

Ai confini del Sistema Solare: Nuovi Orizzonti su Plutone

Anna Wolter

INAF – Osservatorio Astronomico di Brera

anna.wolter@brera.inaf.it

9 dicembre 2015



L'universo in fiore 2015-2016

Corsi di astronomia all'Osservatorio Astronomico di Brera

«I colori maturano la notte» - Alda Merini



Come si fa a tirare una freccia?

- Ovvero: Dei voli spaziali



Dove sta indirizzando l'arco?

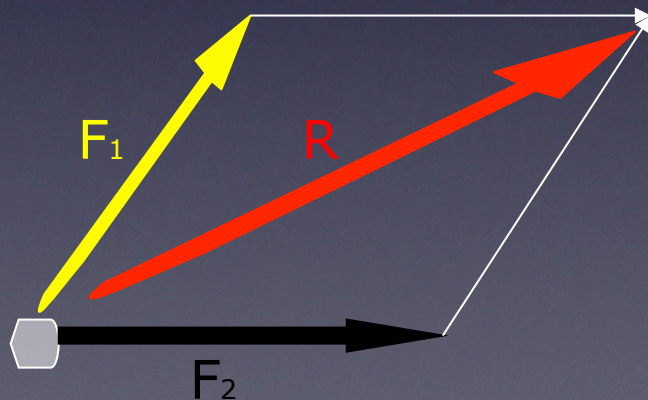


Chi arriva più lontano?

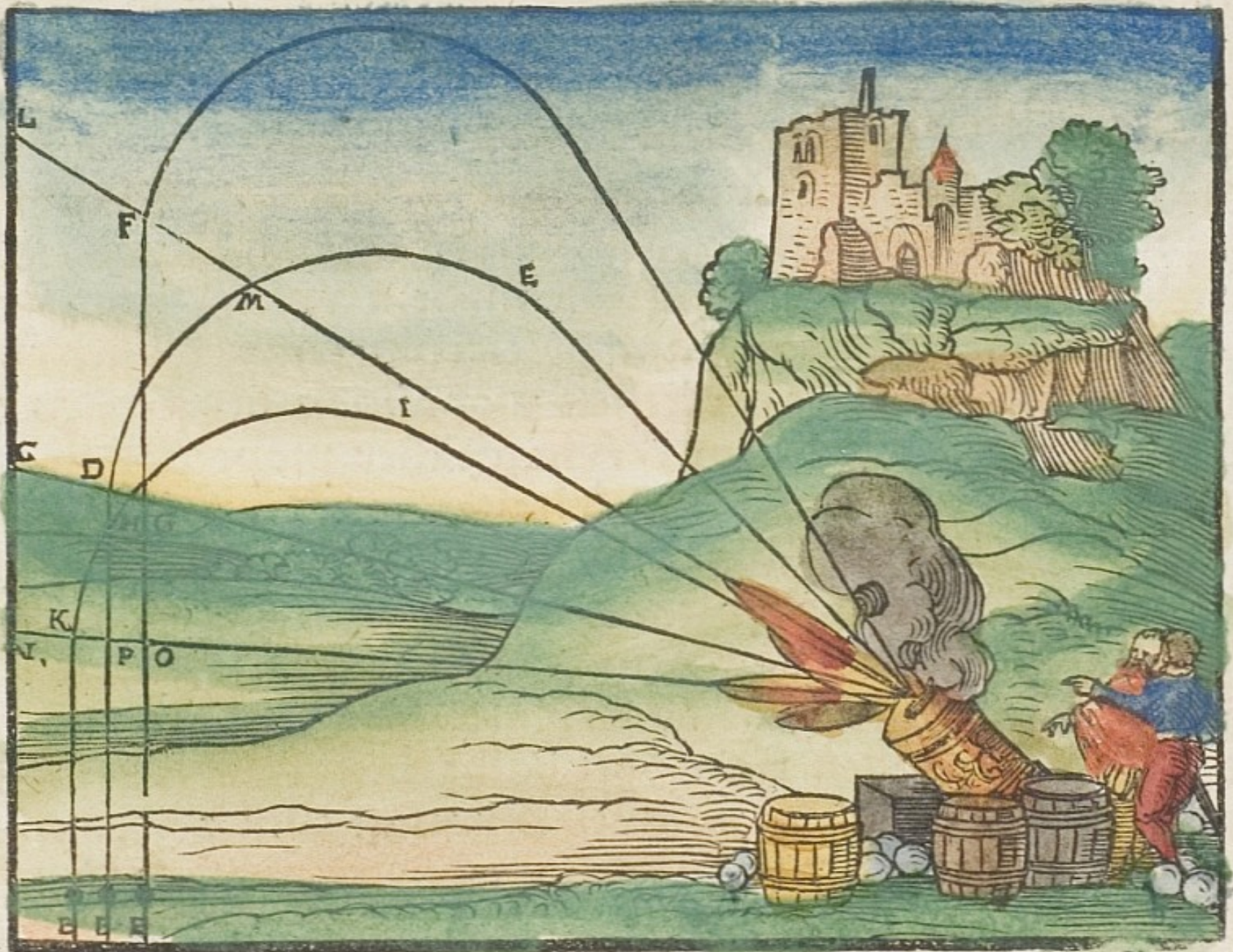
.. ma perché ?

- Composizione delle forze: spinta del lancio + forza di gravità

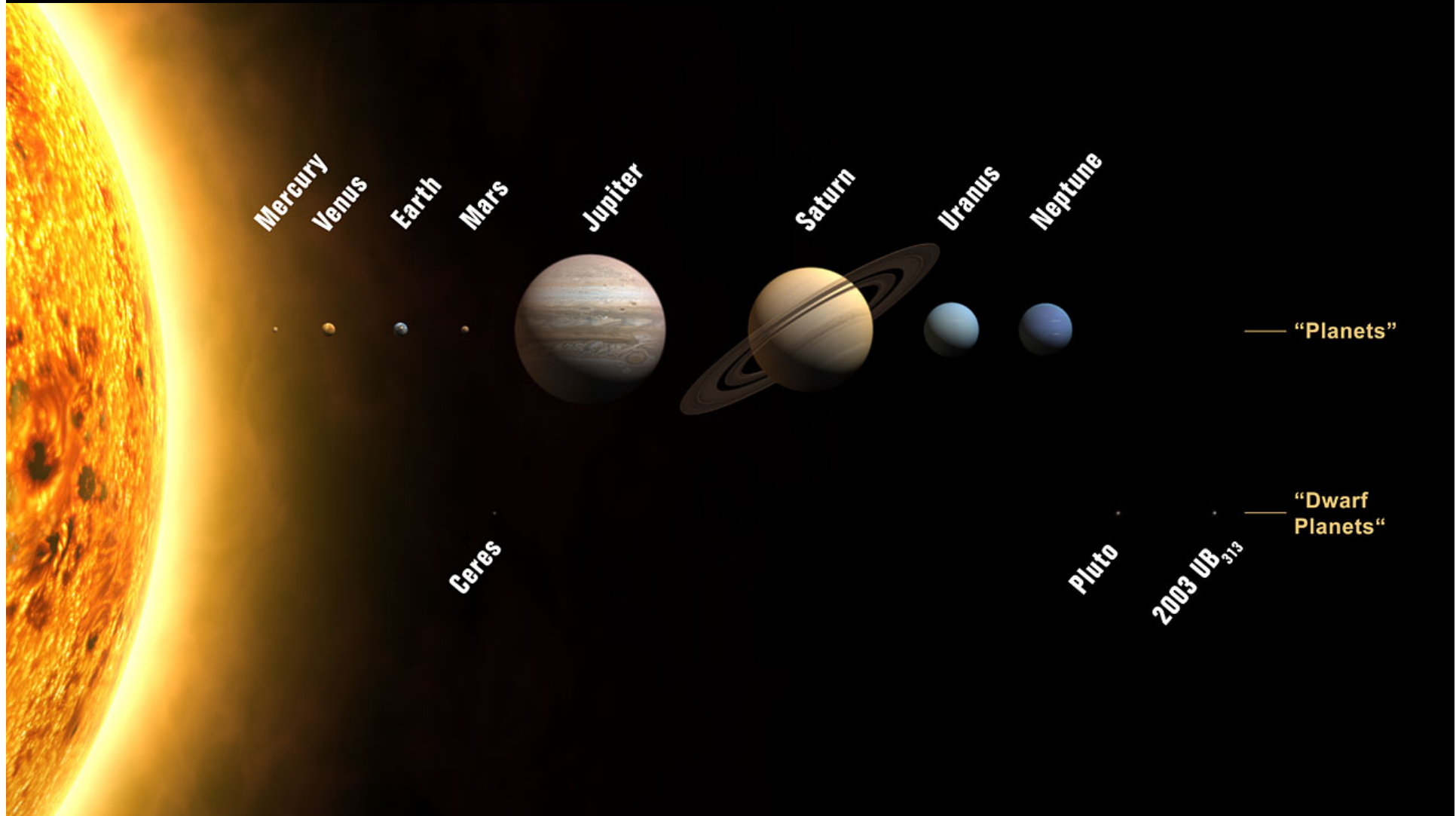
Direzioni diverse



La risultante R
è la diagonale del
parallelogramma



Il Sistema Solare



Le orbite dei pianeti

Prima legge di
Keplero: le
orbite sono
ellissi e il Sole
sta in uno dei
fuochi

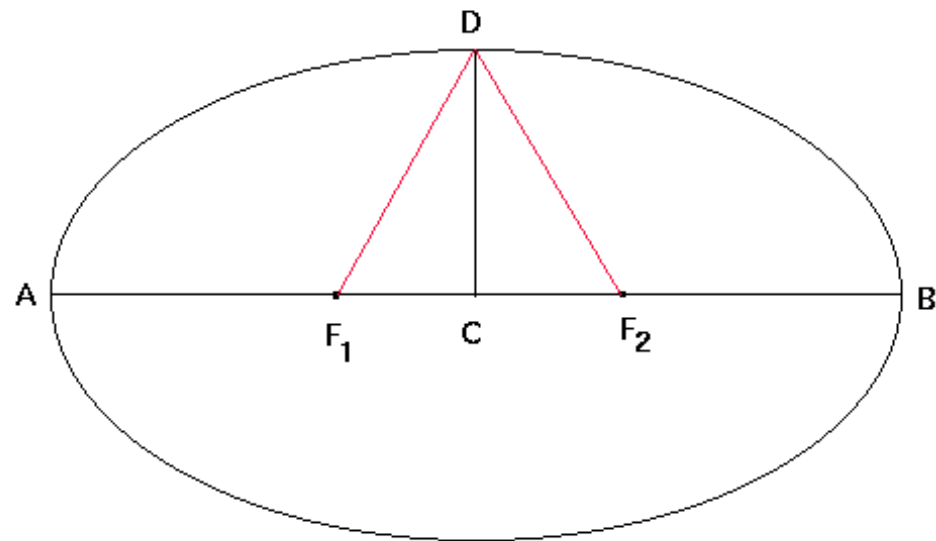
F_1, F_2 = fuochi dell'ellisse

$AC = a$ = semiasse maggiore

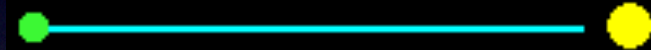
$CD = b$ = semiasse minore

$CF_1 = CF_2 = c$

$e = \text{eccentricita'} = \frac{c}{a}$



Le orbite dei pianeti



Seconda legge di Keplero: il raggio vettore attraversa aree uguali in tempi uguali, quindi la velocità del pianeta cambia lungo l'orbita

Le orbite dei pianeti

Terza legge di Keplero:

$$(\text{Periodo di rivoluzione})^2 \propto (\text{Distanza dal Sole})^3$$

quindi i pianeti più lontani ci mettono più tempo per completare un giro intorno al Sole

Per fare i calcoli posso usare le proporzioni:

$$\begin{aligned} (\text{Periodo della Terra})^2 : (\text{Distanza della Terra})^3 = \\ (\text{Periodo del pianeta})^2 : (\text{Distanza del pianeta})^3 \end{aligned}$$

$$n = \sqrt{\frac{G \cdot M_{\oplus}}{R_{\oplus}^3}}$$

$$v_1 = n \cdot R_{\oplus} = \sqrt{\frac{G \cdot M_{\oplus}}{R_{\oplus}}}$$

v_1 = *prima velocità cosmica* – velocità dell'orbita alla superficie della Terra

v_2 = *seconda velocità cosmica* – velocità di fuga – velocità minima per sfuggire al campo gravitazionale del pianeta

$$E = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{G \cdot m M_{\oplus}}{R_{\oplus}} = 0$$

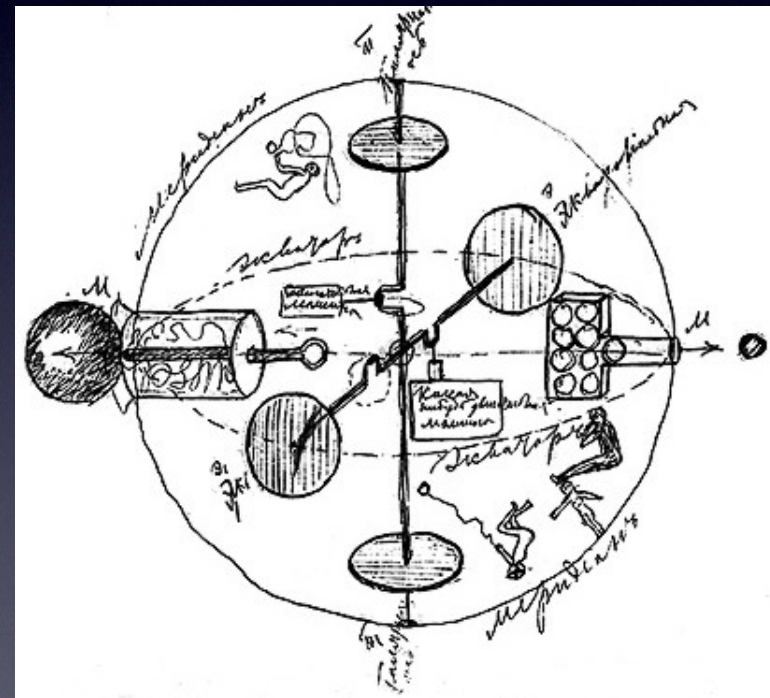
$$v_2 = \sqrt{\frac{2G \cdot M_{\oplus}}{R_{\oplus}}}$$

v_2 per la Terra = 11,2 km/s

L'equazione dei razzi

- Equazione del 1903 dovuta a Konstantin Ėduardovič Ciolkovskij (1857-1935)
- Razzi a più stadi

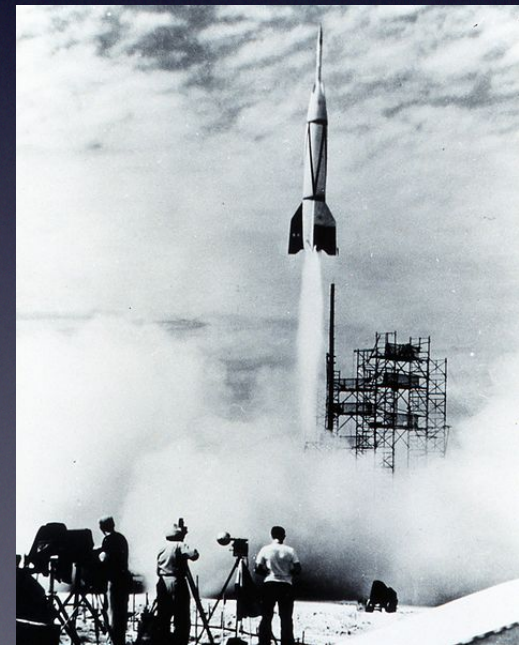
$$\Delta v = v_e \ln \frac{m_i}{m_f}$$





Marzo 1926
Robert Goddard
riesce a far volare il primo prototipo di
razzo a propellente liquido
Inizialmente deriso; ora il centro della
NASA del Maryland è a lui intitolato.

Germania – Von Braun 1943-45
V2 primo razzo che supera la linea di
demarcazione tra “atmosfera” –
spazio aereo – e spazio “esterno”.



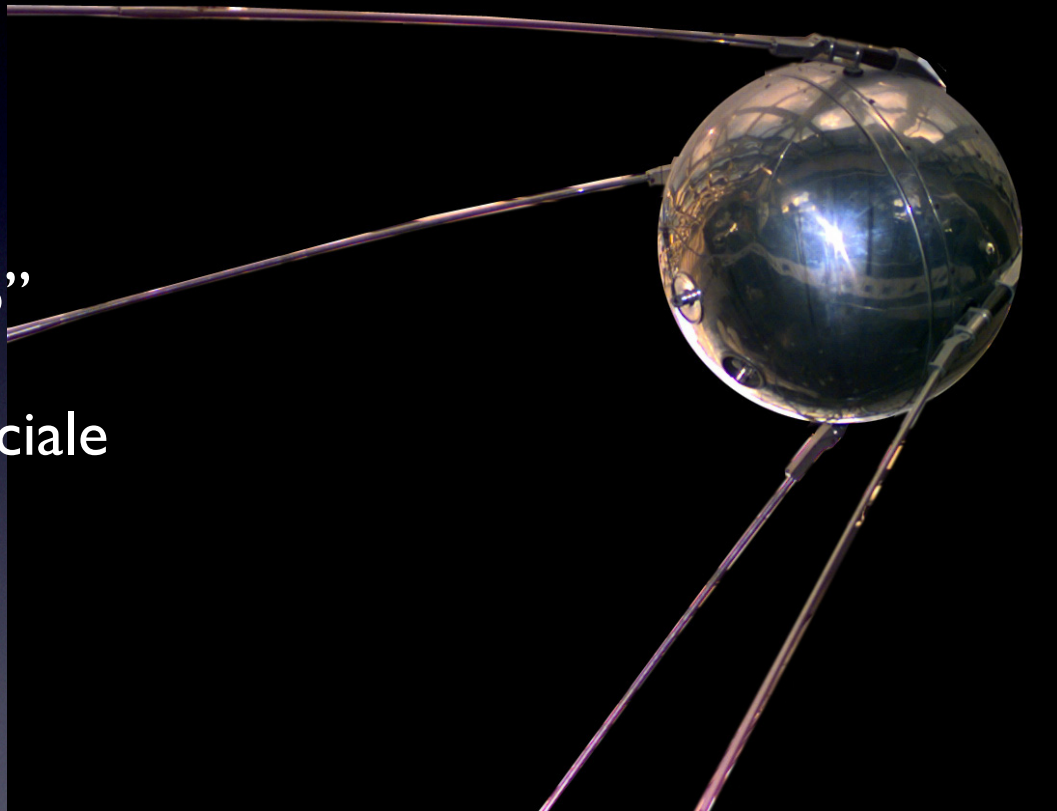
4 ottobre 1957: спутник

“Compagno di viaggio”

Il primo satellite artificiale

Lanciatore:

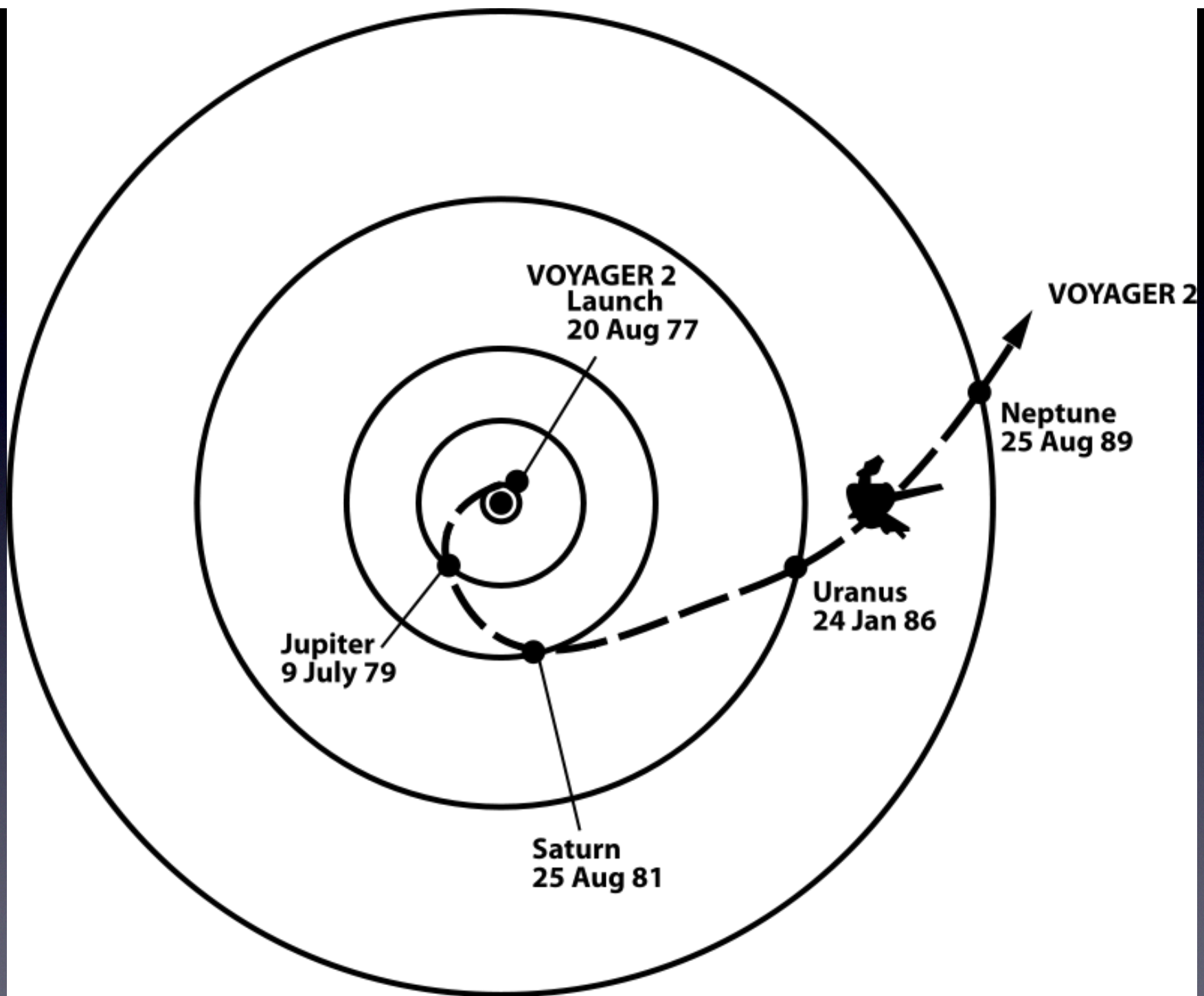
R-7 "Semërka"



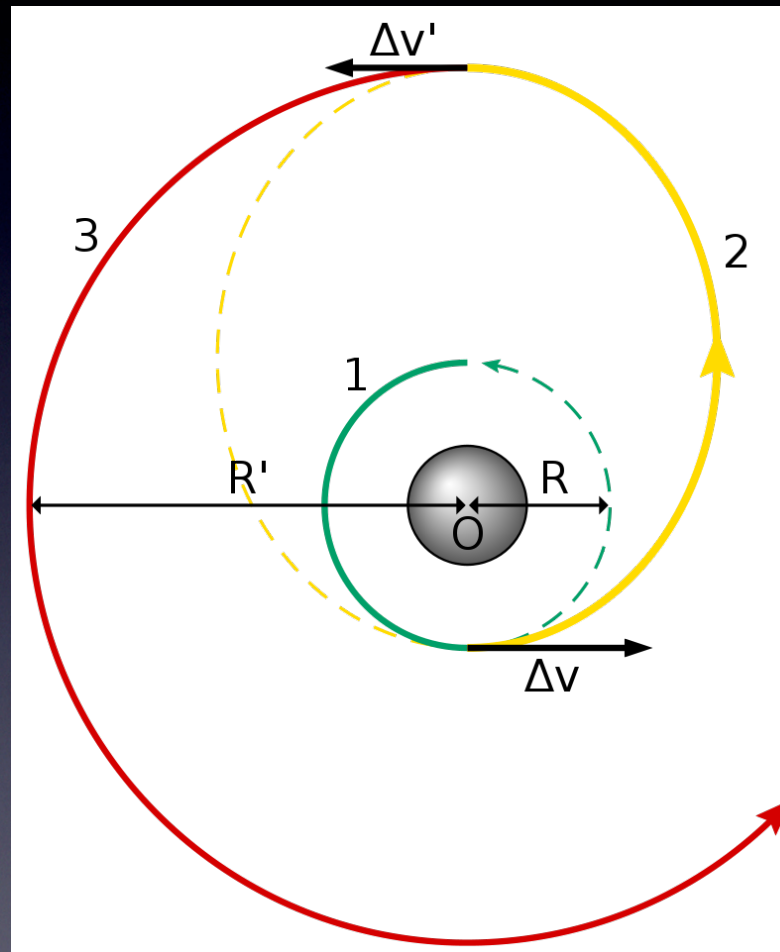
“Fionda” planetaria

- Yuri Kondratyuk “Тем кто будет читать, чтобы строить” (A chiunque leggerà [questo lavoro] per costruire [un razzo interplanetario]), 1938 datato 1918–1919
- Michael Minovitch* @UCLA 1961 con un IBM 7090 (1000 \$/hr)
- Scopre che avvicinandosi a un pianeta in orbita intorno al Sole, un satellite può “rubare” un po’ della velocità orbitale e usarla per allontanarsi dal Sole.
- Nel 1977 viene usata per i lanci Voyager, approfittando dell’allineamento dei pianeti

* 25enne studente di PhD



Orbita di trasferimento di Homann



Orbita ellittica bi-tangente

Da orbita “bassa” (LEO) a
orbita geostazionaria (GEO)
occorrono circa 5 ore

$$t_{tr} = \pi \sqrt{\frac{(r_1 + r_2)^3}{8\mu}}$$

Ariane V ESA

Usato per lanciare:

- XMM-Newton
- Rosetta



59 m
770 tonn
2 stadi

Carico utile:
16 tonn in LEO
6,8 tonn in GTO

2 razzi carburante
solido; secondo
stadio a idrazina +
 N_2O_4 o $\text{H}_2 + \text{O}_2$

Neptune

Uranus

Saturn

Jupiter

Mars

Earth

Venus

Mercury

Sun

Sole

Mercurio
Venere
Terra
Marte
Our Solar System

Giove

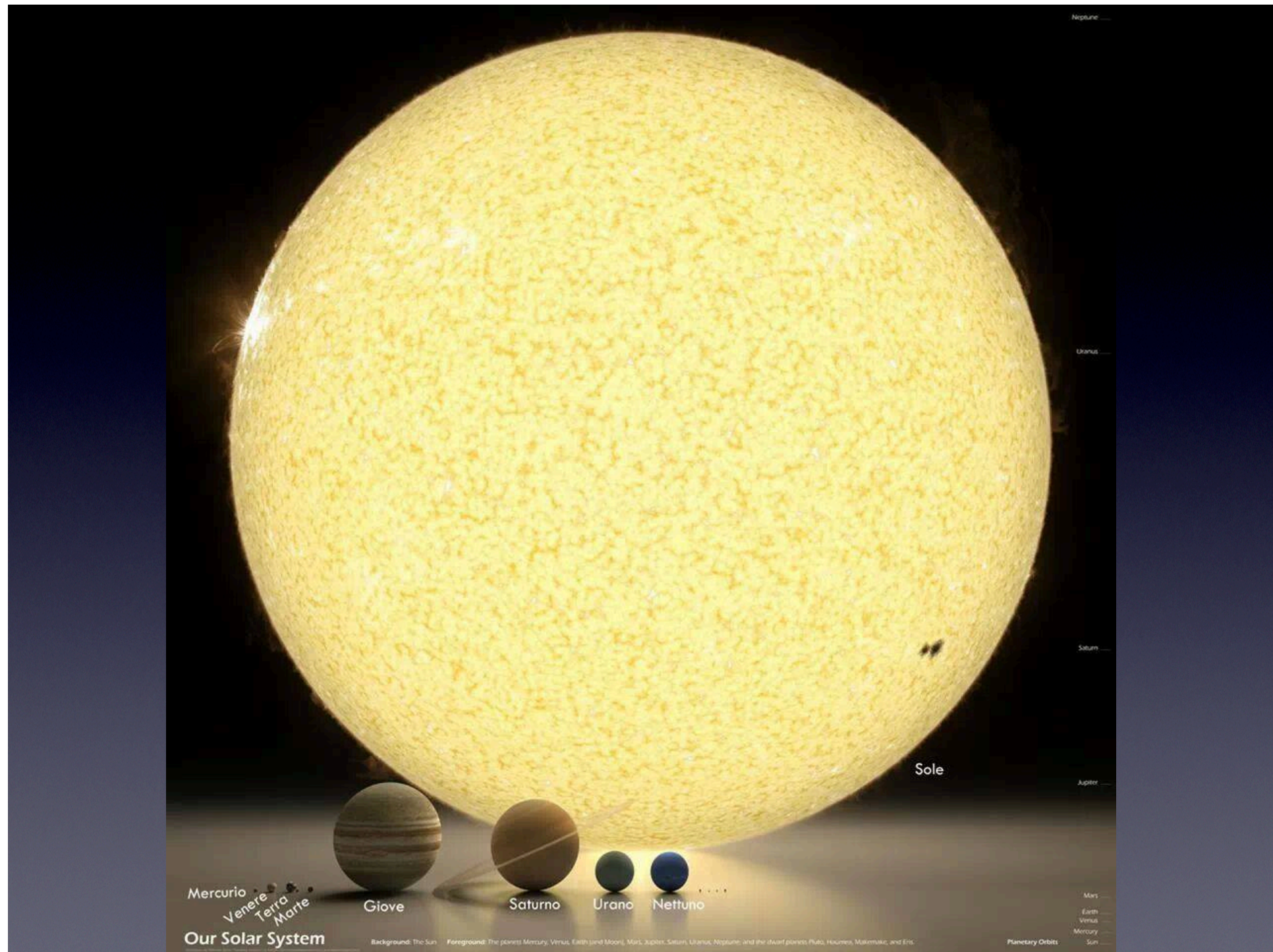
Saturno

Urano

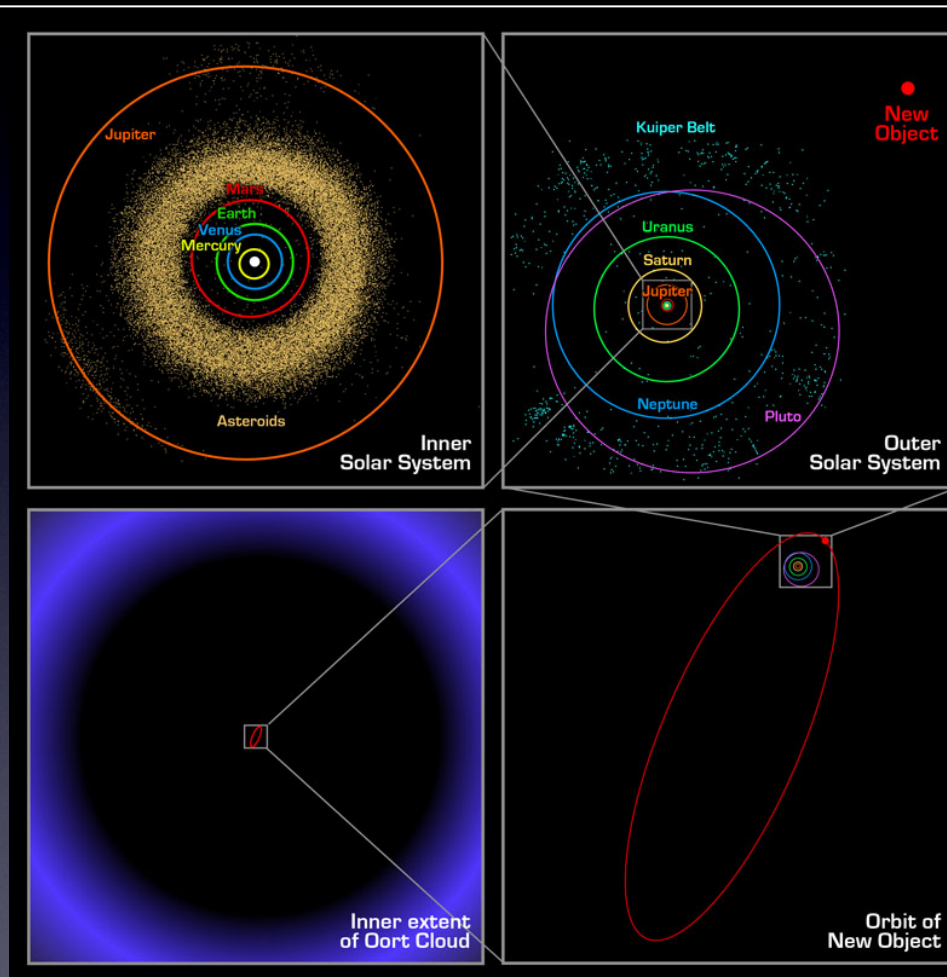
Nettuno

Background: The Sun Foreground: The planets Mercury, Venus, Earth (and Moon), Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptune, and the dwarf planets Pluto, Haumea, Makemake, and Eris.

Planetary Orbits



È un po' complicato...



Prime immagini da Marte

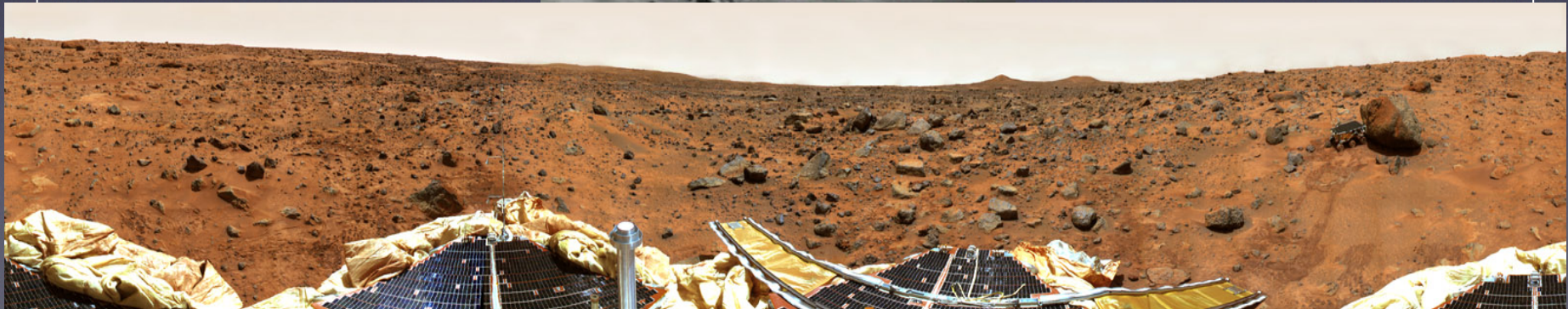
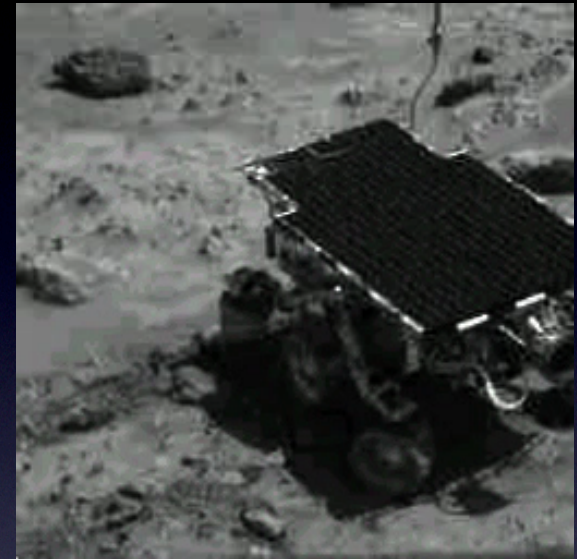
- 10 mesi di viaggio (20 ago 1975 – 19 giu 1976 in orbita);
“ammartato” non il 4 luglio come sperato ma il 20 luglio.



Prima immagine nitida trasmessa dalla superficie di Marte – rocce e lander Viking 1.

Marte: la nuova frontiera dei viaggi spaziali

Il rover a spasso su Marte



Futuro: EXOmars



SATURNO e la TERRA

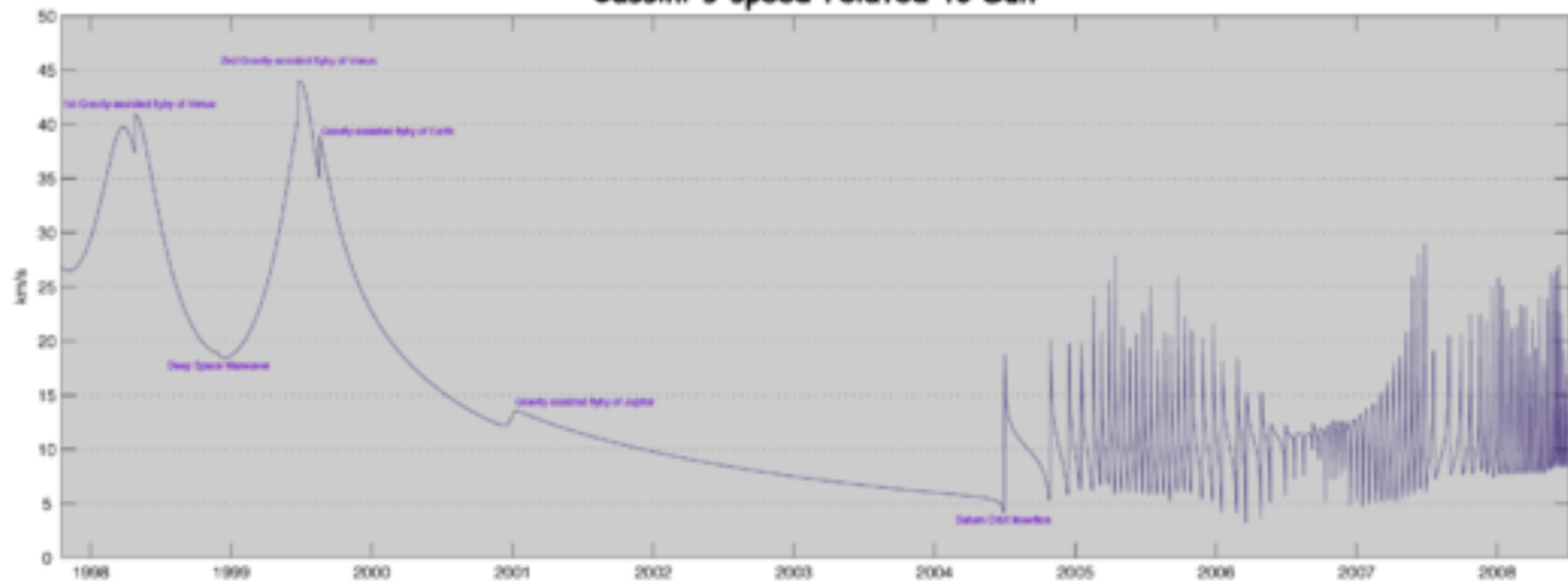
- “Controluce” della sonda CASSINI



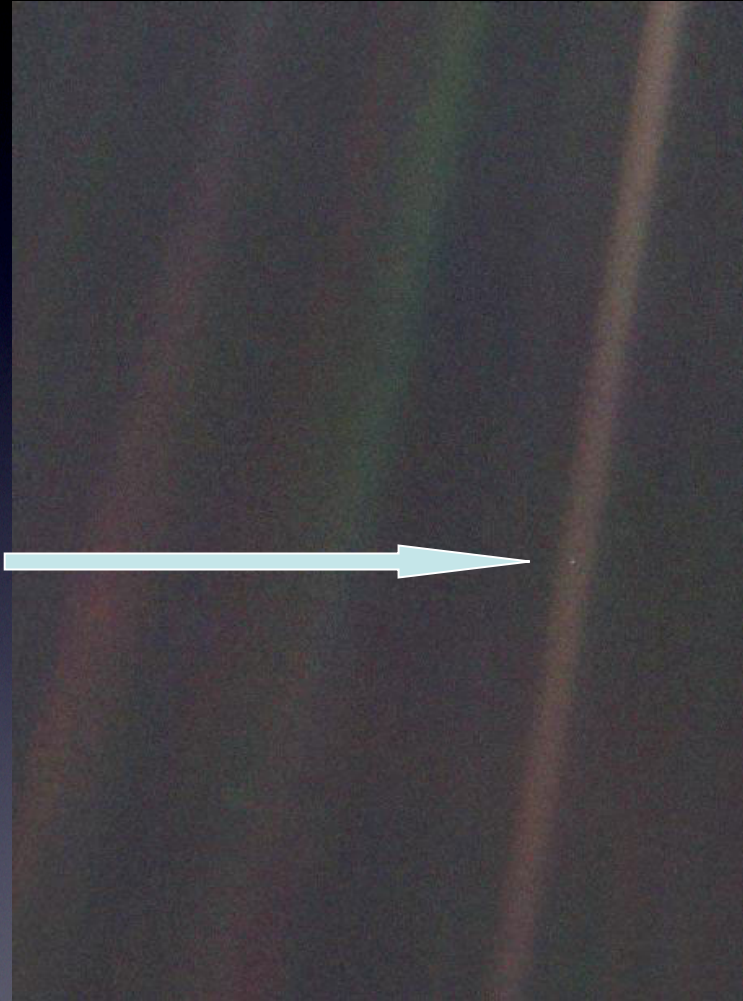
SATURNO e la TERRA



Cassini's speed related to Sun

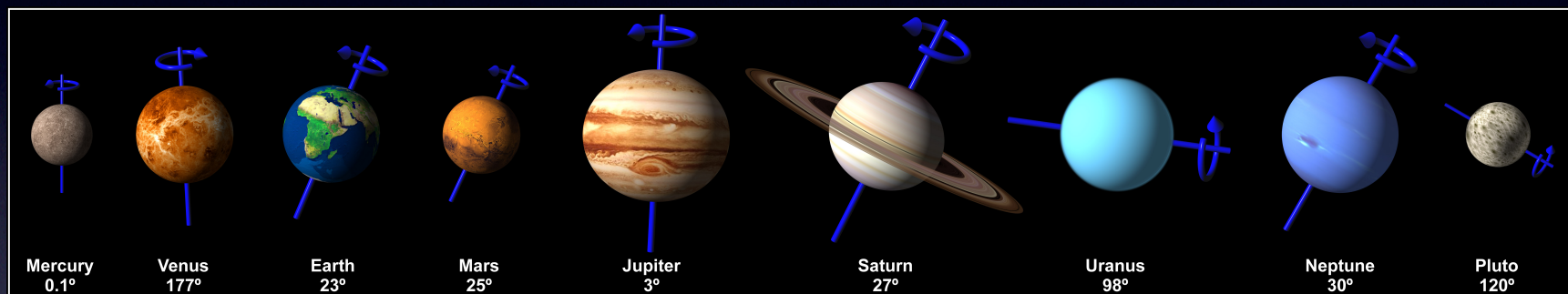


Dopo decenni di volo...



@ 6 Gkm
(Voyager 1)

Inclinazione dei pianeti

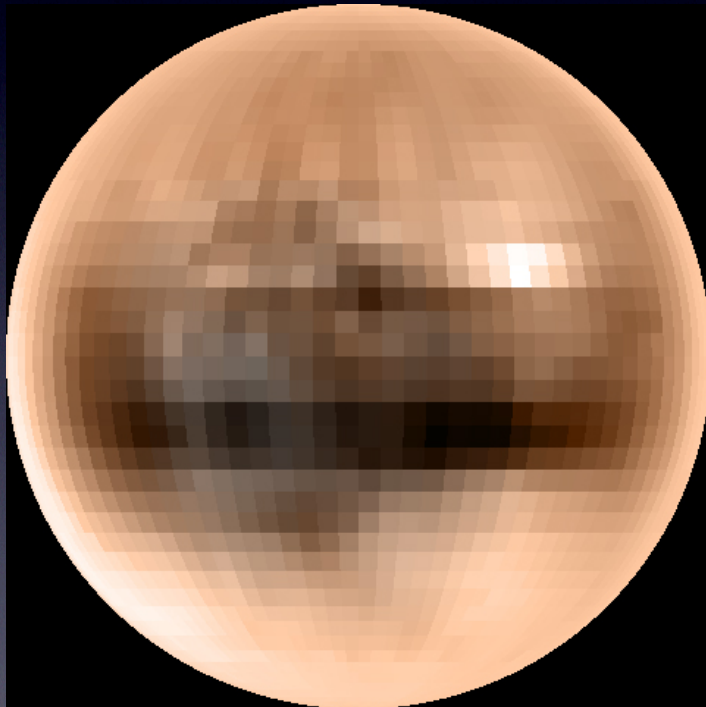


Obliquity of the Nine Planets

© Copyright 1999 by Calvin J. Hamilton

Plutone

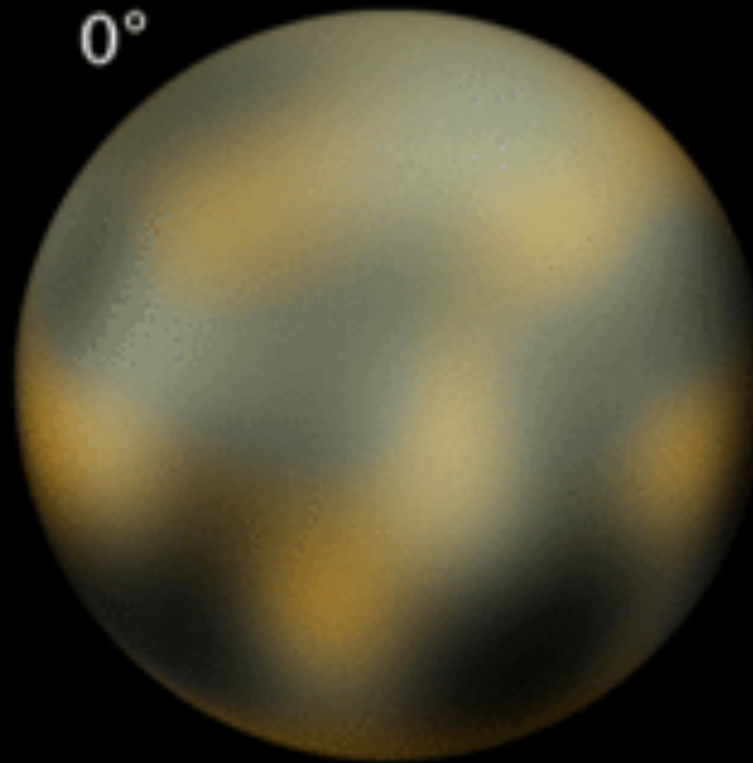
Scoperto nel 1930 da Clyde Tombaugh



Atmosfera di metano azoto monossido
di carbonio, probabilmente ghiacciati.
Dimensione: 1150 km raggio
Distanza dal sole: 40 volte quella della
Terra

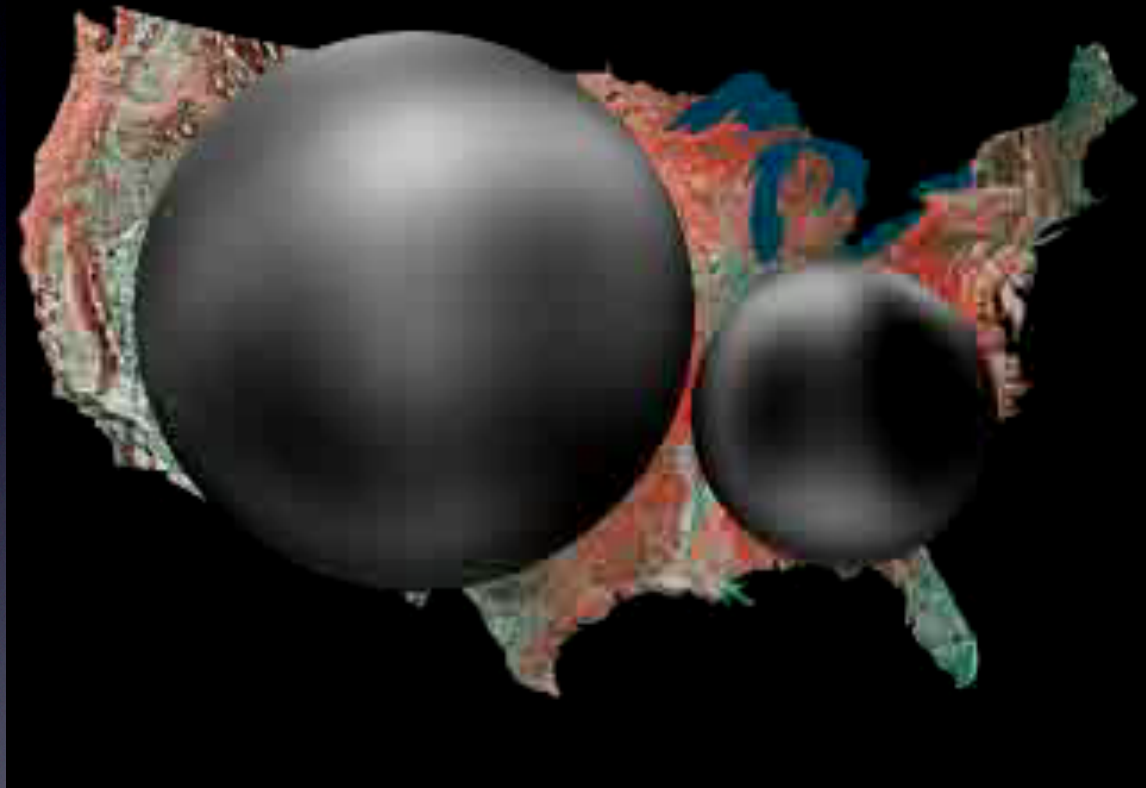
Plutone

- Quello con l'orbita più inclinata (17°) ed eccentrica (7,9 miliardi di km all'afelio, 4,5 miliardi di km al perielio)



Plutone e Caronte

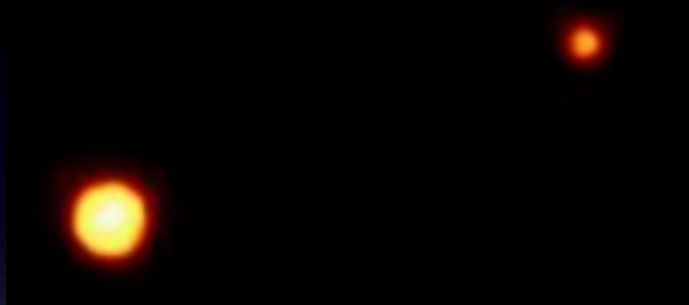
Plutone è più piccolo della Luna e Caronte è grande la metà del pianeta. Potrebbero provenire dalla fascia di asteroidi detta “di Kuiper”.



(il dio degli inferi e il traghettatore di anime del fiume Stige)

Plutone non è solo

Plutone e Caronte



Altri corpi di simile dimensione

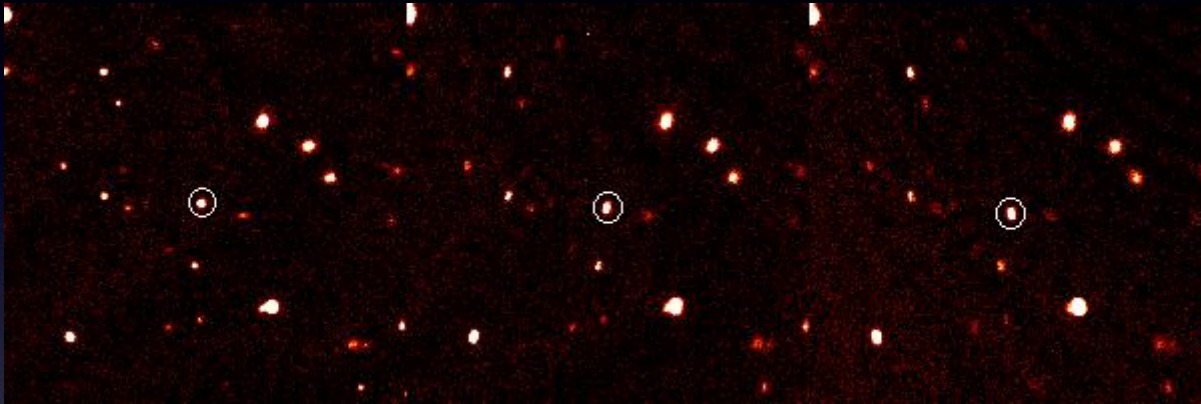


2003 UB₃₁₃
inizialmente
chiamato Xena

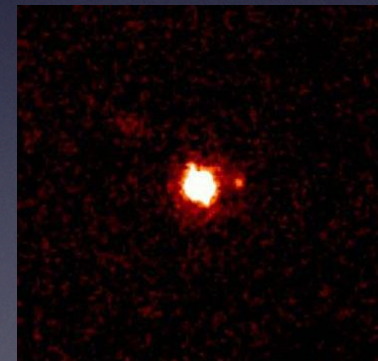


Eris

Scoperto nel 2003 da Mike Brown



2003 UB₃₁₃ ora noto come ERIS (dea della discordia) è più grande di Plutone. La sua luna è chiamata Disnomia (figlia di Eris, Dy per gli americani)



L'Unione Astronomica Internazionale



La missione dell' IAU è di promuovere e salvaguardare l'Astronomia come scienza in tutti i suoi aspetti, per mezzo della cooperazione internazionale.

È l'autorità riconosciuta per assegnare i nomi a stelle, pianeti, asteroidi e altri corpi celesti.

L'UAI si suddivide in vari gruppi di lavoro, specializzati nei diversi campi di cui si occupa l'associazione; ad esempio esiste uno Working Group for Planetary System Nomenclature (WGPSN, Gruppo di Lavoro per la Nomenclatura dei Sistemi Planetari). L'UAI è responsabile del sistema di Circolari UAI, che allertano gli astronomi sui fenomeni improvvisi, anche se non lo gestisce direttamente.

I sette saggi



Membri del Comitato per la Definizione di Pianeta

Dr. Richard Binzel Professore di Scienze della Terra Atmosferiche e Planetarie al MIT. Specialista di asteroide è anche uno scrittore scientifico e un educatore.

Dr. André Brahic Professore all'Università Denis Diderot (Paris 7). Ha contribuito alla scoperta degli anelli di Nettuno. Scrive libri di divulgazione.

Dr. Owen Gingerich [chair] Professore Emerito di Astronomia e Storia della Scienza all' Harvard-Smithsonian C.A. È uno storico dell' astronomia e divulgatore apprezzato.

Dava Sobel : autrice dei libri Longitude, I Pianeti, la Figlia di Galileo. Ha una buona cultura della storia della scienza.

Dr. Junichi Watanabe Professore Associato e Direttore della divisione di Outreach a NOAJ. Studia il sistema solare; ha molte connessioni con il pubblico, scuole e giornalisti.

Dr. Iwan Williams, della Queen Mary University di Londra. È un esperto delle proprietà fisiche e dinamiche dei corpi del sistema solare. È il presidente della Div. III dell' IAU (2006)

Dr Catherine Cesarsky, Direttore Generale dell' ESO e President-Elect dell' IAU. Ha espresso il punto di vista dell' esecutivo dell' IAU così come dell' astronomo in generale.



L'Unione Astronomica Internazionale



XXVI GA a Praga
Agosto 2006



L'Unione Astronomica Internazionale

Un pianeta è definito come un corpo celeste che orbiti attorno ad una stella (ma che non produca energia tramite fusione nucleare, ovvero non sia esso stesso una stella) la cui massa sia sufficiente a conferirgli una forma sferoidale (equilibrio idrostatico = GRAVITÀ) e la cui fascia orbitale sia priva di eventuali corpi di dimensioni confrontabili o superiori (DINAMICA).

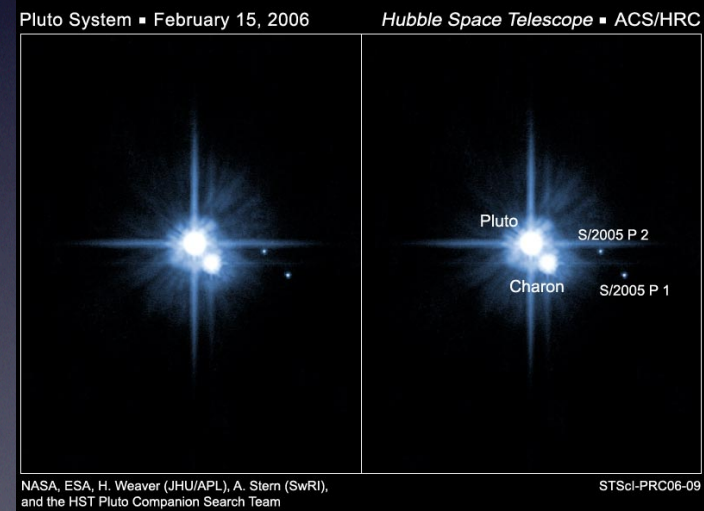
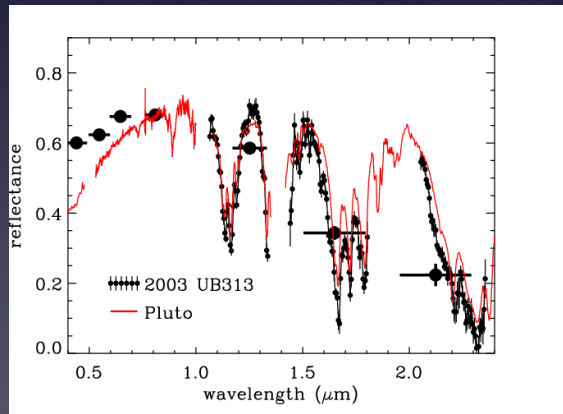


Un pianeta nano è un corpo celeste di tipo planetario orbitante attorno ad una stella e caratterizzato da una massa sufficiente a conferirgli una forma sferoidale, ma che non è stato in grado di "ripulire" la propria fascia orbitale da altri oggetti di dimensioni confrontabili.

Plutone è un pianeta?

Plutone è dunque un “pianeta-nano”.

È comunque il capostipite di una classe di oggetti Trans-Nettuniani (plutoidi? 2008 ma non usato)

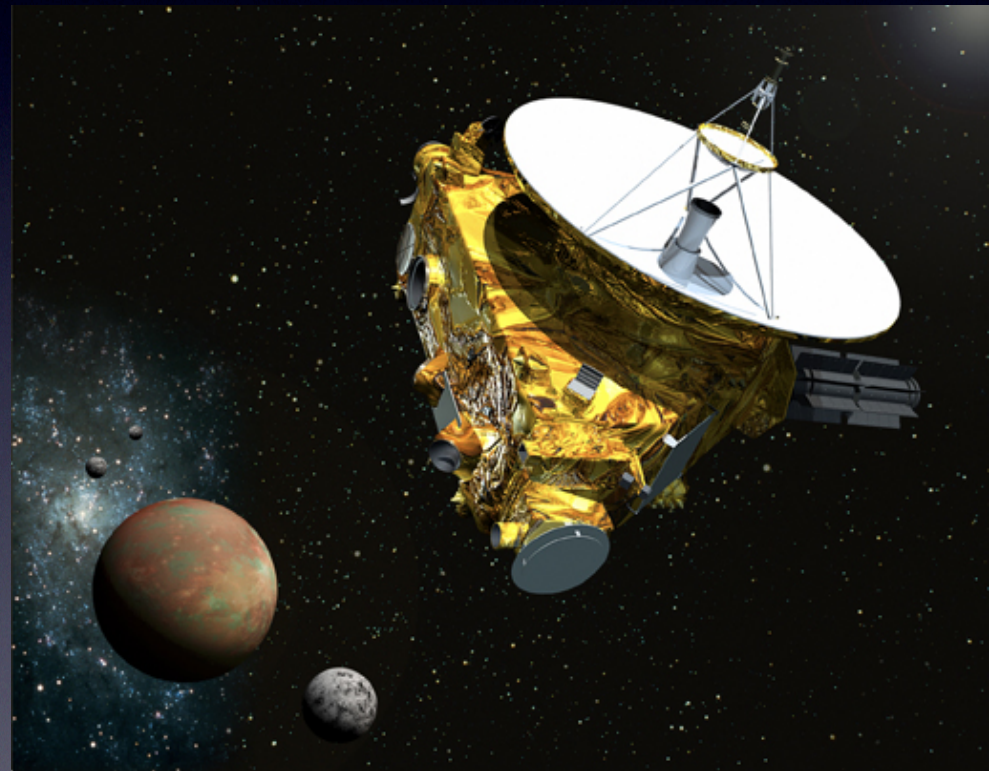


Plutone è un pianeta?

La missione New Horizons è partita nel Gennaio del 2006 per Plutone.

Arriverà circa nel 2015 dopo essere passata vicino a Giove e altri corpi

Missione al pianeta
più distante del
Sistema Solare

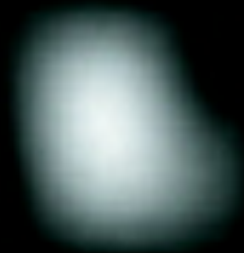




Geologia e morfologia di Plutone e Caronte;
composizione chimica delle superfici;
atmosfera Plutone

$V=16,26 \text{ km/s}$

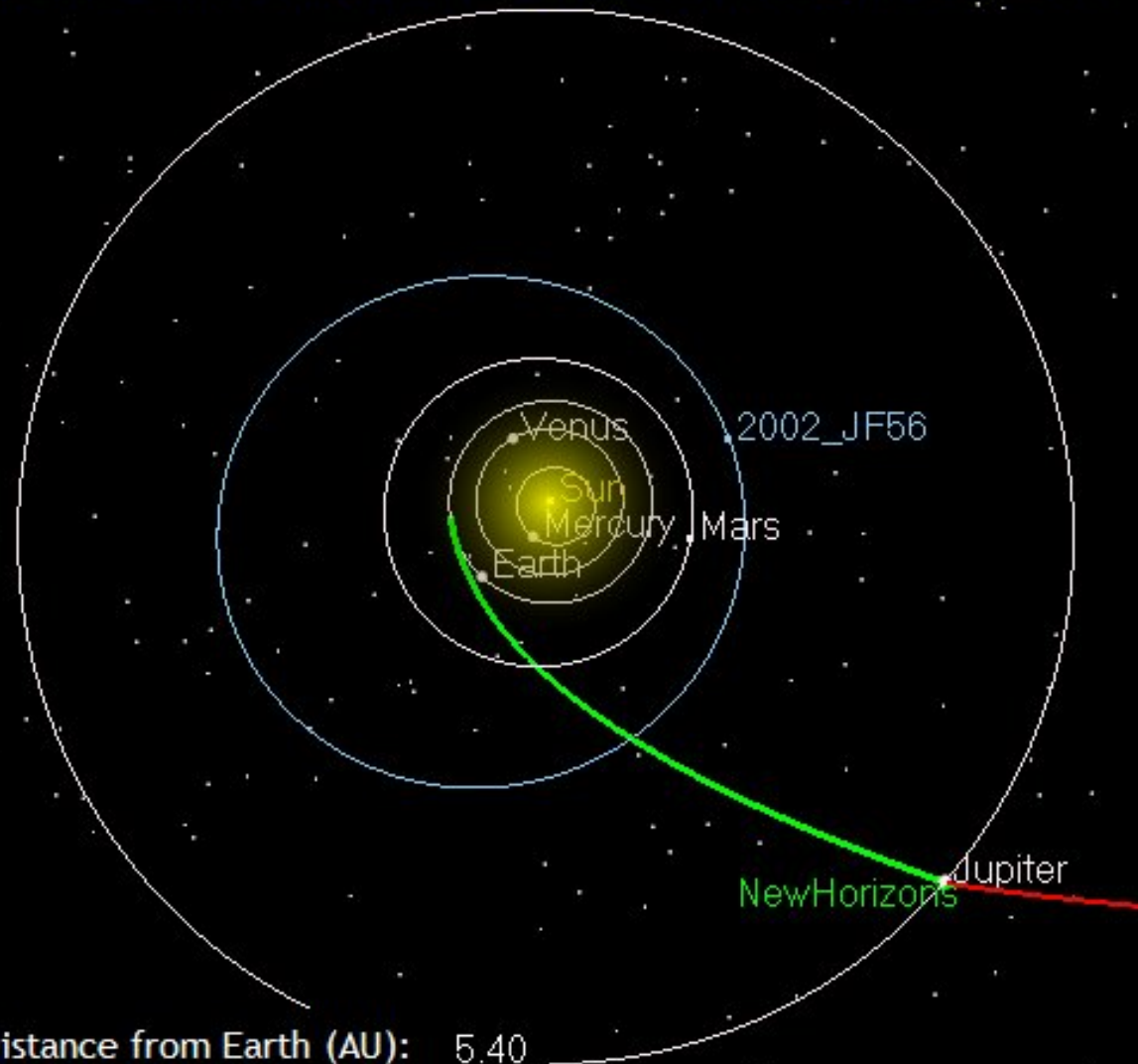
Fly-by 132524 APL



Asteroidi “pietrosi”: silicati (nichel, ferro, magnesio) circa 2,5 km a 2-4 AU

New Horizons Passing Jupiter

Distance from Sun (AU): 5.35 Heliocentric Velocity (km/s): 22.85



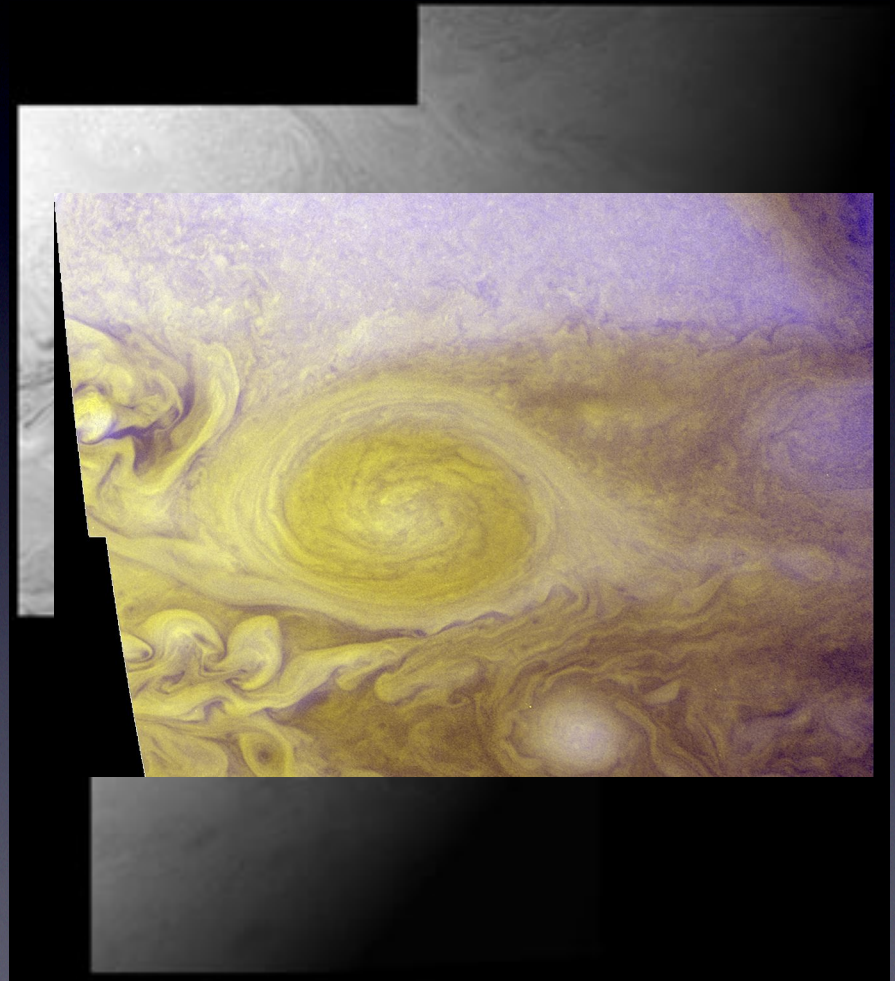
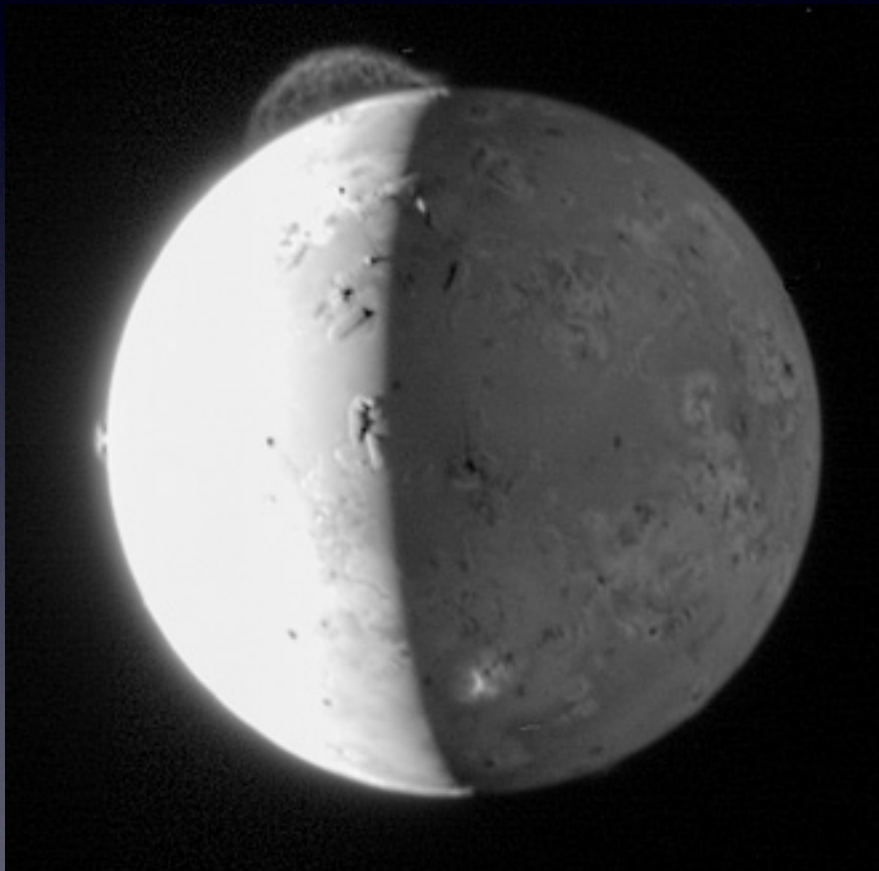
$V = 16.26$
+ 4 km/s

Distance from Earth (AU): 5.40
Distance from Jupiter (AU): 0.02
Distance from Pluto (AU): 26.32
28 Feb 2007 05:43:40 UTC



Passaggio da Giove

- Verifica strumenti





Viaggio in ibernazione

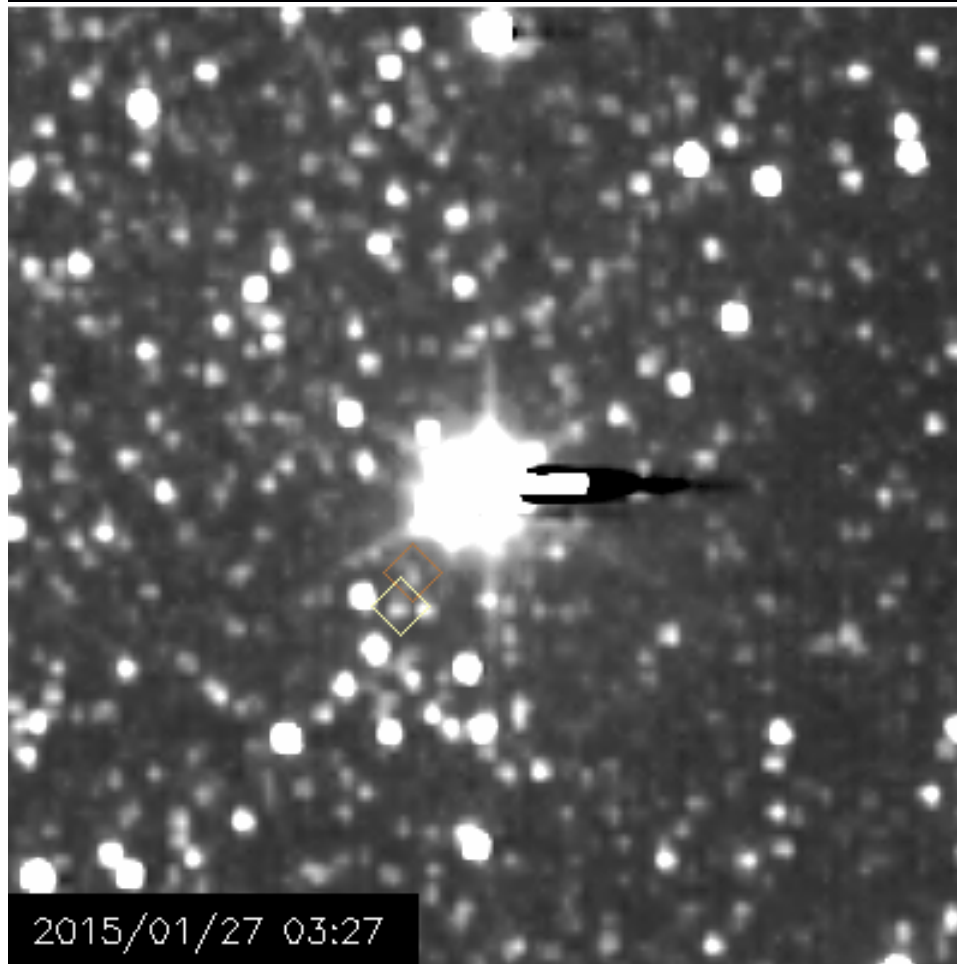
- Sistemi ridondanti e strumenti spenti – accesi per uno/due mesi all'anno per verifiche (Jun 2007 – Dic 2015) -> per evitare surriscaldamenti
- Passa le orbite di Saturno e Urano
- Scoperte due nuove lune: Cerbero e Stige -> Troppi detriti?
- 1 – 3 luglio 2013 prime foto di Caronte

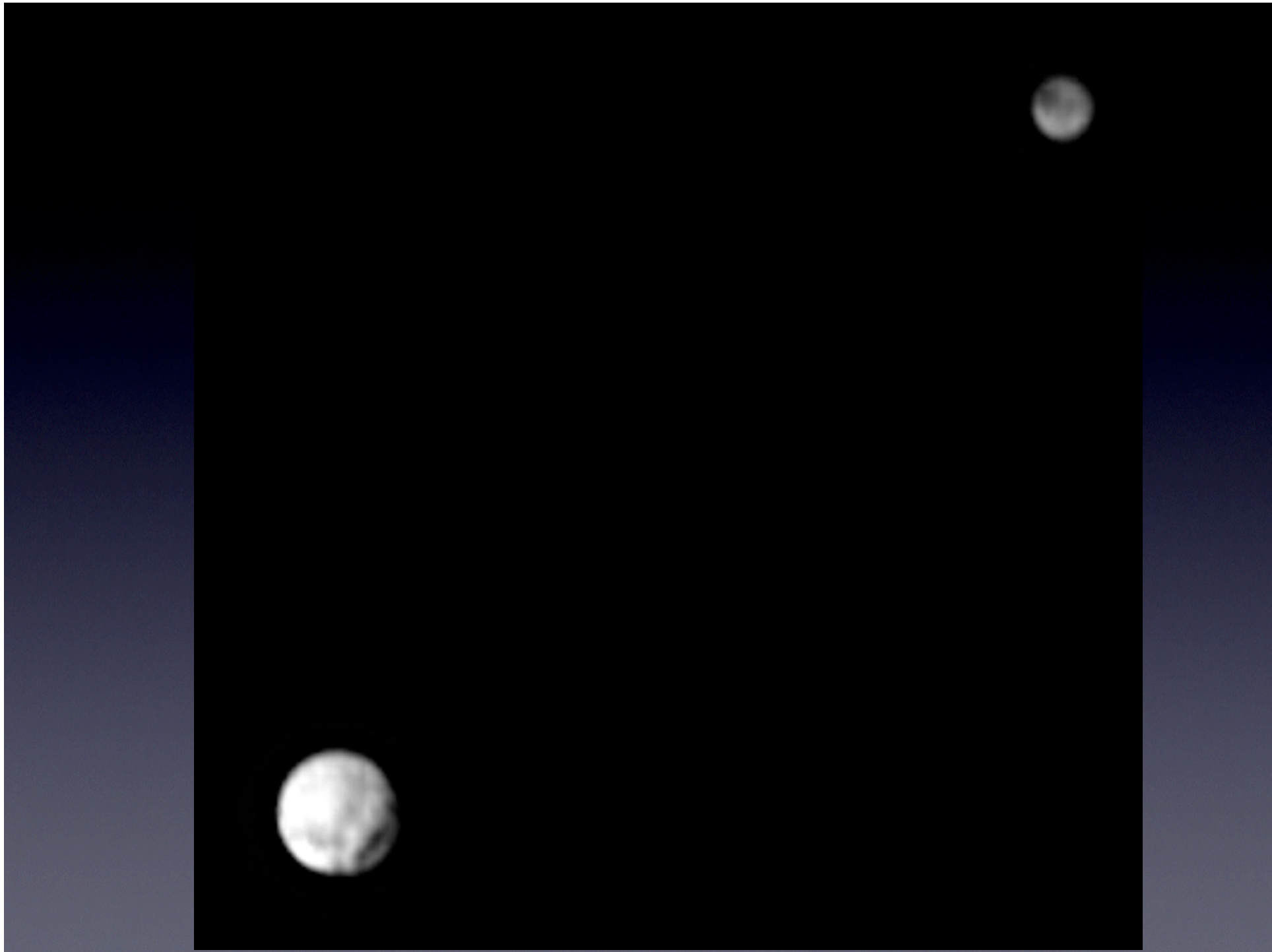


Osservazioni con ALMA - 2014



Avvicinamento a Plutone





Passaggio sopra a Plutone

- Un giorno di silenzio radio: il satellite è girato verso il pianeta per raccogliere la maggior quantità possibile di dati
- Dopo il passaggio a 13691 km dal centro di Plutone (circa 12500 km dalla superficie) le immagini vengono inviate verso la Terra – prima le immagini compresse, poi quelle a risoluzione completa. Le prime immagini NON COMPRESSE inizio Dicembre 2015.
- New Horizon continua poi il suo viaggio verso le zone esterne del Sistema Solare (e l'oggetto 2014 MU₆₉ della fascia di Kuiper)

Sorgente di energia

- Due metodi per generare energia: pannelli solari (HST) o generatore termoelettrico a radioisotopi – produzione di energia elettrica (termocoppie).
- Plutonio-238 (Pu-238 o ^{238}Pu) è un isotopo radioattivo del Plutonio, con vita media di 87,7 anni. Decade in Uranio-238 e poi – serie del radio – fino a Piombo-206. Sintetizzato nel 1941 da Glenn Seaborg bombardando Uranio-238 con deuteroni (Nettunio-238 che decade in Pu238)
- 1 grammo genera 0.5 W di potenza termica
- Prodotti 225 W – 190 W richiesti

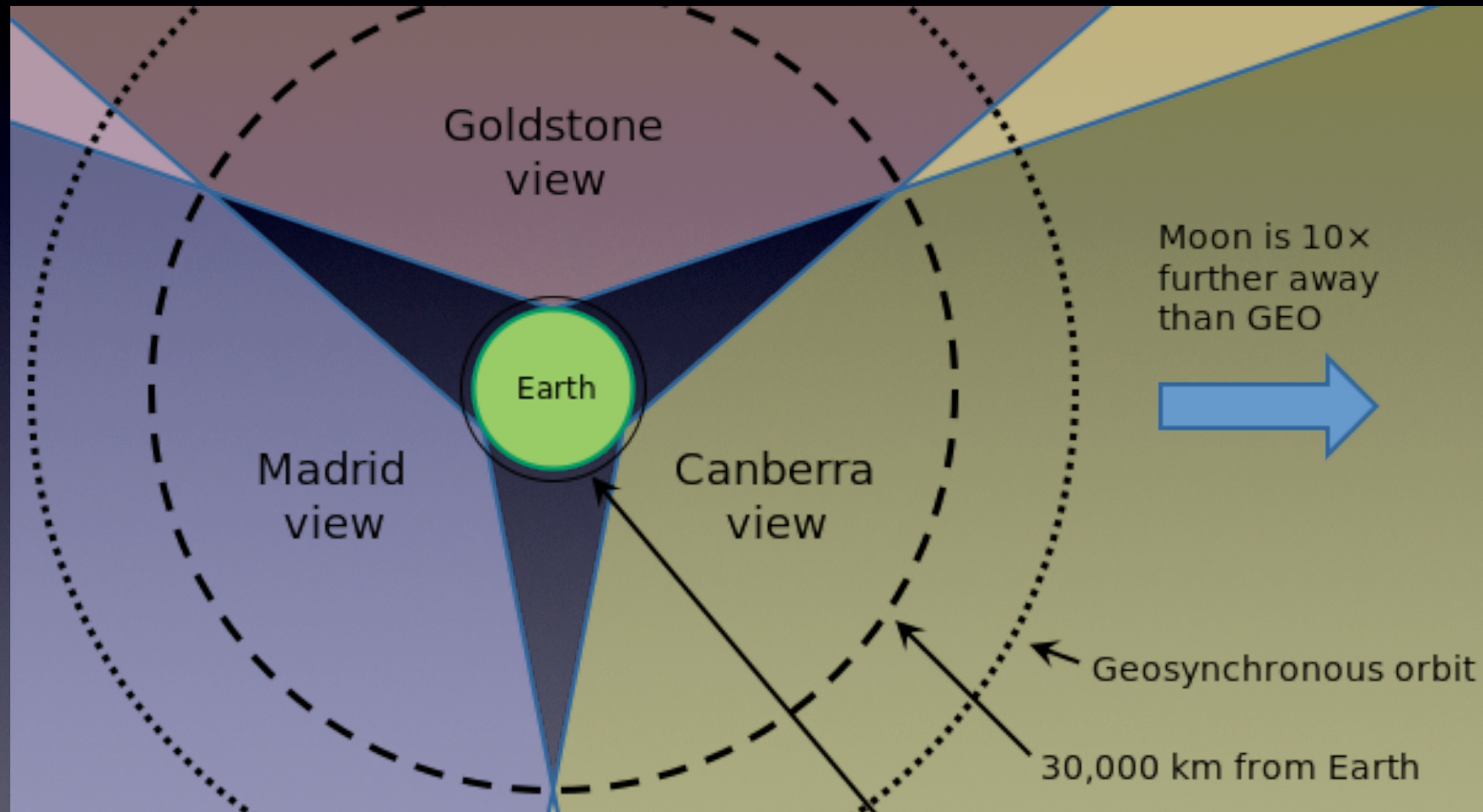




Come mandare i dati a Terra?

- Potenza a bordo 190 W per tutti i sistemi elettrici/onici
- Distanza: alla distanza di Giove ~ 40 kbit/s (da soli 807 milioni di km)
alla distanza di Plutone ~ 800 bit/s (da 5,2 miliardi di km!!)
- Attraverso il DSN – antenna ad alto guadagno
- Prima le immagini compresse (più veloce)
- Stanno arrivando le prime immagini “complete”
- [idrazina per manovrare]

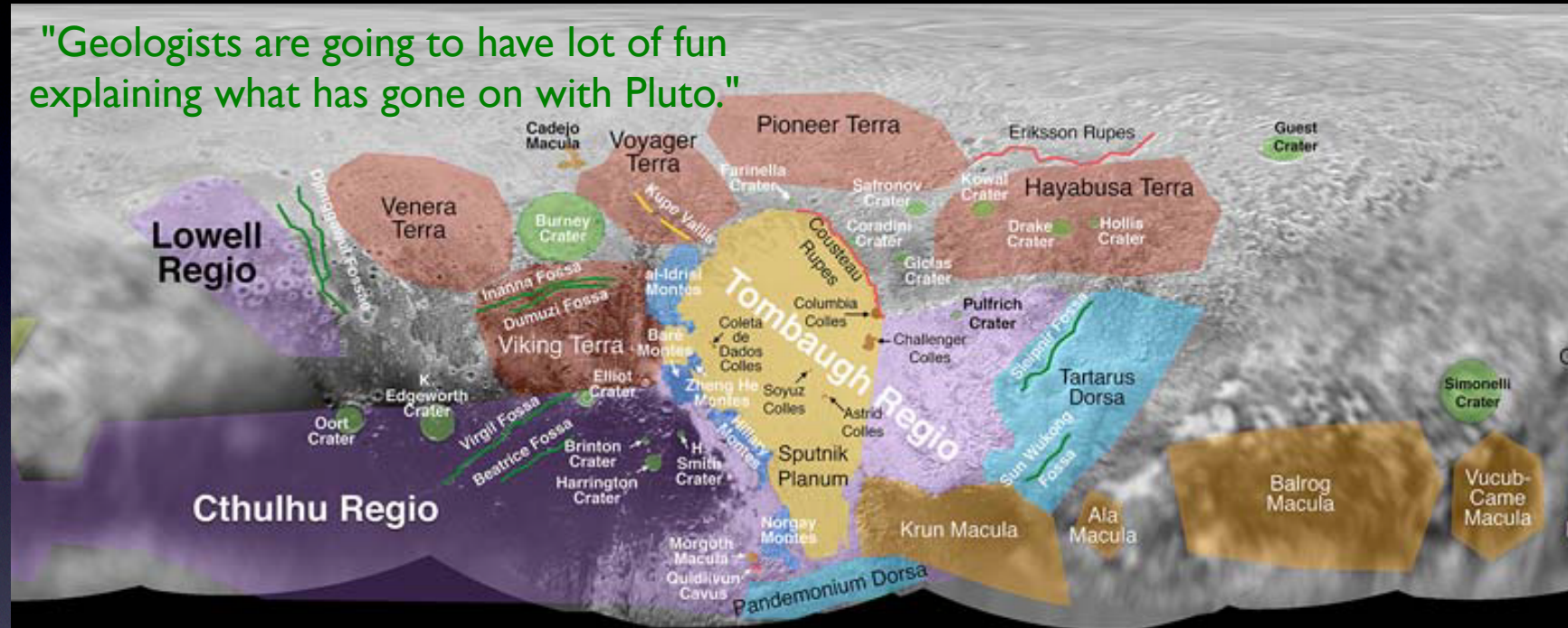
Deep Space Network



I primi risultati

Geologia e morfologia di Plutone e Caronte;

"Geologists are going to have lot of fun explaining what has gone on with Pluto."



Features on Pluto

Il terreno ripido richiede la presenza di materiali rigidi: ghiaccio d'acqua/roccia.

I ghiacci di N_2 , CO , CH_4 sono dunque solo superficiali?

In numeri

Nome	Raggio (km)	Densità	Periodo
Plutone	1187+/- 4	1,9 g/cm ³	6,4 giorni
Caronte	606 +/- 3	1,7	6,4
Nix	54x41x36		24,9
Hydra	43x33		38,2
Styx	1,8-9,8		20,2
Kerberos	2,6-14		32,2

Plutone è sferico all'1%, Caronte pure..

Filtri:
Blu,
Rosso
Infrarosso
(Ralph
LORRI)

2,2 km/pix
5 km/pix



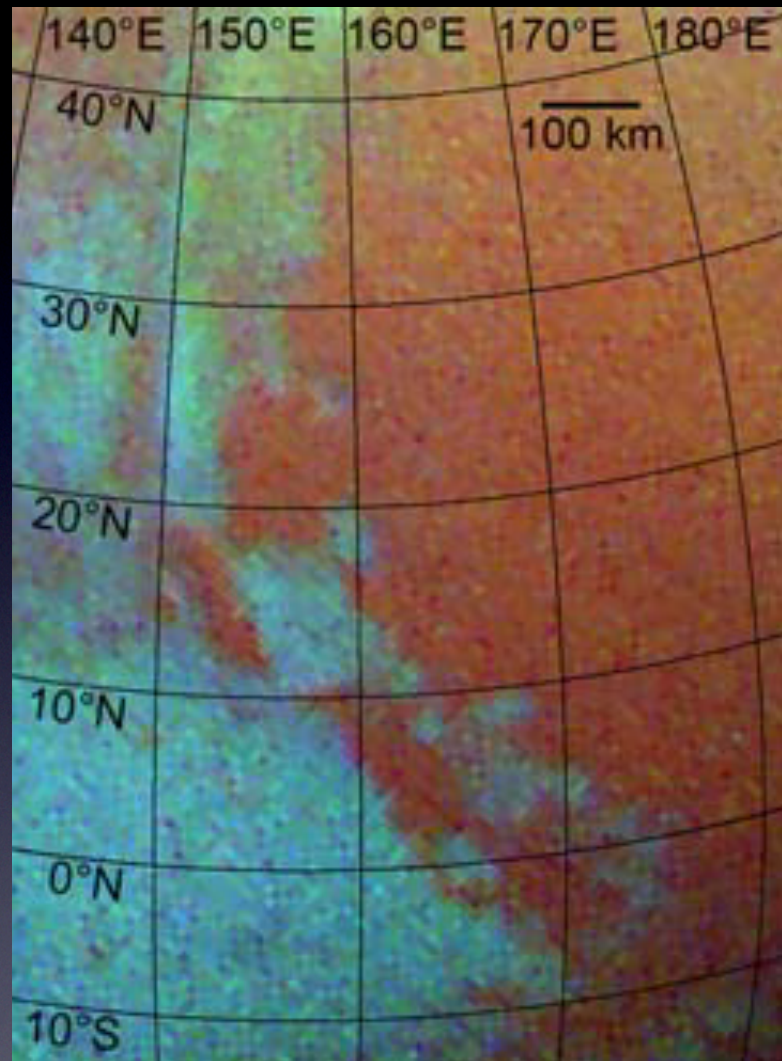
Visibili: crateri – regioni più chiare e più scure – strutture tettoniche – montagne fino a 3000 m!

https://www.youtube.com/watch?v=ydU-YrG_INk

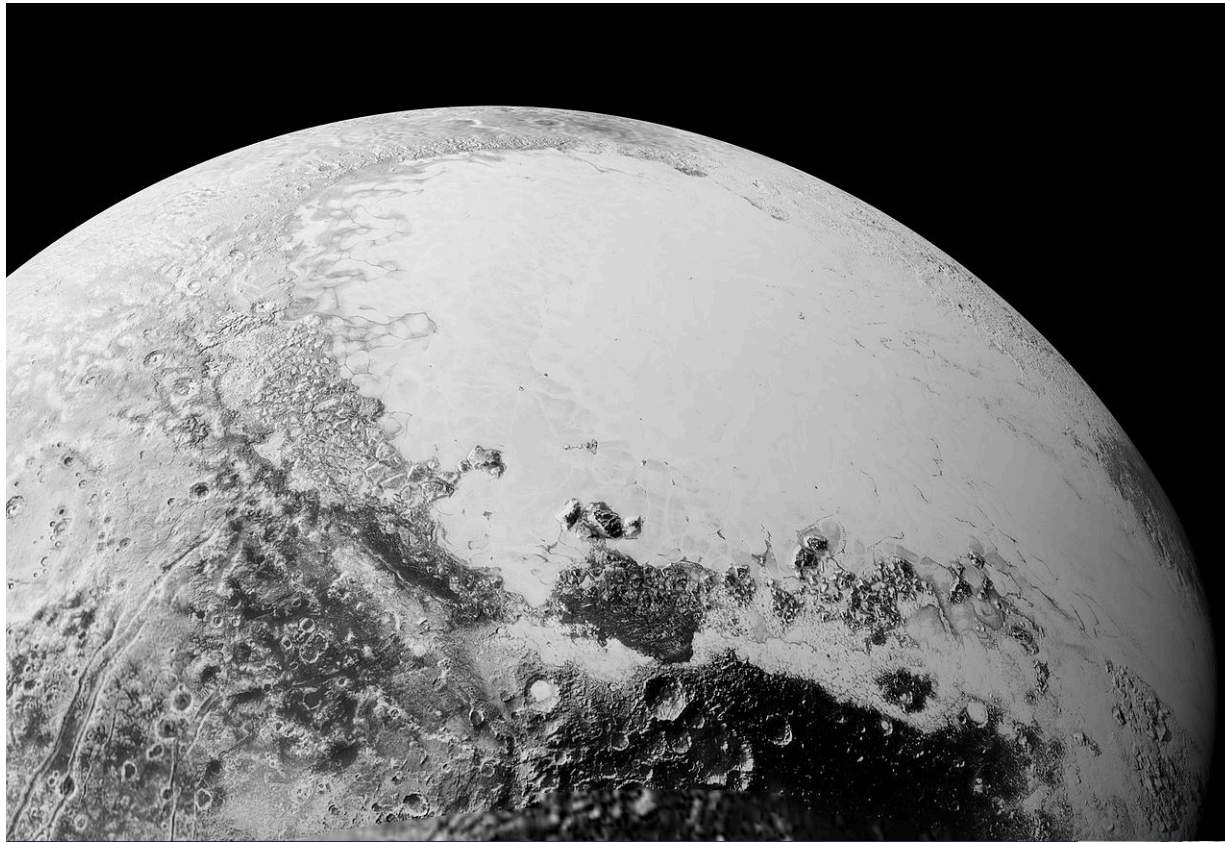
montagne fino a 3000 m!

Metano ghiacciato:
in assorbimento
Rosso

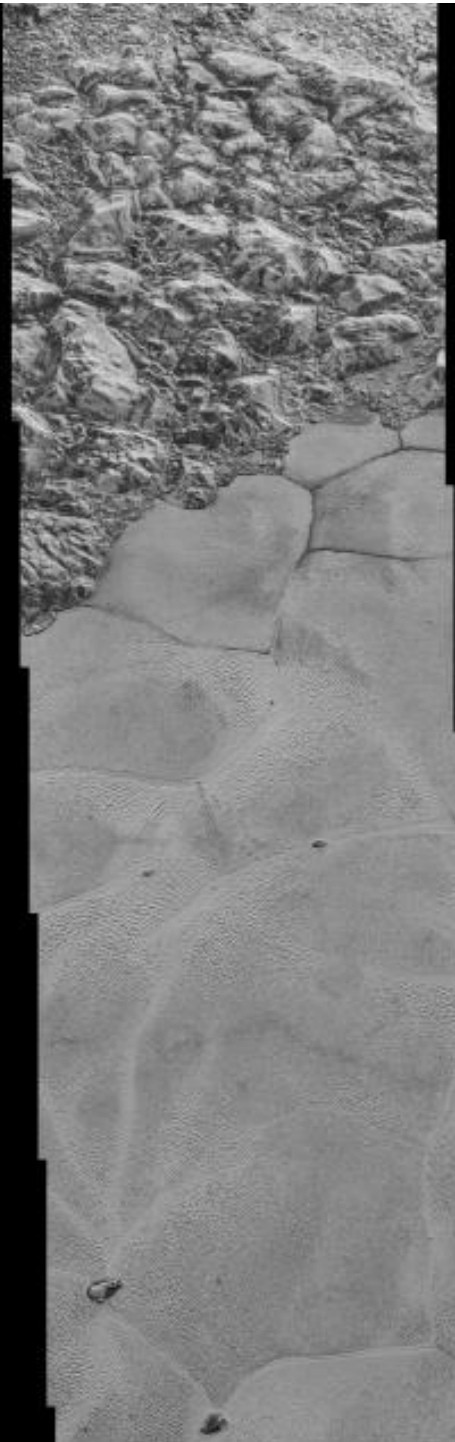
Immagini vicino IR



composizione chimica delle superfici;



Ghiaccio?



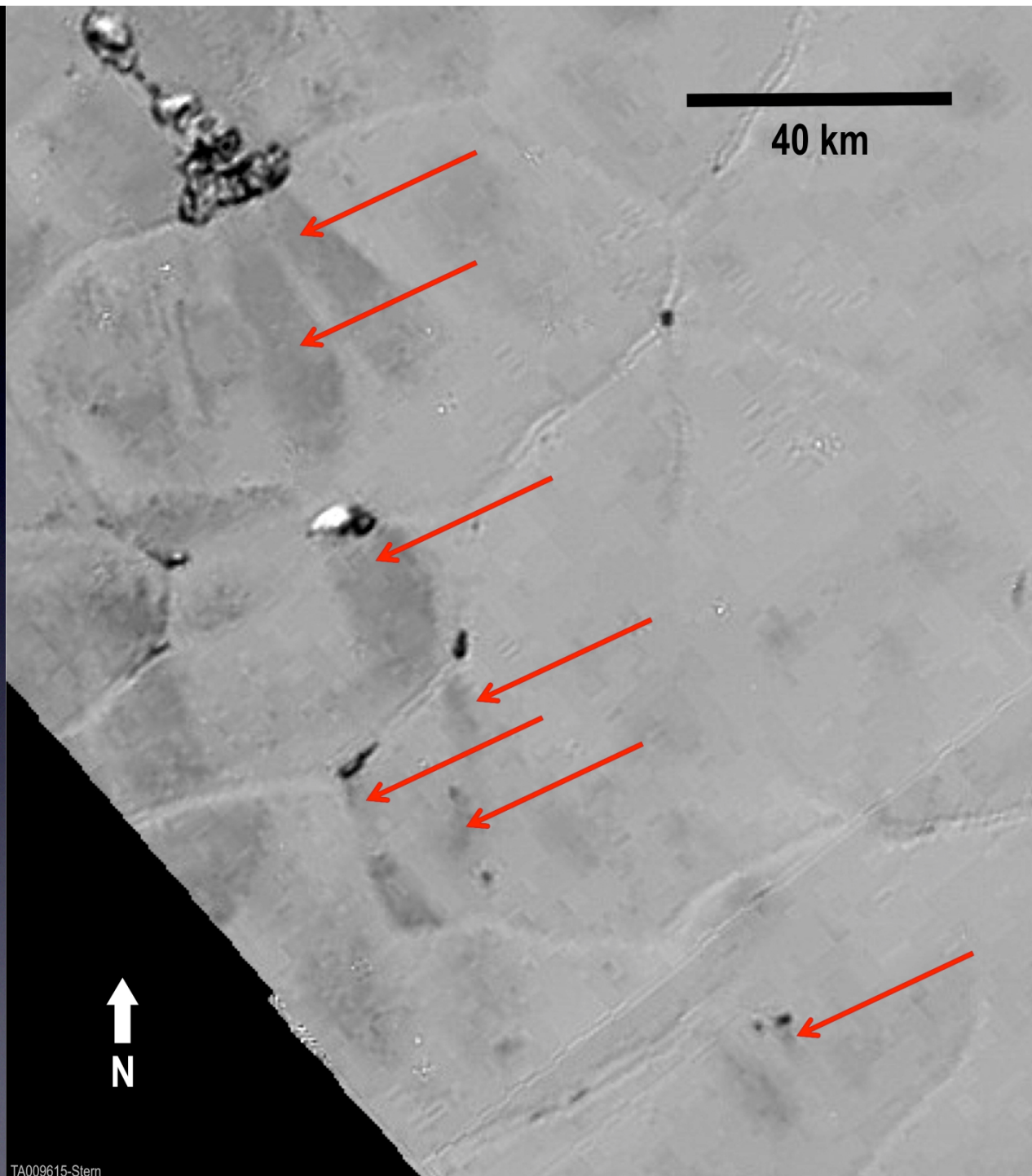
PROCESSI GEOMORFICI ATTIVI

Erosione superficiale (come Titano)

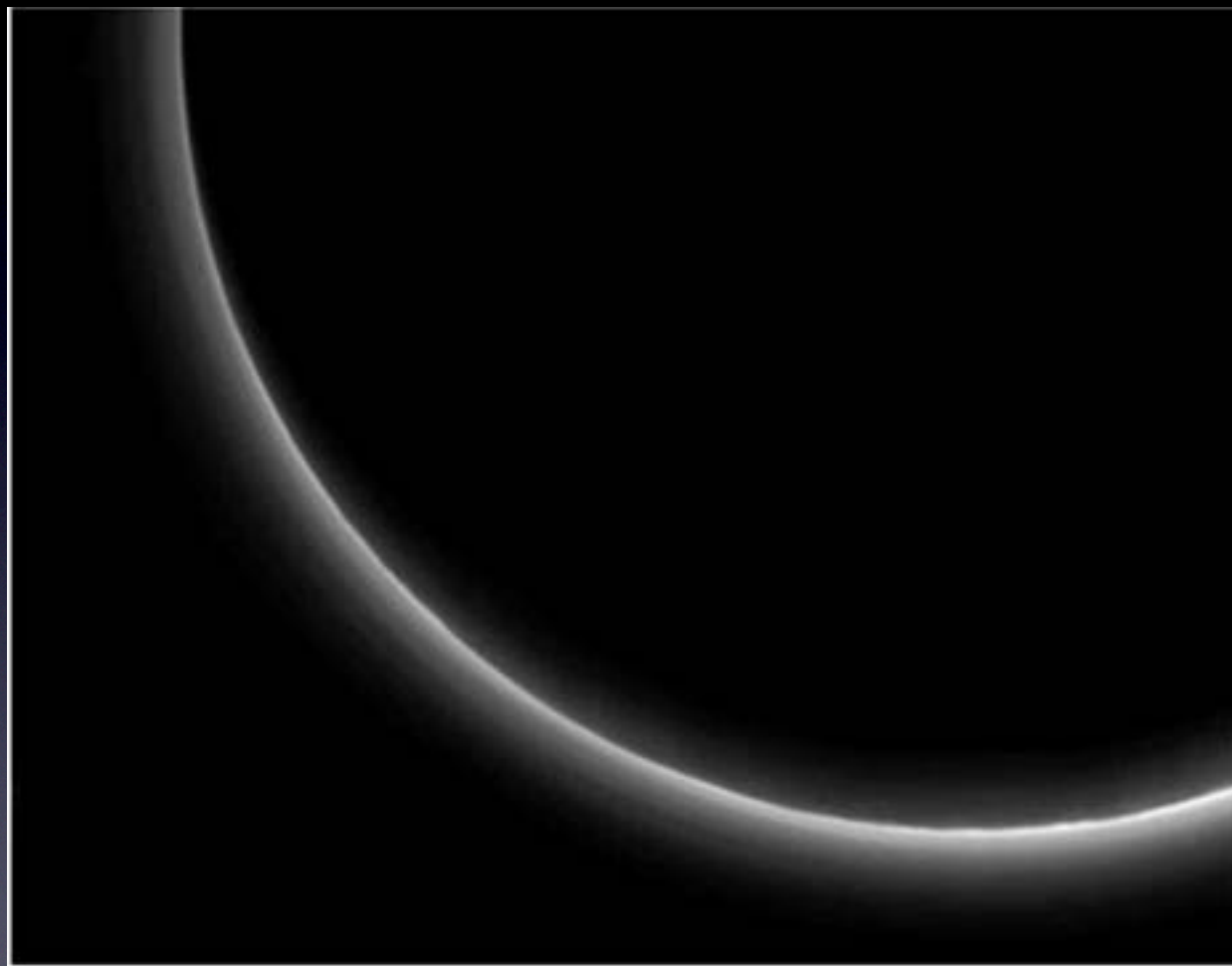
Rilassamento dei crateri (Encelado)

Movimenti tettonici (Europa)

Maree ? Non masse grandi: come?

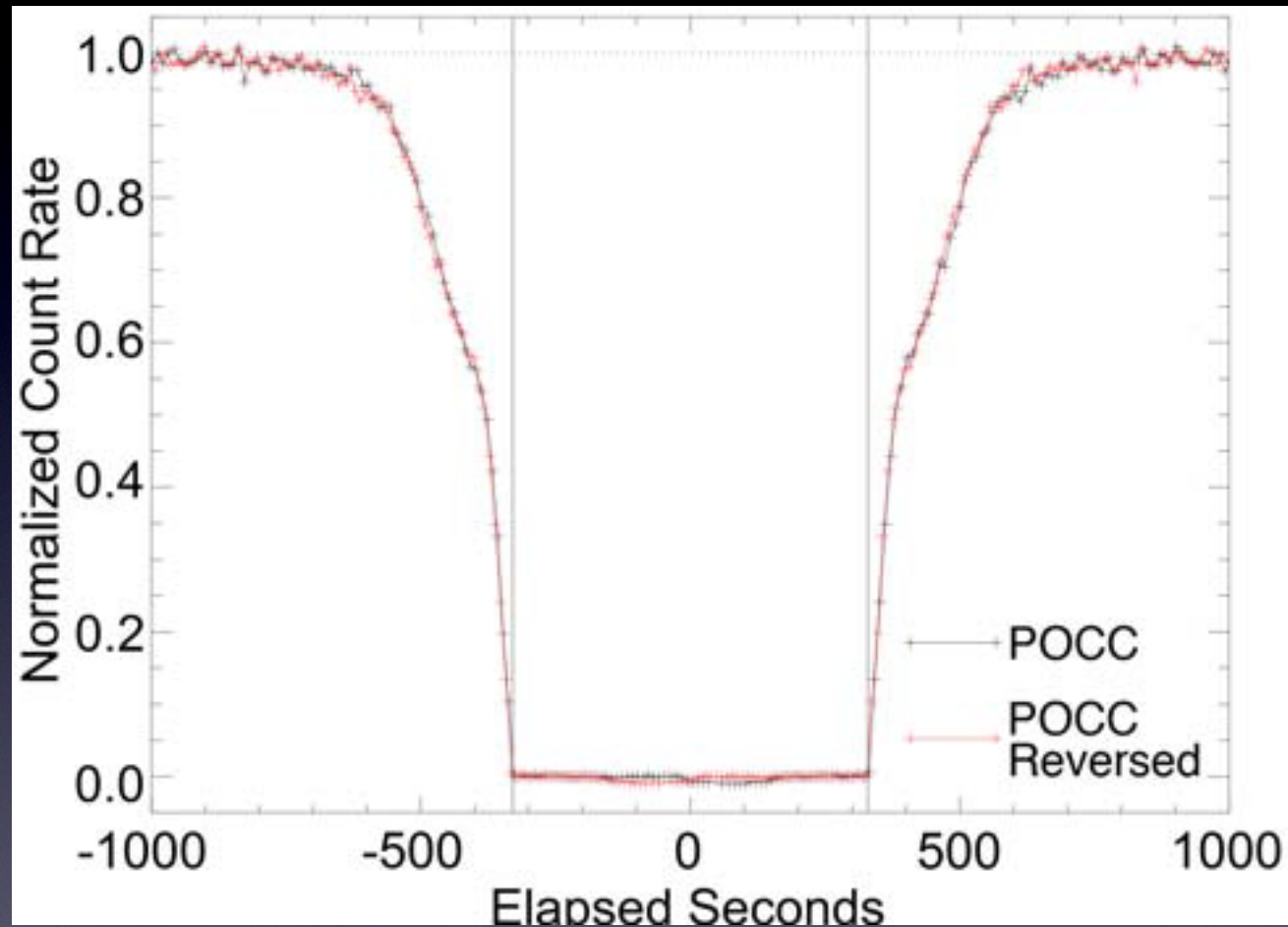


TA009615-Stern

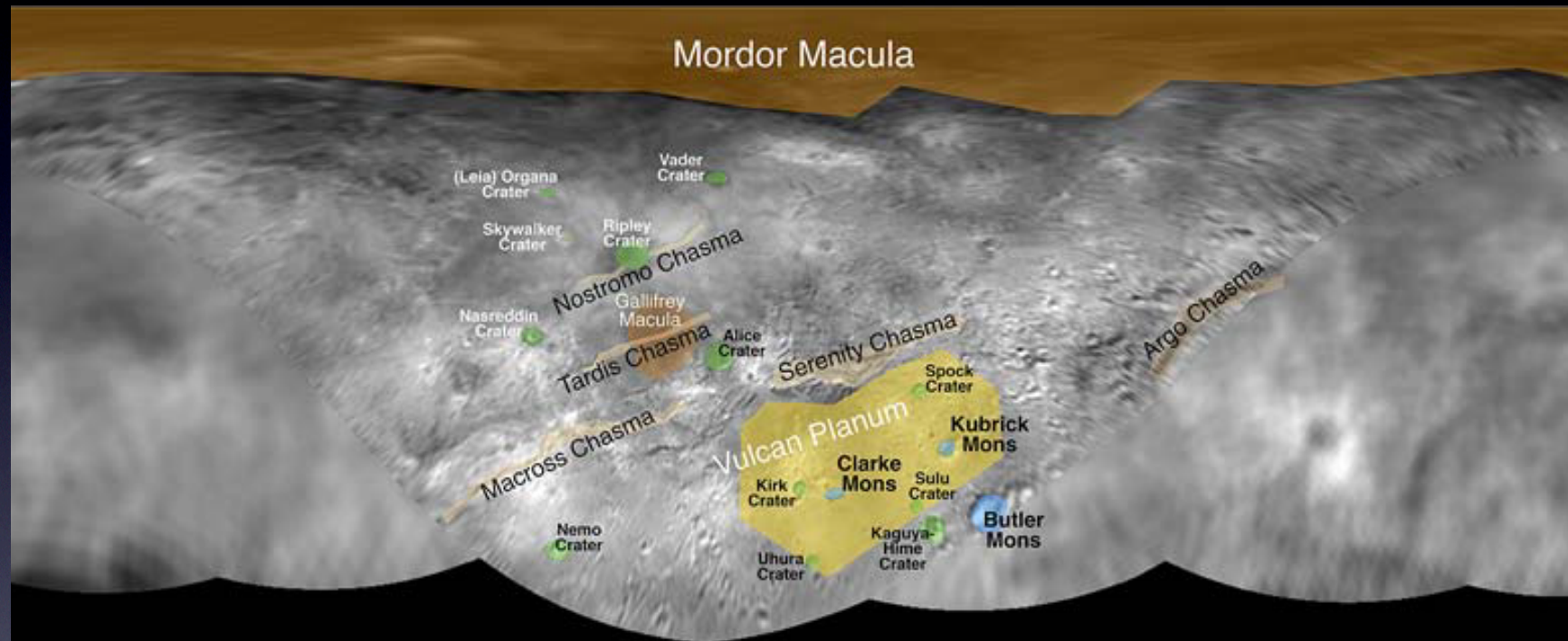


Atmosfera Plutone

Assorbimento dovuto a: N_2 a 1670 km; CH_4 a 960 km; C_2H_x a 420 km; vapore 150 km



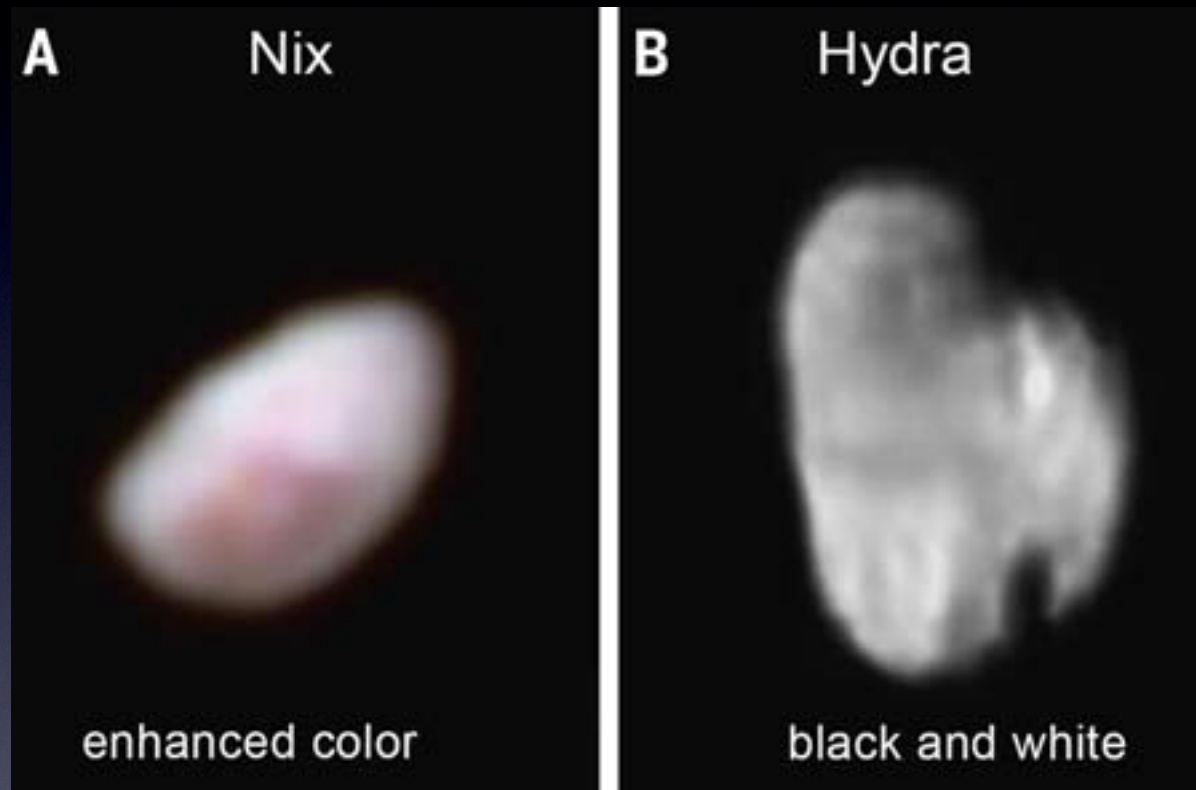
Caronte



Features on Charon

Composizione mista – composti volatili; non sono ancora stati inviati spettri



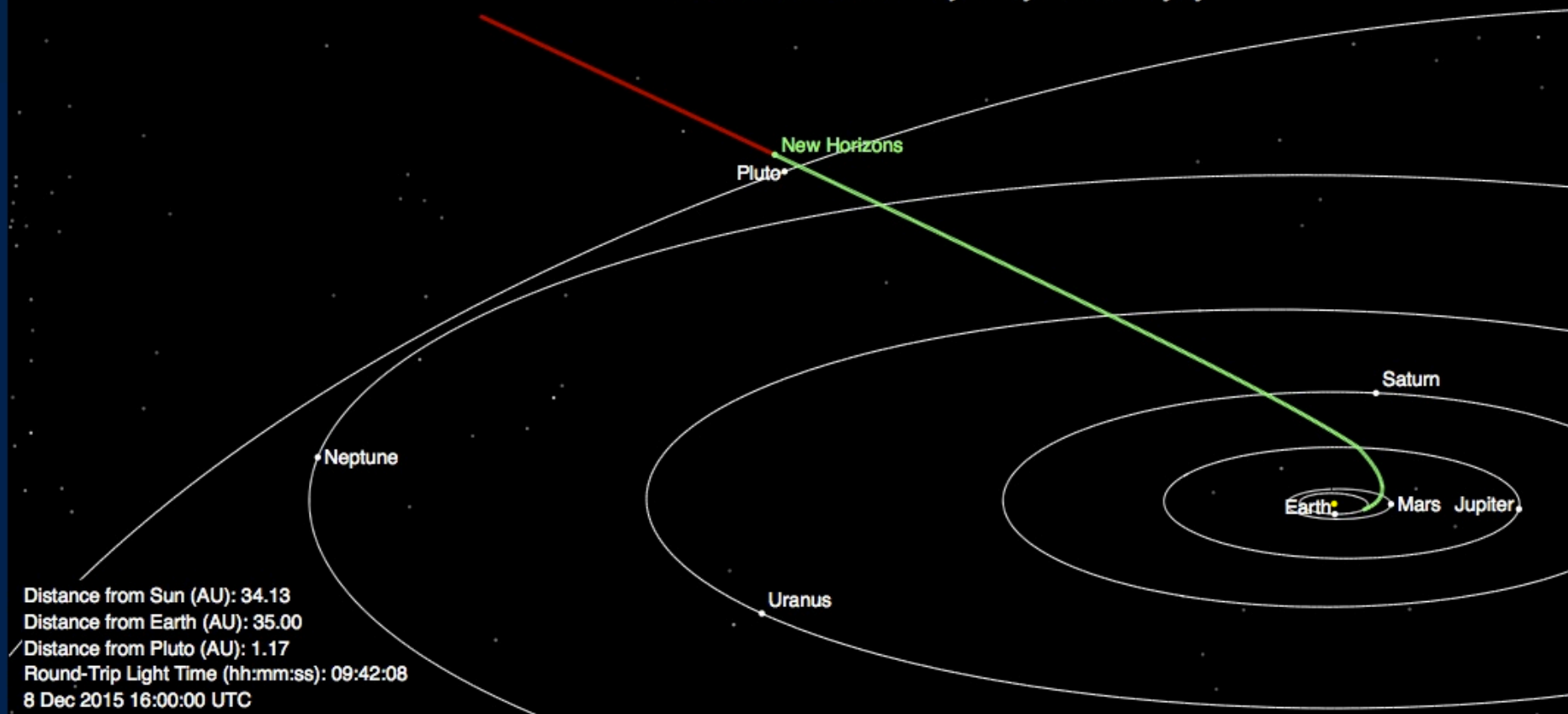


Nix & Hydra: composizione mista (N: colore rosso associato a un cratere?) Ghiaccio d'acqua più puro che su Caronte – albedo più alta – come possono mantenerla per miliardi di anni?



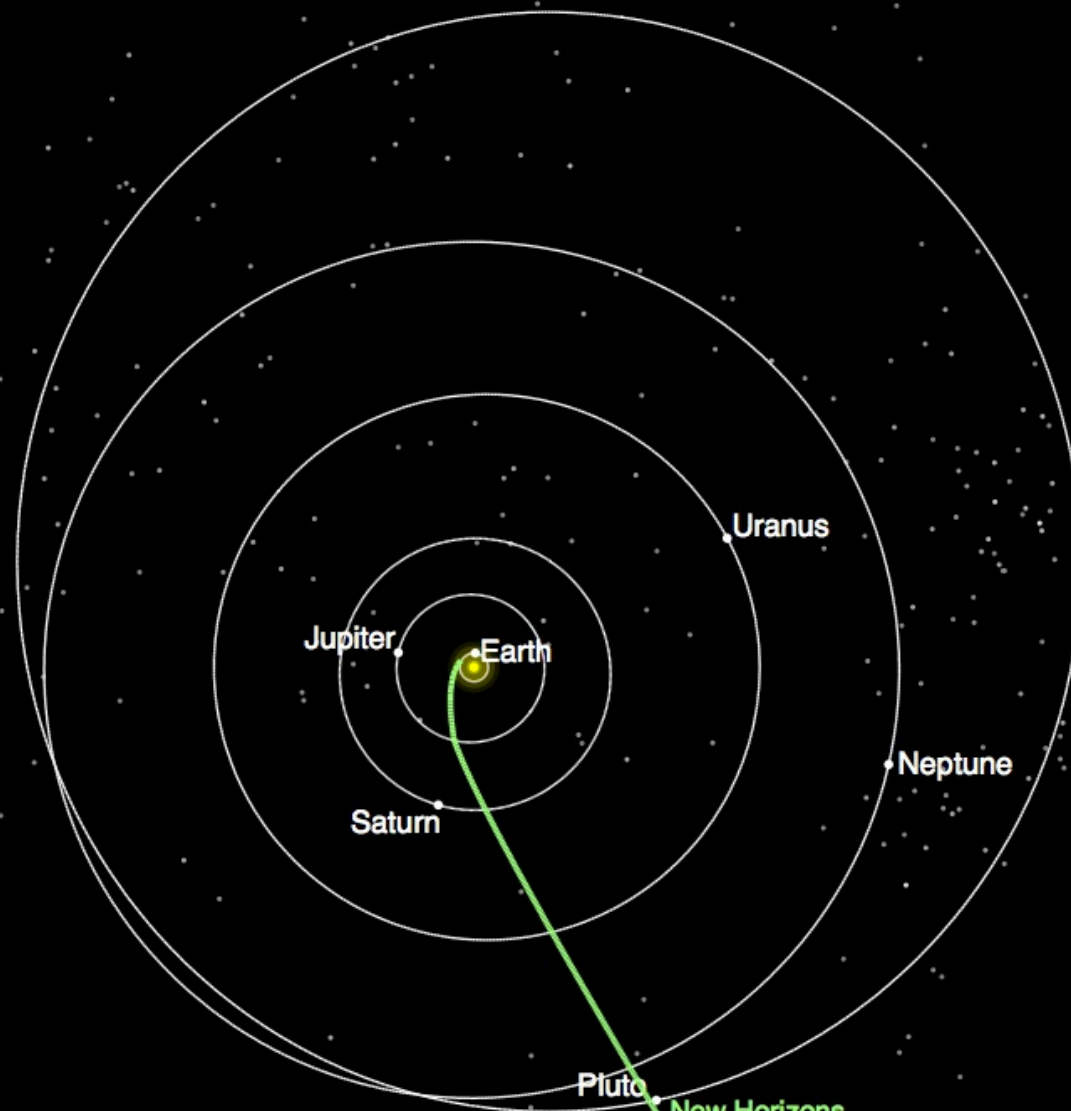
<https://www.youtube.com/watch?v=B0xkupKwjfM>

New Horizons Full Trajectory - Pluto Flyby



New Horizons Full Trajectory - Overhead View

Distance from Sun (AU): 34.13 Heliocentric Velocity (km/s): 14.45



Distance from Earth (AU): 35.00
Distance from Pluto (AU): 1.17
Round-Trip Light Time (hh:mm:ss): 09:42:08
8 Dec 2015 16:00:00 UTC

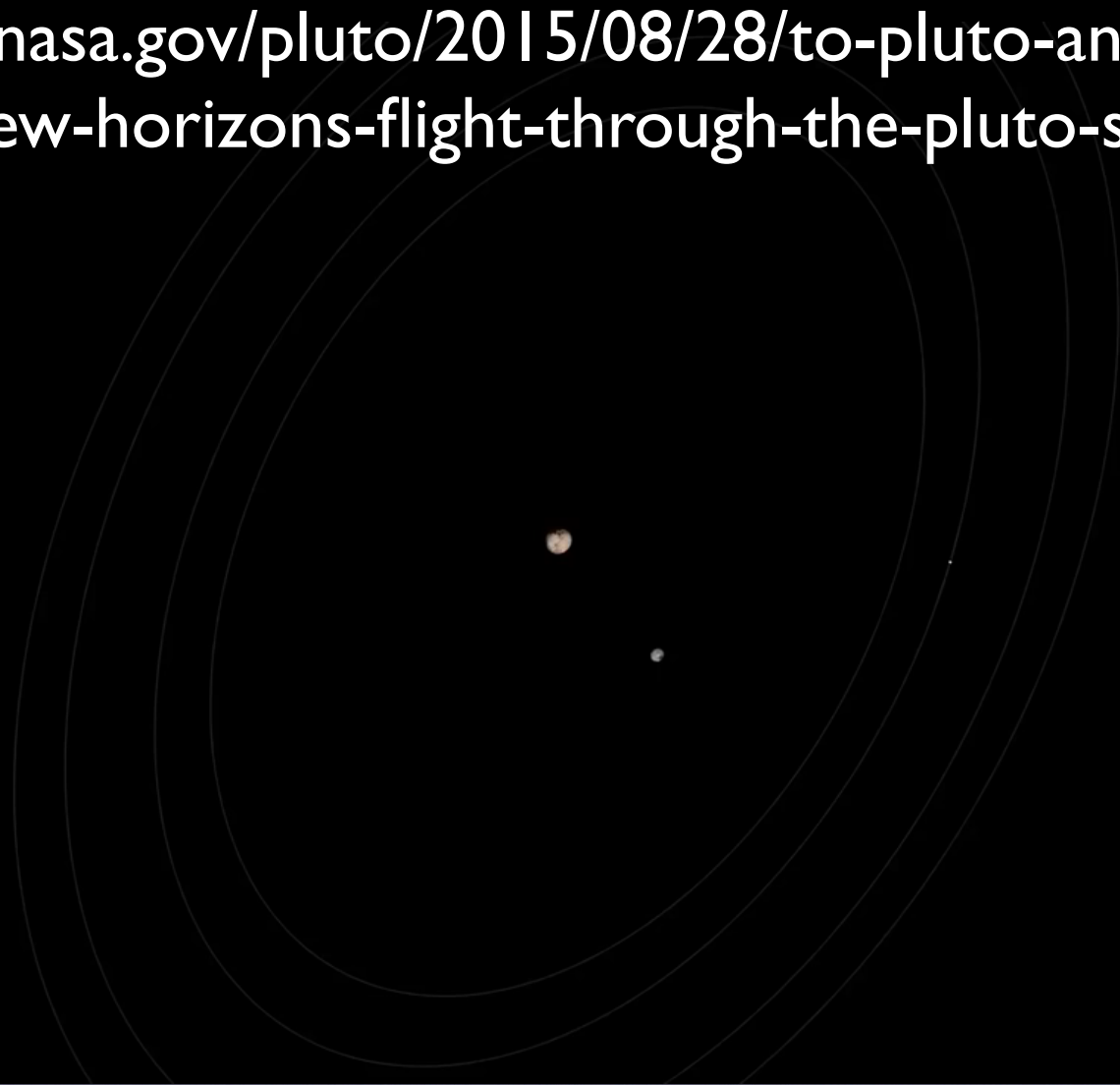
Oggetto della fascia di Kuiper

- Arriverà il 1 gennaio 2019
- Sorvolo di 2014 MU 69 – o PT1 (potential target): $m=26,8$
- Diametro stimato di 30-60 km a circa 43-44 UA dal Sole
- Fascia “fredda”: bassa inclinazione, bassa eccentricità
- Un terzo del carburante dei motori a idrazina usato per quattro manovre da 10-20 minuti di accensione – cambio di traiettoria di ~ 10 m/s per volta
- Un'altra ventina di oggetti KBO verranno studiati da lontano.

Concludendo

- Attività geologica: ghiacciai, interazione con atmosfera, tettonica, evaporazione (Plutone e Caronte). Comune in KBO? Come si alimenta ancor oggi?
- Composizione rocciosa – implicazioni per formazione
- Fino a fine 2016 arriveranno i dati – nuove scoperte?
- Missione conclusa nel 2026 sulla base delle scorte di Pu-238
- Dal 2038 NH sarà a 100 UA dal Sole: osservazioni dell'eliosfera, elioguaina e eliopausa – potrebbe raggiungerle nel 2047 – ma non le sonde Voyager.

<http://blogs.nasa.gov/pluto/2015/08/28/to-pluto-and-beyond-animating-new-horizons-flight-through-the-pluto-system/>



Curiosità

- \$700 milioni in 15 anni (2001-2016) tutto incluso (dallo sviluppo al lancio, all'analisi dati, alla disseminazione)
- A. Stern (PI) “la personificazione della missione a Plutone”
- 30 grammi delle ceneri di C. Tombaugh sono in viaggio sul satellite
- Pluto appare nel sett 1930
“The Chain Gang”
- [Venetia Burney a 11 anni]
- <http://solarsystem.nasa.gov/plutotime/> stamane alle 7:44



Curiosità

