

Matematica Spaziale

Daniele Serra

Gruppo di Meccanica Celeste, Università di Pisa

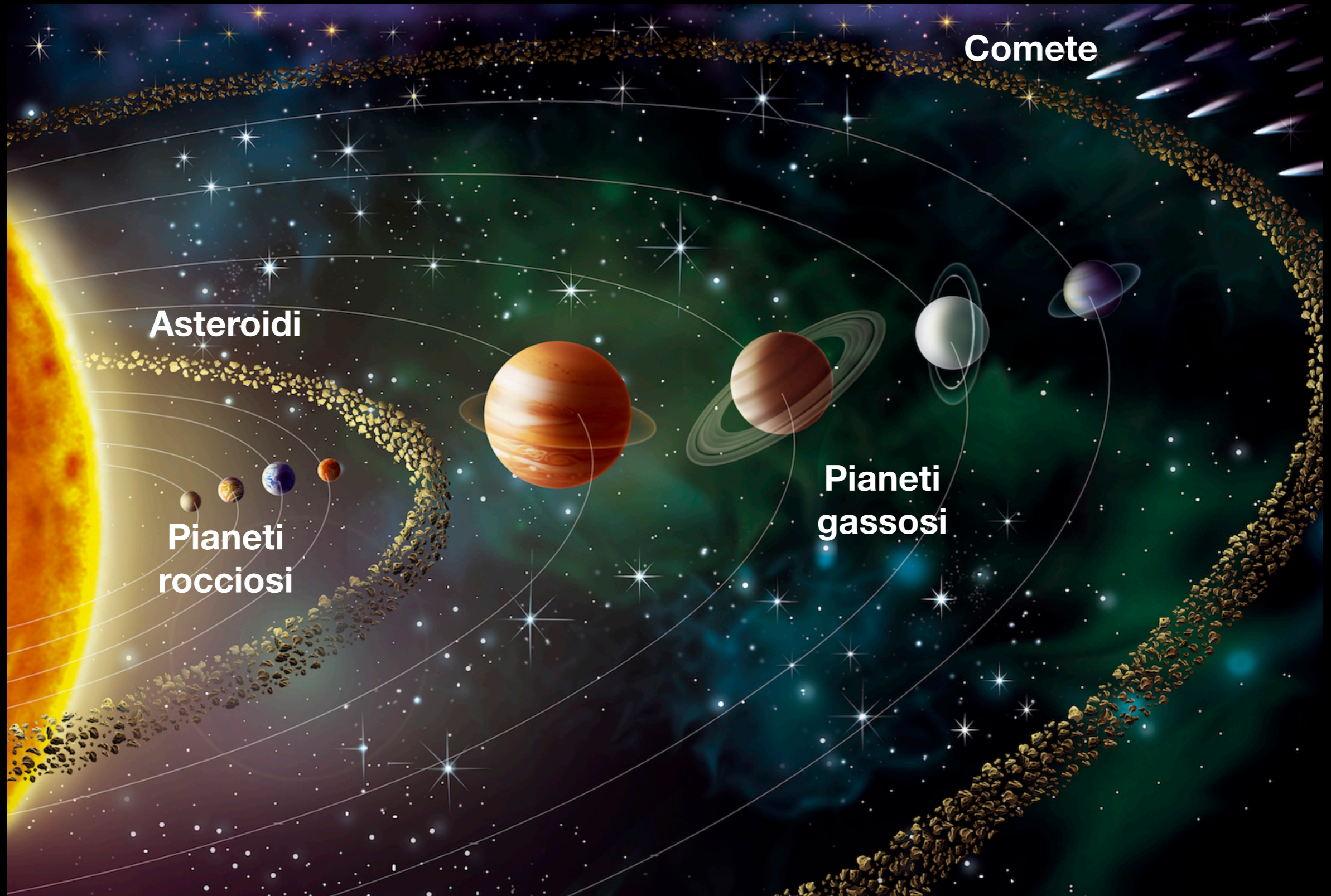
“Matematica in Città per i Cittadini”, Lucca, 9 Settembre 2019

Andrea Milani

(1948-2018)



Sistema Solare



Tre problemi

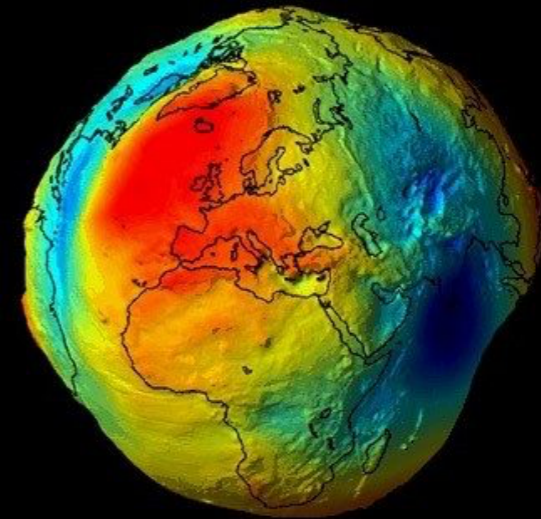
La “forma” di un pianeta



Sfera



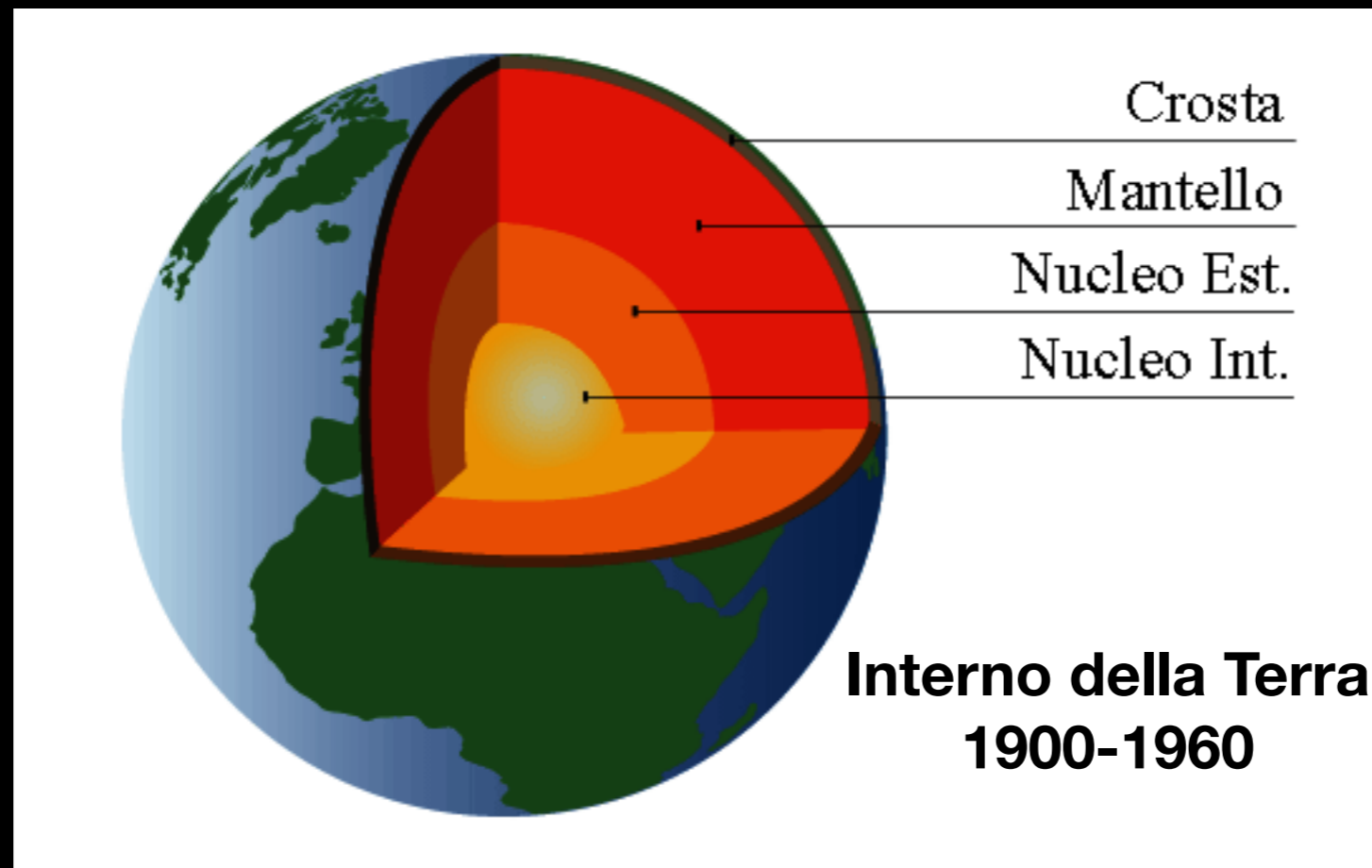
Ellissoide



Geoide

Forma = distribuzione della massa

Dalla forma all'interno



Come studiamo l'interno degli altri pianeti?

Asteroidi



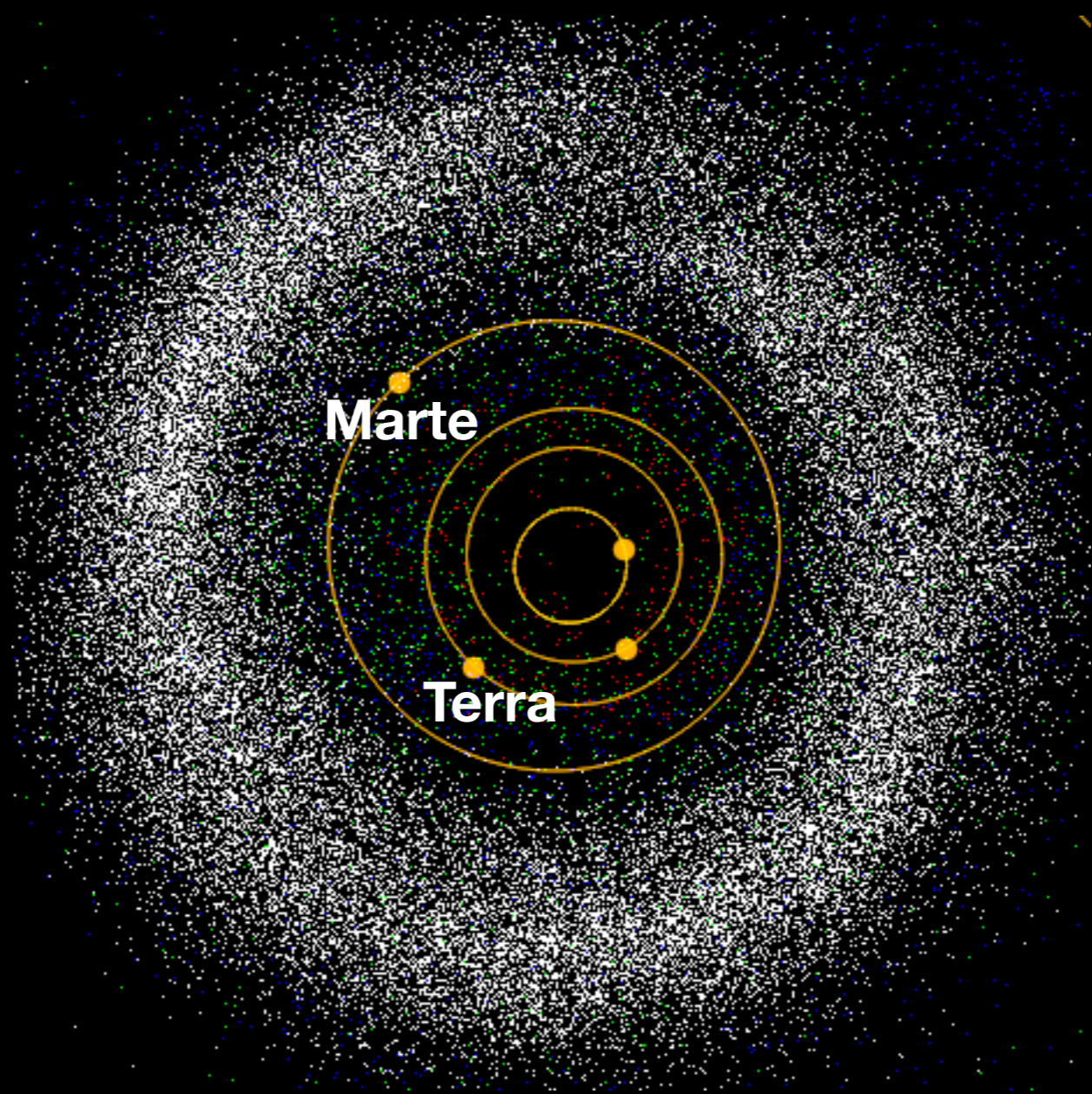
Eros



Itokawa



Bennu



Una minaccia per la Terra?

Cosa sappiamo dell'enorme asteroide che ci viene incontro (ma che non ci dovrebbe colpire)



di **Marta Musso**
Contributor
29 AUG, 2019



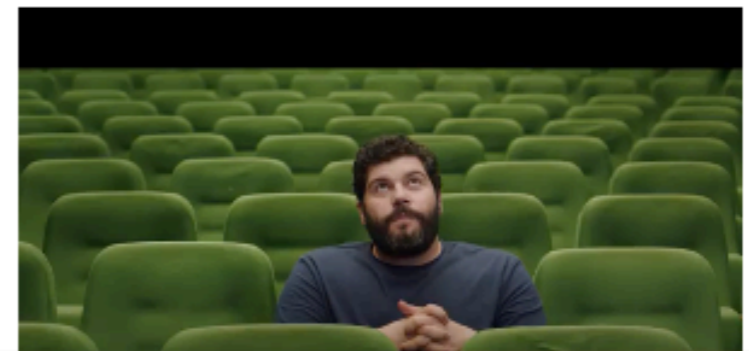
162



162
CONDIVISIONI

Il prossimo 14 settembre l'asteroide 200Qw7 passerà a salutarci a una distanza di circa 5,3 milioni di chilometri. Sebbene sia stato classificato tra gli “oggetti potenzialmente pericolosi”, il rischio di impatto è nullo

VIDEO



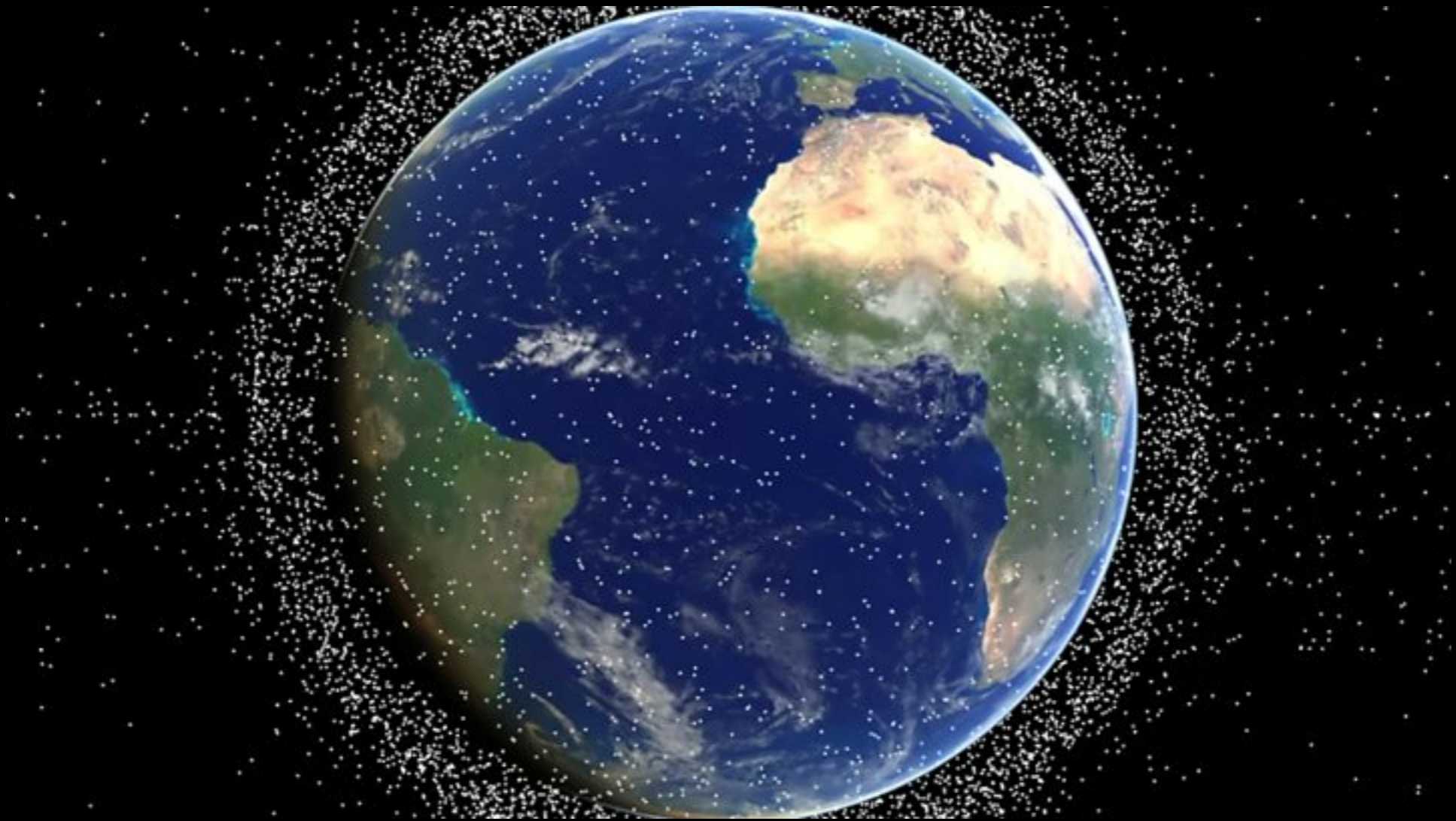
Una minaccia per la Terra?



Come ci prepariamo?

Come facciamo a sapere se ci sarà un impatto prima o poi?

Spazzatura spaziale



Rottami o pezzi di satelliti artificiali, grandi da pochi centimetri a molti metri

Quali sono i rischi?



dal film *Gravity* (2013), Alfonso Cuarón

Possiamo studiare l'evoluzione dinamica dei detriti spaziali?

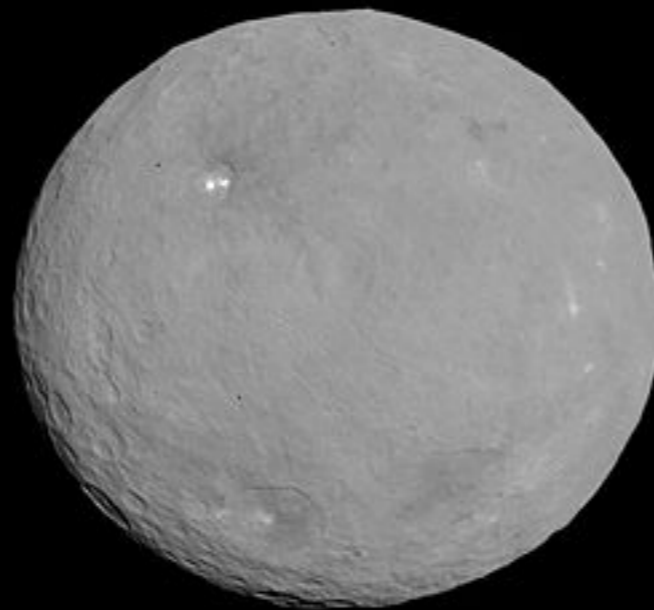
Meccanica celeste

DETERMINAZIONE ORBITALE

Prevedere la posizione e la velocità futura di un corpo celeste a partire da osservazioni nel presente



G. Piazzi

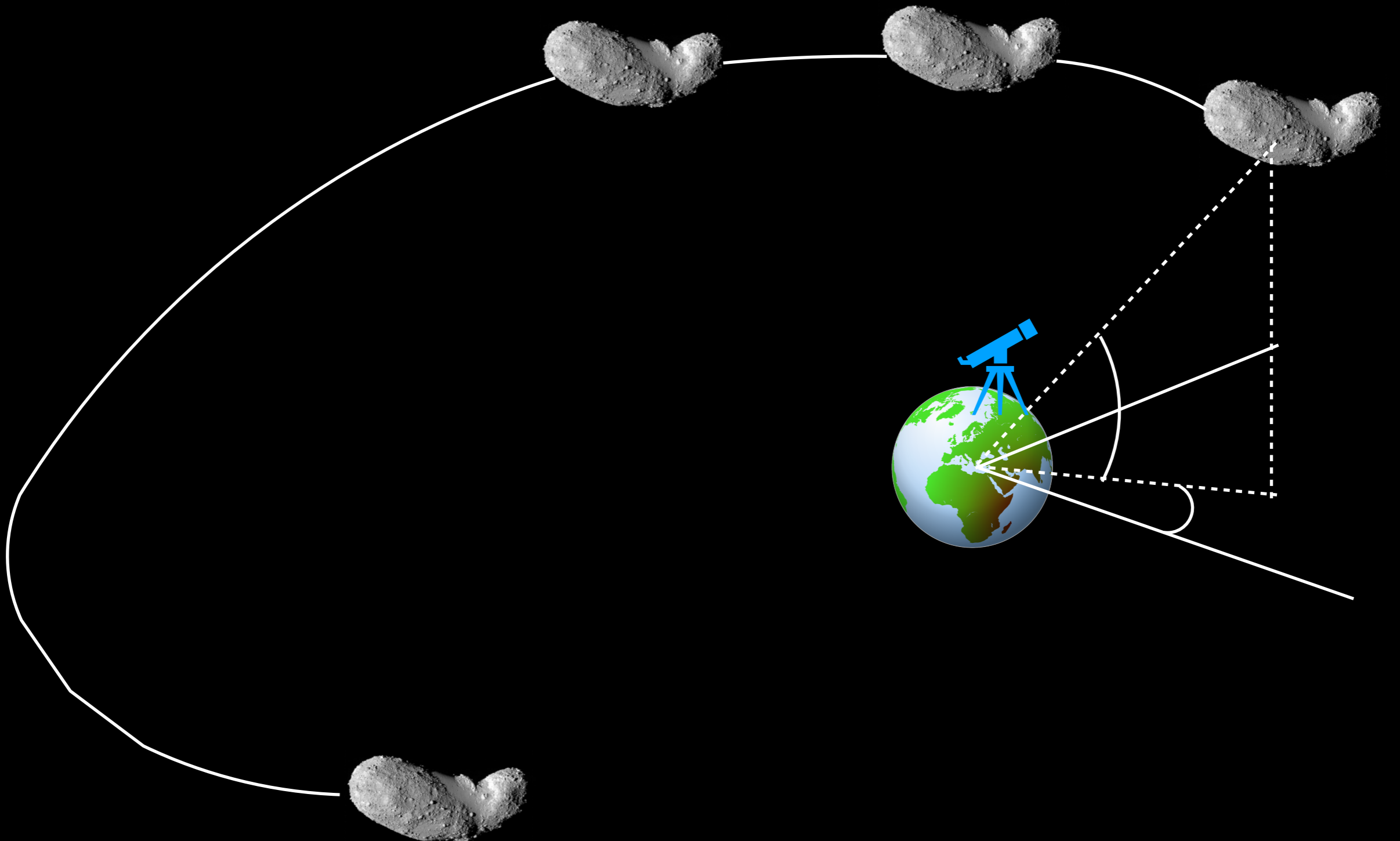


Cerere



C.F. Gauß

Determinazione orbitale



Caos!

Due sistemi identici che partono da uno stato iniziale quasi uguale possono evolvere



Caos!

Modello ~~o~~ deterministico

Modello probabilistico

?



?

?





RISK PAGE ▷ [RISK LIST](#)

- [Intro](#)
- [Risk list](#)
- [Past impactors](#)
- [Imminent impactors](#)
- [References](#)
- [Notes](#)

Last updated: 2019-09-09 06:54:00 UTC

There are currently **878 NEAs** in the NEODyS risk list. Please, use the links above the table to display all or part of the list. The list can be sorted by clicking on the table headers.

[[All](#) | [Special](#) | [Observable](#) | [Possible recovery](#) | [Lost](#) | [Small](#)]

Designation ▼	H	PS _{max}	TS _{max}	Status	Camp. start	Camp. end	Notes
(29075) 1950DA	17.1	-1.36	n/a	Special		2020-02-27	
(99942) Apophis	18.9	-3.67	0	Special	2019-11-08	2020-08-13	
(101955) Bennu	20.6	-2.32	n/a	Special		2019-10-04	
(410777) 2009FD	22.2	-7.25	n/a	Special	2019-10-22	2020-03-06	
(443104) 2013XK22	24.2	-4.63	0	Possible recovery	2028-10-06	2029-01-13	Faint object
1979XB	18.5	-3.28	0	Lost			
1991BA	28.7	-6.87	0	Small			
1993KA2	29.0	-9.30	0	Small			

La forma di Giove



La forma di Giove

CORRIERE DELLA SERA

CORRIERE INNOVAZIONE

NEWS EVENTI COLABO

Cosa pensano
i **Digital Leader**
delle grandi aziende italiane



SCIENZA

Sorpresa, Giove è a hanno scoperto da

È il più grande pianeta del sistema solare, il ri
modello della sua struttura interna usando i
della sonda Juno della Nasa

Sorpresa, Giove ha la

I matematici dell'Unive
sulla misura del campo
l'emisfero nord del pia
all'emisfero sud

LA moda di C
anni, con cui
erano sposa-
lla residenza
iglia a Palm
ella Florida.
IO è stata lei,
manale New
to tempo fa
niugali, cau-
ald Junior e
ocial media.



Barbara D'Urso, a sinistra,
e Barbara Guerra.

si, la conduttrice la querelò. Ora Barbara Guerra è
stata condannata dal Tribunale di Monza a sei mesi
di reclusione per
diffamazione
aggravata, oltre
al risarcimento
dei danni mora-
li alla D'Urso.
La pena è sta-
ta sospesa e la
showgirl ricor-
rerà in Appello.

ta pesa
ve volte
ne del r
la casa
in Moto
quarant
sono pr
verto ar
ho firm
decimo
simo: è
Qatar,

Andrea Milani e Daniele Serra,
due matematici dell'Università
di Pisa, hanno contribuito a una
straordinaria scoperta astronomica:
il pianeta Giove non ha una forma
sferica perfetta, ma ha la forma di
una "pera", cioè l'emisfero Nord del
pianeta è più piccolo di quello Sud.

Giovanni Toti, 49 anni, presi-
dente della Regione Liguria,
ha dato il via alla raccolta di firme
nella sua regione per richiedere che
il pesto, la celebre salsa al basilico,
diventi patrimonio dell'umanità e
sia inserito, come la pizza, fra i beni
protetti dall'Unesco.

Alessandro Bonaccorsi, 38 anni,
fotografo con il nome d'arte di

no, dove l'ordigno bellico è stato rin-
venuto in un cantiere e, per sicurezza,
sono stati evacuati i palazzi nelle vici-
nanze, l'ospedale Santa Croce e la
stazione; chiusi anche l'aeroporto, il
porto, i pubblici uffici e le scuole. Poi
la bomba è stata portata via ed è stata
fatta brillare in alto mare.

A Parigi, dal 17 al 21 aprile, an-
dranno all'asta i tesori dell'hotel
Ritz, uno dei simboli del lusso mon-
diale, che nelle sue stanze ospitò an-
che le ultime notti della principessa
Diana e di Dodi Al-Fayed. Fra i ci-
meli messi all'asta: il letto in ottone di
Ernest Hemingway, il divano preferito
da Marcel Proust e gli sgabelli del bar
su cui sedeva Francis Scott Fitzgerald.

li immaginavamo,
era e Saturno senza
si formassero)

DI SICILIA

oni Ambiente No Profit e Consumo

ra centro dell'evoluzione del

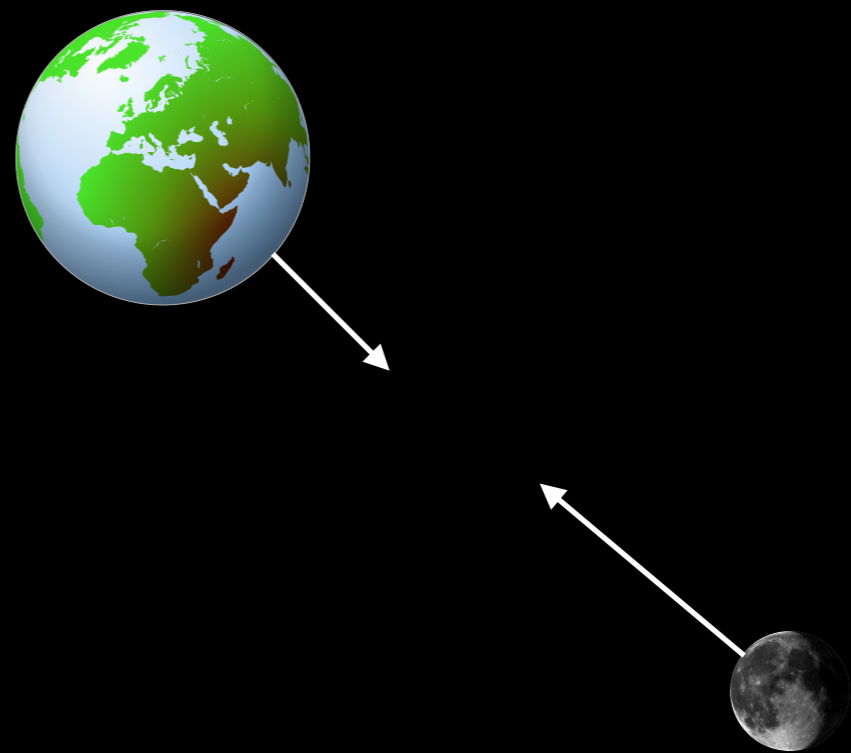
pubblicato lo studio
' La scoperta è che
sa diversa rispetto

Campo di gravità

Ogni corpo genera una forza proporzionale alla propria massa con la quale attrae gli altri corpi.



Newton e la famosa mela



Forma, massa e gravità

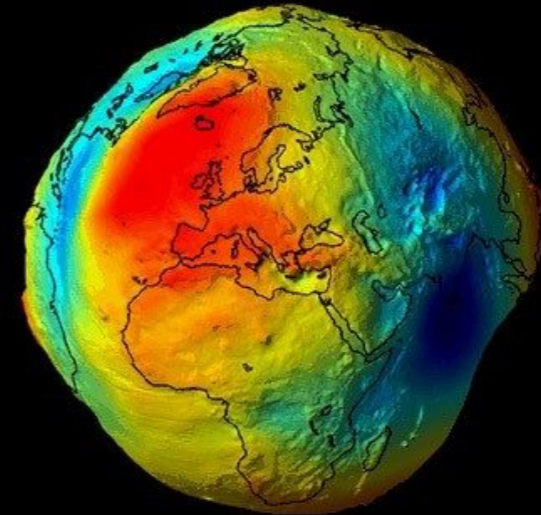
La forma di un pianeta è legata al modo in cui è distribuita la sua massa.



Simmetria sferica



Ellissoide



Geoide

Ogni forma diversa determina un campo di gravità diverso



$$V = \frac{GM}{r}$$



$$V = \frac{GM}{r} + J_2 V_2$$

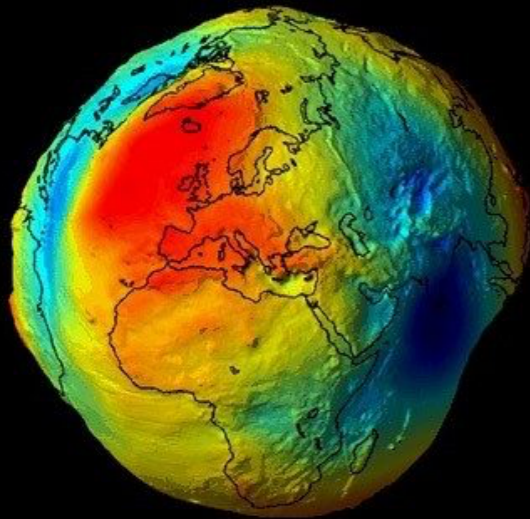
J_2 indica quanto il pianeta è schiacciato ai poli



$$V = \frac{GM}{r} + J_3 V_3$$

J_3 indica quanto la massa è asimmetrica rispetto all'equatore

Gravità del geoide



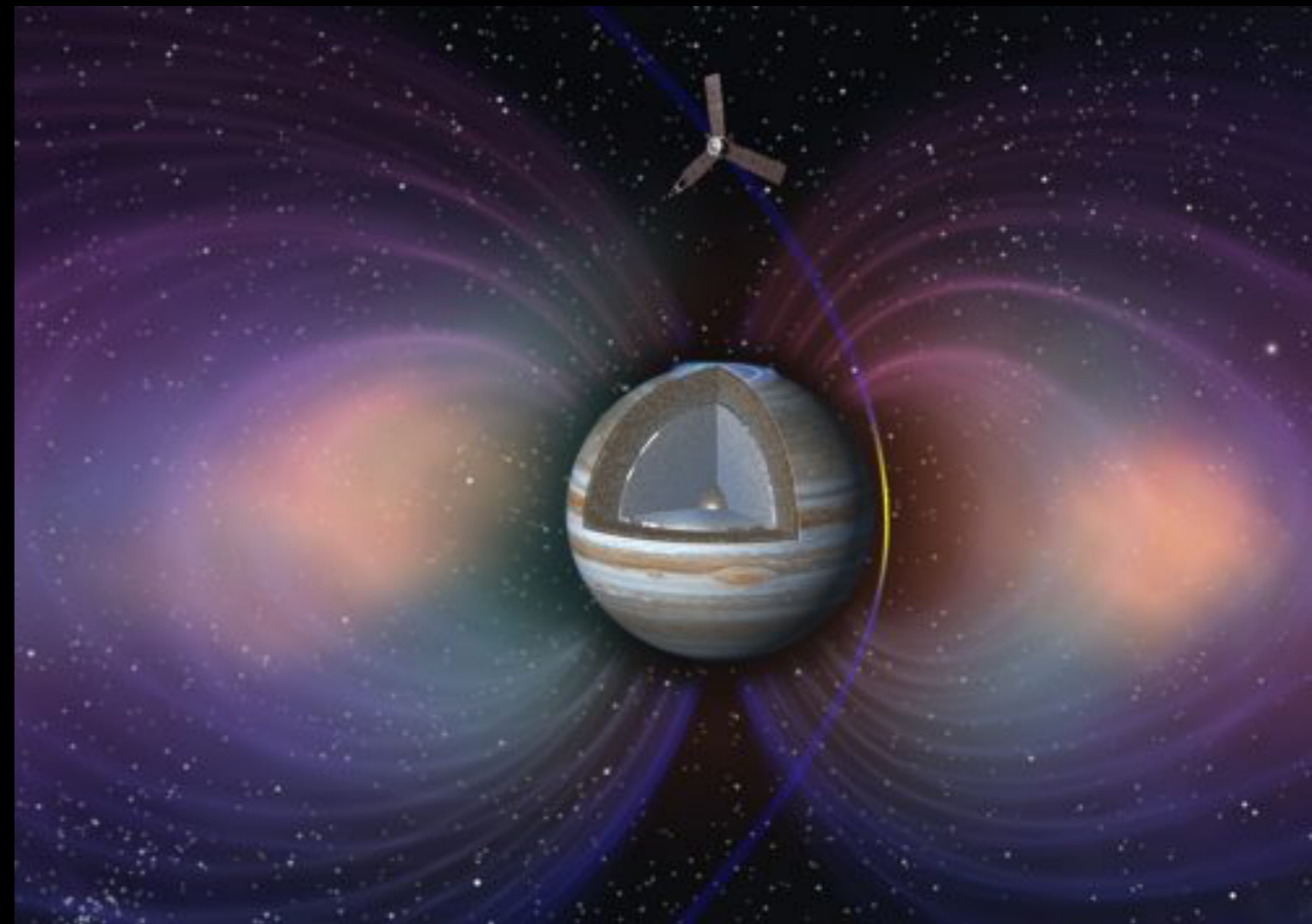
$$V = \frac{GM}{r} + J_2V_2 + J_3V_3 + J_4V_4 + \dots$$

Conoscendo i valori dei coefficienti J_2, J_3, \dots conosciamo la forma del pianeta

Come misuriamo questi coefficienti?

La missione NASA Juno

- **Prima missione a Giove alimentata con pannelli solari**
- **Porta otto strumenti (due italiani) per l'esplorazione della gravità, dell'atmosfera e del campo magnetico + una camera**
- **Lancio: 5 Agosto 2011**
- **Arrivo a Giove: 4 Luglio 2016**
- **Orbita polare con periodo di 53 giorni**



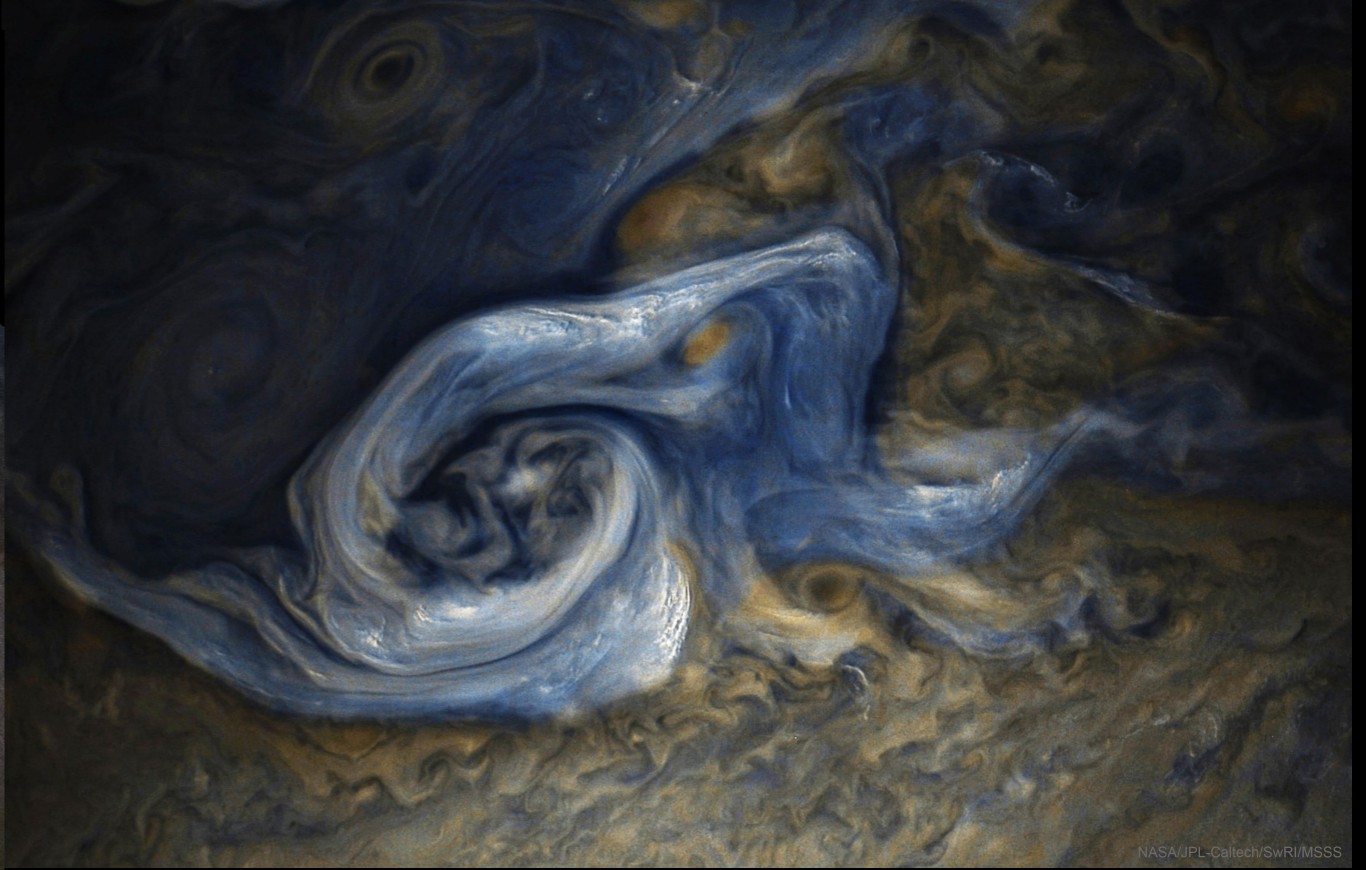
La sonda è più grande di un campo da basket!



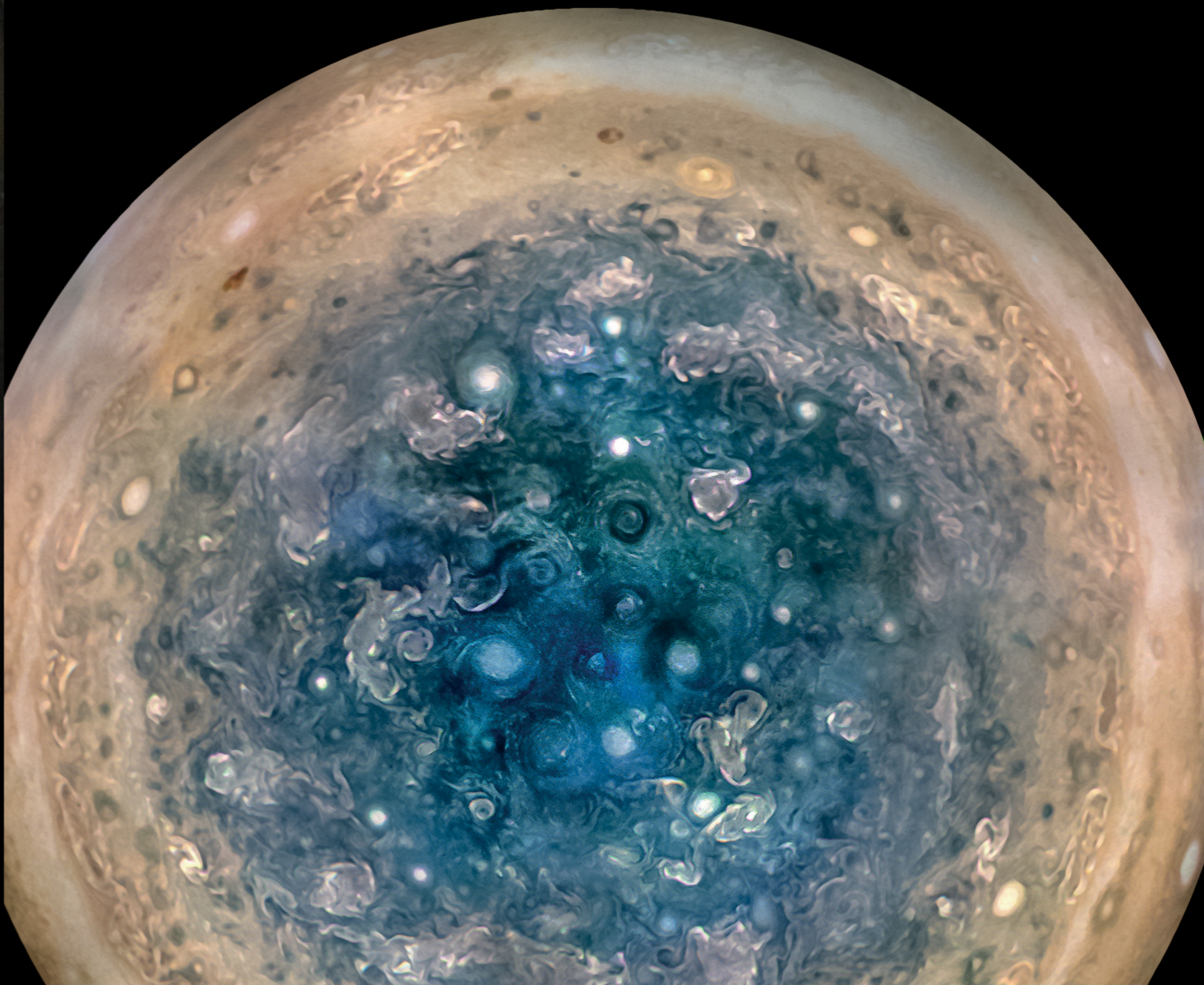
Il team di Juno al Rose Bowl stadium di Pasadena

Juno ci ha fornito le prime immagini dei poli di Giove

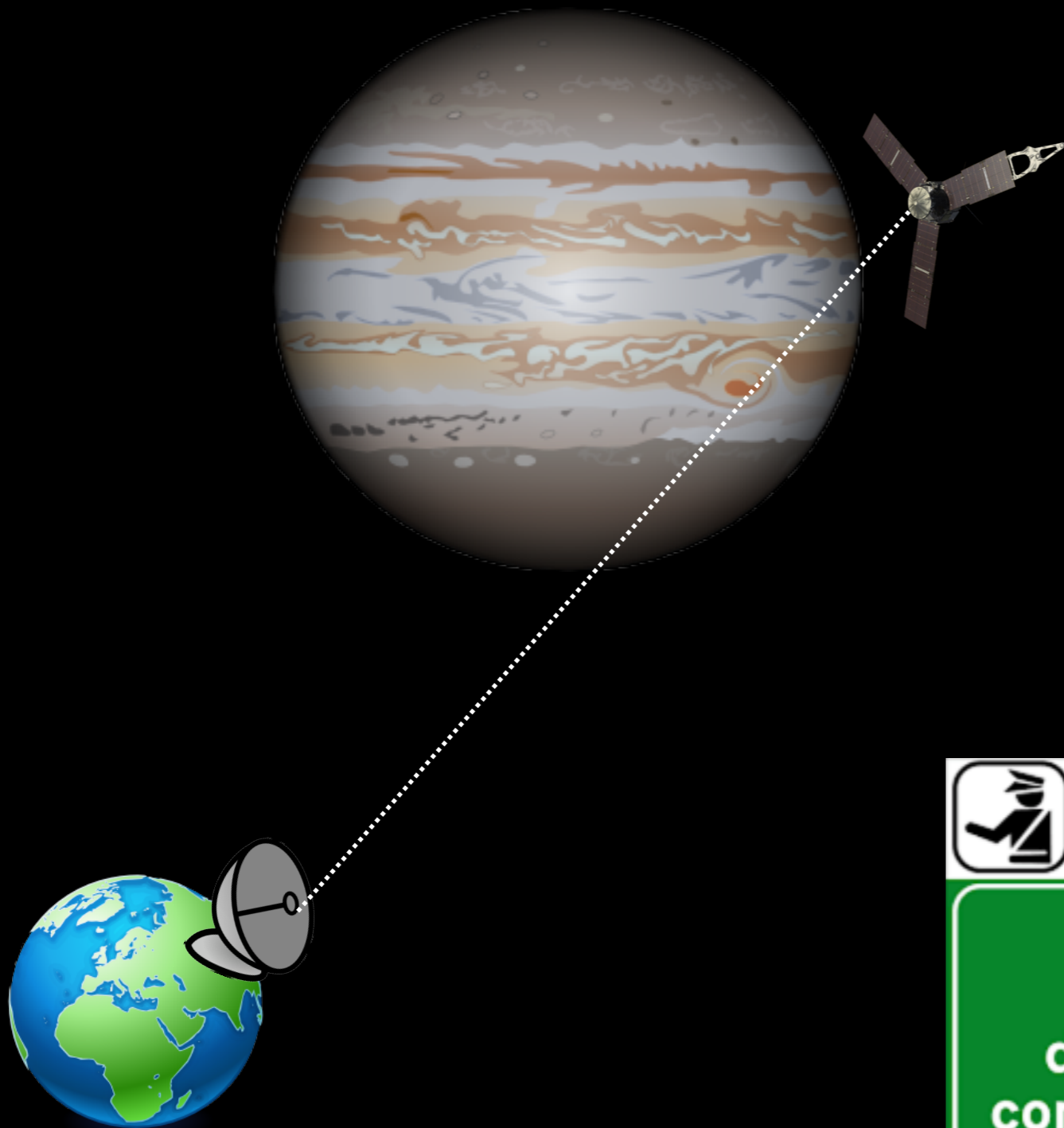




NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS



Misurare la gravità di Giove



Grazie a un sofisticato strumento fornito dall'Italia (transponder in banda Ka) riusciamo a misurare la velocità dello spacecraft rispetto alla Terra con una precisione 1 miliardo di volte migliore del tutor autostradale



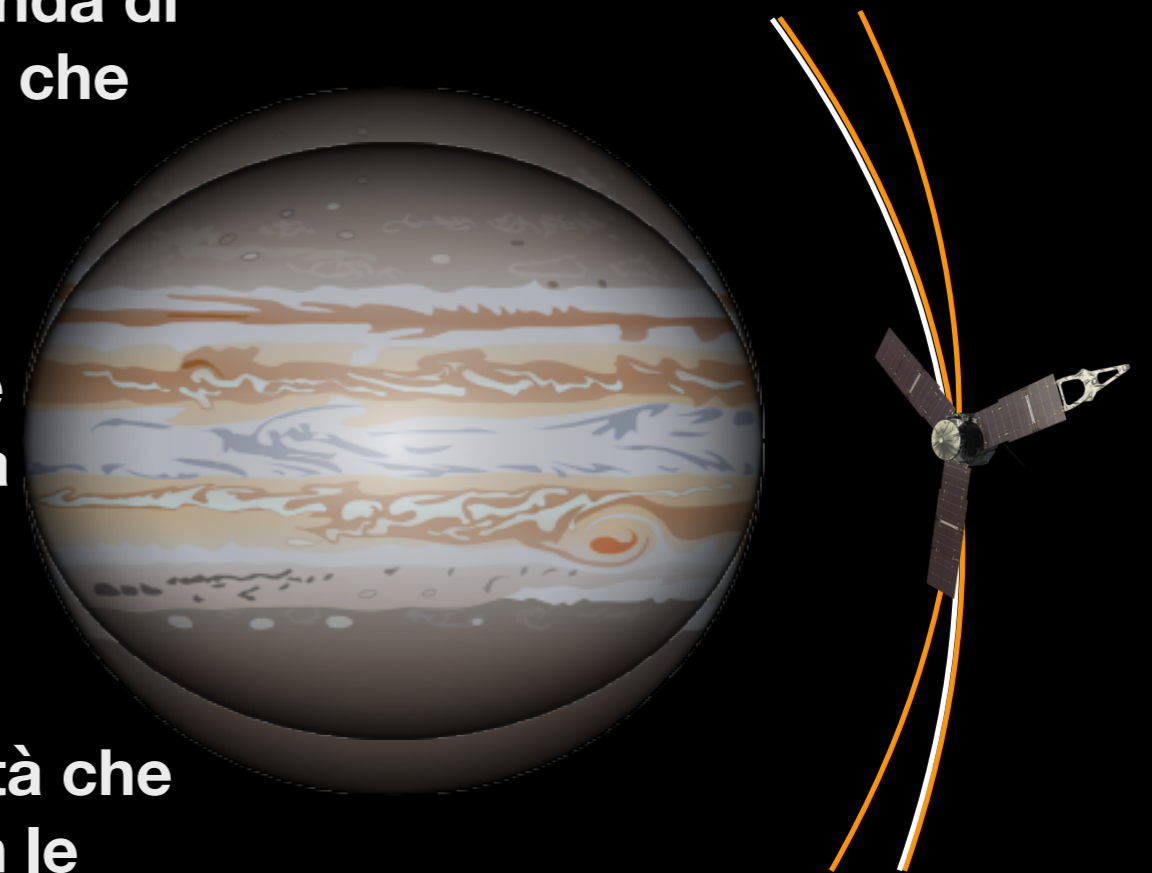
Non ci sarebbe scampo per chi supera il limite di velocità...

Dalla velocità alla gravità

La gravità di Giove muove la sonda, perciò ne stabilisce la velocità.

Noi partiamo dalla velocità e ricostruiamo qual è il campo gravitazionale del pianeta.

- **Costruiamo un modello dinamico della sonda di alta precisione: individuiamo tutte le forze che agiscono su di essa.**
- **Calcoliamo una predizione di quanto deve essere la velocità della sonda lungo la sua orbita.**
- **Cerchiamo i valori dei coefficienti di gravità che fanno combaciare le nostre predizioni con le misure della sonda.**



$$J_3 \simeq 0.0000000042$$

Perché esplorare Giove?

Immagini che aspettavamo da 400 anni

