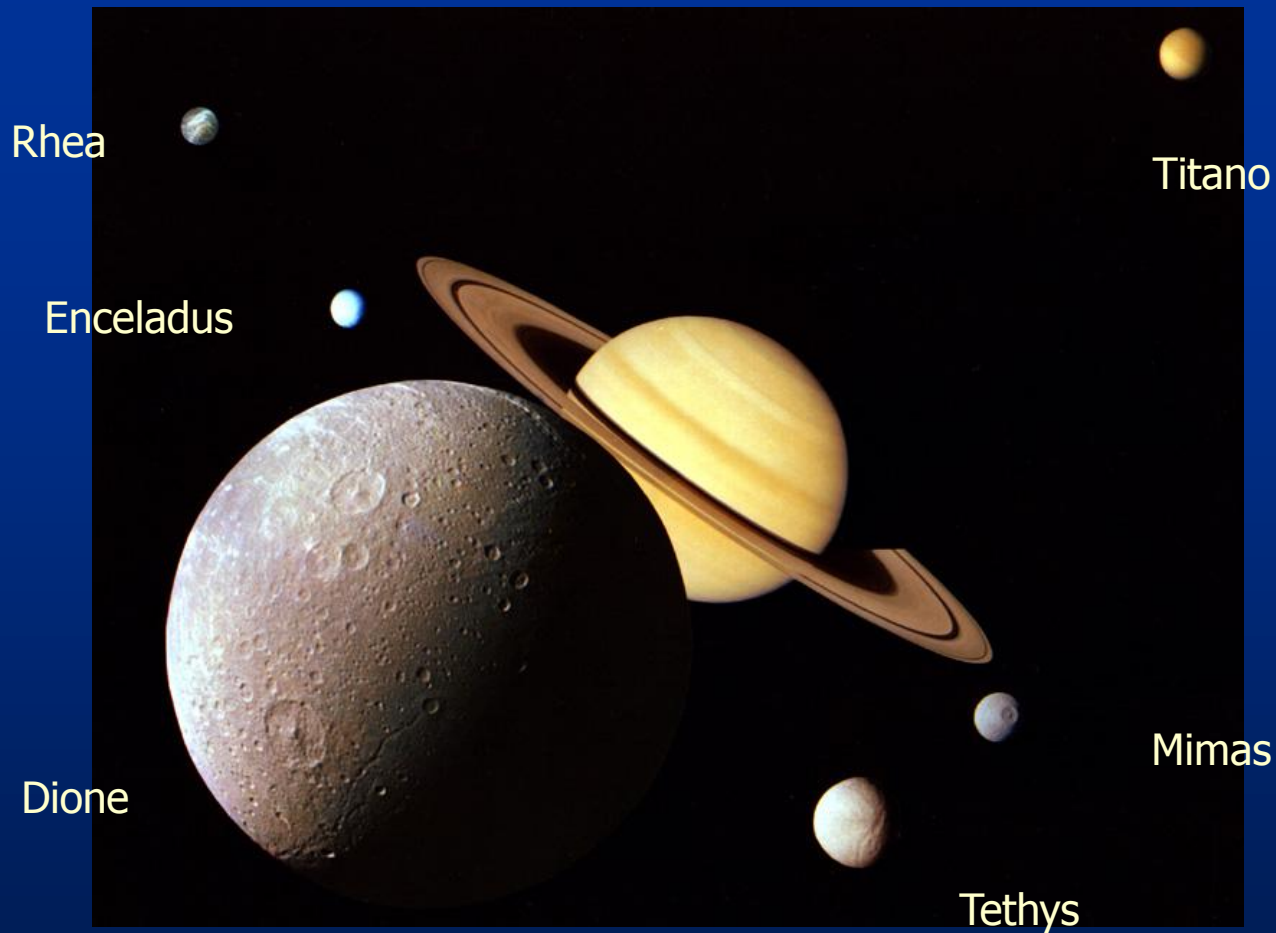
Saturno il sistema degli anelli

Anello (nome)	Distanza (R_{Saturno})	Larghezza (km)	Spessore	Massa	Satellite Pastore
D	1,11-1,24	7500	200000	?	--
C Anello scuro	1,24-1,52	17500	?	$1,1 \times 10^{21}$	--
Divisione di Maxwell	1,45	270	?	?	--
B	1,52-1,95	25500	0,1-1	$2,8 \times 10^{22}$	--
Divisione di Cassini	1,95-2,02	4700	?	$5,7 \times 10^{20}$	--
A	2,02-2,27	14600	0,1-1	$6,2 \times 10^{21}$	Prometheus ed Atlas
Divisione di Encke	2,214	325	?	?	--
Divisione di Keeler	2,263	35	?	?	--
F	2,324	30-500	0,01-1	?	Pandora, Janus ed Epimetheus
G	2,75-2,88	8000	100-1000	$6,2 \times 10^9$	Mimas
E	3-8	300000	1000	--	Enceladus

Saturno il sistema degli anelli



Saturno ed alcuni dei suoi satelliti



Anche Saturno ha un gran numero di satelliti di tutte le dimensioni che orbitano attorno a lui.

L'atmosfera di Saturno

Pressione superficiale	» 1000 bars
Temperatura ad 1 bar	-139 C
Temperatura ad 0,1 bar	-189 C
Densità superficiale ad 1 bar	~ 0,19 kg/m ³
Velocità dei venti	400 m/s a < 30 gradi di latitudine 150 m/s a > 30 gradi di latitudine
Peso molecolare medio	2,07 gr/mole
Composizione	H ₂ 96,3 %, He 3,25 %
in ppm	CH ₄ 4500, NH ₃ 125, C ₂ H ₆ (etano) 7
Aerosol	Ammoniaca ghiacciata, ghiaccio

Titano-Satellite di Saturno

Parametri orbitali e dati fisici

• Scoperto da	C. Huygens
• Data della scoperta	1655
• Massa (kg)	$1,35 \cdot 10^{23}$
• Massa (Terra = 1)	$2,259 \cdot 10^{-2}$
• Raggio equatoriale (km)	2,575
• Raggio equatoriale (Terra = 1)	$4,0373 \cdot 10^{-1}$
• Densità media (gr/cm ³)	1,88
• Distanza media da Saturno (km)	1 221 850
• Periodo di rotazione (giorni)	15,9454
• Periodo orbitale (giorni)	15,9454

Titano-Satellite di Saturno

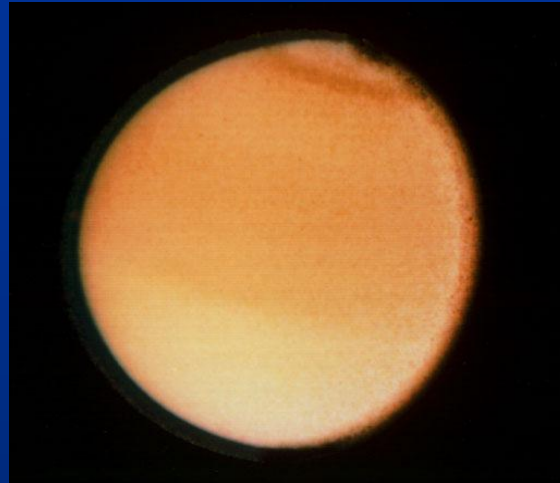
Parametri orbitali e dati fisici

- **Velocità di fuga (km/sec)** 2,65
- **Albedo** 0,21
- **Magnitudine visuale (Vo)** 8,28
- **Temperatura media** -178°C
- **Pressione atmosferica (bars)** 1,5

Titano visto
da HST



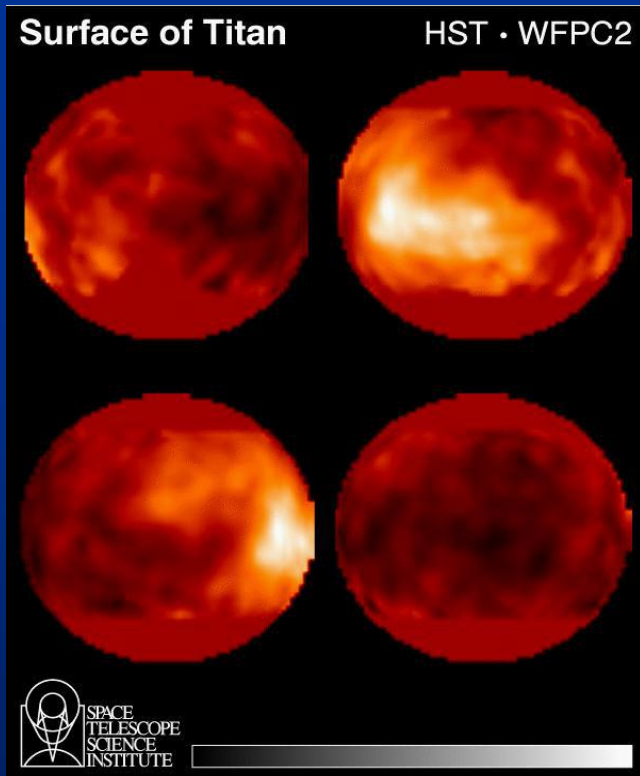
Titano-Satellite di Saturno



Titano è il più grande dei satelliti di Saturno, supera in grandezza il pianeta Mercurio ma è, tra i satelliti, più piccolo di Ganimede (satellite di Giove). **Venne scoperto da Huygens nel 1655.** Le immagini del Voyager 1 mostrano delle leggere variazioni di colore tra l' emisfero nord (più scuro e più rosso) e sud (di splendore uniforme).

Solo con le osservazioni infrarosse effettuate con il Telescopio Spaziale (HST) è stato possibile catturare dei dettagli della sua superficie.

Titano-Satellite di Saturno



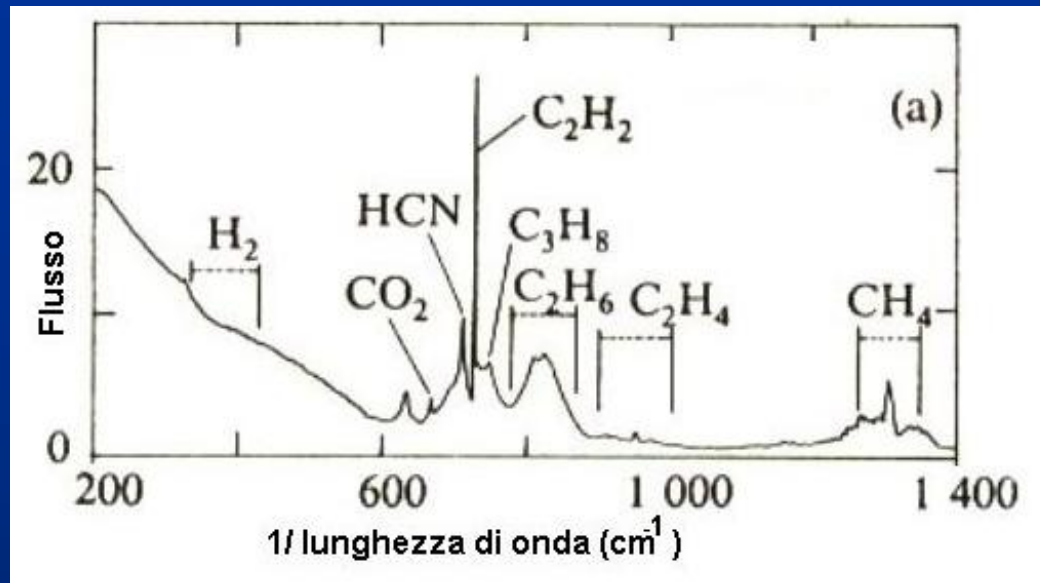
Solo con le osservazioni infrarosse effettuate con il **Telescopio Spaziale (HST)** è stato possibile catturare dei dettagli della superficie.

È **costituito** per metà di ghiaccio e per l'altra metà di **roccia**.

La sua **densità** ($1,88 \text{ gr/cm}^3$) infatti è maggiore di quella di Saturno ($0,69 \text{ gr/cm}^3$) e di quella media degli altri satelliti ($1,0\text{-}1,4 \text{ gr/cm}^3$) indicando l'insolita presenza di un **nucleo roccioso**.

Dalla superficie verso l'interno si trovano diversi **strati ghiacciati** sino, probabilmente, a 3400 km di profondità mentre il nucleo interno dovrebbe essere più caldo.

Titano-L'atmosfera



(a) Spettro medio sul disco di Titano

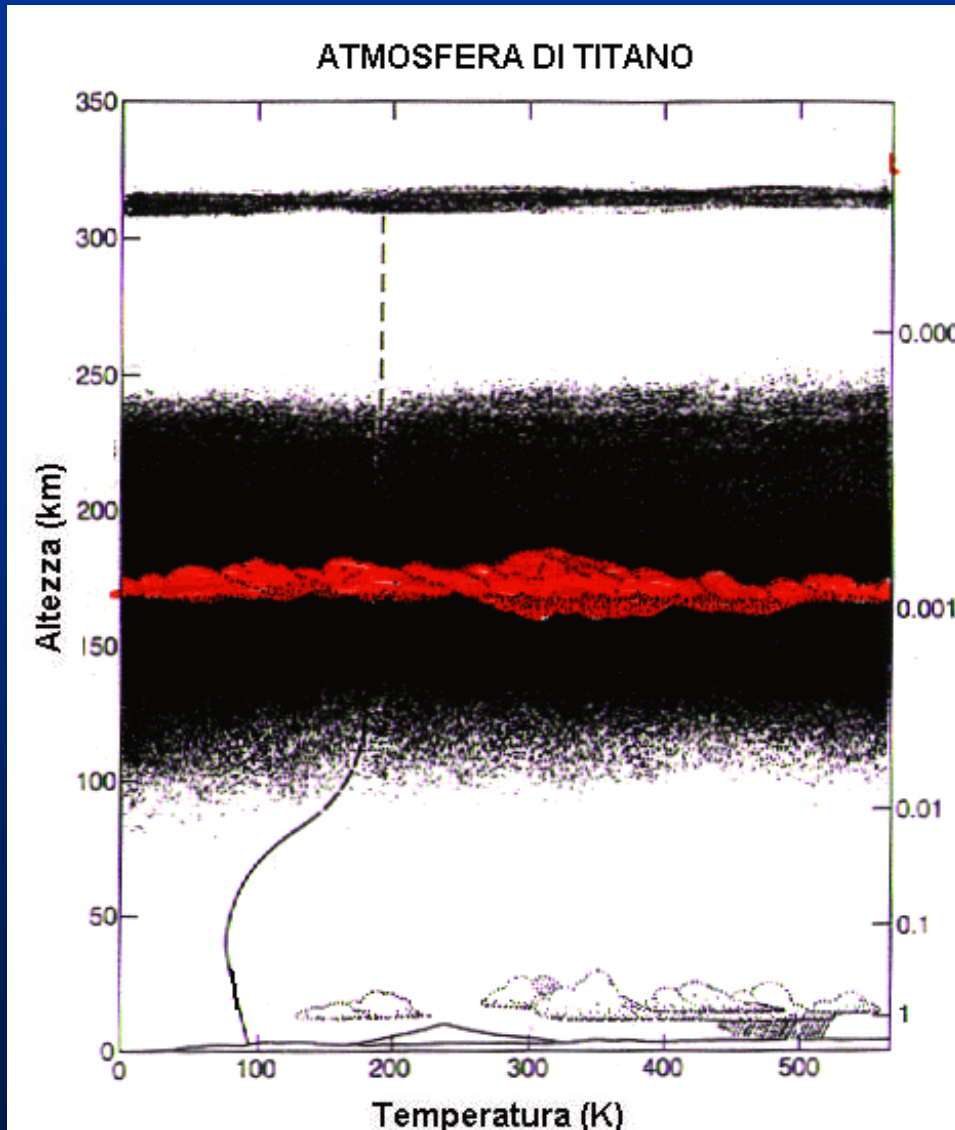
Titano è l'unico tra i satelliti del Sistema Solare ad avere un'**atmosfera** composta principalmente di **azoto**, con non più del 6 % di argon e piccole percentuali di metano.

La predominanza di azoto riflette la composizione della Nebulosa Primordiale da cui si sono formati i Pianeti del Sistema Solare.

Avendo una velocità di fuga di 2,5 km/sec è in grado, date le basse temperature atmosferiche, di trattenere gli elementi volatili della sua atmosfera.

Nella sua atmosfera si notano pure **tracce di idrocarbonati (etano, acetilene, propano)** che, alla luce del Sole, si presume vengano distrutti così da formare uno strato di nebbia analogo a quello che sovrasta le nostre grandi città nelle giornate di smog.

Titano-L'atmosfera



L'atmosfera è costituita da **due strati di nubi** a circa 200 e 300 km di altezza dalla sua superficie. La chimica complessa che vi si sviluppa è la probabile causa del suo colore arancione.

Alla superficie la pressione è di 1.5 bar (50 % maggiore di quella della Terra) mentre la temperatura superficiale è circa di -179°C , per poi risalire a -73°C circa nella stratosfera.

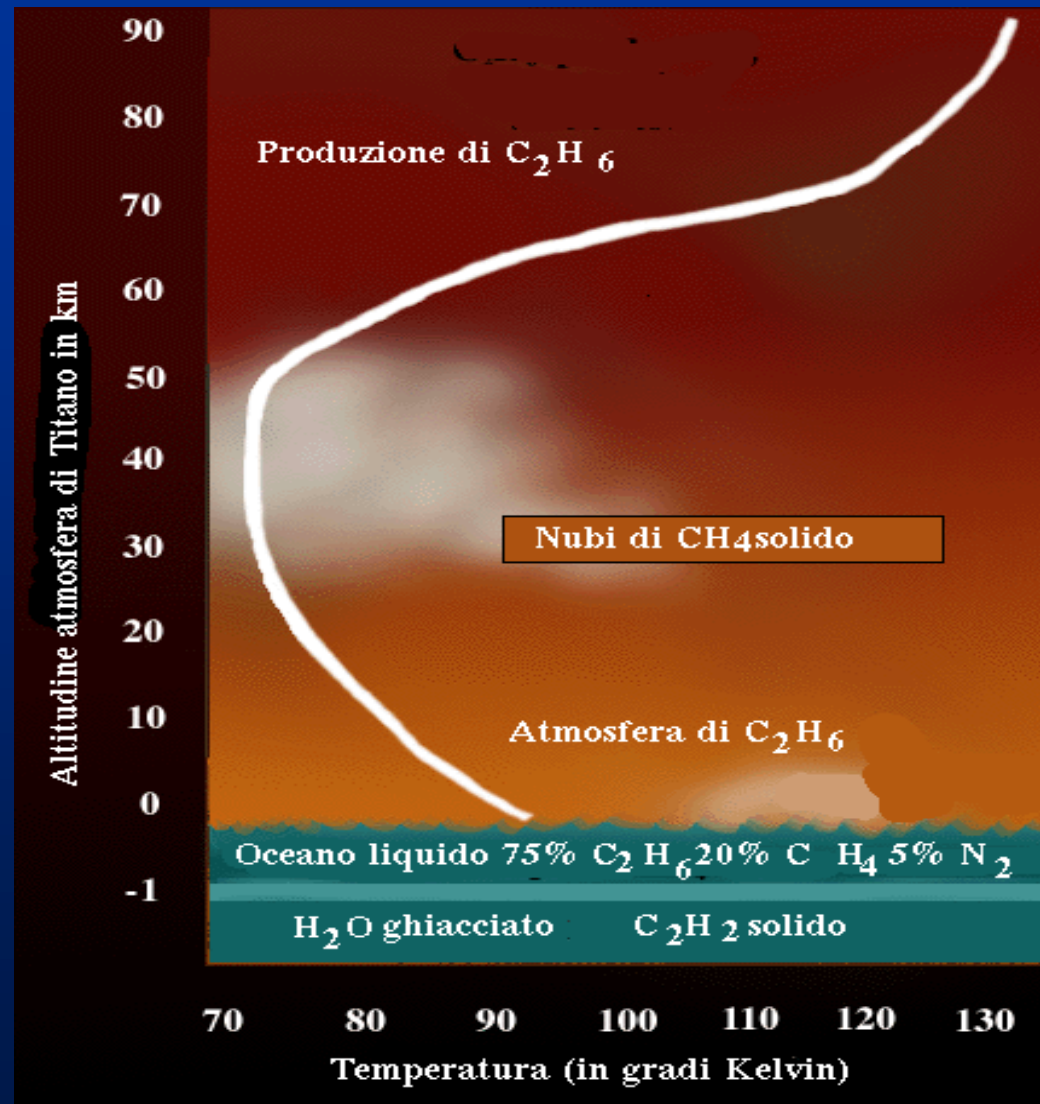
Nel complesso la sua è l'atmosfera più simile a quella terrestre.

Le sue condizioni attuali sembrano analoghe a quelle della Terra di miliardi di anni e quindi favorevoli allo sviluppo di composti organici quali gli acidi nucleici che poi hanno dato luogo ai primi sistemi viventi.

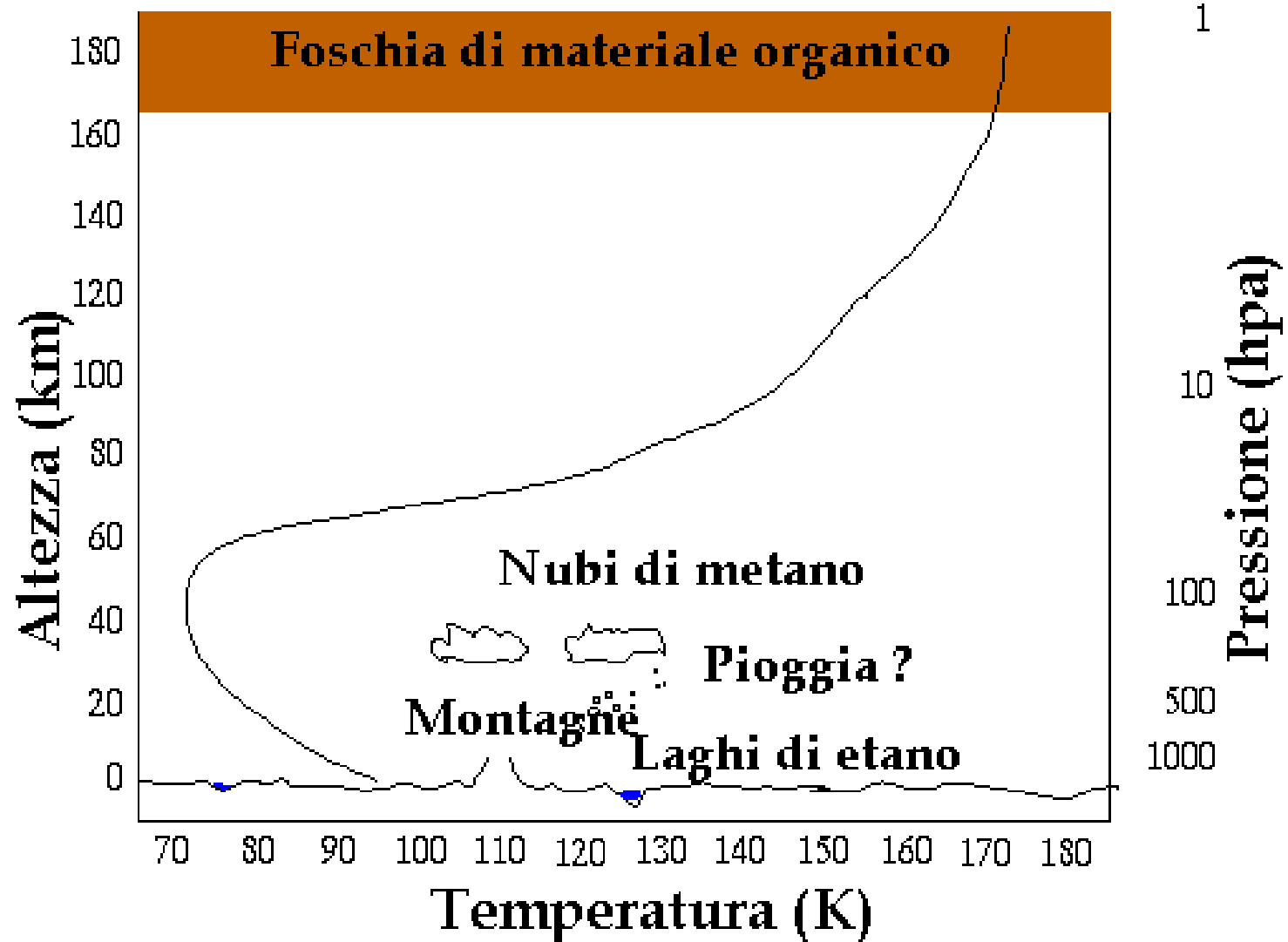
Titano-L'atmosfera

	Specie Chimica		Frazione in mole	
N ₂	azoto		0,98	
Ar	argon		0	
CH ₄	metano		0,018	
H ₂	idrogeno		0,002	
	idrocarbonati	all'equatore ~6 mbar	Al polo Nord 0.1mbar	~1,5 mbar
C ₂ H ₂	acetilene	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$4,7 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$
C ₂ H ₄	etilene	$9,8 \cdot 10^{-8}$		$3,0 \cdot 10^{-6}$
C ₂ H ₆	etano	$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-5}$
C ₃ H ₈	propano	$7,0 \cdot 10^{-7}$		$5,0 \cdot 10^{-7}$
C ₄ H ₂	diacetilene	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$4,2 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$
CH ₃ D		$1,1 \cdot 10^{-5}$		$2,7 \cdot 10^{-8}$
CO ₂		$1,4 \cdot 10^{-8}$	$< 7,2 \cdot 10^{-9}$	
HCN	Nitrili	$1,6 \cdot 10^{-7}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$4,0 \cdot 10^{-7}$
HC ₃ N		$< 1,5 \cdot 10^{-9}$	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$8,4 \cdot 10^{-8}$
C ₂ N ₂		$< 1,5 \cdot 10^{-9}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$5,5 \cdot 10^{-9}$

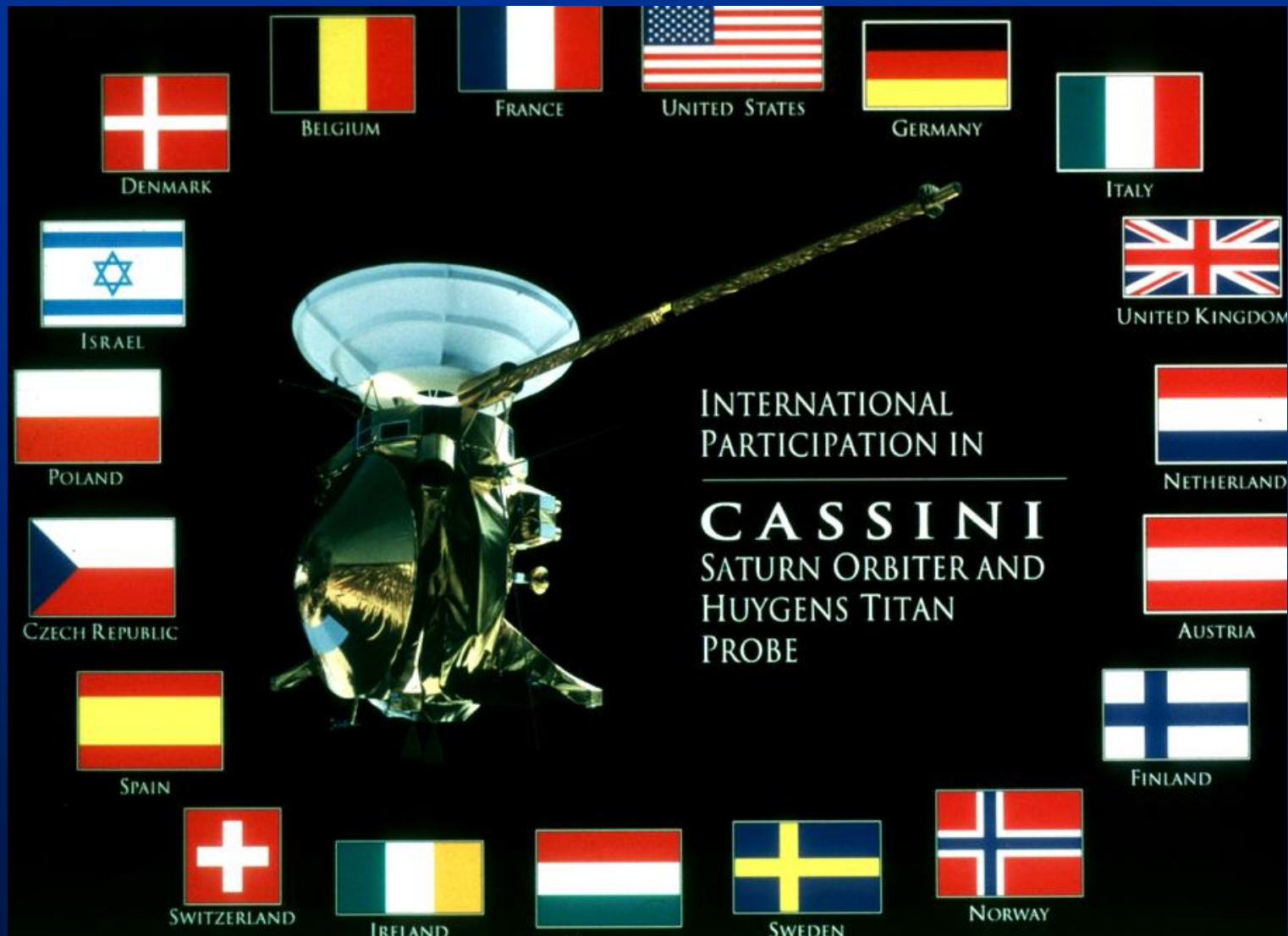
Titano-L'atmosfera schema probabile della sua struttura verticale



Titano-L'atmosfera schema probabile della sua struttura verticale



Titano - l'esplorazione di Saturno con la sonda Cassini



Titano - l'esplorazione di Saturno con la sonda Cassini

Tappe principali della missione Cassini

- **06/Ottobre/1997** - Lancio con il Titan IV/Centaur
- **21/Aprile/1998** - Prima accelerazione di gravità presso Venere
- **20/Giugno/1999** - Seconda accelerazione di gravità presso Venere
- **16/Agosto/1999** - Accelerazione di gravità presso la Terra
- **30/Dicembre/2000** - Accelerazione di gravità presso Giove
- **25/Giugno/2004** - Arrivo a Saturno
- **06/Novembre/2004** - Separazione del modulo "Huygens"
- **27/Novembre/2004** - Entrata del modulo "Huygens" nell'atmosfera di Titano
- **25/Dicembre/2008** - Fine della missione principale

Titano-L'esplorazione spaziale-La sonda Cassini



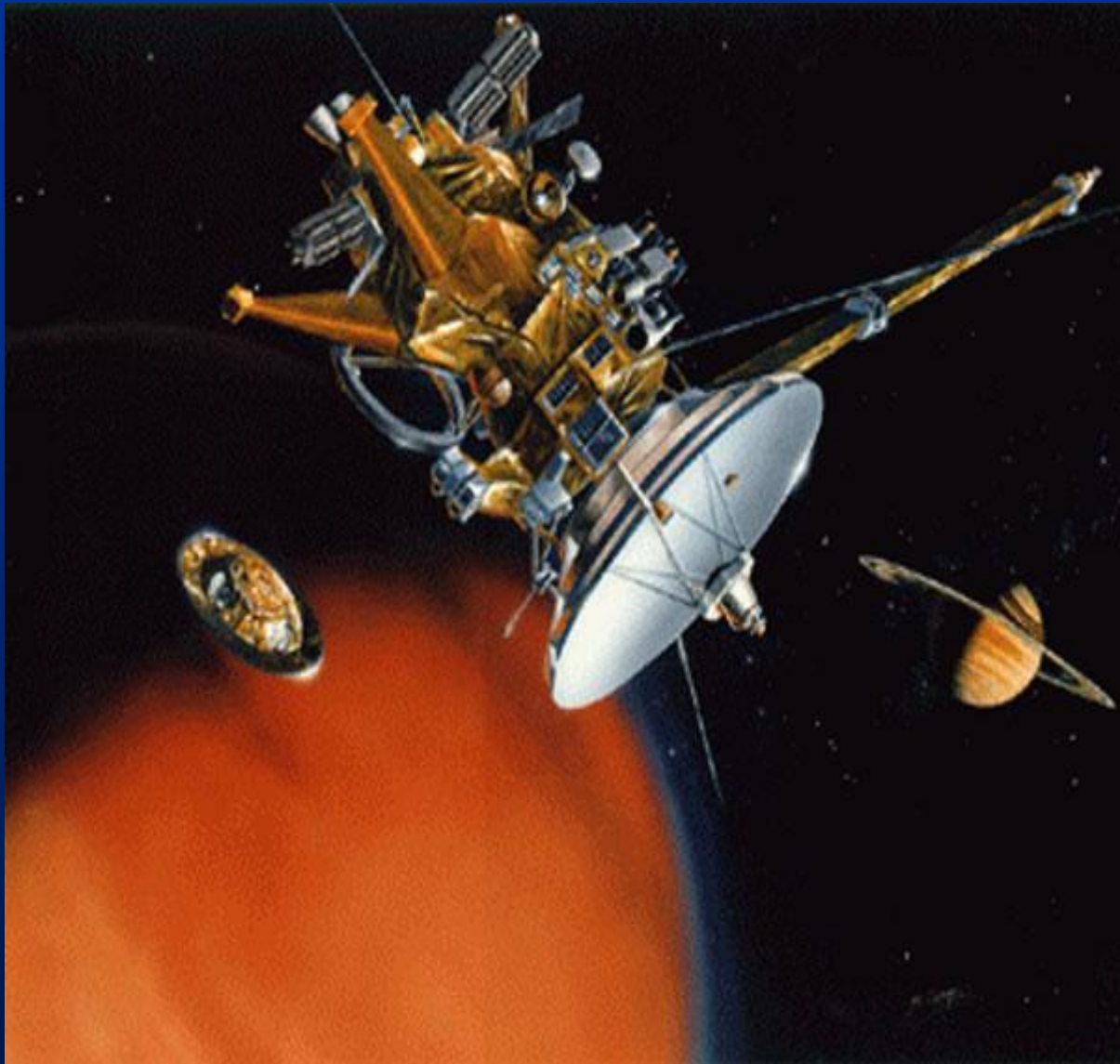
Partita il **9 ottobre 1997** la **sonda Cassini** arriverà nei pressi di **Saturno** il **25 giugno del 2004**.

Titano-L'esplorazione spaziale

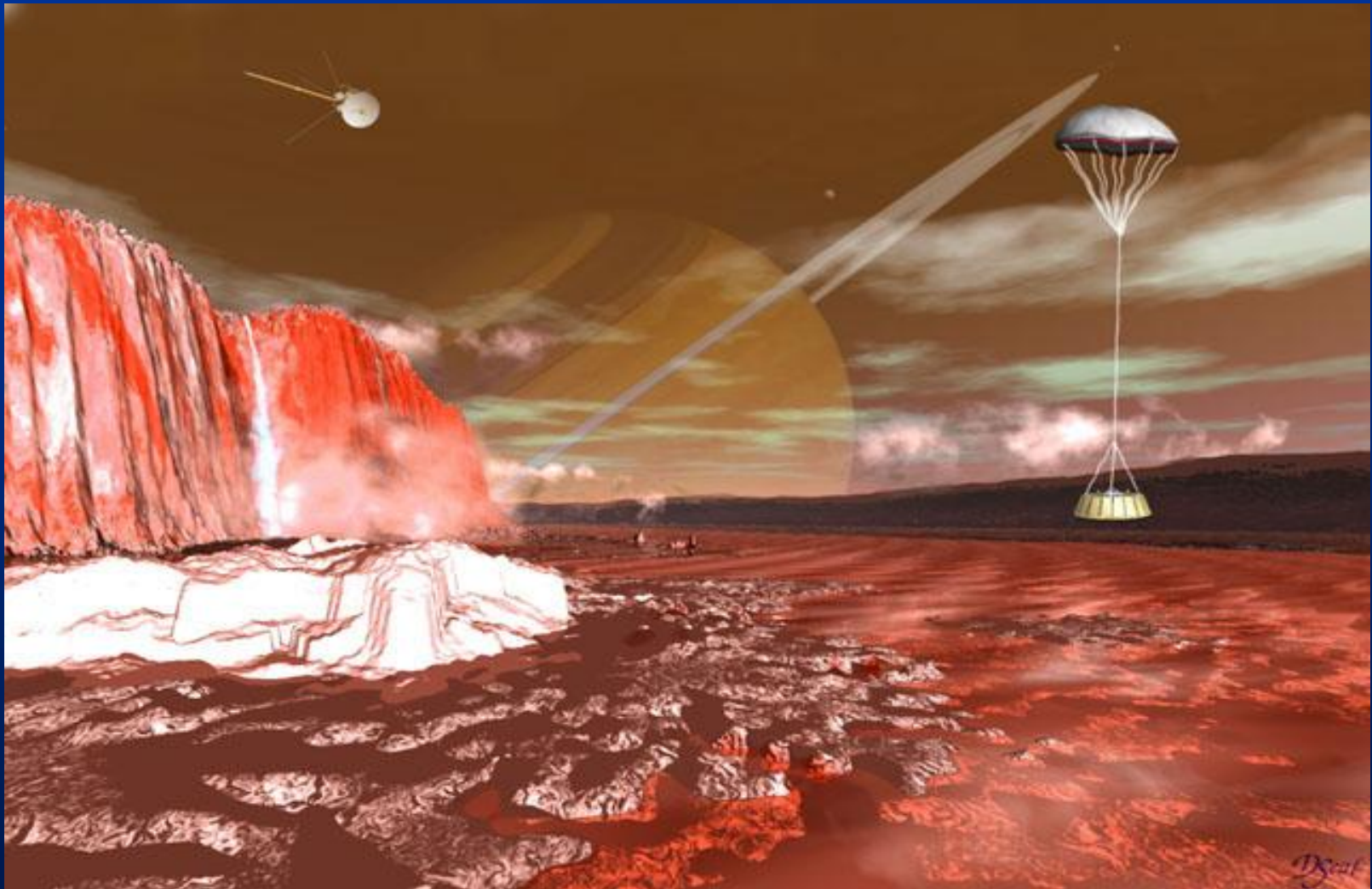


La **sonda Cassini** giunta nei pressi di Titano libererà il **modulo Huygens**, il **27 novembre del 2004**, per un'esplorazione dettagliata della sua atmosfera.

Titano-La sonda Cassini ed il modulo Huygens



Titano-La discesa del modulo Huygens



Urano



Distanza dal Sole (U.A.) = 19,19

Distanza dal Sole (km) = 2 870 990 000

Periodo di rivoluzione (anni) = 84,01

Eccentricità = 0,0461

Inclinazione rispetto all'eclittica = 0° 46'

Velocità orbitale media (km/sec) = 6,80

Massa (Terra = 1) = 14,531

Raggio equatoriale (km) = 25 559

Raggio equatoriale (Terra = 1) = 4,007

Densità media (Terra = 1) = 0,23

Accelerazione di gravità (Terra = 1) = 0,79

Velocità di fuga (km/sec) = 21,3

Periodo di rotazione = - 17h 12m RETRO

Periodo di rotazione = - 17,2 RETRO

Inclinazione sul piano dell'orbita = 97,86°

Albedo = 0,51

Magnitudine visuale = 5,52

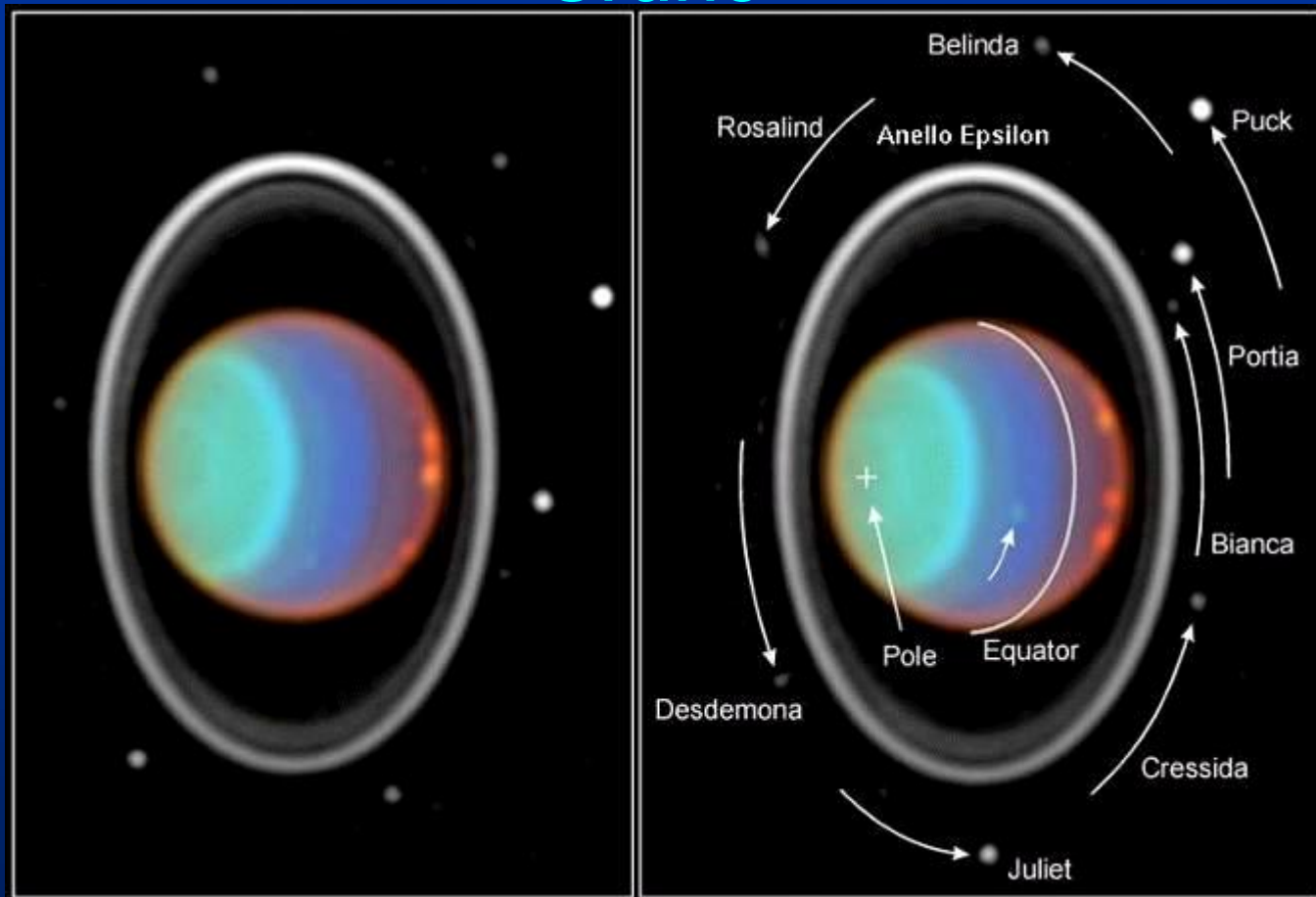
Numero satelliti finora noti (luglio 2001) = 27

Scopritore W, Herschel (1781)

L'atmosfera di Urano

Pressione superficiale	» 1000 bars
Temperatura ad 1 bar	-197 C
Temperatura ad 0,1 bar	-220 C
Densità superficiale ad 1 bar	~ 0,42 kg/m ³
Velocità dei venti	0-200 m/s
Altezza di scala	27,7 km
Peso molecolare medio	2,64 gr/mole
Composizione	H ₂ 82,5 (± 3,3) %, He 15,2 (± 3,3) % CH ₄ 2,3
Aerosol	Ammoniaca ghiacciata, ghiaccio

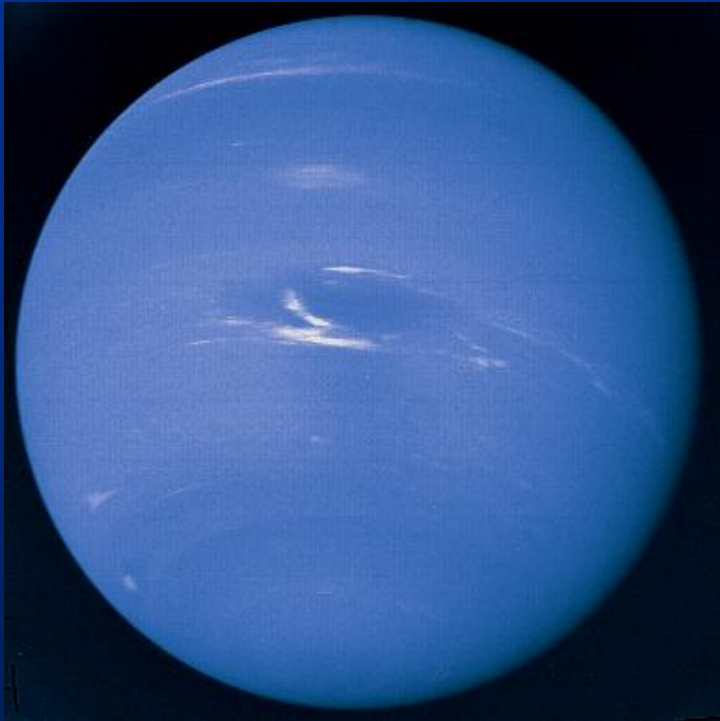
Urano



Nonostante le apparenze Urano è diverso da Nettuno

1. E' più denso
2. Non ha un fonte di energia interna come invece risulta non solo per Nettuno ma anche per Giove e Saturno

Nettuno



Distanza dal Sole (U.A.) = 30,061

Distanza dal Sole (km) = 4 504 300 000

Periodo di rivoluzione (anni) = 164,788

Eccentricità = 0,0097

Inclinazione rispetto all'eclittica = 1° 46'

Velocità orbitale media (km/sec) = 5,45

Massa (Terra = 1) = 17,135

Raggio equatoriale (km) = 24 764

Raggio equatoriale (Terra = 1) = 3,883

Densità media (Terra = 1) = 0,30

Accelerazione di gravità (Terra = 1) = 1,12

Velocità di fuga (km/sec) = 23,50

Periodo di rotazione = 16h 6m

Periodo di rotazione = 16,1 ore

Inclinazione sul piano dell'orbita = 28,31°

Albedo = 0,41

Magnitudine visuale = 7,84

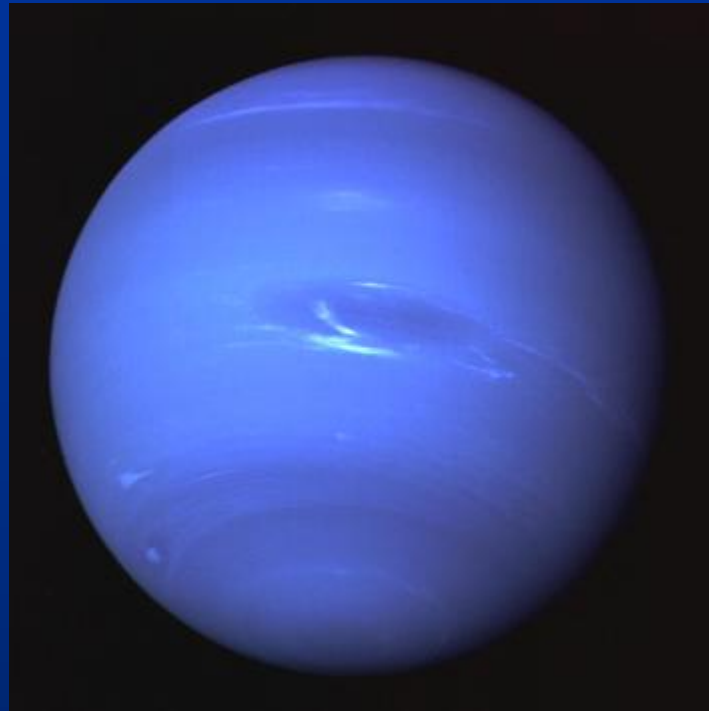
Numero satelliti = 13

Scopritori Le Verrier e Galle (1846)

L'atmosfera di Nettuno

Pressione superficiale	» 1000 bars
Temperatura ad 1 bar	-201 C
Temperatura ad 0,1 bar	-218 C
Densità superficiale ad 1 bar	~ 0,45 kg/m ³
Velocità dei venti	0-200 m/s
Altezza di scala	19,1 – 20,3 km
Peso molecolare medio	2,53 – 2,69 gr/mole
Composizione	H ₂ 80,0 (± 3,2) %, He 19,0 (± 3,2) %
Aerosol	Ammoniaca ghiacciata, ghiaccio

L'atmosfera di Nettuno



L'atmosfera di Nettuno è abbastanza simile a quella di Urano soprattutto per quel che riguarda la sua composizione chimica.

Il suo **colore**, dovuto alla presenza di metano nell'atmosfera è **azzurro**. Infatti la luce del pianeta privata della componente rosso-arancio assorbita dal metano appare azzurra, solcata da **nubi bianche brillanti che ruotano più lentamente del pianeta la cui circolazione appare quindi retrograda rispetto al moto del pianeta.**

Questa è una particolarità di Nettuno in quanto sugli altri pianeti la circolazione delle nubi avviene più velocemente della loro rotazione.

L'atmosfera di Nettuno

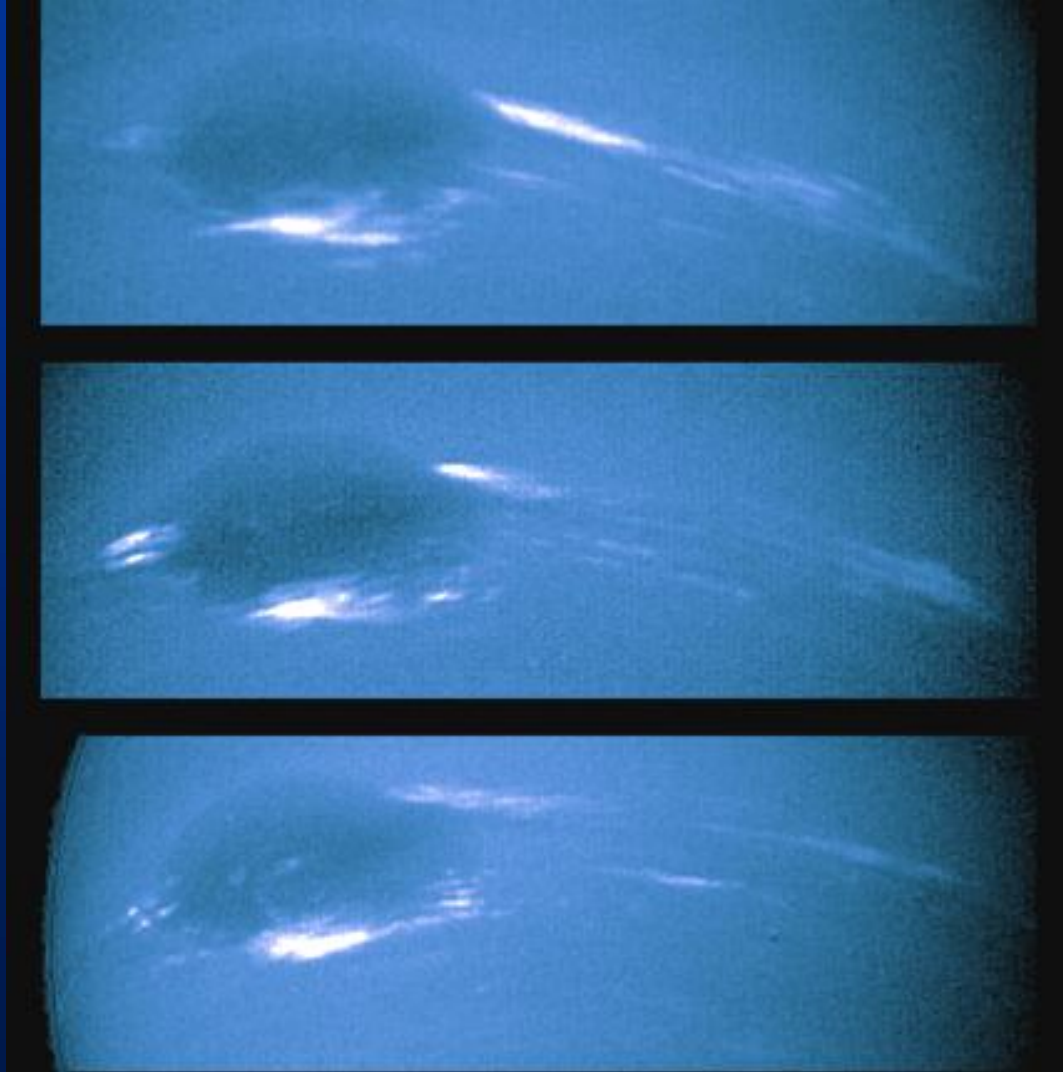
Si osservano **due strati nell'atmosfera di Nettuno.**

Il **primo** è situato ad 80 km sotto il "livello zero" (a temperatura di 130°K - 143°C e pressione di 3 atmosfere) dove si estende uno strato di nubi di ammoniaca e solfuro di idrogeno mentre il secondo a 40 km più in alto (alla pressione di 1 atmosfera) costituito principalmente da metano.

Nel **secondo** si trovano nebbie di idrocarburi originatesi dalla dissociazione del metano da parte della luce solare.

La struttura a strati delle nubi è visibile in alcune immagini mandate dal **Voyager 2** in cui si possono scorgere nubi molto alte che gettano la loro ombra su altri strati inferiori.

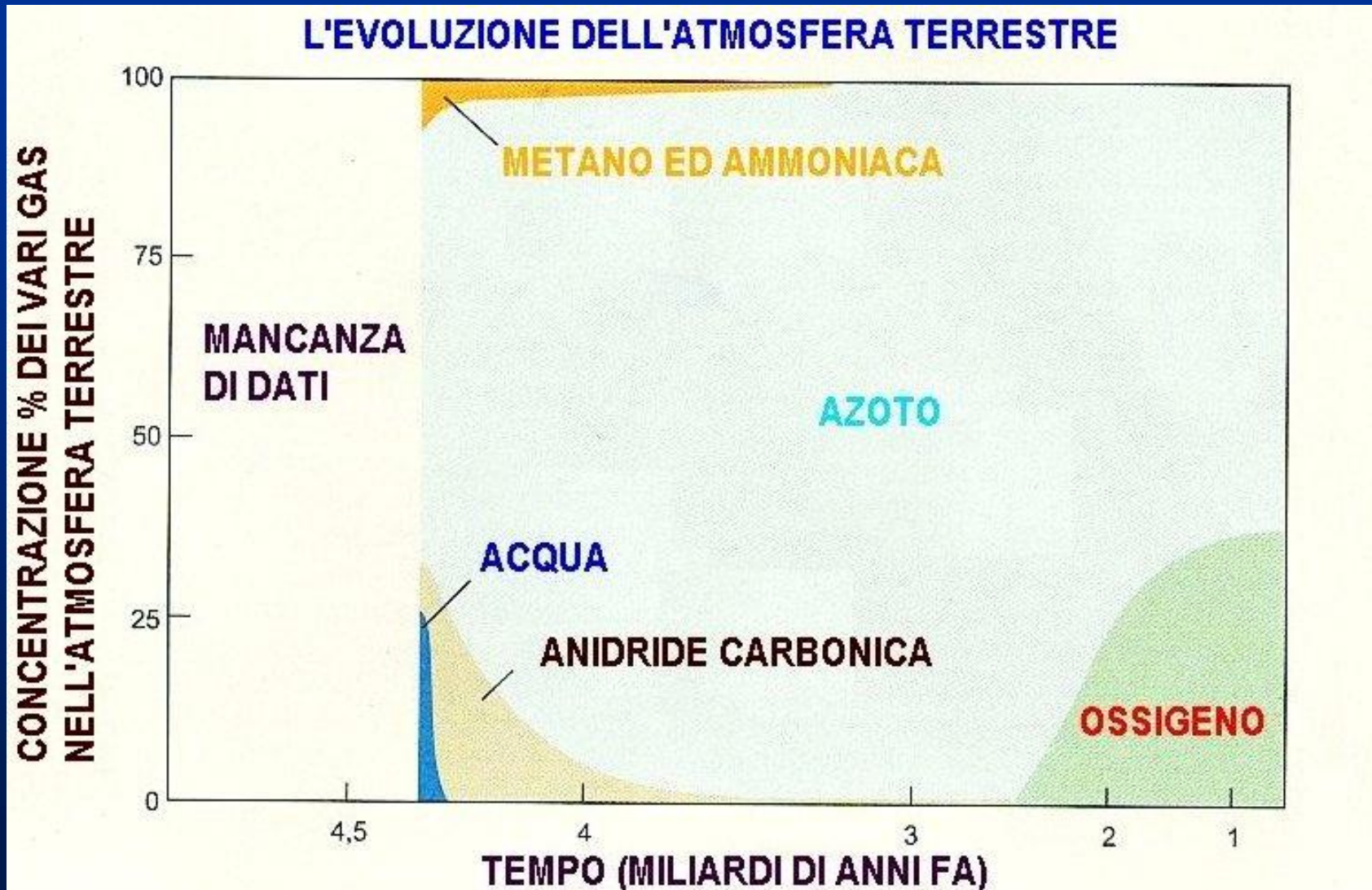
Evoluzione di strutture nella atmosfera di Nettuno



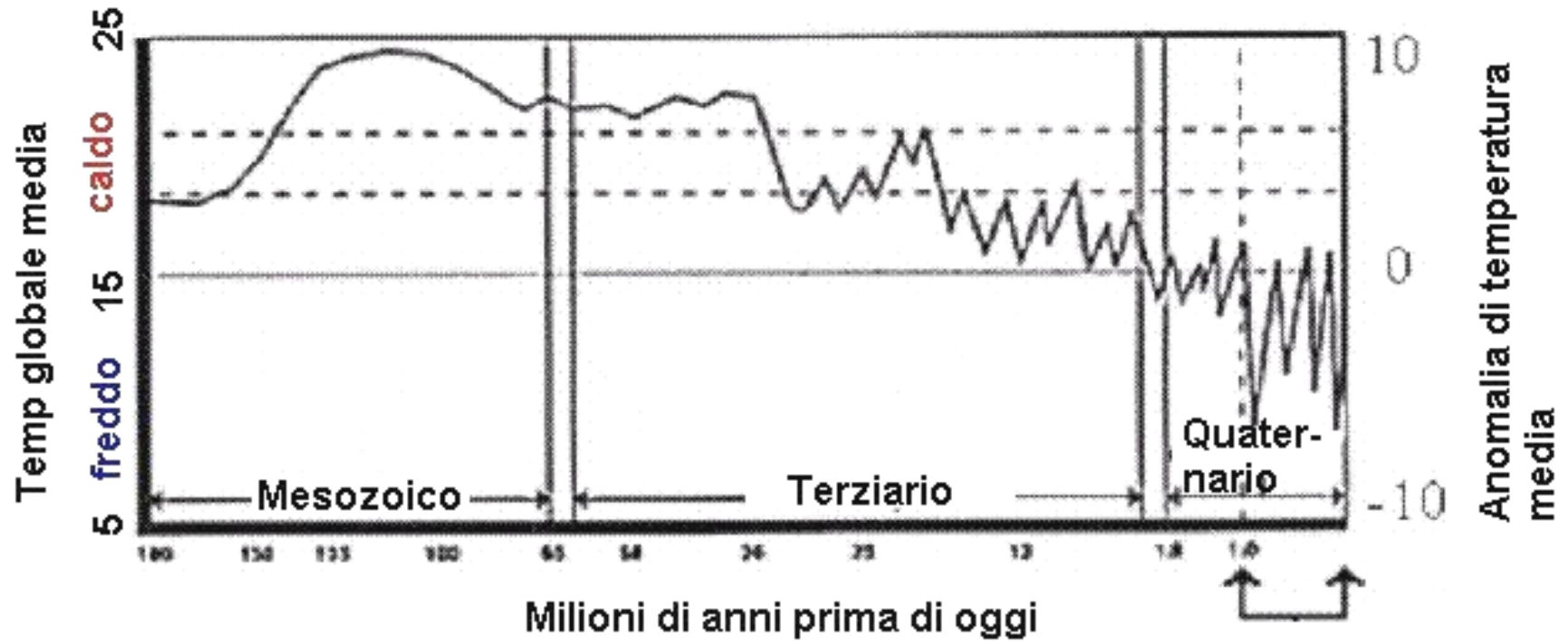
Ritorno alla Terra



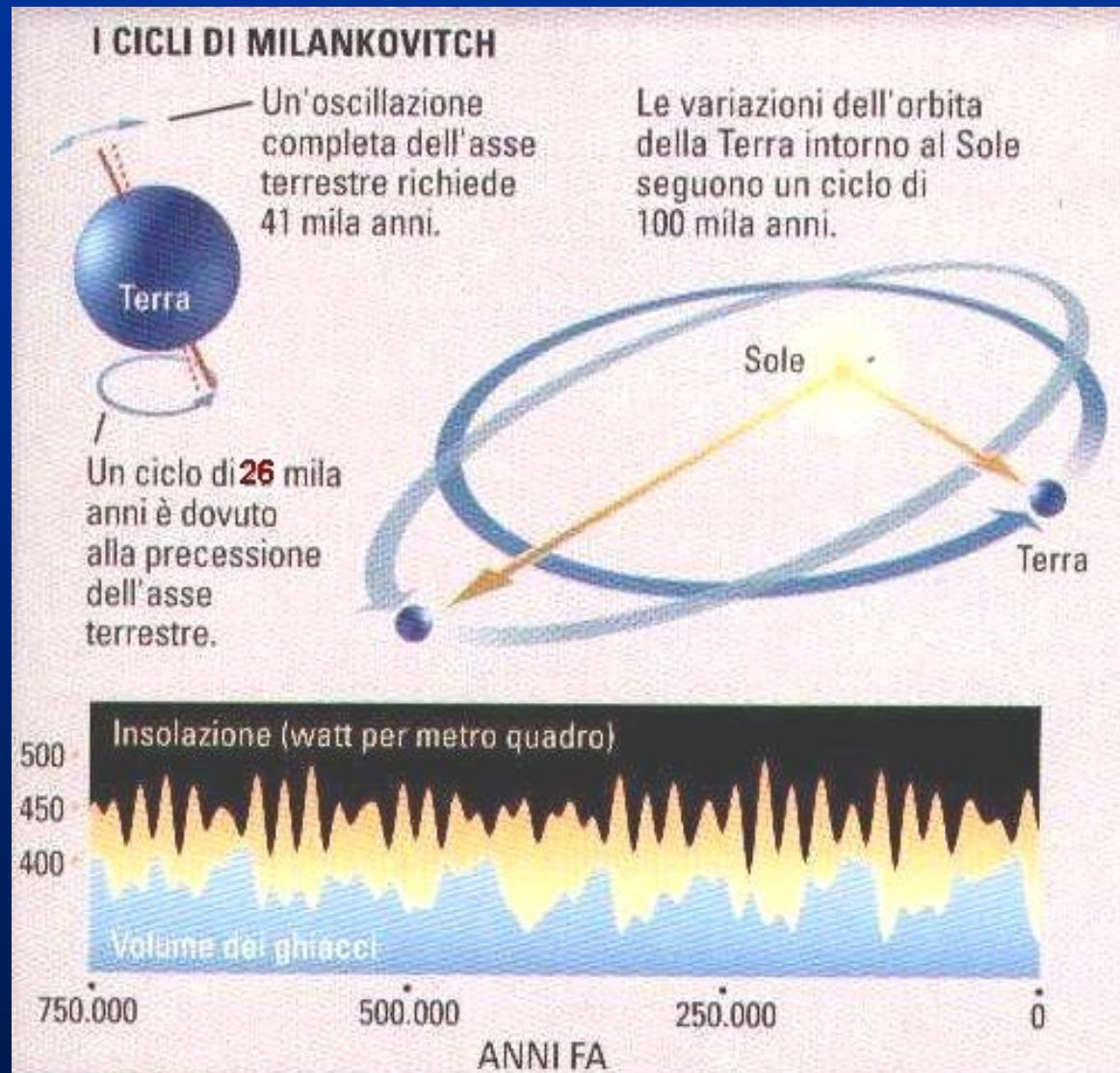
La evoluzione della atmosfera terrestre



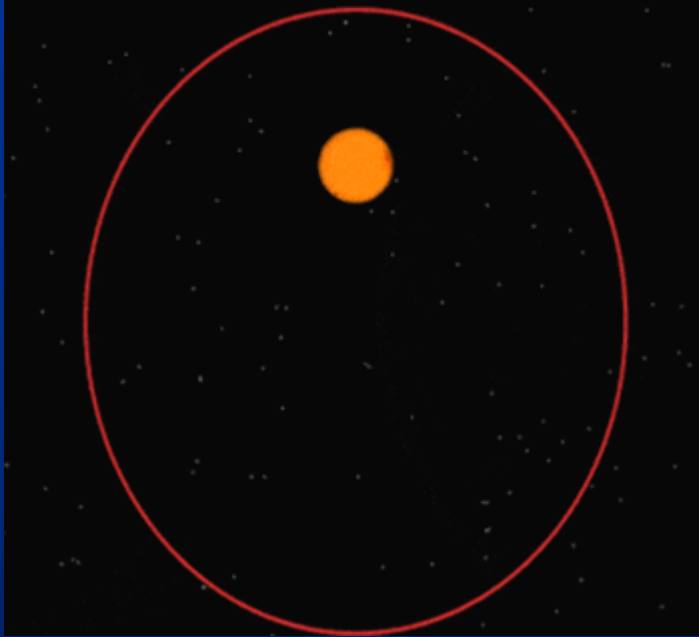
Dati Paleoclimatici di temperatura



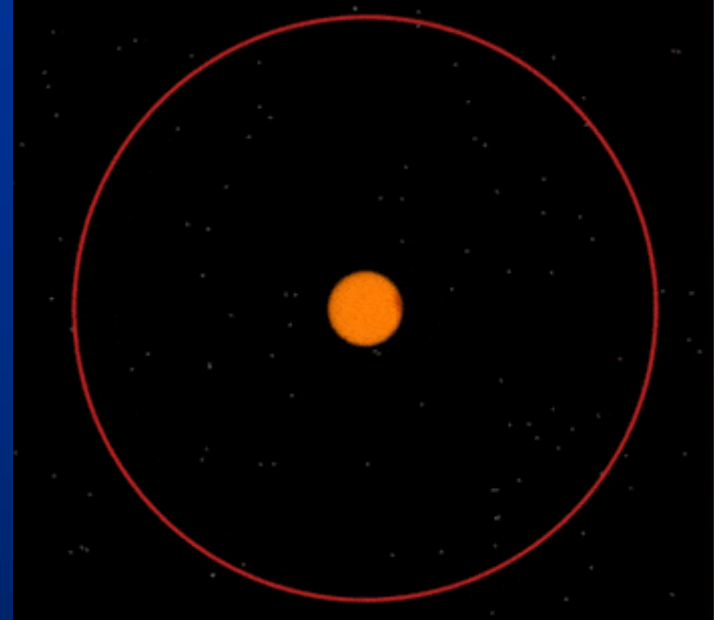
I cicli di Milankovitch



I cicli di Milankovitch -eccentricità



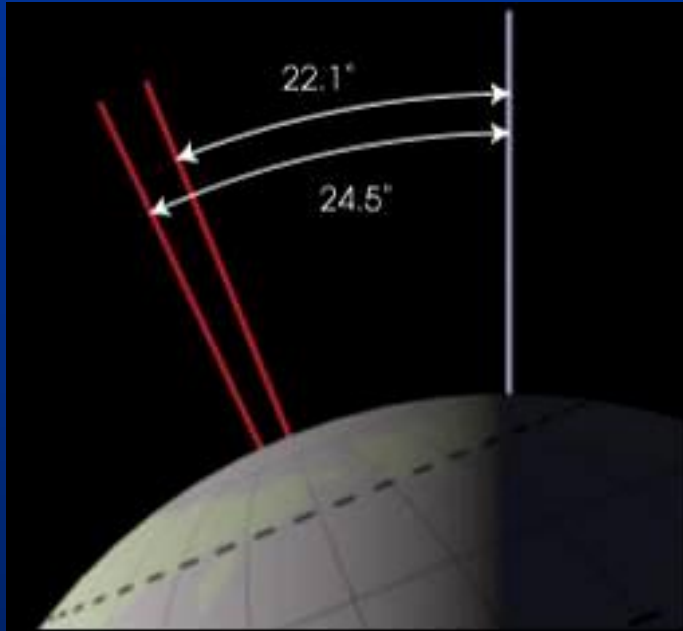
Eccentricità $e=0,5$ (*orbita ellittica*)



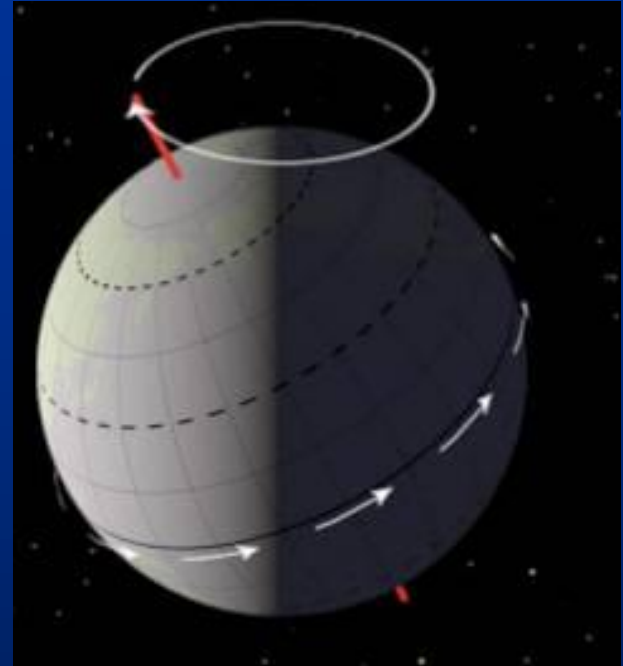
Eccentricità $e=0$ (*orbita circolare*)

Variazione dell'eccentricità dell'orbita terrestre comporta un maggior stazionamento della Terra vicino al Sole. Le variazioni hanno un periodo di 100 000 anni. Oggi l'eccentricità dell'orbita Terrestre risulta $e=0,0167$.

I cicli di Milankovitch - precessione ed inclinazione dell'asse terrestre

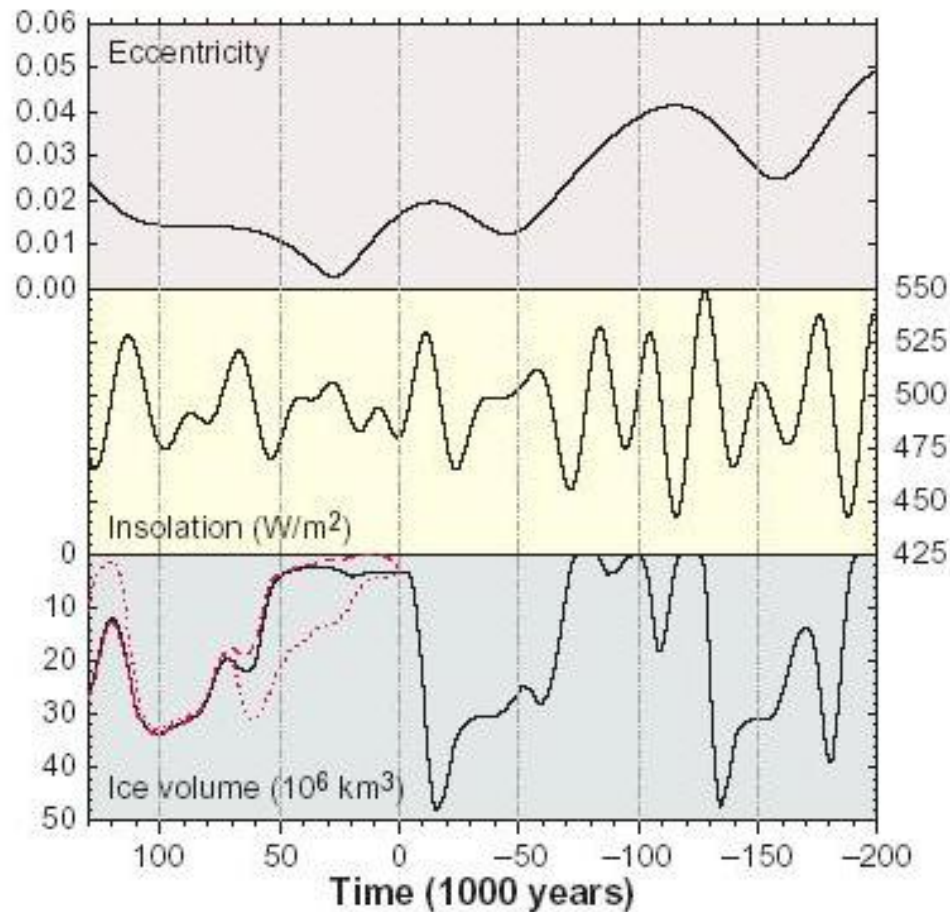


Variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre con un periodo di 41000 anni (dovuto alla risonanza tra il moto dei nodi e la precessione lunisolare)



Precessione dell'asse terrestre con un periodo di 26000 anni

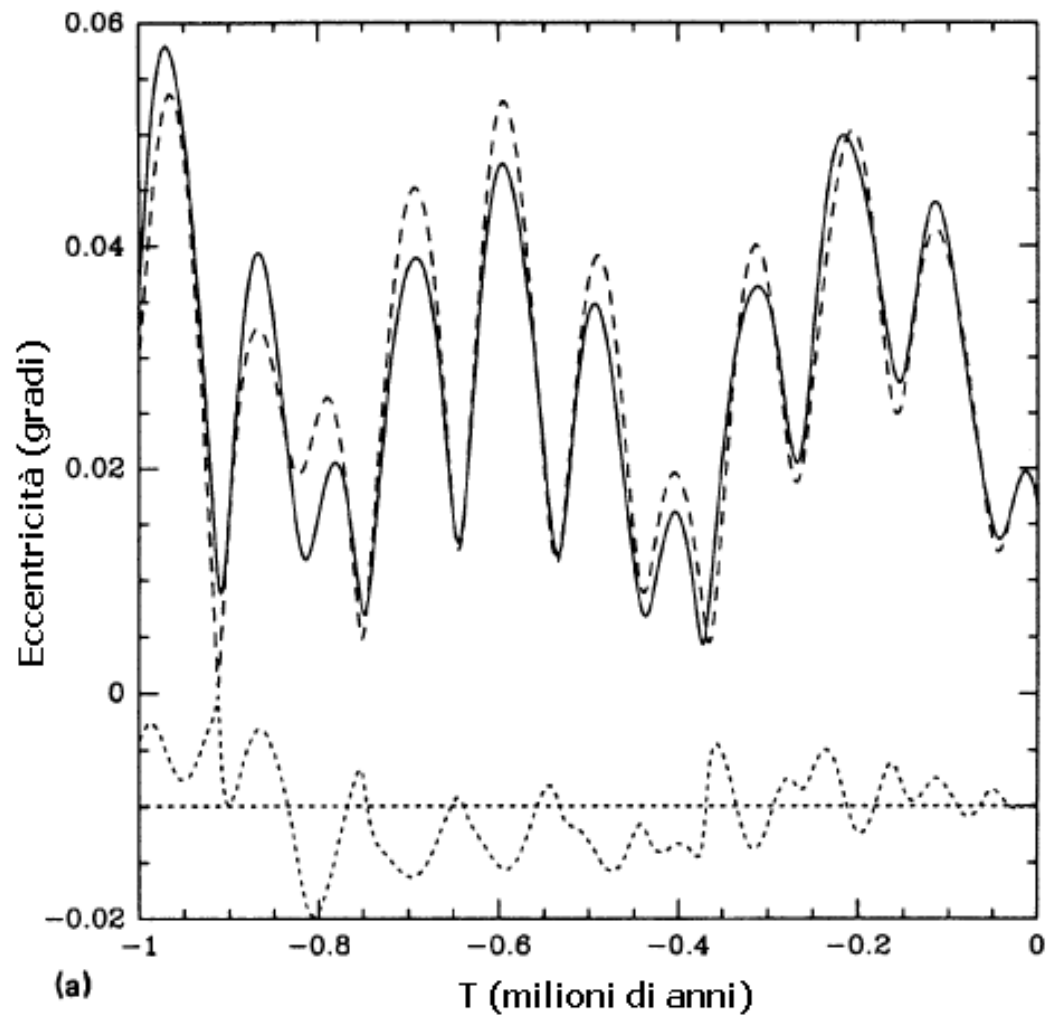
I cicli di Milankovitch



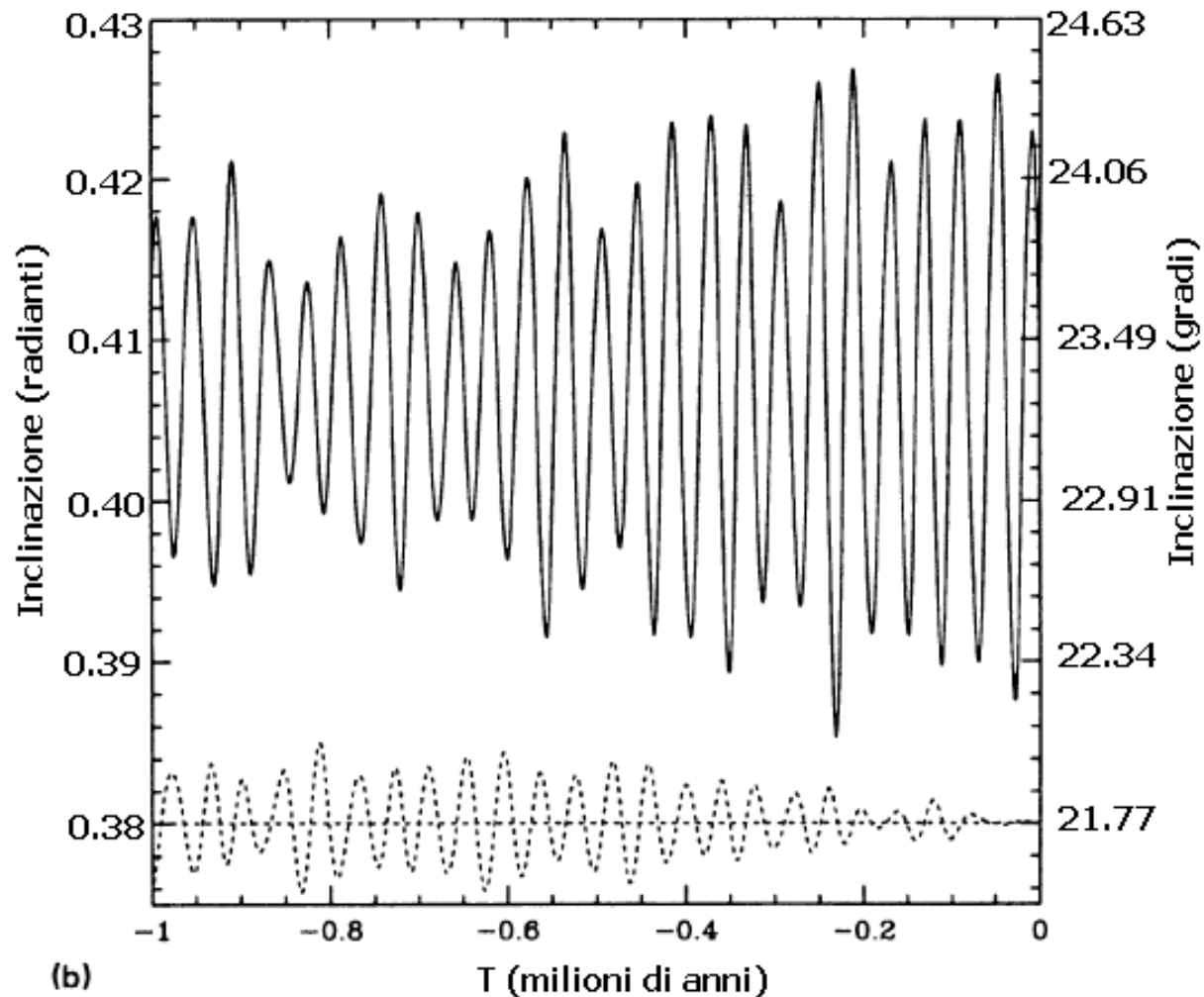
Orbiting the Sun. Long-term variations of eccentricity (**top**), June insolation at 65°N (**middle**), and simulated Northern Hemisphere ice volume (increasing downward) (**bottom**) for 200,000 years before the present to 130,000 from now. Time is negative in the past and positive in the future. For the future, three CO₂ scenarios were used: last glacial-interglacial values (solid line), a human-induced concentration of 750 ppmv (dashed line), and a constant concentration of 210 ppmv (dotted line). Simulation results from (13, 15); eccentricity and insolation from (19).

SCIENCE VOL 297 23 AUGUST 2002

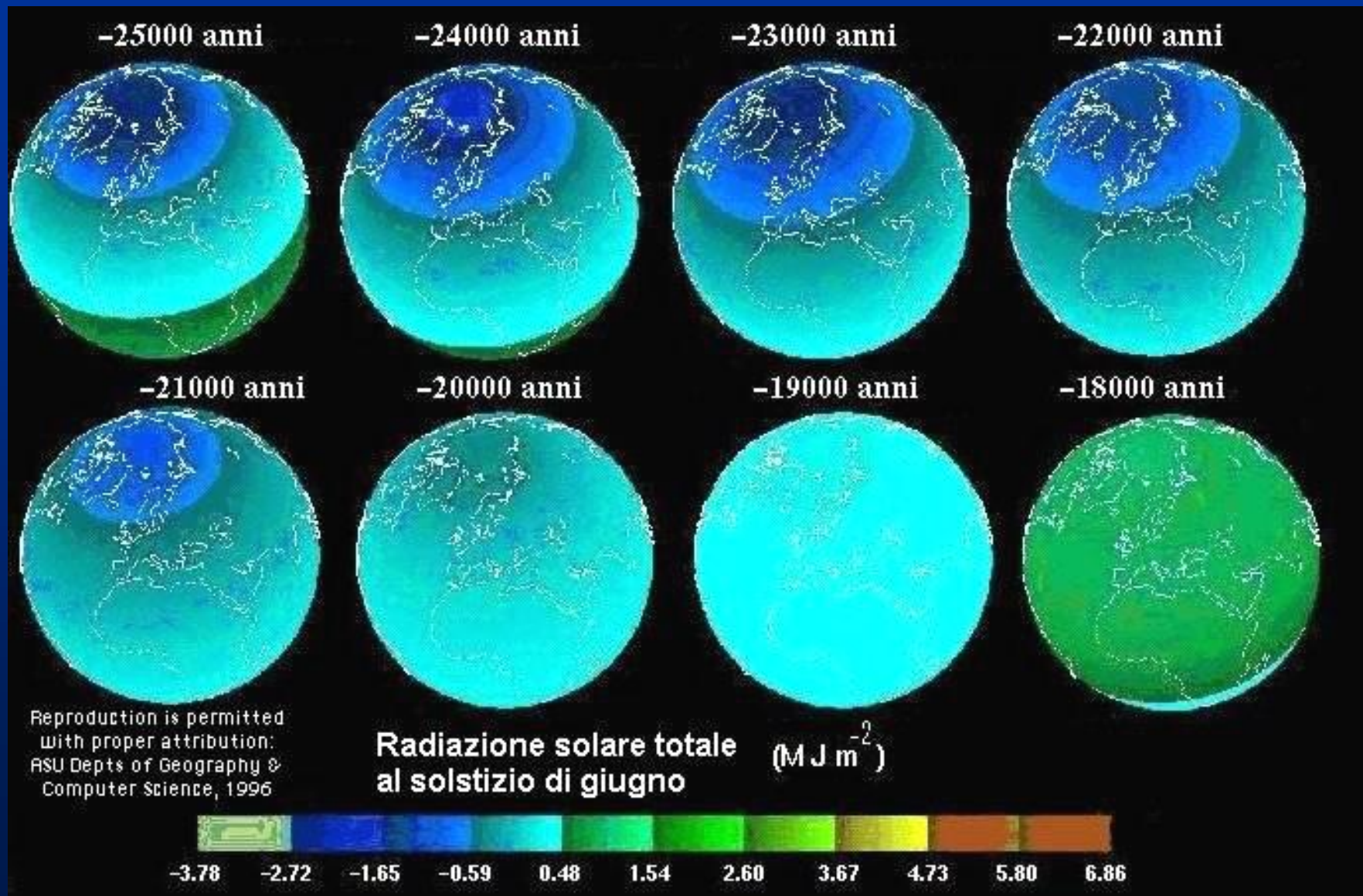
I cicli di Milankovitch-eccentricità



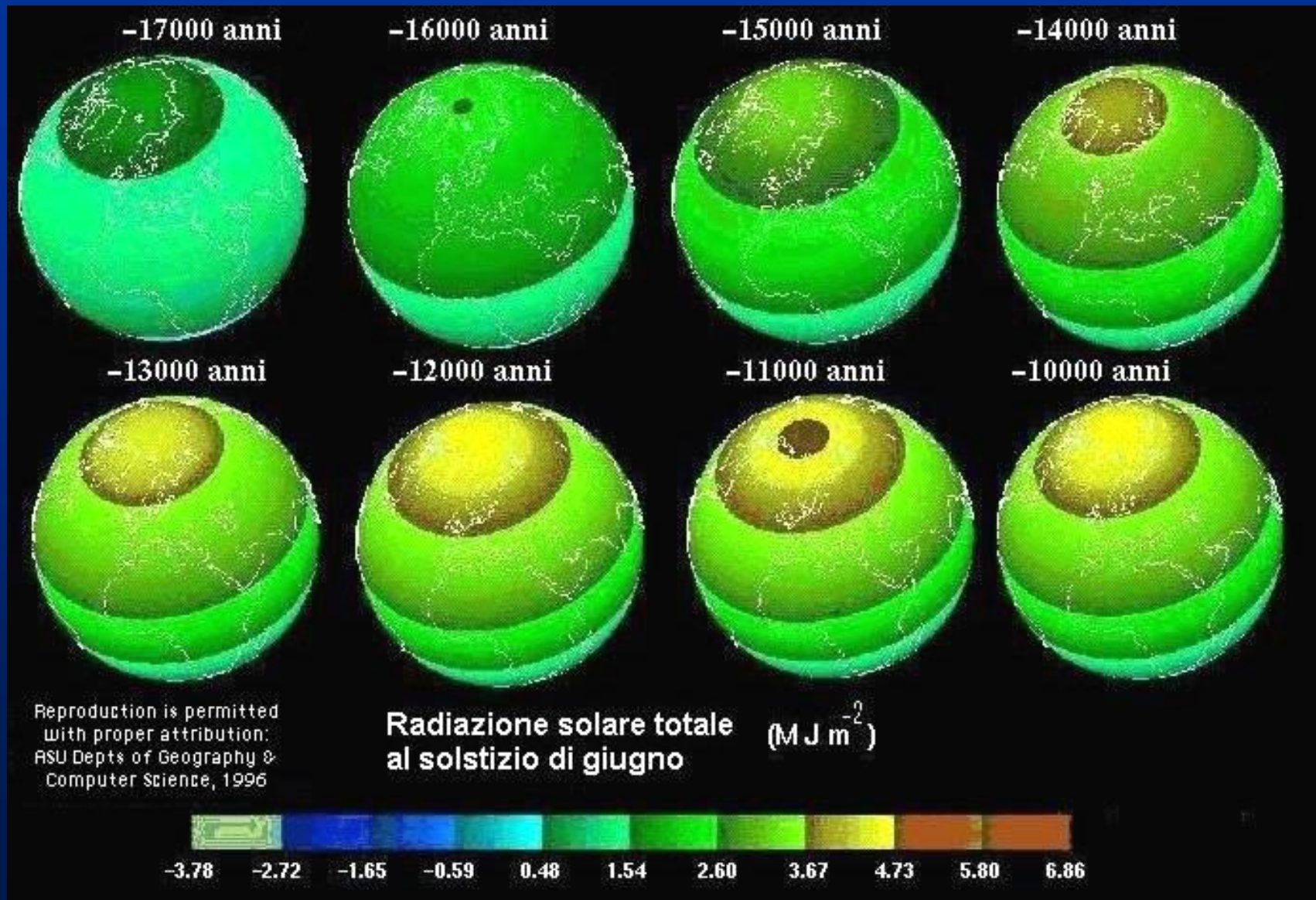
I cicli di Milankovitch – inclinazione dell'asse terrestre



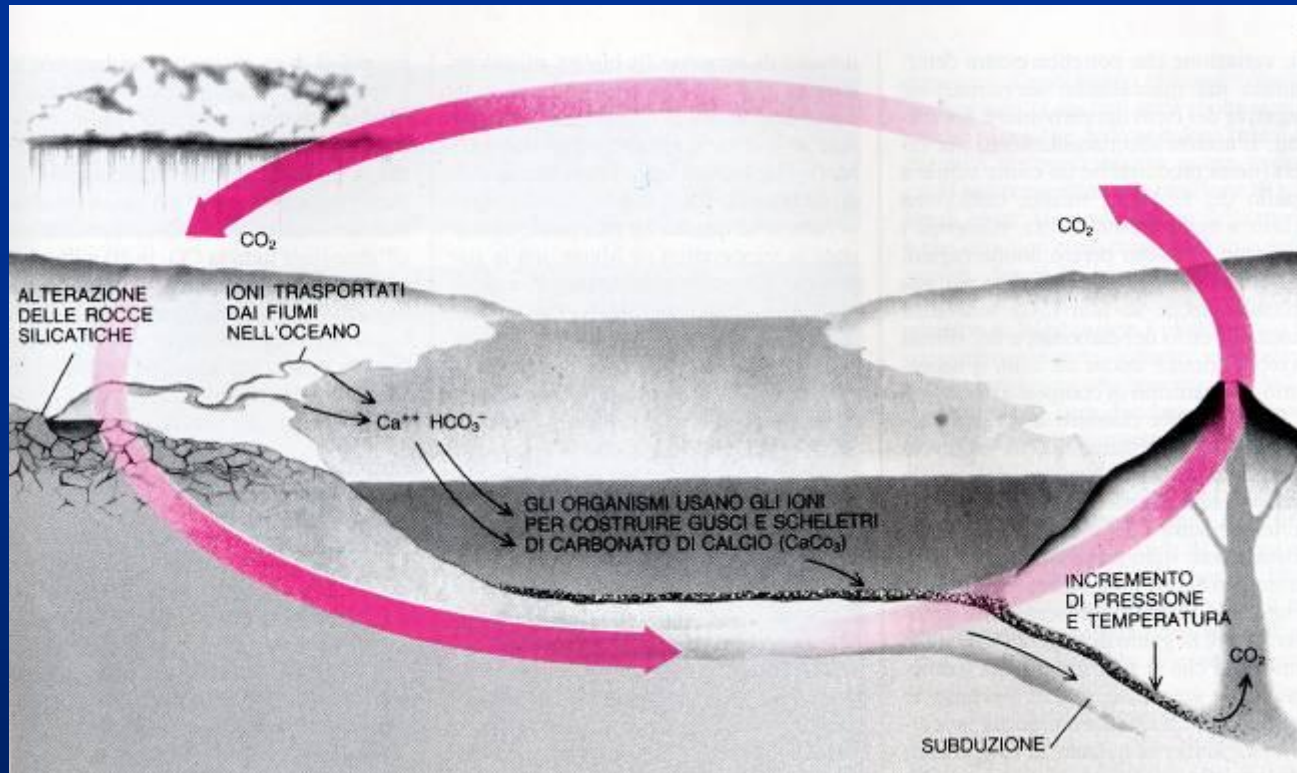
I cicli di Milankovitch - come varia l'insolazione



I cicli di Milankovitch - come varia l'insolazione

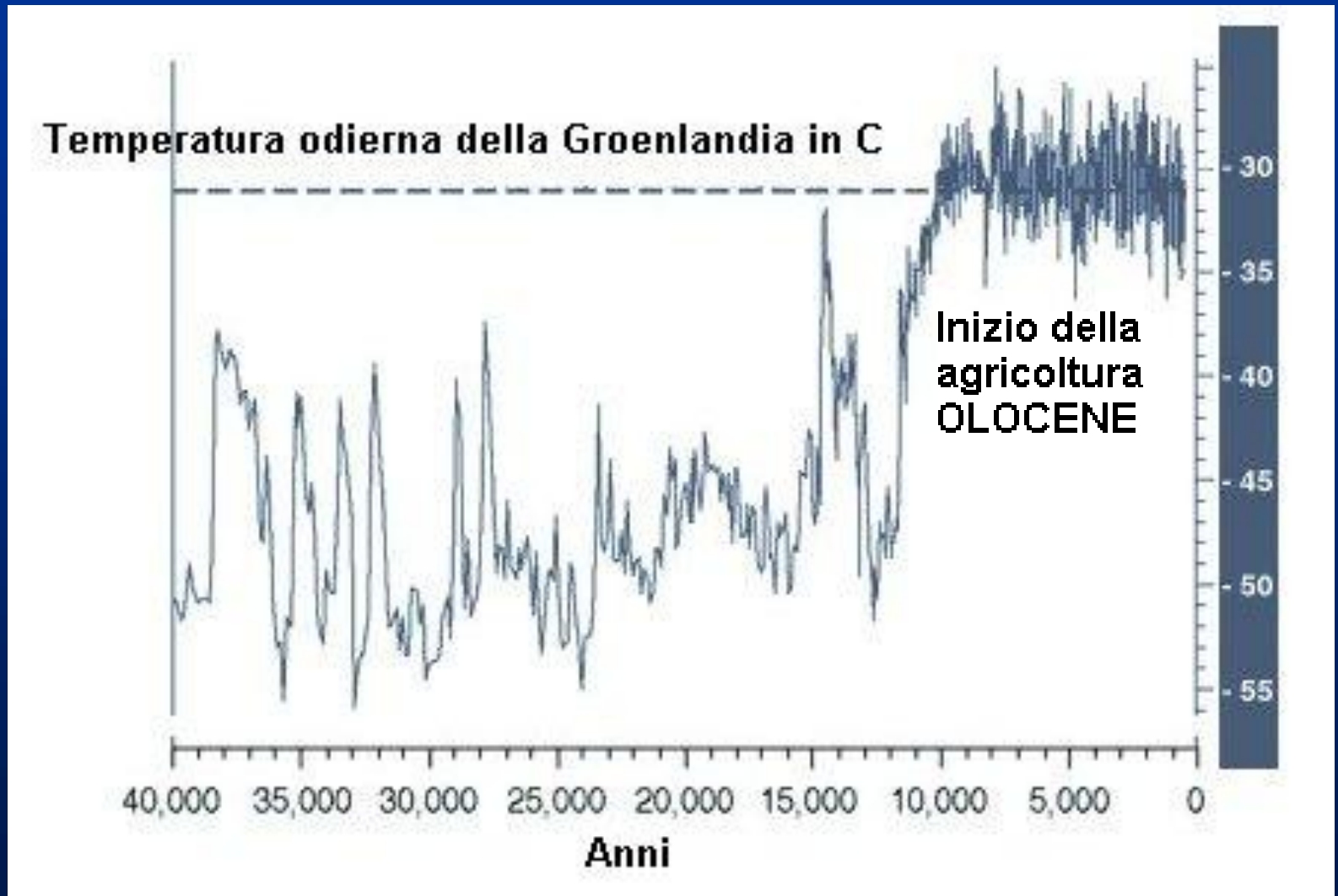


Il ciclo del carbonio

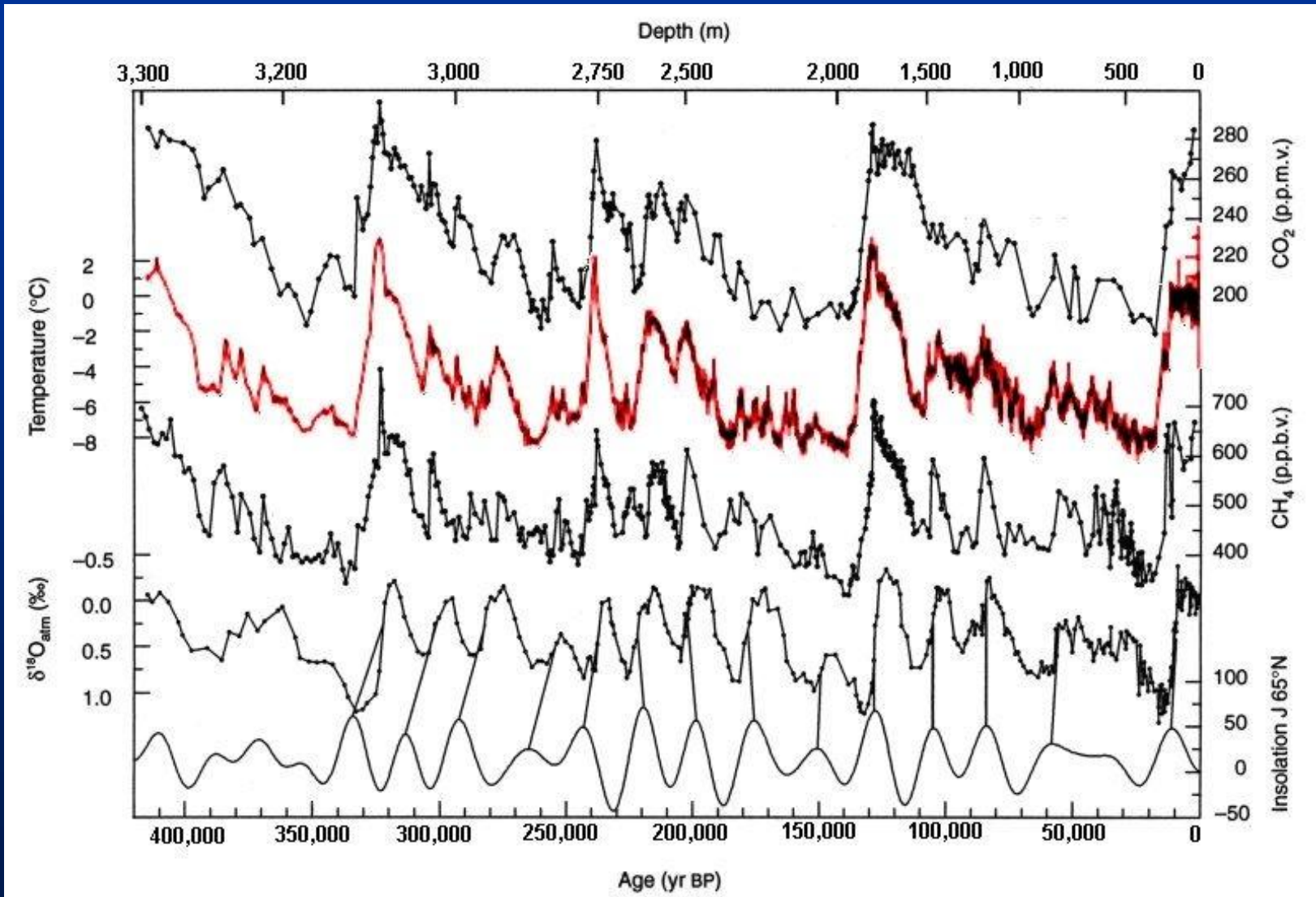


Nel periodo immediatamente successivo alla formazione della Terra, la presenza di anidride carbonica (CO_2) era quasi sicuramente molto superiore all'attuale; nel corso del tempo è stata tutta inglobata nelle rocce calcaree e, in misura minore, sciolta negli oceani e utilizzata dalle piante. La piccola quantità di CO_2 stabilmente presente nell'atmosfera gioca un ruolo importante nel mantenimento della temperatura superficiale della Terra, tramite l'effetto serra.

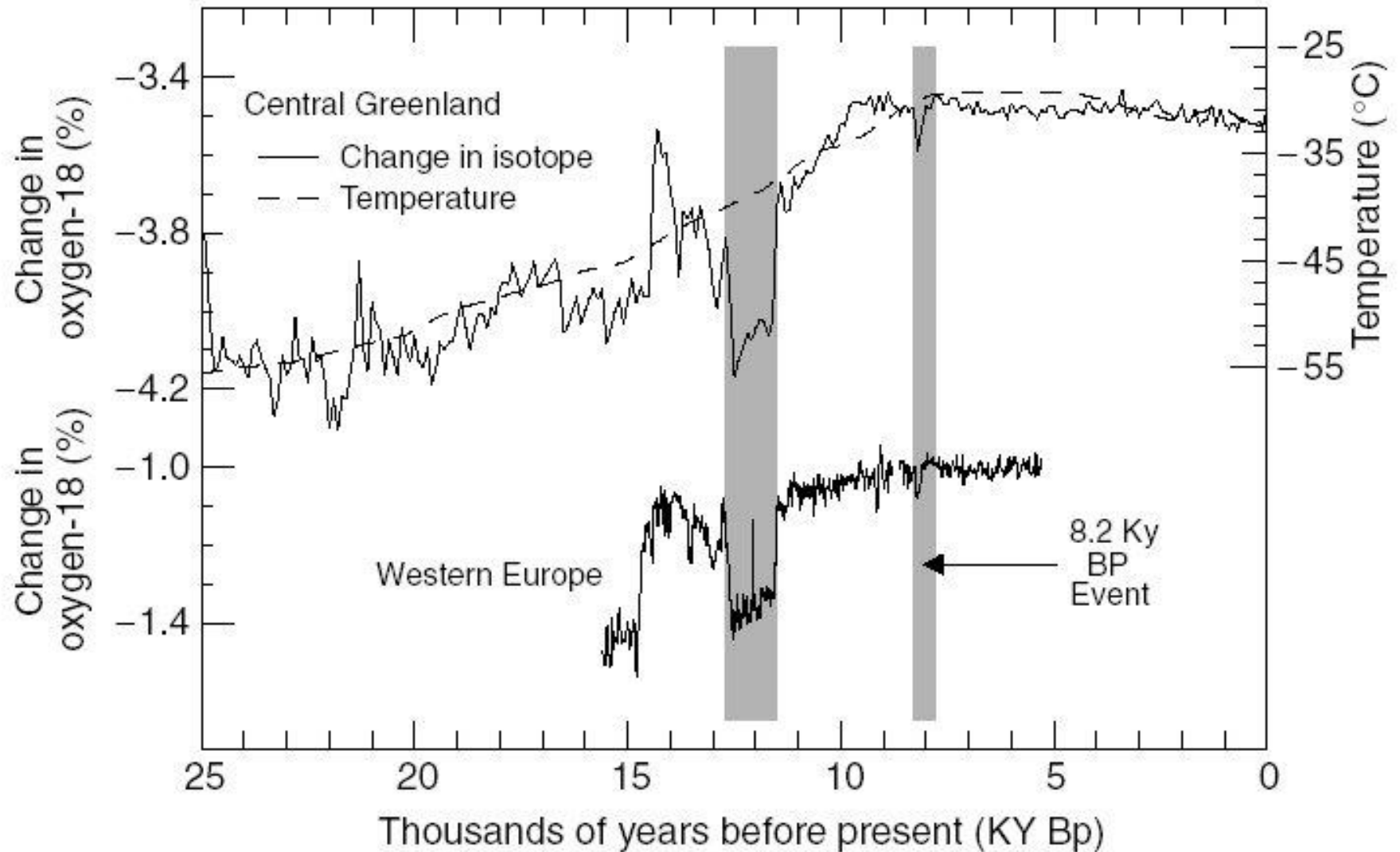
Dati Paleoclimatici della Groenlandia



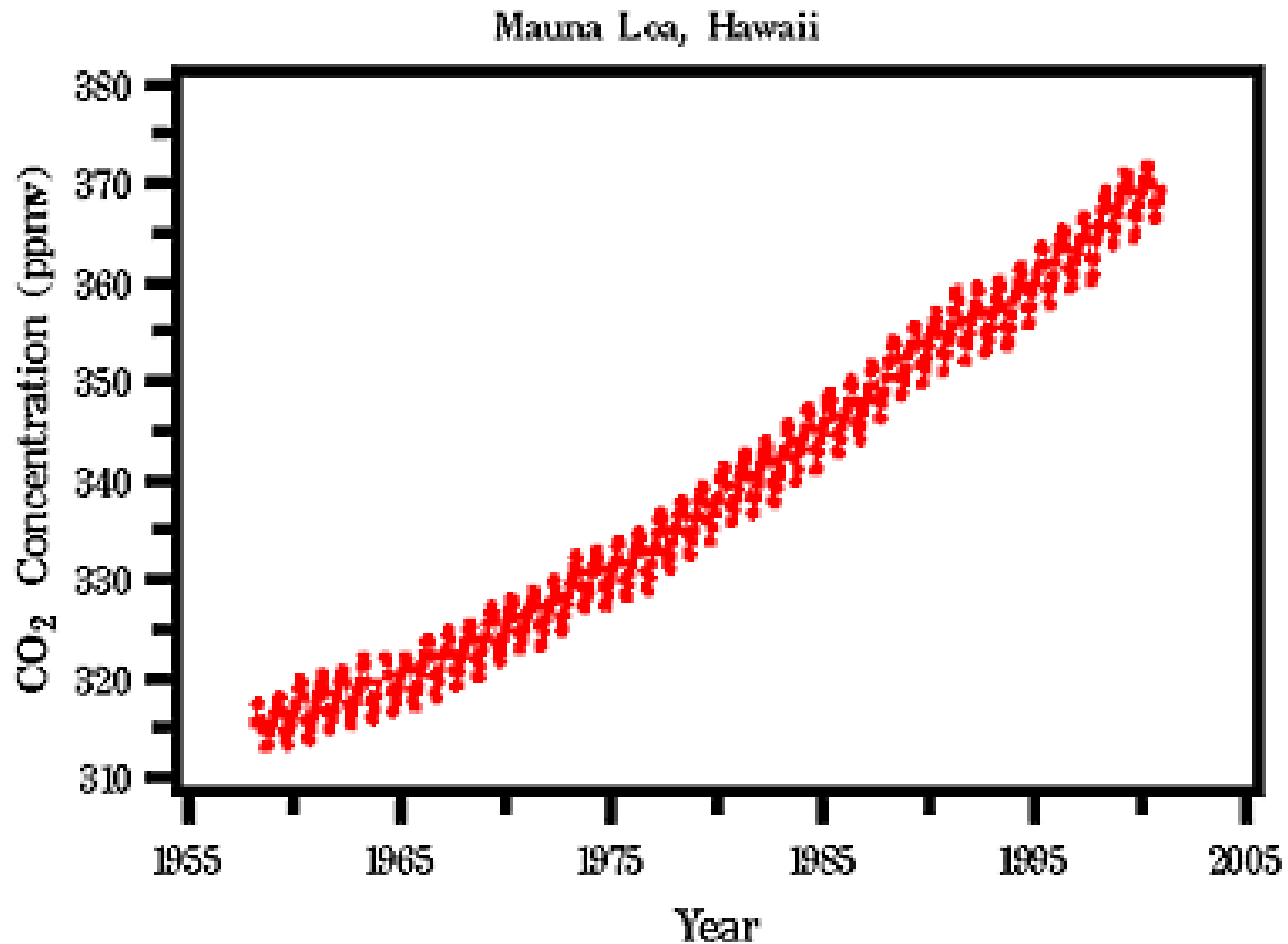
Dati Paleoclimatici dell'Antartide



Confronto Artide Europa Occidentale

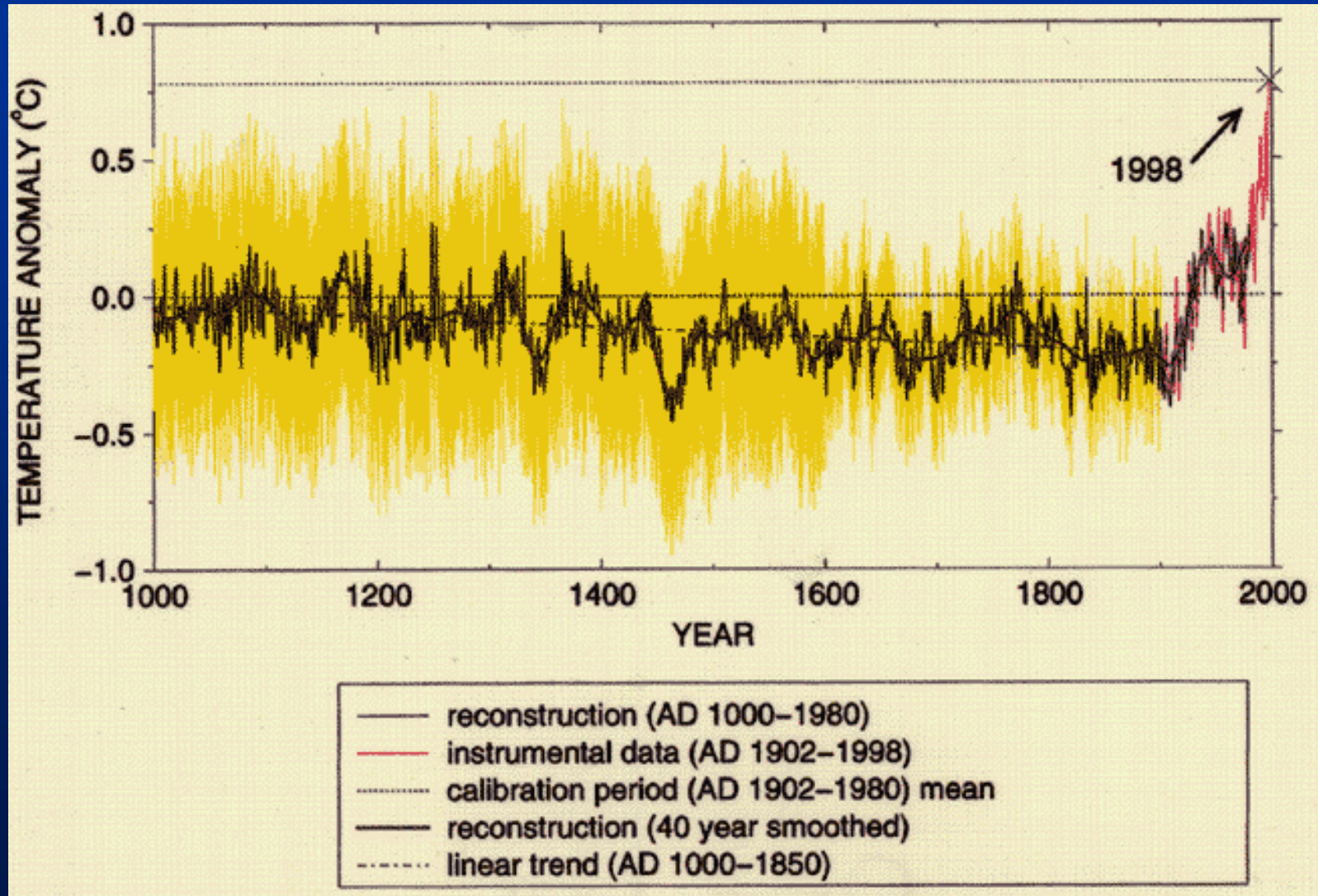


Aumento di CO₂ negli ultimi 50 anni

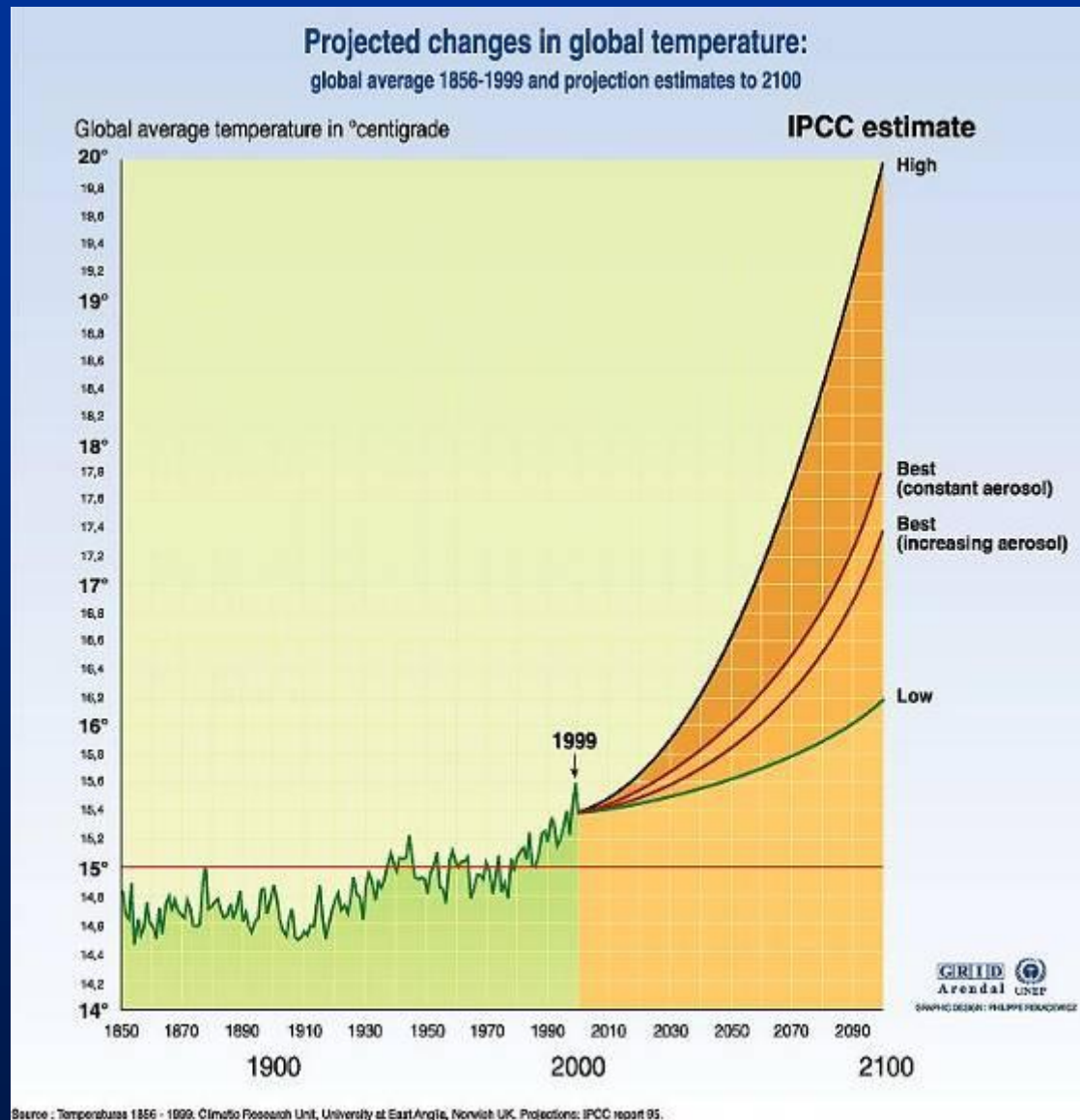


Source: Dave Keeling and Tim Whorf (Scripps Institution of Oceanography)

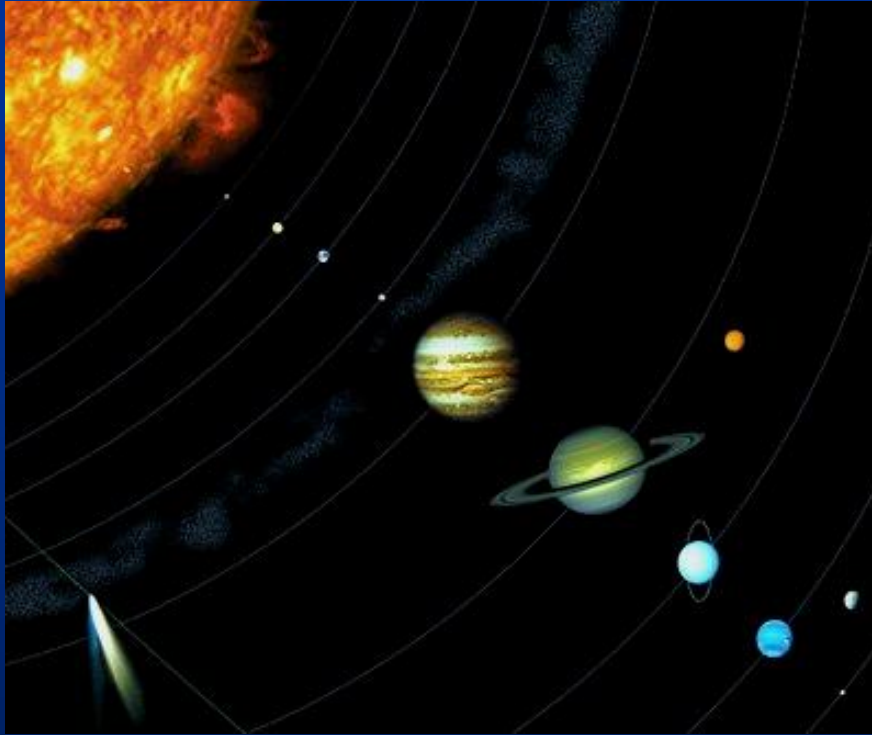
Andamento di temperatura negli ultimi 1000 anni



Modelli di Clima Globale



La presentazione è terminata



Grazie

Potrete trovare il materiale di questa conferenza all'indirizzo
<http://www.bo.astro.it/~bedogni/primolevi>

