

LA MATEMATICA DELLE MISSIONI SPAZIALI

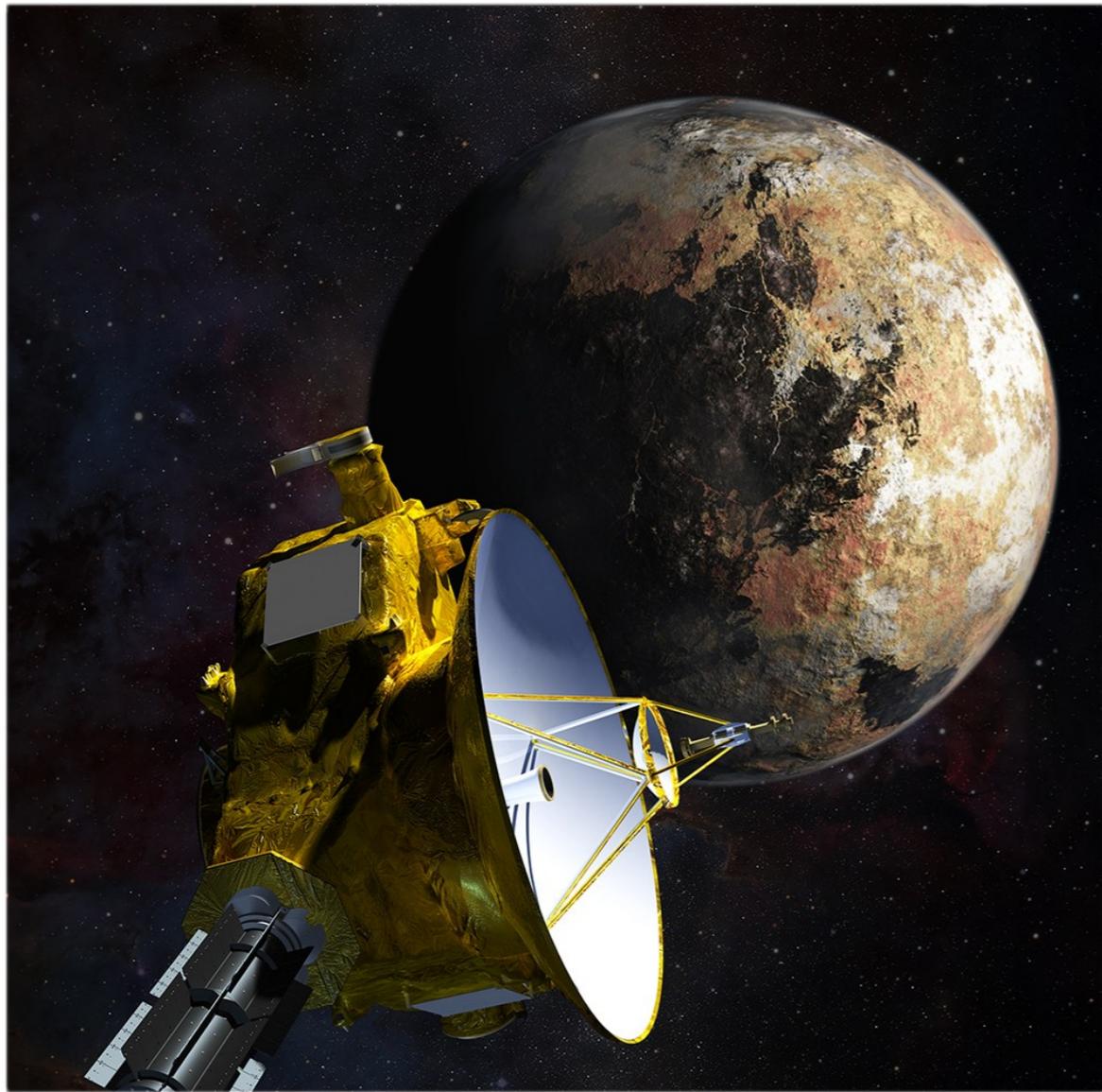
Daniele Serra - Università di Pisa

XIII Settimana Matematica - 9 Febbraio 2017

“La mathematica è l'alfabeto in cui Dio à scritto l'Universo”.

–*Galileo Galilei*

MISSIONI SPAZIALI



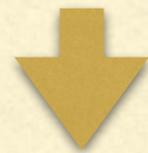
Esecuzione di uno o più **esperimenti scientifici** attorno a un **corpo celeste** attraverso l'uso di una sonda spaziale o **spacecraft** che può sorvolare, orbitare, atterrare o schiantarsi sul corpo.

OBIETTIVI DI UNA MISSIONE

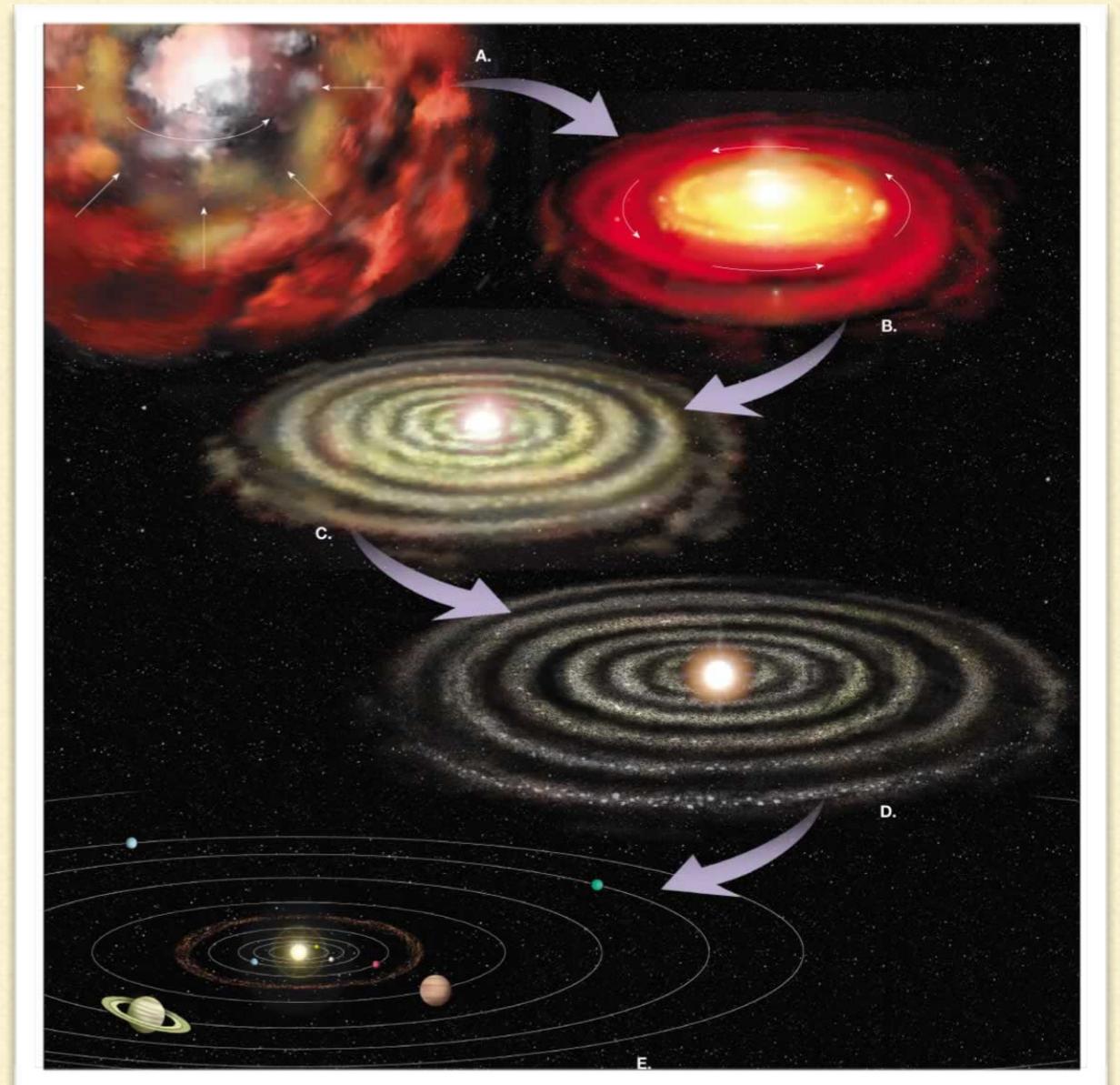
Studio della composizione interna del corpo

Studio dell'origine del corpo

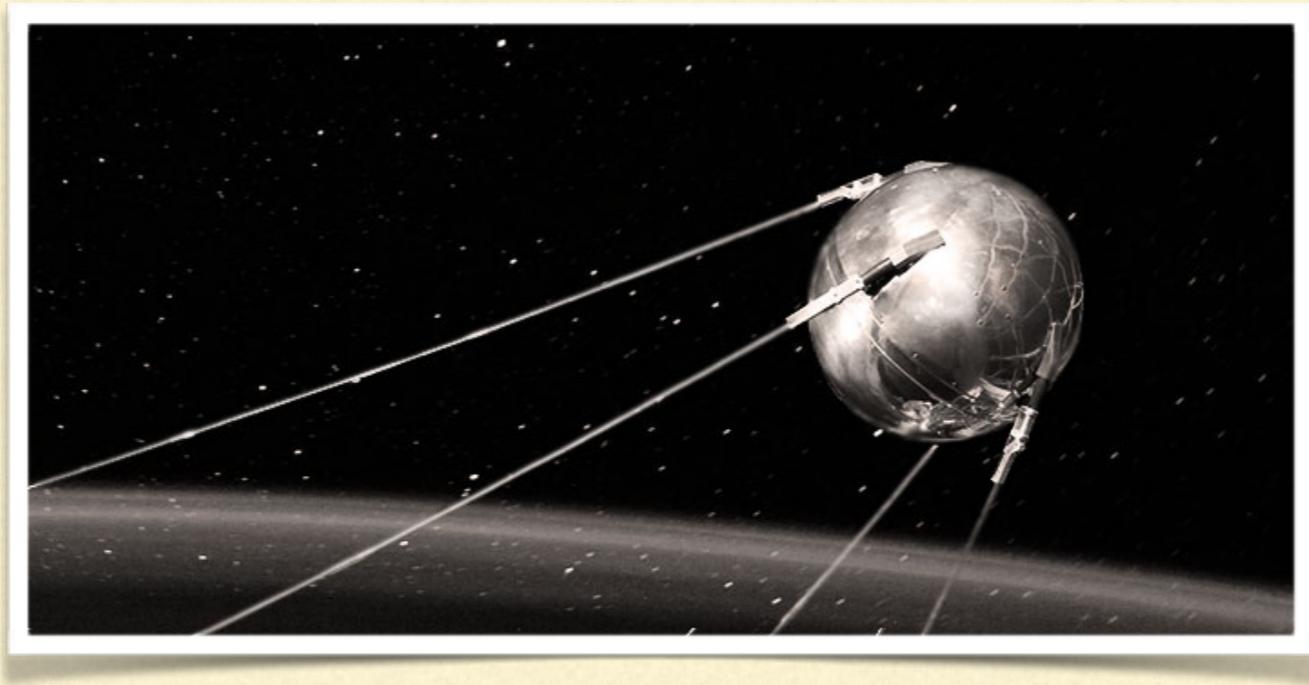
Studio dell'atmosfera e del campo magnetico (se presenti)



Studio dell'origine e della formazione del Sistema Solare



UN PO' DI STORIA



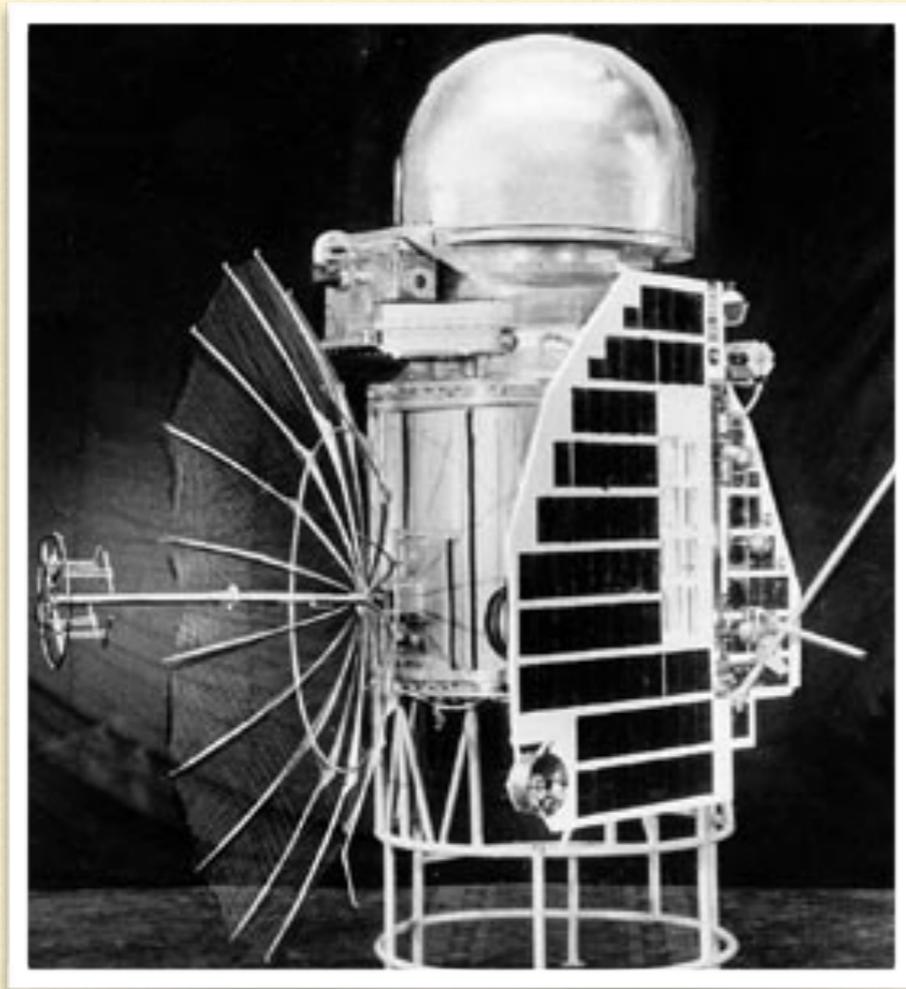
Sputnik I (Ottobre 1957)

Primo satellite sovietico in orbita attorno
alla Terra



Explorer I (Gennaio 1958)

Primo satellite americano in orbita
attorno alla Terra



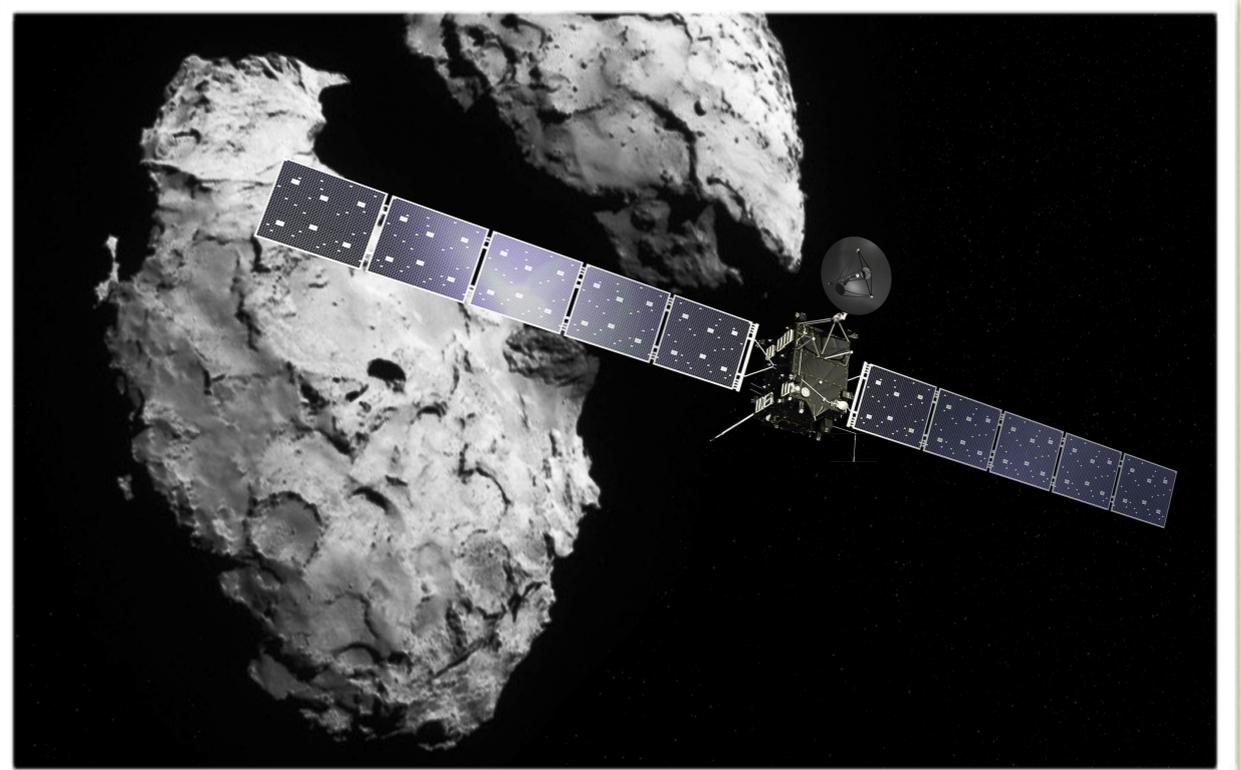
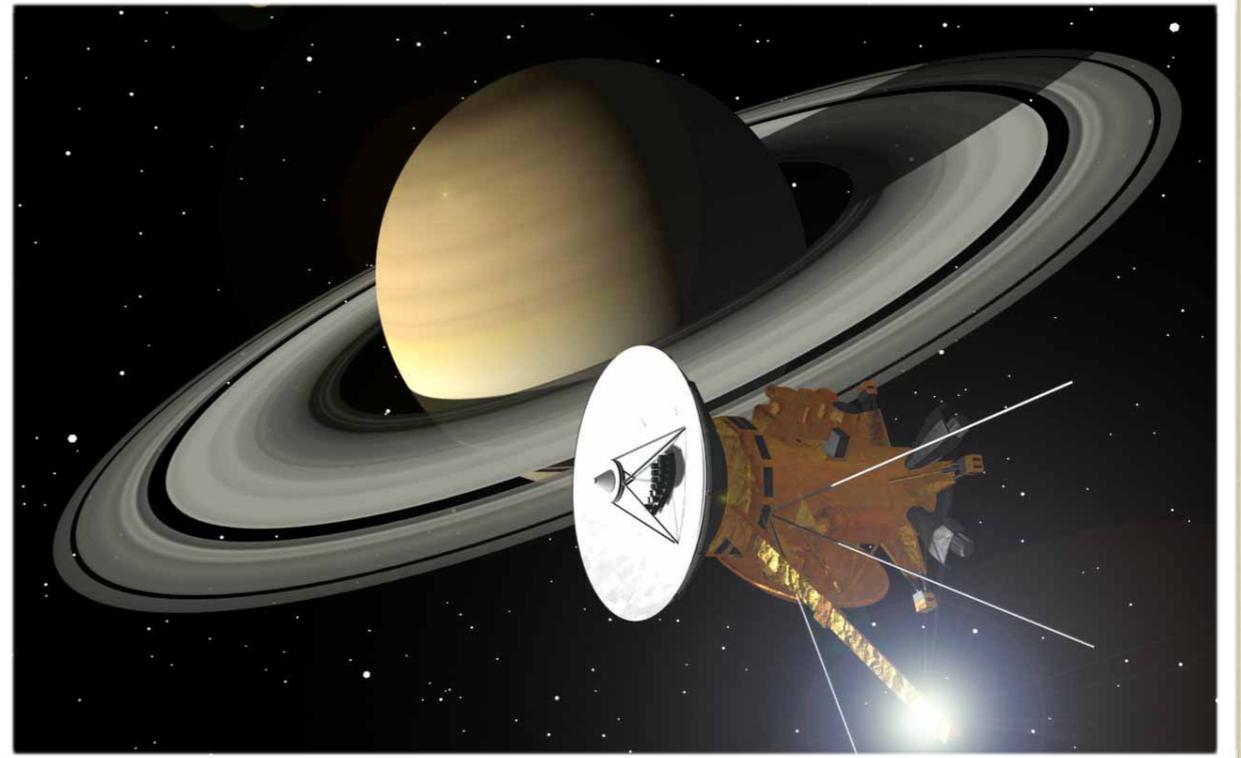
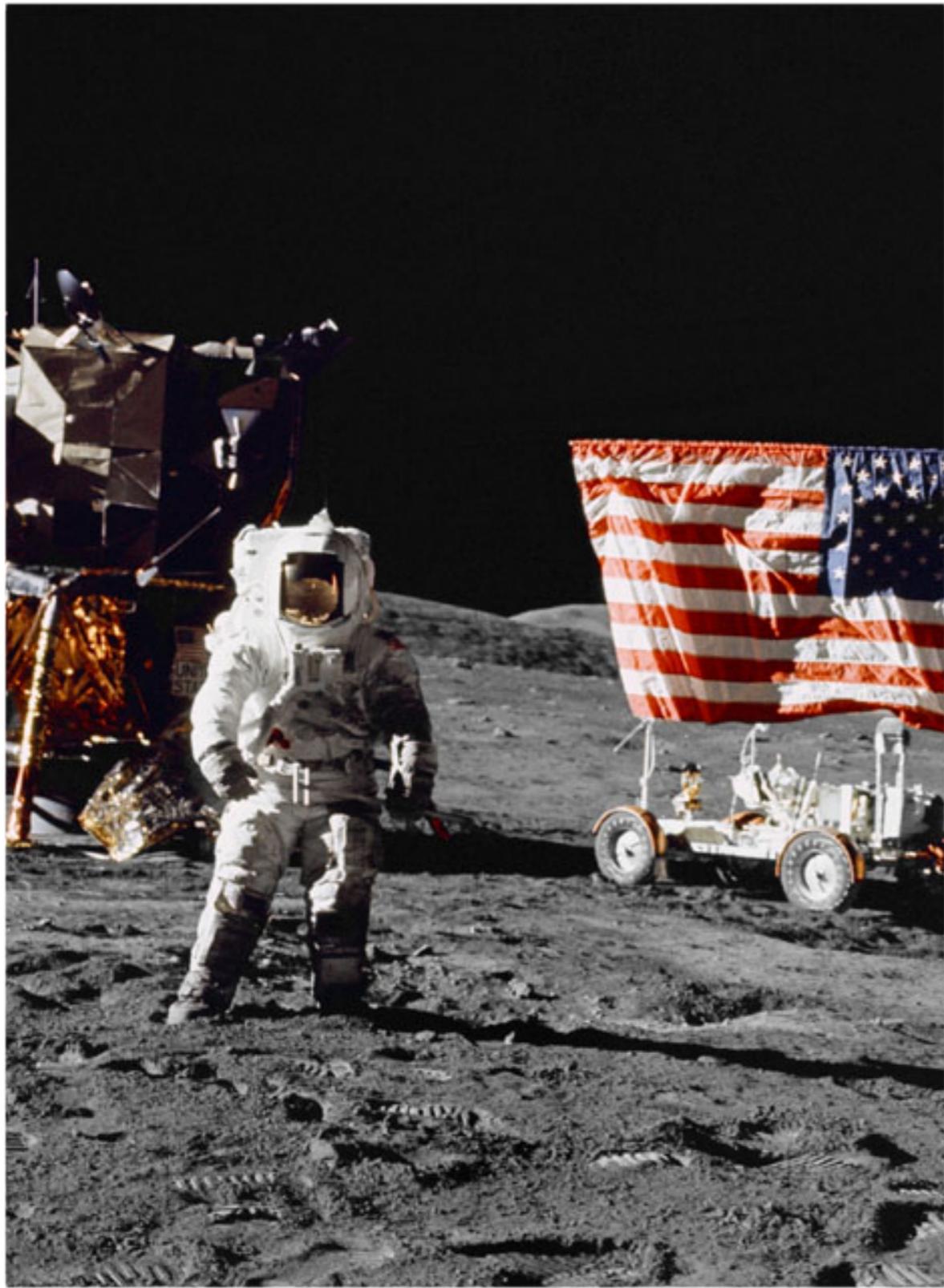
Programma **Venera** (1965 - 1983)

Programma sovietico per lo studio di Venere - primo satellite interplanetario

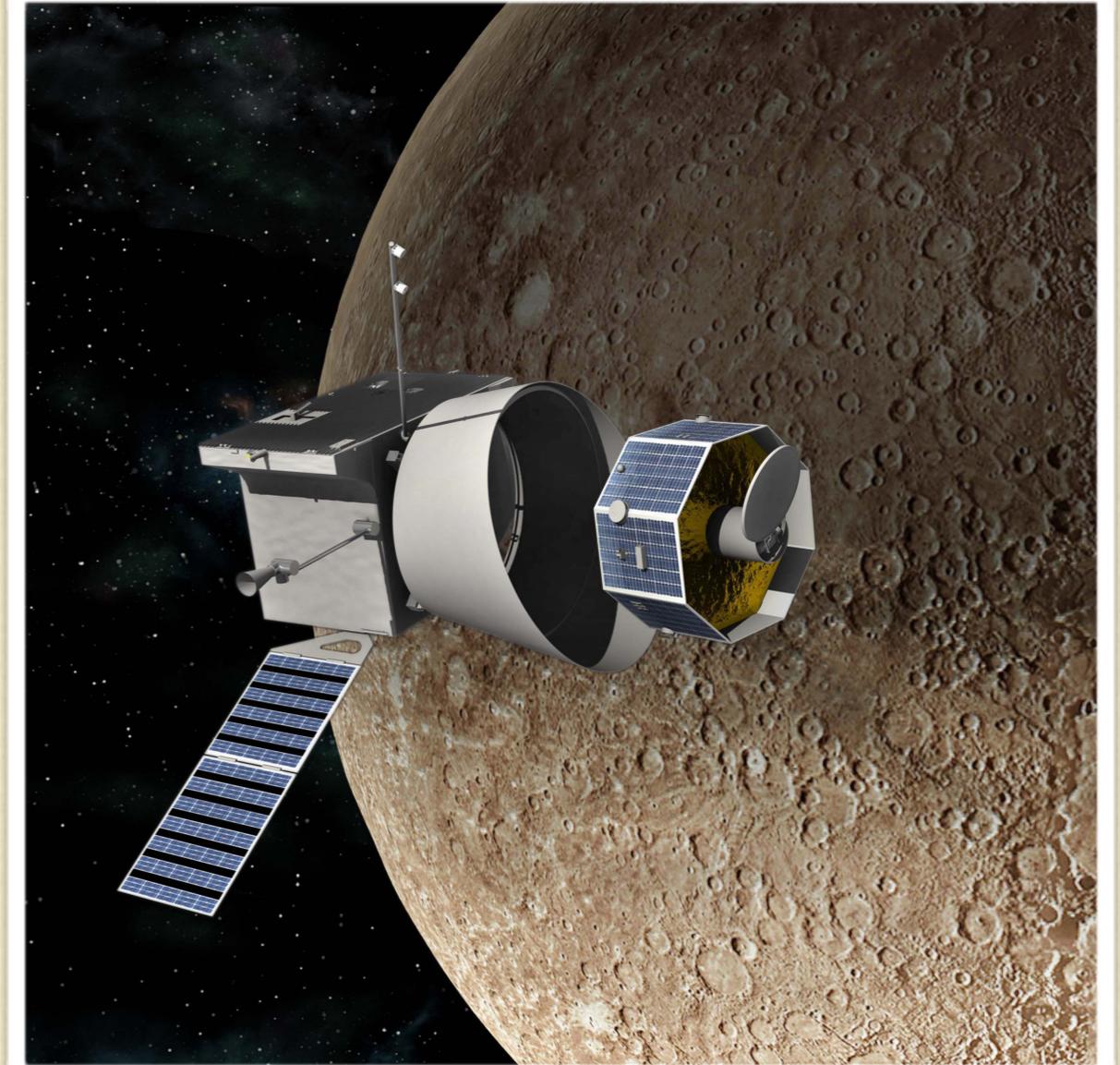


Programma **Voyager** (1977 - oggi)

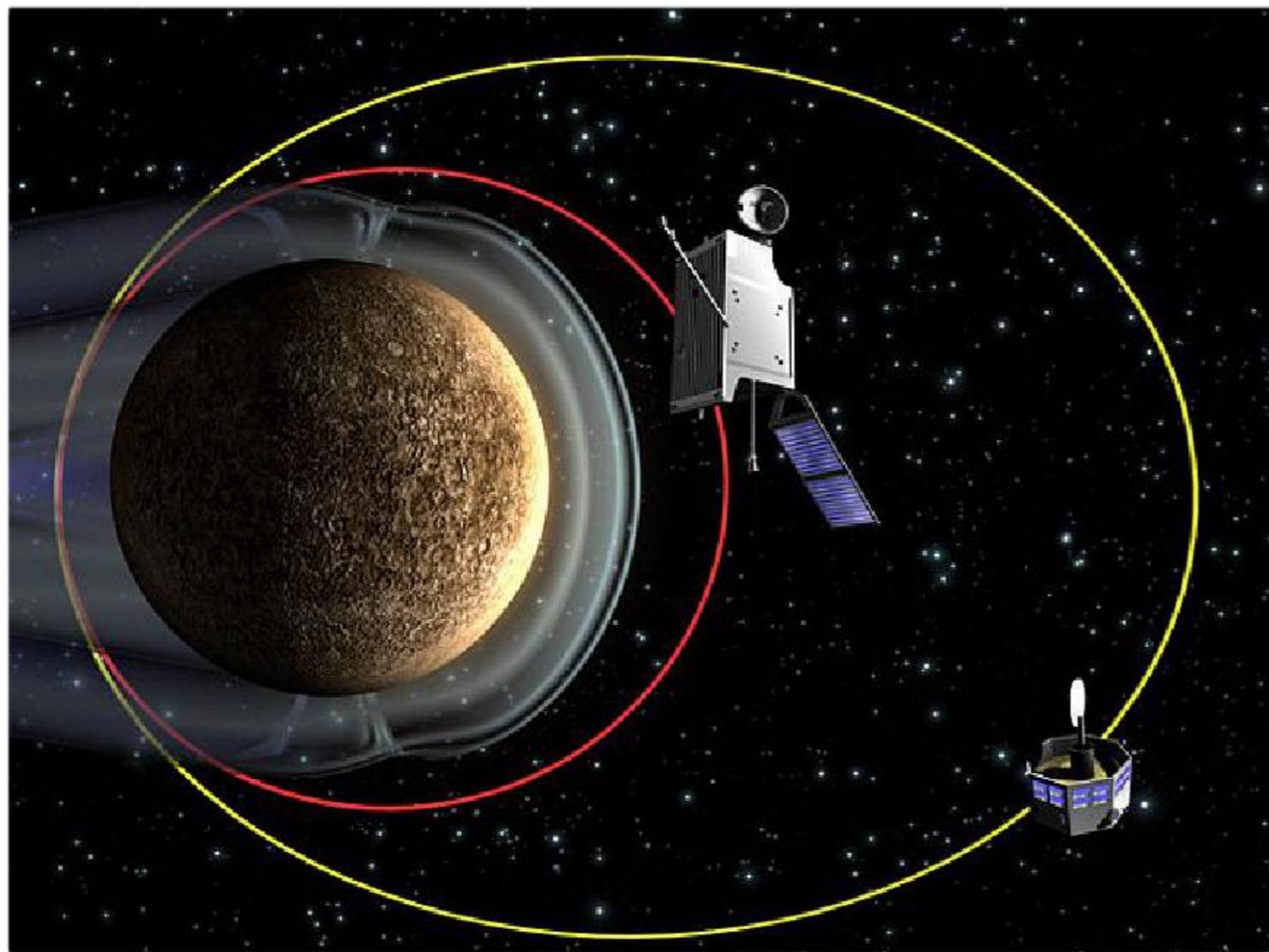
Programma statunitense per lo studio del Sistema Solare esterno



JUNO E BEPICOLOMBO



LA MISSIONE ESA-JAXA BEPICOLOMBO

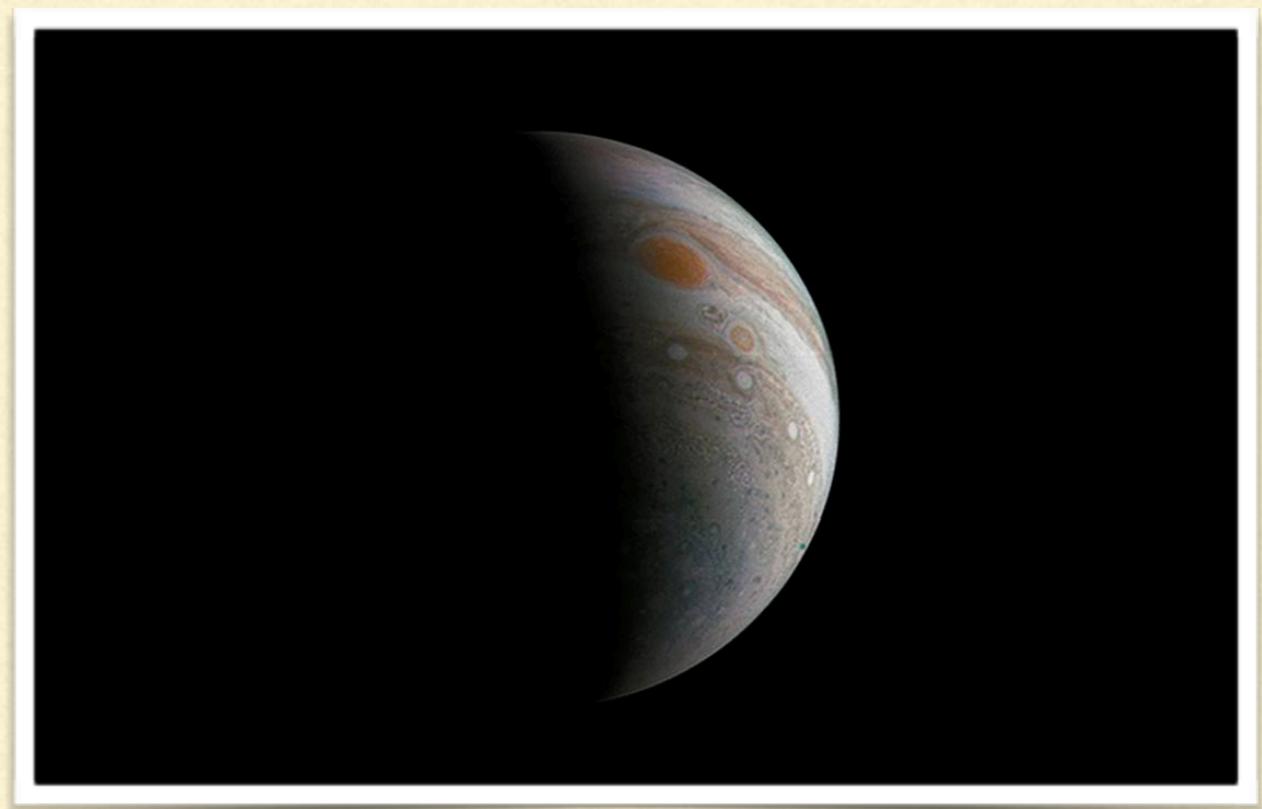
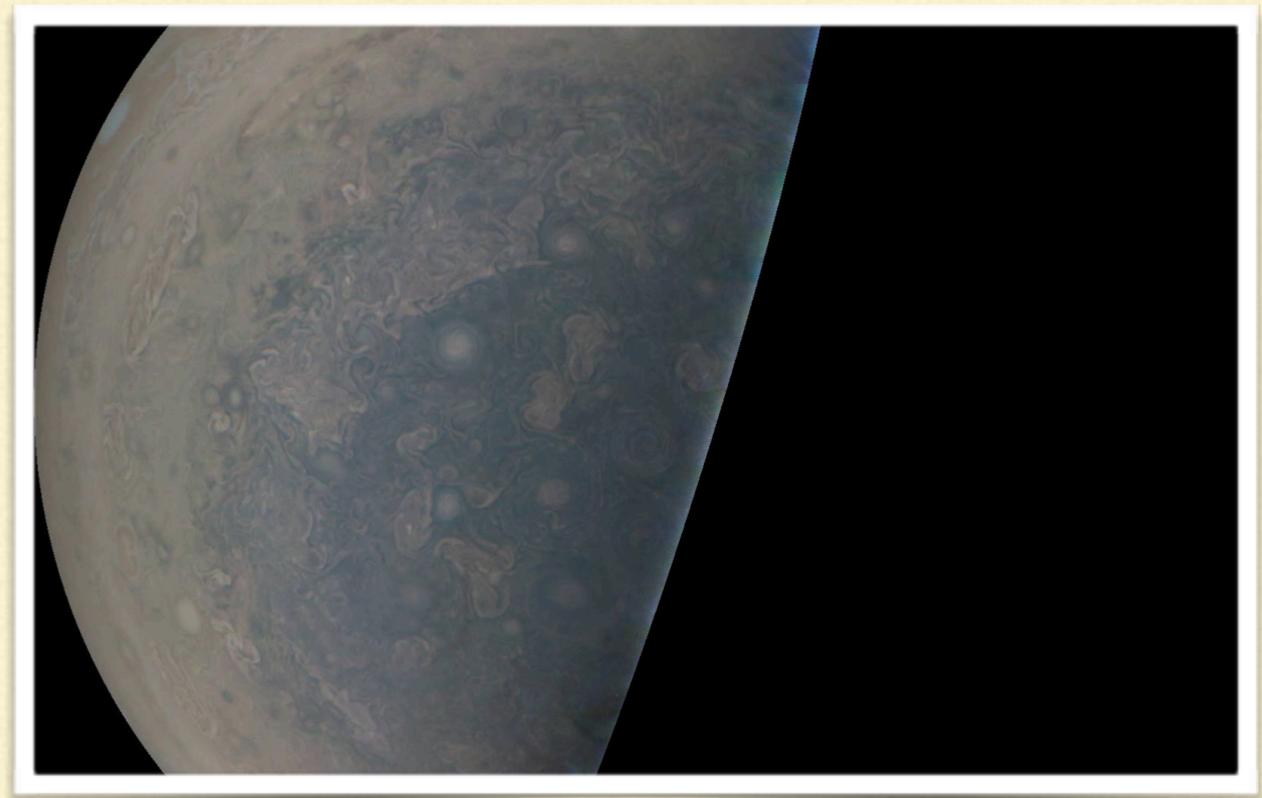


- Nome dal matematico italiano Giuseppe Colombo
- Lancio nel 2018 e Arrivo nel 2025
- Due spacecraft (MPO e MMO)
- Tre esperimenti: gravimetria, rotazione e relatività (MORE)

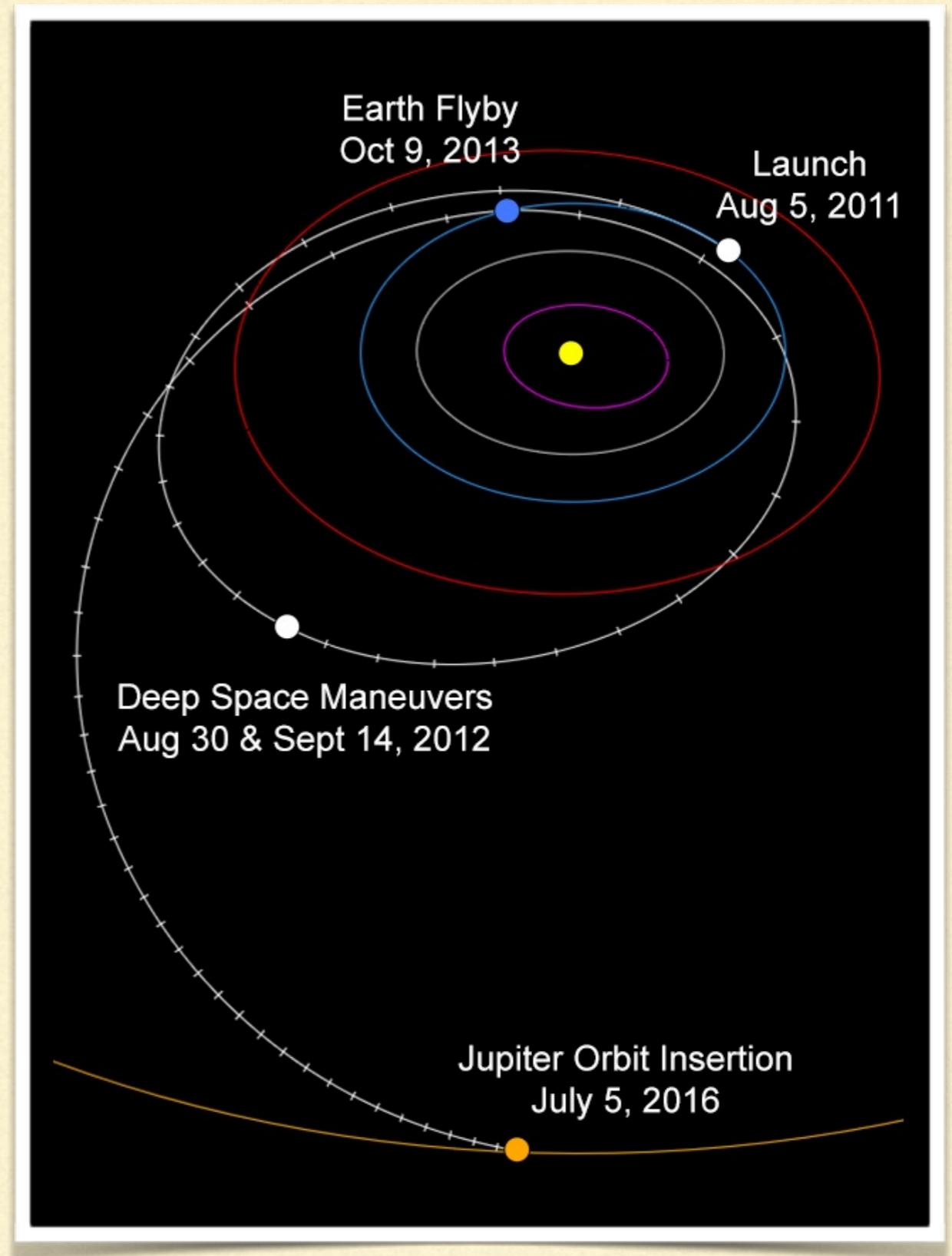
LA MISSIONE NASA JUNO

- Arrivata a Giove nel 2016
- Primo spacecraft a studiare i poli di Giove
- 9 strumenti a bordo
- Primo spacecraft a filmare un sistema planetario

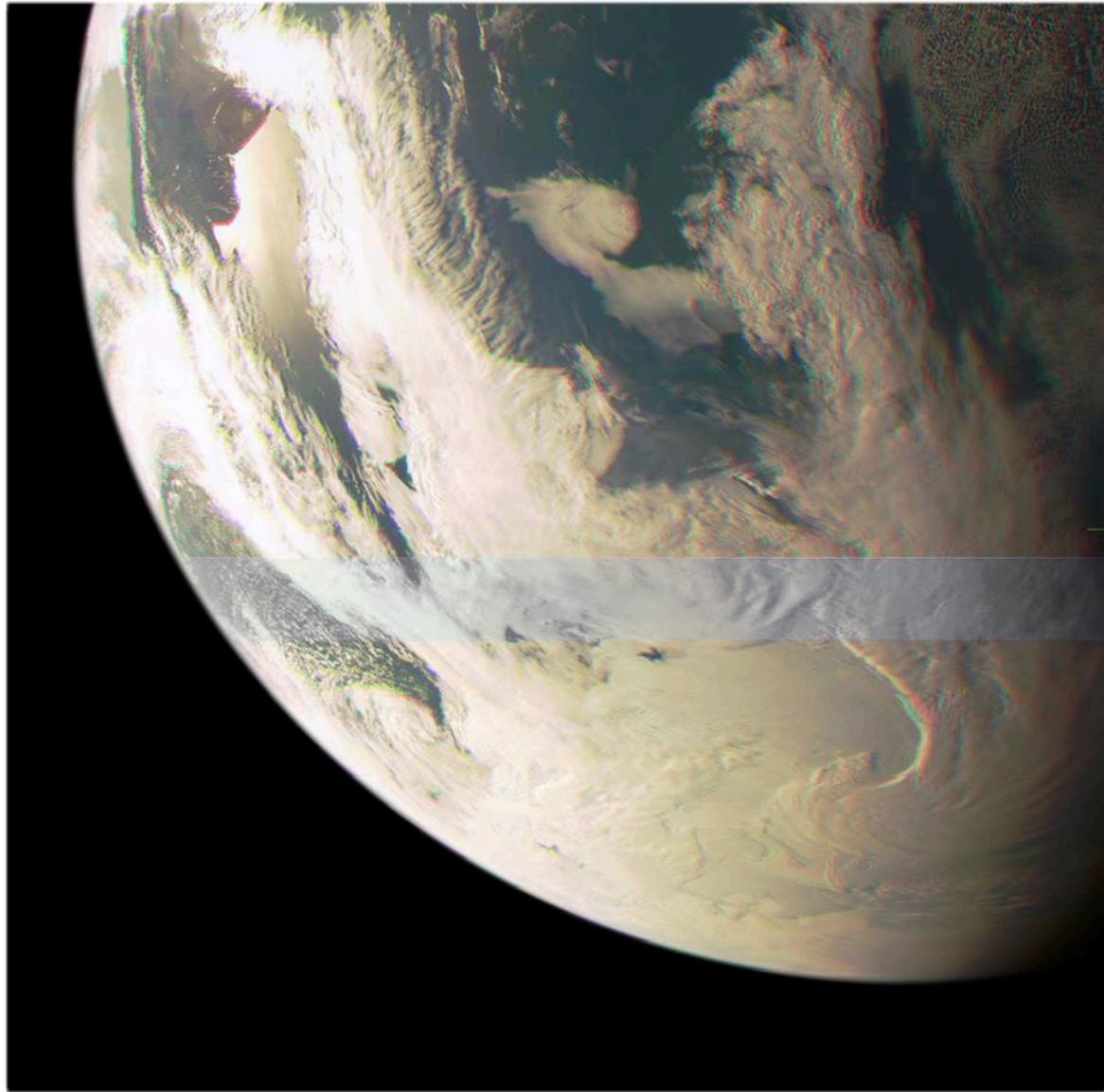




UN VIAGGIO LUNGO 5 ANNI



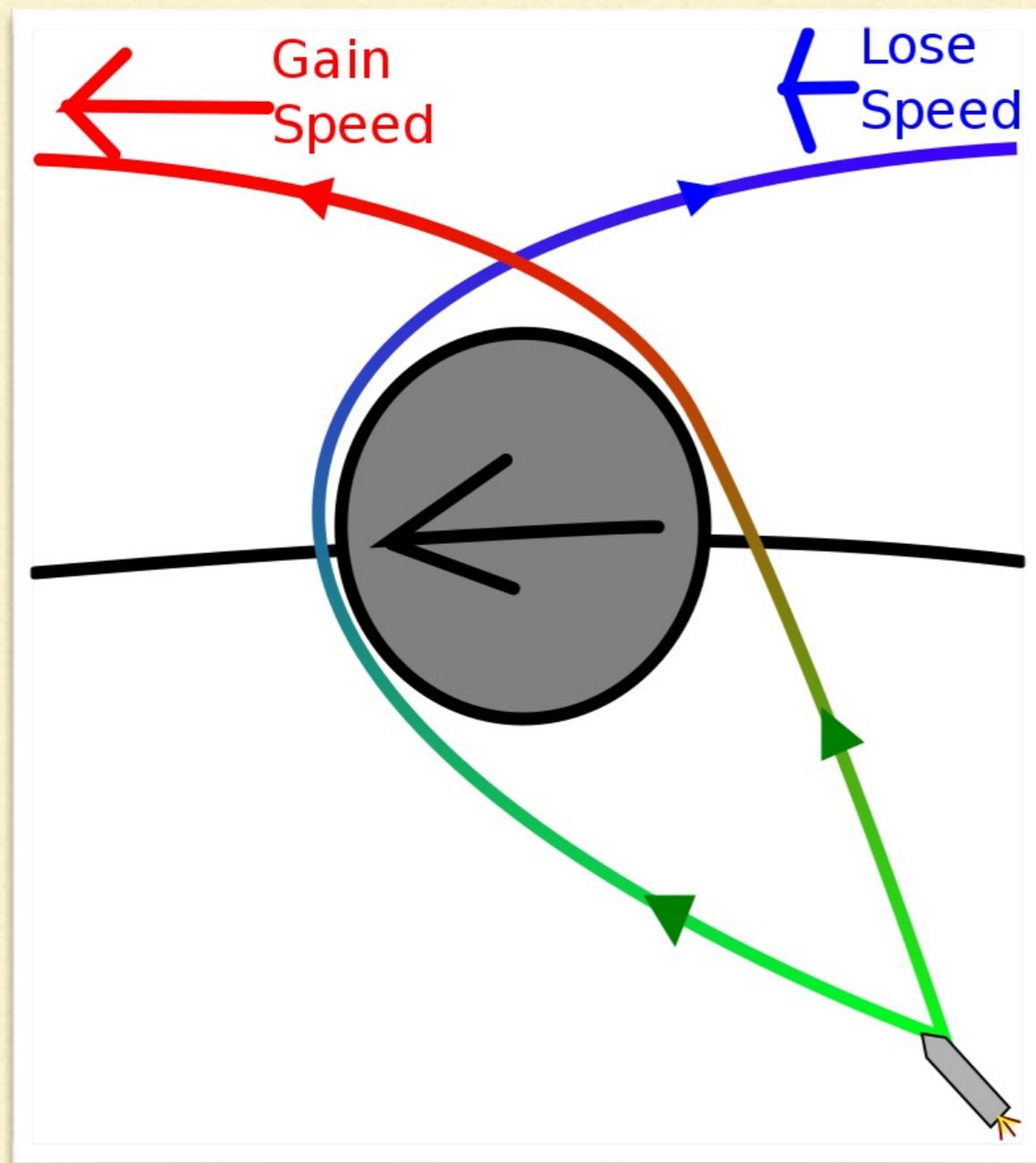
IL FLY-BY DELLA TERRA



Ad Ottobre 2013 Juno ha effettuato un **fly-by** della Terra in cui ha scattato foto e girato un piccolo video.

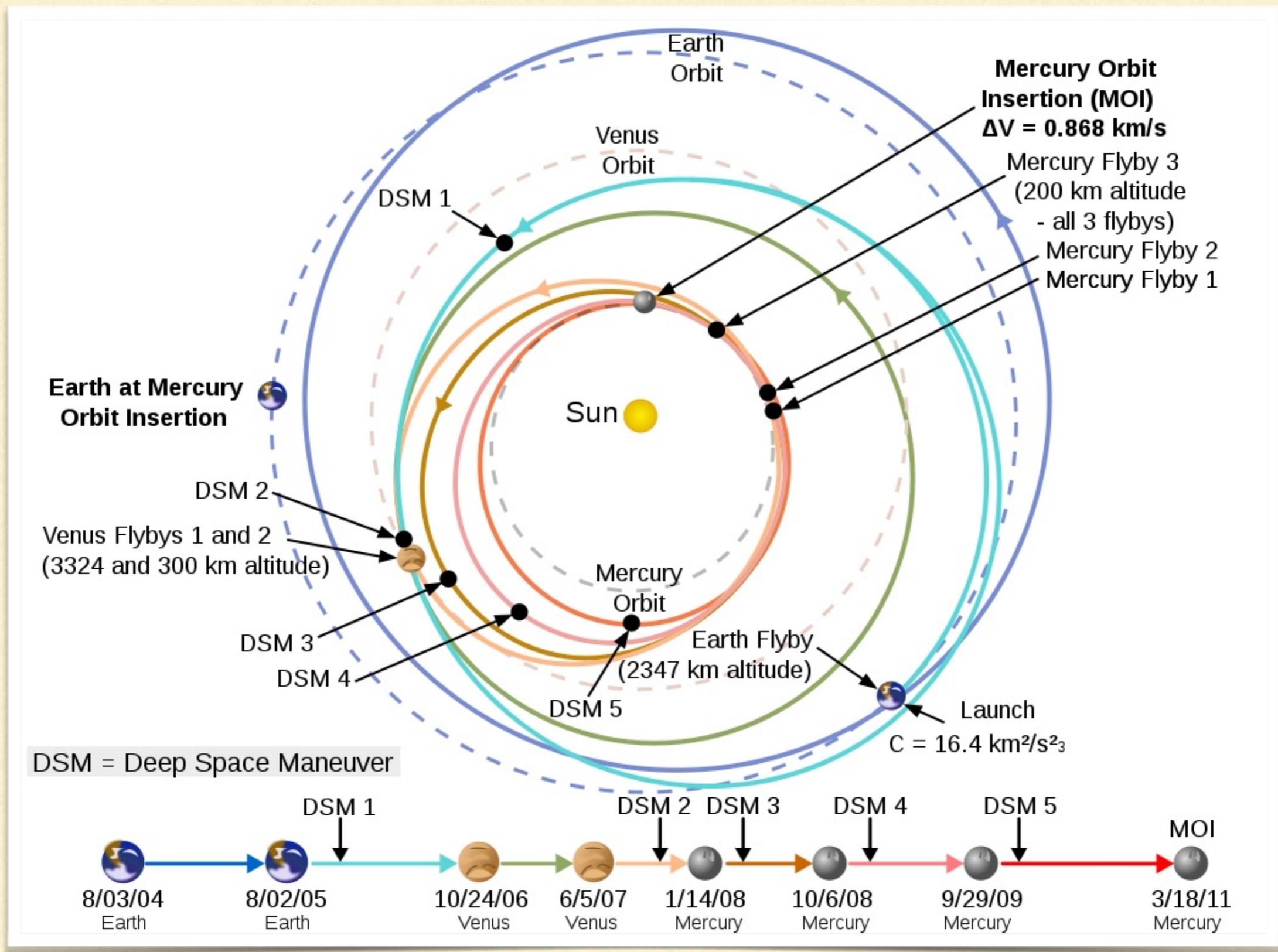
Qual era il vero **scopo** del fly-by?

GRAVITY ASSIST O FIONDA GRAVITAZIONALE

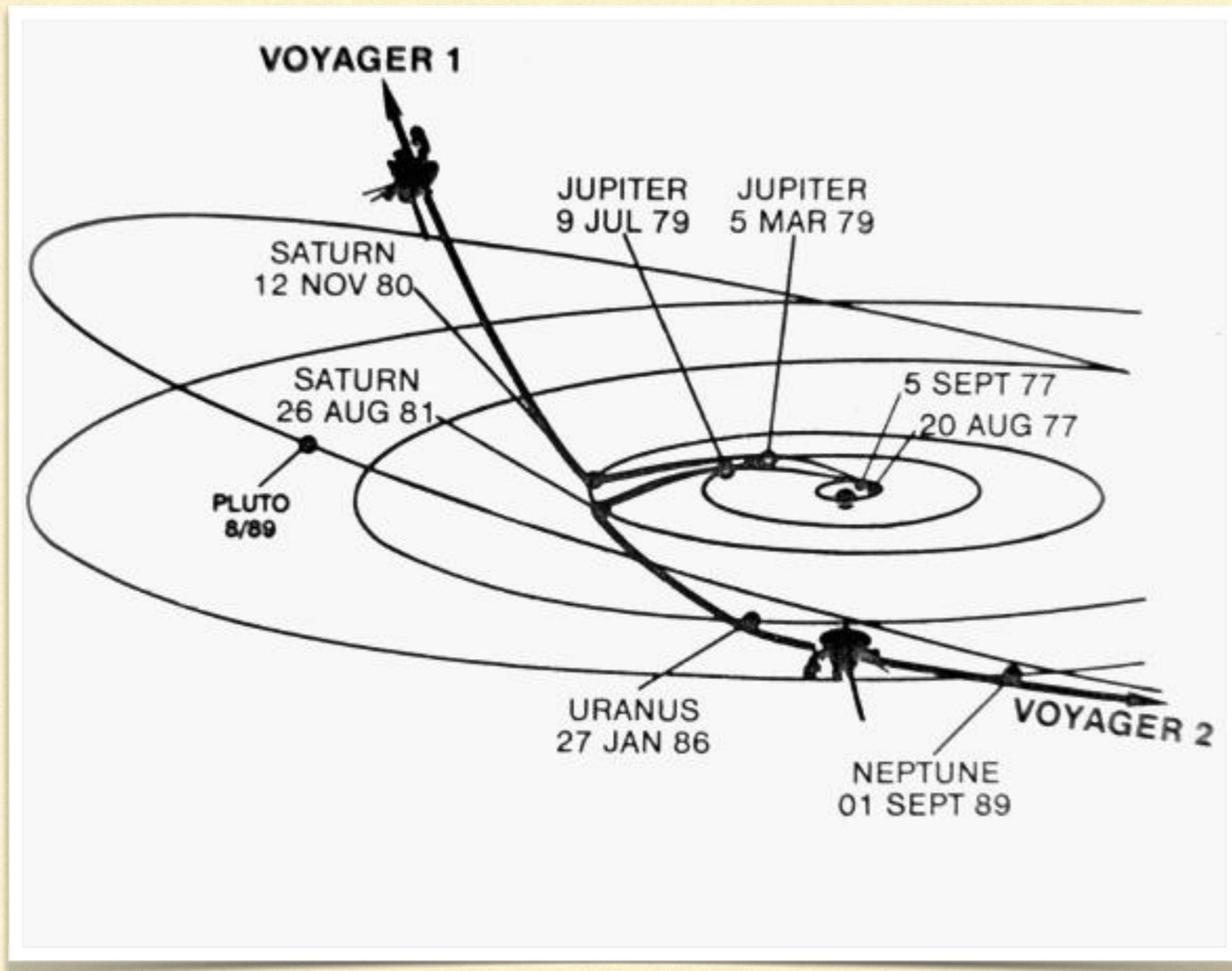


È una tecnica di navigazione spaziale che permette a una sonda spaziale di **accelerare o di decelerare senza accendere i razzi** semplicemente passando sufficientemente vicino a un pianeta.

Scoperta da **Michael Monovitch** e proposta da **Giuseppe Colombo** per rallentare *Mariner 10* verso Mercurio. Entrambi erano matematici.



Traiettoria interplanetaria della sonda Messenger (NASA) verso Mercurio

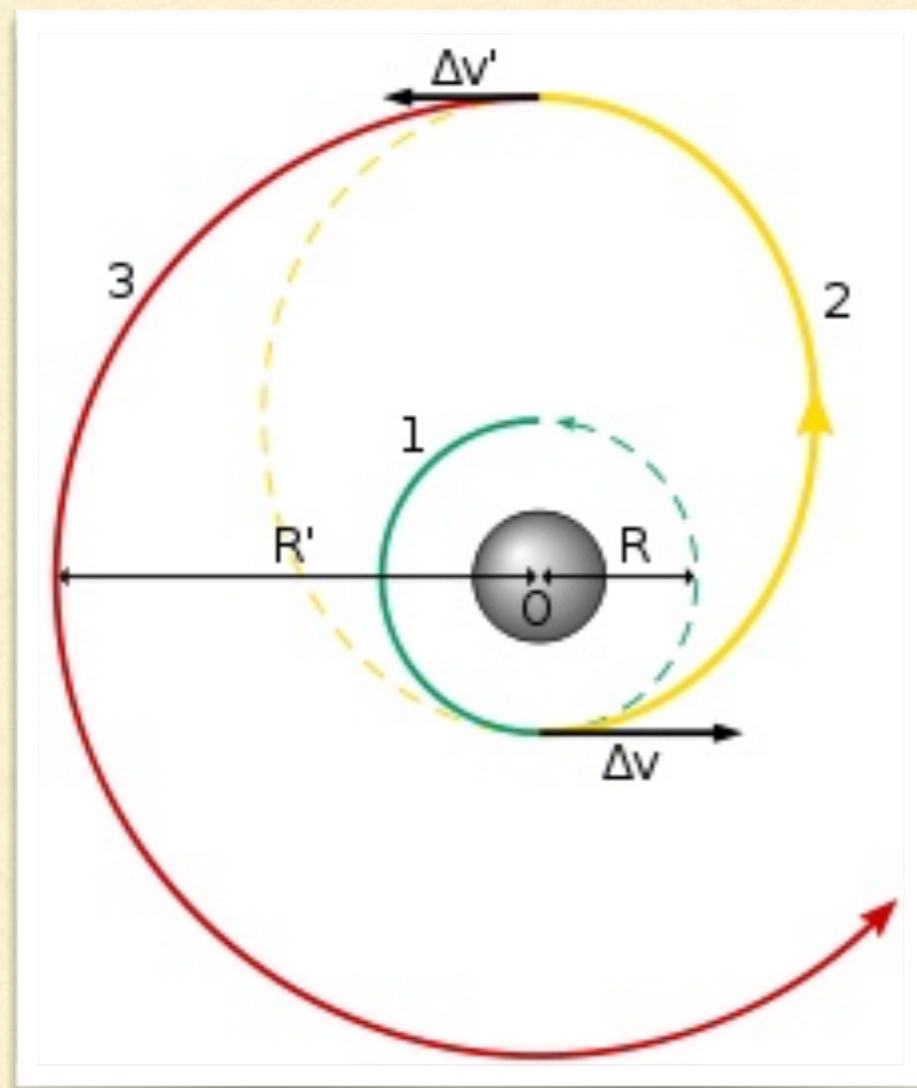


Il programma Voyager

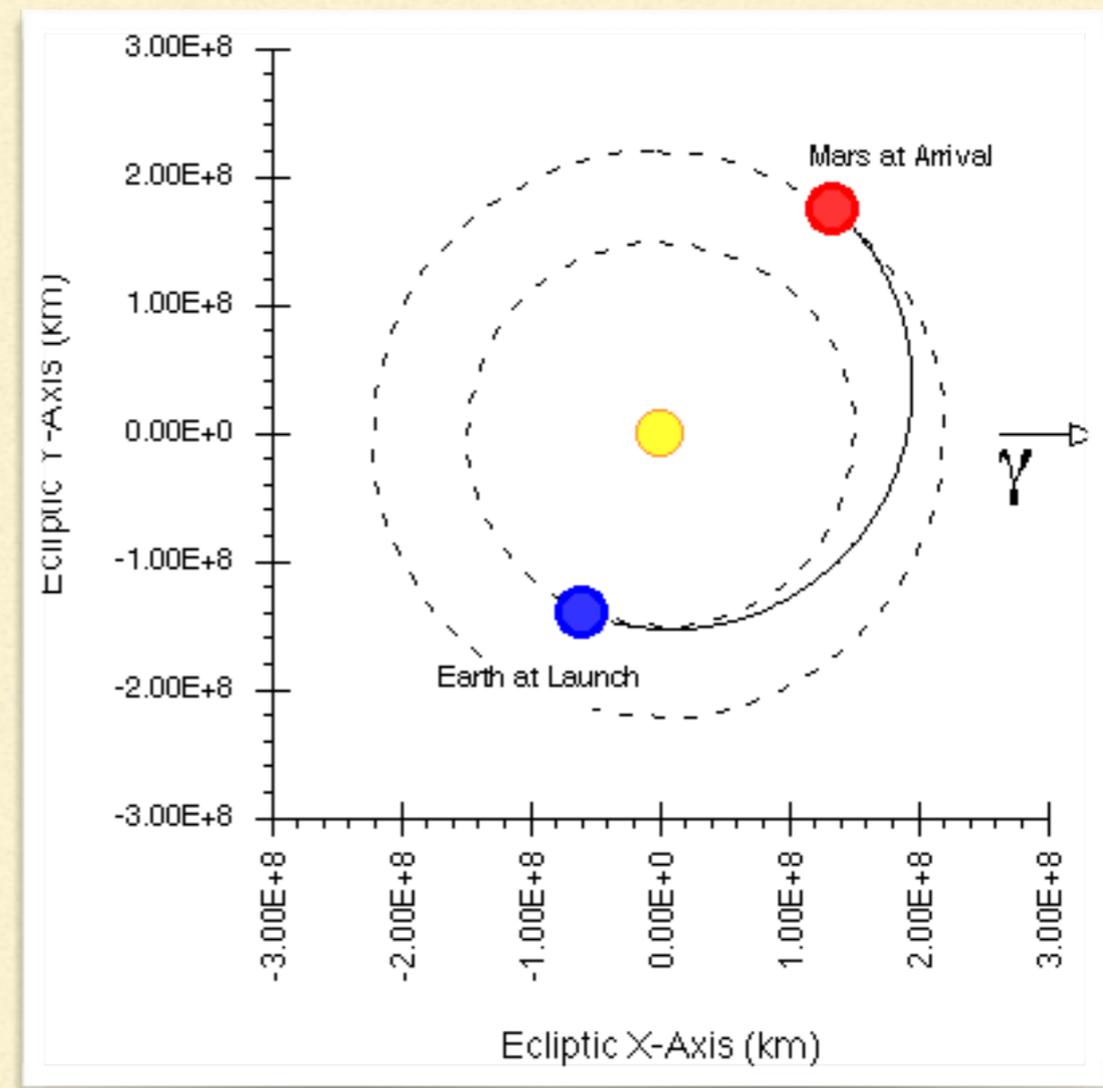
IL PROBLEMA DELLA TRAIETTORIA

- Il problema di trovare la traiettoria interplanetaria di uno spacecraft è un **problema matematico molto complesso**.
 - Spesso si tratta di un problema di **ottimizzazione**: ricercare nello spazio di tutte le possibili traiettorie che portano da A a B quella — o quelle — che rendono minima una certa quantità (ad es. tempo percorso o carburante utilizzato).
 - In realtà è ancora più difficile: è un problema di ottimizzazione **vincolato**. Cioè ci sono dei requisiti che devono essere soddisfatti (ad es. lo s/c non può portare più di una certa quantità di carburante, il tempo impiegato non può essere di migliaia di anni!).
-

ESEMPI

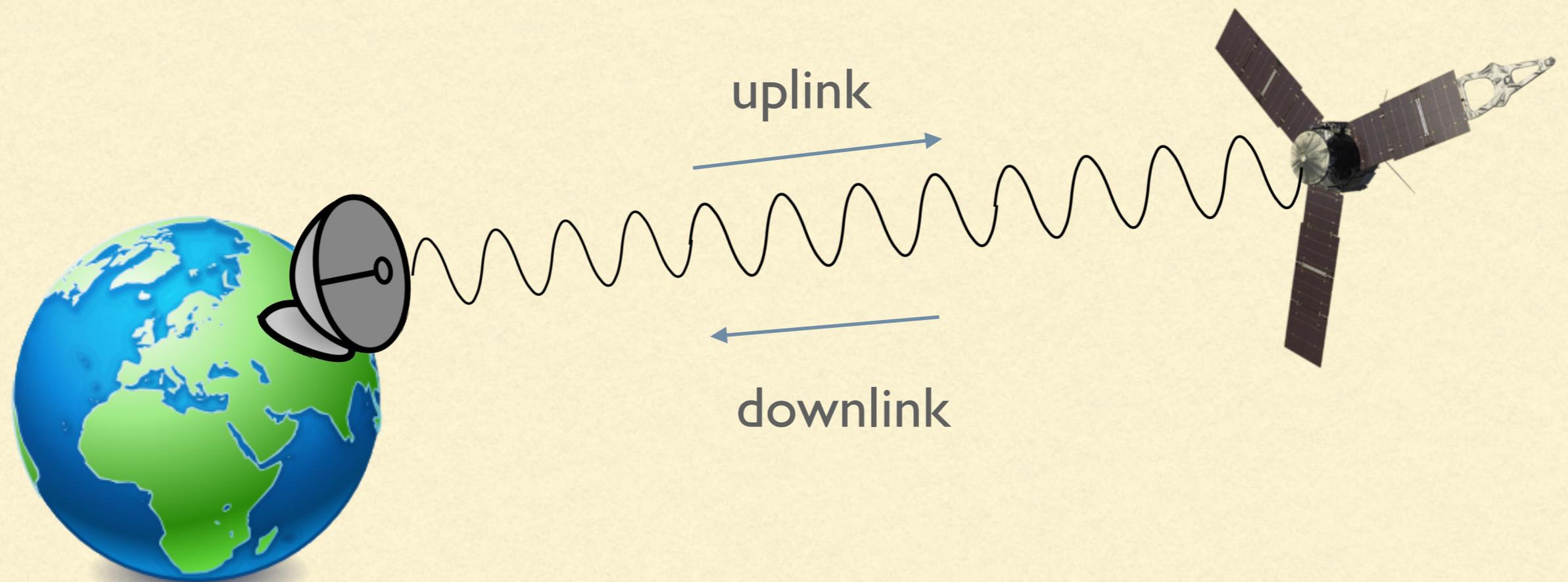


Traiettoria di trasferimento di Hohmann



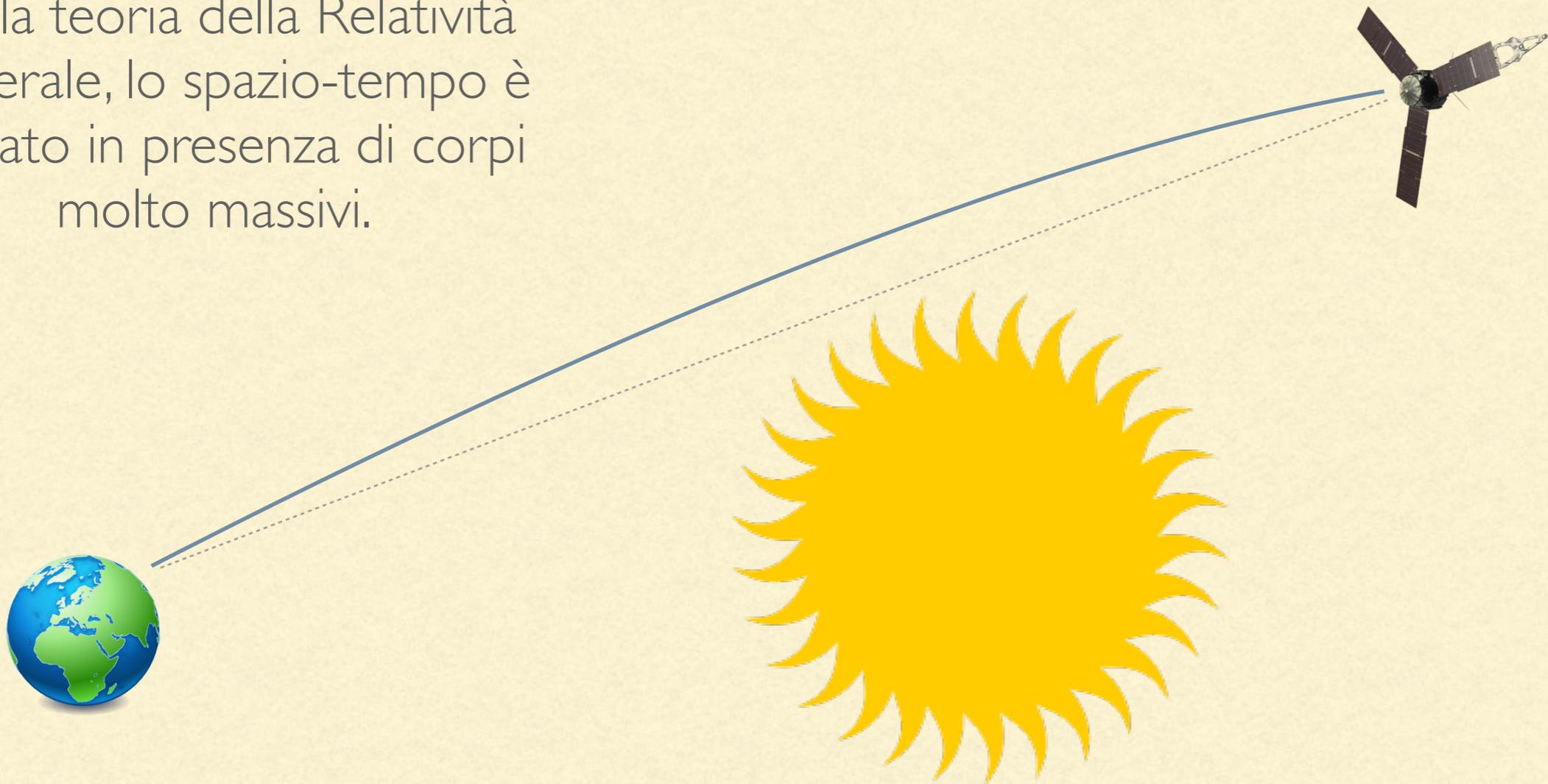
Traiettoria di Lambert

COMUNICARE CON LA SONDA



ESPERIMENTO DI CONGIUNZIONE SUPERIORE

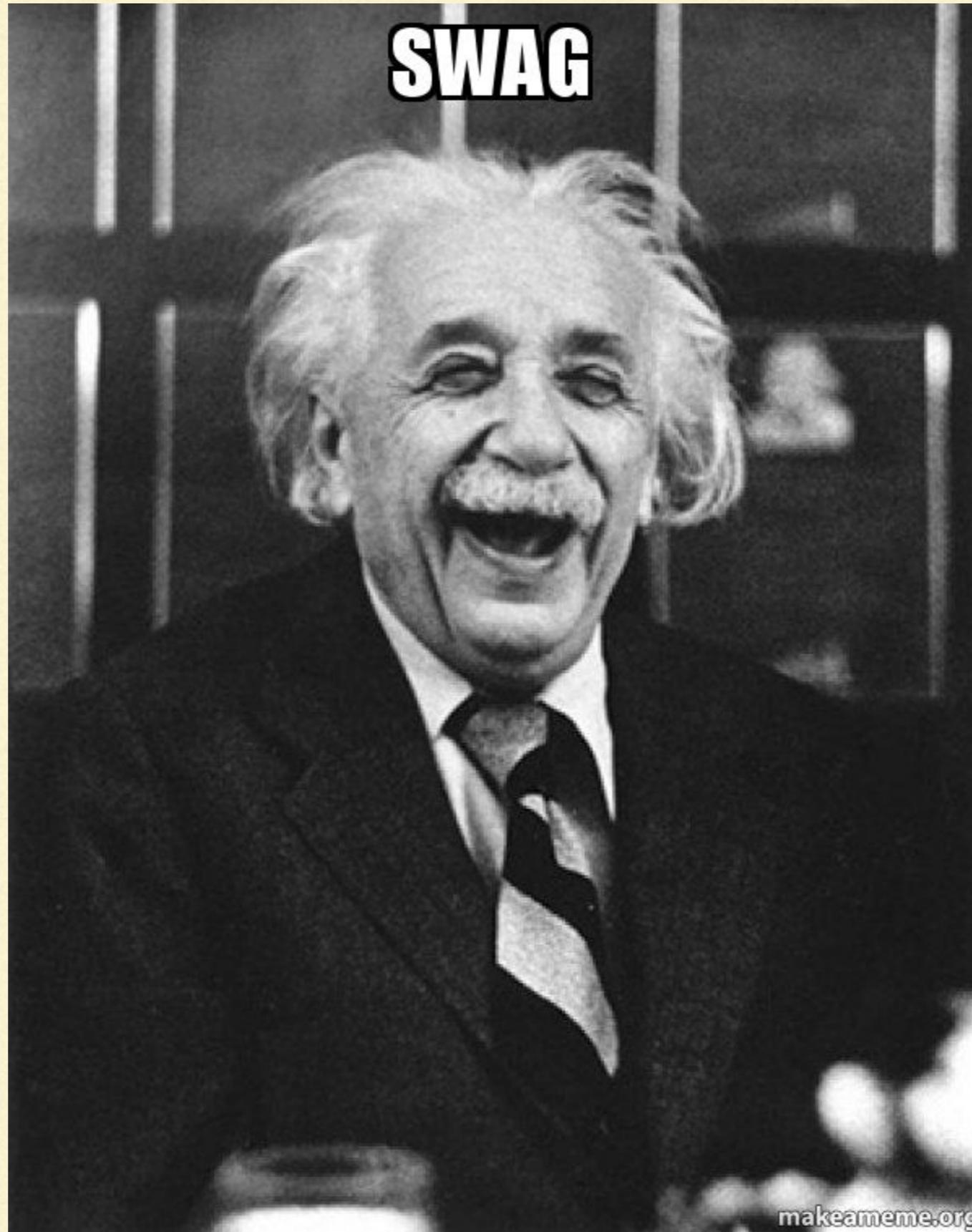
Per la teoria della Relatività
Generale, lo spazio-tempo è
curvato in presenza di corpi
molto massivi.



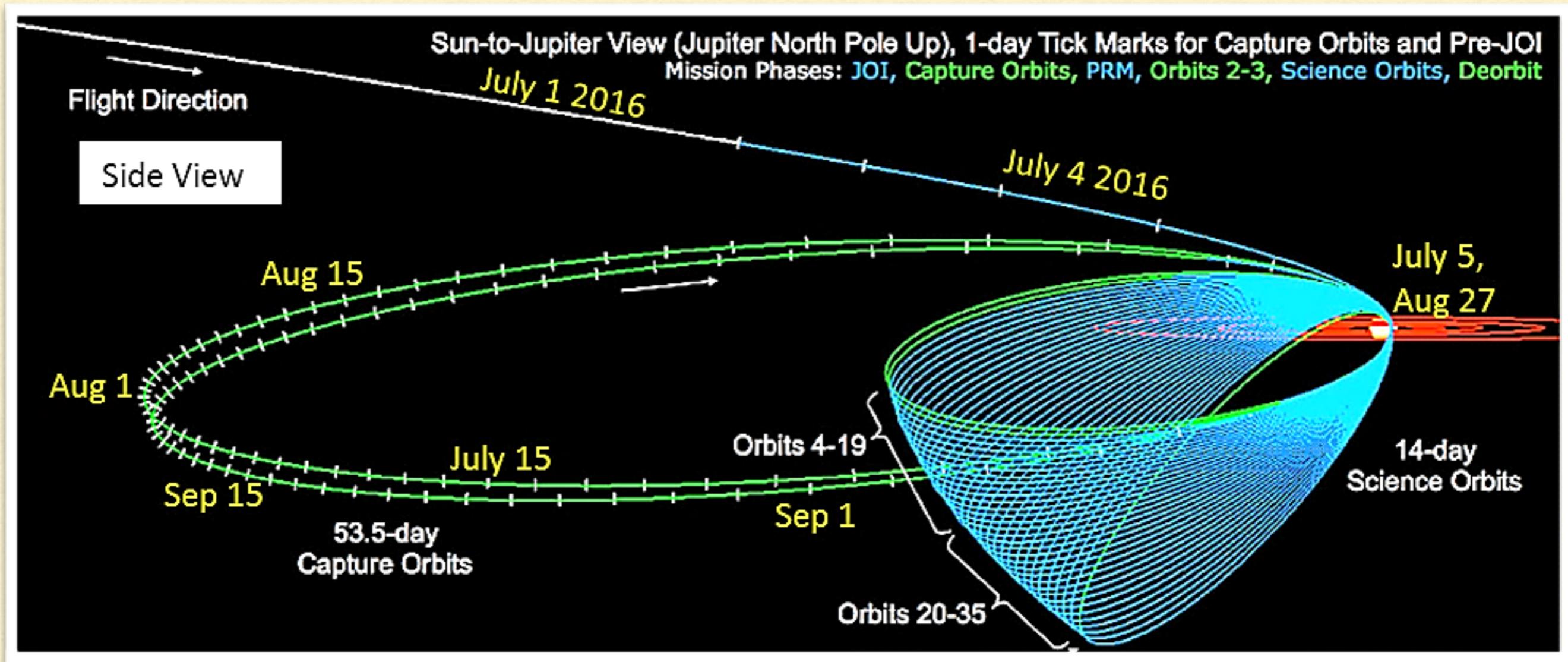
PATH DELAY

- La curvatura dello spazio-tempo causa un **ritardo** nell'arrivo del segnale radio dallo spacecraft a Terra.
 - Misurando questo ritardo si riesce a calcolare quanto è curvato lo spazio e vedere se tale valore coincide con il valore previsto da Albert Einstein.
 - Finora tutti gli esperimenti di congiunzione superiore hanno confermato la teoria di Einstein.
-

SWAG



makeameme.org

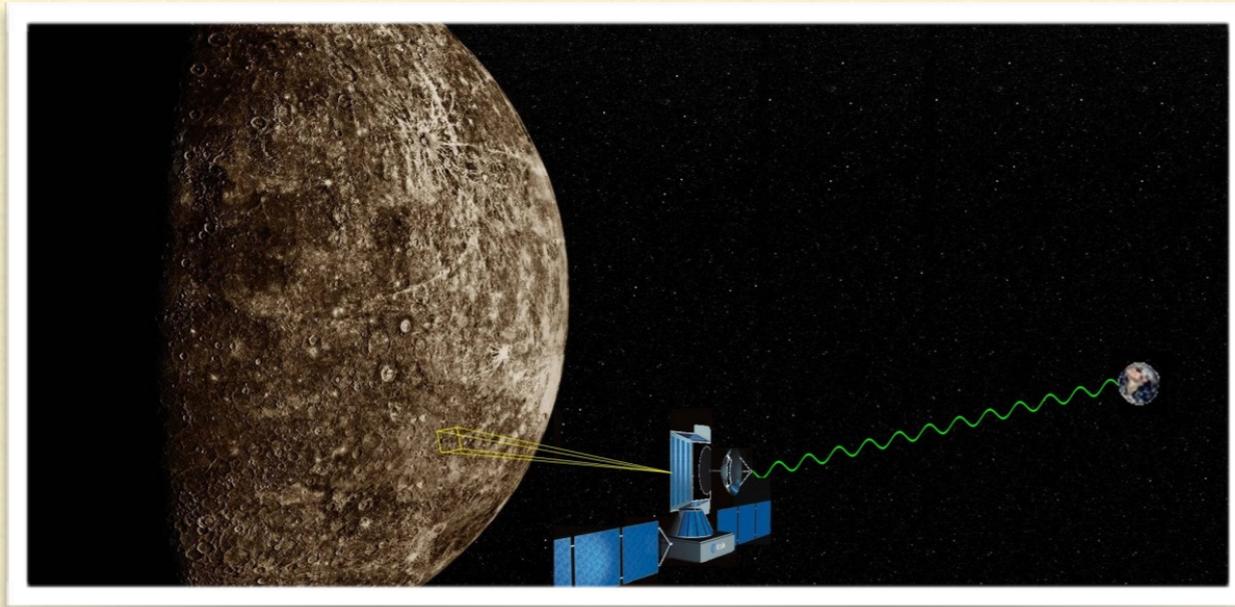


INSERZIONE IN ORBITA

Il 4 Luglio 2016 Juno ha effettuato la manovra per rallentare e entrare in orbita attorno a Giove.

Lo spacecraft ha dovuto **decelerare fino a raggiungere la velocità esatta** per poter entrare in orbita attorno al gigante. Un qualsiasi errore nel sistema di propulsione avrebbe fatto perdere la sonda.

RADIOSCIENZA

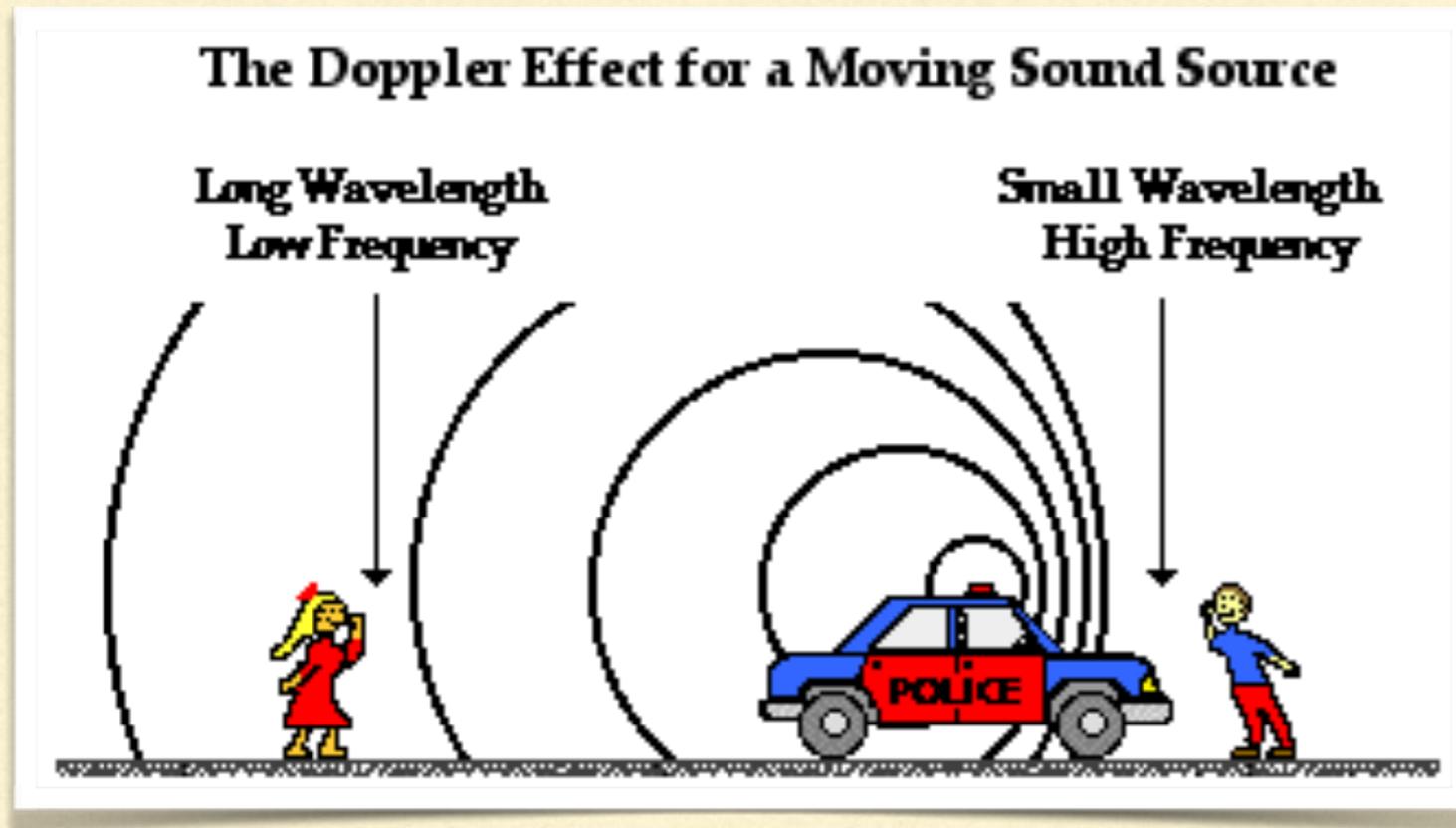


Determinazione dell'orbita della sonda e di un numero di parametri caratteristici del pianeta che orbita a partire da **osservazioni** della sonda.

Range : distanza sonda - Terra

Doppler shift : differenza di frequenza del segnale inviato e di quello ricevuto.

EFFETTO DOPPLER



La frequenza dell'onda è legata alla velocità della sorgente:

$$V = c \frac{(\Delta v)}{v}$$

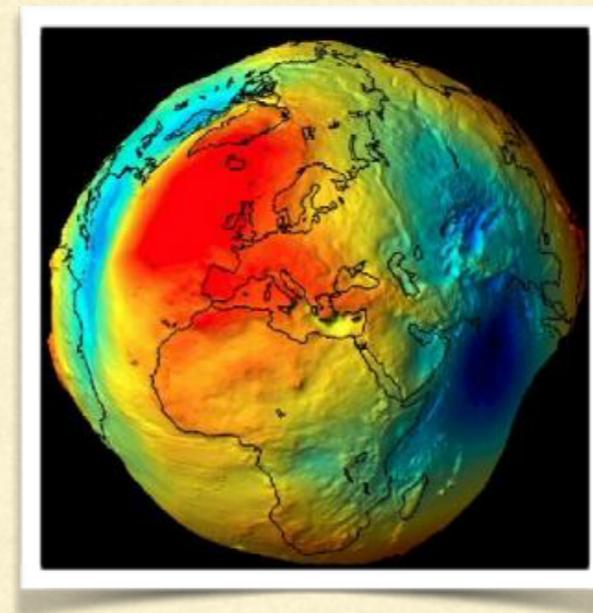
Misurare l'effetto Doppler della sonda equivale a misurarne la velocità.

CAMPO DI GRAVITÀ

I pianeti non sono perfettamente sferici, ma sono schiacciati.
La gravità dipende dalla distribuzione di massa del pianeta.

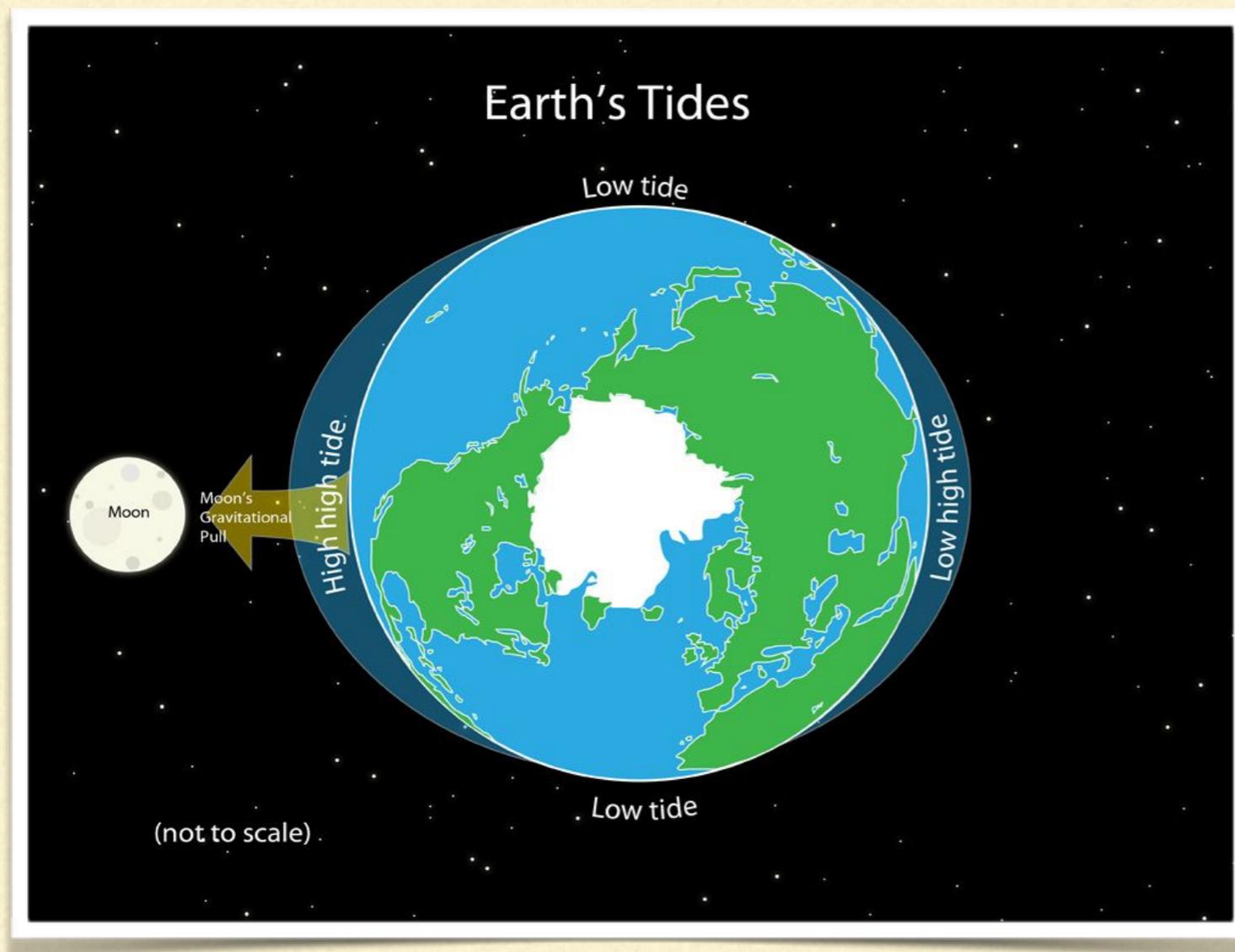


Terra sferica



Geoide

EFFETTI MAREALI (I)

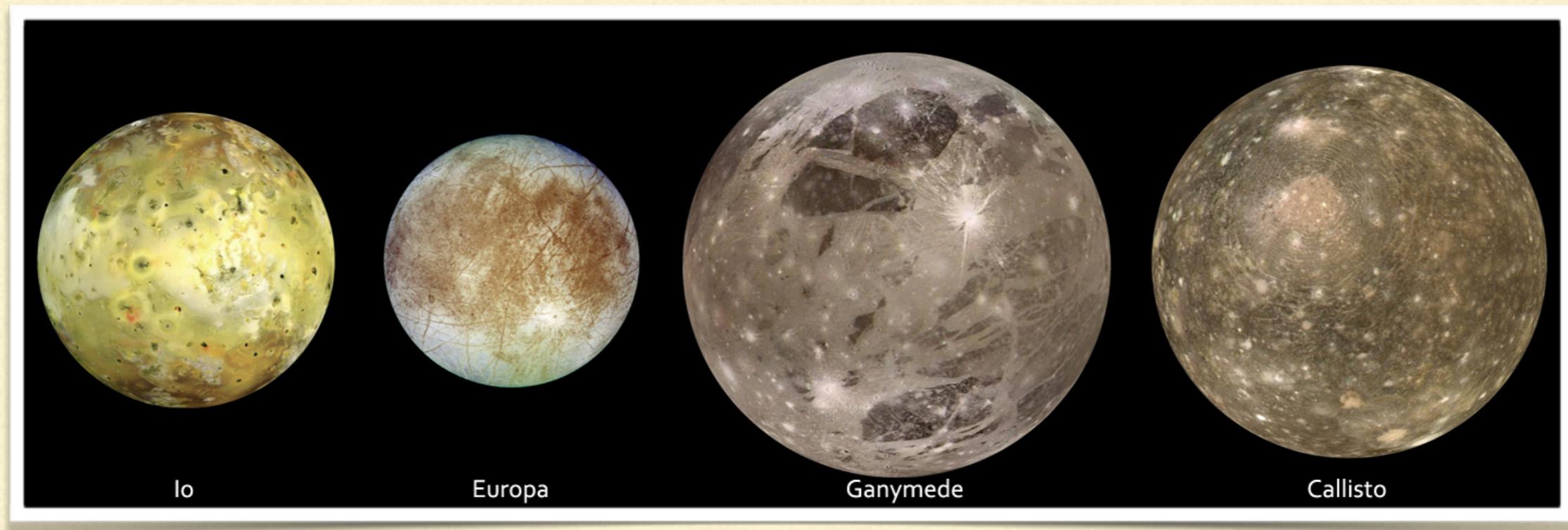


La presenza di un **satellite naturale** attorno al pianeta genera effetti mareali sul pianeta.

Il corpo si deforma (non permanentemente) e questo influenza la velocità della sonda che orbita il pianeta.

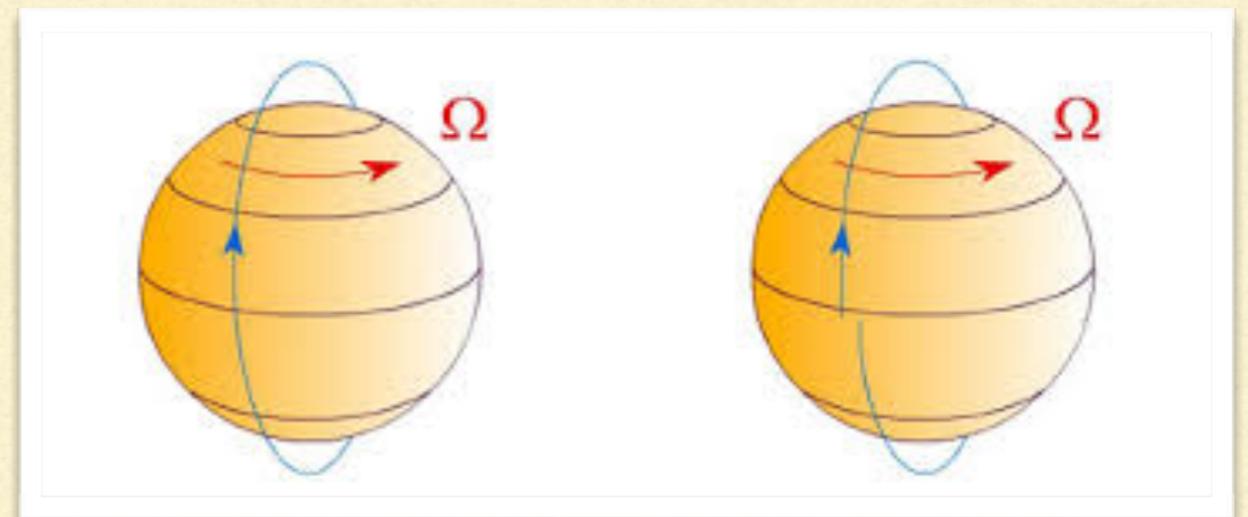
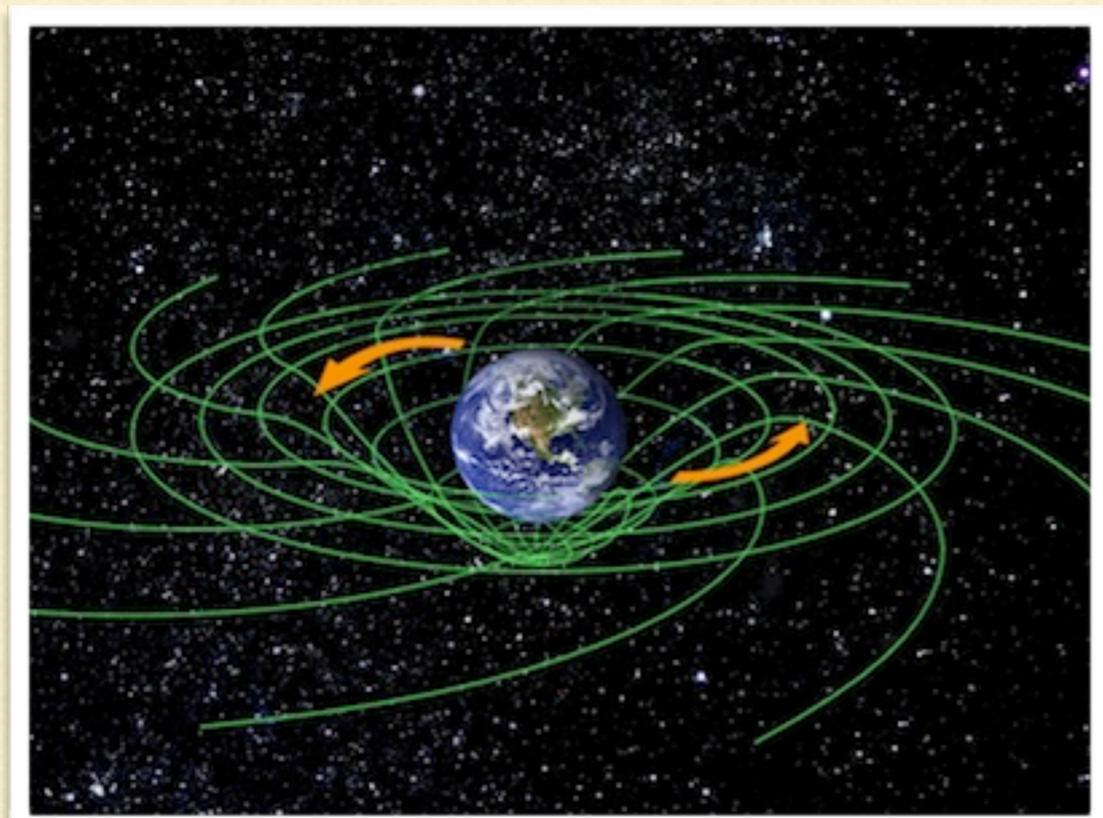
EFFETTI MAREALI (2)

Chi genera le maree su Giove?



EFFETTO LENSE-THIRRING

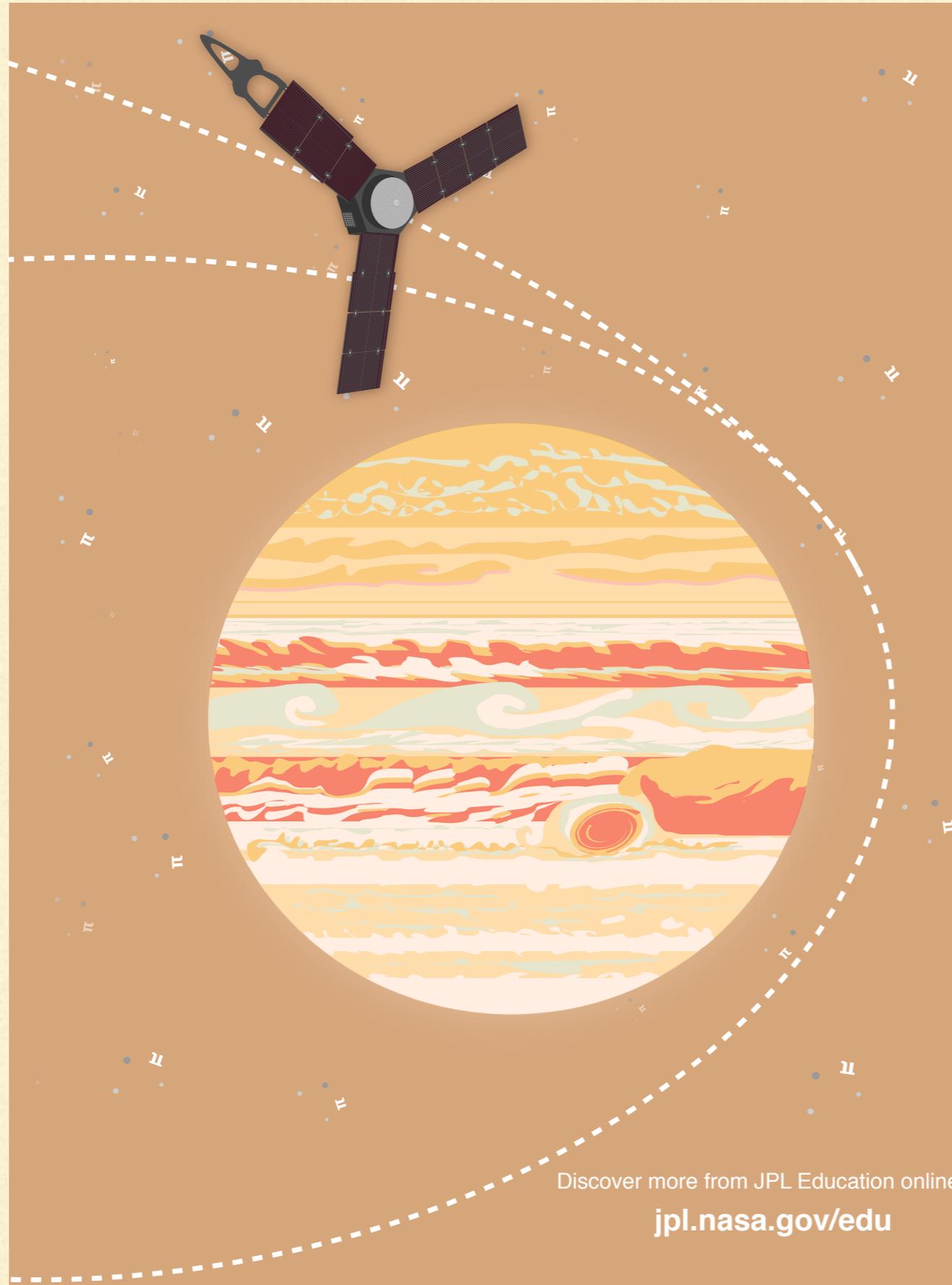
Effetto relativistico dovuto alla rotazione del pianeta che causa la precessione dell'orbita della sonda.



Poiché la rotazione dipende dal **momento angolare**, con Juno possiamo determinare il momento angolare di Giove.



GRAZIE!



GRAVITY GRAB

The Juno spacecraft is hurtling toward Jupiter. At closest approach, it will reach a velocity of 57.98 km per second relative to the planet. To get into orbit around Jupiter, Juno will have to brake at just the right time to be pulled in by Jupiter's gravity or miss its target completely.

By how much does Juno need to change its velocity relative to Jupiter to get into a 53.5-day orbit around the planet?

Use these equations to approximate a solution assuming Juno could instantaneously decelerate at perijove:

$$T = 2\pi\sqrt{\left(\frac{a^3}{\mu}\right)}$$

$$E = \frac{-\mu}{2a} = \frac{v^2}{2} - \frac{\mu}{r}$$

T = orbital period (in seconds)

E = total orbital energy

a = semi-major axis of the orbit (in km)

μ = gravitational parameter for Jupiter
(126,686,536 $\frac{\text{km}^3}{\text{sec}^2}$)

v = velocity of Juno relative to Jupiter after deceleration

r = radius of Juno at perijove (76,006 km)

LEARN MORE ABOUT THE MISSION

nasa.gov/juno | missionjuno.swri.edu

Discover more from JPL Education online at:

jpl.nasa.gov/edu