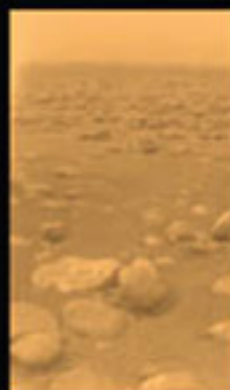


Immagine in falsi colori di Titano: si intravedono le sagome dei grandi mari dell'etile, come il Kraken e il Ligeia, composti interamente da idrocarburi



Immagine tempesta saturnia: Grande tempesta a circa 35° nord di latitudine sulla superficie di Saturno



I geysers sulla superficie di Encelado

La prima foto della superficie di Titano ripresa dalla sonda Huygens

CASSINI-HUYGENS IN CIFRE

PESO COMPLESSIVO	2.125 Kg
DIMENSIONI	6,7 metri x 4 metri
TRAIETTORIA	quattro riande gravitazionali (Venere-Venere-Terra-Giove)
DISTANZA PERCORSO SINO A SATURNO	2,2 miliardi di Km
VELOCITÀ MEDIA SINO A SATURNO	54.200 Km/h
DISTANZA PERCORSO DALL'ARRIVO A SATURNO	3,21 miliardi di Km
PESO DELLA SONDA HUYGENS	320 Kg
COSTO COMPLESSIVO	circa 3,27 miliardi di \$

ALLA SCOPERTA DI SATURNO E DEI SUOI COMPAGNI



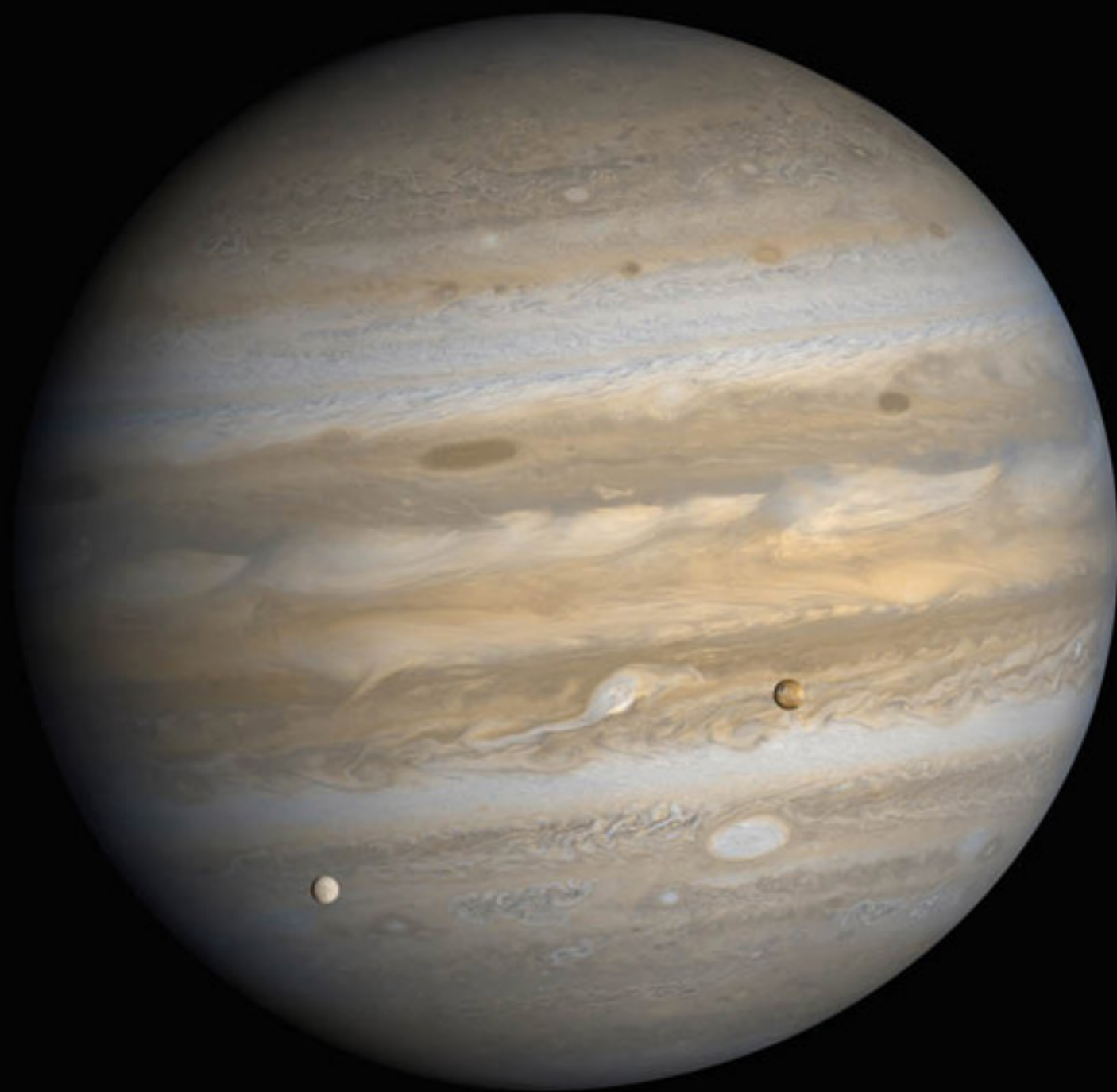
Assemblaggio della sonda Cassini-Huygens

Dopo la "conquista" di Giove, gli sforzi della NASA si sono indirizzati allo studio del secondo gigante gassoso del Sistema Solare: Saturno. Ben presto gli scienziati americani si resero conto che affrontare un progetto così costoso e scientificamente complesso era impossibile con le loro sole forze. La Missione, battezzata Cassini-Huygens, divenne così una delle prime collaborazioni fra differenti Agenzie Spaziali: NASA, Agenzia Spaziale Europea (ESA) e l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI).

Il lancio del modulo, che è tra i più grandi mai mandati nello spazio, avvenne nel 1997, per entrare nell'orbita di Saturno nel 2004, dopo ben quattro assist gravitazionali: due da Venere, uno dalla Terra e uno da Giove. Gli scopi della missione sono molteplici: lo studio di Saturno, della composizione e della dinamica della sua atmosfera, dell'origine e della natura del suo sistema di anelli, della sua magnetosfera, e lo studio dei satelliti del gigante gassoso, con particolare interesse alla maggiore delle sue lune: Titano. Su di essa è stata sganciata la sonda Huygens la quale, penetrandone la fitta atmosfera, ha trascorso poche ore sulla superficie mandando immagini uniche. Successivamente, i reiterati flyby di Cassini su Titano hanno evidenziato la presenza di laghi e fiumi di idrocarburi liquidi sulla sua superficie, aprendo uno squarcio di conoscenza su quella che poteva essere la Terra prima dell'evolversi della vita: metano ed etano sono infatti composti associati all'attività biologica sulla Terra.

La missione Cassini, pensata per durare fino al 2008, è stata prolungata per ben due volte. La conclusione del progetto è (per ora) prevista per il 2017. Ad oggi Cassini ha effettuato oltre 200 rivoluzioni attorno Saturno: incontri ravvicinati che hanno permesso di studiare alcuni strani fenomeni che coinvolgono il pianeta, come il ciclone di forma esagonale situato al suo polo nord, scoperto dalle Voyager. Un altro mistero chiarito dalla Cassini, è stato quello delle cosiddette "moonlet waves", vere e proprie "onde" che erano state osservate all'interno degli anelli di Saturno. Le osservazioni della sonda hanno confermato l'intuizione -prima solo teorica- che si tratti di fenomeni causati da numerose piccole lune "incastonate" nel sistema di anelli.

Grazie alle osservazioni di Cassini, la quantità di dati e di immagini di Saturno e dei suoi satelliti hanno subito un notevole incremento, portando il numero di lune note da 63 ad oltre 90. Ultimamente è stata rivolta a Encelado molta attenzione. Considerato uno degli oggetti più brillanti del Sistema Solare (la superficie è ricoperta da uno strato di acqua ghiacciata che causa una forte albedo), esso risulta geologicamente attivo, come dimostrato dall'osservazione di potenti fuoriuscite di vapore acqueo e gas, accompagnate da getti di calore interno.



“ Proprio perché tutto era così bello, nasceva dentro di me un desiderio, sempre lo stesso: doveva esserci qualcosa di ancora più bello. Tutto sembrava dirmi: vieni! ”

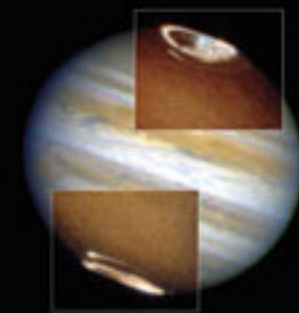
C. S. Lewis

IL GIGANTE TEMPESTOSO

Giove è il primo e il più grande dei pianeti del Sistema Solare; detto "il gigante gassoso", per dimensioni e composizione chimica può far pensare a una "stella mancata". Le missioni Pioneer, Voyager 1 e 2, Galileo, Cassini, Ulysses, New Horizon lo hanno avuto come obiettivo o ne hanno usato la spinta gravitazionale, e altre come Juno inizieranno a studiarlo nel prossimo futuro.



La Grande Macchia Rossa di Giove ripresa dalla sonda Voyager 1. È una gigantesca tempesta attiva da diversi secoli. Grande 96 volte la Terra, 2.045 ("Grand Red Spot") è forse nell'ordine dei 10 le caratteristiche di un'orbitazione: ruota quindi in senso antiorario, il centro del vortice rimane fisso, mentre le componenti più esterne gli ruotano intorno.

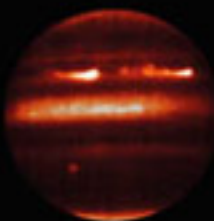


Arriva su Giove
Le spettacolari aurore (colori soprattutto nei raggi X) di Giove, originate dalla corrente magnetica del pianeta, vengono osservate dal telescopio spaziale Hubble.

6-22 luglio 1994 la cometa Shoemaker-Levy viene inghiottita dall'atmosfera gioviana. Grazie alla sua natura, Giove offre a noi molti dettagli e comete. Nell'immagine della Hubble Space Telescope si può notare la macchia scura, segno dell'impatto di uno dei frammenti della cometa.



Gli anelli di Giove ripresi dalla sonda Galileo. Gli anelli non sono visibili dalla Terra, perché le polveri di cui sono costituiti riflettono meglio la luce solare verso l'esterno dell'orbita di Giove. Furono scoperti dalla Voyager 2 dopo aver sorvolato il pianeta gigante. Le immagini di Galileo fanno pensare che gli anelli sono il risultato di impatti di Giove e dei suoi satelliti con altri corpi.



Fulmini su Giove
La sonda Cassini ha osservato la tempesta di Giove ripresa dal NASA Infrared Telescope Facility (IRTF) e dal Gemini North Telescope (Gemini) nell'osservatorio di Maunakea (Hawaii). Sono a 1000 volte più potenti di quelli terrestri.



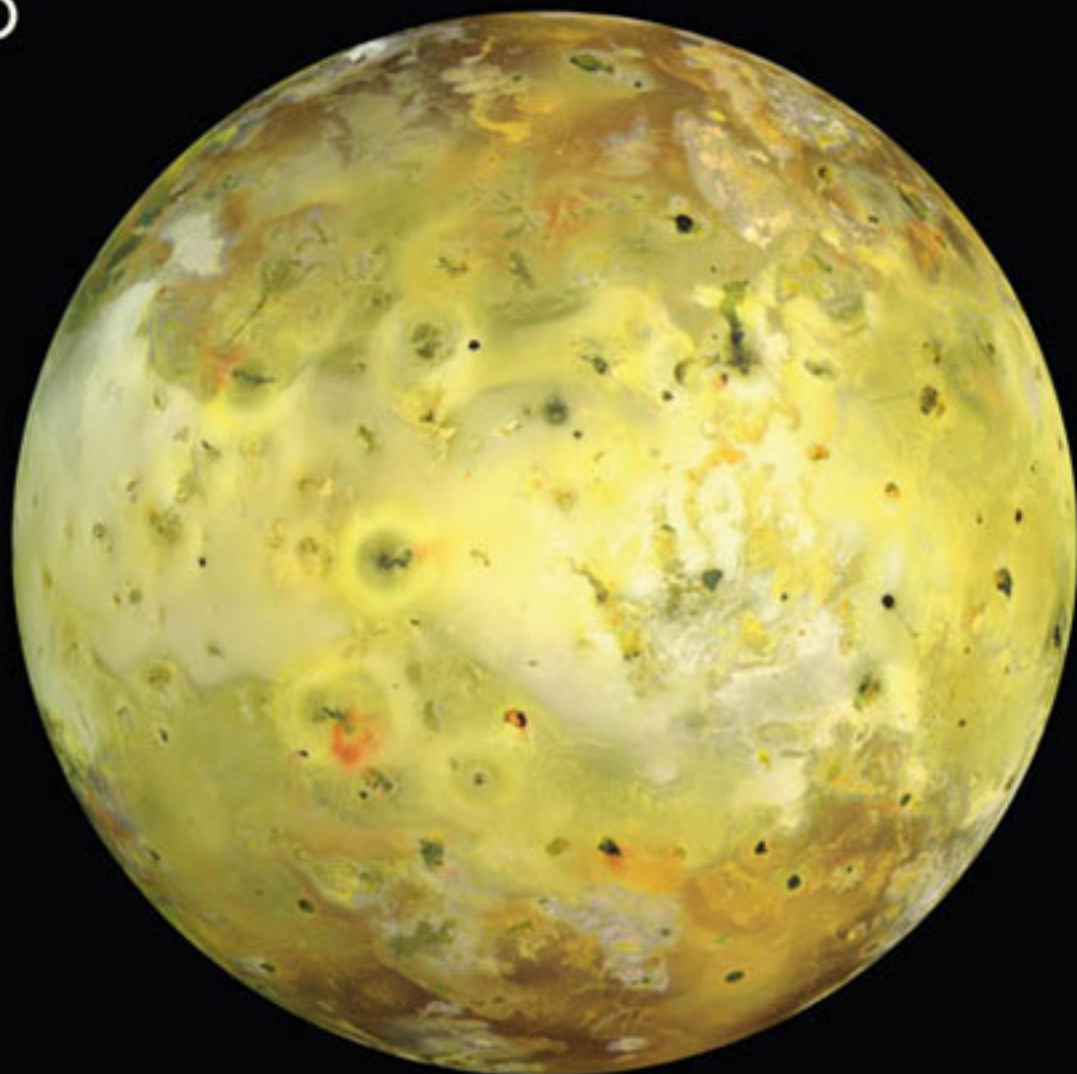
Proiezione sul piano ortogonale dell'atmosfera gioviana
L'atmosfera di Giove ha una struttura a bande, composta dalla rapida rotazione del pianeta (1 rotazione in 10 ore), e differenti colori corrispondono a vari elementi chimici e alla diversa velocità dei venti, che sulla superficie gioviana variano in media a 100 m/s. Le aurore temperate osservate fanno pensare a una struttura interna ancora non del tutto compresa.

Giove

Terra

Distanza dal Sole [massima]	816 001 807 km	5,365 volte la massima distanza Terra - Sole
Distanza dal Sole [minima]	740 679 835 km	5,035 volte la minima distanza Terra - Sole
Velocità media di rivoluzione intorno al Sole	47 002 km/h	0,348 quella della Terra
Inclinazione dell'equatore rispetto all'orbita	3,1°	23,4°
Periodo di rivoluzione	11,862 anni	1 anno
Raggio medio	69 911 km	10,9723 volte il raggio medio terrestre
Volume	1 431 381 810 739 360 km ³	1321,337 volte il volume terrestre
Massa	1,8981 · 10 ²⁷ kg	317,828 la massa della Terra
Densità	1,326 g/cm ³	0,241 volte la densità terrestre
Gravità superficiale	24,79 m/s ²	Tutto pesa 2,53 volte in più rispetto alla Terra
Temperatura superficiale	148 °C	14 °C
Numero satelliti	50	1
Nucleo	Roccioso, circondato da idrogeno metallico liquido	Ferro e Nichel liquidi
Durata giorno	9,92496 ore	24 ore
Atmosfera	Idrogeno, Elio	Azoto, Ossigeno

IO



LUNE DI GIOVE

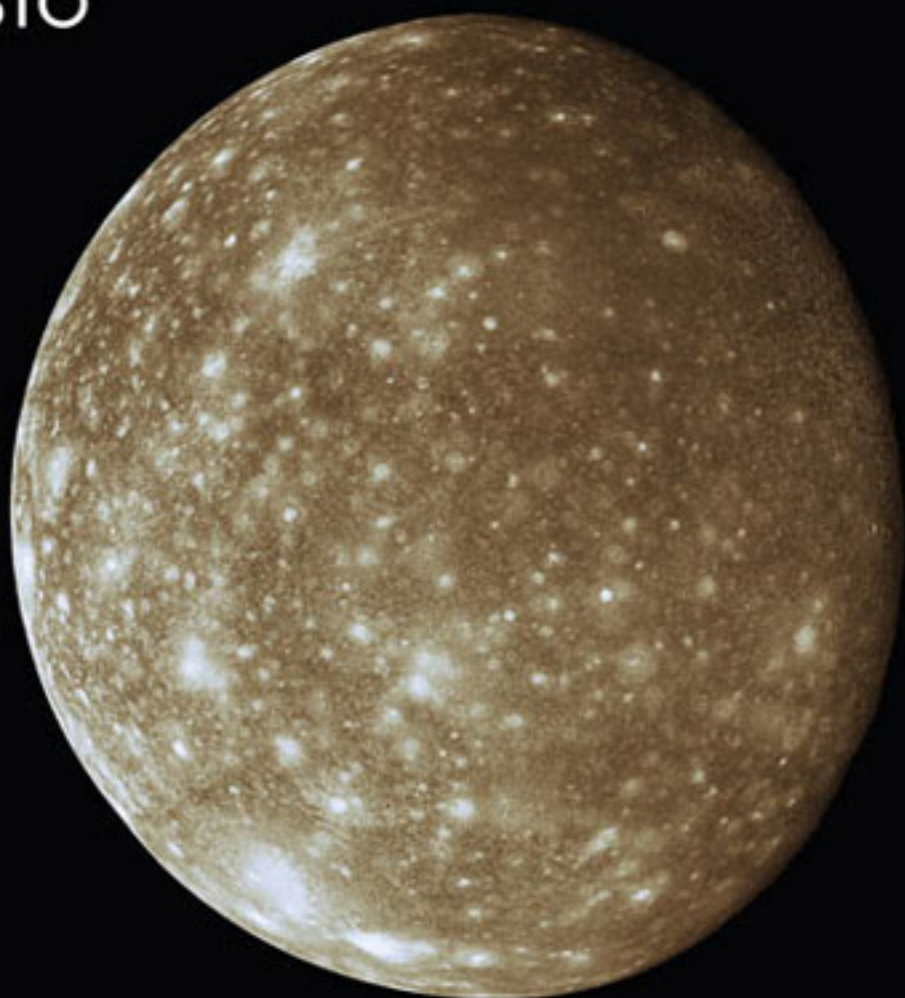
	IO	CONFRONTO CON LA LUNA
Distanza massima dal pianeta	423.529 km	363.104 km
Distanza minima dal pianeta	420.071 km	405.696 km
Raggio medio	1821,6 km	1.05 volte quello della Luna
Volume	$2,53 \cdot 10^6 \text{ km}^3$	1.15 volte quello della Luna
Massa	$89,319 \cdot 10^{21} \text{ kg}$	1.21 volte quello della Luna
Densità	$3,528 \text{ g/cm}^3$	1.025 volte quello della Luna
Gravità superficiale	$1,796 \text{ m/s}^2$	1.1 volte quello della Luna
Durata giorno	1,769 giorni terrestri	0,064 volte quello della Luna
Periodo di rotazione	1,769 giorni terrestri	0,064 volte quello della Luna
Temperatura superficiale	130° K	250° K

EUROPA



	EUROPA	CONFRONTO CON LA LUNA
Distanza massima dal pianeta	677.408 km	405.696 km
Distanza minima dal pianeta	664.792 km	363.104 km
Raggio medio	1560,8 km	0.9 volte quello della Luna
Volume	$1,53 \text{ km}^3$	0.7 volte quello della Luna
Massa	$4,7998 \cdot 10^{22} \text{ kg}$	0.65 volte quello della Luna
Densità	$3,013 \text{ g/cm}^3$	0.9 volte quello della Luna
Gravità superficiale	$1,315 \text{ m/s}^2$	0.81 volte quello della Luna
Durata giorno	3,551 giorni terrestri	0.13 volte quello della Luna
Periodo di rotazione	3,551 giorni terrestri	0.13 volte quello della Luna
Temperatura superficiale	103° K	250° K

CALLISTO



LUNE DI GIOVE

	CALLISTO	CONFRONTO CON LA LUNA
Distanza massima dal pianeta	1.896.632 km	405.696 km
Distanza minima dal pianeta	1.868.768 km	363.104 km
Raggio medio	2.410 km	1,39 volte quello della Luna
Volume	$58.654 \times 10^3 \text{ km}^3$	2,67 volte quello della Luna
Massa	$1,0759 \times 10^{21} \text{ kg}$	1,47 volte quella della Luna
Densità	$1,834 \text{ g/cm}^3$	0,55 volte quella della Luna
Gravità superficiale	$1,236 \text{ m/s}^2$	0,76 volte quella della Luna
Durata giorno	16,689 giorni	0,61 volte quello della Luna
Periodo di rotazione	16,689 giorni	0,61 volte quello della Luna
Temperatura superficiale	120° K	250° K

GANIMEDE



	GANIMEDE	CONFRONTO CON LA LUNA
Distanza massima dal pianeta	1.071.792 km	405.696 km
Distanza minima dal pianeta	1.069.008 km	363.104 km
Raggio medio	2.631 km	1,51 volte quello della Luna
Volume	$76.304 \times 10^3 \text{ km}^3$	3,6 volte quello della Luna
Massa	$1,4819 \times 10^{21} \text{ kg}$	2,01 volte quella della Luna
Densità	$1,942 \text{ g/cm}^3$	0,58 volte quella della Luna
Gravità superficiale	$1,428 \text{ m/s}^2$	0,88 volte quella della Luna
Durata giorno	7,155 giorni	0,26 volte quello della Luna
Periodo di rotazione	7,155 giorni	0,26 volte quello della Luna
Temperatura superficiale	109° K	250° K

OBIETTIVO GIOVE

“ Si è spesso portati a pensare che, una volta che uno di questi oggetti è lanciato, non resti che la routine. È tutto tranne che una routine! Dobbiamo risolvere problemi tecnologici molto stimolanti, sotto tabelle di marcia strettissime. Facciamo uno dei più grandi lavori da Sherlock Holmes che si possa immaginare ”

William J. O'Neil,
Galileo Project Manager
(1990-1997)

La missione Galileo fu caratterizzata da un susseguirsi di inconvenienti e fatti imprevisti. Il più drammatico fu la mancata apertura dell'antenna principale del satellite: solo l'ingegno e la creatività del team di Galileo permisero di superare un problema che avrebbe altrimenti minato il buon esito dell'intera spedizione. La sonda non perse la precisione prevista all'inizio: all'arrivo su Giove "sbagliò" la traiettoria prevista di soli 108 km (come scoccare una freccia da Mosca a Lisbona e mancare un mandarino per 15 centimetri).

Altrettanto fuori programma fu l'osservazione dell'impatto della cometa Shoemaker-Levi con l'atmosfera gioviana. Le immagini trasmesse da Galileo offrirono l'unica testimonianza diretta dell'evento, inosservabile da Terra.



Galileo fu il primo satellite a entrare in orbita attorno a Giove, fornendo quelle che sono a tutt'oggi le migliori informazioni sull'atmosfera del pianeta e sulle sue lune. Subito dopo l'arrivo sul Gigante gassoso venne sganciata una sonda che ne investigò la composizione atmosferica, fornendo per la prima volta dati in presa diretta. Questo permise di conoscere meglio l'origine e l'evoluzione di Giove e del Sistema Solare.

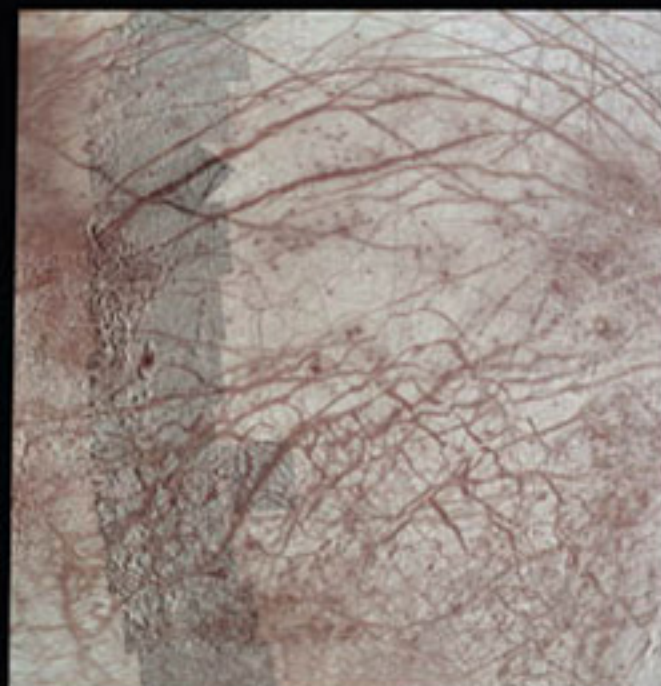
I sorvoli ravvicinati della luna Europa diedero la prova definitiva della presenza di un oceano di acqua sotto la sua superficie. Ciò rende il satellite gioviano uno dei pochi candidati a ospitare forme di vita, seppure elementari, nel Sistema Solare. Il successo di Galileo spinse a estendere la durata della missione per ben due volte, passando dai due anni inizialmente programmati agli otto conclusivi.



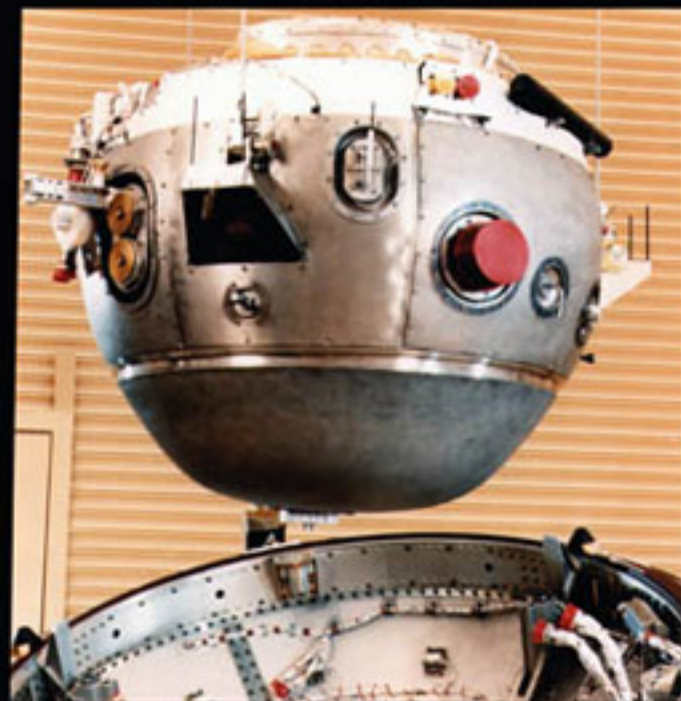
Impatto del frammento W della cometa Shoemaker-Levi con la superficie di Giove ripreso dalla sonda Galileo



Immagine dei pennacchi vulcanici sulla superficie di IO



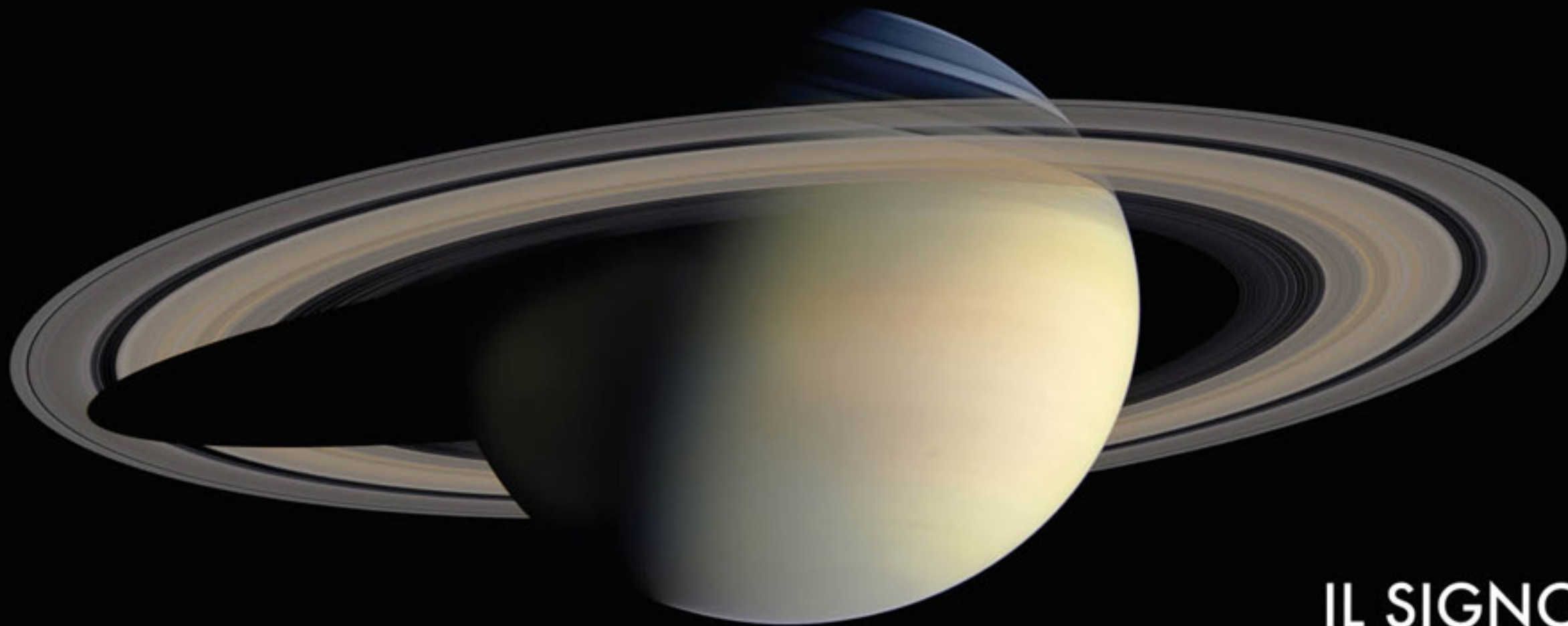
Le caratteristiche lineari sulla superficie ghiacciata di Europa. Il terreno chiaro indica acqua ghiacciata pressoché pura, mentre le linee più scure contengono acqua con sali solati, come solfati di magnesio e acido solforico



Il modulo di discesa

GALILEO IN CIFRE

PESO COMPLESSIVO	2500 kg
TRAIETTORIA	tre fionde gravitazionali (Venere-Terra-Terra)
DISTANZA PERCORSA SINO A GIOVE	2,4 miliardi di km
VELOCITÀ MEDIA SINO A GIOVE	70800 km/h
PESO SONDA ATMOSFERICA	340 kg
TEMPERATURE SOPPORTATE DALLA SONDA NELL'ATMOSFERA GIOVIANA	14000 K
COSTO COMPLESSIVO	1,4 miliardi di \$



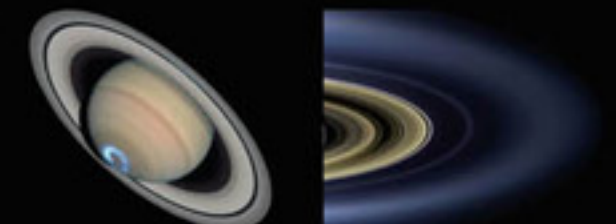
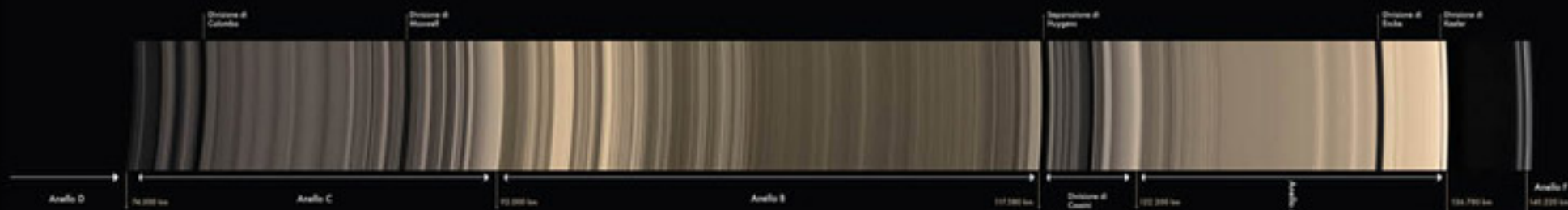
“Lo stupore è uno stordimento d'animo per grandi e meravigliose cose vedere o udire o per alcuno modo sentire: che, inquanto paiono grandi, fanno reverente a sé quelli che le sente; in quanto paiono mirabili, fanno voglioso di sapere di quelle”

Dante - Convivio:
IV, XXX, 5

IL SIGNORE DEGLI ANELLI

Saturno è caratterizzato da forti venti e correnti che talvolta raggiungono velocità di circa 500 m/s, quasi quattro volte la velocità dei venti più veloci di Giove e dieci volte la forza di uragano sulla Terra. I venti dominanti di Saturno soffiano verso est, nella stessa direzione della rotazione planetaria, sono presenti a quasi tutte le latitudini e raggiungono le velocità massime all'equatore. Nonostante i suoi venti impetuosi, Saturno non presenta le tipiche strutture a fascia dinamiche e colorate di Giove. A differenza di Giove, infatti, Saturno è mascherata da uno strato di polveri che rendono la sua superficie uniforme ai nostri occhi (cioè nel range del visibile). In rare occasioni enormi nubi temporalesche di ghiaccio di ammoniaca, riscaldandosi, risalgono oltre lo strato opaco superficiale e risultano visibili.

Schemi degli anelli di Saturno da un mosaico di immagini della sonda Cassini. Gli anelli A, B e C sono dominati dal ghiaccio d'acqua cristallino, insieme con una bassa percentuale di impurità di materiali organici scuri. La composizione chimica delle particelle di origine è variabile: si ritiene nei diversi anelli. In genere le maggiori particelle degli anelli di Saturno (in particolare negli anelli A e B), mostrano la presenza di una forte componente di particelle microscopiche (in particolare il loro raggio è compreso tra il nanometro e il chilometro). Negli anelli C e D le dimensioni delle particelle sono dell'ordine delle decine di micron, e infine, negli anelli F ed I è presente una forte componente di particelle microscopiche e submicroscopiche (con dimensioni inferiori a un milionesimo di metro).

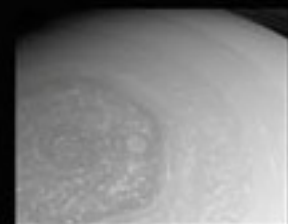


L'aspetto di Polo sud di Saturno. Rielaborazione grafica di una immagine della sonda Spitzer Telescopio

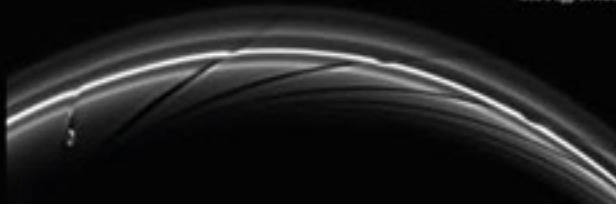
Immagine degli anelli scattata dalla sonda Cassini. Periodo dell'immagine è previsto distinguere gli anelli D, C, B e A (più vicini), il sottile e molto luminoso anello F e i due anelli più esterni e scuri, G ed I



Foto in falso colore del vertice temperato esattamente al Polo Nord di Saturno. Le sue dimensioni sono pari circa a quelle della Terra



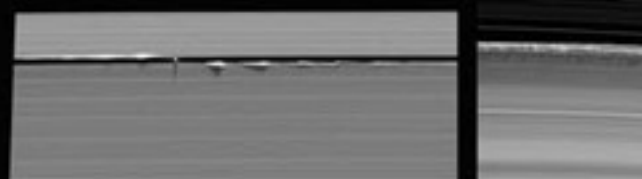
La tempesta stagionale di Saturno ripresa in luce visibile dalla sonda Cassini. La struttura nel tempo è l'immagine della luce perfettamente esposta dalla sonda Cassini. Il periodo di osservazione è di Saturno, nella e oggi un anello



Interazione del satellite Prometheus con l'anello F ripresa dalla sonda Cassini

Onde di densità negli anelli di Saturno.

L'attrazione gravitazionale combinata di Saturno e della luna vicina può ridistribuire le particelle dell'anello e così scivolare e dare forma alla struttura osservata. Anche se questa piccola luna, detta "satellite pastore", esercita sulla sonda Saturno un'attrazione gravitazionale sulla particella negli anelli, il loro contributo diventa importante quando il loro periodo orbitale è il periodo orbitale della particella come frazioni esatte. In questo caso si parla di risonanze. Questo particolare effetto è l'attrazione gravitazionale di Saturno verso l'interno possono raggiungere e attirare le particelle degli anelli creando l'alternanza di anelli scuri e più tenui e a più alta concentrazione. La presenza anche di densità, che possono propagarsi e modificare l'orbita degli anelli, il passaggio del satellite pastore nei "gap" produce una serie di densità radiali nei anelli (modificazioni temporanee di massa del satellite stesso e ortogonali al piano, cioè al di fuori del piano). Sembra che le sue tracce siano visibili dopo il loro passaggio nell'anello.



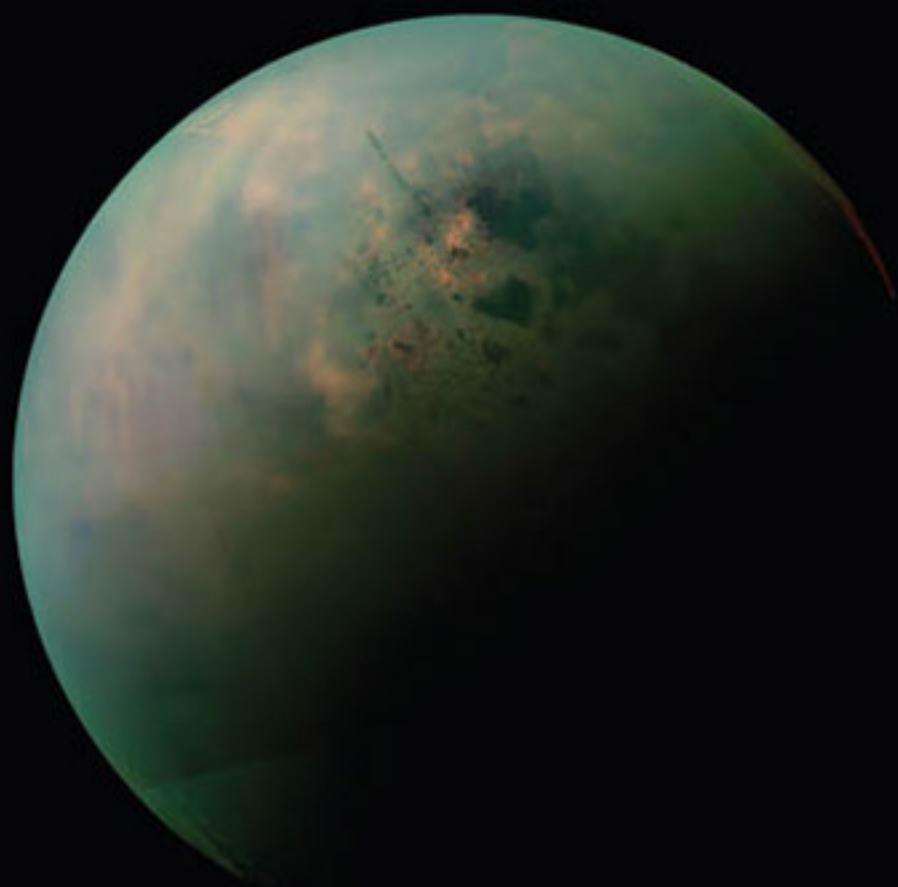
Il passaggio del satellite pastore Pan all'interno della divisione di Encke, nell'anello A, ripresa dalla sonda Cassini

Struttura verticale all'interno dell'anello E ripresa dalla sonda Cassini. Queste strutture sono tra le più alte viste in tutti gli anelli di Saturno ed emergono improvvisamente, generando le lunghe ombre che si notano nell'anello



	Saturno	Terra
Periodo di rivoluzione	29,5 anni	1 anno
Raggio medio	58 232 km	9,14 volte il raggio medio terrestre
Volume	8,2712 · 10 ²³ km ³	763,6 volte il volume terrestre
Massa	5,6846 · 10 ²⁶ kg	95,2 le masse della Terra
Densità	0,687 g/cm ³	0,24 volte la densità terrestre
Gravità superficiale	10,44 m/s ²	Solo peso 1,07 volte in più rispetto alla Terra
Temperatura superficiale	-139 °C	14 °C
Numero satelliti	62 (più numerosi satelliti minori dell'"asteroidi")	1
Nucleo	Ferro e nickel, circondato da idrogeno metallico e liquido ed elio liquido	Ferro e Nichel liquidi
Durata giorno	10,37 ore	24 ore
Atmosfera	Idrogeno, Elio	Azoto, Ossigeno

TITANO



LUNE DI SATURNO

	TITANO	CONFRONTO CON LA LUNA
Distanza massima dal pianeta	1.257.060 km	405.696 km
Distanza minima dal pianeta	1.186.680 km	363.104 km
Raggio medio	2.576 km	1,480 volte quello della Luna
Volume	$7,16 \cdot 10^{17} \text{ km}^3$	3,3 volte quello della Luna
Massa	$1,3452 \cdot 10^{23} \text{ kg}$	1,831 volte quello della Luna
Densità	$1,8798 \text{ g/cm}^3$	0,5617 volte quello della Luna
Gravità superficiale	$1,352 \text{ m/s}^2$	0,85 volte quello della Luna
Durata giorno	15,95 ore	0,5825 volte quello della Luna
Periodo orbitale	15,95 ore	0,5825 volte quello della Luna
Temperatura media superficiale	94°K	250°K

ENCELADO

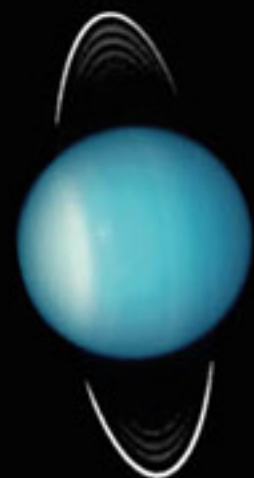


	ENCELADO	CONFRONTO CON LA LUNA
Distanza massima dal pianeta	238.020 km	405.696 km
Distanza minima dal pianeta	235.710 km	363.104 km
Raggio medio	252 km	0,1451 volte quello della Luna
Volume	$6,71 \cdot 10^8 \text{ km}^3$	0,03 volte quello della Luna
Massa	$1,0802 \cdot 10^{21} \text{ kg}$	0,0014 volte quello della Luna
Densità	$1,609 \text{ g/cm}^3$	0,48 volte quello della Luna
Gravità superficiale	$0,114 \text{ m/s}^2$	0,07 volte quello della Luna
Durata giorno	1,3701 giorni	0,05 volte quello della Luna
Periodo orbitale	1,3701 giorni	0,05 volte quello della Luna
Temperatura media superficiale	75°K	250°K



URANO

Urano e Nettuno sono chiamati anche giganti di ghiaccio, per la loro composizione chimica simile, molto ricca di acqua, ammoniaca e metano ghiacciati. Urano ha l'atmosfera più fredda fra i pianeti del Sistema Solare, con temperature sotto i -200 gradi. La caratteristica più particolare di Urano è la sua rotazione atipica: mentre quasi tutti i pianeti ruotano attorno al proprio asse da ovest verso est, Urano ruota su se stesso da est verso ovest, cioè in senso antiorario. L'asse di rotazione, inoltre, è inclinato di 98° gradi rispetto al piano dell'orbita, e porta il pianeta quasi a "rotolare" sul piano dell'orbita.



Urano e i suoi anelli. Si illustra la particolare inclinazione del suo asse di rotazione (Immagine NASA)



Immagine agli infrarossi di Urano con anelli a luce (Immagine NASA)

I GEMELLI AZZURRI

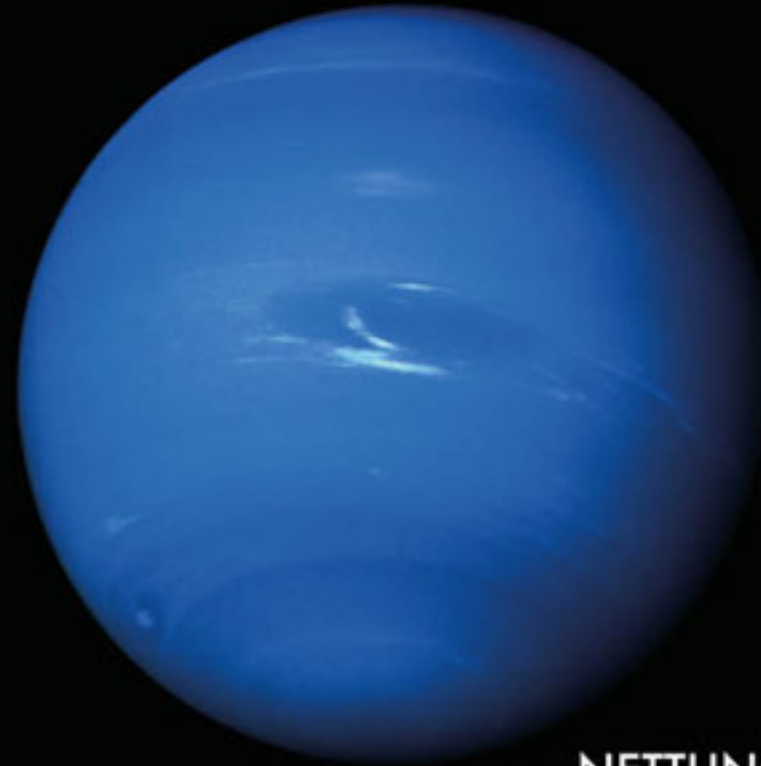
Inizialmente non si riuscivano a distinguere strutture ben definite dell'atmosfera e dei venti, ma grazie al lavoro del Voyager 2, che ha continuato a fare fotografie del pianeta durante tutto l'anno 1985, si è potuto fare un notevole lavoro sulle immagini. Sottraendo il contributo della luce solare, che dava un aspetto di uniformità al pianeta, si è scoperta una notevole attività atmosferica. Gli scienziati avevano un interrogativo aperto riguardo alla presenza su Urano di un campo magnetico, mai misurato da Terra. Pochi giorni prima del suo massimo avvicinamento al pianeta, si riuscì a captare i primi segnali della presenza di un campo magnetico, di intensità paragonabile a quella del campo magnetico terrestre. Con una inclinazione anomala dell'asse magnetico di 60° rispetto all'asse di rotazione, e con una struttura delle linee di forza molto più complessa del previsto, l'asse magnetico di Urano (come quello di Nettuno) non passa attraverso il nucleo del pianeta, indicando un'origine negli strati più alti della sua atmosfera.

Per questa ragione la magnetosfera di Urano è fortemente asimmetrica. Si sono avanzate alcune ipotesi che spieghino queste anomalie: il fatto che Urano sia in una fase di inversione del campo magnetico, o l'influenza dell'asse di rotazione anch'esso inclinato, oppure -per spiegare l'asimmetria- che il suo dipolo magnetico abbia origine in correnti formate negli densi oceani di acqua e ammoniaca a circa 2/3 di profondità dalla sua superficie.

Il viaggio della sonda Voyager 2 verso Urano e Nettuno è esemplificativo del valore dell'osservazione diretta, quando possibile, degli oggetti di studio. E' la dinamica propria dell'esplorazione: non ci si accontenta di guardare da lontano, ma si va a "toccare con mano" per avvicinarsi il più possibile a delle risposte. La maggior parte dei dati sui due pianeti infatti li abbiamo proprio grazie a Voyager, poiché da Terra è impossibile compiere osservazioni dell'accuratezza richiesta. Un esempio su tutti è la misurazione accurata del periodo di rotazione: 17h e 24 min per Urano, e 16h e 3min per Nettuno.

La cosa sorprendente è il poco tempo, relativamente alla durata della missione, avuto a disposizione dalla sonda per raccogliere tutti questi dati: la sua permanenza nei pressi di Urano è durata poco più di due giorni uraniani, mentre le foto di Nettuno sono state scattate in una sola notte (24/08/89).

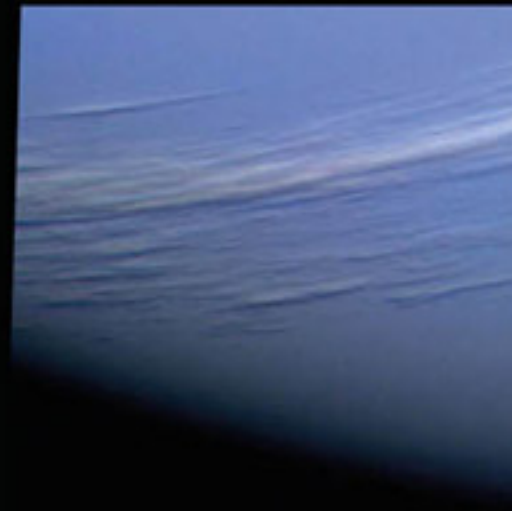
Anche il campo magnetico di Nettuno manifesta anomalie: l'asse di dipolo magnetico è inclinato di 50° rispetto all'asse di rotazione. La somiglianza con il caso di Urano è fondamentale per valutare le prime ipotesi fatte ed avanzarne di nuove: una delle più accreditate attribuisce l'anomalia alla loro simile struttura interna. Questa è una delle tante domande poste dal Grand Tour del Voyager, che rimangono del tutto aperte. Prima del flyby da parte del Voyager 2, la nostra conoscenza di Nettuno non lasciava presagire nulla di particolare, eppure proprio questo pianeta risulta fondamentale per approfondire il problema del campo magnetico dei pianeti gassosi ed è il più attivo dal punto di vista atmosferico.



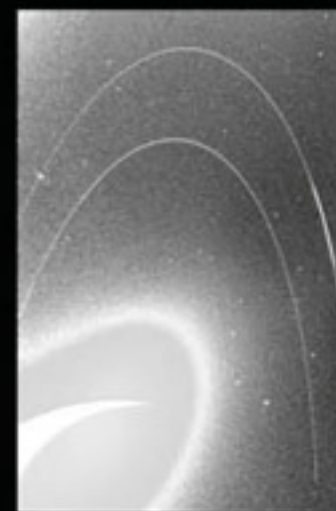
NETTUNO

Nettuno è l'unico pianeta la cui esistenza è stata predetta matematicamente, a causa di anomalie nell'orbita di Urano, prima che fosse effettivamente visto da un telescopio: fu avvistato nel 1846.


La sua intensa attività atmosferica ha sorpreso gli scienziati. Possiede infatti sistemi di cicloni paragonabili a quelli di Giove: un esempio è il Great Dark Spot, tempesta ciclonica che ruota sul pianeta, di dimensioni paragonabili alla Terra. Nettuno ha il primato, nell'intero Sistema solare, per quanto riguarda l'intensità di venti retrogradi.



Formazioni nuvolose nell'atmosfera di Nettuno (Immagine della sonda Voyager 2)



Prima immagine degli anelli di Nettuno (Immagine della sonda Voyager 2)



Da questo distante punto di osservazione, la Terra può non sembrare di particolare interesse. Ma per noi, è diverso. Guardate ancora quel puntino. È qui. È casa. È noi. Su di esso, tutti coloro che amate, tutti coloro che conoscete, tutti coloro di cui avete mai sentito parlare, ogni essere umano che sia mai esistito, hanno vissuto la propria vita. L'insieme delle nostre gioie e dolori, migliaia di religioni, ideologie e dottrine economiche, così sicure di sé, ogni cacciatore e raccoglitore, ogni eroe e codardo, ogni creatore e distruttore di civiltà, ogni re e plebeo, ogni giovane coppia innamorata, ogni madre e padre, figlio speranzoso, inventore ed esploratore, ogni predicatore di moralità, ogni politico corrotto, ogni "superstar", ogni "comandante supremo", ogni santo e peccatore nella storia della nostra specie è vissuto lì, su un minuscolo granello di polvere sospeso in un raggio di sole. La Terra è un piccolissimo palco in una vasta arena cosmica

Carl Sagan

“ Siamo lieti di essere perplessi. Si impara di più quando si trovano cose che non si possono spiegare facilmente. Se si osservano fenomeni immediatamente interpretabili, allora è probabile che ci sia poco da imparare e che si tratti di cose che sapevamo già ”

Edward Stone

Come sappiamo che il Voyager 1 è uscito del Sistema Solare? Cosa ha segnato questo passaggio? Cosa ha visto Voyager 1 ai confini del Sistema Solare?

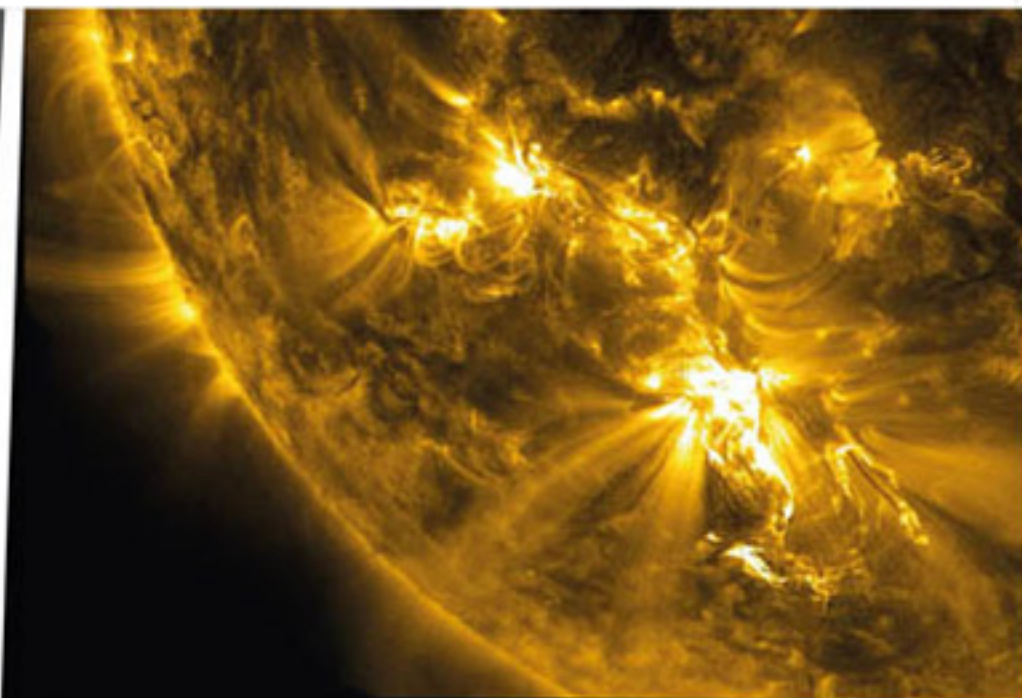
L'attività solare è responsabile della produzione di quello che chiamiamo vento solare: un flusso continuo di particelle (chiamate anche raggi cosmici) e campi magnetici -cioè, un plasma- che si propaga dal centro verso l'esterno del Sistema Solare. Questo vento solare può essere osservato per esempio nelle immagini dei satellite SOHO e SDO della NASA, dedicati allo studio del Sole, dove anche le linee di campo magnetico che formano dei canali di propagazione delle particelle sono chiaramente visibili.

MISURANDO IL VENTO STELLARE

A una distanza sufficientemente grande dal Sole, il vento perde forza e si scontra col vento stellare che arriva da fuori del sistema solare, creando una zona di collisione fra i due plasma. Questa zona di transizione è quello che segna la frontiera dell'Eliosfera dallo spazio interstellare, dove l'influenza della attività solare non è più dominante.

Il segnale che il Voyager ha varcato i confini dell'Eliosfera è avvenuto il 25 Agosto 2013, quando è stato misurato un calo nella densità di raggi cosmici solari (ioni di bassa energia), accompagnato da una crescita nella densità di elettroni, protoni e particelle alfa di più alta energia, che hanno origine in altre parti della Galassia e compongono il plasma interstellare. Questo è precisamente quello che si vede nel grafico che riporta i conteggi.

Gli strumenti usati per fare queste misure - rivelatori di particelle e d'onde di plasma, e il magnetometro- sono gli ultimi strumenti ancora attivi nel Voyager, lasciati accesi ancora oggi per permettere queste misure e darci informazioni sulle periferie geografiche del Sistema Solare.



La fotosfera del Sole, al prossimo natura i caratteristici "filamenti" generati dal campo magnetico solare che si proietta fra un punto e l'altro della superficie solare (Crediti: SDO, NASA)

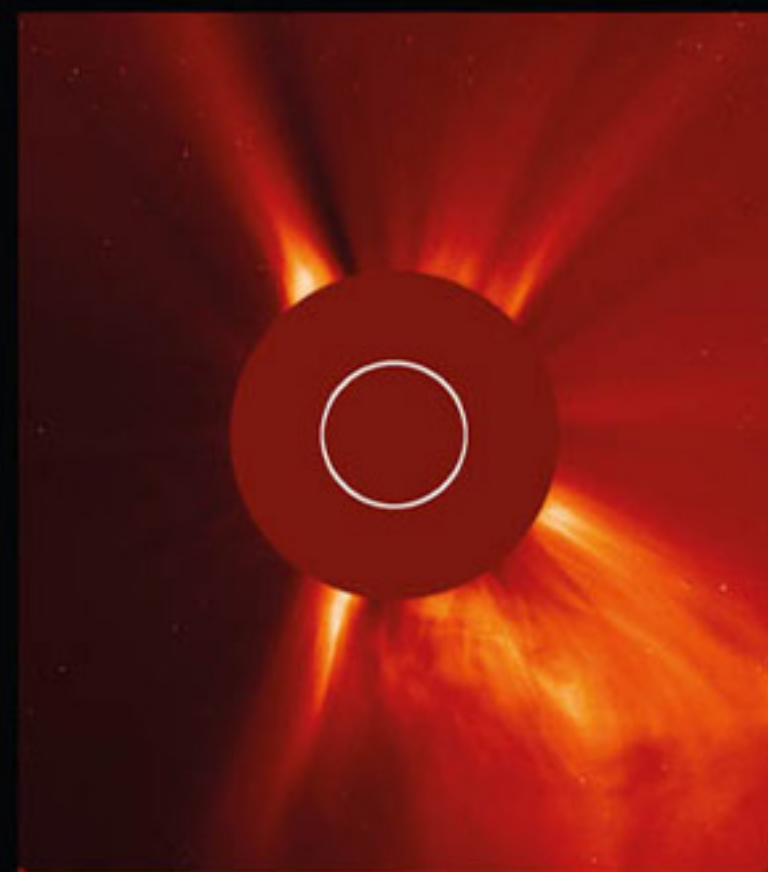
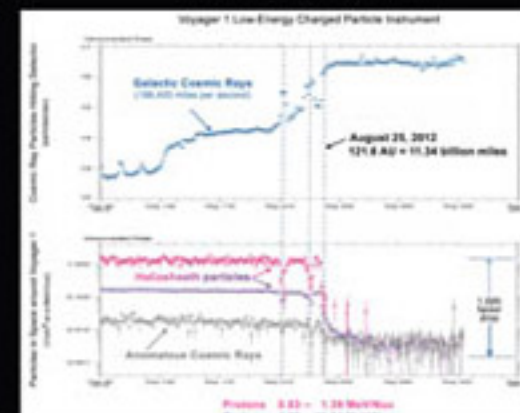


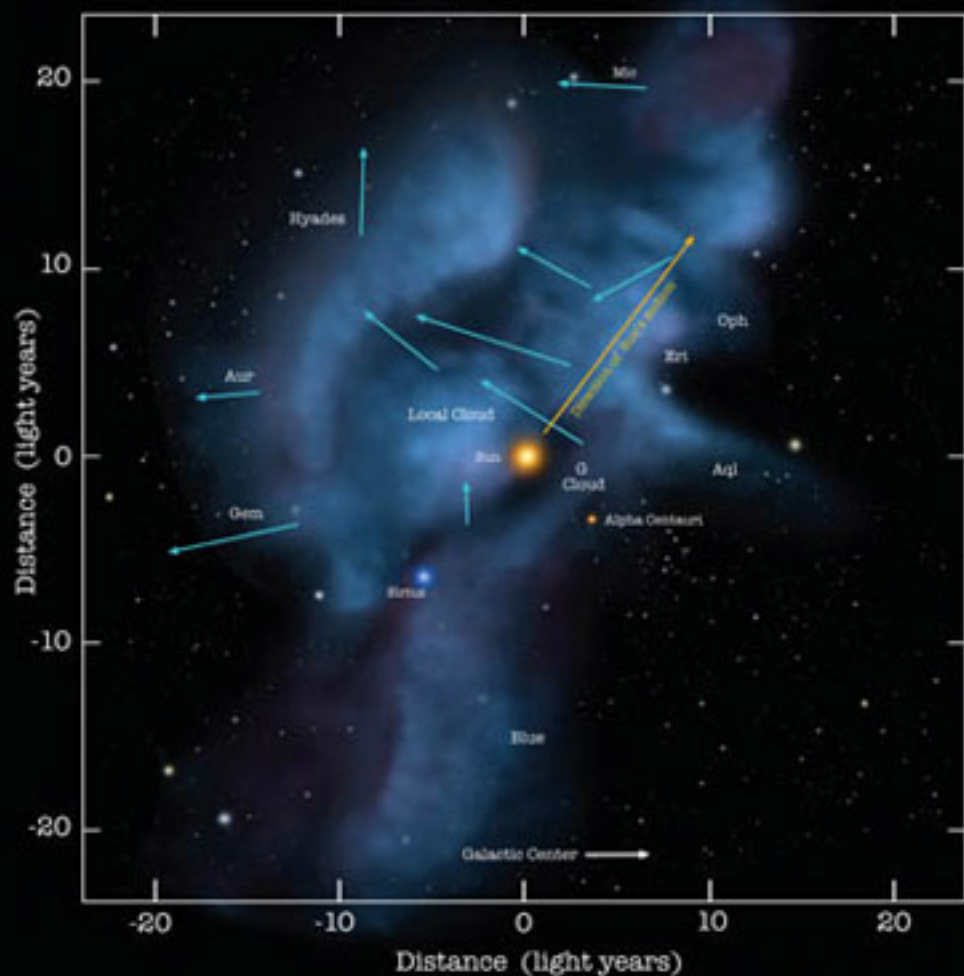
Immagine di Sole accanto del vento solare ripreso dalla sonda SOHO (NASA, ESA), Ed Stone, CAI/TECH/OSPC



Comparazione del conteggio di particelle del Voyager 1 (fuori del sistema solare) e del Voyager 2, ancora dentro l'Eliosfera: questo confronto permette di notare alla differenza tra quantità di raggi cosmici solari e galattici (Crediti: Ed Stone, CAI/TECH/OSPC)



Conteggi nel tempo delle particelle cariche a bassa energia del Voyager 1: in basso compare il numero degli elettroni a bassa energia che arrivano dall'interno dell'Eliosfera; in alto compare il numero dei raggi cosmici galattici (Crediti: Ed Stone, CAI/TECH/OSPC)

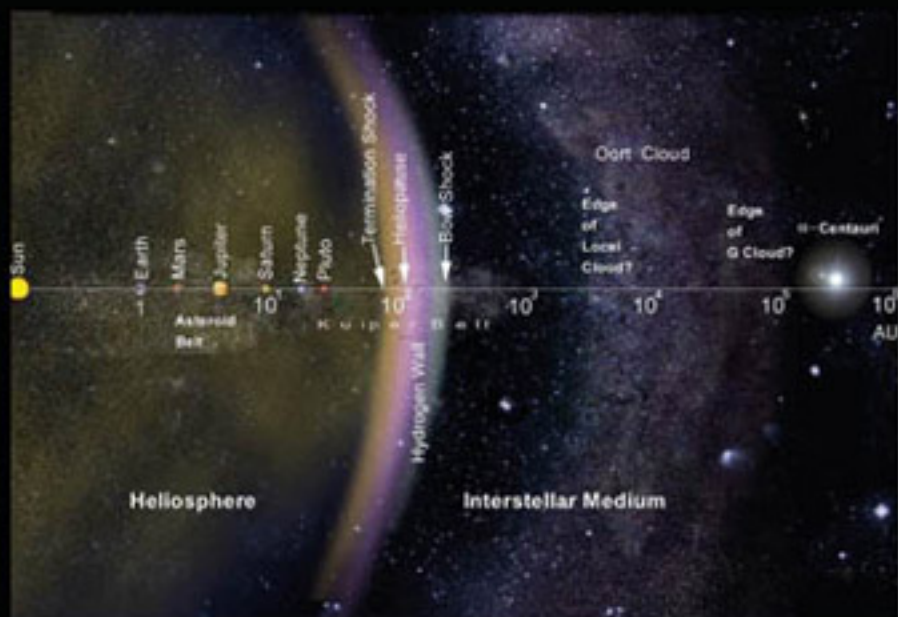


Recostruzione del confine del Sistema solare nella nebulosa locale

OLTRE LE PERIFERIE DEL SISTEMA SOLARE

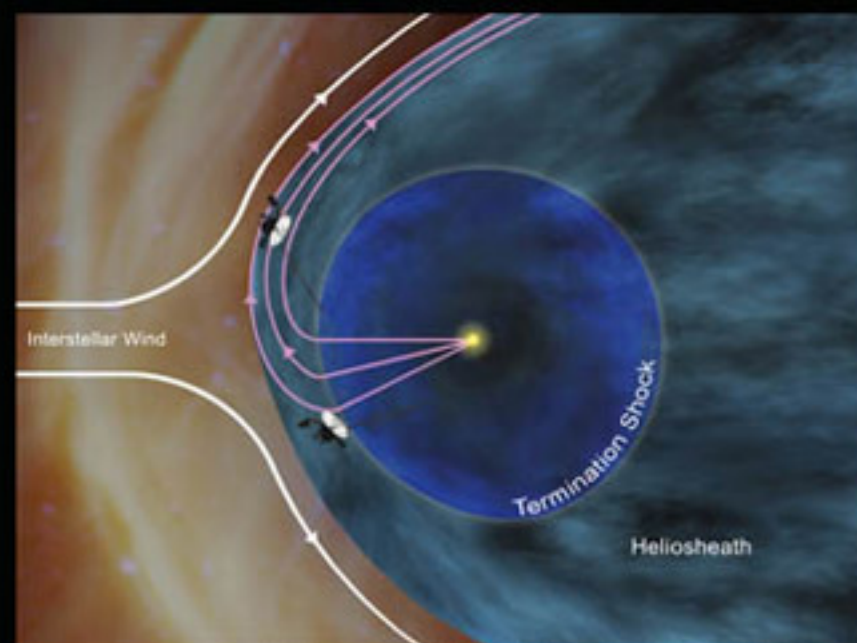
Il Voyager 1 è stato il primo e unico oggetto realizzato dall'uomo a uscire dal Sistema Solare, il 25 agosto 2013, dopo aver percorso più di 19 miliardi di km (che equivalgono a circa 125 unità astronomiche) a una velocità di più di tre volte e mezza la distanza Terra-Sole all'anno. La frontiera del Sistema Solare è molto al di là dell'orbita dell'ultimo pianeta. Nettuno è a circa 29 UA dal Sole, mentre la detta Eliopausa, la frontiera fra il Sistema Solare e lo spazio interstellare, è 4 volte più lontana, ed è lì che il Voyager è arrivato dopo 36 anni di viaggio.

Quello che definisce la frontiera del Sistema Solare è la fine della zona dove l'influenza del Sole domina su quella delle altre stelle e della Galassia come un insieme. Il Sistema Solare è investito dal campo magnetico e dalle particelle (protoni ed elettroni) prodotte nel Sole: è il cosiddetto "vento solare", che si propaga verso lo spazio circostante il Sole, individuando i confini dell'Eliosfera.



Rappresentazione in scala logaritmica delle distanze fra il Sole e le stelle più vicine (immagine Jet Propulsion Laboratories/NASA)

Anche al di fuori dell'Eliosfera lo spazio è pieno di plasma magnetizzato, e l'Eliosfera può essere quindi pensata come una bolla dove la pressione interna è in equilibrio con quella esterna. La zona di contatto tra questi due "venti di plasma" crea una zona di shock, la barriera da attraversare e che definisce la frontiera fra spazio interno al Sistema Solare e spazio interstellare, detta Eliopausa. La forma di cometa della Eliosfera risulta dal fatto che il Sistema Solare come un insieme è in movimento dentro la Galassia, e quindi lo scontro fra i due plasma genera una coda aerodinamica.



Rappresentazione schematica dell'Eliosfera. Sono indicate le traiettorie dei raggi cosmici solari in uscita e di quelli che provengono dallo spazio interstellare (immagine Jet Propulsion Laboratories/NASA)

"Il modo più semplice per visualizzare la bolla dell'Eliosfera è di pensare a un lavello da cucina. Quando si fa scorrere l'acqua e la si lascia cadere in fondo al lavandino, con lo scarico aperto, si può notare che l'acqua forma uno spesso anello. All'interno dell'anello, da dove inizia a fluire verso l'esterno, l'acqua è molto sottile e veloce. Come vicino al Sole, dove il vento solare è supersonico. Ma alla fine diventa così sottile da dover rallentare. Ciò avviene repentinamente e forma questo spesso anello d'acqua, che poi gira e finisce nello scarico. La stessa cosa accade intorno al nostro Sole. Il vento solare rallenta e infine deve girarsi e andare verso la coda che si forma dietro l'Eliosfera" (da una intervista a Ed Stone).



13 PASSI NEL FUTURO DELLE ESPLORAZIONI SPAZIALI

Piccola rassegna
delle principali
missioni spaziali
dei prossimi
decenni

ROSETTA (ESA)



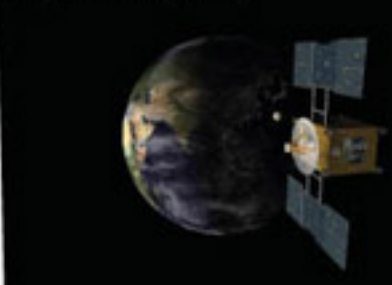
Lanciata nel 2004, l'obiettivo della missione è lo studio in situ della cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko: dopo un lungo inseguimento, aggancia la cometa nel mese di agosto del 2014 e preleverà dei campioni per caratterizzarne il nucleo e determinarne la composizione chimica. Tre strumenti scientifici e il sistema di acquisizione e distribuzione dei campioni (SD2) sono stati realizzati da gruppi di ricerca italiani.

Chandrayaan-2 e Aditya (ISRO)



Sono due missioni indiane previste all'interno del programma Extraterrestrial explorations, dedicato allo studio di Luna, Marte, Venere e Sole. La prima, il cui lancio è previsto per il 2017, studierà la superficie lunare, la seconda (2017-2018) studierà il Sole.

Hayabusa 2 (JAXA)



In partenza nel 2014, ha come scopo di atterrare su uno degli asteroidi della fascia di asteroidi per raccogliere frammenti e riportarli sulla Terra. L'arrivo sull'asteroide è previsto nel luglio 2018, il rientro nel 2020.

New Horizons encounters Pluto (NASA)



L'obiettivo primario è studiare geologia e morfologia del pianeta nano Plutone e del suo satellite Caronte. Lanciata il 19 gennaio 2006 dalla base di Cape Canaveral, la sonda raggiungerà Plutone nel luglio 2015. La sonda continuerà il viaggio nella fascia di Kuiper.

Change 4, 5 e 6 (CNSA)



Previste per il 2015, 2017 e 2019, con le missioni Change la Cina studierà la Luna per raggiungerla con una missione umana negli anni 2020-2030. È prevista anche una missione (2040-2060) di volo umano su Marte. Contemporaneamente la Cina sta studiando un modo per portare la vita su Marte o sulla Luna attraverso delle particolari serre.

JUNO (NASA)



Studierà il campo magnetico di Giove mantenendo un'orbita polare. Lanciata il 5 agosto 2011, arriverà a destinazione a luglio del 2016. L'orbita molto ellittica consentirà di avvicinarsi ai poli e permetterà di studiare la composizione di Giove, il suo campo gravitazionale e la sua magnetosfera. Due dei dieci strumenti sono stati realizzati da gruppi di ricerca italiani.

PLATO - Planetary Transits and Oscillations of stars (ASI-ESA)



Si occuperà di due temi fondamentali: quali sono le condizioni necessarie alla formazione dei pianeti e all'emergere della vita? Come funziona il Sistema Solare? PLATO osserverà un grande campione di stelle brillanti e permetterà la completa caratterizzazione dei pianeti e delle loro stelle ospiti. Il lancio è previsto per il 2024.

SOLO (NASA)



SOLar Orbiter può aiutare a rispondere ad alcune domande riguardanti la formazione del Sistema Solare. Studierà anche la fisica del plasma solare. La sonda sarà collocata ad una distanza pari ad un quarto di unità astronomica, la missione sarà quindi la più vicina di sempre al Sole. Il lancio è previsto per il 2017.

JUICE - Jupiter Icy Moon Explorer (ESA)



Ha come obiettivo lo studio del sistema gioviano con particolare interesse ai satelliti Ganimede, Callisto ed Europa. I principali scopi scientifici sono: studiare il campo magnetico del pianeta in situ ed eseguire osservazioni approfondite delle superfici delle lune. Annunciata nel 2012, il lancio è programmato per il 2022 e sarà operativa a tutti gli effetti nel 2030.

BEPI COLOMBO (ESA-JAXA)



È una delle prime missioni dedicate allo studio di Mercurio ed è costituita da due sonde, la Mercury Planetary Orbiter (MPO) e la Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO): la prima studierà la composizione della superficie del pianeta, la seconda invece si dedicherà alla magnetosfera. La missione sarà lanciata nel 2016 e arriverà sul pianeta nel 2022. La comunità scientifica italiana, con il supporto dell'ASI, realizzerà 4 degli 11 esperimenti previsti.

Marco Polo (ESA-JAXA)



Obiettivo è il recupero di campioni da un asteroide vicino alla Terra ed il loro trasporto a Terra per ottenere informazioni riguardanti la nascita del Sistema Solare e della sua formazione e sull'origine della vita sulla Terra. Il lancio è per ora previsto per il 2020.

ExoMars Trace Gas Orbiter and EDM lander (ESA-Roscosmos)



Il lancio della sonda è previsto nel gennaio 2016: resterà nell'orbita di Marte per cercare la presenza di metano e altri gas nell'atmosfera, possibili indizi di una presenza di vita. Nel 2018, un secondo modulo, contenente una stazione meteo ed altri strumenti, atterrerà su Marte per studiare ambiente e aspetti geofisici.

Astrobotic Technology (privati)



È la prima missione spaziale lunare privata. Astrobotic Technology è la piccola compagnia americana che sta lavorando alla sua realizzazione. L'agenzia privata SpaceX prevede il lancio nell'ottobre 2015. L'obiettivo è atterrare sulla Luna e cercare l'acqua ghiacciata che molto probabilmente si trova ai poli. Il rover dell'Astrobotic Technology sta lottando, insieme a molte compagnie private, per raggiungere questo obiettivo e vincere i 30 milioni di dollari del Google Lunar Lander X-Prize, concorso promosso dal famoso motore di ricerca.

SPACE EXPLORATION SPINOFF

Dopo aver ripercorso le tappe principali della conquista dello spazio, un'avventura affascinante, ma come è ben noto anche molto costosa, è naturale porsi le domande: ne valeva veramente la pena? L'umanità ha speso bene le sue risorse e fa bene a continuare a impiegare in gran quantità in questo campo? E poi, con quali obiettivi ulteriori e con quali modalità è meglio proseguire? È meglio puntare tutto sulle missioni robotizzate o non si può prescindere dalle missioni con astronauti a bordo, inevitabilmente più costose e rischiose? È stato saggio, per esempio, che gli europei dell'ESA abbiano speso fra il 2000 e il 2007 l'equivalente del costo di costruzione di 100 km di autostrade solamente per mettere in orbita il primo dei tre moduli abitati della Stazione Spaziale Internazionale (ISS), e che siano tuttora impegnati in questa missione? Ha senso ritornare sulla Luna o progettare missioni su Marte o verso gli asteroidi? Anche per le missioni robotizzate non è forse meglio sfruttare essenzialmente la loro capacità di "visione dall'alto" per esplorare la Terra e i suoi tanti problemi? Da cittadini di paesi oberati dal carico fiscale e angustiati dalla disoccupazione possiamo accettare che l'Agenzia Spaziale Europea abbia anche quest'anno un budget di 4.100 milioni di € o che l'Agenzia Spaziale Italiana ne abbia uno da 500 milioni di € "solamente" per incrementare le conoscenze scientifiche sulle comete o sui pianeti extrasolari?

Le risposte ufficiali a questi quesiti sono abbastanza note e razionali: la ricerca e l'esplorazione spaziale sono l'avanguardia della ricerca scientifica e tecnologica e sono un potente motore di sviluppo per tutti i paesi avanzati; esse creano possibilità non sempre prevedibili, ma che si trasformano prima o poi in vantaggi per tutti. In effetti, non c'è dubbio che nel giro di pochi decenni le ricerche ed esplorazioni spaziali abbiano dilatato in maniera sorprendente le nostre conoscenze scientifiche sul pianeta che ci ospita, sul nostro Sistema Solare e più in generale sul cosmo intero, e che abbiano dato un potente contributo ad aumentare le capacità tecnologiche umane, creando nel contempo numerose nuove industrie e possibilità di lavoro, ma quali sono stati i vantaggi per i singoli e per la nostra vita di tutti i giorni? Tanti vantaggi, tante ricadute ci sono veramente state, e il loro elenco sarebbe così lungo che dovremmo forse organizzare un'altra mostra per descriverle tutte: dobbiamo quindi limitarci a ricordarne solo alcune delle più importanti.

“Perciò non venitemi a dire che i vostri semplici muri bastino all'uomo, poiché se egli non avesse mai visto le stelle e vi fosse concesso di fabbricargli una Via Lattea con arcate giganti a condizione di approfondire un patrimonio nella costruzione di una cupola simile, verreste forse a dirmi che si è impiegato male quel denaro?”

Antoine de Saint-Exupéry

Innanzitutto le telecomunicazioni, che per la copertura mondiale delle reti telefoniche, televisive e di trasmissione dati sono ormai completamente dipendenti da una miriade di satelliti artificiali in orbita attorno alla Terra; ma ricordiamo più in generale che è stata tutta la microelettronica, quella per intendersi che ci consente di avere un cellulare in tasca e un tablet nella borsa, che ha preso il "la" dalle esigenze e dalle ricerche condotte in ambito missilistico e spaziale.

Poi la previsione del tempo, che grazie ai dati prodotti in continuazione dai satelliti meteorologici è divenuta una scienza "quasi esatta" nel breve periodo, permettendoci di svolgere con maggior sicurezza non solo attività un tempo molto rischiose, quali la navigazione marittima ed aerea, ma anche di ottimizzare innumerevoli lavori, dall'agricoltura alle costruzioni, o semplicemente i nostri viaggi di piacere. Aggiungiamo a questo il gran numero di satelliti che tengono sotto controllo l'evoluzione dei territori, dell'atmosfera, del clima, delle risorse agro-alimentari, che hanno dato grandi contributi al miglioramento della prevenzione delle calamità naturali e della qualità della vita di intere nazioni.

Non meno importante è la rete dei satelliti che supportano i nostri apparecchi GPS, che sono davvero diventati di uso comune ed indispensabili per una miriade di attività, personali, lavorative e sociali.

Vogliamo anche ricordare che in ambito spaziale sono state sviluppate e perfezionate le celle fotovoltaiche, una delle più riuscite e diffuse tecnologie di utilizzo dell'energia solare, dalle quali è nato un ormai imponente comparto industriale e una significativa produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile.

Per finire non si possono dimenticare alcune invenzioni o prodotti nati o perfezionati per esigenze spaziali, che sono poi divenuti di uso comune: il velcro, le lenti antigraffio per occhiali, i termometri medici non a contatto e nuove tecniche diagnostiche, nuove leghe metalliche di alte caratteristiche (più elastiche delle plastiche e più resistenti del titanio, usate per esempio negli attrezzi sportivi), materiali per l'isolamento termico e per la protezione dal fuoco, schiume a memoria di forma per imbottiture e nuovi tessuti dotati di grande capacità isolante e morbidezza.