

Introduzione allo studio del Sistema Solare

III

Pianeti giganti

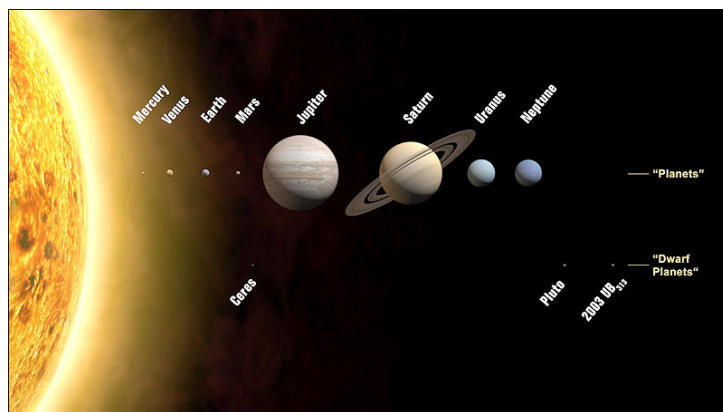
Lezione SP 3
G. Vladilo

Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

1

Pianeti giganti

- Pianeti giganti gassosi
 - Giove, Saturno
 $\langle \rho \rangle \sim 0.7 - 1.3 \text{ g cm}^{-3}$; $d \sim 5 - 10 \text{ AU}$; $R \sim 9 - 11 R_{\text{terra}}$
- Pianeti giganti ghiacciati
 - Urano, Nettuno
 $\langle \rho \rangle \sim 1.3 - 1.6 \text{ g cm}^{-3}$; $d \sim 20 - 30 \text{ AU}$; $R \sim 4 R_{\text{terra}}$



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

2

Pianeti giganti

Allen (2000)

- **Temperatura effettiva**
 - Valori bassi rispetto ai pianeti terrestri
Al di sotto del valore di condensazione dei ghiacci

Pianeta	Temperatura effettiva [K]
Terra	255
Giove	124
Saturno	95
Urano	59
Nettuno	59

- **Albedo**
 - Valori relativamente alti
Strati atmosferici esterni notevolmente riflettenti

Pianeta	Albedo nel <u>visibile</u>
Terra	0.38
Giove	0.52
Saturno	0.47
Urano	0.51
Nettuno	0.41

Pianeti giganti

Allen (2000)

- **Atmosfere**
 - I pianeti giganti hanno le velocità di fuga maggiori di tutti i pianeti del Sistema Solare
 - Non sorprende il fatto che abbiano atmosfere estese
 - Le osservazioni riescono a penetrare solo gli strati più esterni

Pianeta roccioso	Pressione atmosferica superficiale [bar]	Altezza di scala H [km]
Terra	1	8
Pianeta gigante	Pressione atmosferica al livello della superficie visibile delle nubi [bar]	Altezza di scala H [km]
Giove	~ 0.3	19-25
Saturno	~ 0.4	35-50
Urano	...	22-29
Nettuno	...	18-22

Pianeti giganti

- **Composizione chimica dei pianeti giganti**

- Principalmente idrogeno ed elio
 - Vincoli dagli studi della loro densità media
 - Evidenze osservative dirette di idrogeno molecolare negli strati esterni
- Presenza di molecole
 - Oltre ad H_2 , le più abbondanti osservate sono CH_4 e NH_3
- Elementi pesanti
 - Generalmente arricchiti di “metalli” rispetto alla composizione chimica solare
 - Questo fatto favorisce ipotesi di formazione diverse da quella di un semplice collasso di gas protoplanetario
 - A causa dell'abbondanza di H, l'atmosfera è riducente e gli elementi chimici sono principalmente presenti in forma ridotta, anziché ossidata
 - ad esempio CH_4 anziché CO_2

Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

5

Composizione chimica

- **Giove**

- Composizione chimica abbastanza simile a quella solare
 - A differenza dei pianeti rocciosi, i pianeti giganti sono probabilmente riusciti a trattenere, in gran parte, il gas della nebulosa protosolare

89.8 ±2.0%	Hydrogen (H_2)
10.2 ±2.0%	Helium
~0.3%	Methane
~0.026%	Ammonia
~0.003%	Hydrogen deuteride (HD)
0.0006%	Ethane
0.0004%	water
Ices:	
	Ammonia
	water
	ammonium
	hydrosulfide(NH_4SH)

Pianeti giganti

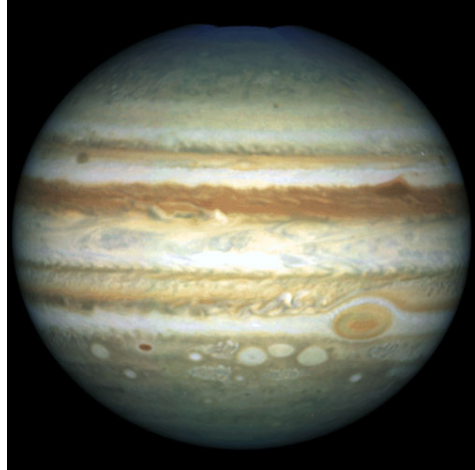
- **Velocità di rotazione**

- Giove e Saturno hanno velocità di rotazione superficiale notevolmente elevate

Periodo di rotazione $P \sim 10\text{h}$ in entrambi i casi

- La rotazione è differenziale per entrambi i giganti

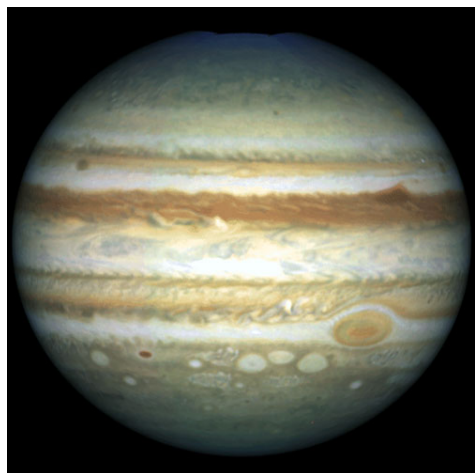
il periodo di rotazione aumenta al crescere della latitudine



Pianeti giganti

- **Struttura a bande**

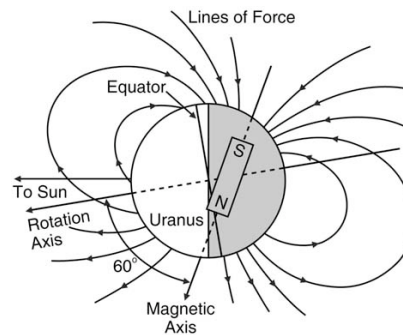
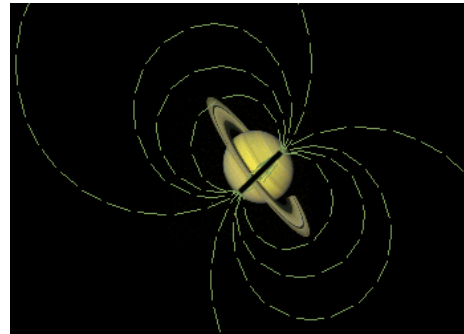
- Dovuta alla direzione principalmente zonale, cioè orientata lungo i paralleli, del vento nell'atmosfera
- La differenza del calore fornito dal Sole ai poli e all'equatore provoca la comparsa di correnti idrodinamiche che sono deviate in una direzione zonale dalla forza di Coriolis



Campi magnetici dei pianeti giganti

Russel & Dougherty 2010

- **Generalmente intensi**
 - Indicativi di un forte meccanismo dinamo in azione
Riportiamo i valori di momento di dipolo magnetico per i pianeti giganti
- **Giove**
 - $1.55 \times 10^{20} \text{ T m}^3$
 - $\sim 2 \times 10^4$ volte il valore terrestre
 - Tilt $\sim 10^\circ$ con asse rotazione
- **Saturno**
 - ~ 600 volte il valore terrestre
 - Tilt $\sim 1^\circ$ con asse rotazione
- **Urano**
 - ~ 50 volte il valore terrestre
 - Tilt $\sim 98^\circ$ con asse rotazione
- **Nettuno**
 - ~ 25 volte il valore terrestre
 - Tilt $\sim 47^\circ$ con asse rotazione



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

9

Pianeti giganti

- **Sorgenti di calore interno**
 - Giove, Saturno e Nettuno emettono più energia di quanta ne ricevano dal Sole
 - Non è ancora chiaro quale sia il meccanismo
 - Non si esclude che sia calore residuo primordiale
 - Il pattern di circolazione atmosferico dei pianeti giganti è sostenuto dalle sorgenti di calore interno
 - A differenza del caso della Terra, il cui pattern di circolazione atmosferico è sostenuto dall'energia ricevuta dal Sole
 - Urano non ha una sorgente di calore interno

Struttura interna dei pianeti giganti

Come per tutti i pianeti, i dati sperimentali sugli interni planetari sono estremamente difficili da ottenere

Gli interni sono modellizzati assumendo un determinato tipo di composizione chimica

Vincoli sui modelli di interni di pianeti giganti

- Diagramma di fase dell'idrogeno
Strumento diagnostico fondamentale
Esistono ancora incertezze teoriche e sperimentali riguardo al diagramma di fase dell'idrogeno
Si ripercuotono sulla nostra capacità di modellare gli interni dei pianeti giganti

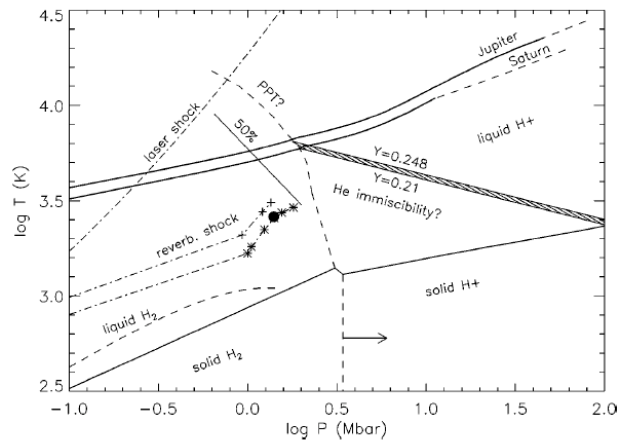
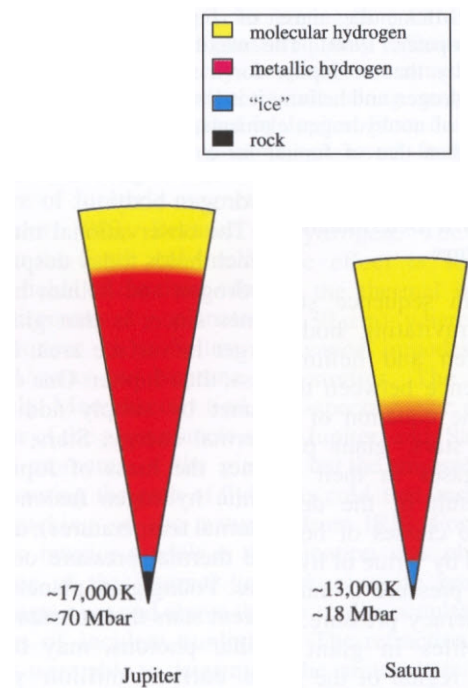


Figure 1 The phase diagram of hydrogen, showing regions of stability of liquid and solid molecular hydrogen (H_2), and of liquid and solid metallic (pressure-ionized) hydrogen (H^+). Also shown are trajectories of experimental shock-compression experiments (dashed-dot lines) and trajectories of the interiors of Jupiter and Saturn at the present epoch (heavy solid lines). See text for discussion of further details of this figure.

Interni dei giganti gassosi

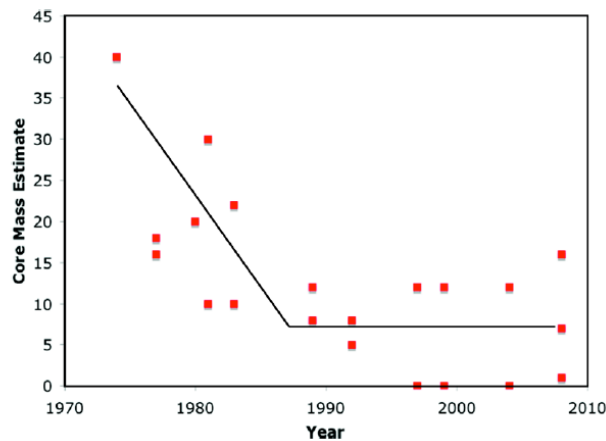
- Giove e Saturno
- Principali fasi
 - Idrogeno molecolare H_2 in fase liquida
Si trova nelle parti esterne
 - Idrogeno metallico H^+ in fase liquida
Ionizzato dalla pressione
Si trova a maggior profondità
Probabilmente la fase di idrogeno metallico ionizzato è gioca un ruolo fondamentale nella generazione dei forti campi magnetici dei giganti gassosi



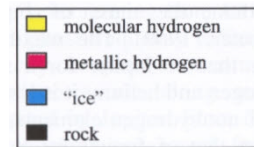
Interni dei giganti gassosi

- **Giove**
- Esistenza di un core roccioso

Sembra confermato ($M_{\text{core}} \sim 12 M_{\text{terra}}$) dopo
lungo dibattito in letteratura



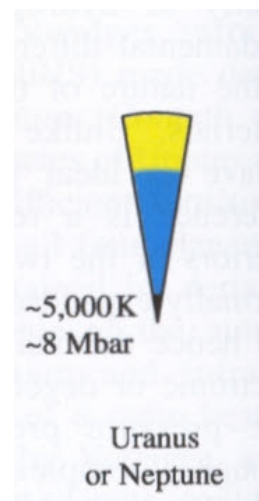
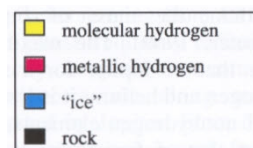
Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)



13

Pianeti “giganti ghiacciati”

- **Nettuno**
 - Strato esterno ricco di idrogeno molecolare
Occupa circa 20% del raggio del pianeta
 - Strati interni di ghiaccio e roccia
Parte della roccia potrebbe essere separata in un core
- **Urano**
 - Struttura molto simile
Forse più condensato centralmente
- Prototipi di “giganti ghiacciati” negli studi di esopianeti



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

14

Satelliti

- Cenni introduttivi sui principali satelliti del Sistema Solare
 - Esistono almeno 168 satelliti che orbitano 6 degli 8 pianeti
 - La stragrande maggioranza orbita i pianeti giganti



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

15

Satelliti dei pianeti giganti

- I pianeti giganti hanno un notevole numero di satelliti
 - Attualmente se ne contano almeno 165
- Concentriamo la nostra attenzione su alcuni satelliti regolari
 - Caratteristiche che definiscono i satelliti regolari
 - Orbite di bassa eccentricità rispetto al proprio pianeta e approssimativamente coplanari con l'equatore del pianeta
 - Tali caratteristiche indicano un'origine comune dei satelliti regolari e del pianeta
 - Piuttosto che una cattura accidentale di un corpo minore formatosi altrove, ipotesi più in linea con le caratteristiche dei satelliti che non mostrano tali regolarità

Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

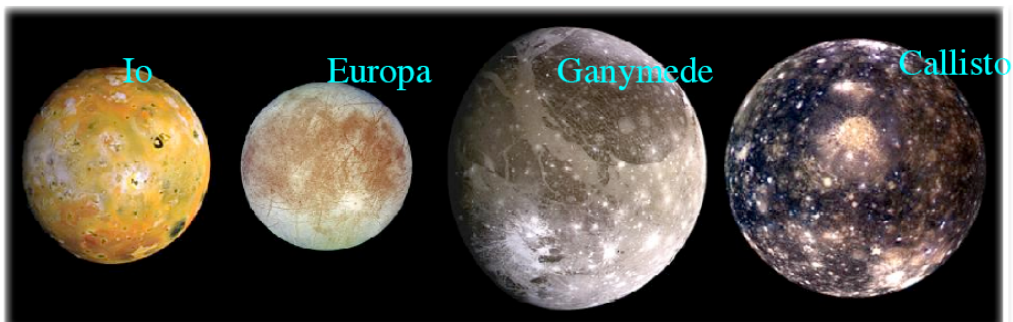
16

Satelliti dei pianeti giganti

- **Principali satelliti regolari dei pianeti giganti**
(daremo brevi cenni su quelli sottolineati)
 - Giove
Io, Europa, Ganimede, Callisto, Amaltea
 - Saturno
Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Titan, Hyperion
 - Urano
Ariel, Umbriel, Titania, Oberon
 - Nettuno
Triton, Nereid, Proteus

Satelliti di Giove

- **I principali sono i 4 satelliti Galileiani**
 - così chiamata in quanto scoperti da Galileo nel 1610
- **Oggetto di studi di sonde spaziali**
 - In particolare le sonde Voyager e Galileo



Satelliti di Giove

Io

A. Coradini (2010)

- **Caratterizzato da un'attività vulcanica particolarmente intensa**

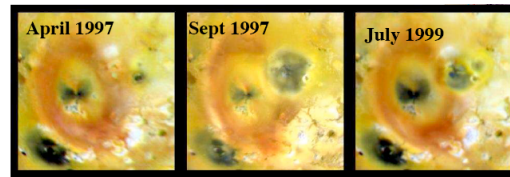
Chiare evidenze di variabilità

- Attività presumibilmente indotta dalle forti interazioni mareali e magnetiche con Giove

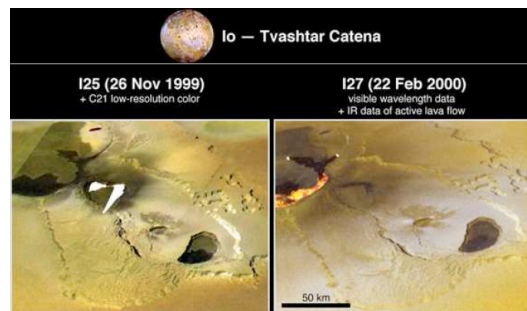
I composti volatili (tra cui H_2O e CO_2) persi molto tempo fa a causa del continuo riciclare di materiale verso la superficie dovuto all'attività geologica

- **Interno**

- Fuso e differenziato



Galileo images of overlapping deposits at Pillan and Pele



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

19

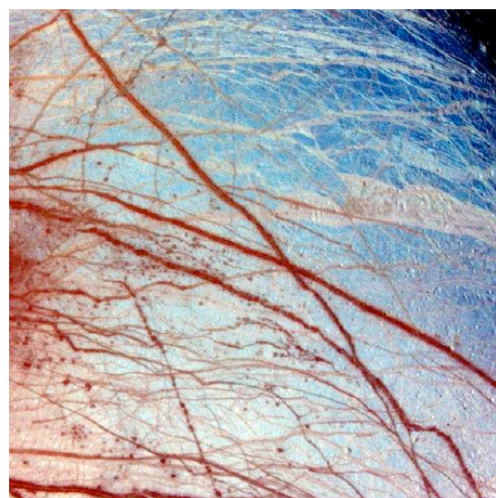
Satelliti di Giove

Europa

A. Coradini (2010)

- **Caratterizzato da una superficie di ghiaccio H_2O**
 - Da misure di gravimetria risulta che lo spessore dello strato di ghiaccio potrebbe essere di varie decine di chilometri

Sulla superficie si trovano composti "contaminanti" del ghiaccio (probabilmente sali) che sembrano avere un'origine endogena

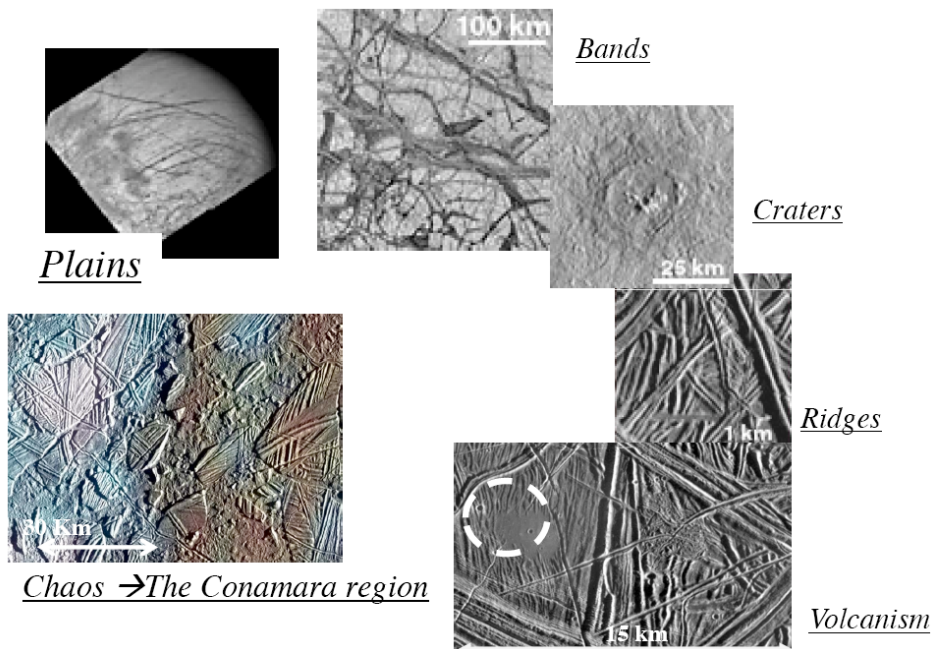


Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

20

Satelliti di Giove Europa

La superficie presenta una varietà di strutture indicative della presenza di una notevole attività



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

21

Satelliti di Giove Europa

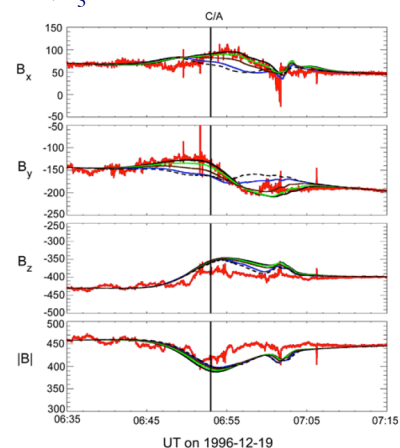
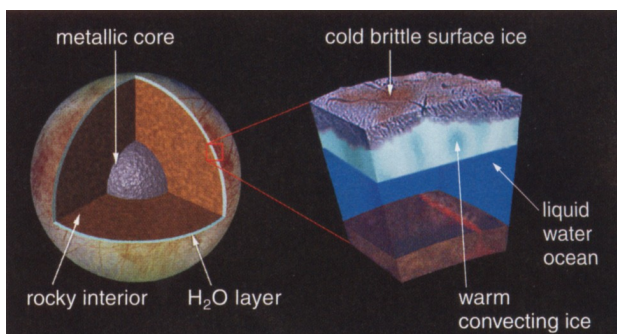
• Struttura interna di Europa

- Si ritiene abbia un core metallico circondato da un mantello roccioso
- Esternamente, sotto lo strato di ghiaccio, sembra esserci un oceano di acqua

L'evidenza di un oceano è indiretta: misure magnetometriche indicano la presenza di un composto con caratteristiche di conduttività tipiche di un oceano con sale

MgSO_4 fitta meglio i dati rispetto a NaCl

Per mantenere l'oceano serve una fonte di riscaldamento interno, presumibilmente di tipo mareale, e la compresenza di composti volatili, quale NH_3



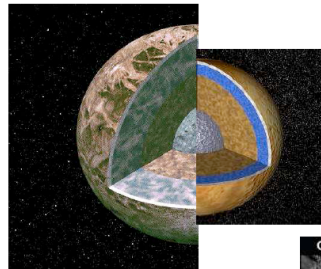
Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

22

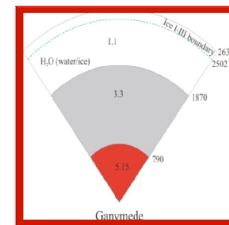
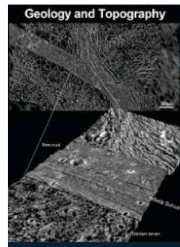
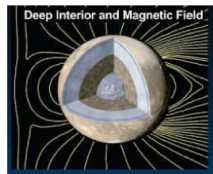
Satelliti di Giove Ganimede

- **Caratterizzato dalla presenza di un campo magnetico**
 - Le misure ottenute con il magnetometro sono spiegabili con la presenza di uno strato liquido
 - I dati di densità e gravità suggeriscono la presenza di un core di Fe liquido, responsabile dell'effetto dinamo generatore del campo magnetico
 - Unico satellite con meccanismo dinamo

Europa e Callisto hanno campi magnetici indotti



- Liquid layer proposed to explain magnetometer data.
- Density and gravity data suggest the possible presence of a liquid iron core, where the dynamo is generated



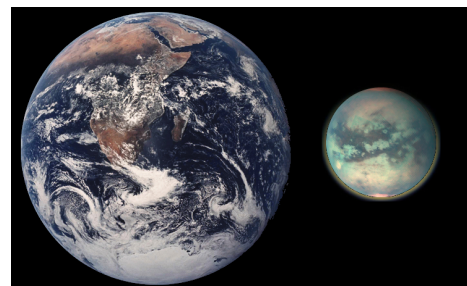
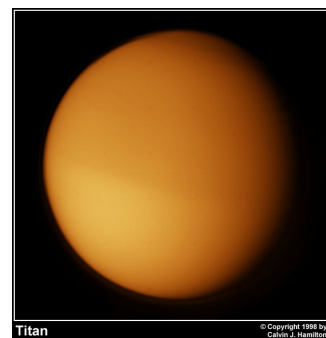
Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

23

Satelliti di Saturno Titano

Il maggiore dei satelliti regolari di Saturno

- **Unico satellite con un'atmosfera significativa**
 - Pressione superficiale maggiore di quella della Terra ($P=1.5$ bar)
 - A destra, immagine ottenuta dalla sonda Voyager nella banda visibile
- **Fattori che hanno reso possibile l'esistenza dell'atmosfera di Titano**
 - Velocità di fuga non troppo bassa ($v_{esc}=2.65$ km/s)
 - Temperatura superficiale ($T=94$ K) sufficientemente bassa
 - Tale temperatura è comunque abbastanza alta da non far ghiacciare i composti volatili che la caratterizzano



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

24

Satelliti di Saturno Titano

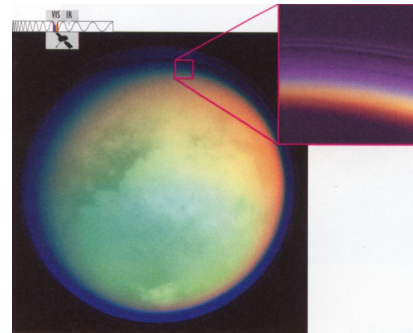
- Composizione chimica dell'atmosfera di Titano**

- Principale costituente N_2 , come sulla Terra
Ma priva di O_2
- Ricca di composti organici, principalmente metano CH_4
Anche altri idrocarburi, come l'etano C_2H_6
- Nella parte alta dell'atmosfera è presente uno strato di foschia ("haze") di composti chiamati "tholins"

Molecole organiche ricche di azoto ottenute a partire dalla fotodissociazione di CH_4 , di colore marron-rossastro

In figura: immagine a falsi colori ottenuta dalla sonda Cassini che evidenzia lo strato di foschia ("haze")

	Titan	Earth
N_2	82-99 %	78 %
CH_4	2-10 %	2 ppm
O_2	-	21 %
CO_2	0.01 ppm	350 ppm
Ar	< 1-6 % ?	0.9 %



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

25

Encelado

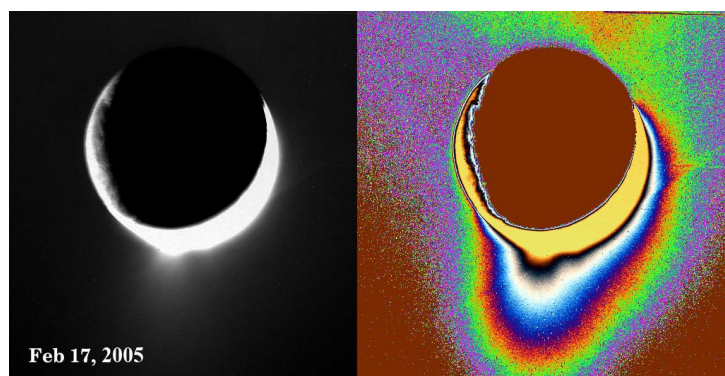
- Piccolo satellite di Saturno**

- Scoperte evidenze di getti di particelle ghiacciate e vapor d'acqua espulsi dal polo Sud del satellite

Tale attività è indicativa di una sorgente di energia di carattere geofisico

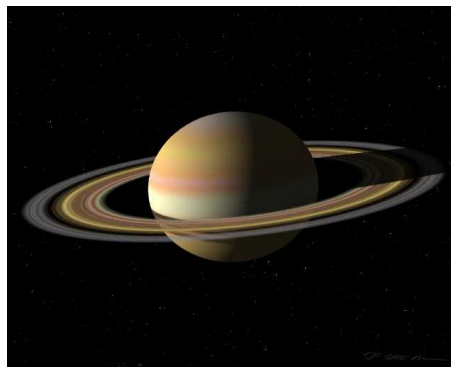
Il vapor d'acqua mostra semplici composti organici

McKay et al. (2008, AsBio, 8, 909)



Anelli dei pianeti giganti

- **Tutti i pianeti giganti hanno sistemi di anelli**
 - strutture generalmente sottili, molto complesse e diverse da pianeta a pianeta
 - composti da solidi con dimensioni che variano tra un frazione di micron (polvere) fino ai metri
 - veri e propri laboratori di fisica
 - una varietà di processi dinamici necessari per spiegare le loro proprietà, tra cui l'esistenza di risonanze con i satelliti esterni

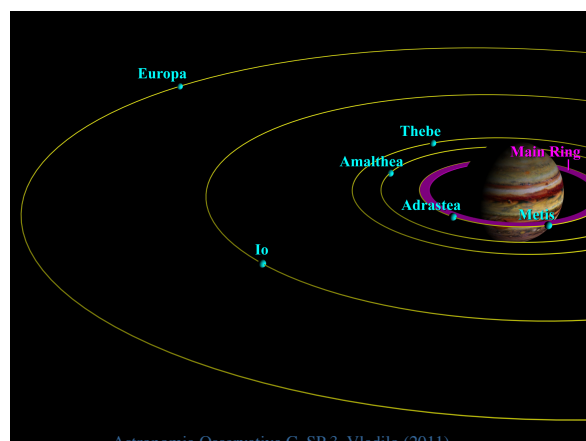


Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

27

Anelli dei pianeti giganti

- **Caratteristiche comuni**
 - Giacciono nel piano equatoriale del proprio pianeta
 - Particelle fuori dal piano subirebbero uno smorzamento della componente verticale del moto mediante collisioni durante l'attraversamento dell'anello
 - Si trovano vicini al pianeta, entro la distanza dei principali satelliti
 - Entro il limite di Roche, dato dall'equilibrio tra gradiente gravitazionale e forza di legame tra particelle solide



Astronomia Osservativa C, SP 3, Vladilo (2011)

28