

Le origini del mondo

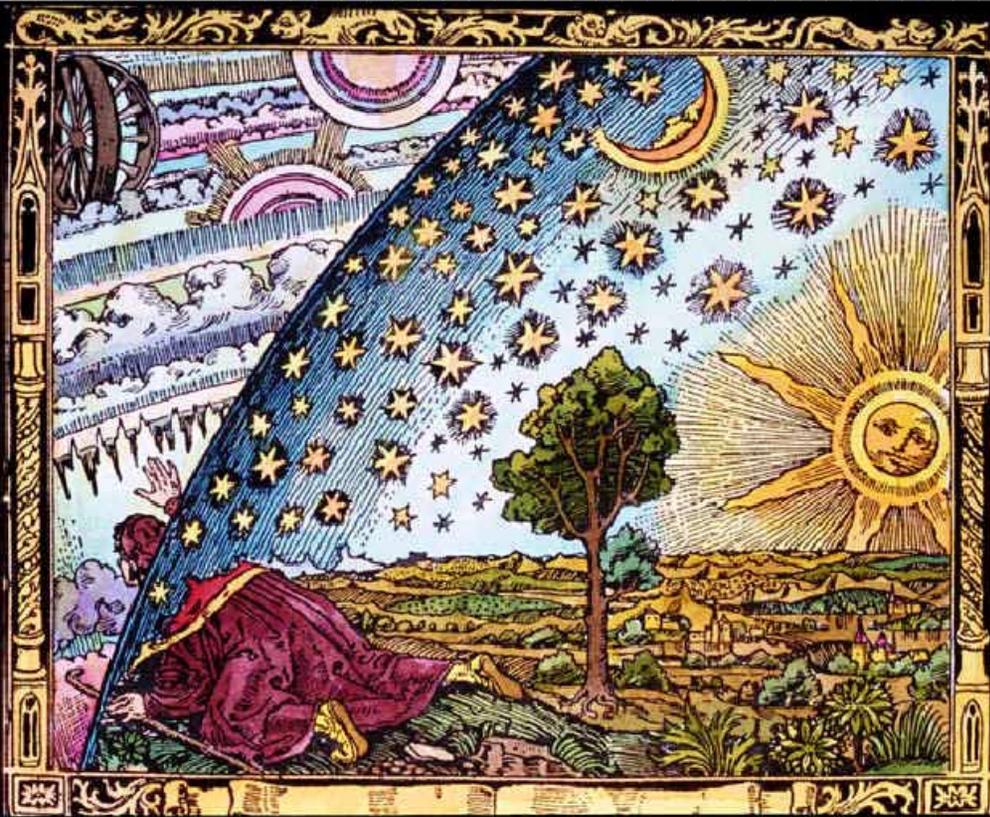
Giuseppe Longo

Ordinario di Astrofisica

Dipartimento di Scienze Fisiche – Università Federico II

INAF (Istituto Nazionale di Astrofisica)

INFN (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare)

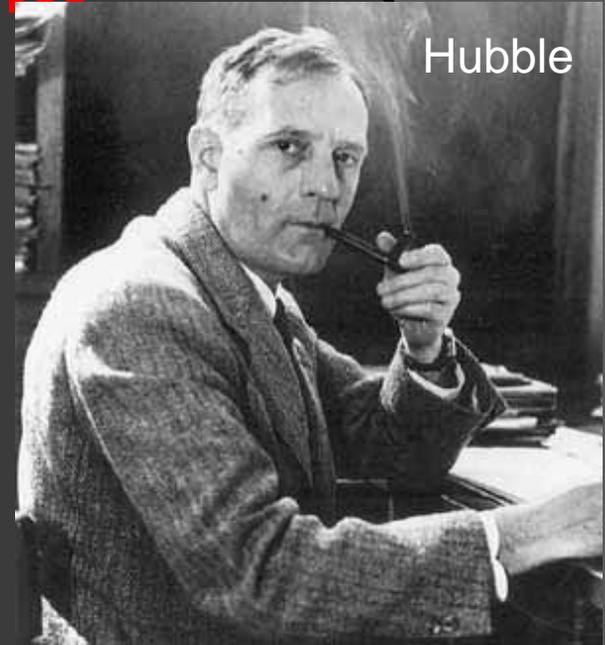
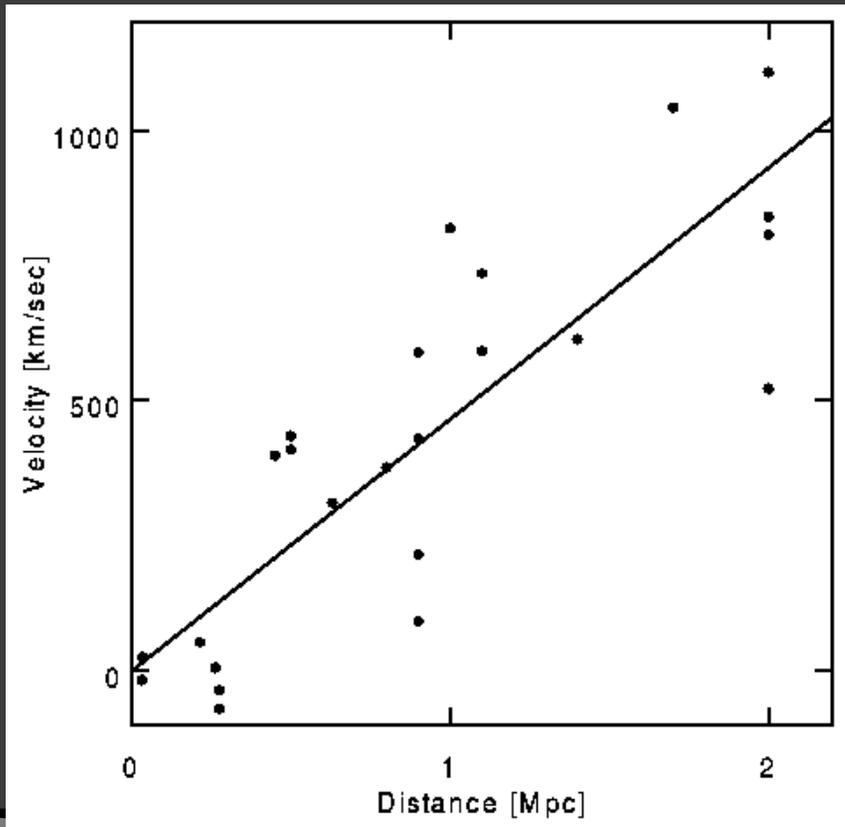


Napoli, 3 marzo 2008

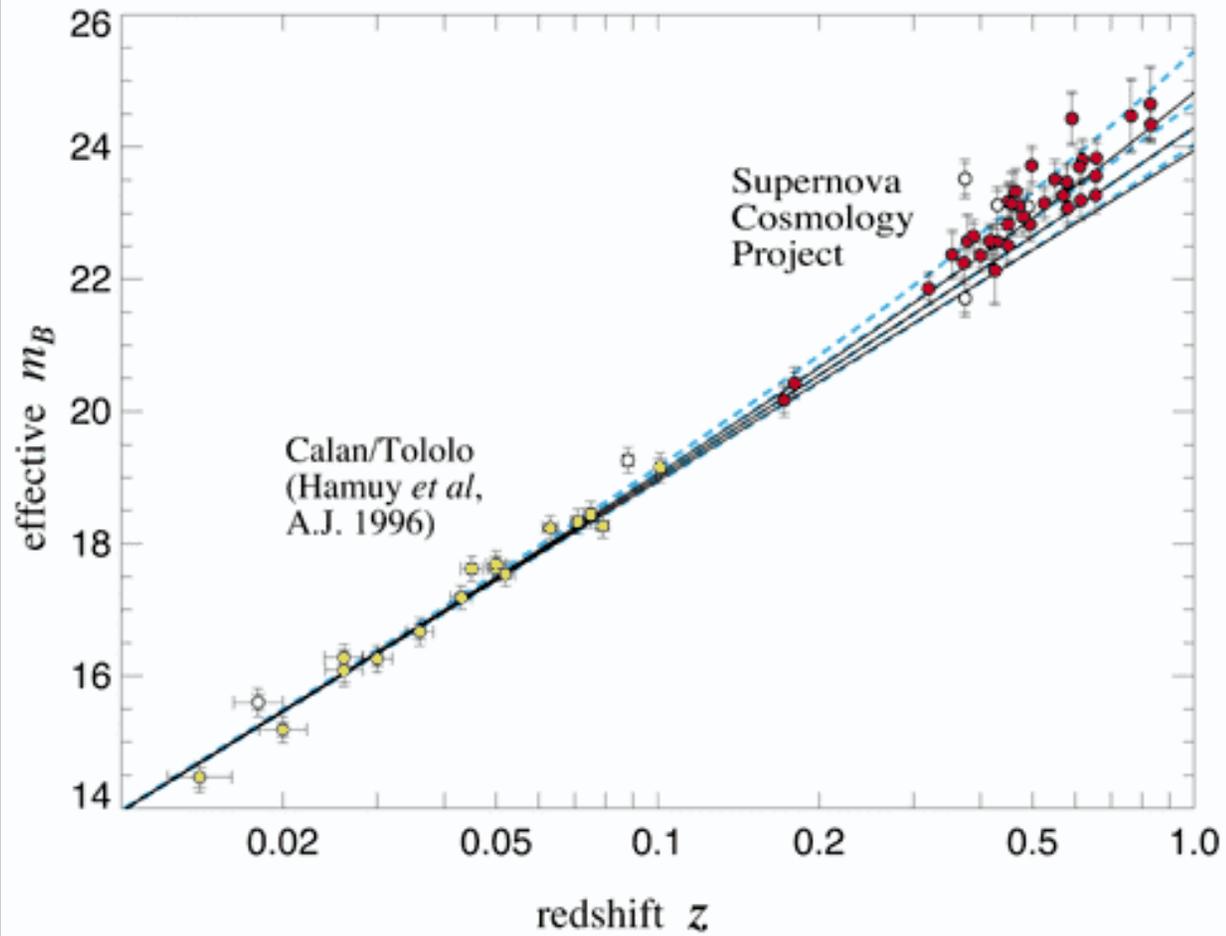
L'universo in espansione

192x – K. Lundmark
1929 – E. P. Hubble

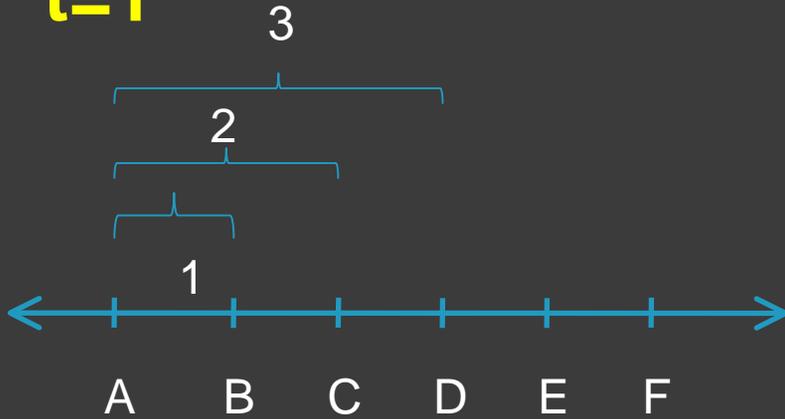
Le galassie si allontanano dalla Terra con una velocità che è proporzionale alla loro distanza



Supernova Cosmology Project
Perlmutter *et al.* (1998)

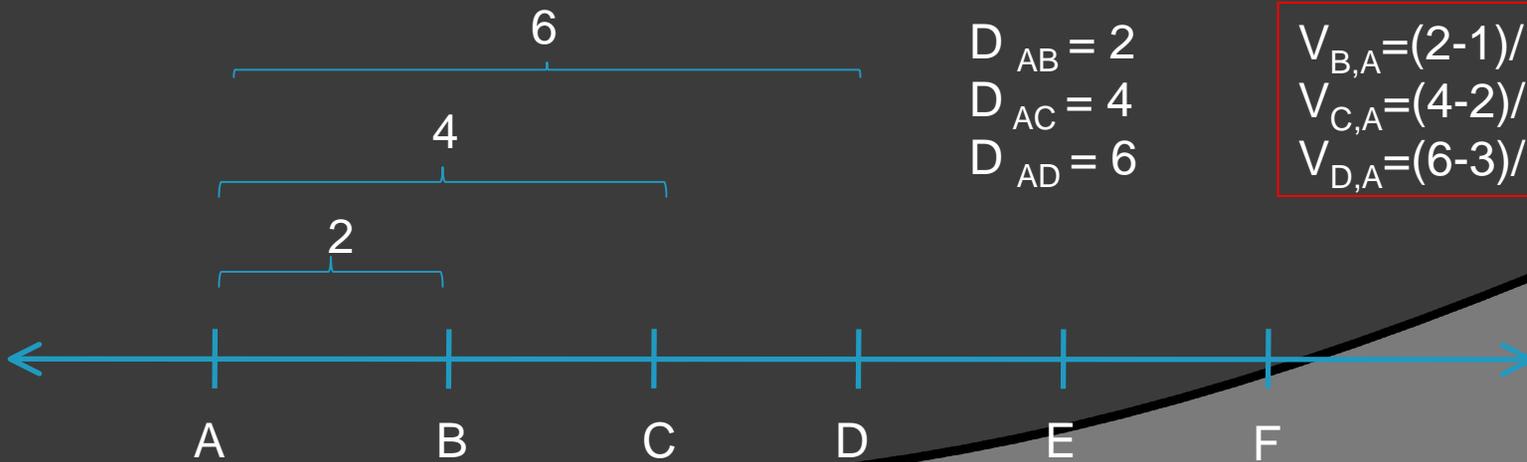


t=1



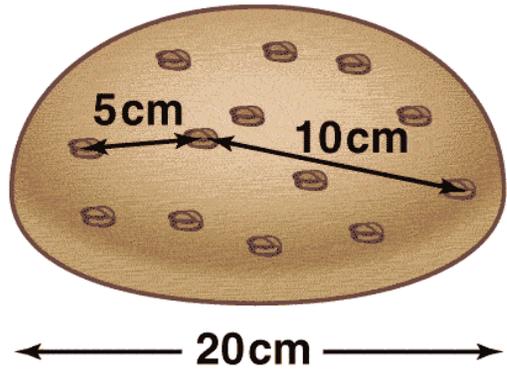
$$\begin{aligned} D_{AB} &= 1 \\ D_{AC} &= 2 \\ D_{AD} &= 3 \end{aligned}$$

t=2

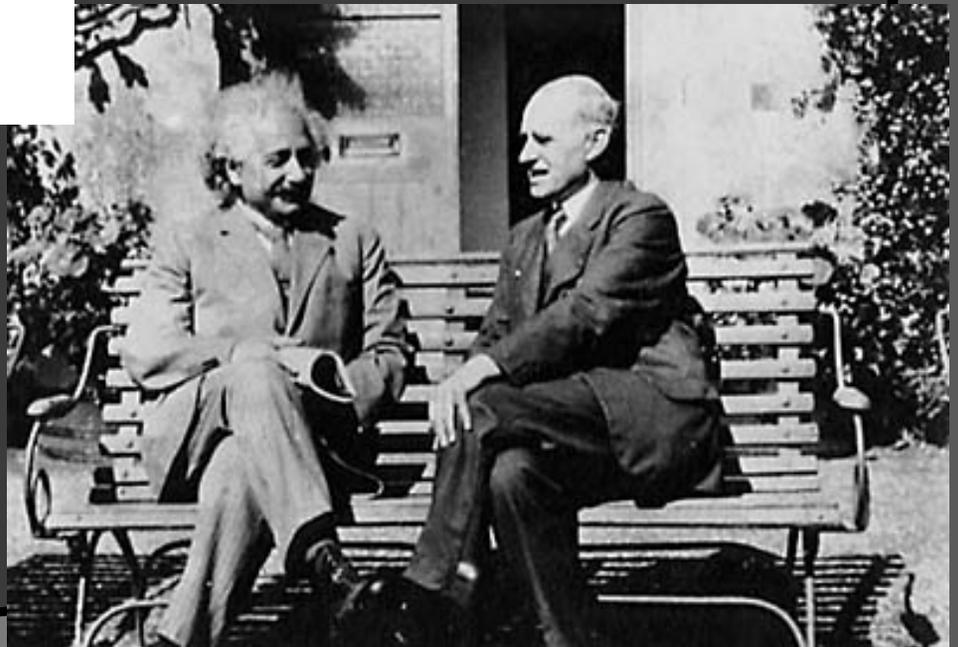


$$\begin{aligned} D_{AB} &= 2 \\ D_{AC} &= 4 \\ D_{AD} &= 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{B,A} &= (2-1)/1 = 1 \\ V_{C,A} &= (4-2)/1 = 2 \\ V_{D,A} &= (6-3)/1 = 3 \end{aligned}$$



MAP990404



Riflessione 1

La scienza non sempre è divulgabile nella sua interezza

Il suo studio implica una lotta ininterrotta contro il “senso comune”

- Il Big Bang non è un'esplosione nel senso comune: non si tratta dell'esplosione di una “bomba” in una stanza vuota ...
- Il Big Bang si è verificato simultaneamente in tutti i punti dello spazio, perché tutti i punti dello spazio coincidevano in un punto ...
- L'esplosione si verifica in quattro dimensioni (spazio-tempo)

La storia di una lenta morte termica ?

Big Bang: $T=0$

(17.000.000.000 anni fa)

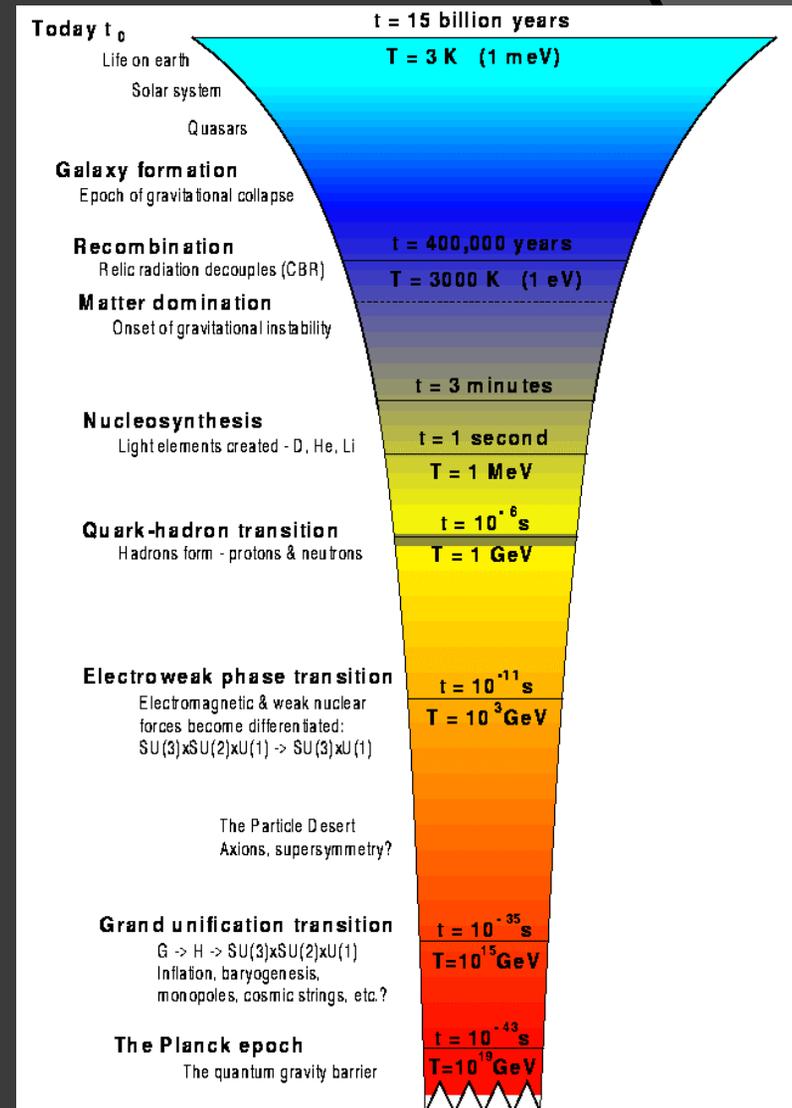
L'energia totale dell'universo (meccanica, termica, nucleare, etc.) è costante

Il raggio (R) dell'universo aumenta e la densità media di ogni grandezza fisica Q diminuisce con il volume V

$$R \propto \text{età} = t$$

$$\rho \propto 1/R^3 \approx 1/t^3$$

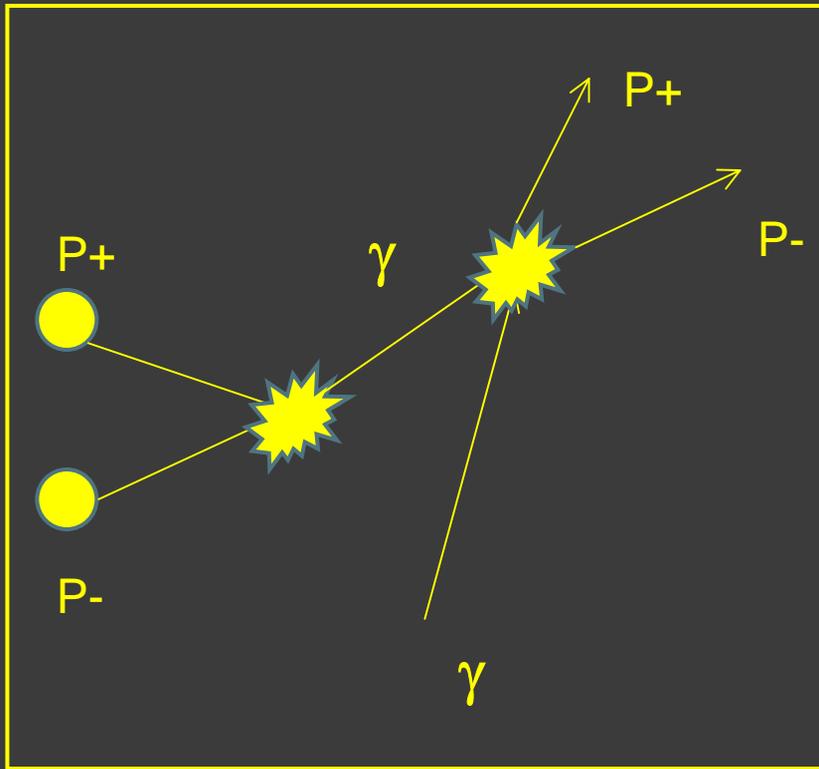
La densità di energia diminuisce e l'universo si raffredda



Agli inizi

$$E=mc^2$$

C = velocità della luce $= 3 \times 10^{10}$ cm/s



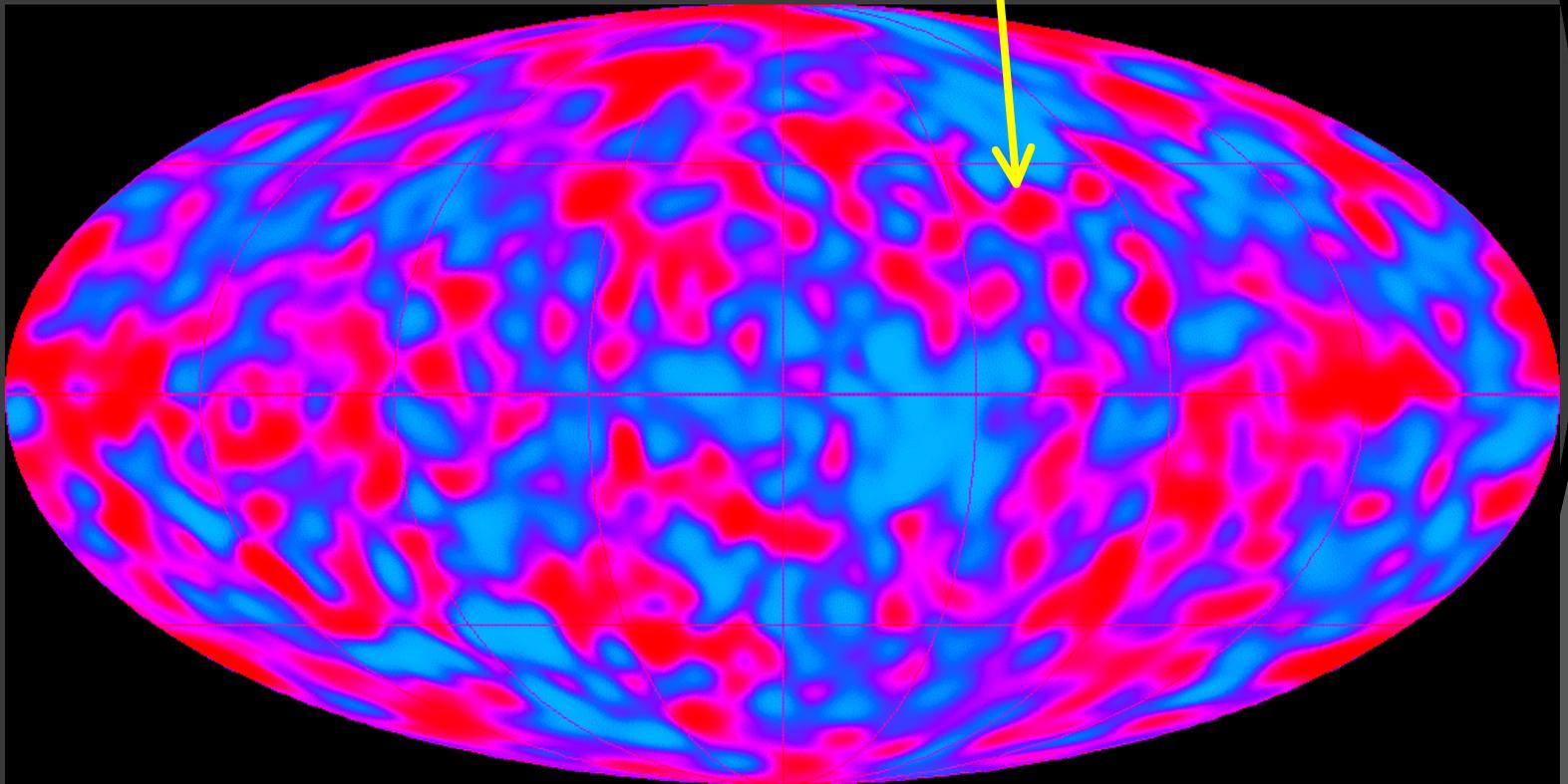
- Quando ρ molto grande, il processo avviene nelle due direzioni
- Ma l'universo si espande e ρ diminuisce
- Ad un certo punto la radiazione elettromagnetica non forma più particelle ed il numero di fotoni e di particelle viene, per così dire, congelato

La superficie di last scattering

T= 400.000 anni

(16.999.600.000 anni fa)

$$\frac{\delta T}{T} \cong 10^{-4} K$$



La materia si contrae

Fully Cosmological TreeSPH Simulations of Galaxy Cluster Formation

- $(\Omega_M, \Omega_\Lambda) = (0.3, 0.7)$, $h = 0.7$, $z_i = 19$, Glass initial conditions
- Star-formation, stellar evolution, gas, energy and heavy element feedback
- Meta-galactic UV field (Haardt & Madau), pseudo radiative transfer
- Heavy element and UV field dependent radiative cooling and heating
- Thermal conduction
- Chemical evolution: ^4He , ^{12}C , ^{14}N , ^{16}O , ^{17}O , ^{24}Mg , ^{28}Si , ^{32}S , ^{40}Ca , ^{56}Fe
- $\text{Ly}\alpha$, $\text{H}\alpha$ emission - Optical/NIR evolution by stellar population synthesis

Simulazione cosmologica
Da $t = 0$ a $t = 13.000.000.000$
anni

Da notare:

La scala dell'immagine
cambia

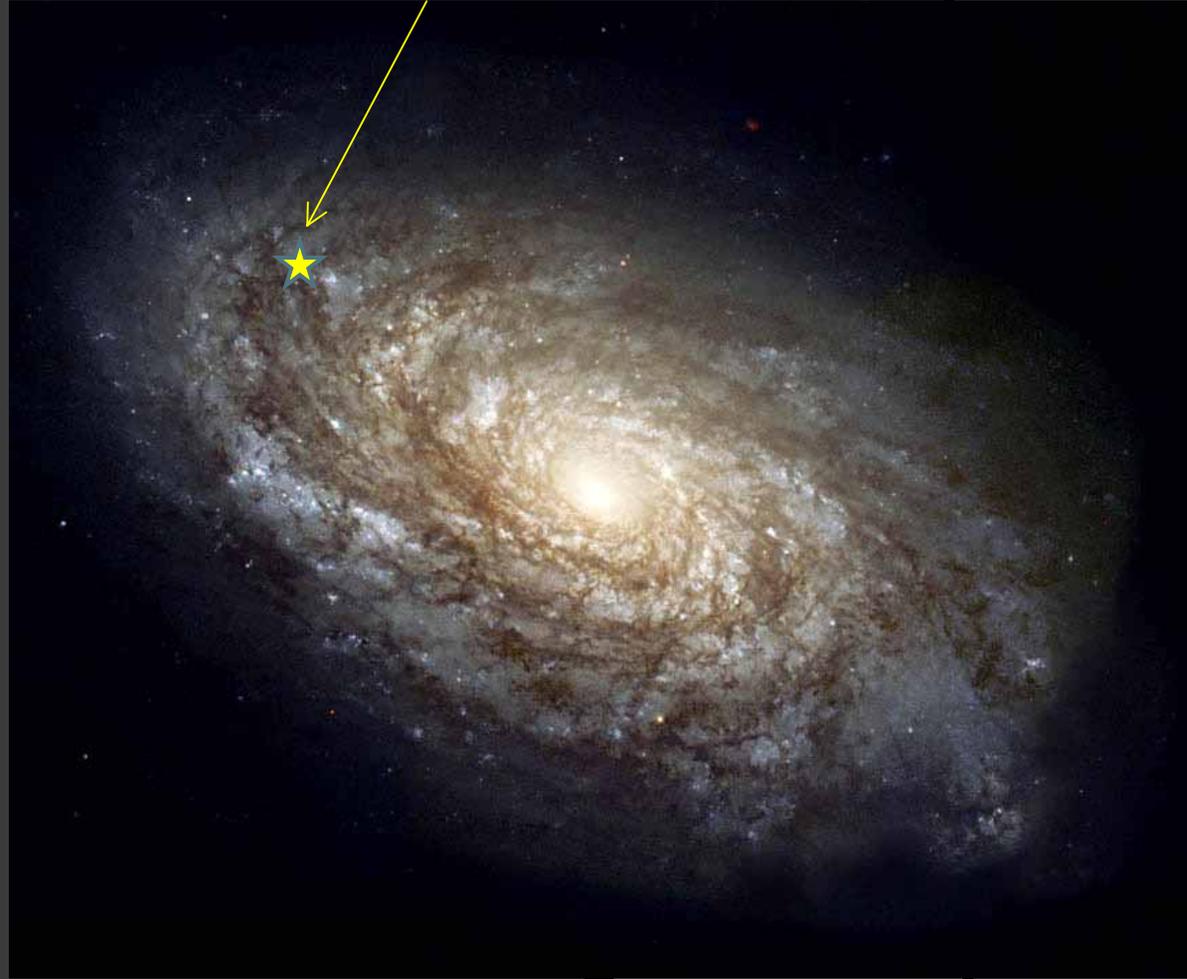
Ogni punto è una particella

... e forma le galassie

© Anglo-Australian Observatory



Sole



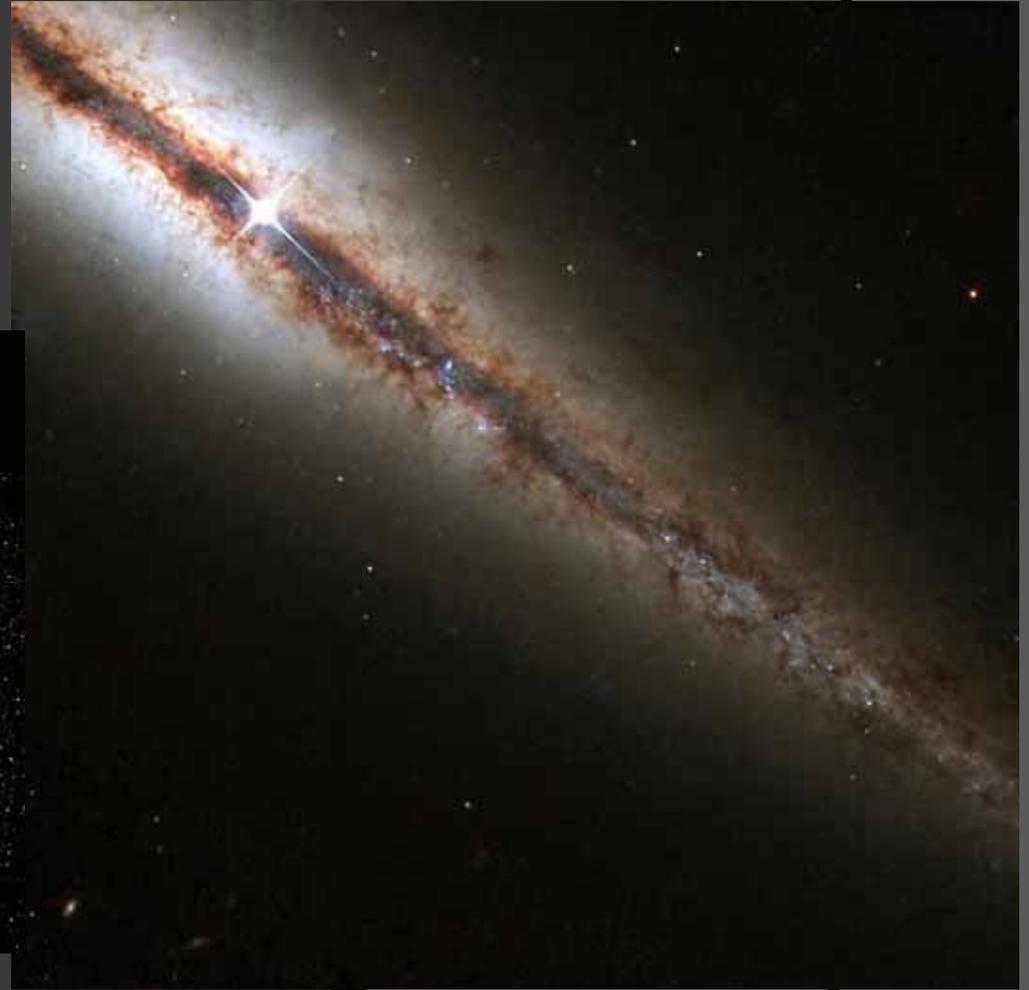
T= 2.000.000.000 anni

(15.000.000.000 anni fa)

Le origini – stelle vecchie e ISM

$T < 4.000.000.000$ anni

(13.000.000.000 anni fa)



Le origini – stelle giovani. ...

Oggi



© Royal Observatory, Edinburgh / Anglo-Australian Observatory

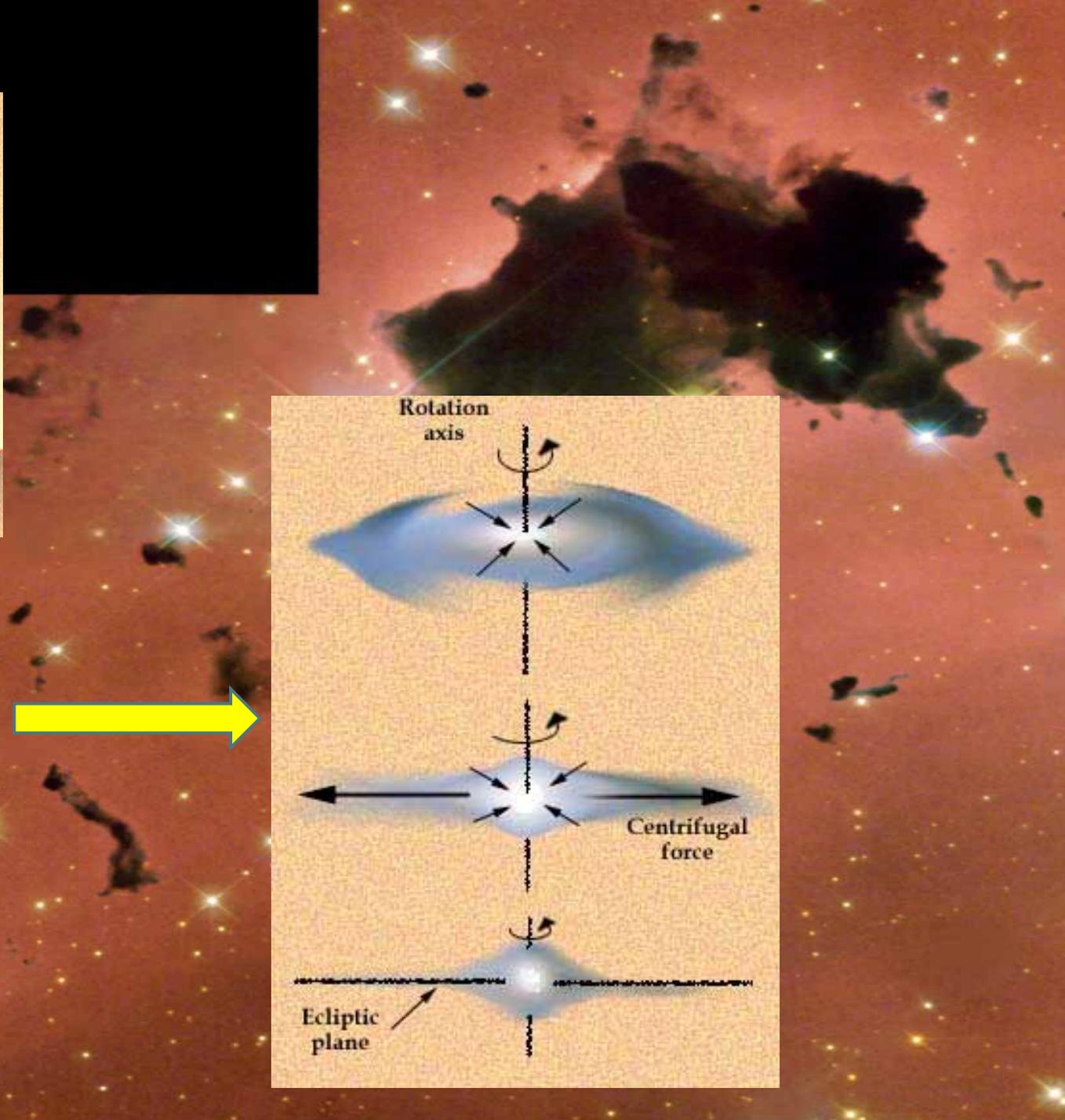
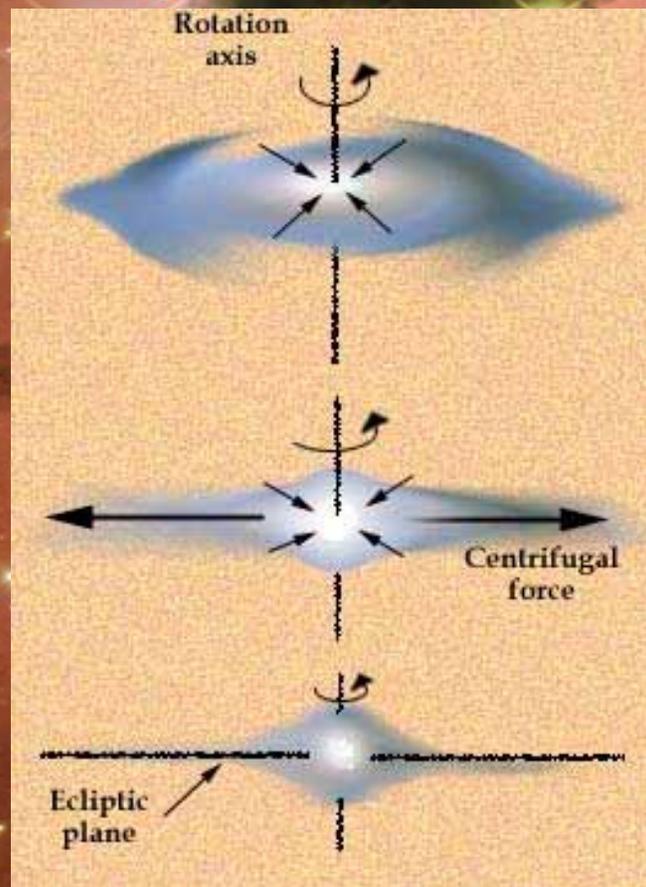
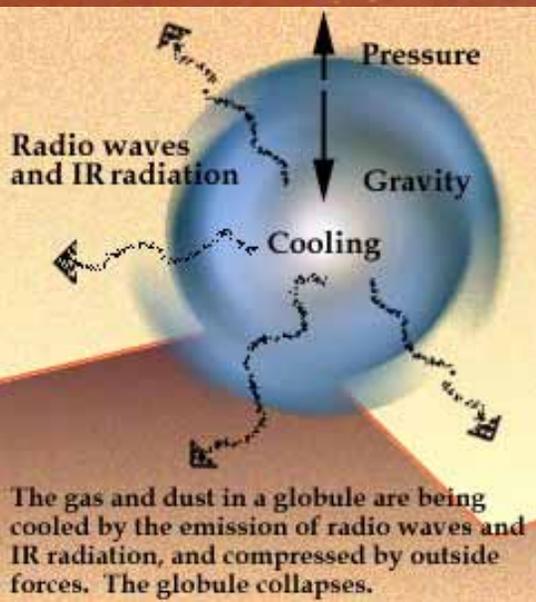
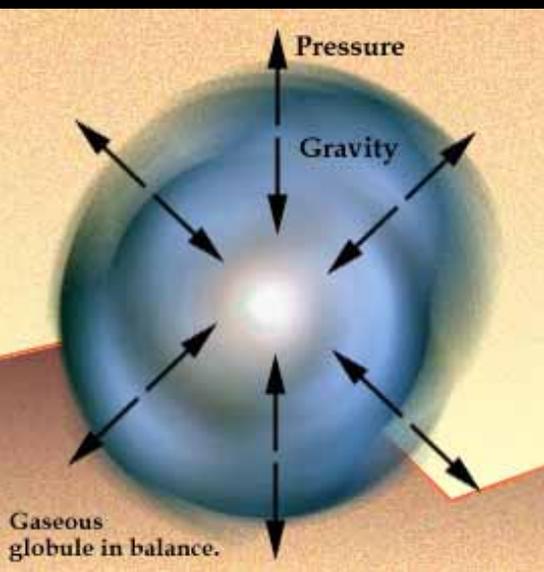


CFR



Pierre Simon de La Place

Le origini



Riflessione 2



La divisione in discipline è un artificio comodo dal punto di vista didattico ma è assolutamente arbitraria e superata dai

Gli oggetti del sistema solare



Distanza crescente dal Sole

Sole

Mercurio

Venere

Terra

Marte

Giove

Saturno

Urano

Nettuno

Plutone

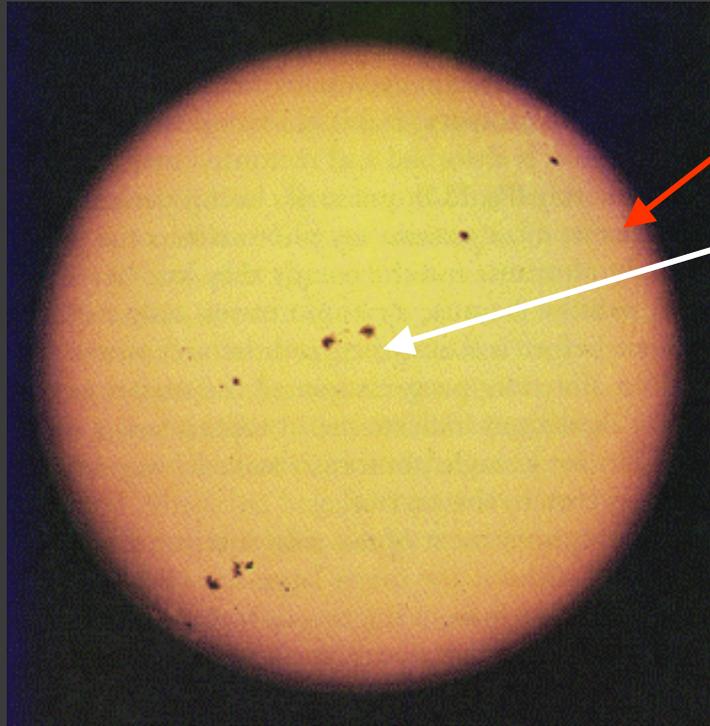
....

Corpi minori (satelliti
asteroidi, comete)

**Pianeti interni o
di tipo terrestre**

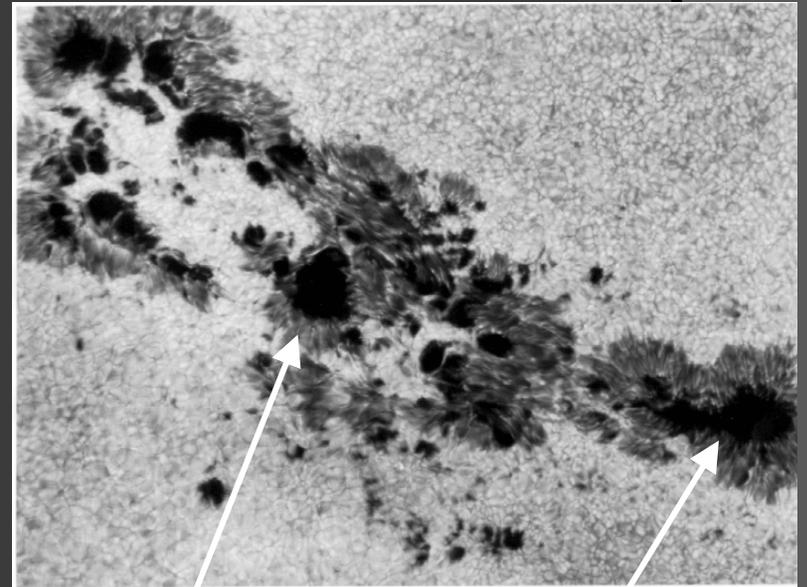
**Pianeti esterni o
di tipo gioviano**

Il Sole



Oscuramento al bordo

Macchie solari



diametro: 1.390.000 km

massa: 1.989×10^{30} kg

temperatura centrale: 14,000,000 K

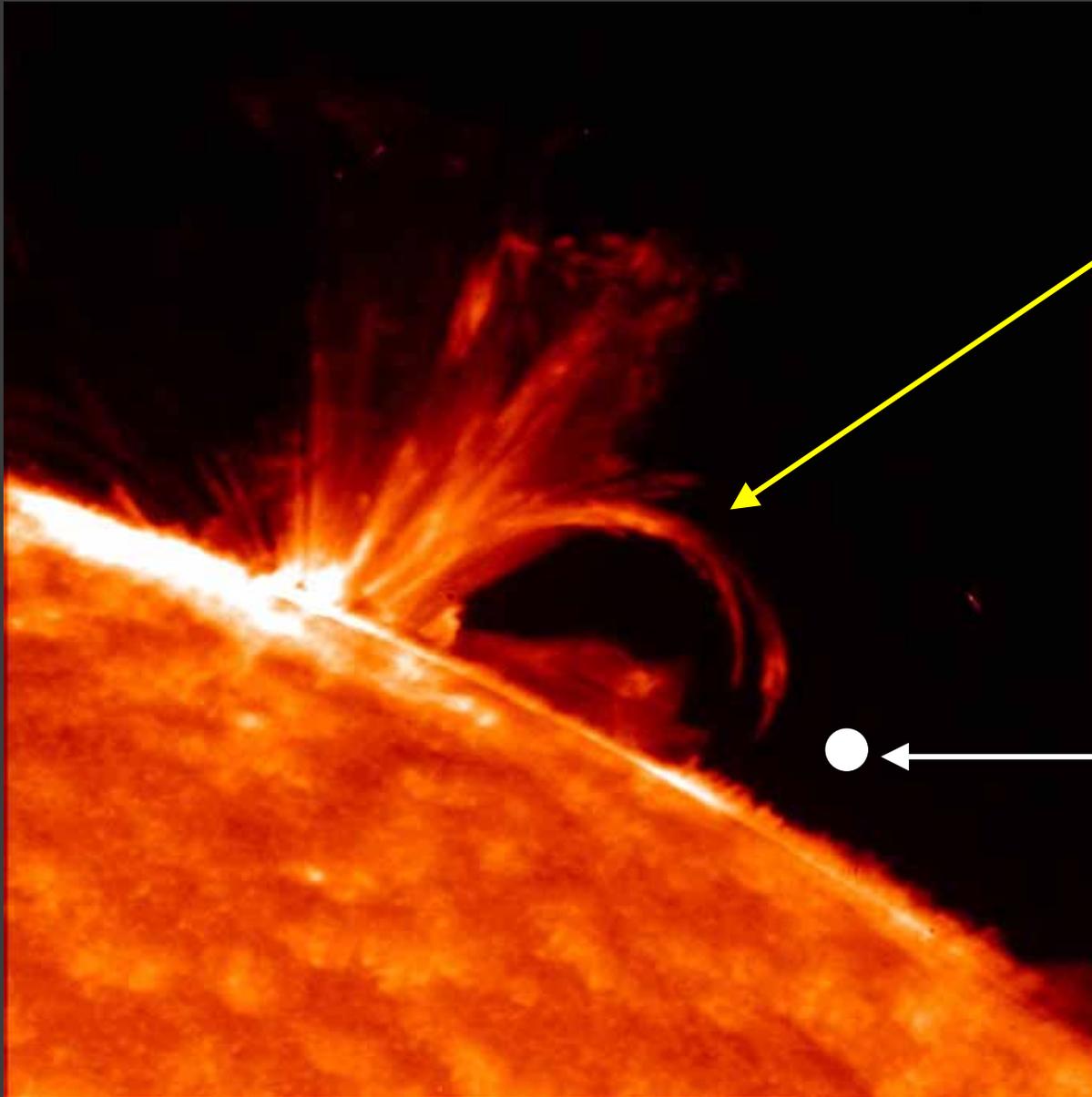
temperatura superficiale: 5800 K

composizione: 75% H, 25% He, 0.1% altro

penombra

ombra

IL SOLE



Linee di forza del
campo magnetico

Dimensioni in scala
della Terra !

Mercurio



Da terra

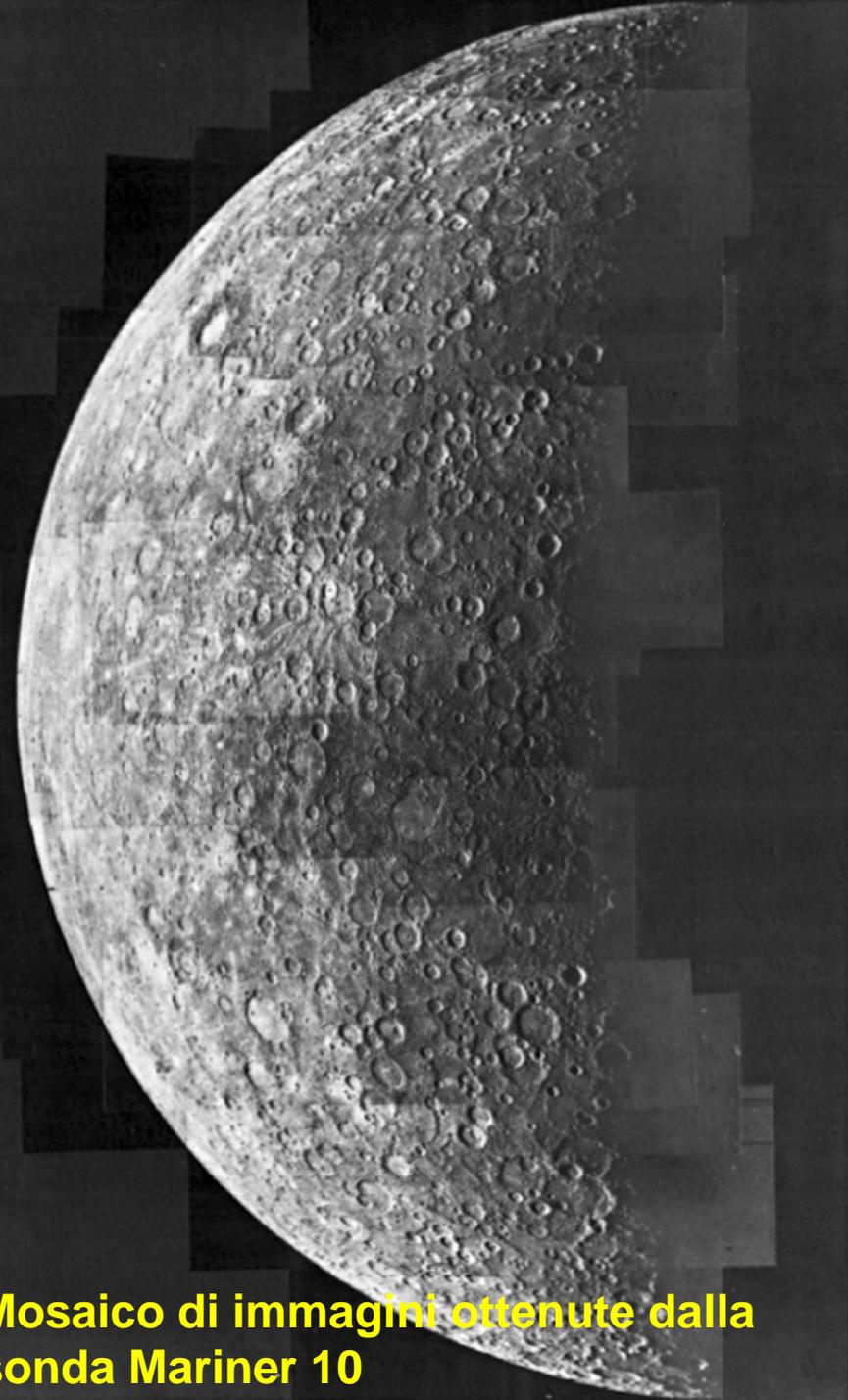
Distanza dal Sole: 57.910.000 km

Diametro: 4878 km

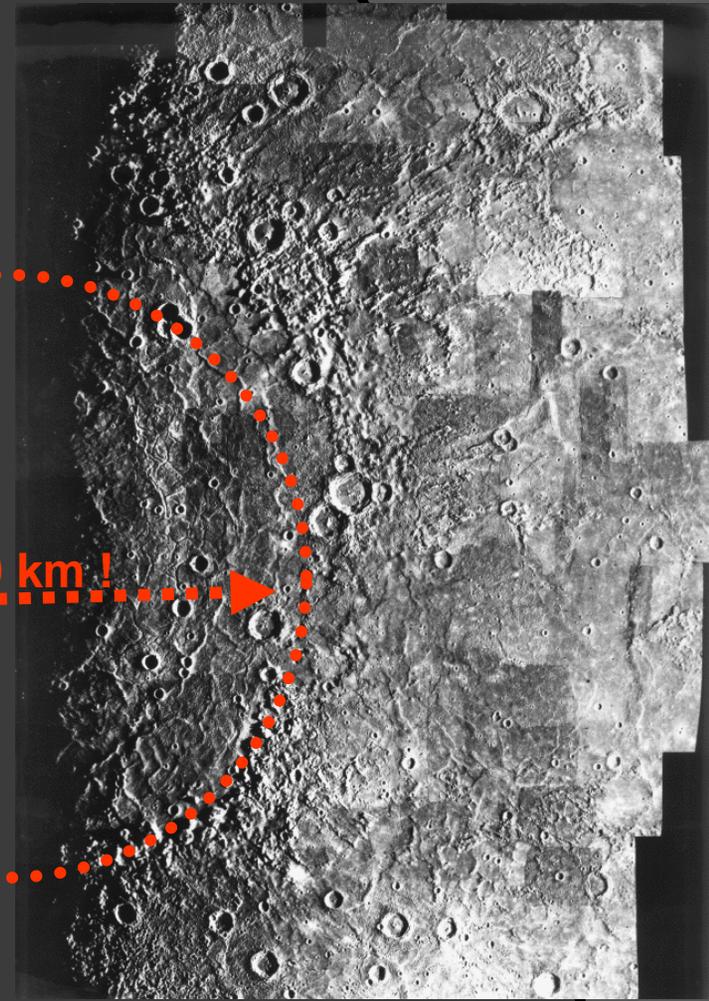
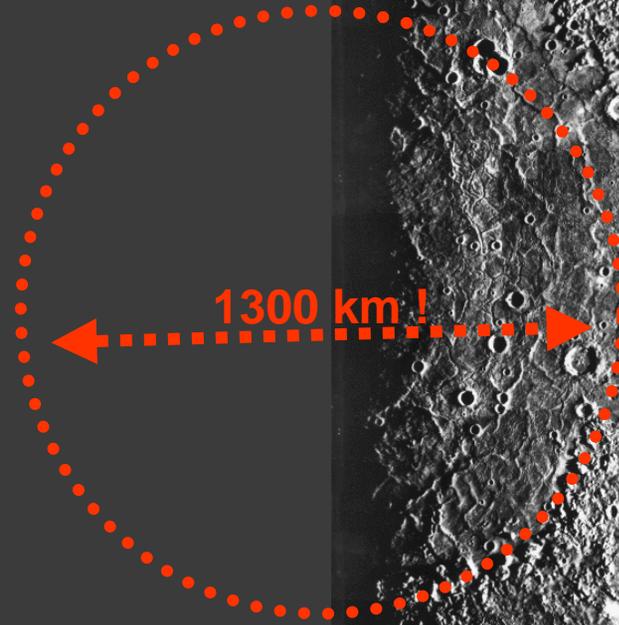
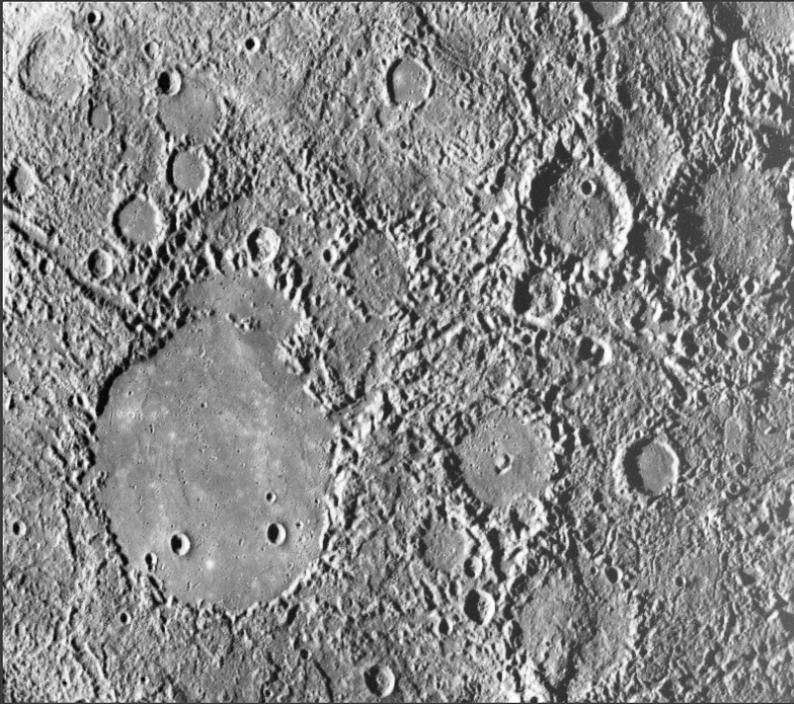
Massa: 3.30×10^{23} kg

Temperatura: tra 90 e 700 K

Satelliti: nessuno



Mosaico di immagini ottenute dalla sonda Mariner 10



Bacino del calore

Venere

Raggio: 6052 km

Densità: 5.25

Massa: 4.87×10^{24} kg

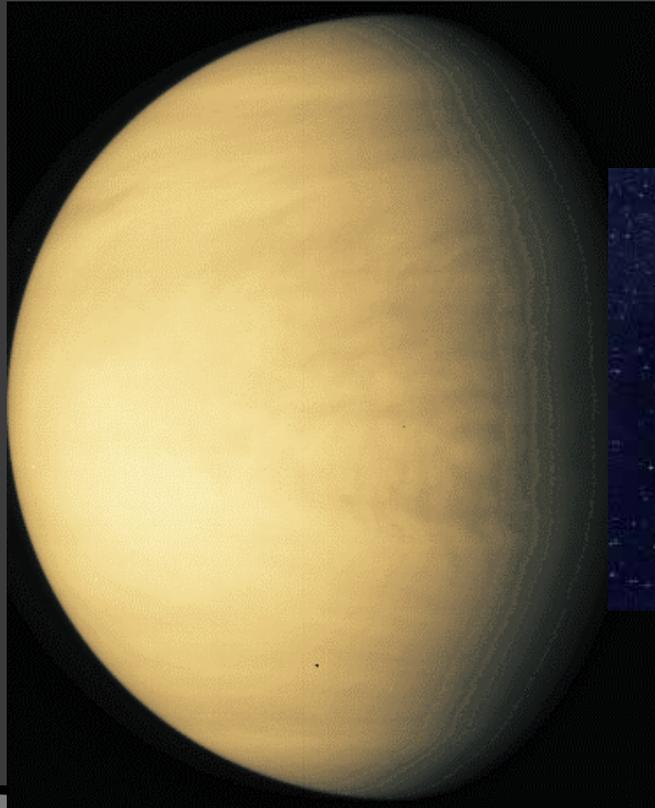
Distanza dal Sole: 108.200.000 km

Composizione della superficie: rocciosa, di tipo terrestre

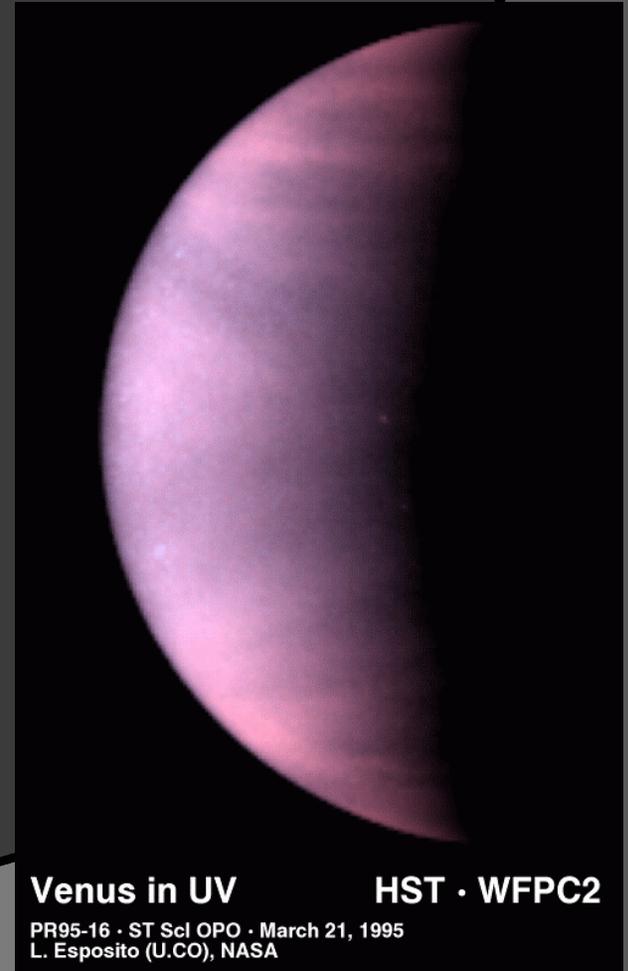
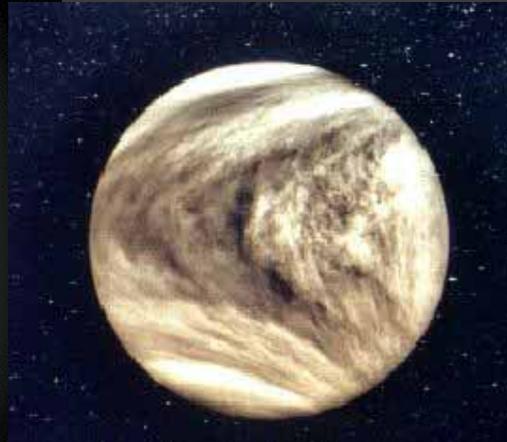
Composizione chimica dell'atmosfera: CO_2 , acido solforico

Temperatura superficiale: tra 400 e 740 C

Numero di satelliti: nessuno



Mariner 10



Venus in UV

HST · WFPC2

PR95-16 · ST ScI OPO · March 21, 1995
L. Esposito (U.CO), NASA

HST

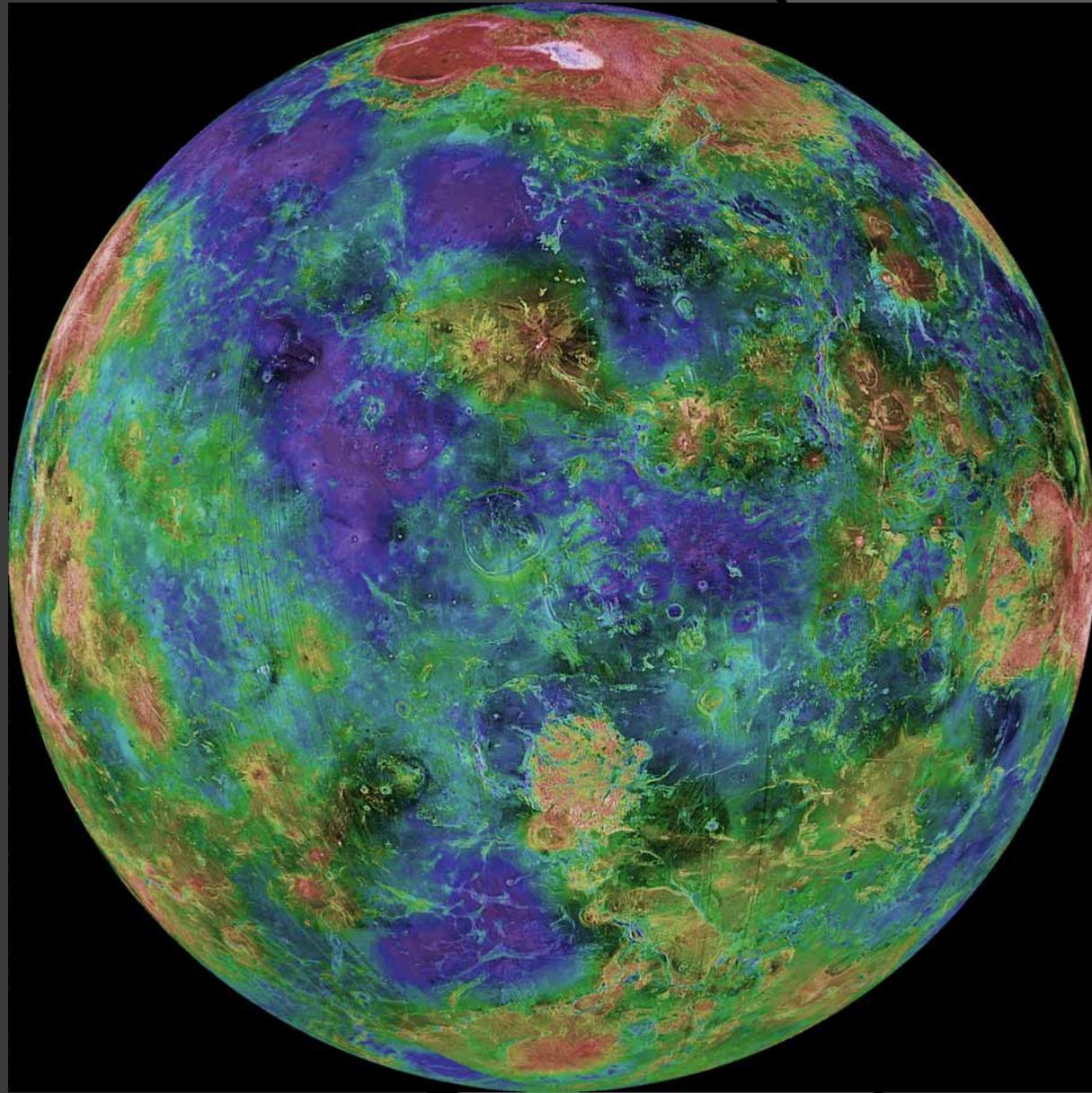
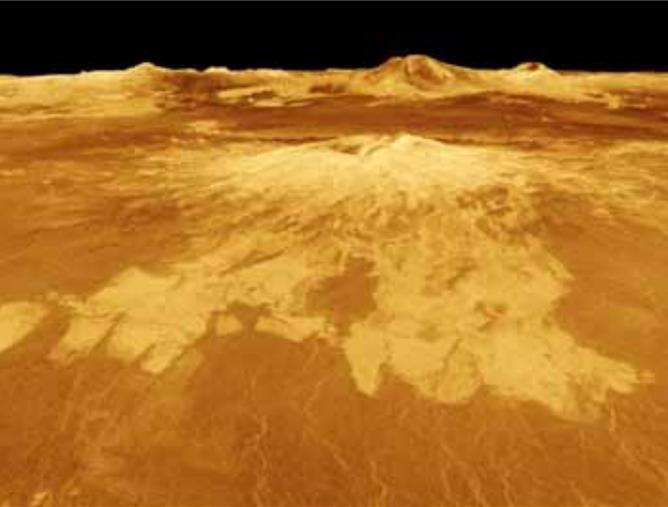


Sonda sovietica Venera

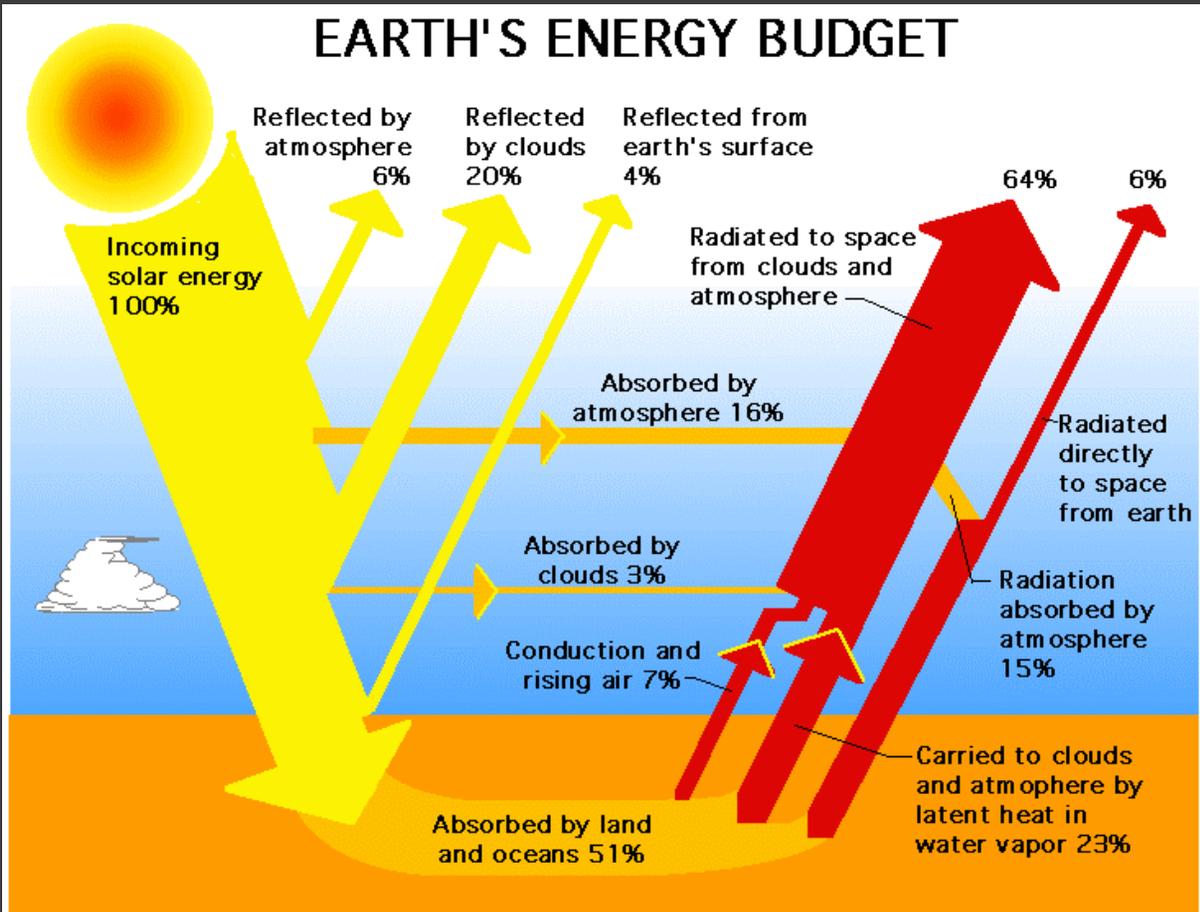
**Immagine radar di Venere
ottenuta da terra usando il
radiotelescopio di Greenbank**



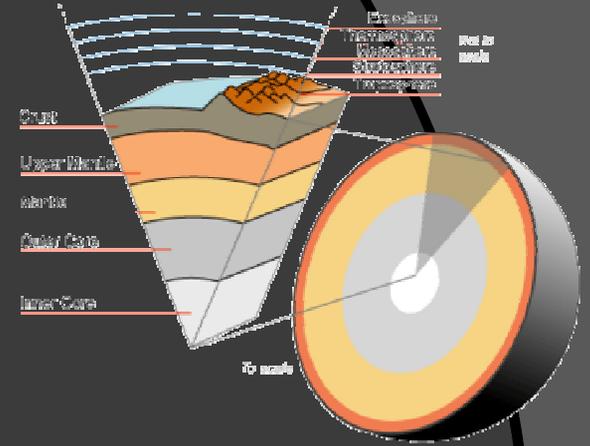
Magellan



EARTH'S ENERGY BUDGET

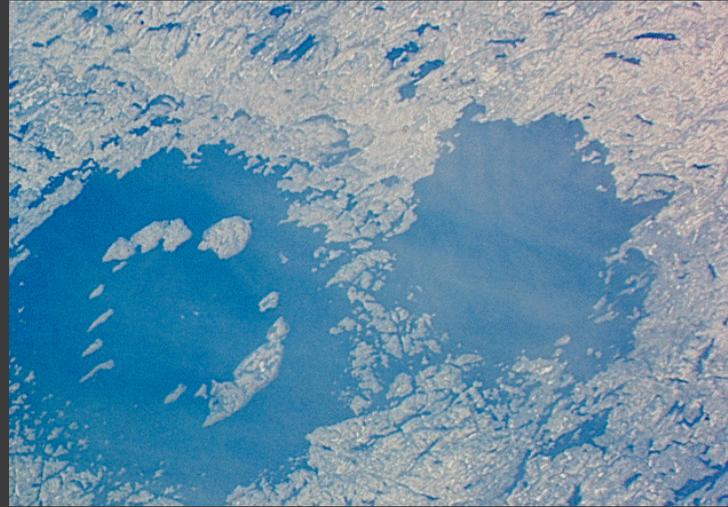


La Terra





Crater Wolfe - Australia



Crater Clear Lakes - Canada



Crater New Quebec - Canada



Crater Barringer - USA

Se sono molto massicci (alcune centinaia o migliaia di tonnellate) possono provocare una catastrofe planetaria!



Enormi quantità di polvere vengono scaraventate nell'atmosfera

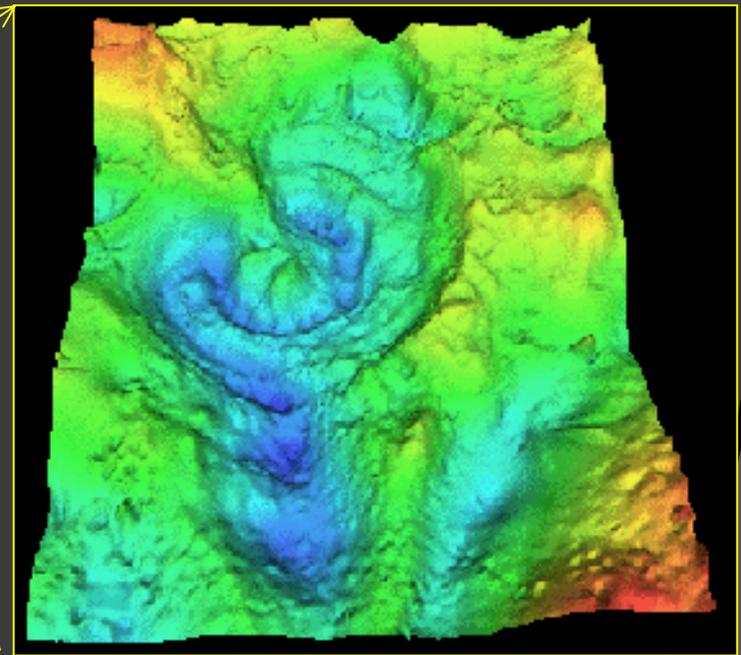


Si ha la formazione di un grande cratere e, a causa della polvere, la radiazione solare non può più raggiungere la superficie terrestre! si ha, cioè, un Inverno Nucleare.



65.000.000 di anni fa

Transizione K-T - Gubbio



Mapa sonar dello Yucatan

La Terra



Sonda Galileo

La Luna



Marte

Distanza dal Sole: 227.940.000 km

Diametro: 6794 km

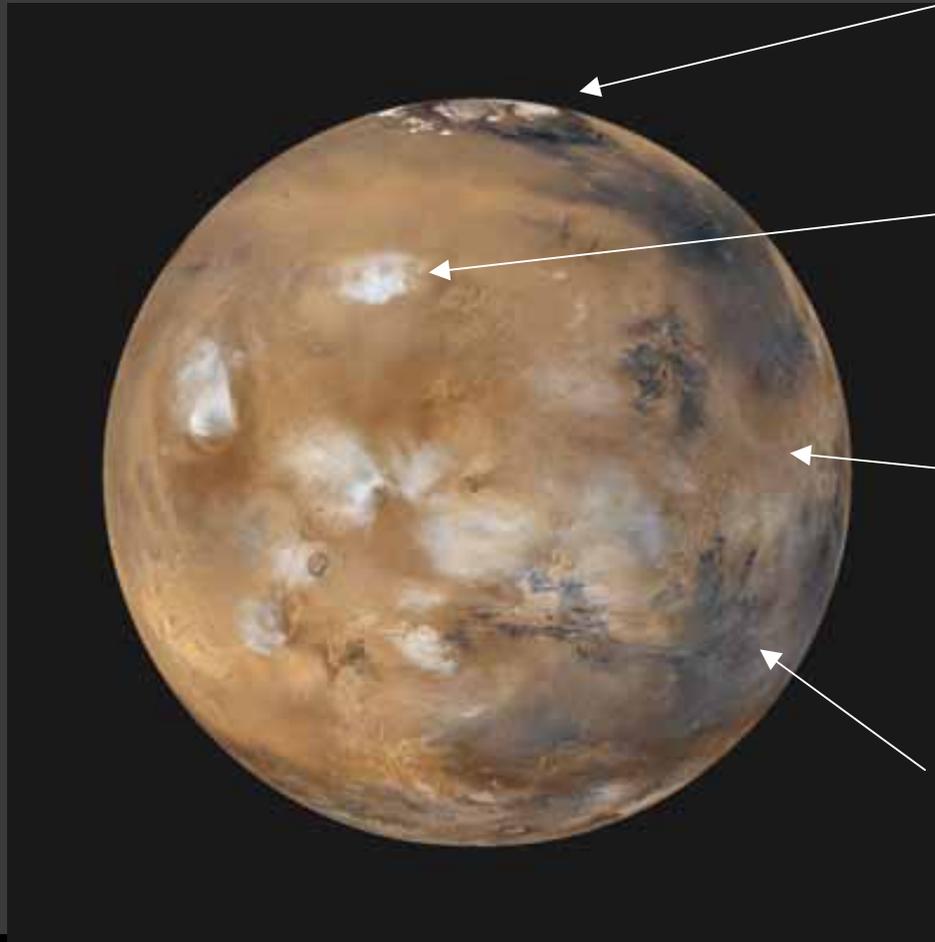
Massa: 6.42×10^{23} kg

Temperatura superficiale: 150-295 K

Satelliti: Phobos e Deimos



HST

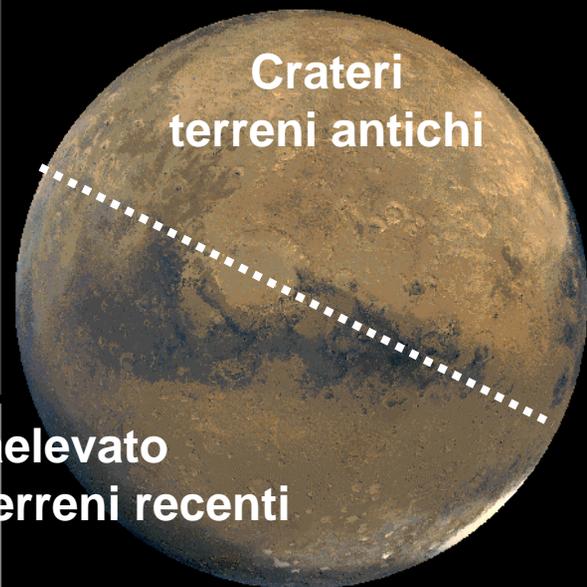
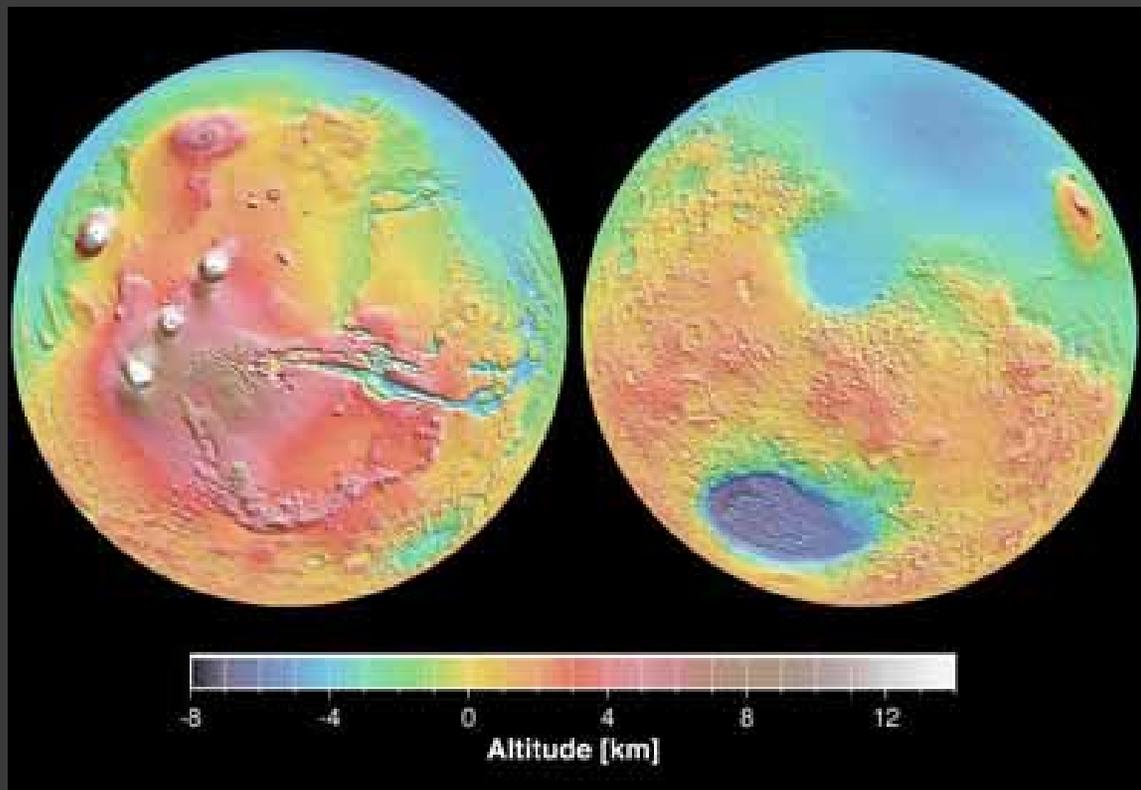


Calotte polari

Nuvole

Deserti

Vulcani

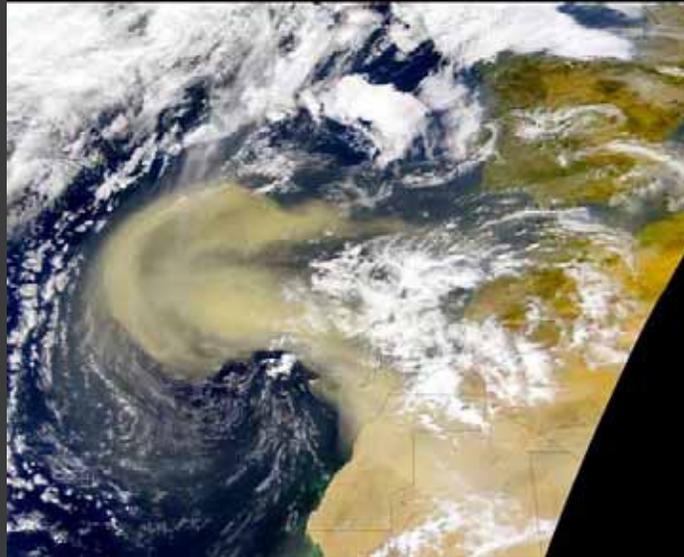


Sopraelevato
vulcani & terreni recenti

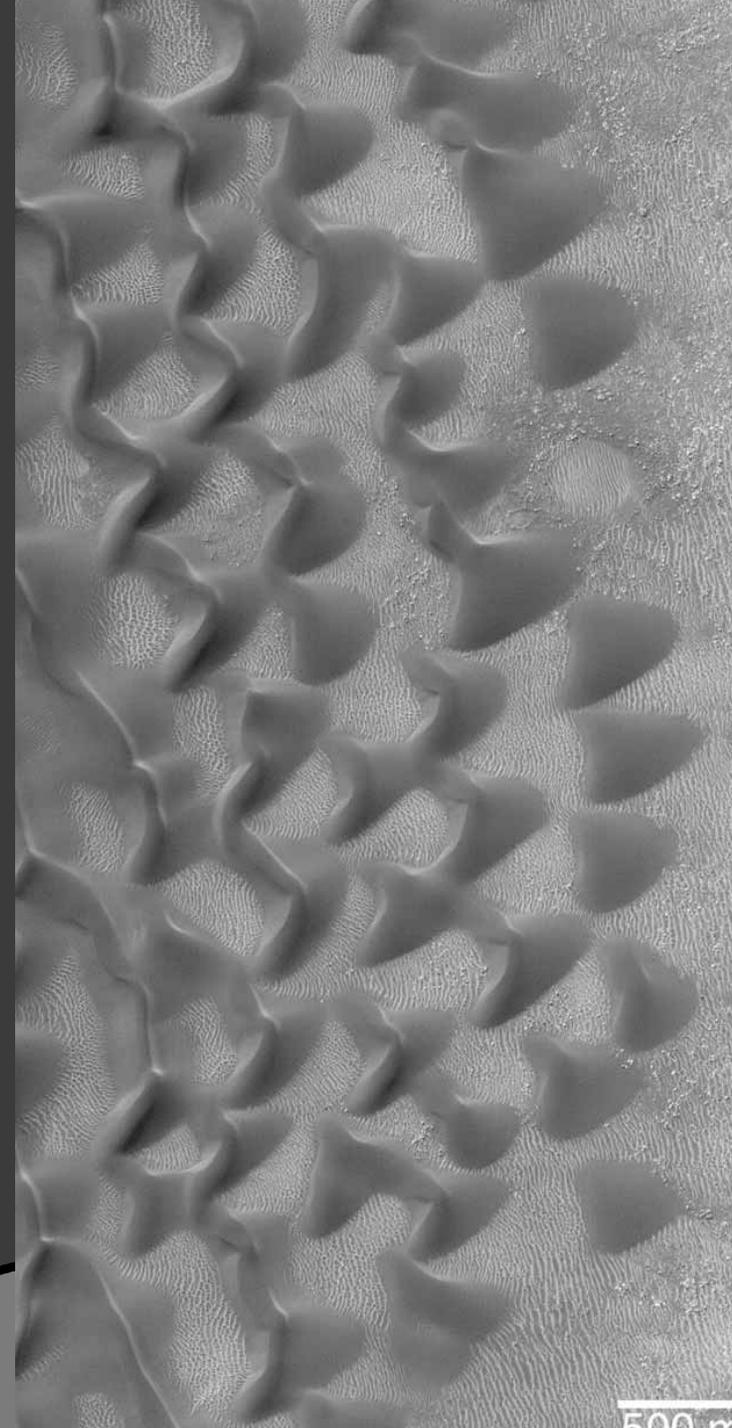
Le sabbie di Marte



Marte

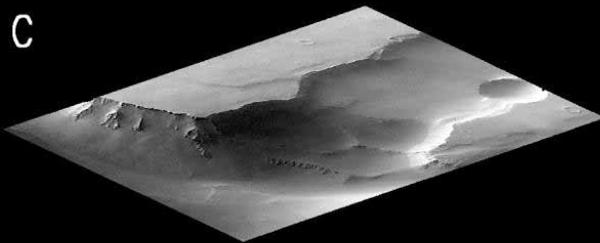
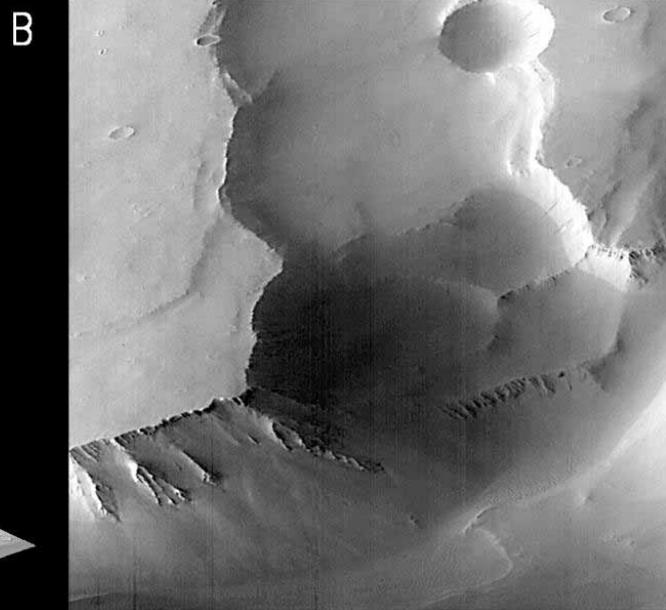
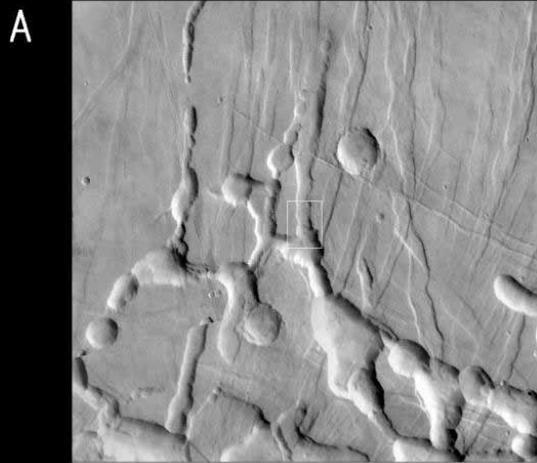


Terra



500 m

Le acque di Marte



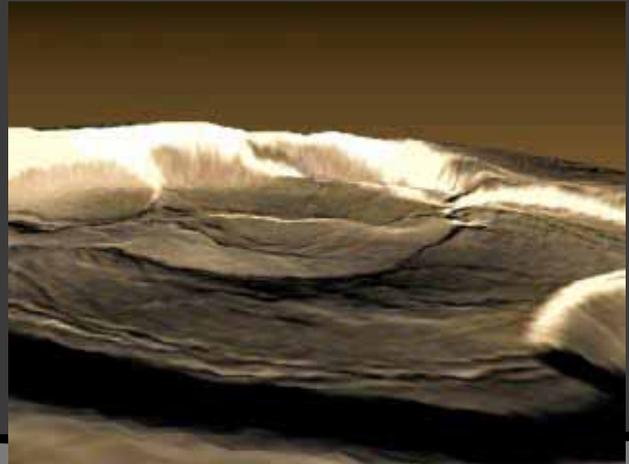
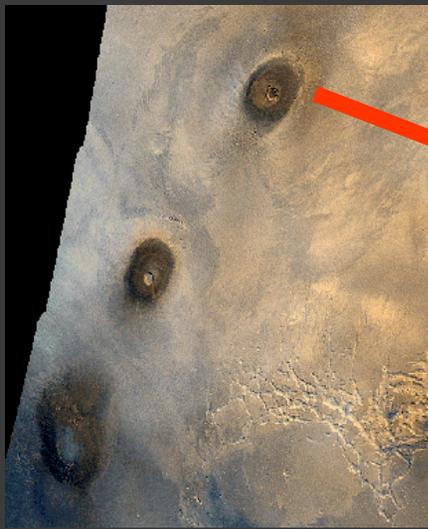
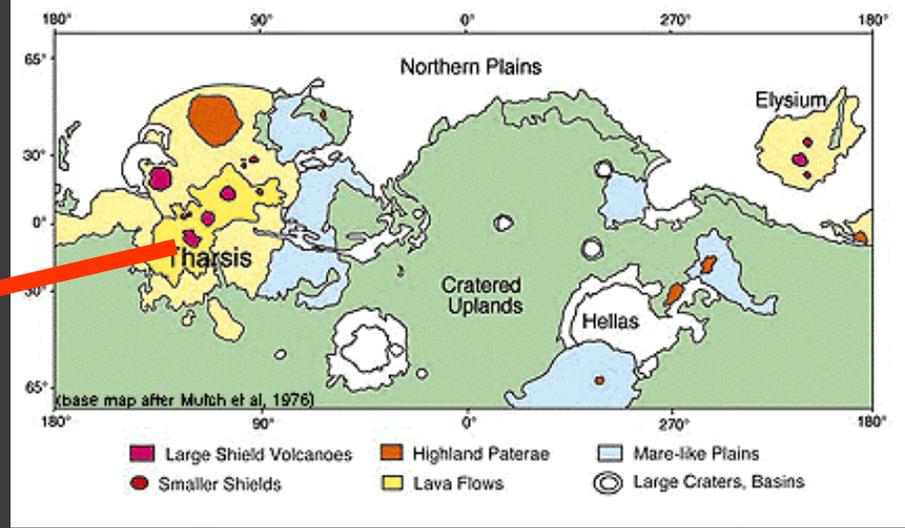
L'acqua su Marte è stata scoperta e confermata nel 1896 ... da allora viene riscoperta almeno una volta all'anno

PERCHE?

- Ignoranza dei politici ed uso strumentale dei media



I vulcani della Tharsis



Monte Olimpo – 26.000 m



I pianeti interni o “terrestri”



Distanze (in u.a.)

Mercurio = 0.39
Venere = 0.72
Terra = 1
Marte = 1.5

Masse (Terra = 1)

Mercurio = 0.05
Venere = 0.89
Terra = 1
Marte = 0.11

Densità (acqua = 1)

Mercurio = 5.43
Venere = 5.25
Terra = 5.52
Marte = 3.95

Rotazione (24 ore = 1)

Mercurio = 58.8
Venere = 244
Terra = 1
Marte = 1.029

Numero satelliti

Mercurio = 0
Venere = 0
Terra = 1
Marte = 2

Composizione chimica

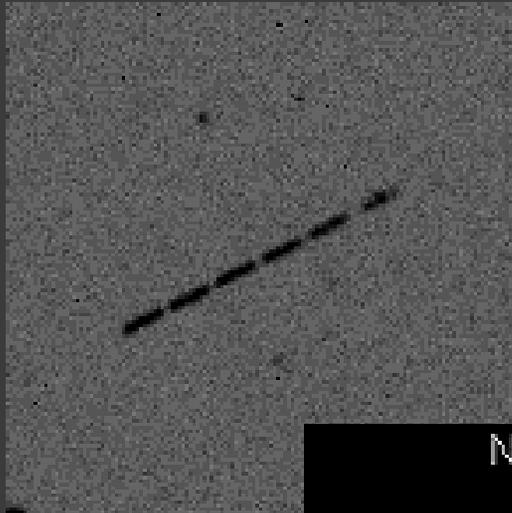
Prevalentemente:
Si, Fe, Ni, C, O, ...

Atmosfera

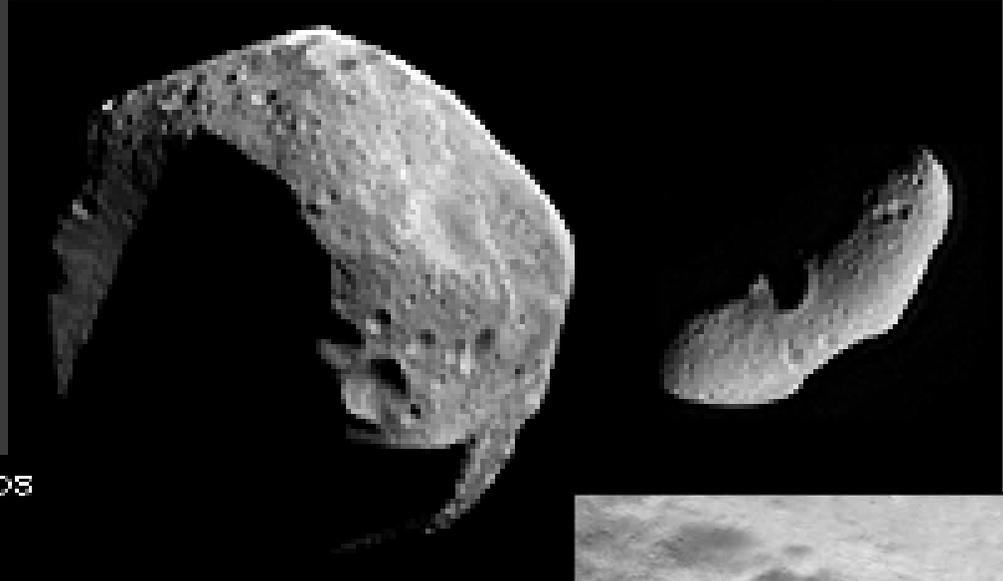
Mercurio = no
Venere = si
Terra = si
Marte = si

La fascia degli asteroidi

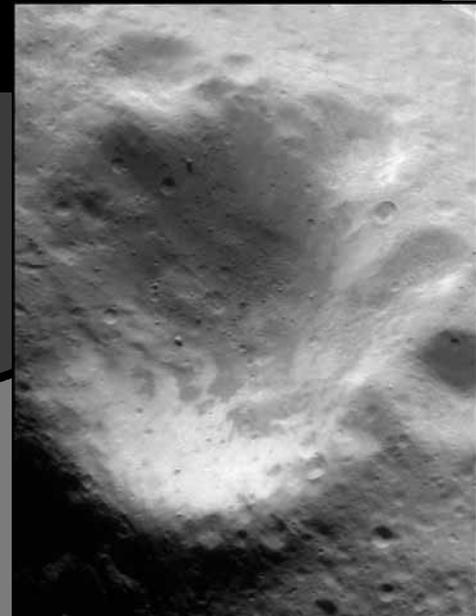
- Milioni di corpi solidi con orbite comprese tra Marte e Giove
- Alcuni di loro si avvicinano pericolosamente alla Terra



NEAR - 433 Eros



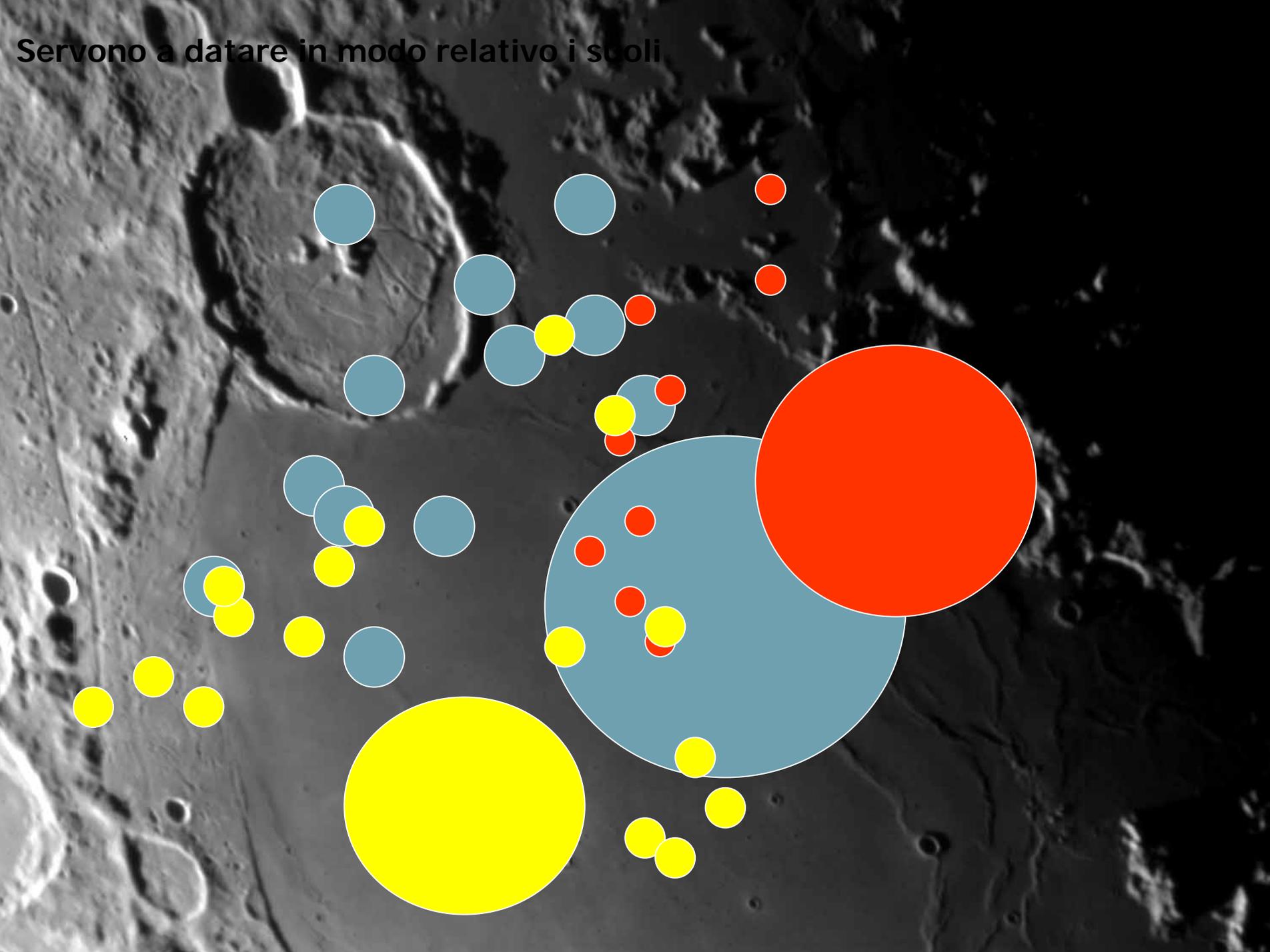
Feb 12 2000 00:58:00

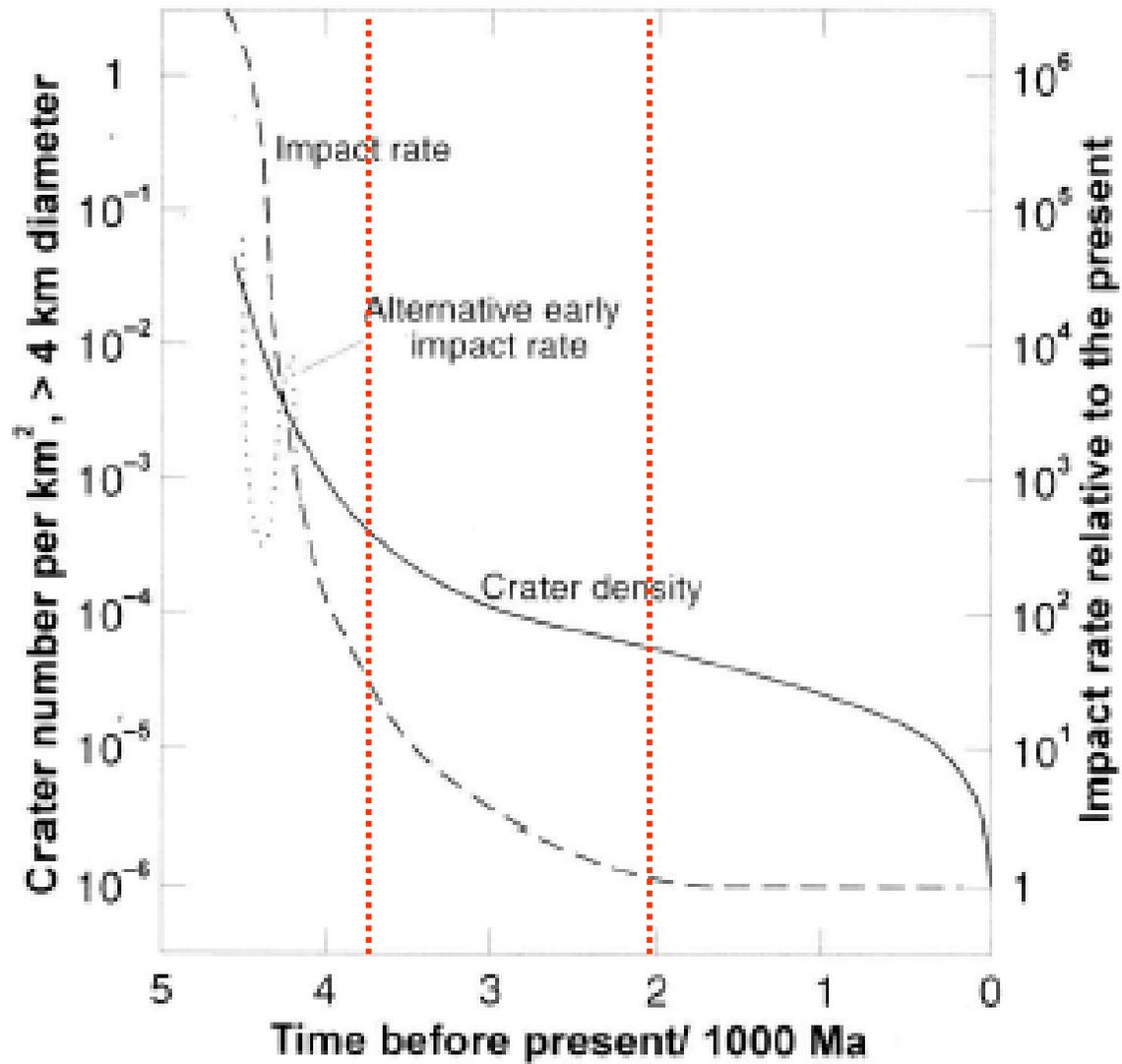


Alcuni Asteroidi

nome	distanza	raggio (in km)	massa (in g)	scopritore e data	
2062 Aten	144514	0.5	?	?	Helin, 1976
3554 Amun	145710	?	?	?	Shoemaker, 1986
1566 Icarus	161269	0.7	?	?	Baade, 1949
951 Gaspra	205000	8	?	?	Neujmin, 1916
1862 Apollo	220061	0.7	?	?	Reinmuth, 1932
243 Ida	270000	35	?	?	? 1880?
2212 Efesto	323884	4.4	?	?	Chernykh, 1978
4 Vesta	353400	263	2.38e20	?	Olbers, 1807
3 Juno	399400	123	?	?	Harding, 1804
15 Eunomia	395500	136	?	?	De Gasparis, 1851
1 Ceres	413900	457	1.17e21	?	Piazzi, 1801
2 Pallas	414500	261	2.18e20	?	Olbers, 1802
52 Europa	463300	156	?	?	Goldschmidt, 1858
10 Hygiea	470300	215	?	?	De Gasparis, 1849
511 Davida	475400	168	?	?	Dugan, 1903
911 Agamen.	778100	88	?	?	Reinmuth, 1919
2060 Chiron	2051900	85	?	?	Kowal, 1977

Servono a datare in modo relativo i suoli





Riflessioni 3

Viviamo su un mondo fragile (serra, meteoriti)

La scienza e la conoscenza sono un Giano bifronte (producono effetti negativi ma sono anche l'unica speranza di sopravvivenza)

Il primo problema è l'ignoranza: per controllare un fenomeno o le sue conseguenze occorre innanzitutto conoscerlo

Il secondo problema è nell'etica (nell'uso che si fa della conoscenza a livello individuale)

Primo riassunto: cosa si deve spiegare

- Tutte le superfici hanno subito periodi di intenso bombardamento meteoritico
 - Tutti i pianeti interni, tranne Mercurio, hanno un'atmosfera
 - I pianeti interni hanno deboli campi magnetici
 - Le croste planetarie hanno una composizione simile
-
- Venere è molto più calda di quanto dovrebbe essere
 - La Luna ha caratteristiche anomale
 - Marte non ha una tettonica ed appare fortemente asimmetrico

Giove

Distanza dal Sole: 778.330.000 km

Diametro: 142984 km

Massa: 1.9×10^{27} kg

Satelliti: oltre 17

Composizione

Giove non ha superficie solida ed è costituito per il 90% da idrogeno e per ca. il 10% da elio, con solo poche tracce di altri elementi.

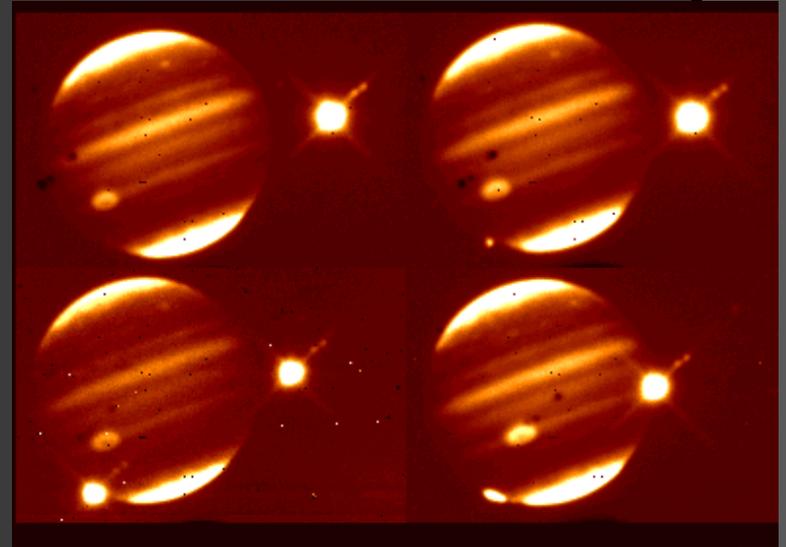
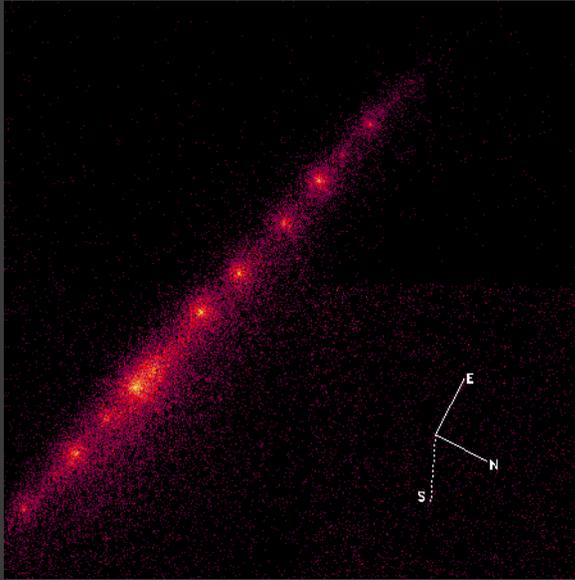
La circolazione atmosferica avviene per moti paralleli

Ha un intensissimo campo magnetico



Giove e la Shoemaker Levy

La cometa Shoemaker Levy, scoperta nel 1993,



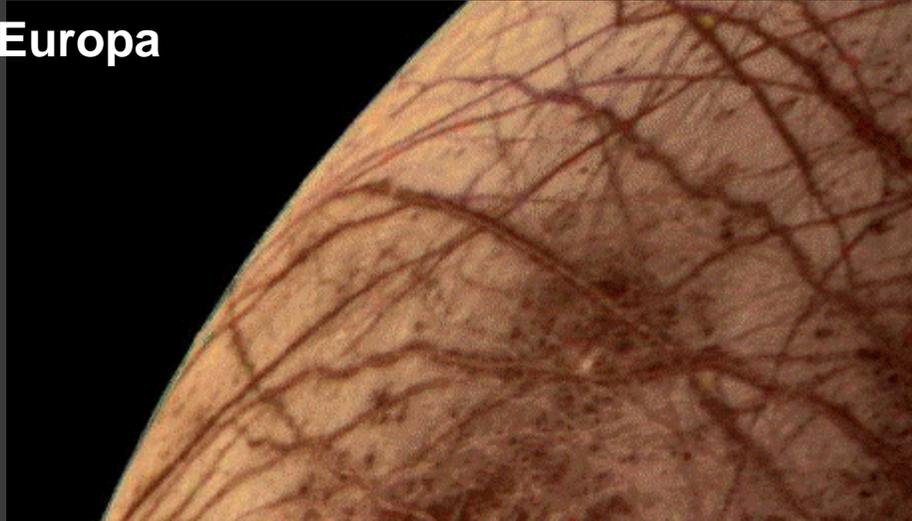
16-22 luglio 1994

impatto del frammento G nel 1995

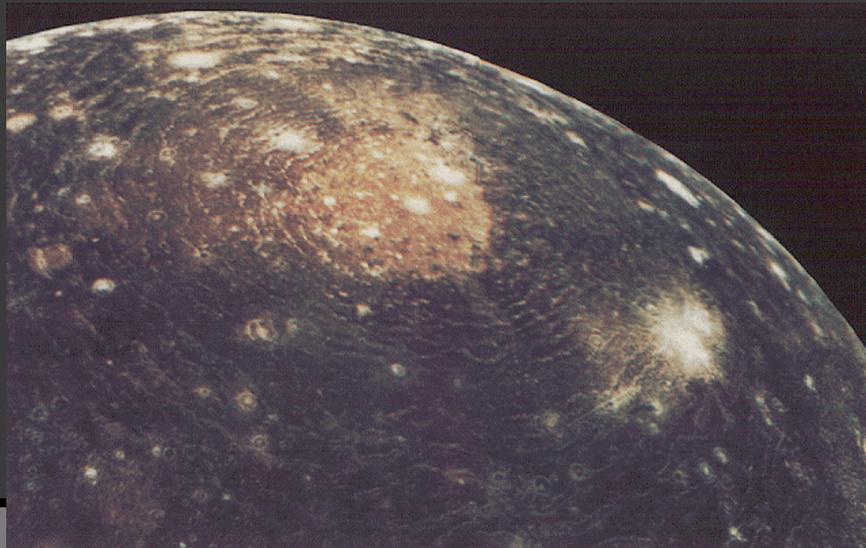


I satelliti Medicei di Giove – Europa, Ganimede e Callisto

Europa



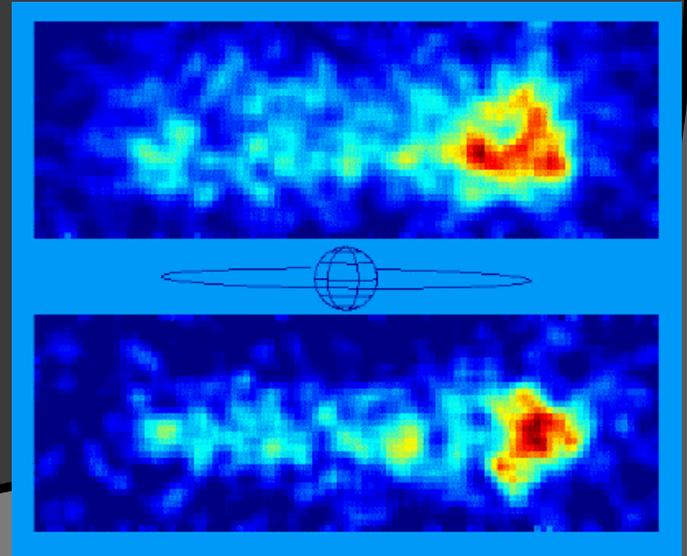
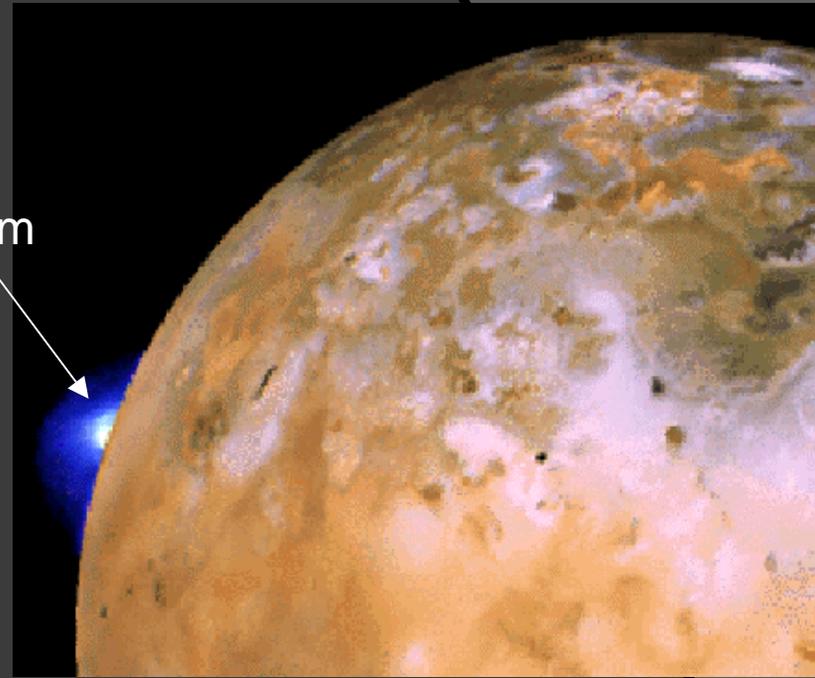
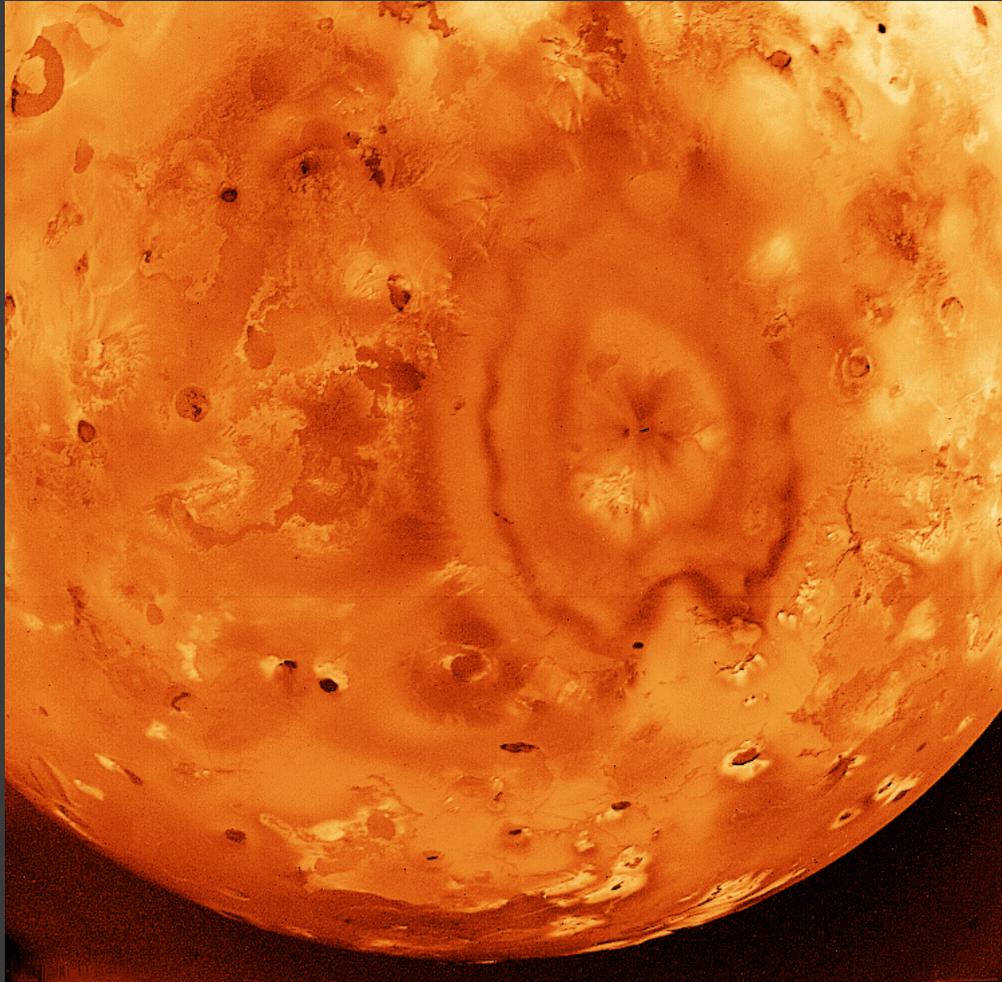
Callisto



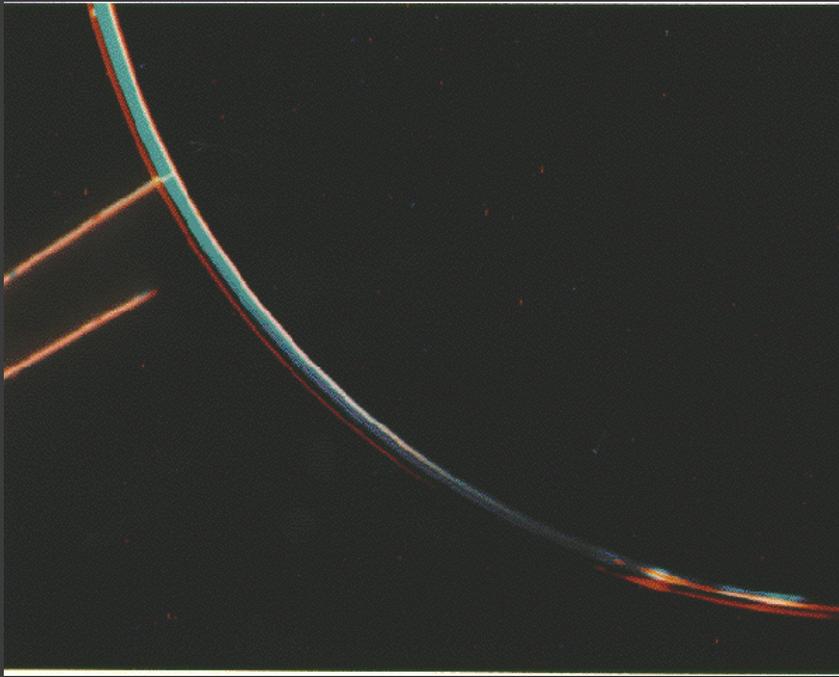
Ganimede

I satelliti Medicei di Giove – Io

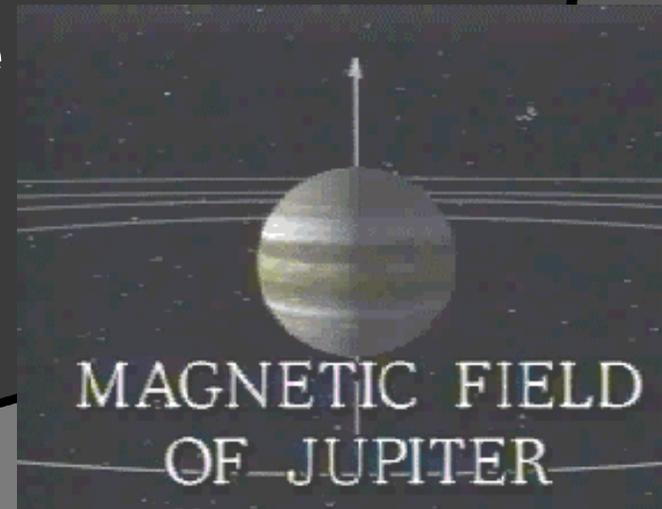
Pennacchio di 300 km



Gli anelli di Giove



Il campo magnetico di Giove



Saturno



Dallo spazio: sonda Cassini

Distanza dal Sole: 1.429.400.000km

Diametro equatoriale: 120536 km

Diametro polare: 108,728 km

Massa: 5.68×10^{26} kg

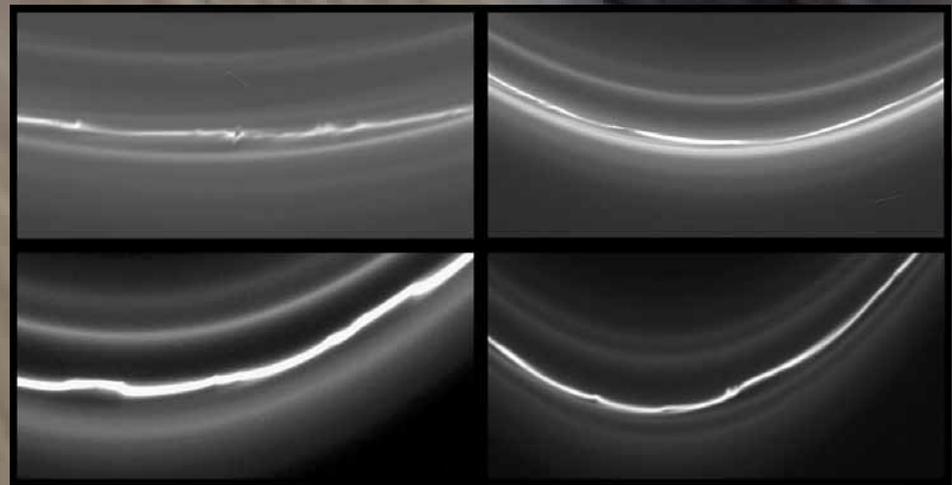
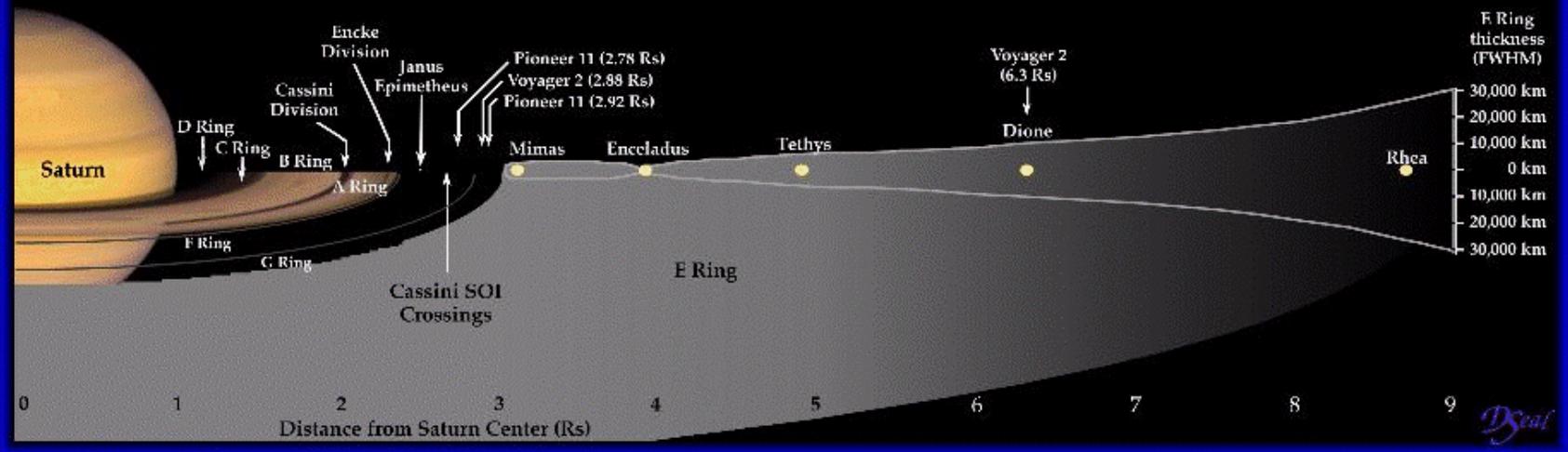
Composizione: simile a quella di Giove (nucleo roccioso (?), mantello di idrogeno liquido e atmosfera esterna di idrogeno ed elio)

Satelliti: > 40

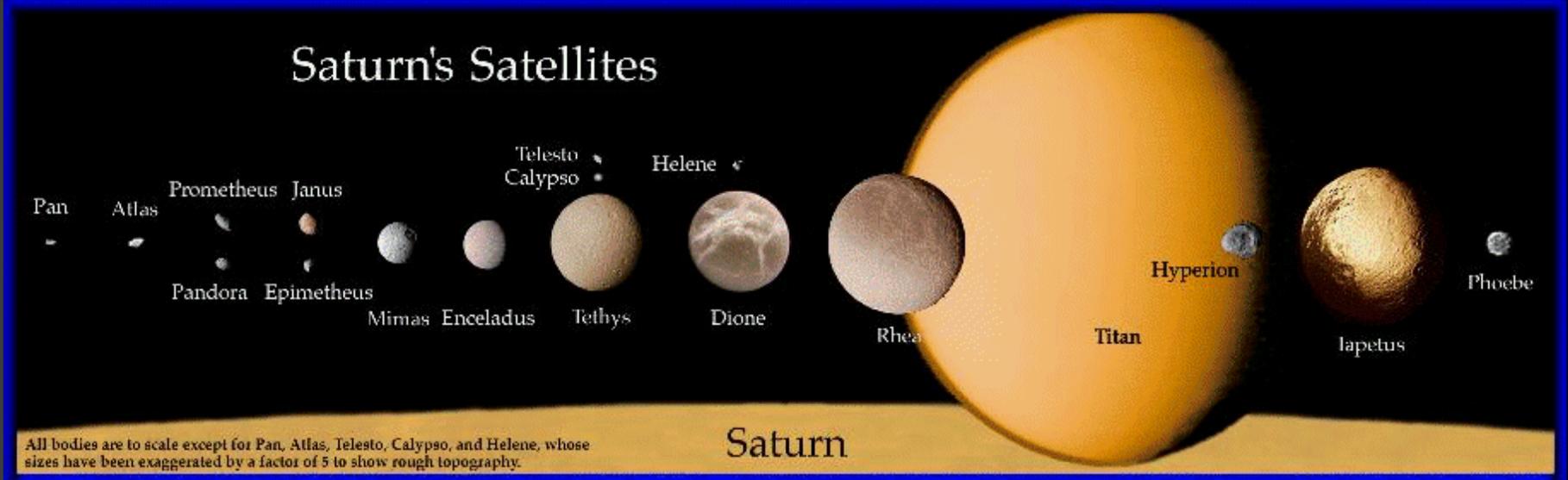
Saturn's Ring Structure

Not shown:

Pan	2.22 Rs	Titan	20.3 Rs
Atlas	2.26 Rs	Hyperion	24.6 Rs
Prometheus	2.31 Rs	Iapetus	59.1 Rs
Pandora	2.35 Rs	Phoebe	214.9 Rs



I primi 18 satelliti di Saturno



	distanza (10 ³ km)	raggio (10 ³ km)	massa (kg)	scopritore	data		distanza (10 ³ km)	raggio (10 ³ km)	massa (kg)	scopritore	data
Pan	134	10	?	Showalter	1990						
Atlas	138	14	?	Terrile	1980	Calypso	295	13	?	Pascu	1980
Prometheus	139	46	2.70e17	Collins	1980	Dione	377	560	1.05e21	Cassini	1684
Pandora	142	46	2.20e17	Collins	1980	Helene	377	16	?	Laques	1980
Epimetheus	151	57	5.60e17	Walker	1980	Rhea	527	765	2.49e21	Cassini	1674
Janus	151	89	2.01e18	Dollfus	1966	Titan	1222	2575	1.35e23	Huygens	1654
Mimas	186	196	3.80e19	Herschel	1789	Hyperion	1481	143	1.77e19	Bond	1846
Enceladus	238	260	8.40e19	Herschel	1789	Iapetus	3561	730	1.88e21	Cassini	1674
Tethys	295	530	7.55e20	Cassini	1684	Phoebe	12952	110	4.00e18	Pickering	1898
Telesto	295	15	?	Reitsema	1980						

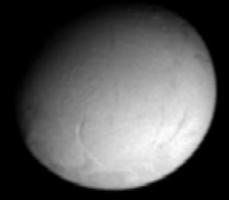
I satelliti di Saturno (sonda Cassini)



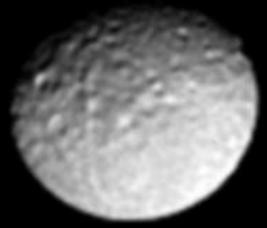
Febe



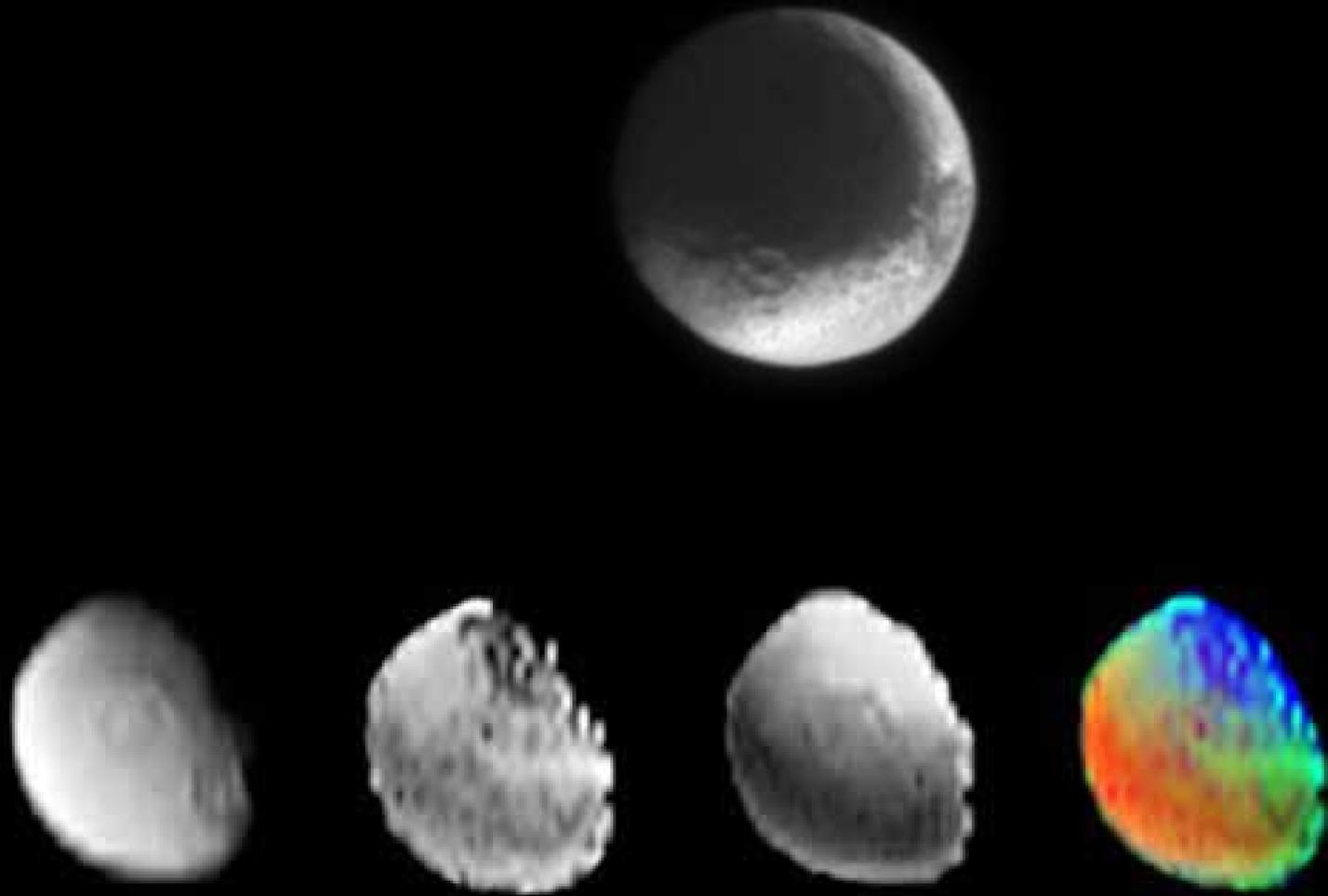
Dione



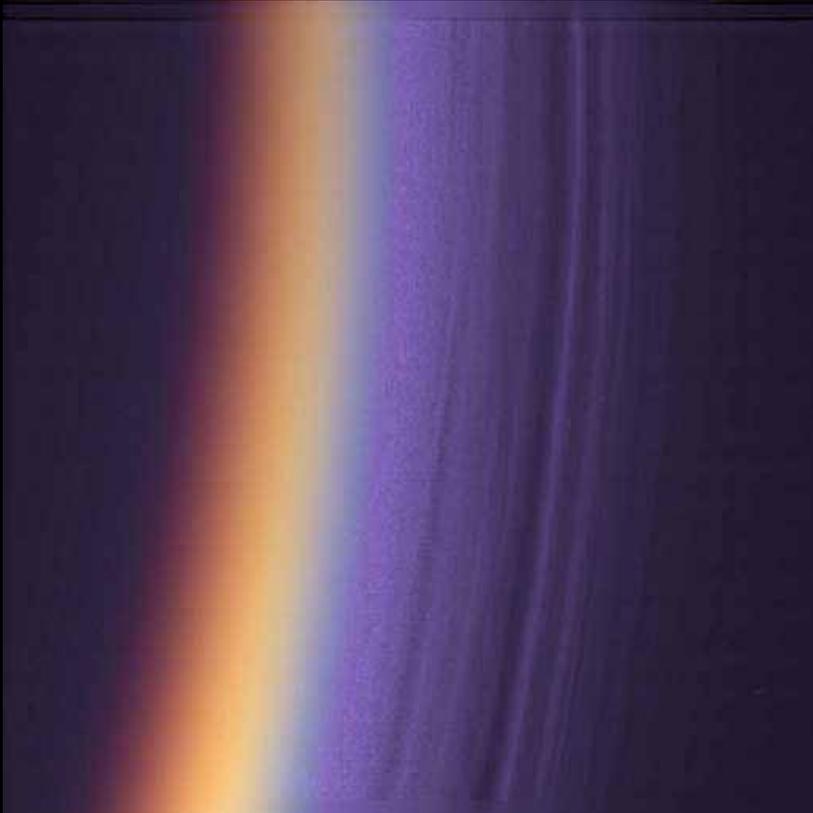
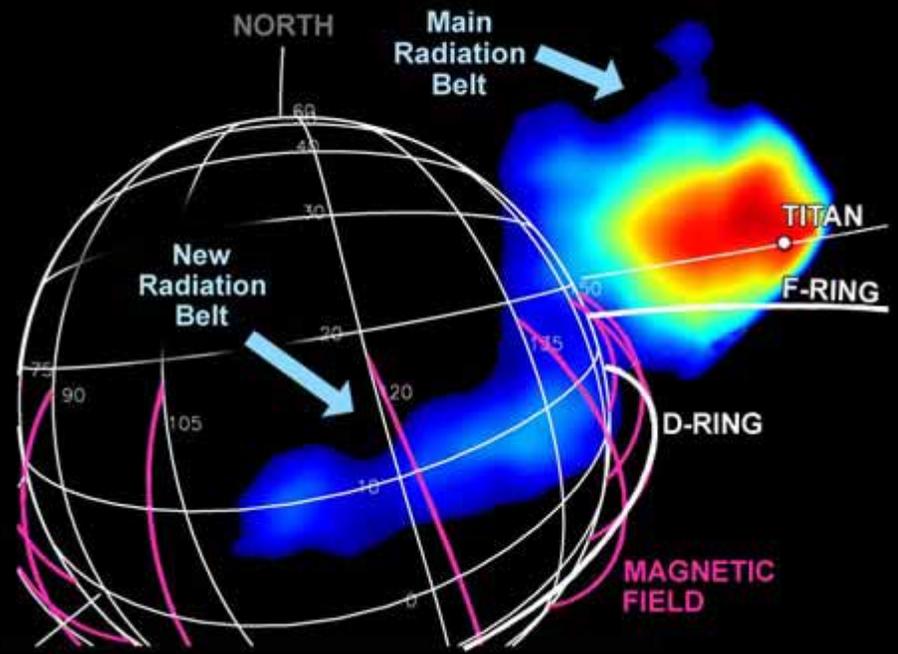
Encelado



Giapeto (Cassini)



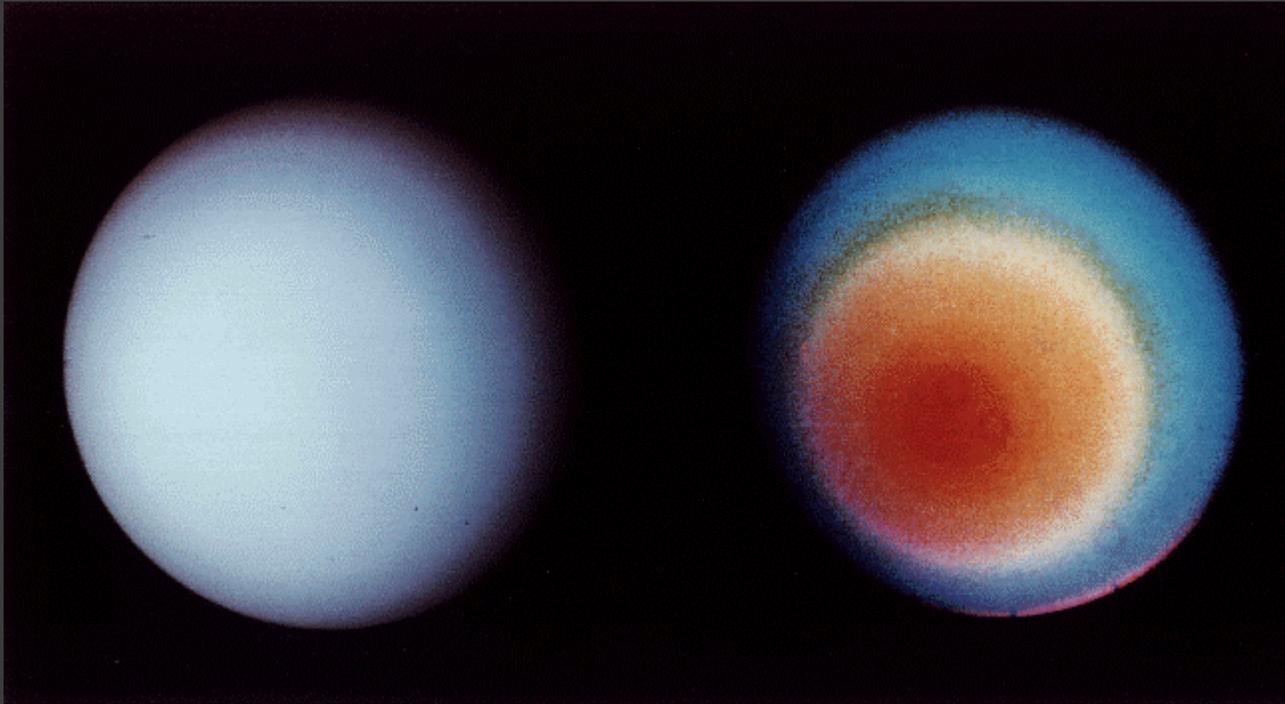
Titano



Titano



Urano



Distanza dal Sole: 2.870.990.000 km

Raggio equatoriale: 51.118 km

Raggio polare: 49.946

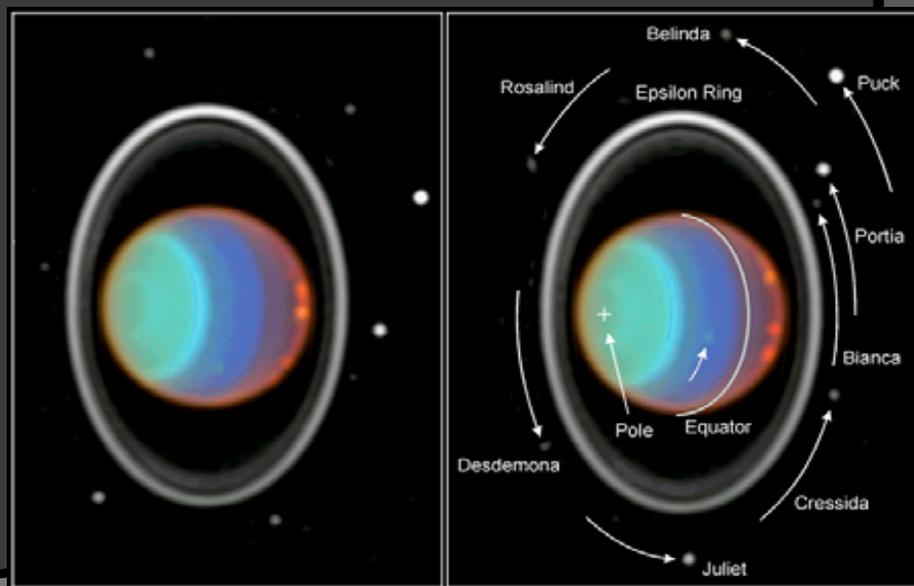
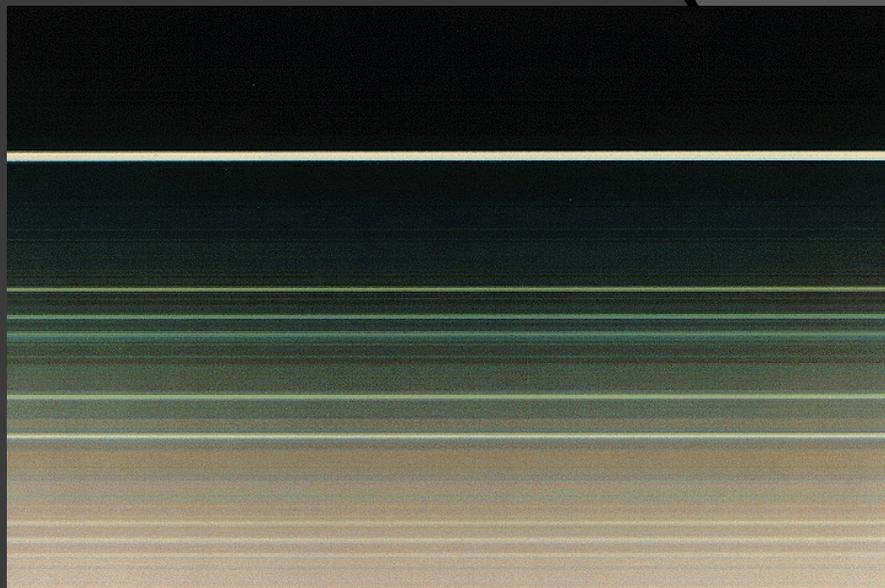
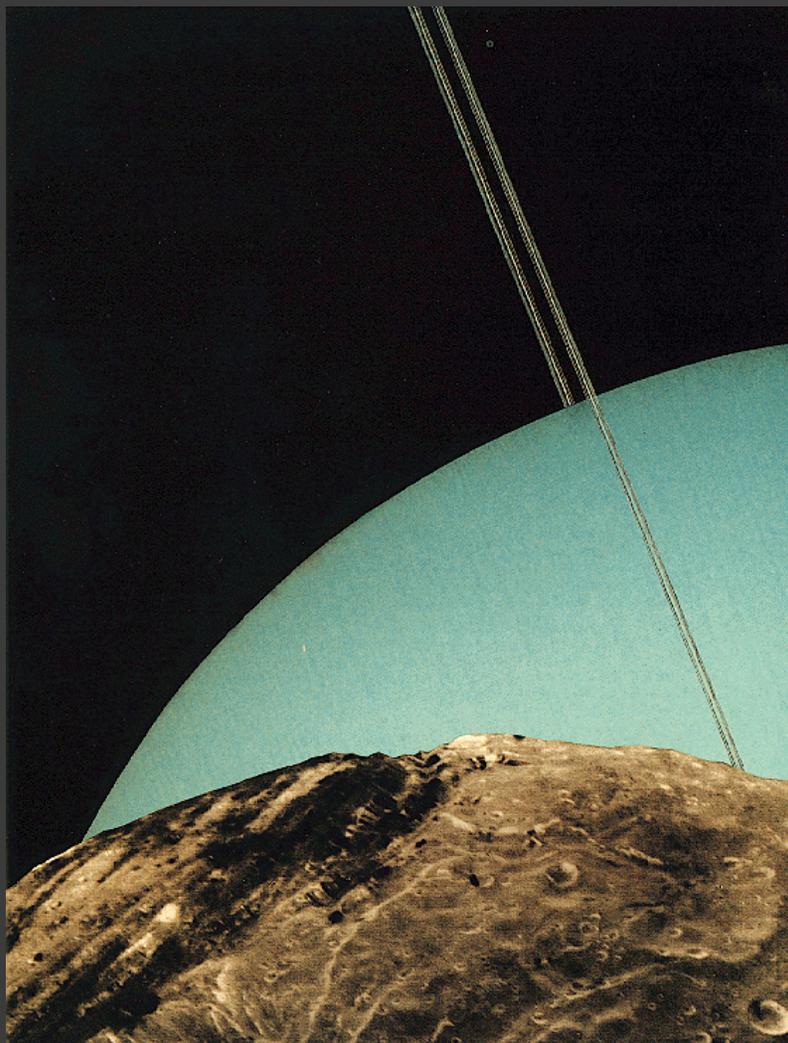
Massa: 8.68×10^{25} kg

Composizione atmosfera: 83% H, 15 He, 2% Metano

**Composizione della superficie: rocce e ghiacci, solo 15% di idrogeno e tracce di elio
(simile a Nettuno)**

Satelliti: 15

Gli anelli di Urano



Uranus • July 28, 1997

PRC97-36a • November 20, 1997 • ST ScI OPO

E. Karkoschka (University of Arizona Lunar & Planetary Lab) and NASA

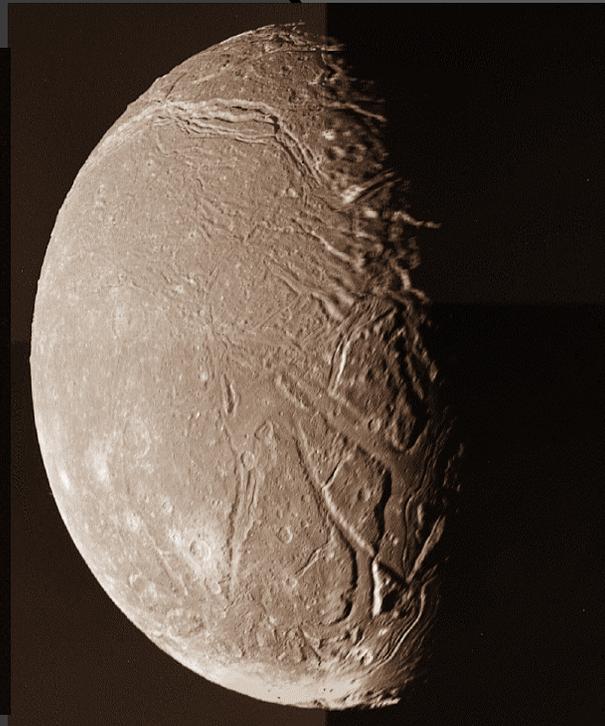
HST • NICMOS



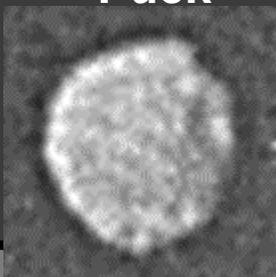
Ofelia



Oberon



Ariel



Puck

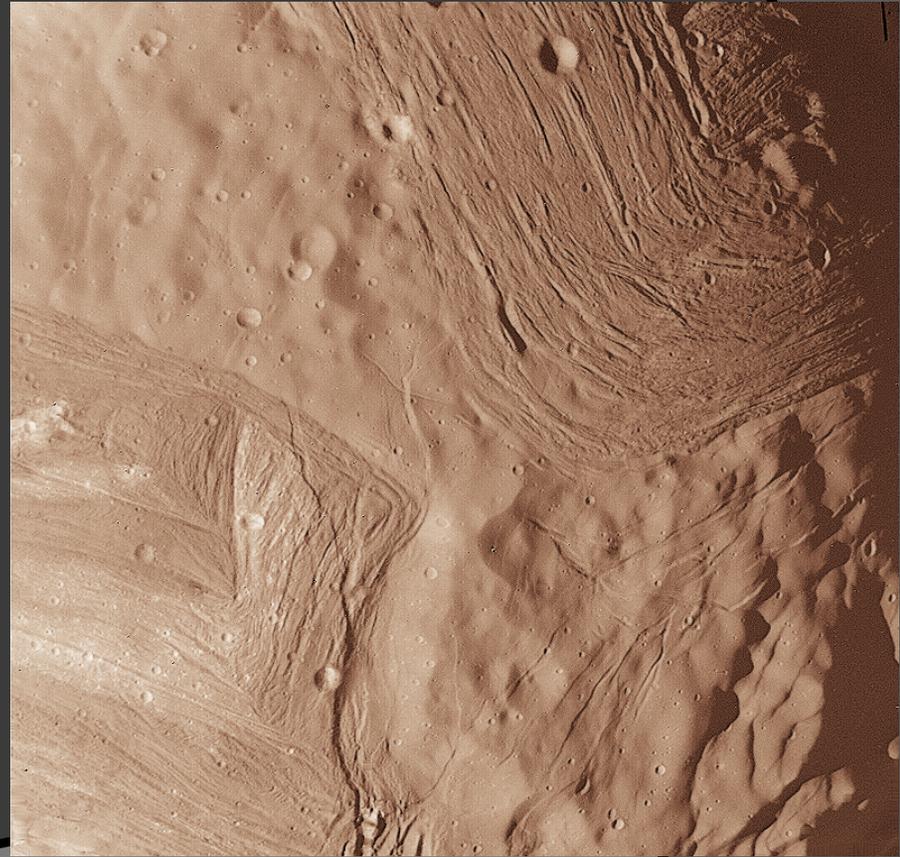
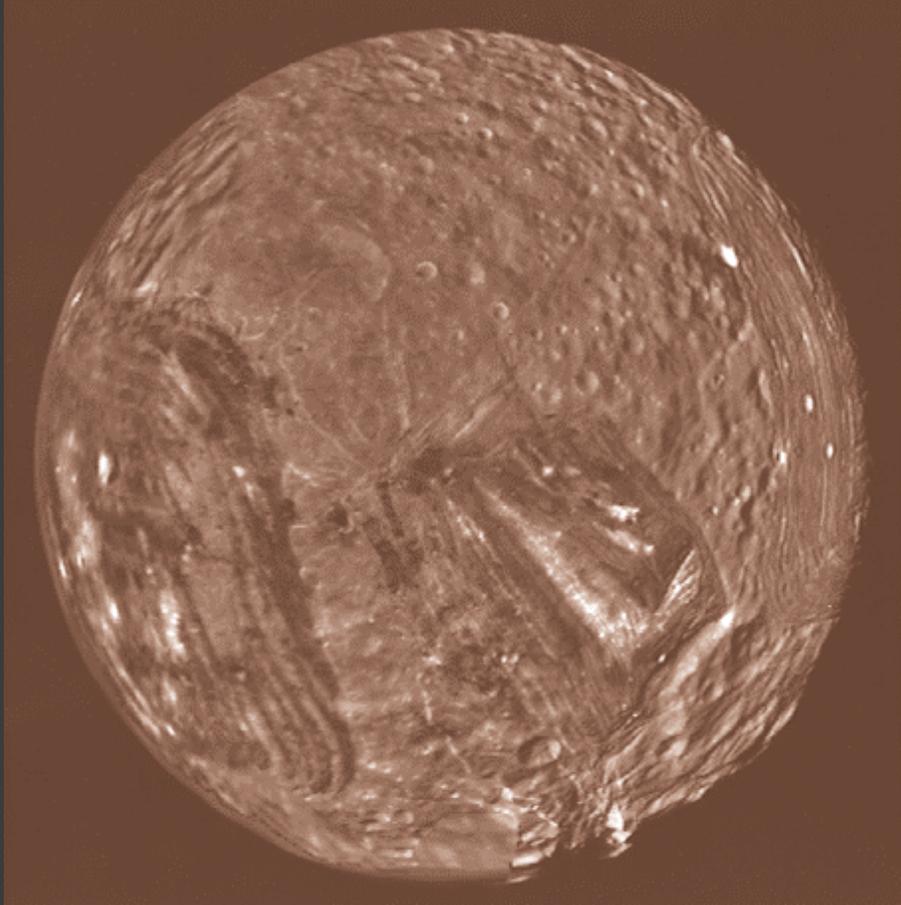


Galatea



Belinda

L'incredibile Miranda



Nettuno

Distanza dal Sole: 4,504,000,000 km

Raggio equatoriale: 49,528 km

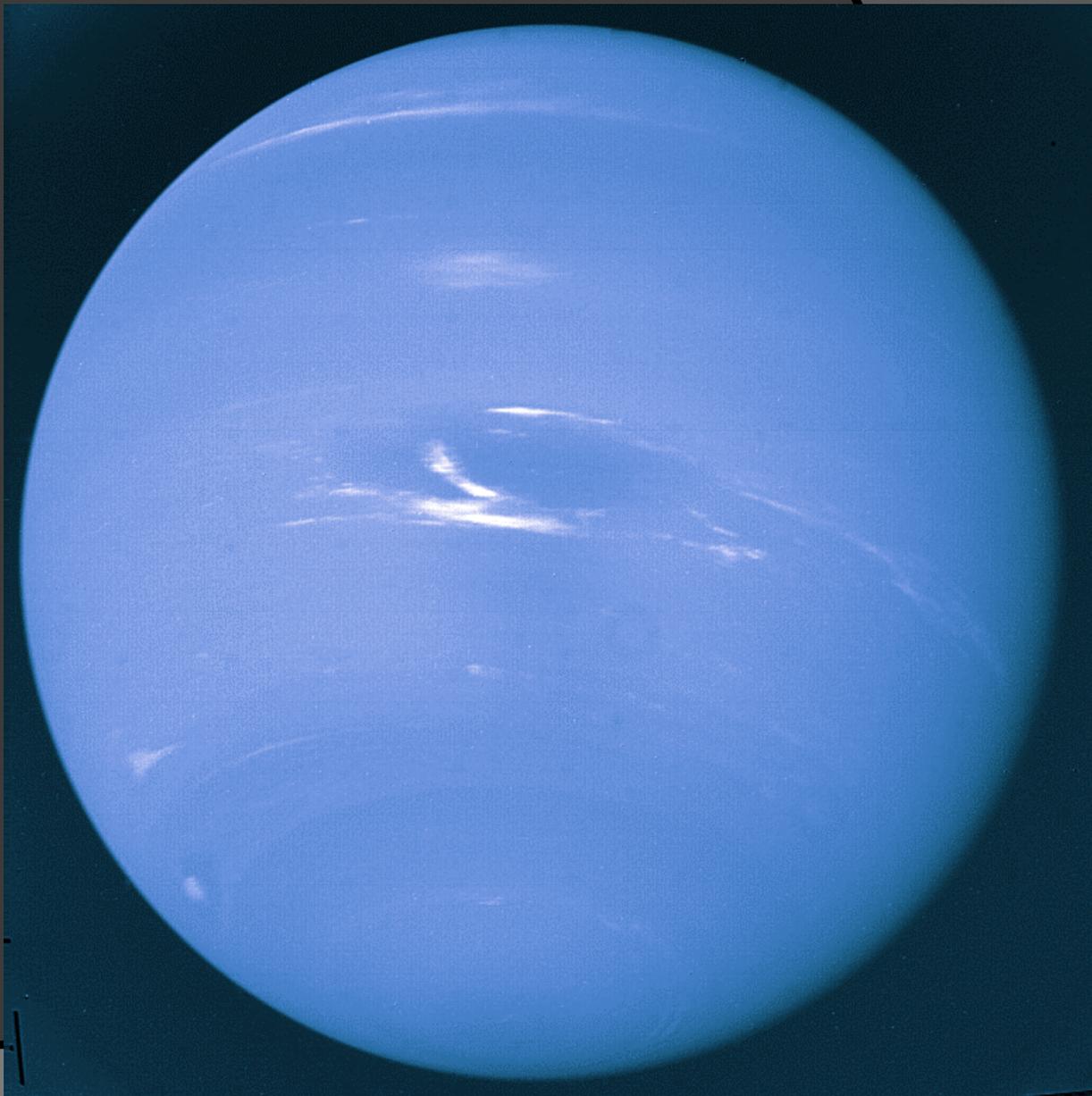
Raggio polare: 48600 km

Massa: 1.024×10^{26} kg

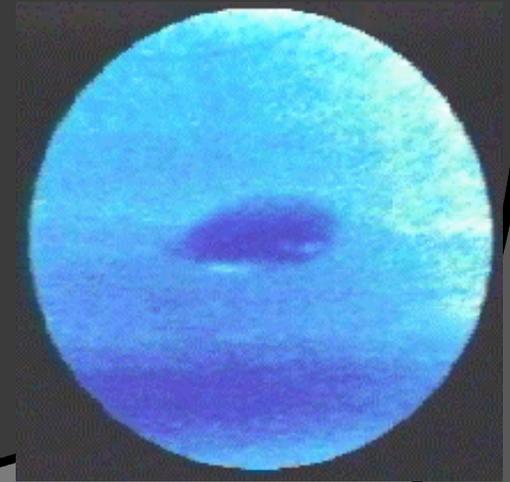
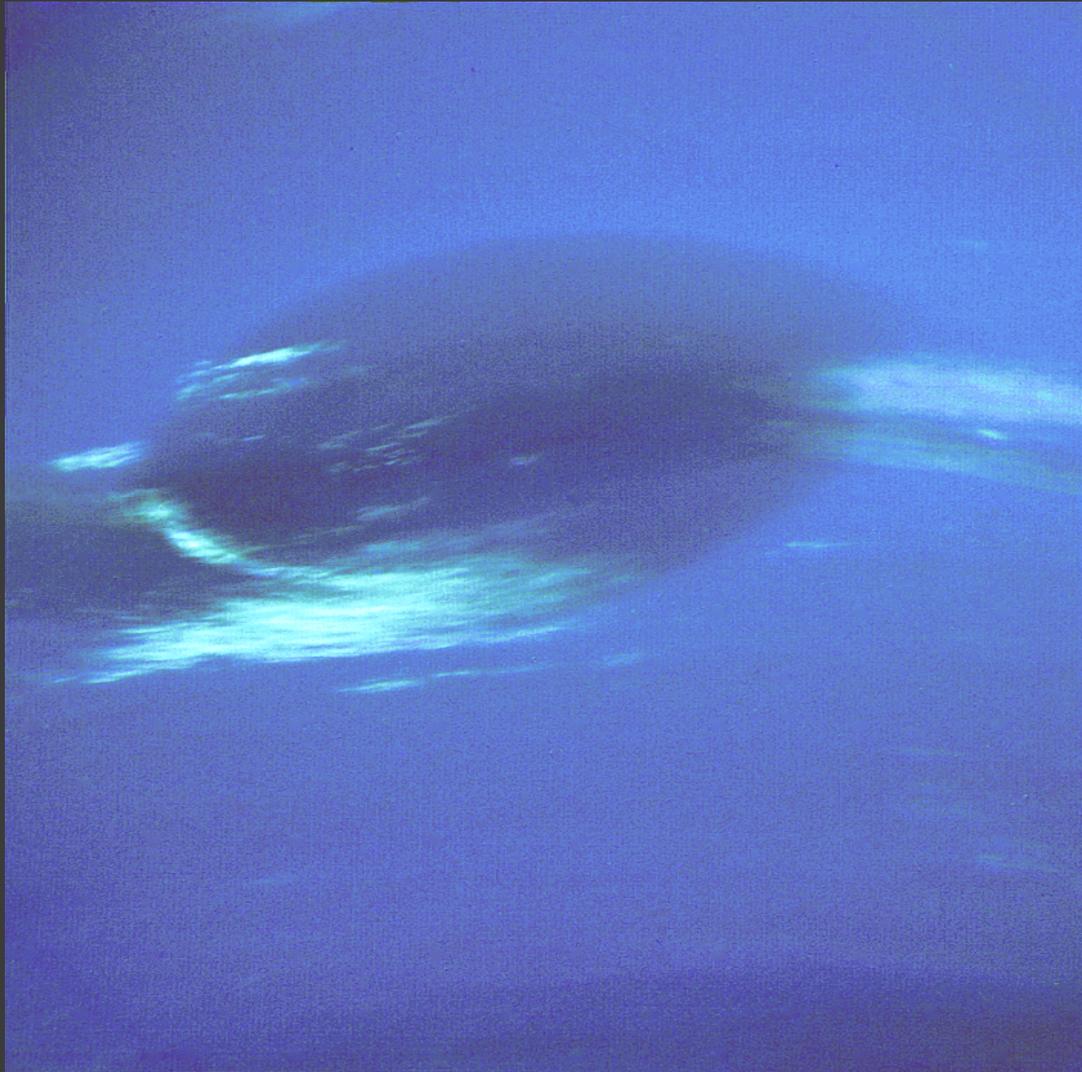
**Composizione atmosfera:
83% H, 15, He, 2% Metano**

**Composizione della superficie:
rocce e ghiacci, solo 15% di
idrogeno e tracce di elio (simile
ad Urano)**

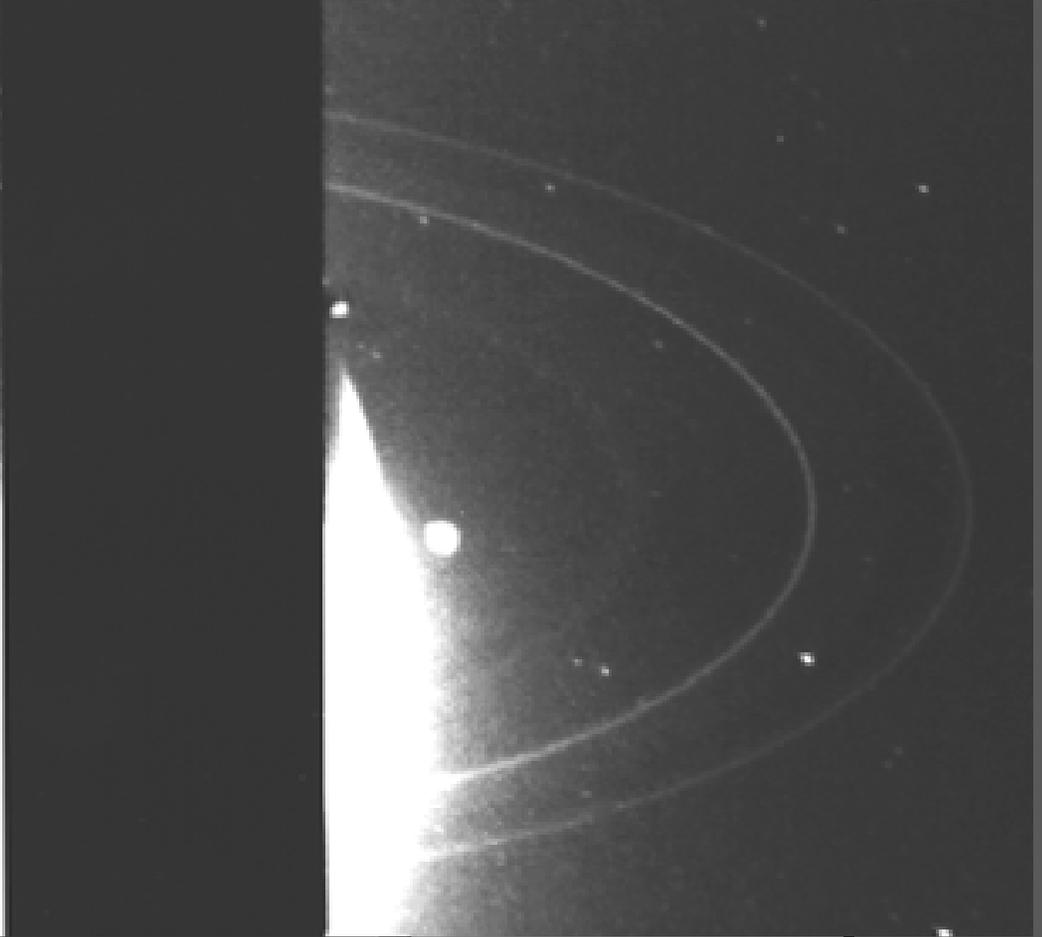
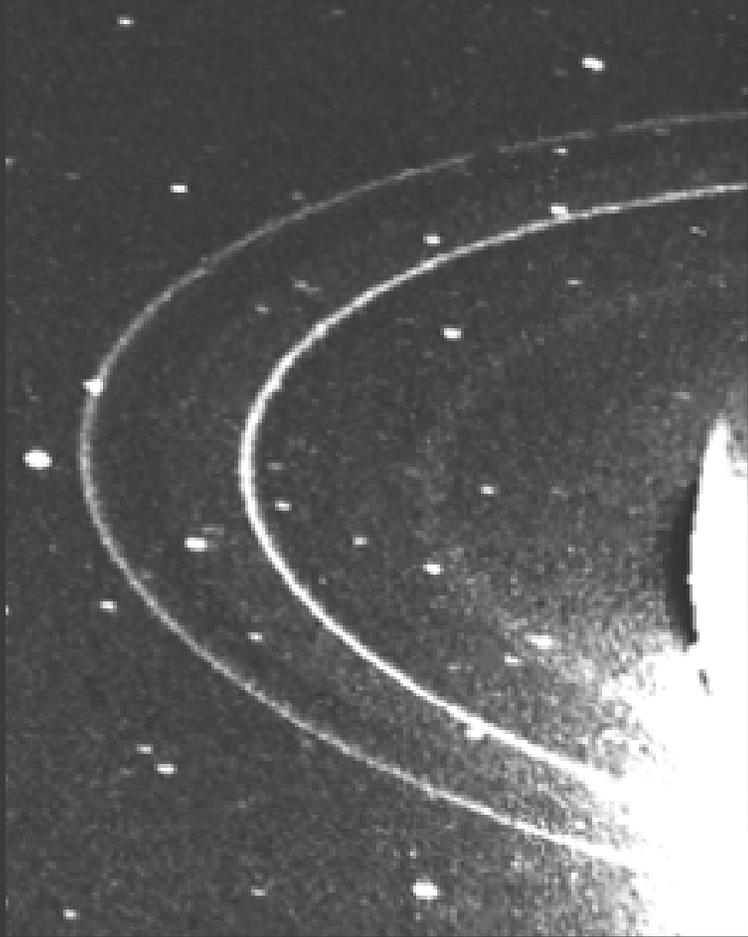
Satelliti: 8



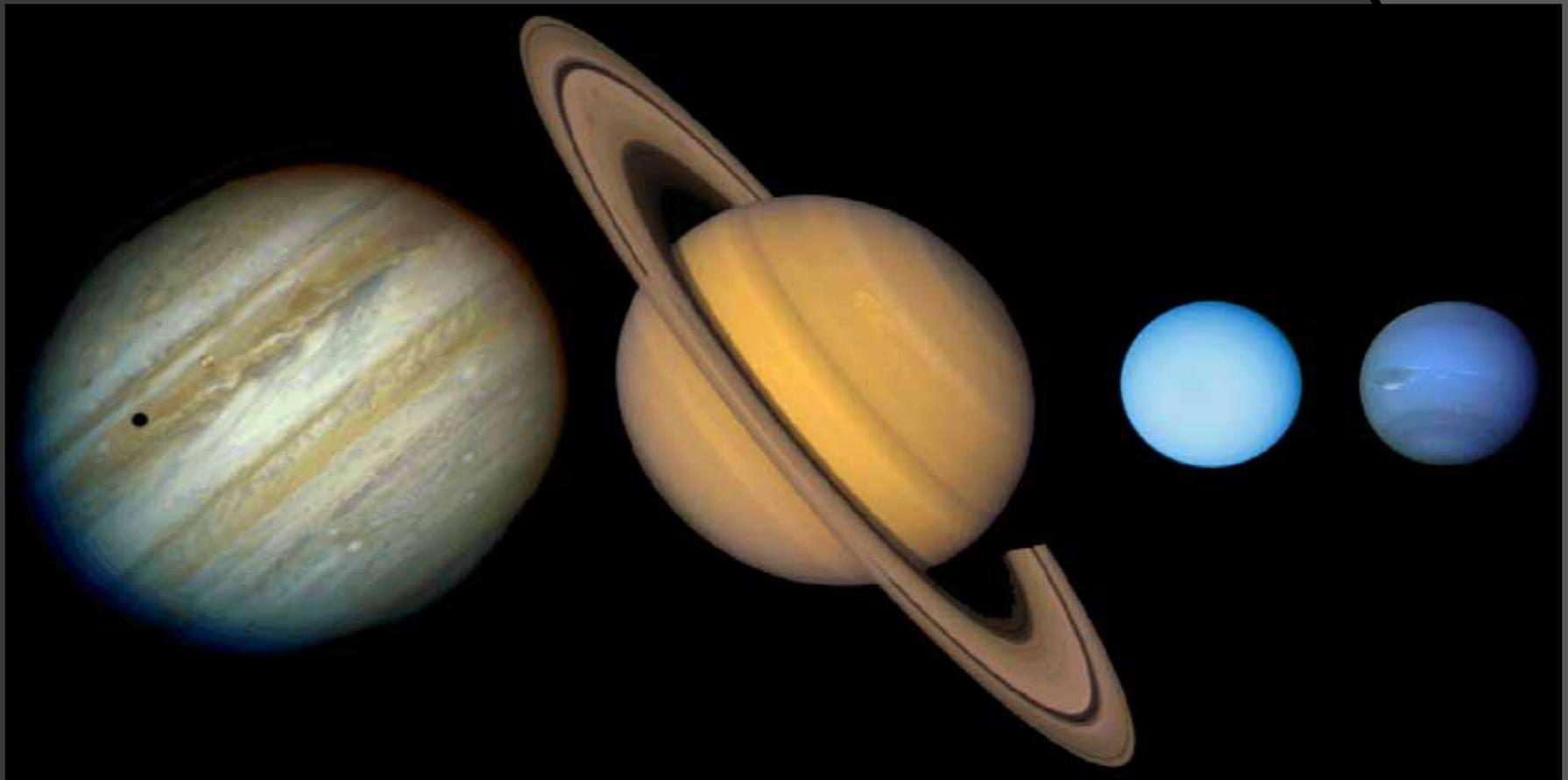
La macchia nera e la macchia bianca di Nettuno



Gli anelli di Nettuno



I pianeti maggiori o



Distanze (Terra = 1)

Giove = 5.2
Saturno = 9.5
Urano = 19.2
Nettuno = 30.1

Masse (Terra=1)

Giove = 318
Saturno = 95
Urano = 15
Nettuno = 17

Densità (acqua = 1)

Giove = 1.33
Saturno = 0.69
Urano = 1.29
Nettuno = 1.64

Rotazione (24 ore = 1)

Giove = 0.411
Saturno = 0.428
Urano = 0.748
Nettuno = 0.802

Numero Satelliti

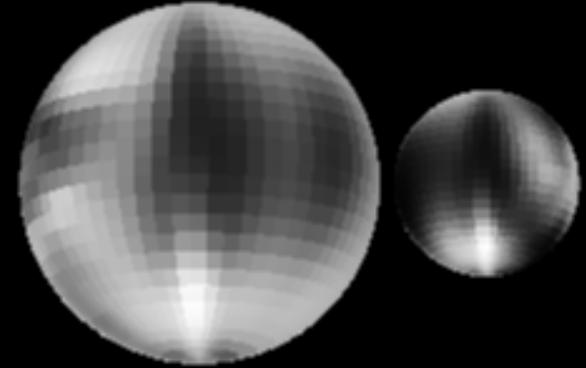
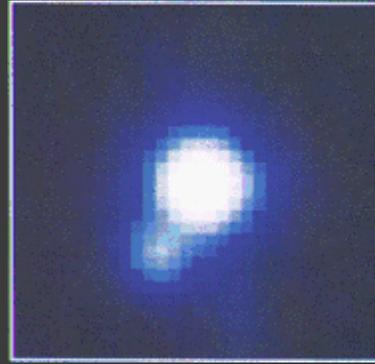
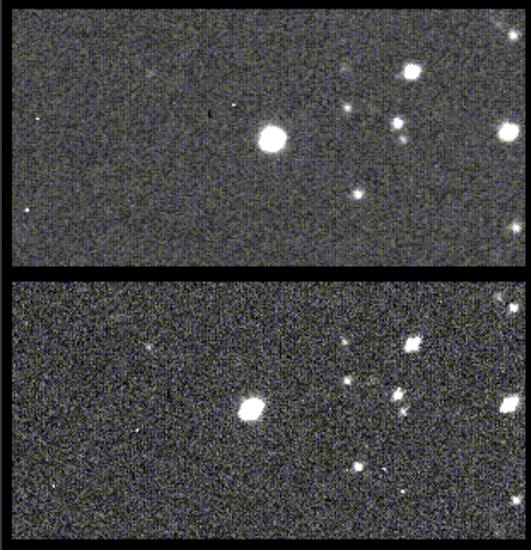
Giove > 21
Saturno > 50
Urano = 15
Nettuno = 8

Secondo riassunto: cosa si deve spiegare

- Tutti i pianeti esterni hanno enormi atmosfere e densità medie molto basse
 - Tutti i pianeti esterni hanno un gran numero di satelliti
 - Hanno campi magnetici intensi
 - Hanno sistemi di anelli con caratteristiche diverse
-
- Giove è il più grande di tutti e le dimensioni diminuiscono man mano che ci si allontana dal Sole
 - Alcuni satelliti hanno temperature superficiali elevate ed atmosfere non ghiacciate

Plutone

La migliore immagine da Terra



$R = \text{ca. } 600 \text{ Km, densità} = \text{ca. } 1.4 \text{ g cm}^{-3}$

$R = \text{ca. } 1170 \text{ Km, densità} = \text{ca. } 2 \text{ g cm}^{-3}$

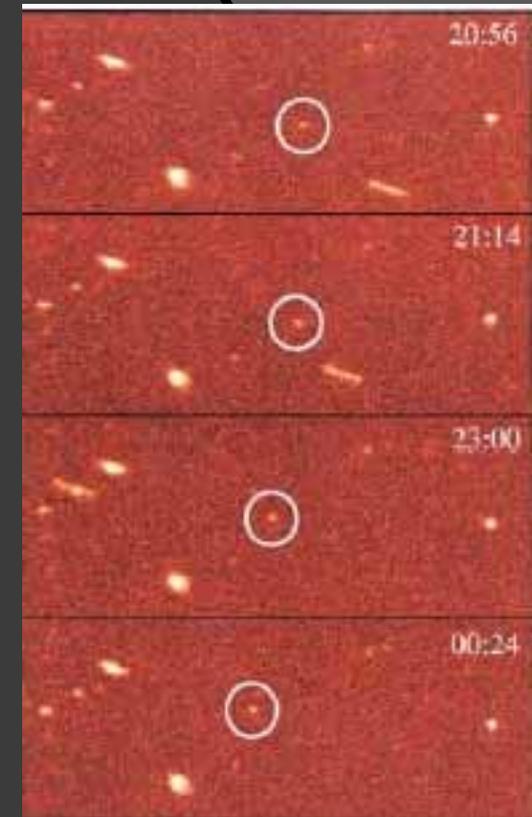
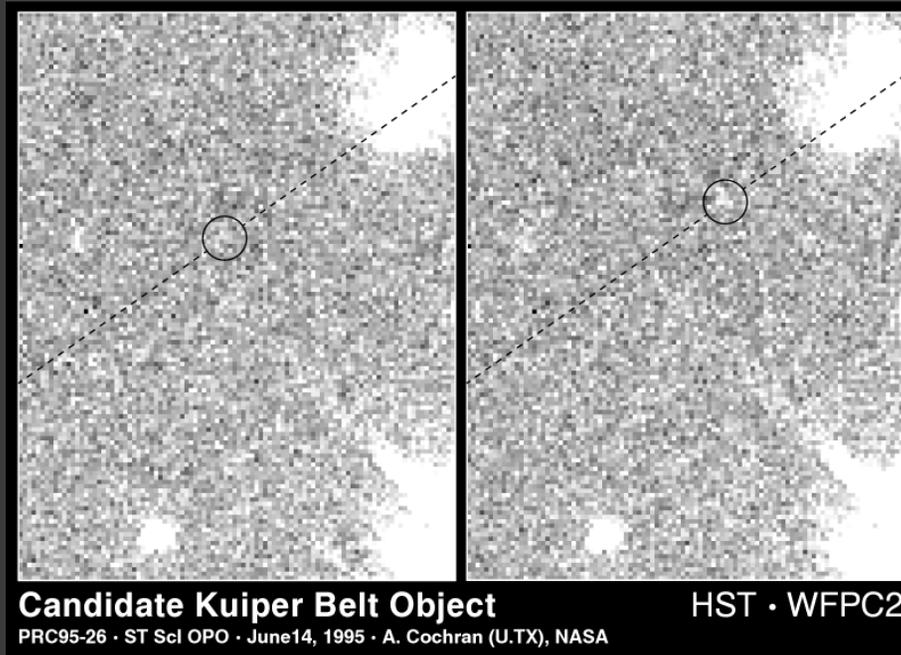
Caronte



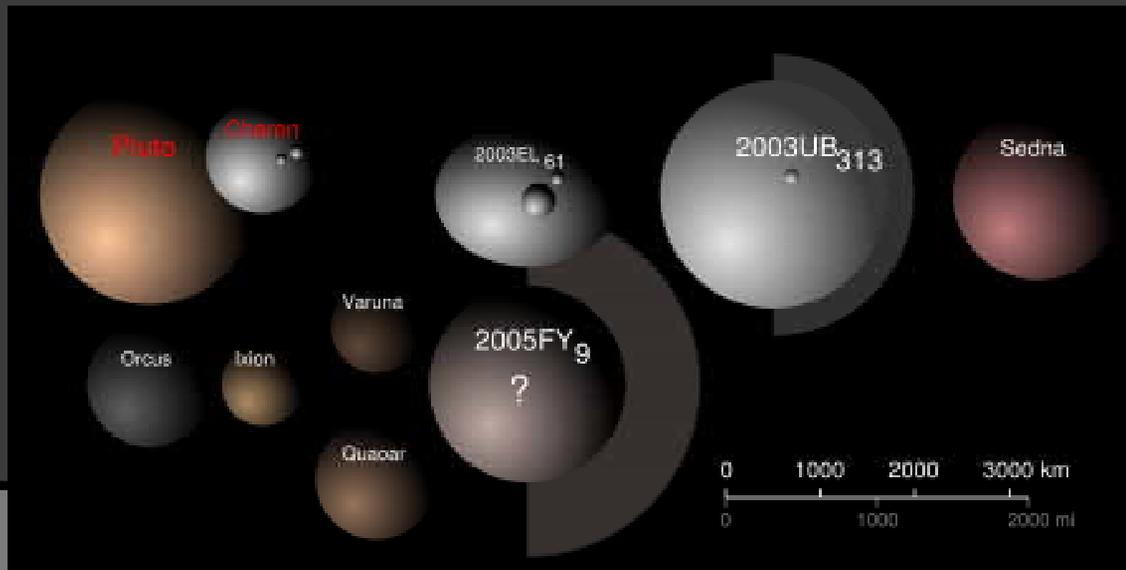
Plutone

Immagine di HST

Fascia di Edgeworth - Kuiper



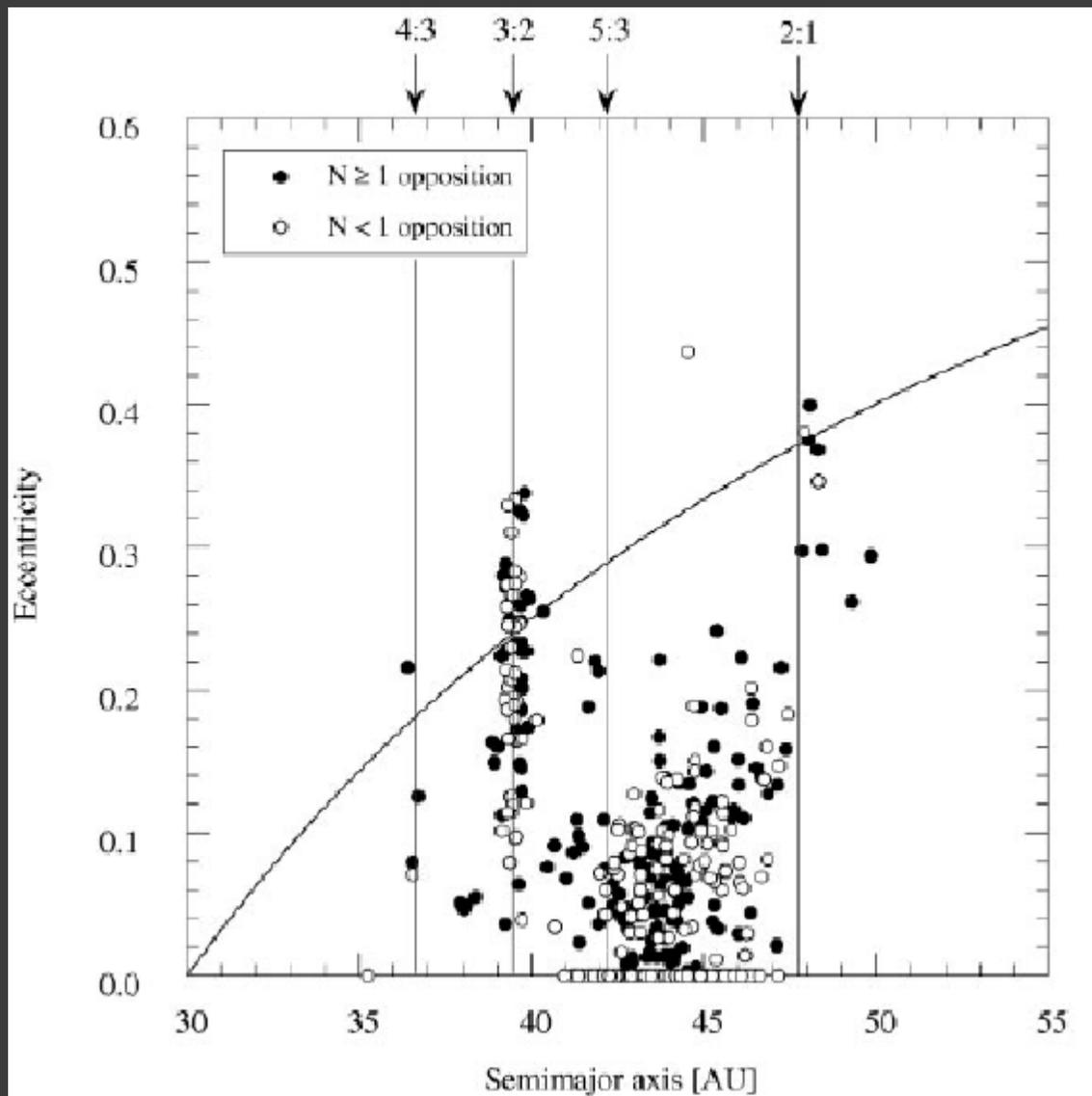
Edgeworth -Kuiper QB-1



Sedna



Le risonanze planetarie – I plutini



Le comete

West

- nucleo - relativamente solido e stabile fatto di “neve sporca”
- chioma - una densa nube di gas sublimati dal nucleo
- nube di idrogeno - enorme nube (milioni di Km in diametro) di HI
- coda di polvere - ca. 10 milioni di km fatta di polvere
- coda di gas - oltre 100 milioni di km, plasma trascinato dal vento solare

H₂O, OH, H₂O⁺, CO, CO₂, CO⁺, HCO⁺
H₂S, SO, SO₂, H₂CS, OCS, CS
CH₃OH, H₂CO, HCOOH
HCN, CH₃CN, HNC, HC₃N, HNCO, CN,
NH₃, NH₂, NH
CH₄, C₂H₂, C₂H₆, C₃, C₂

e, in più, i seguenti isotopi:

H₁₃CN, HC₁₅N, C₃₄S



Gli osservabili da spiegare

Osservabili maggiori

- Le orbite dei pianeti giacciono all'incirca nello stesso piano
- I pianeti ruotano intorno al Sole nello stesso senso
- Il 95% della massa totale è concentrata nel Sole
- Il Sole ruota lentamente (meno dell'1% del momento angolare)
- Esistono almeno tre tipi di pianeti (interni, esterni e nani) con caratteristiche affatto diverse
- Esiste una miriade di corpi minori

Osservabili minori

- Le composizioni chimiche dei diversi corpi
- I pianeti esterni hanno molti satelliti
- Solo i pianeti esterni presentano anelli
- Campi magnetici

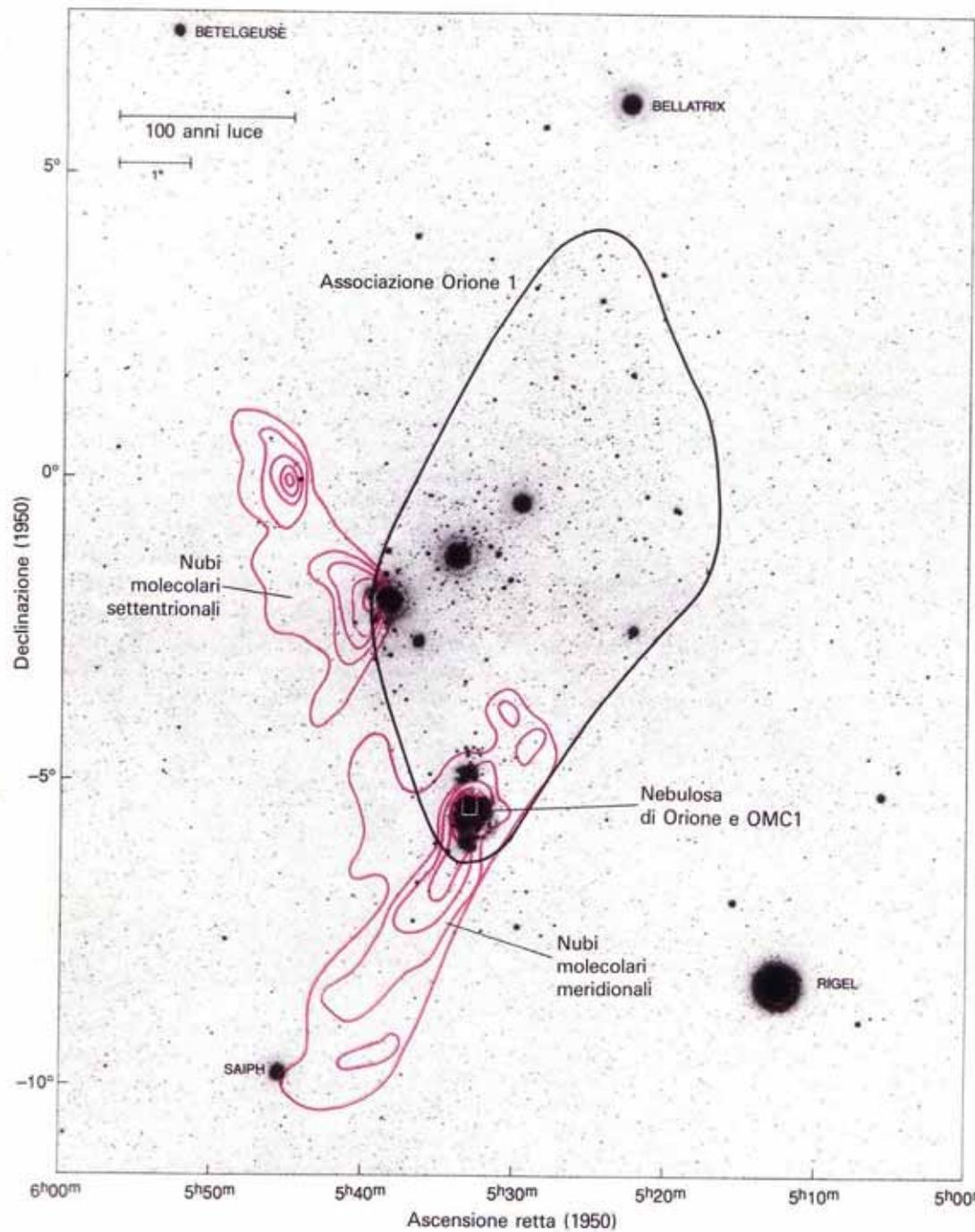
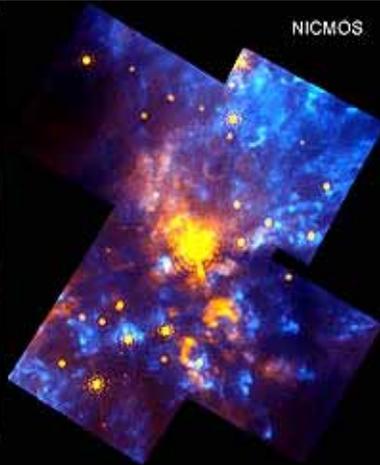
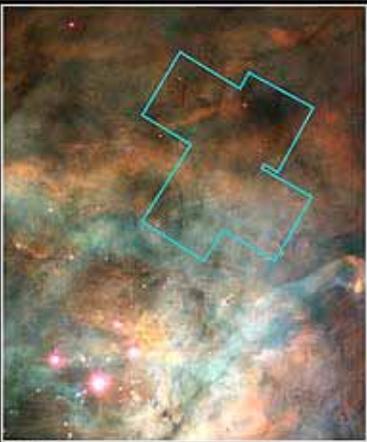
Anomalie

- Asse di rotazione di Urano
- IL Sole ruota troppo lentamente

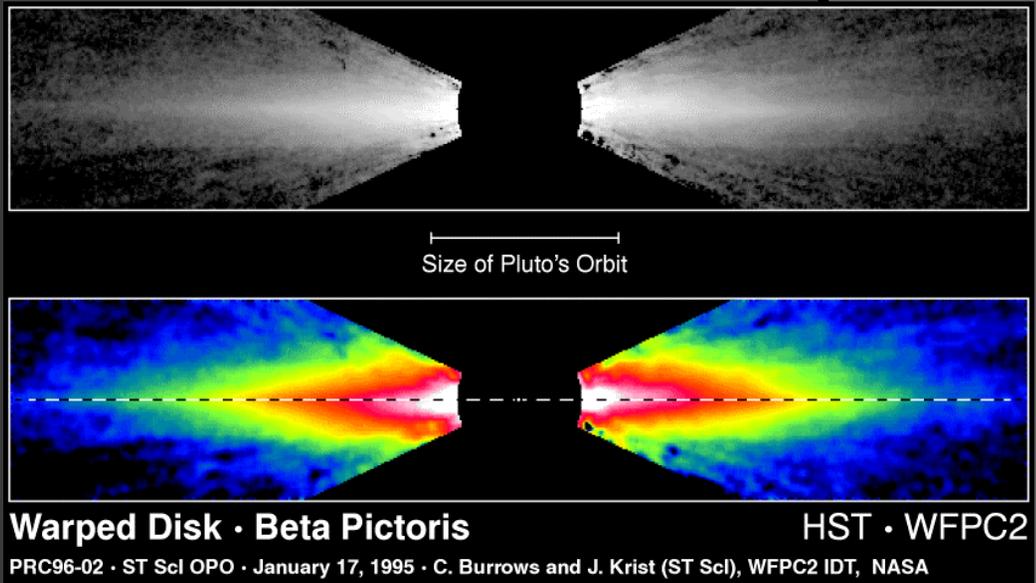
Le origini



Orione

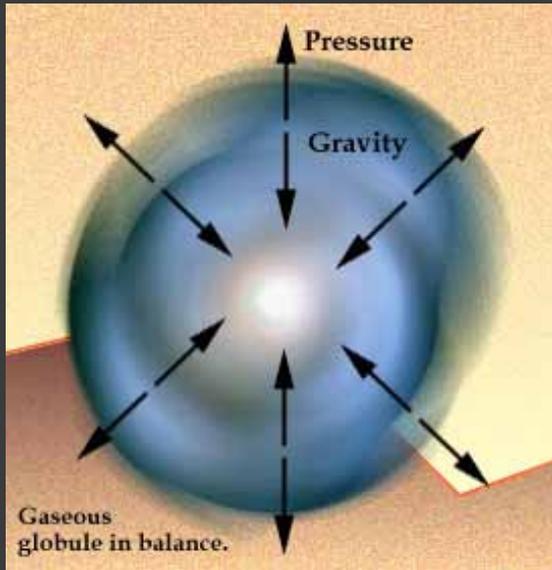


La formazione dei sistemi planetari

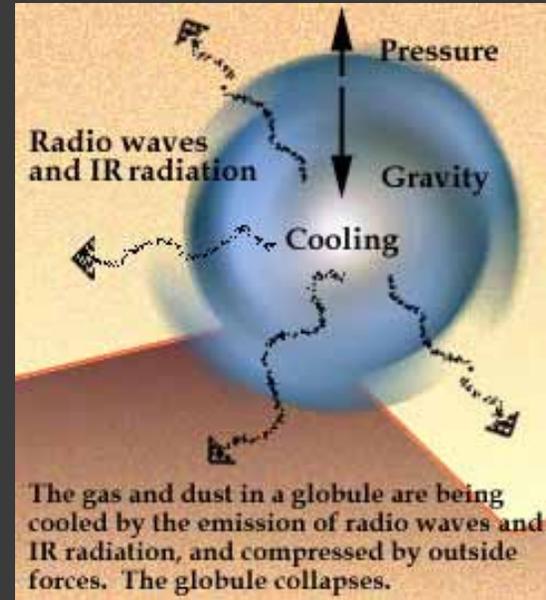


Sistema in formazione intorno β
Pictoris

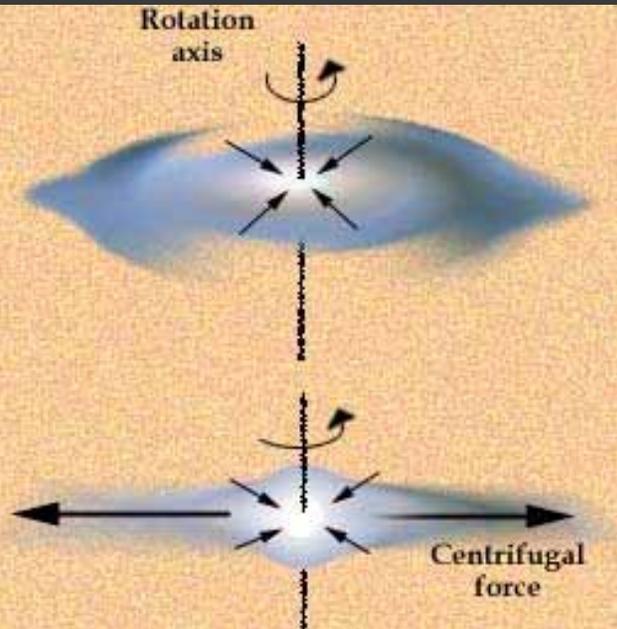
Le origini - 1



Lasciato a sé stesso il globulo è stabile contro il collasso gravitazionale



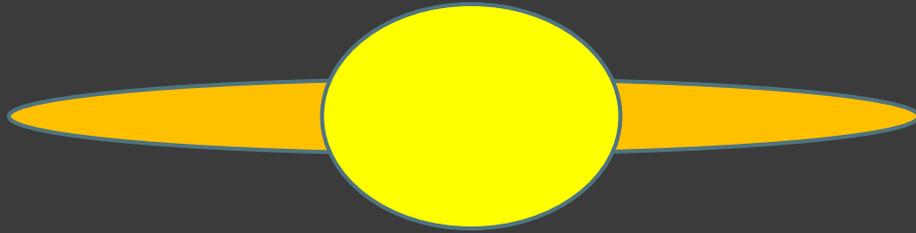
Le perdite per radiazione e qualche agente esterno raffreddano il globulo: $F_g > P$ ed inizia il collasso



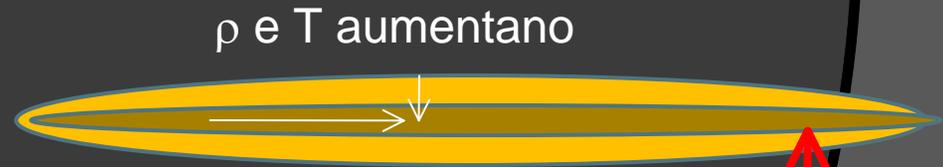
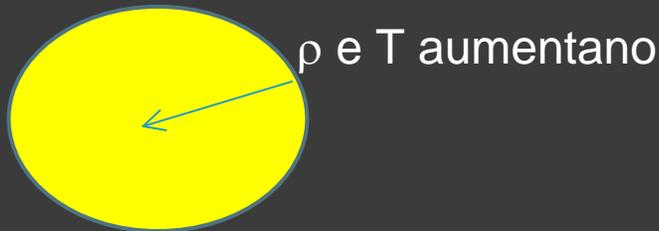
A causa della conservazione del momento angolare, si formano prima un rigonfiamento e poi un disco

Da qui (bulge) si formerà il Sole

Da qui (disco) i pianeti



1. Il bulge si contrae ... densità e temperatura aumentano
2. Il disco si espande radialmente (densità diminuisce) e si assottiglia

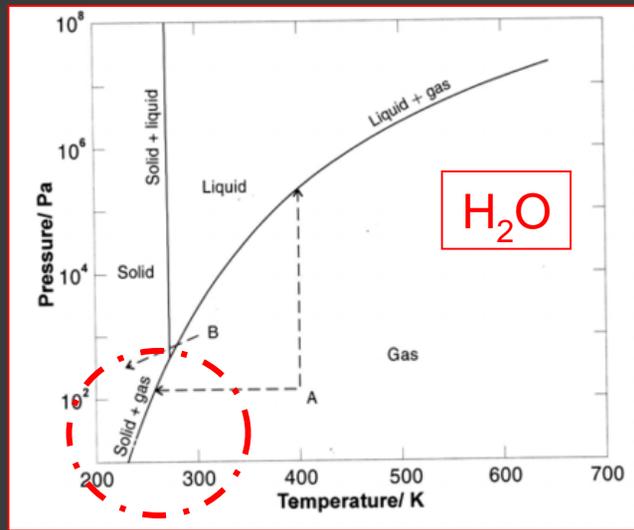
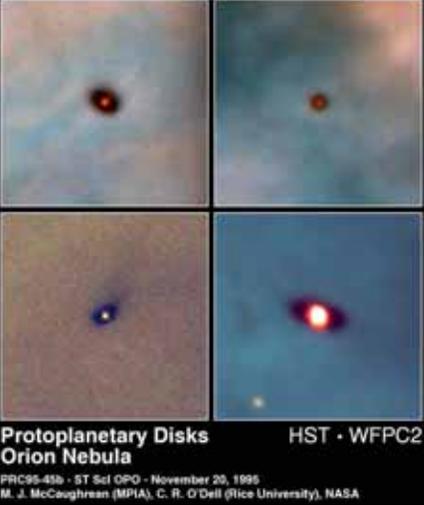


1. Il bulge inizia ad emettere radiazione nell'Infrarosso
2. Nel disco la polvere forma uno strato più sottile

La composizione chimica media del sistema solare

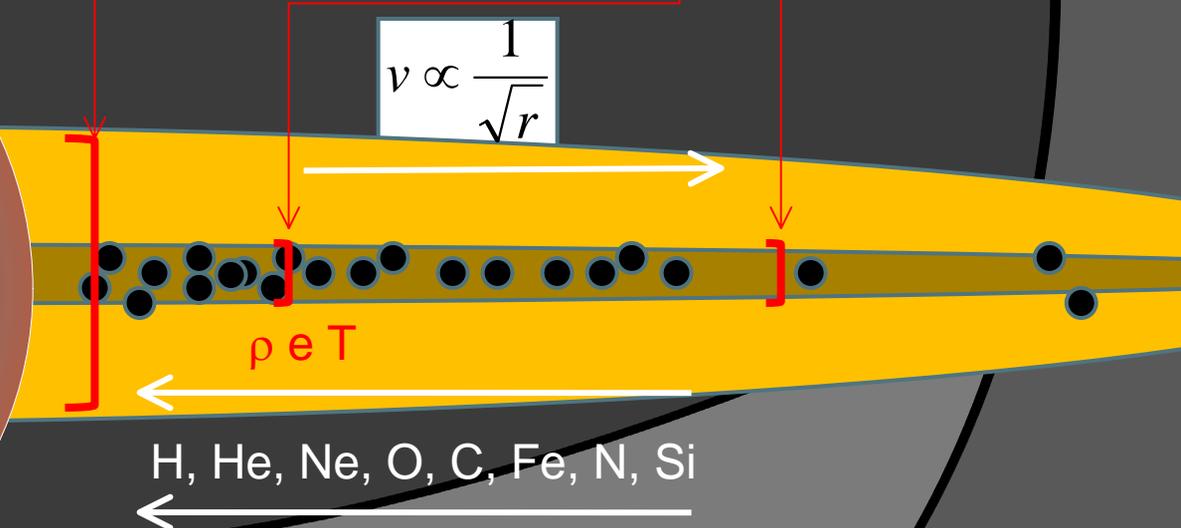
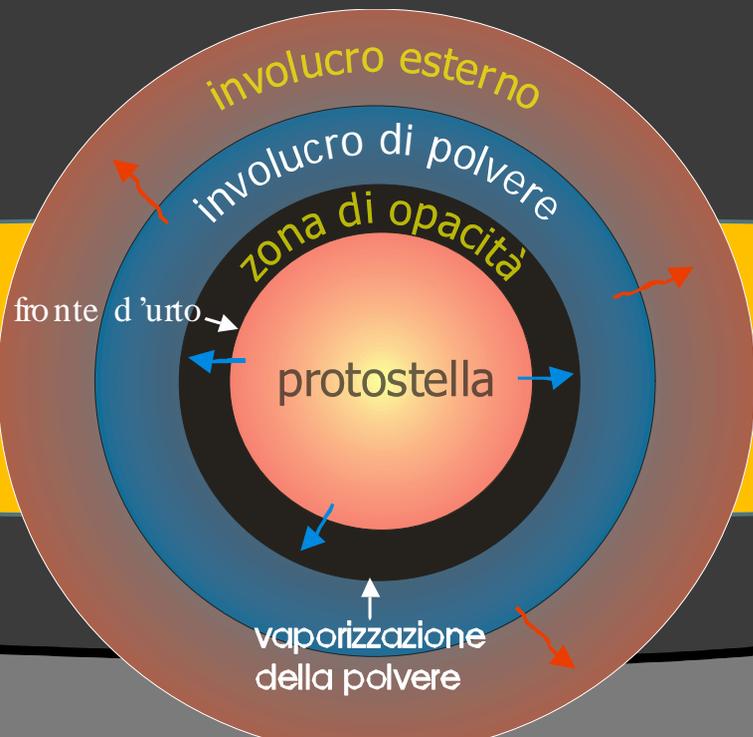
N	nome	simbolo	Massa $^{12}\text{C} \equiv 12$	abb. rel. numerica	abb. rel. massa
1	Idrogeno	H	1.0080	10^6	10^6
2	Elio	He	4.0026	97000	390000
6	Carbonio	C	12.0111	360	4300
7	Azoto	N	14.0067	110	1500
8	Ossigeno	O	15.9994	940	15000
10	Neon	Ne	20.179	130	2600
11	Sodio	Na	22.9898	2	44
12	Magnesio	Mg	24.305	32	780
13	Alluminio	Al	26.9815	3	89
14	Silicio	Si	28.086	45	1300
16	Zolfo	S	32.06	16	510
18	Argo	Ar	39.948	1	40
20	Calcio	Ca	40.08	2	88
26	Ferro	Fe	55.847	32	1800
28	Nichel	Ni	58.71	2	110

H₂O

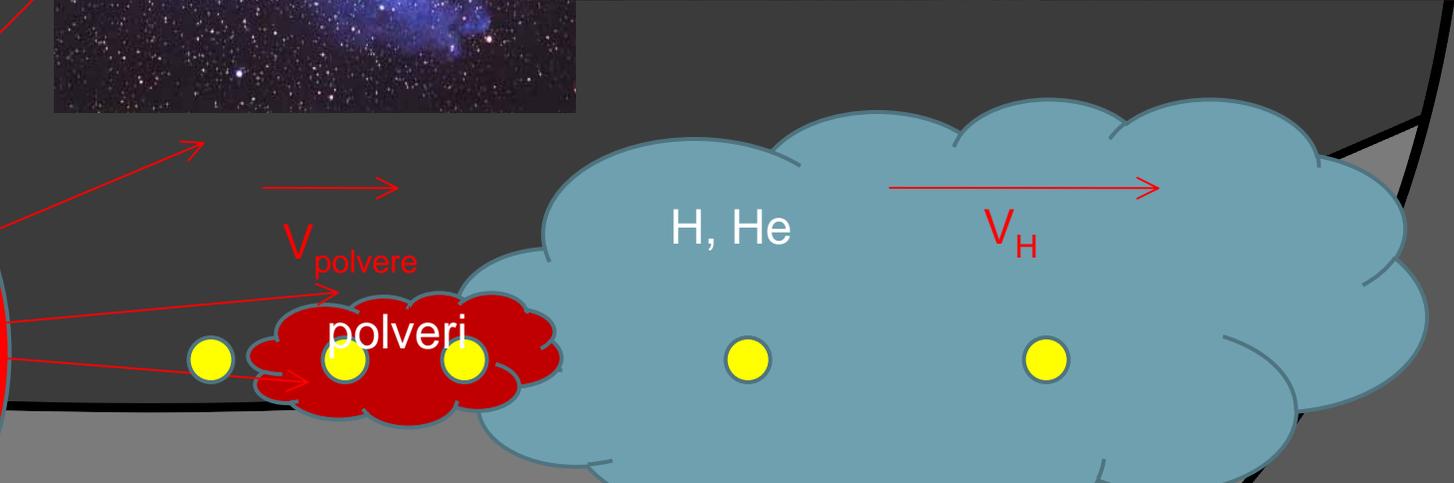
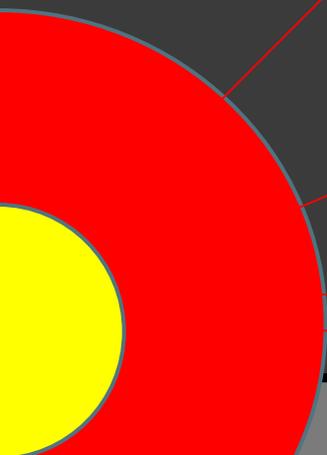
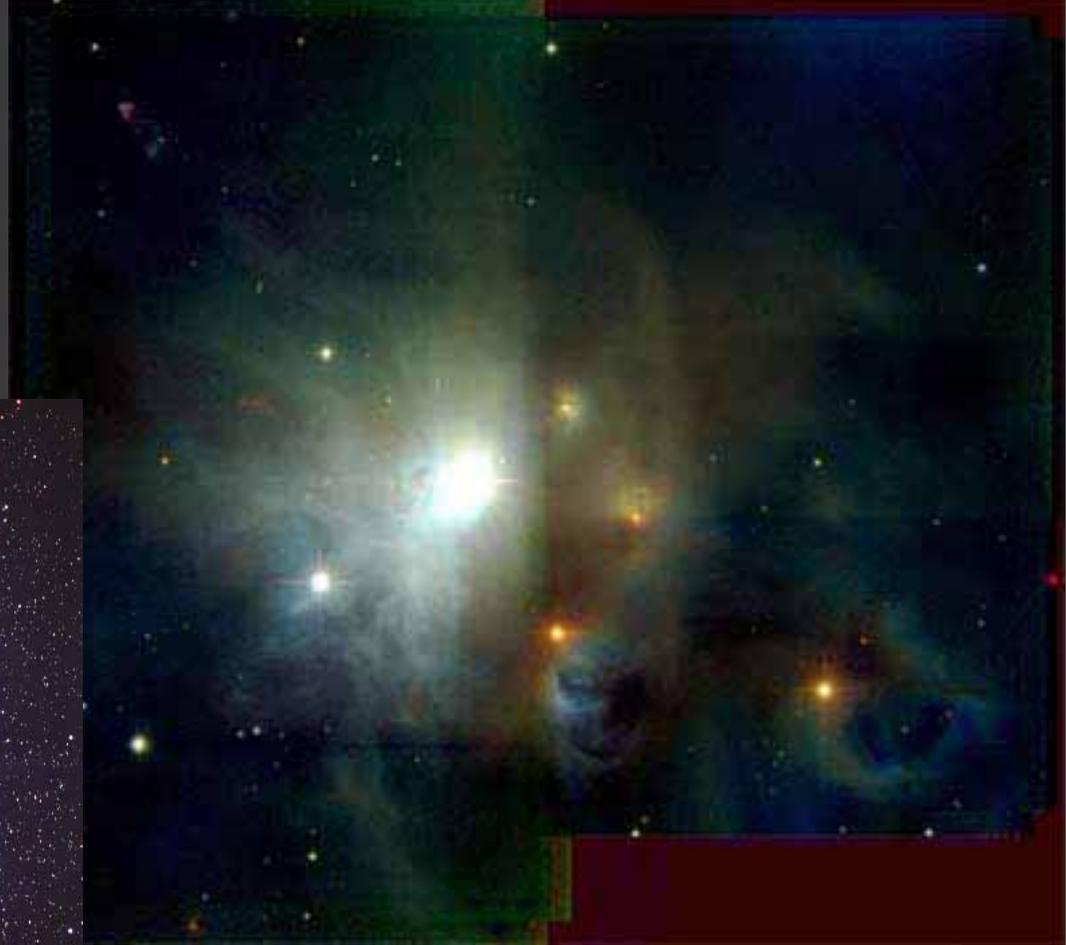
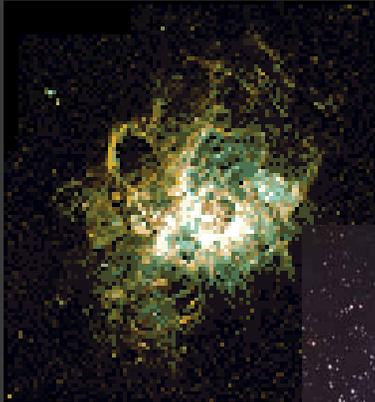


ρ e v troppo basse
Pochi planetesimi

T troppo alta:
Polvere evapora



Vento solare



Gli osservabili da spiegare

Osservabili maggiori

- Le orbite dei pianeti giacciono all'incirca nello stesso piano
- I pianeti ruotano intorno al Sole nello stesso senso
- Il 95% della massa totale è concentrata nel Sole
- Il Sole ruota lentamente (meno dell'1% del momento angolare)
- Esistono almeno tre tipi di pianeti (interni, esterni e nani) con caratteristiche diverse
- Esiste una miriade di corpi minori

Osservabili minori

- Le composizioni chimiche dei diversi corpi
- I pianeti esterni hanno molti satelliti
- Solo i pianeti esterni presentano anelli
- Campi magnetici

Anomalie

- Asse di rotazione di Urano inclinato di 90° rispetto all'orbita
- Il Sole ruota troppo lentamente

FINE

longo@na.infn.it

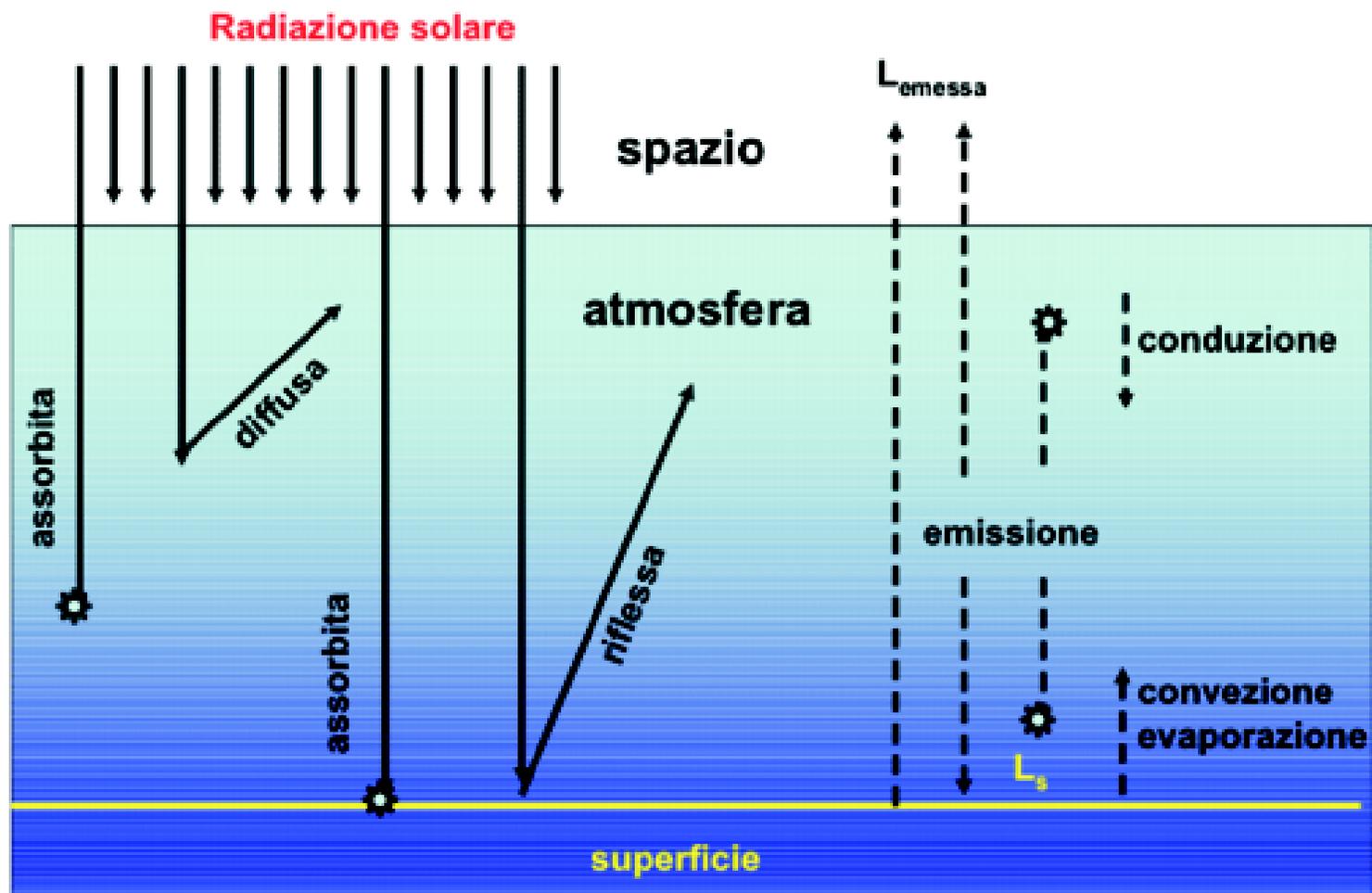
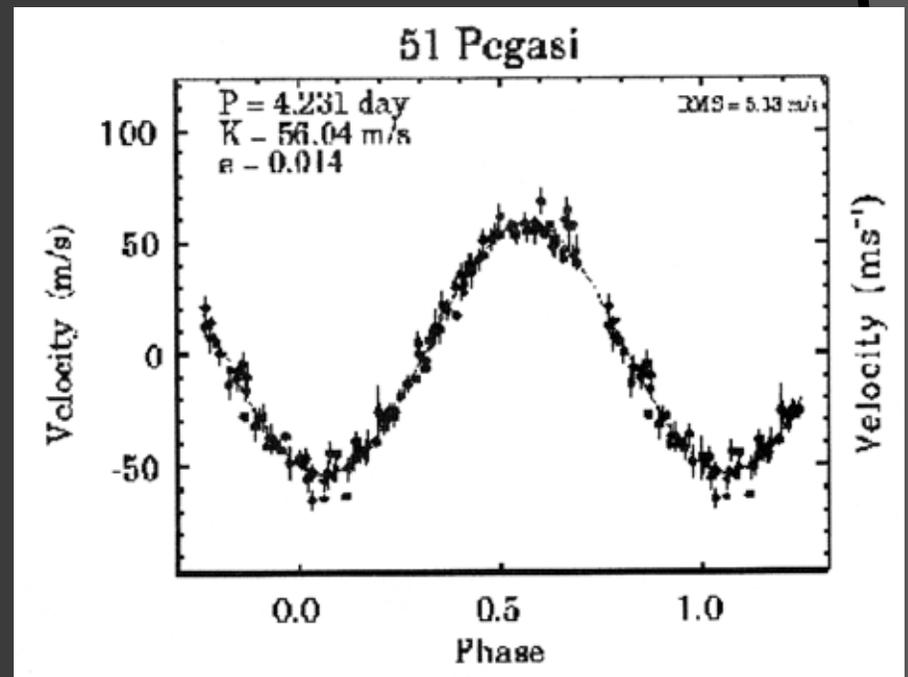
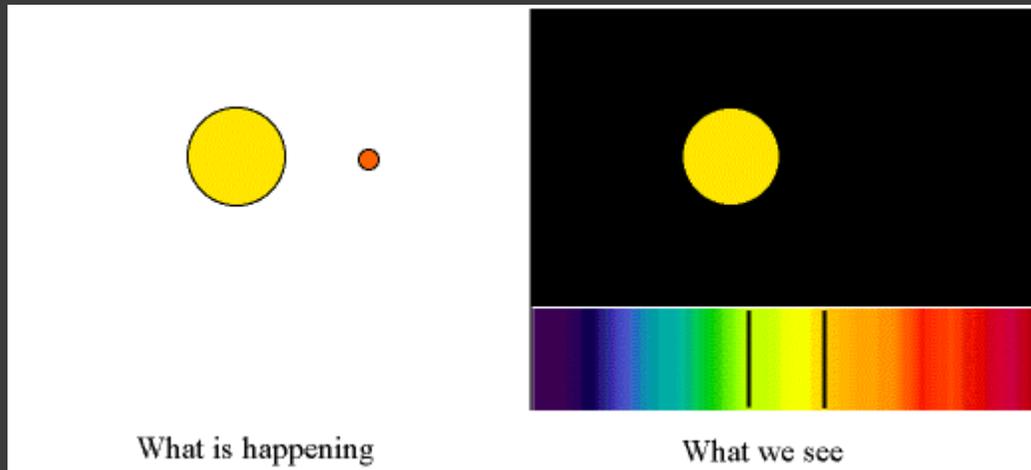
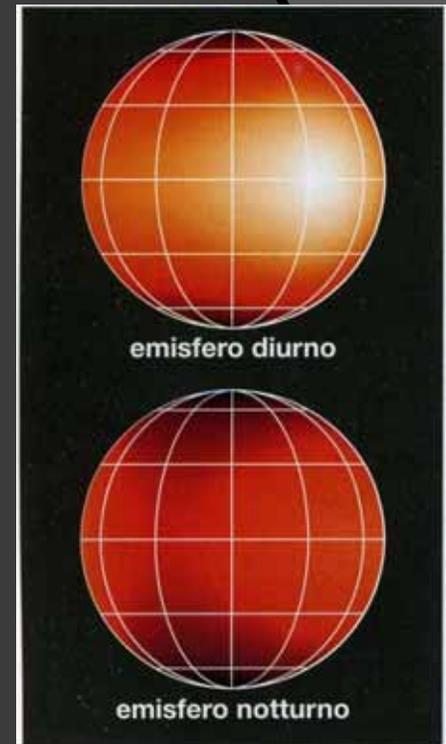
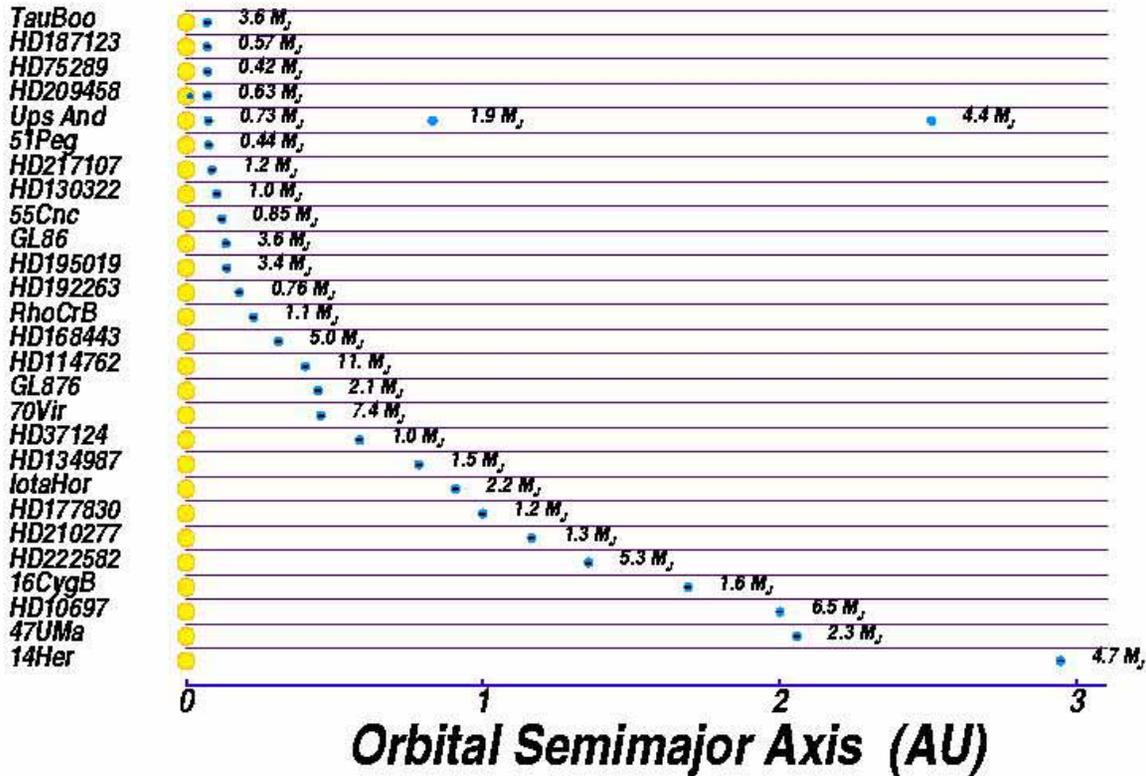


Fig. 8.10. Schematizzazione del bilancio energetico dell'atmosfera.





La regione più calda del pianeta HD 189733b non si trova nella regione del "mezzogiorno" (se così si può dire) e quella più fredda non è alla "mezzanotte". Le due temperature record vengono registrate un poco più ad est: è forse il frutto della particolare circolazione atmosferica, con venti che spirano a 10 mila km/h. (Heather Knutson; NASA/JPL/CalTech)