

SISTEMA SOLARE: PIANETI ESTERNI

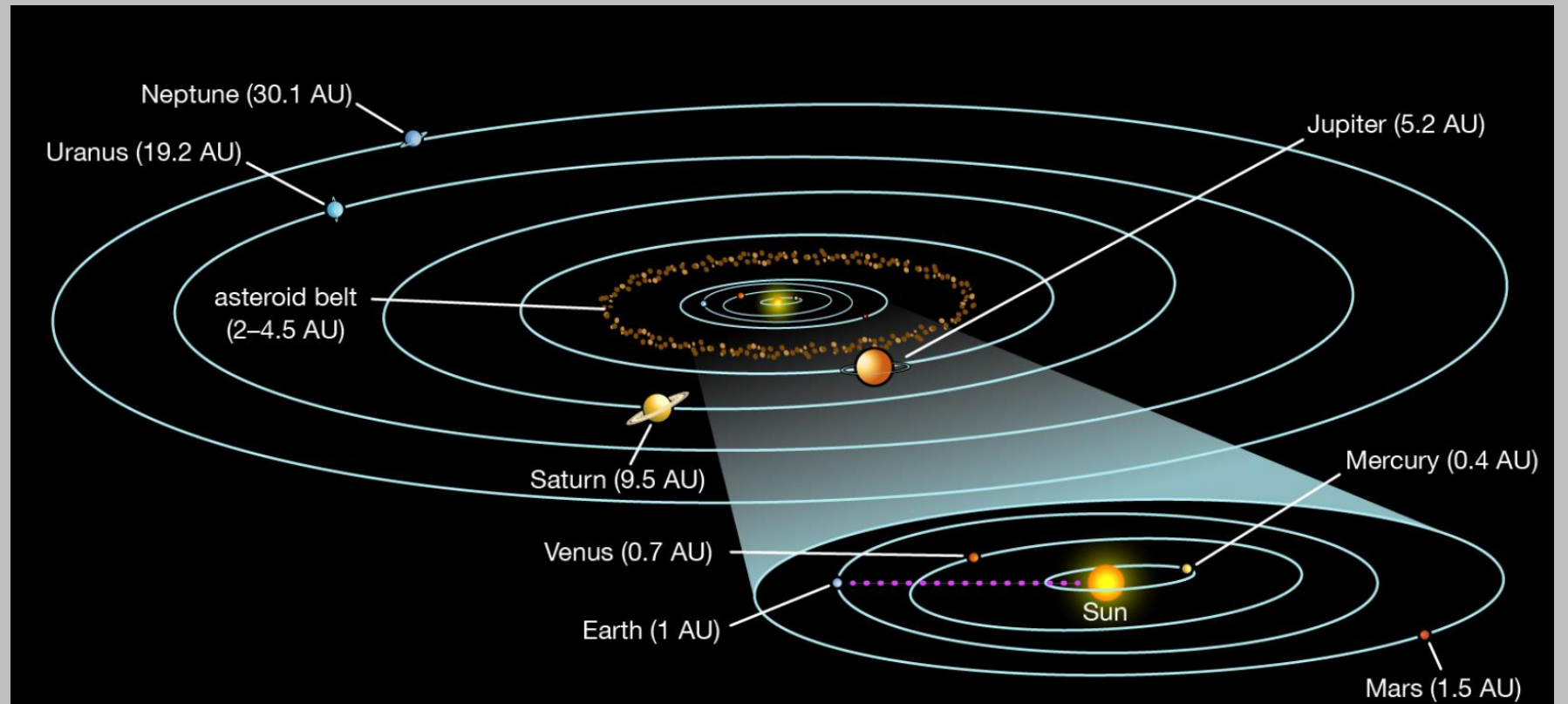
CORSO DI FORMAZIONE DI ASTRONOMIA E ASTROFISICA

PER DOCENTI DI SCUOLA SECONDARIA

ANNO 2019-2020 - CICLO 1

INDICE DEGLI ARGOMENTI TRATTATI

- Giove
- Saturno
- Urano
- Nettuno



SIMILARITÀ E DIFFERENZE TRA I PIANETI ESTERNI

Cosa hanno in comune i pianeti esterni:

- Non hanno una superficie solida.
- Dimensioni maggiori (*'pianeti giganti'*).
- Bassa densità media.
- La struttura interna.
- Un sistema di anelli.
- Un campo magnetico globale.
- Il gran numero di satelliti.

Le principali differenze:

- La composizione chimica.
- Percentuali gassose diverse rispetto alla componente liquida-solida.
- La temperatura alla sommità dell'atmosfera.

LE MISSIONI

Sonda	Giove	Saturno	Urano	Nettuno	Tipo di missione
Pioneer 10	1973				Sorvolo a 130'354 km
Pioneer 11	1974	1979			Sorvolo a 42'500 e 20'900 km
Voyager 1	1979	1980			Sorvolo a 280'000 e 126'000 km
Voyager 2	1979	1981	1986	1989	Sorvolo a 645'000, 101'000, 81'500 e 4'800 km
Ulysses	1992				Sorvolo a 378'400 km - In orbita polare intorno al Sole
Galileo	1995 ÷ 2003				In orbita - Discesa di una sonda nell'atmosfera
Cassini		2004 ÷ 2017			In orbita - Discesa della sonda Huygens su Titano
New Horizons	2007				Sorvolo - Missione verso Plutone
Juno	2016 ÷ 2021				In orbita - Missione in corso

L'ATMOSFERA DI GIOVE



Crediti: NASA, ESA, A. Simon (Goddard Space Flight Center) and M.H. Wong (University of California, Berkeley)

Massa dell'atmosfera

- 1% della massa del pianeta.

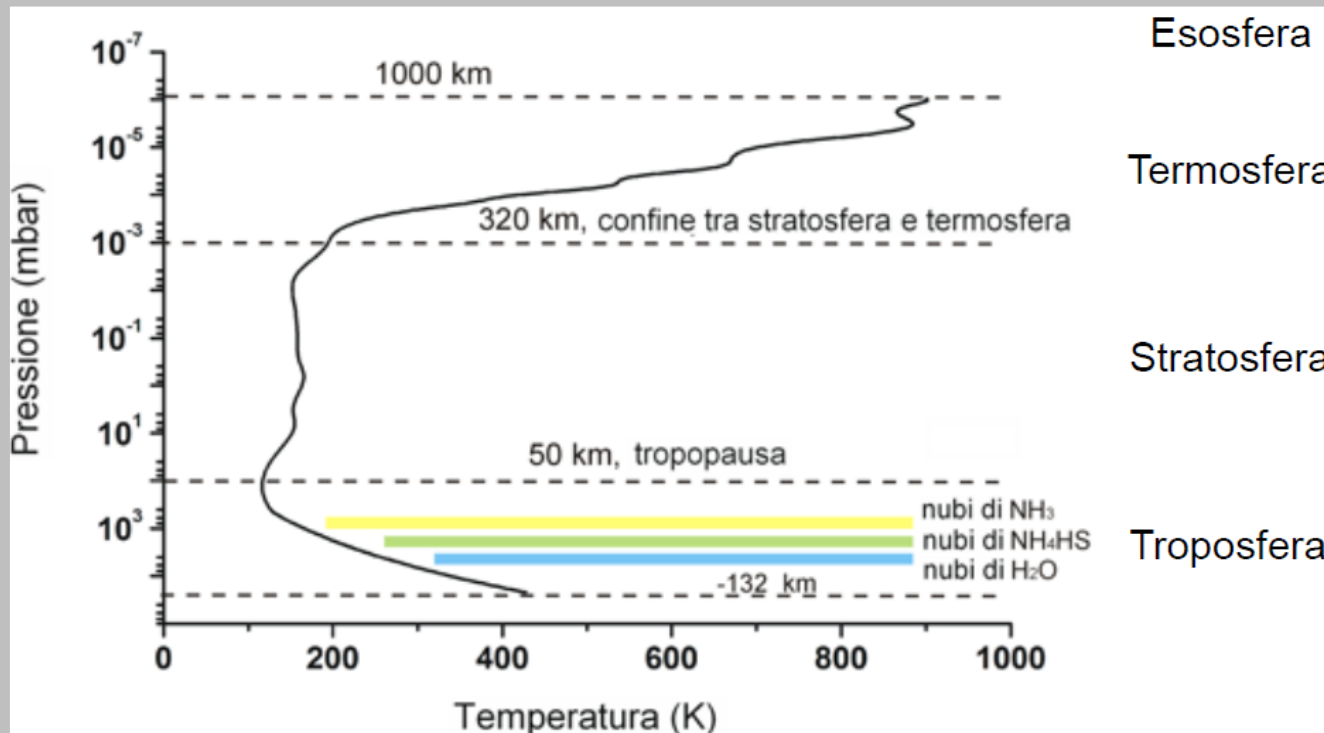
Composizione chimica

- 86% H, 13.6% He.
- 0.2% CH₄, 0.06% NH₃, 0.04% H₂O, 0.1% altri elementi (H₂S, PH₃, NH₄HS).

Bande colorate e zone dell'atmosfera

- Nuvole di ghiaccio di ammoniaca che hanno spessori diversi e si trovano ad altezze diverse.
- Le zone (bianche) hanno una maggiore concentrazione di NH₃, sono più dense e più alte. Le bande (scure) sono più sottili e si trovano ad altitudini inferiori.
- Sono confinate da correnti a getto, che possono raggiungere velocità sino a 645 km/h.

ATMOSFERA DI GIOVE: STRUTTURA



- A differenza dell'atmosfera terrestre, manca una mesosfera.
- Come base della troposfera si assume il livello di 10 bar, con una temperatura di circa 340 °K e ad una profondità di circa 90 km dallo zero altimetrico (1 bar).
- Le nuvole dei vari composti si formano a temperature (altitudini) diverse:
 - NH_3 : 150 °K
 - NH_4SH : 200 °K
 - H_2O : 270 °K

LA MACCHIA ROSSA



Crediti: NASA/JPL-Caltech/Swri/Msss/Jason Major

- Tempesta anticiclonica che esiste da almeno 350 anni, studiata con continuità dal 1830.
- Diametro di 16'350 chilometri, variabile.



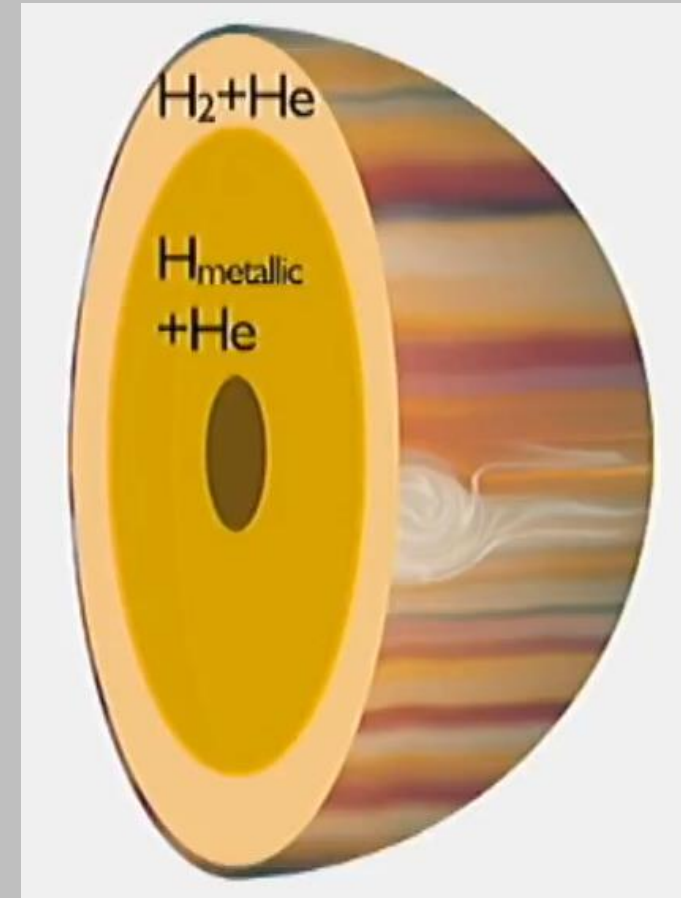
Voyager 2 – Immagine NASA

LA STRUTTURA INTERNA DI GIOVE PRIMA DI JUNO

- Le osservabili per lo studio dell'interno:
 - Massa, Raggio, Temperatura.
 - Abbondanza degli elementi chimici.
 - Proprietà del campo gravitazionale (armoniche del potenziale gravitazionale).
- Equazione di stato (H, He).
- Assunzioni del modello di struttura interna (ad esempio la distribuzione degli elementi pesanti).

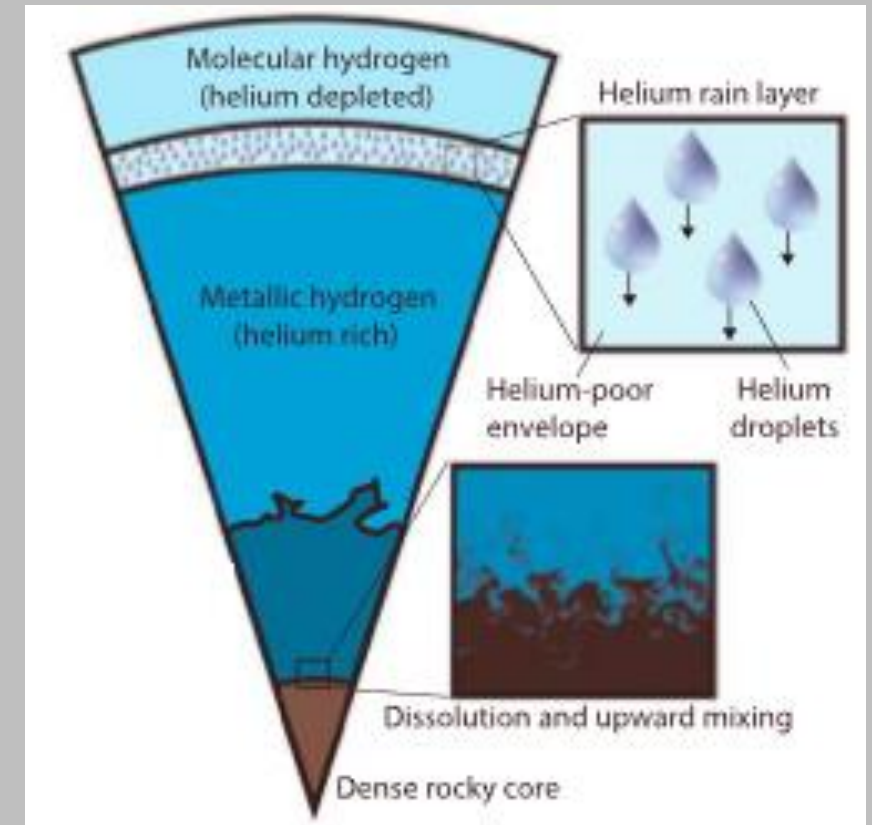
Il modello standard prima delle osservazioni di Juno:

- Atmosfera di H molecolare e He.
- Zona povera di He che condensa e precipita.
- Zona di H metallico e He liquidi.
- Nucleo con massa tra 0 e 17 M_{terra} (massa degli elementi pesanti compresa tra 0 e 40 M_{Terra}).



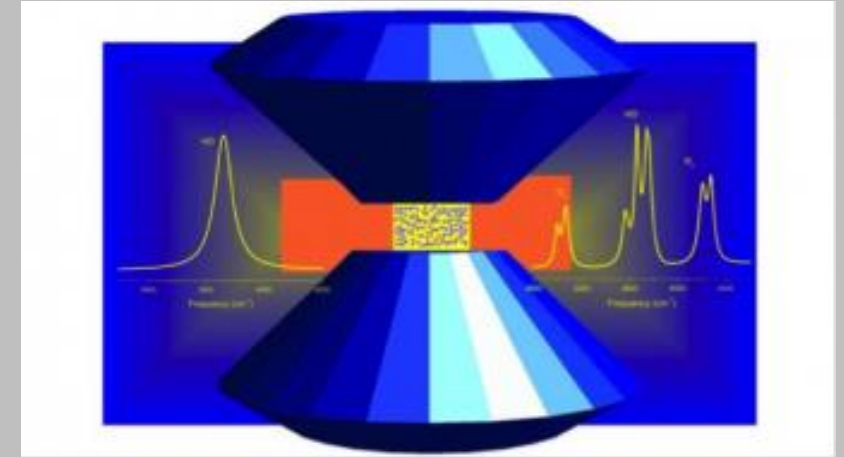
I PRIMI RISULTATI DI JUNO SULLA STRUTTURA INTERNA

- L'abbondanza degli elementi chimici si basa sulle misure della missione Galileo.
- La missione Juno, ancora in corso, ha migliorato la conoscenza dei coefficienti del potenziale gravitazionale J_n .
- Al modello standard, si contrappone un nuovo modello di 'nucleo diluito'.
- Modelli con nucleo che si espande sino $0.3 \div 0.5 R_{\text{Giove}}$ rendono conto dei J_n osservati da Juno.
- Modello standard e modello a nucleo diluito sono ancora in discussione e sono legati ai modelli di formazione del pianeta.

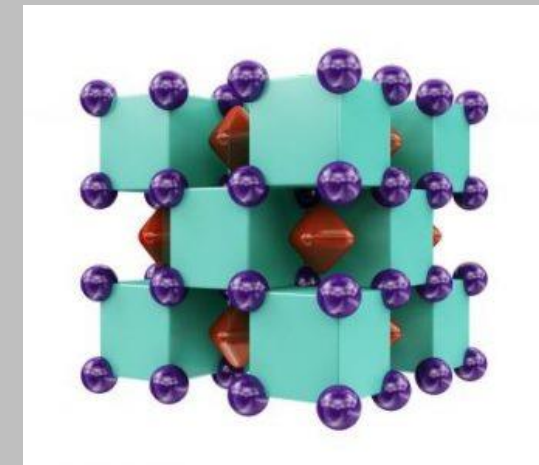


IDROGENO METALLICO E COMPOSTI DELL'ELIO

- Ad alte pressioni l'idrogeno molecolare solido si rompe e le molecole si dissociano per trasformarsi in idrogeno atomico, che la teoria prevede si comporti come un superconduttore.
- Con la tecnica della cella a incudine di diamante, ad una pressione di 11 GPa è stata recentemente annunciata la sintesi di un composto dell'He (Na_2He).
- Lo studio delle proprietà fisiche di H e He ad alte pressioni ha un grosso impatto sulla comprensione dell'interno dei giganti gassosi.
- Le simulazioni prevedono anche la possibile formazione di Na_2HeO a pressioni di 15 GPa.



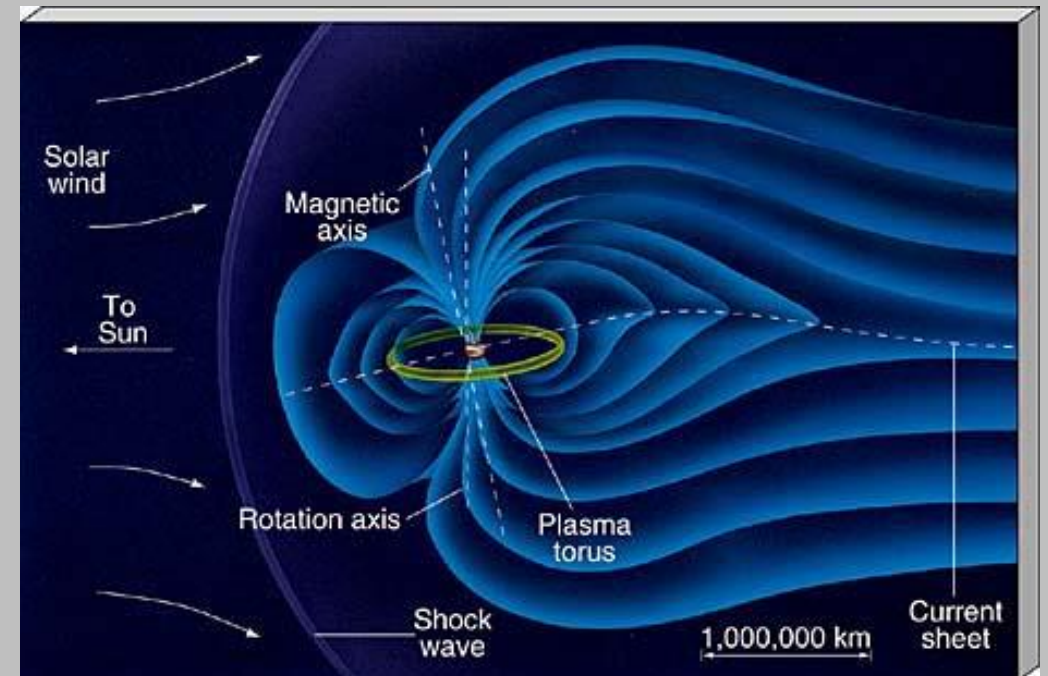
Cella a incudine di diamante. Crediti: R. Dias e I.F. Silvera



Reticolo di Na_2He) - Crediti: Artem R. Oganov

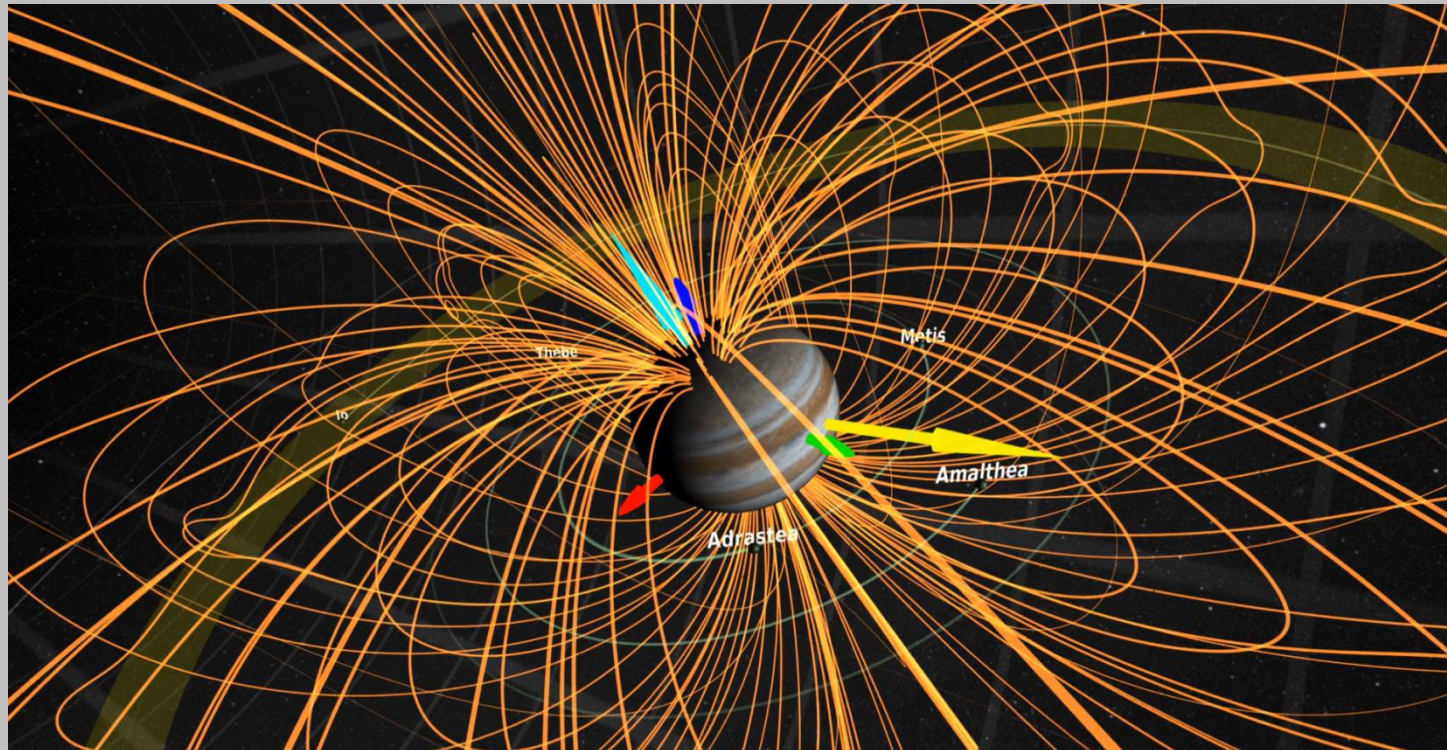
LA MAGNETOSFERA DI GIOVE

- La magnetosfera di Giove è la regione influenzata dal campo magnetico di Giove.
- Si estende in direzione del Sole per una distanza variabile da 1-3 milioni di chilometri e si protende verso l'orbita di Saturno per un miliardo di km.
- Il campo magnetico di Giove è da 16 a 54 volte più intenso di quello della Terra.
- Come sulla Terra, convogliando parte delle particelle cariche verso la superficie del pianeta, sono causa di irraggiamento sulle superfici dei satelliti più vicini, danni alle sonde e aurore.

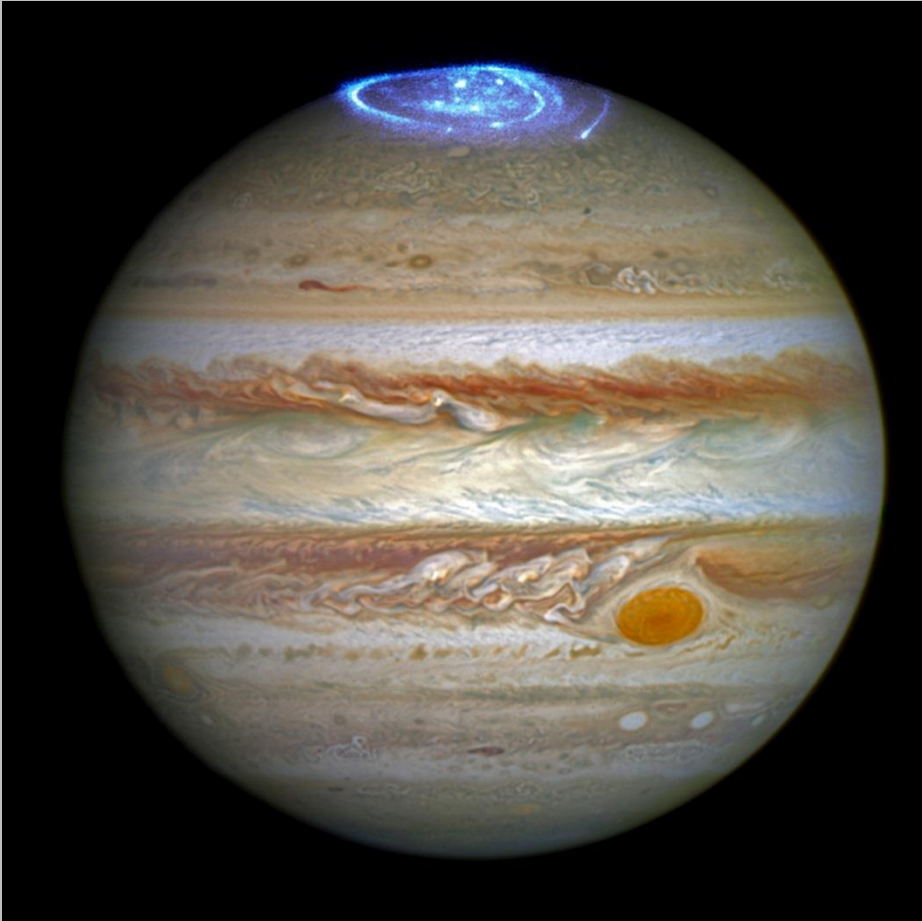


IL CAMPO MAGNETICO DI GIOVE E IL SATELLITE IO

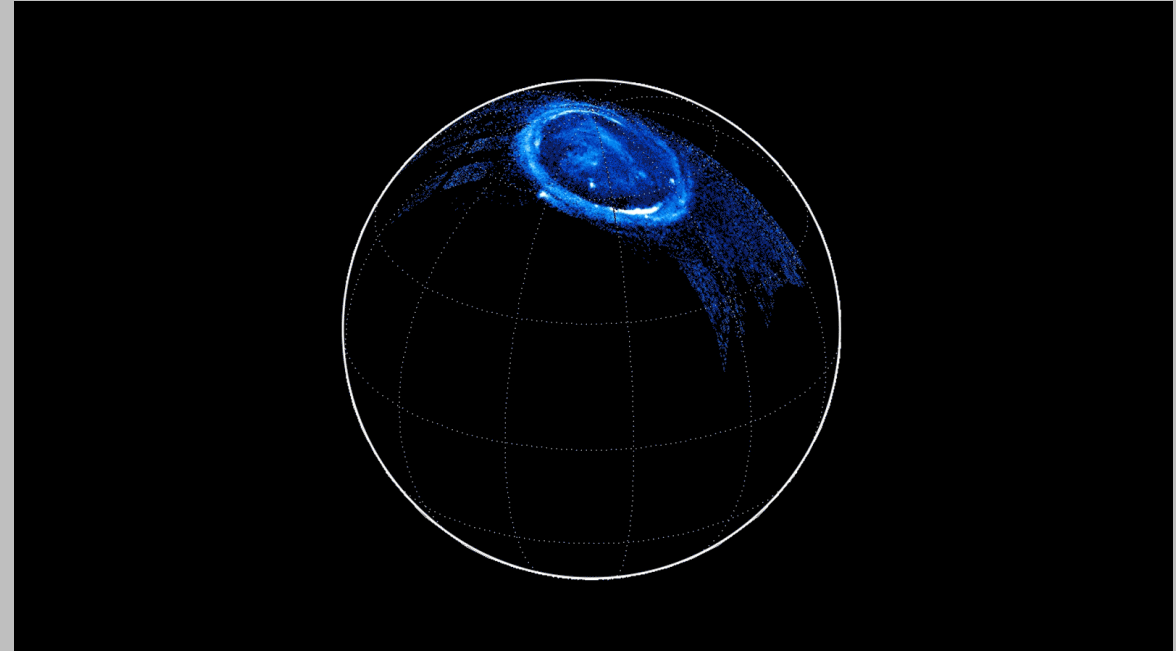
L'attività vulcanica del satellite Io proietta lungo la sua orbita composti a base di zolfo. Questi composti sono ionizzati dalla radiazione UV del Sole. Si crea un plasma toroidale intorno al pianeta che ne altera il campo magnetico lungo l'orbita del satellite.



AURORA SU GIOVE

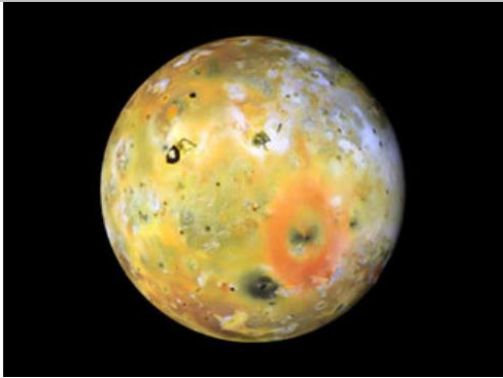


Hubble Space Telescope

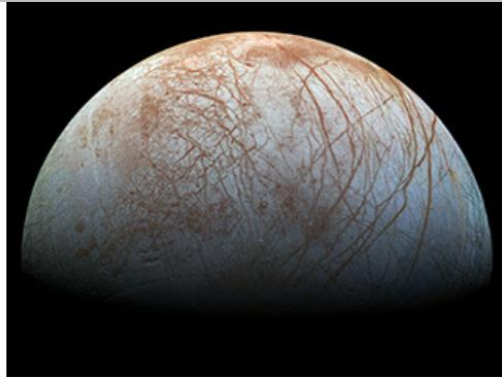


Juno fly-by

SATELLITI MEDICEI



Io



Europa



Ganimede



Callisto

- Io è dal punto di vista vulcanico l'oggetto più attivo del sistema solare.
- Europa e Callisto mostrano la presenza di oceani di acqua sotto la superficie.
- Ganimede è il satellite più grande del sistema solare e ha un suo proprio campo magnetico.

	Luna	Io	Europa	Ganimede	Callisto
Diametro (km)	3'474	3'643	3'122	5'262	4'821
Densità (g·cm⁻³)	3.344	3.528	3.013	1.942	1.834

SATURNO – ANALOGIE E DIFFERENZE CON GIOVE

Le analogie tra Giove e Saturno:

- Dimensioni.
- Periodo di rotazione.
- Composizione chimica (H 75%, He 25%)
- Il sistema di bande
- Probabile struttura interna.
- Magnetosfera.

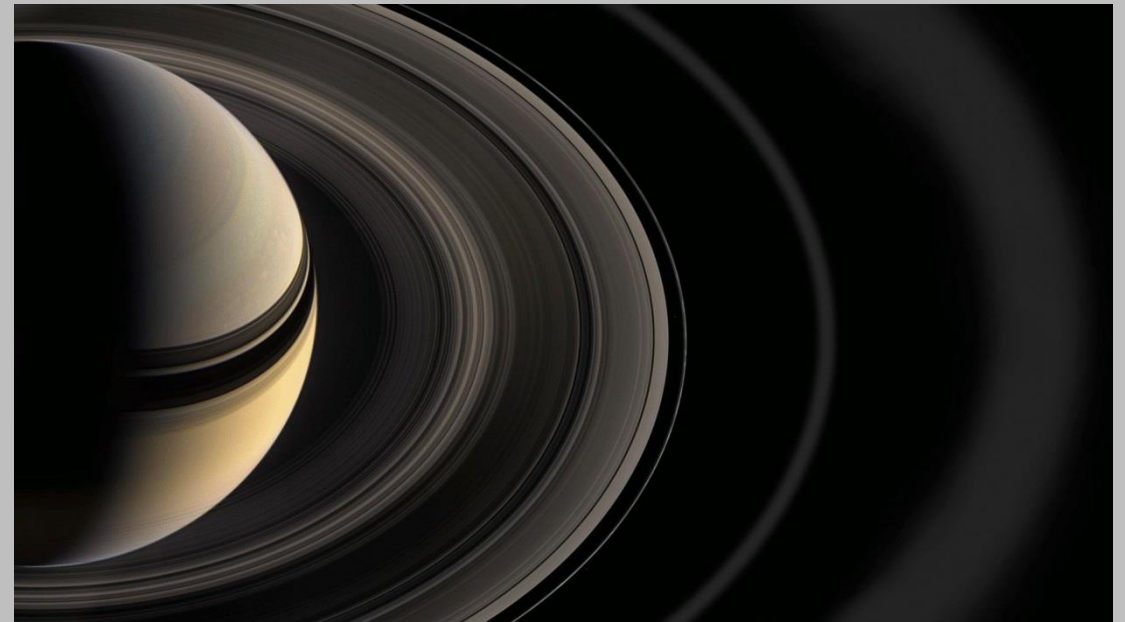
Le principali differenze tra Giove e Saturno:

- Densità: $0.687 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Giove = 1.326).
- Massa: $0.568\cdot 10^{27} \text{ kg}$ (Giove 1.898).
- Inclinazione dell'asse di rotazione.
- Sistema di anelli.

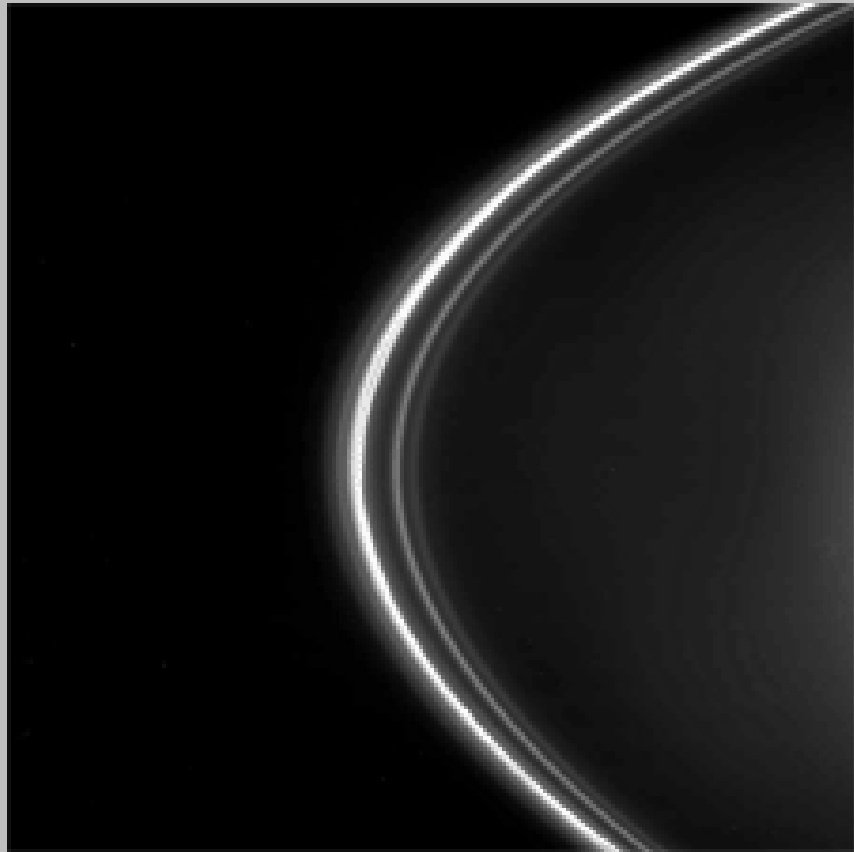


SISTEMA DI ANELLI

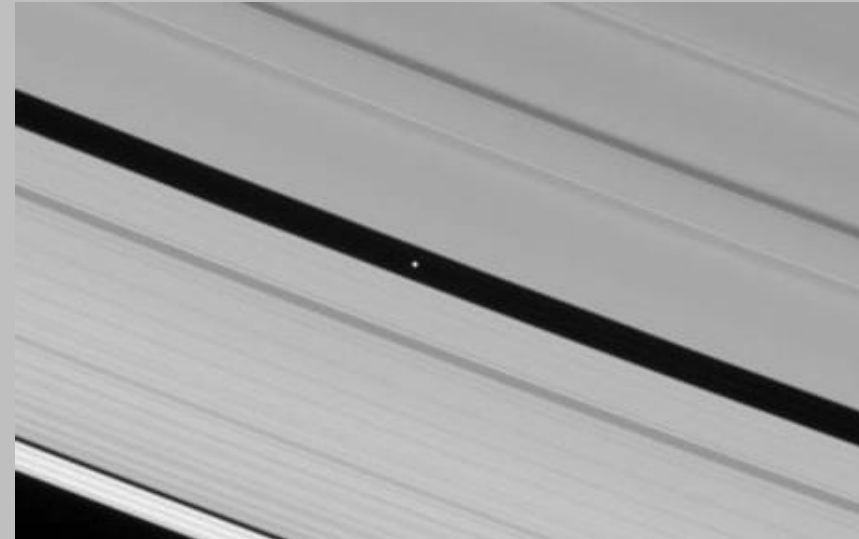
- Il Sistema di anelli di Saturno si estende sino a 282'000 km dal pianeta.
- Tipicamente, lo spessore nell'anello principale è di 10 m.
- Sono relativamente vicini uno all'altro ad eccezione dello spazio che separa gli anelli A e B, ampio 4'700 km.
- Sono costituite da miliardi di corpi composti di roccia e ghiaccio con dimensioni comprese tra pochi centimetri e qualche decina di metri.
- Origine probabile: la disintegrazione di una luna di Saturno.



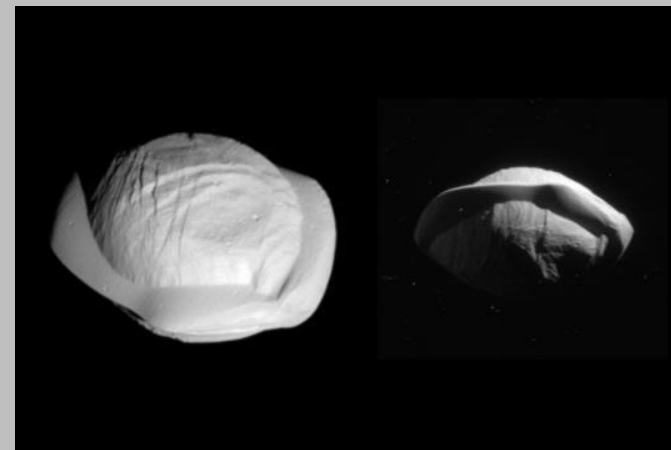
I SATELLITI PASTORE



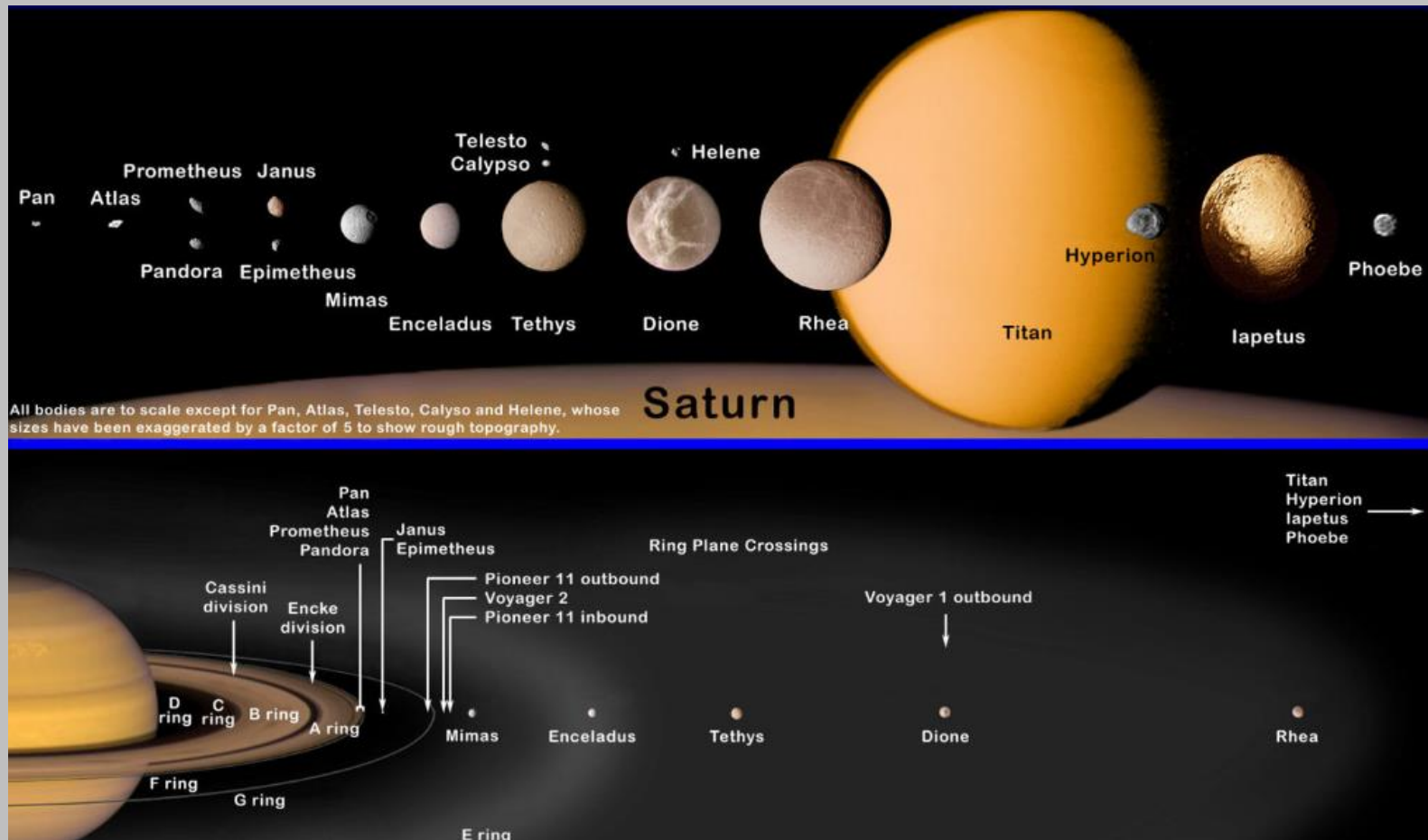
Pandora (esterno) e Prometeo (interno) e l'anello F



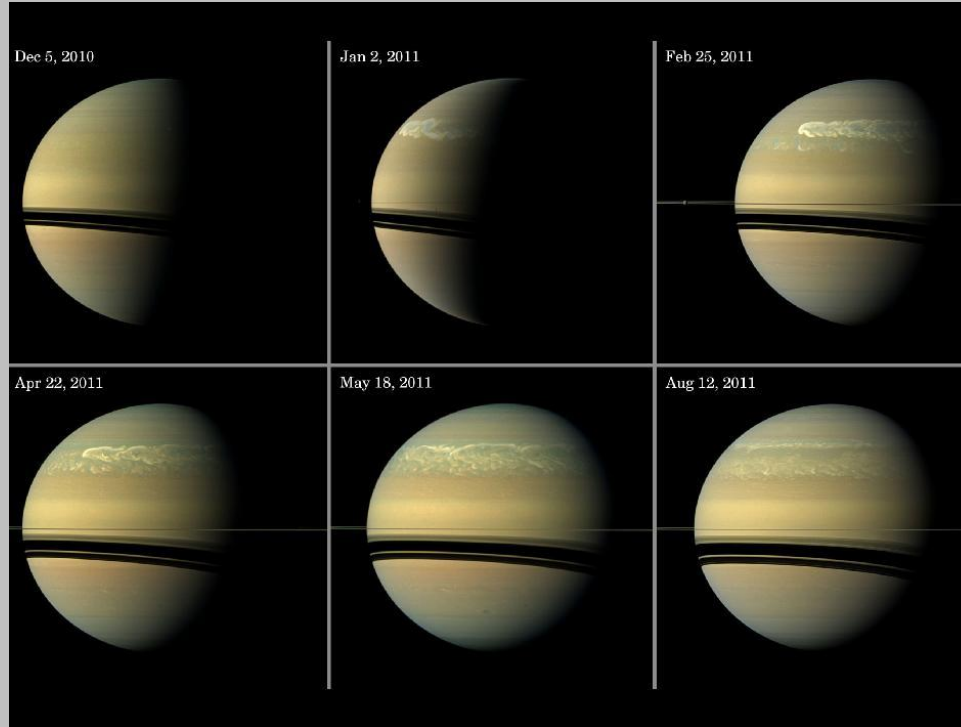
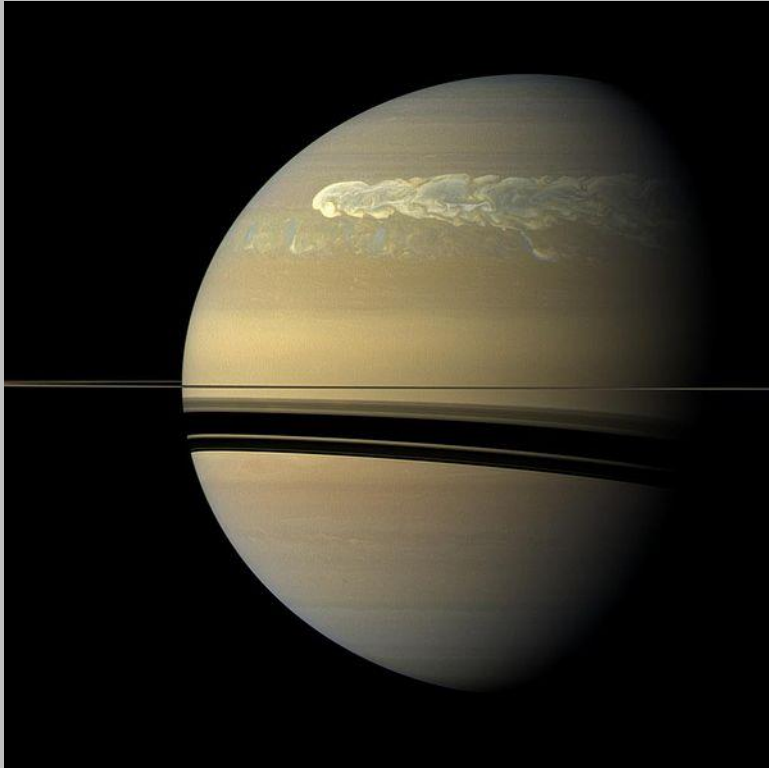
Pan (14.1 km) e l'anello A



ANELLI E SATELLITI

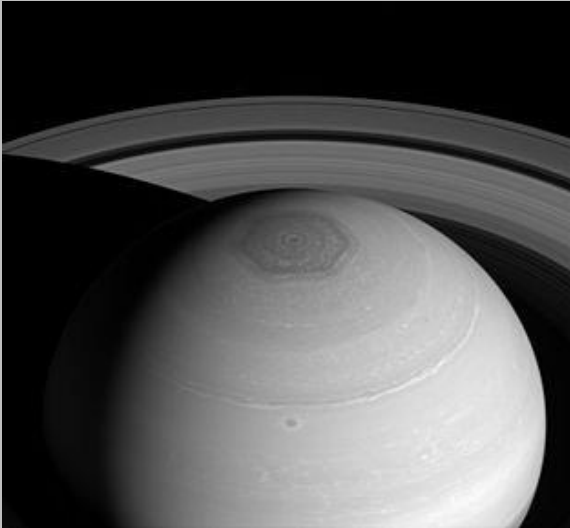


LA TEMPESTA DEL 2011



In genere l'atmosfera di Saturno non mostra questo tipo di fenomeni. Eventi molto violenti sembrano ripetersi ogni 20-30 anni e potrebbero quindi, in parte, essere legati ai cambiamenti stagionali nell'atmosfera del pianeta.

L'ESAGONO DEL POLO NORD



- Struttura scoperta dalle sonda Voyager negli anni '80 e studiata più in dettaglio dalla missione Cassini.
- E' un onda persistente probabilmente legata al gradiente di velocità angolare in funzione della latitudine.
- Al centro dell'esagono Cassini ha osservato la formazione di un vortice con la stessa struttura esagonale.
- Non è stata osservata sinora una struttura simile al Polo Sud del pianeta.

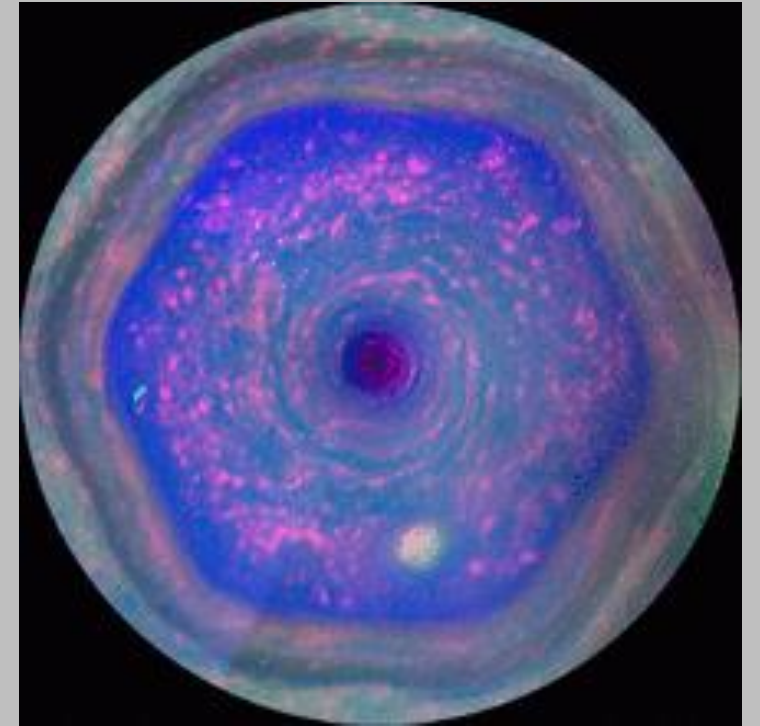
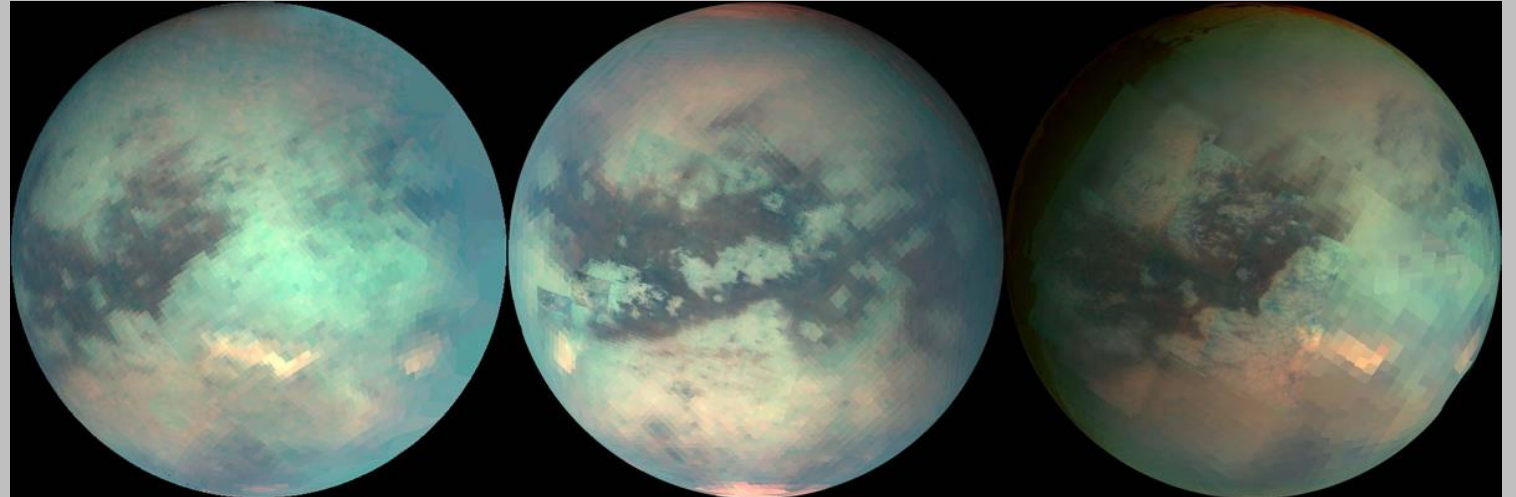


Immagine IR - formazione di un vortice al centro dell'esagono all'inizio dell'estate di Saturno nell'emisfero nord del pianeta. Credit: NASA/JPL-Caltech/SSI/Hampton University

TITANO

- Diametro: 5'149 km
- Densità: $1.882 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- Ha un'atmosfera densa:
 - composizione: N_2 95%, CH_4 5%, con tracce di O_2
 - Pressione alla superficie: 1.6 atmosfere.

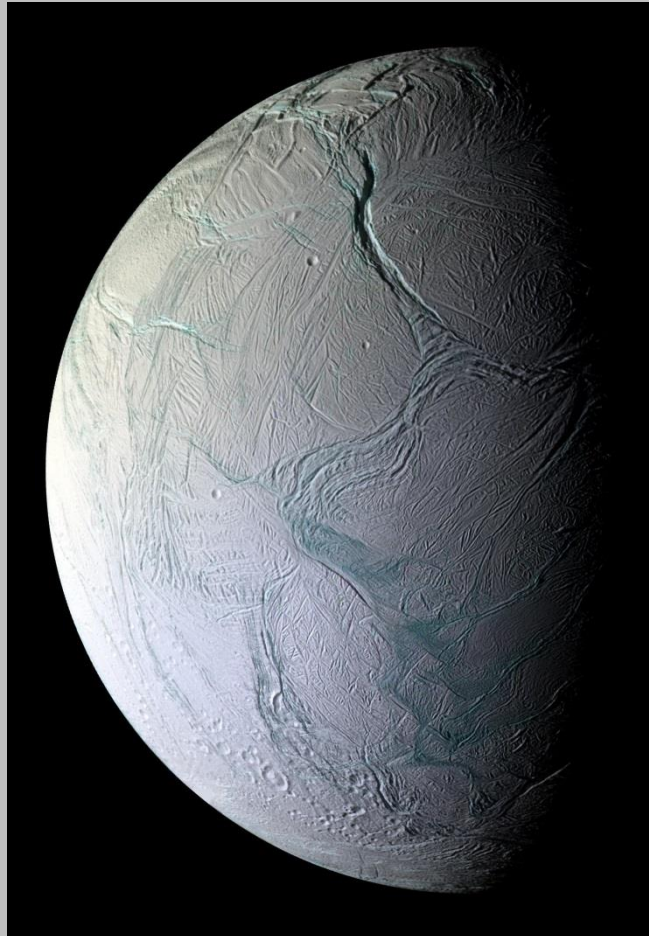


- Presenta liquidi (metano e etano) sulla superficie nella forma di fiumi, laghi e mari.
- Si sono rilevati oceani di acqua sotto la superficie.



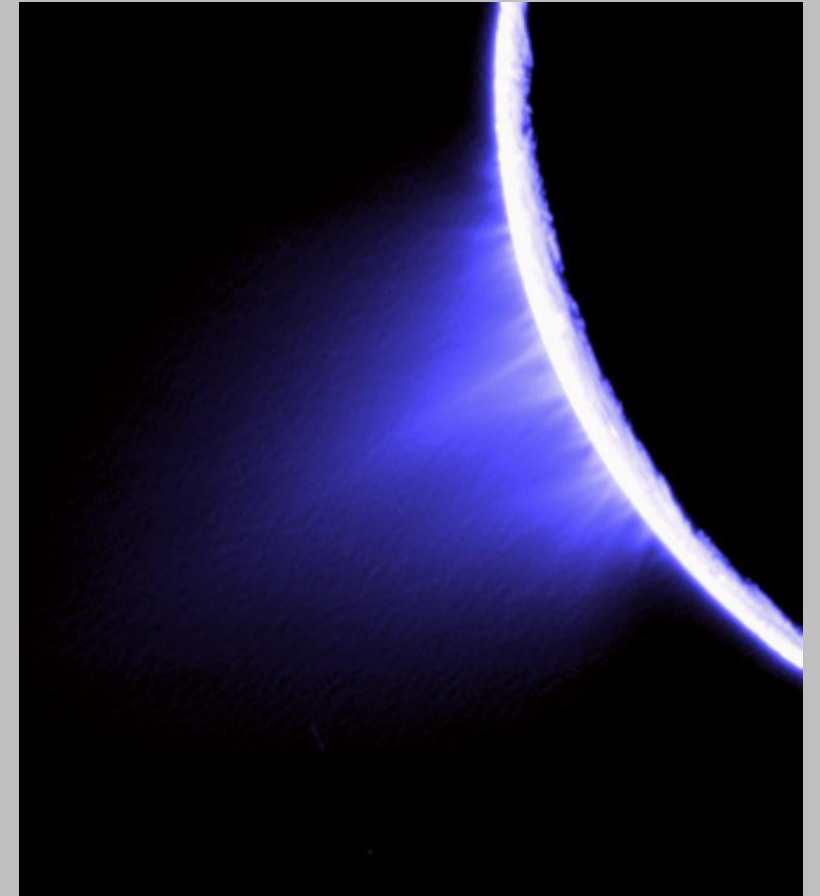
What Huygens Saw On Titan - New Image Processing - Video.mp4

ENCELADO



Credit: Image Credit: NASA/JPL/Space Science Institute

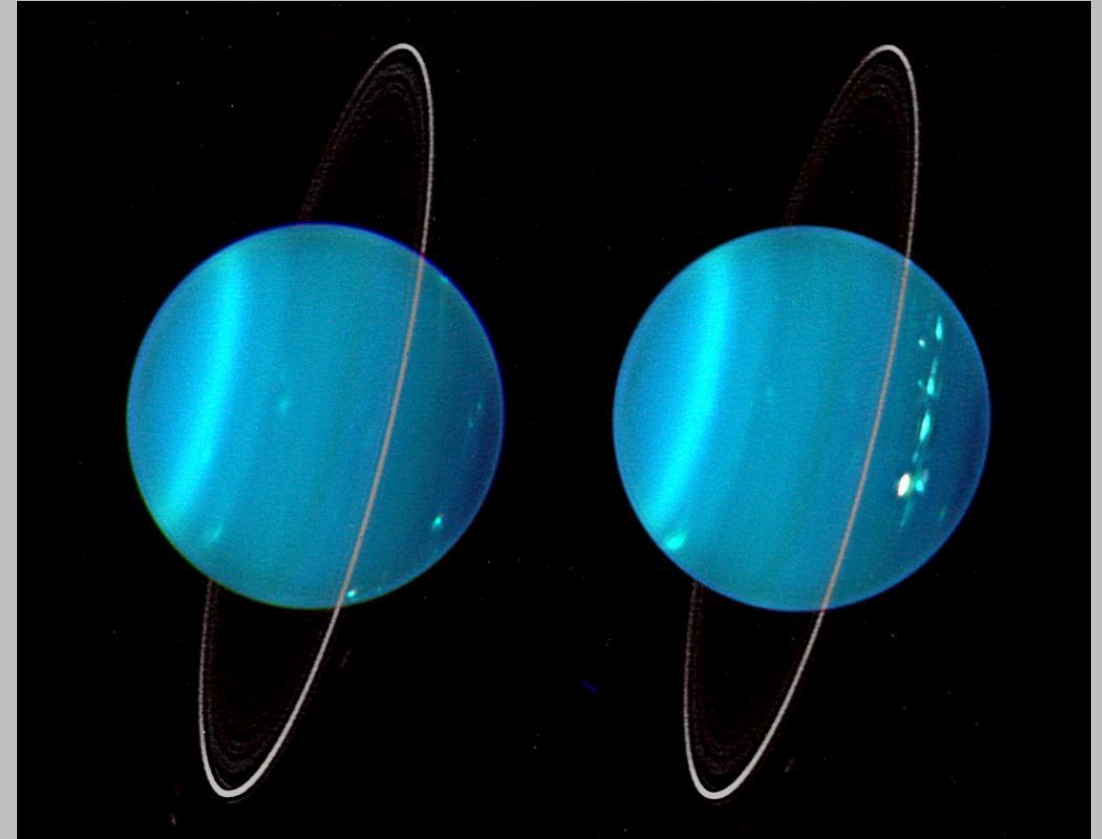
- Diametro: 504 km
- Densità: $1.608 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- **Criovulcanismo** con dispersione di acqua nello spazio.
- Presenza di **oceani di acqua** sotto la superficie.



Credit: Image Credit: NASA/JPL/Space Science Institute

URANO

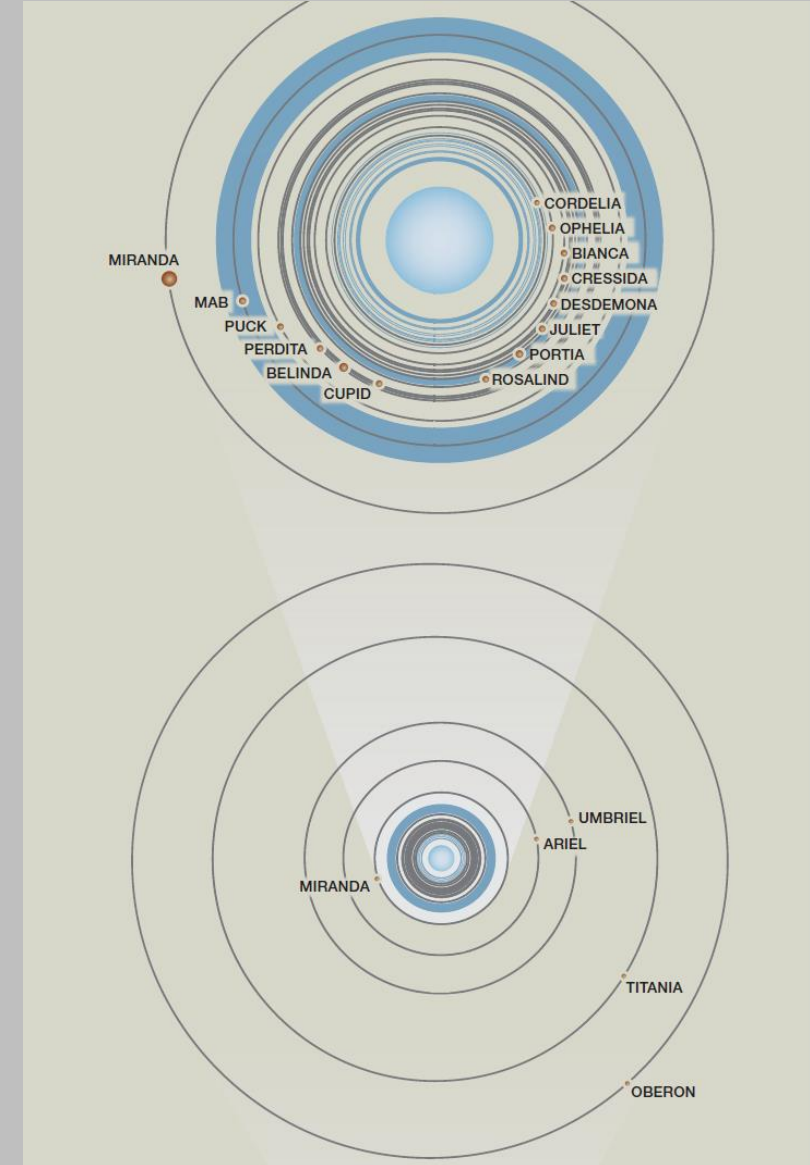
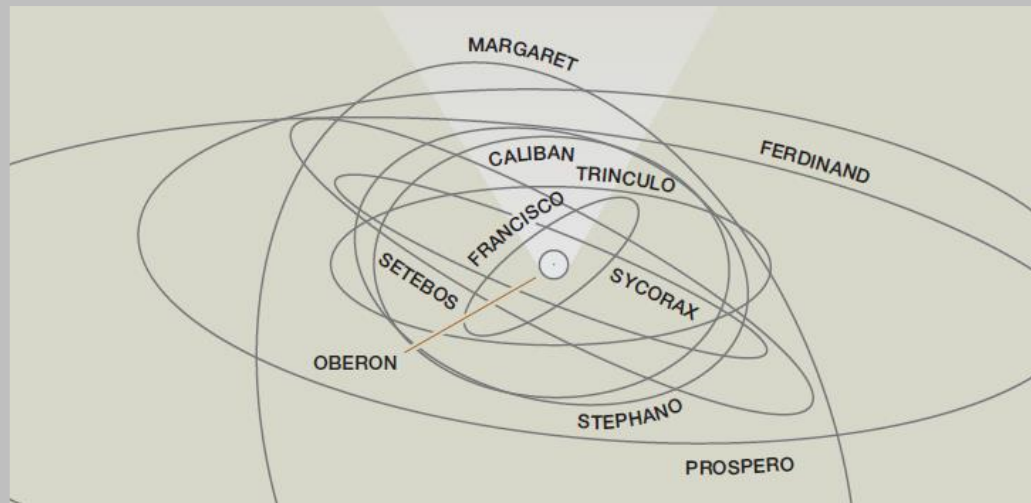
- Dopo Saturno è il pianeta meno denso: $1.271 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- Diametro leggermente maggiore di Nettuno ma meno massiccio.
- Asse di rotazione: 97.8° rispetto al piano dell'orbita.
- Composizione dell'atmosfera:
 - H_2 83%, He 15%, CH_4 2%, N_2 e O_2 tracce
- Venti: 900 km/h, retrogradi all'equatore e progradi (stesso verso della rotazione ai poli).
- Poli del campo magnetico inclinati di 60° rispetto all'asse di rotazione.



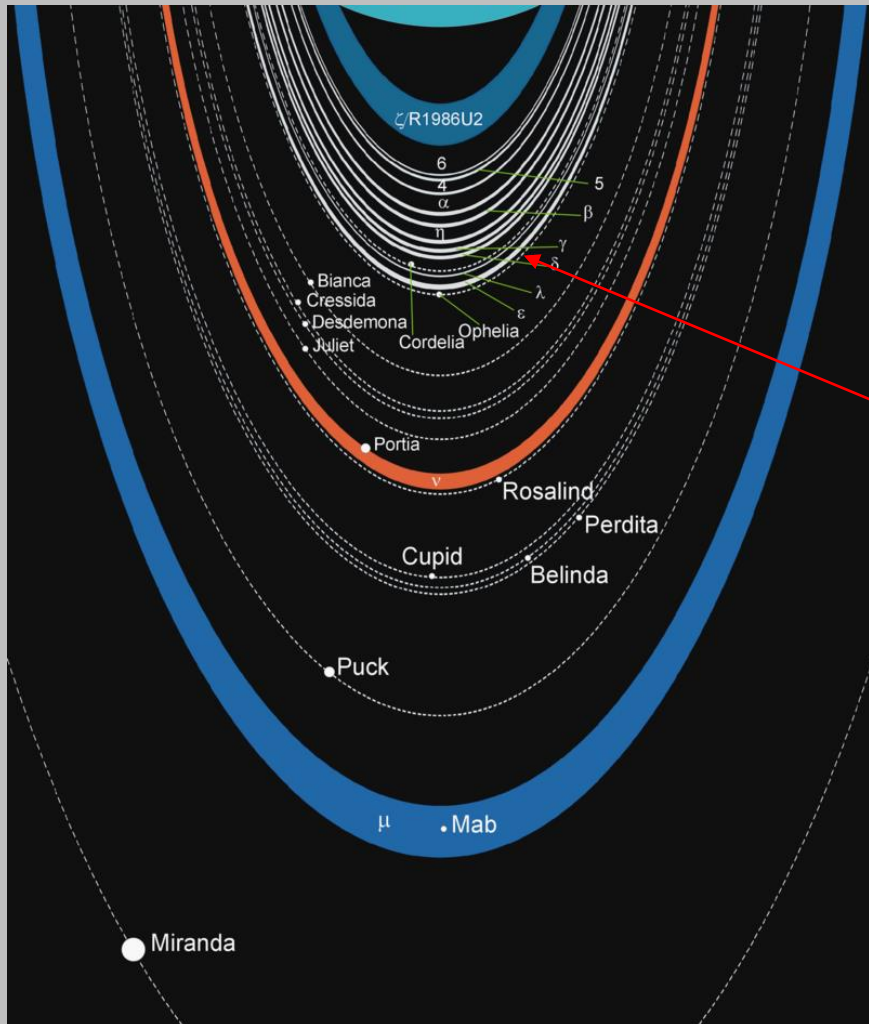
Credit: Keck Telescope

IL SISTEMA DI URANO

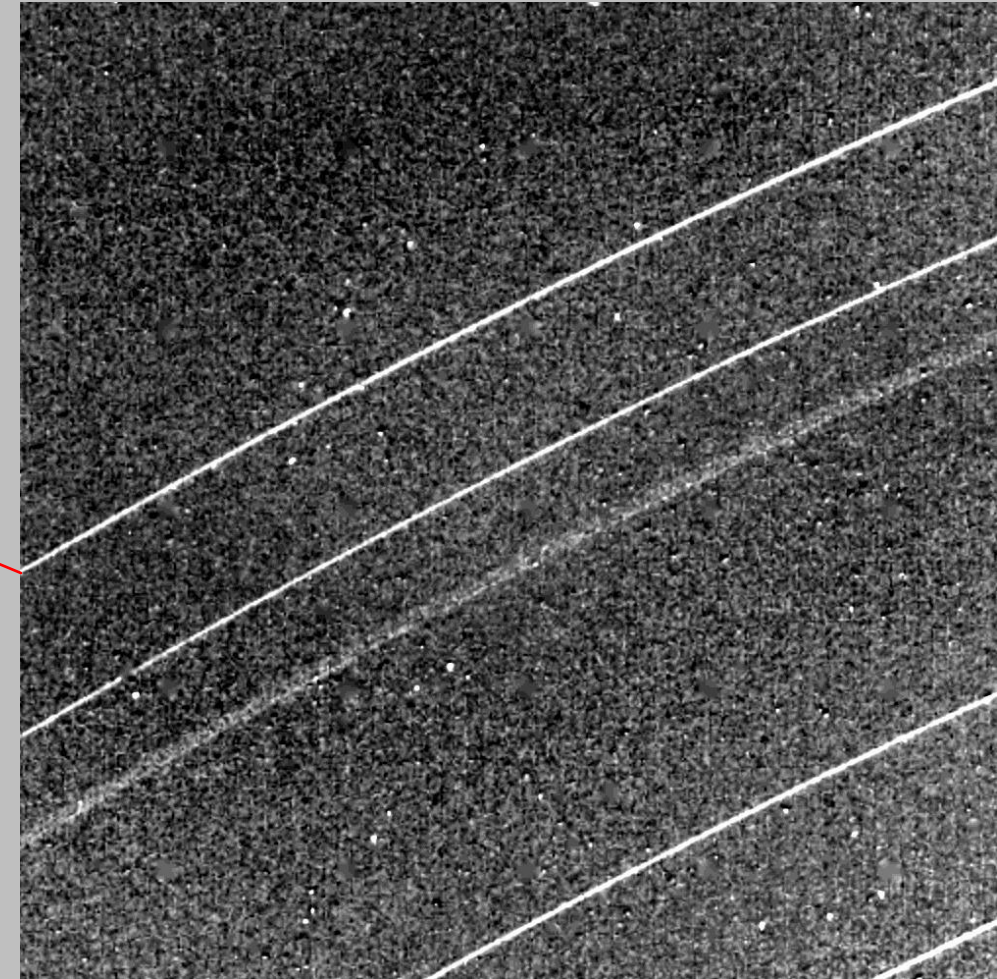
- 27 satelliti e 13 anelli.
- I 18 satelliti più interni orbitano sul piano equatoriale del pianeta (‘regolari’).
- I rimanenti satelliti si trovano su orbite molto inclinate (‘irregolari’).



GLI ANELLI DI URANO

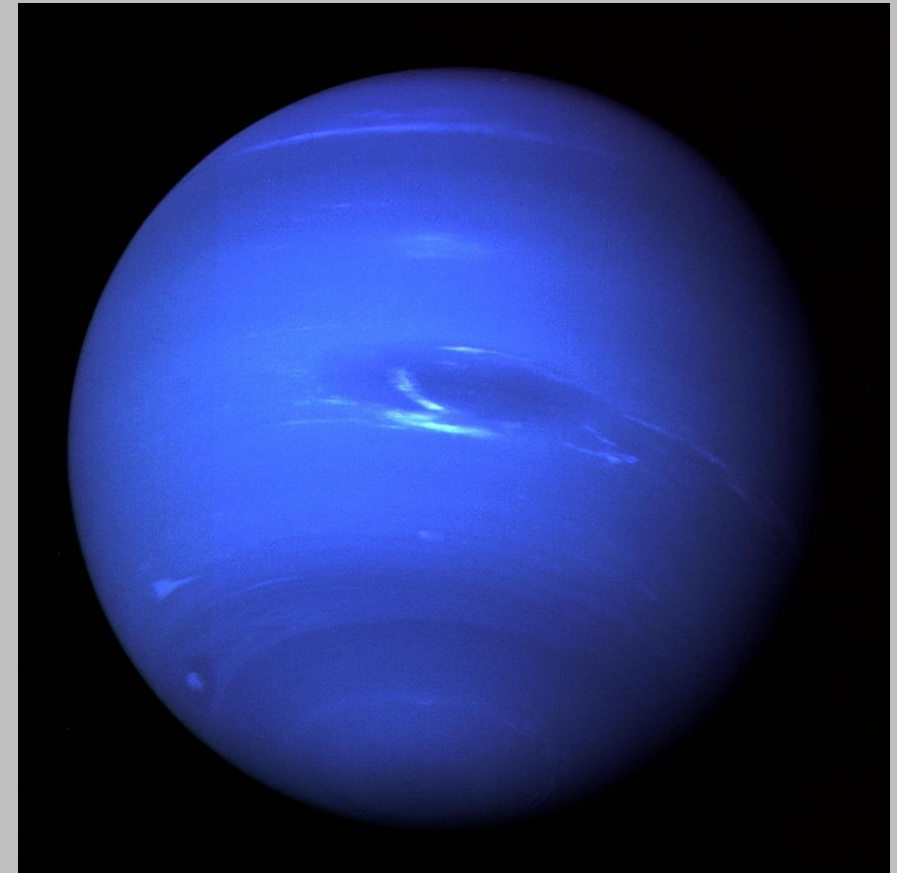


47'000 km
dalla superficie



NETTUNO

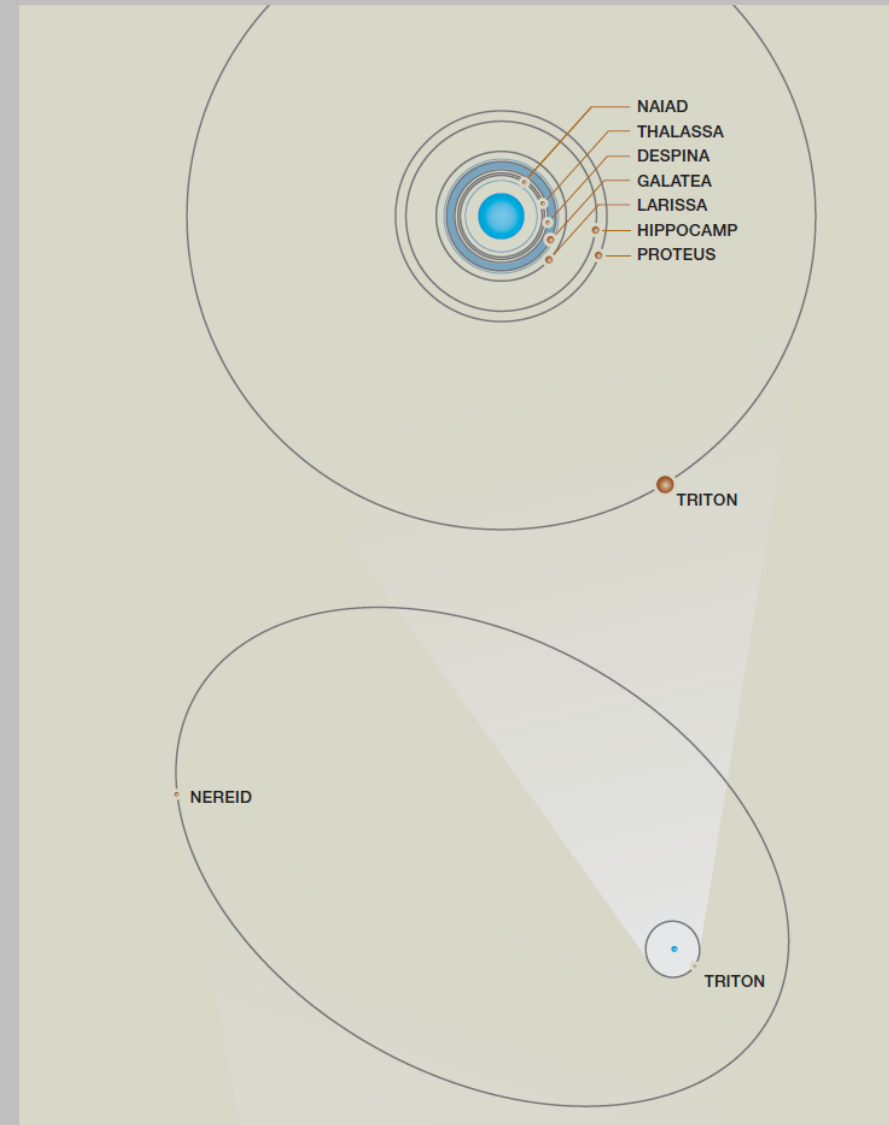
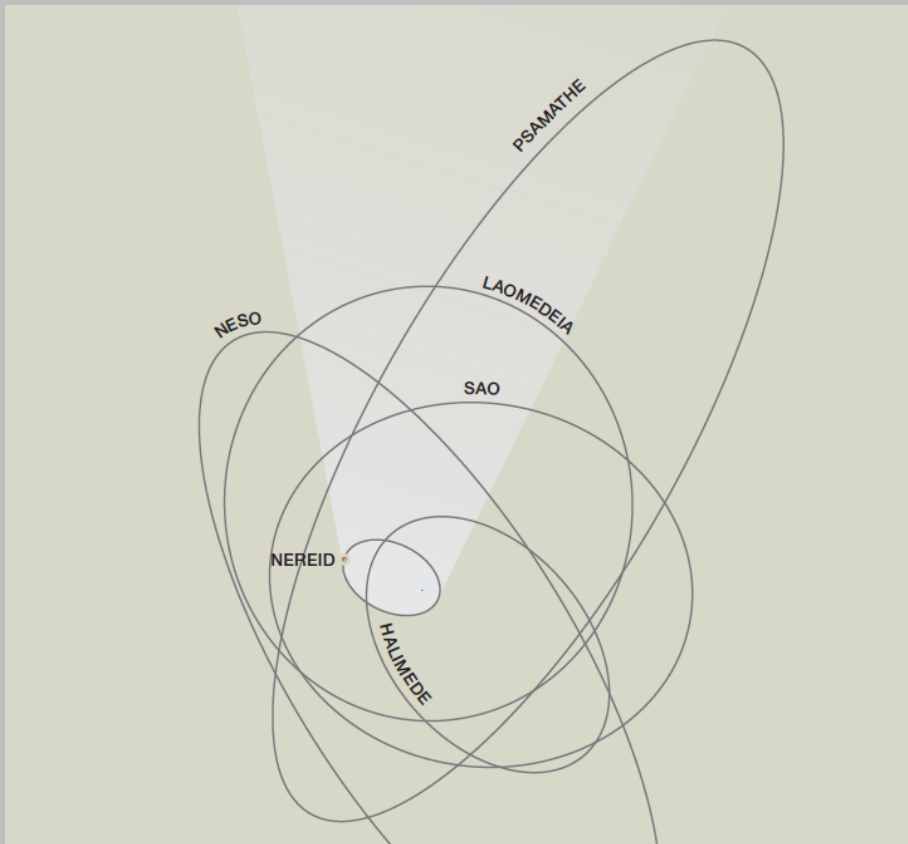
- Asse di rotazione: 28.3° rispetto al piano dell'orbita.
- Più denso dei pianeti esterni: $1.628 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.
- Poli del campo magnetico inclinati di 47° rispetto all'asse di rotazione.
- Come per Urano, ha un campo magnetico che si genera dal nucleo più interno del pianeta.
- Composizione dell'atmosfera simile a Urano.
- Come per Urano, ha una struttura interna incerta: a strati o con elementi chimici che si mescolano tra di loro.



Voyager 2 - Credit: NASA

IL SISTEMA DI NETTUNO

- Tritone moto retrogrado e inclinato di 157° .



APPENDICE A - CARATTERISTICHE DEI PIANETI

	MERCURIO	VENERE	TERRA	MARTE	GIOVE	SATURNO	URANO	NETTUNO
Massa (10²⁴kg)	0.33	4.87	5.97	0.642	1'898	568	86.8	102
Diametro (km)	4879	12'104	12'756	6792	142'984	120'536	51'118	49'528
Densità (kg/m³)	5427	5243	5514	3933	1326	687	1271	1638
Gravità (m/s²)	3.7	8.9	9.8	3.7	23.1	9	8.7	11
Velocità di fuga (km/s)	4.3	10.4	11.2	5	59.5	35.5	21.3	23.5
Periodo di rotazione (ore)	1'407.6	-5'832.5	23.9	24.6	9.9	10.7	-17.2	16.1
Lunghezza del giorno (ore)	4'222.6	2'802	24	24.7	9.9	10.7	17.2	16.1
Distanza dal Sole (10⁶ km)	57.9	108.2	149.6	227.9	778.6	1'433.5	2'872.5	4'495.1
Perielio (10⁶ km)	46	107.5	147.1	206.6	740.5	1'352.6	2'741.3	4444.5
Afelio (10⁶ km)	69.8	108.9	152.1	249.2	816.6	1'514.5	3'003.6	4'545.7
Periodo orbitale (giorni)	88	224.7	365.2	687	4'331	10'747	30'589	59'800
Velocità orbitale (km/s)	47.4	35	29.8	24.1	13.1	9.7	6.8	5.4
Inclinazione orbitale (gradi)	7	3.4	0	1.9	1.3	2.5	0.8	1.8
Eccentricità dell'orbita	0.205	0.007	0.017	0.094	0.049	0.057	0.046	0.011
Inclinazione asse di rotazione (gradi)	0.034	177.4	23.4	25.2	3.1	26.7	97.8	28.3
Temperatura media (C)	167	464	15	-65	-110	-140	-195	-200
Pressione superficiale (bar)	0	92	1	0.01	---	---	---	---
Numero di lune	0	0	1	2	79	82	27	14
Sistema di anelli?	No	No	No	No	Si	Si	Si	Si
Campo magnetico globale?	Si	No	Si	No	Si	Si	Si	Si

<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/>