

# Matematica ed Esplorazione Spaziale

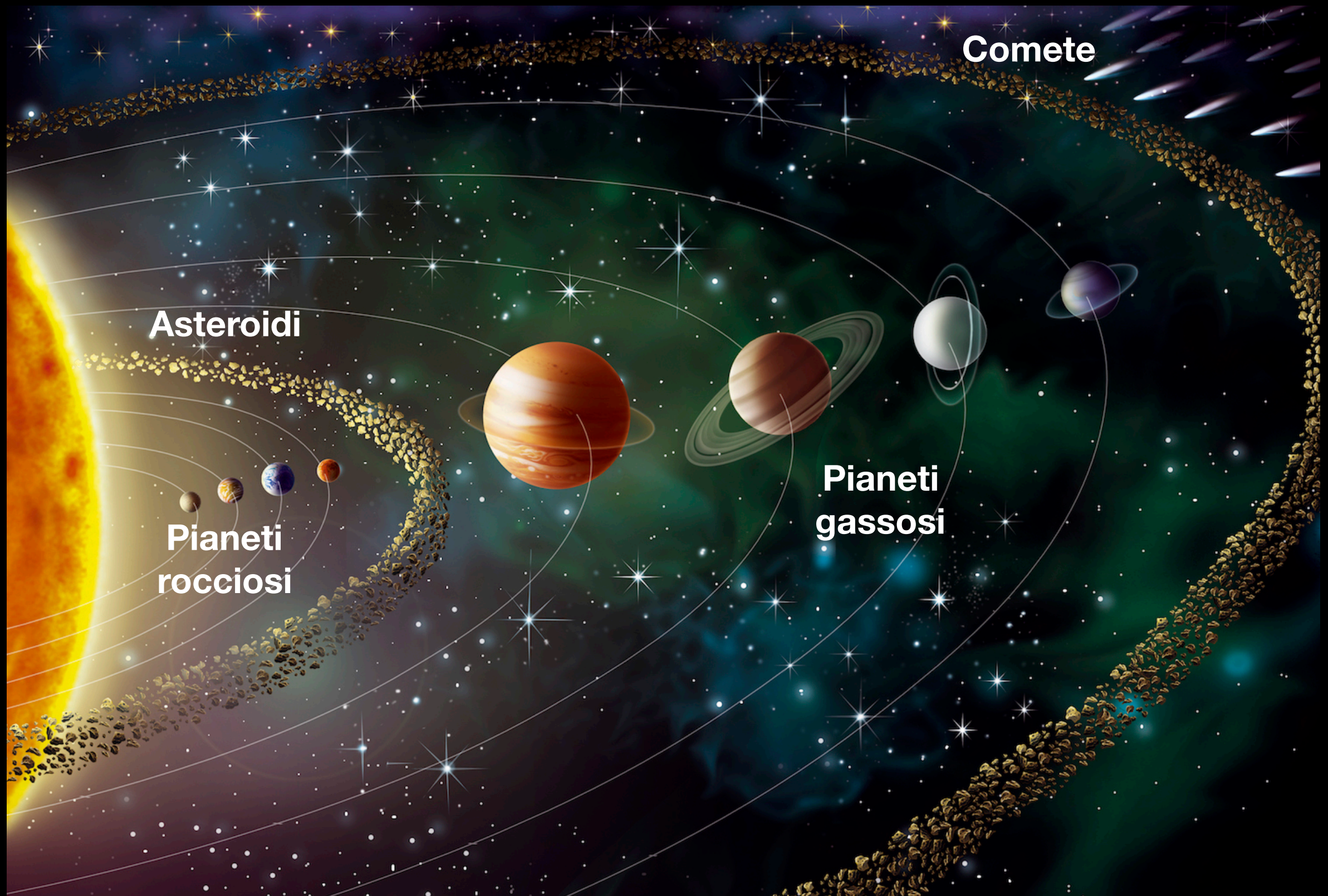
**Daniele Serra**

Dipartimento di Matematica, Università di Pisa

“Liceo Matematico”, Castelnuovo di Garfagnana, 18 Ottobre 2019



# Sistema Solare





**Tre problemi**



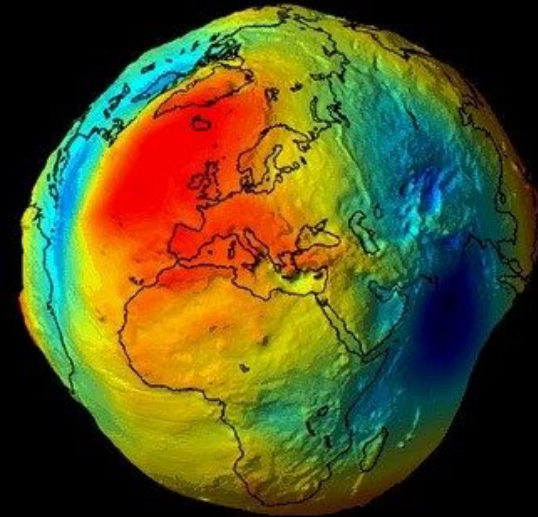
# La “forma” di un pianeta



**Sfera**



**Ellissoide**

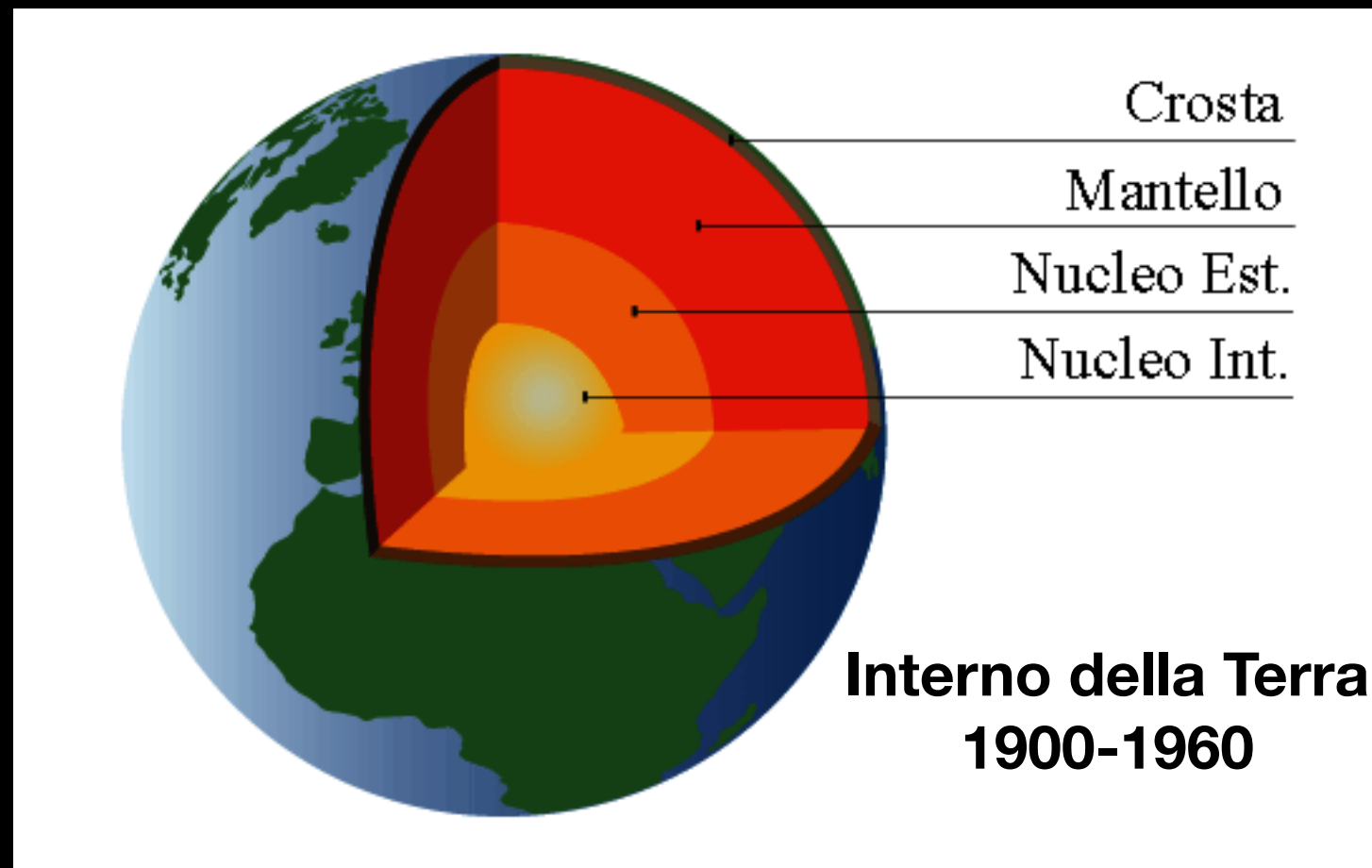


**Geoide**

**Forma = distribuzione della massa**



# Dalla forma all'interno



**Come studiamo l'interno degli altri pianeti?**



# Asteroidi



**Eros**

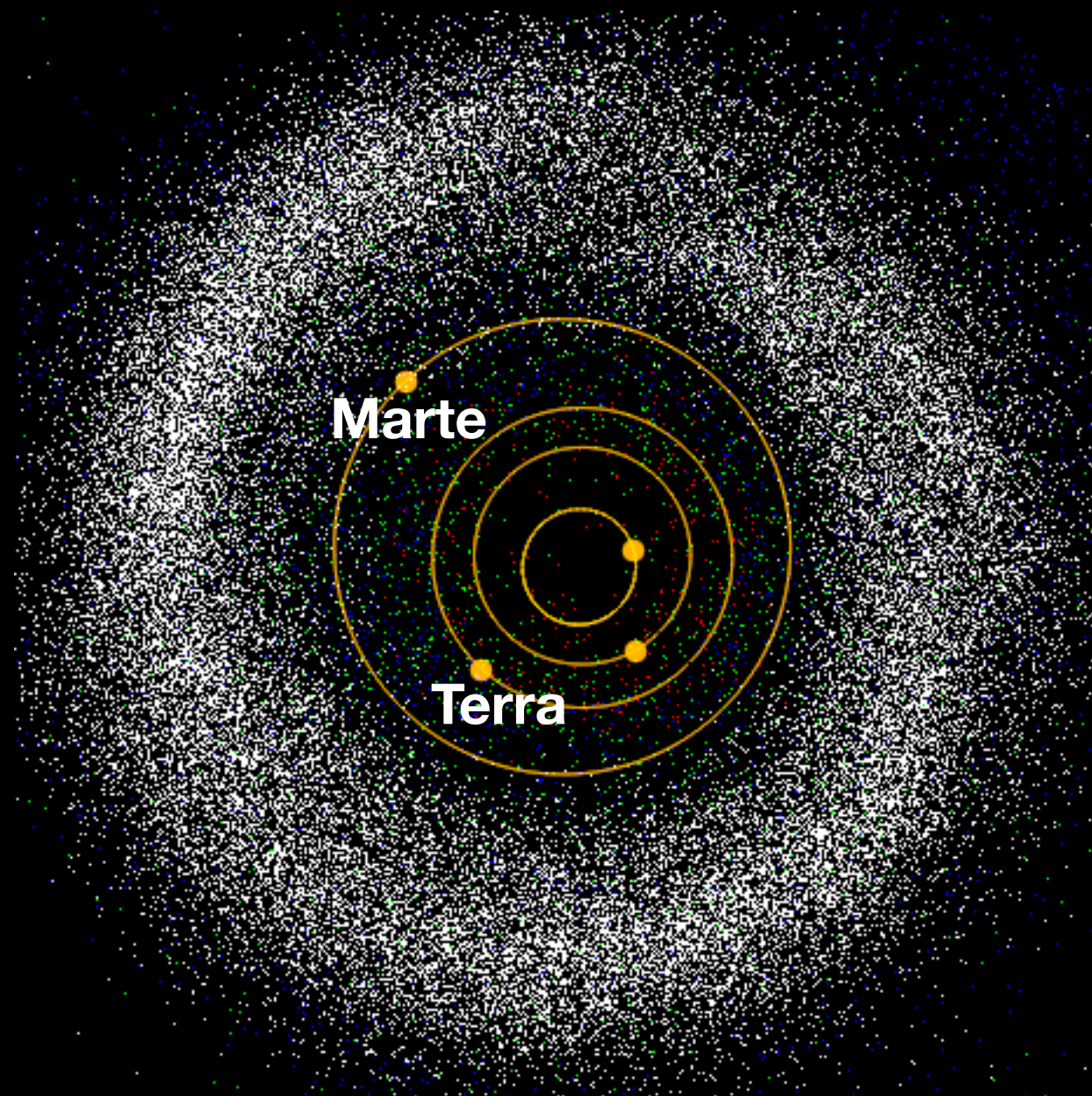


**Itokawa**



**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



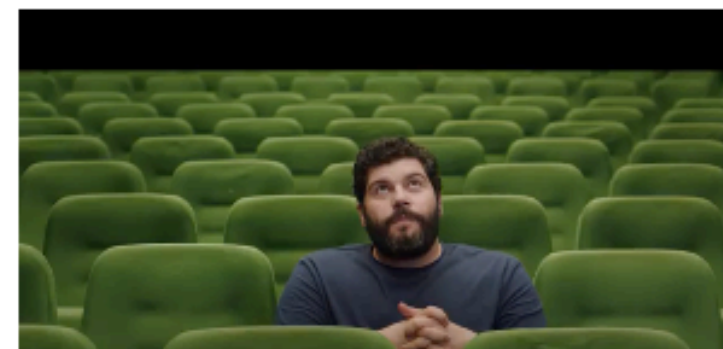
162



**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?

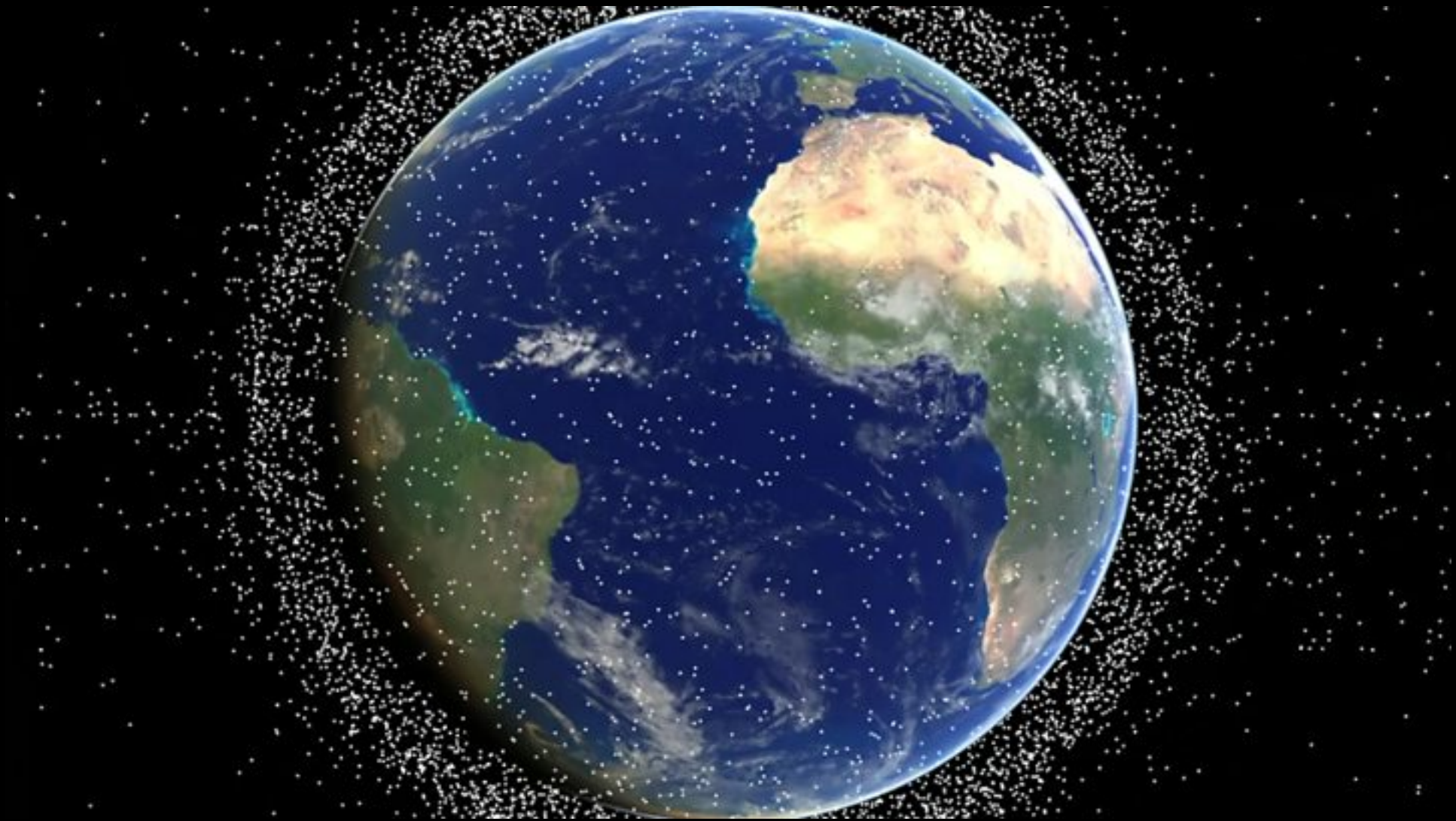


**Come ci prepariamo?**

**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?**



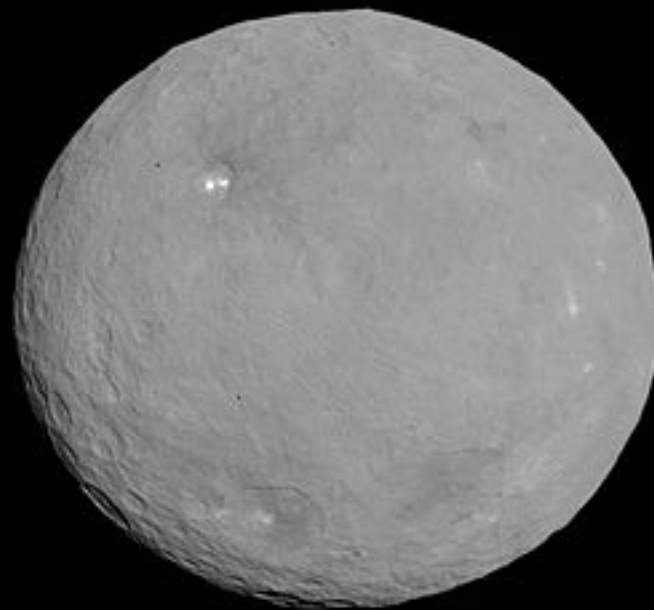
# Meccanica celeste

## DETERMINAZIONE ORBITALE

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



G. Piazzi



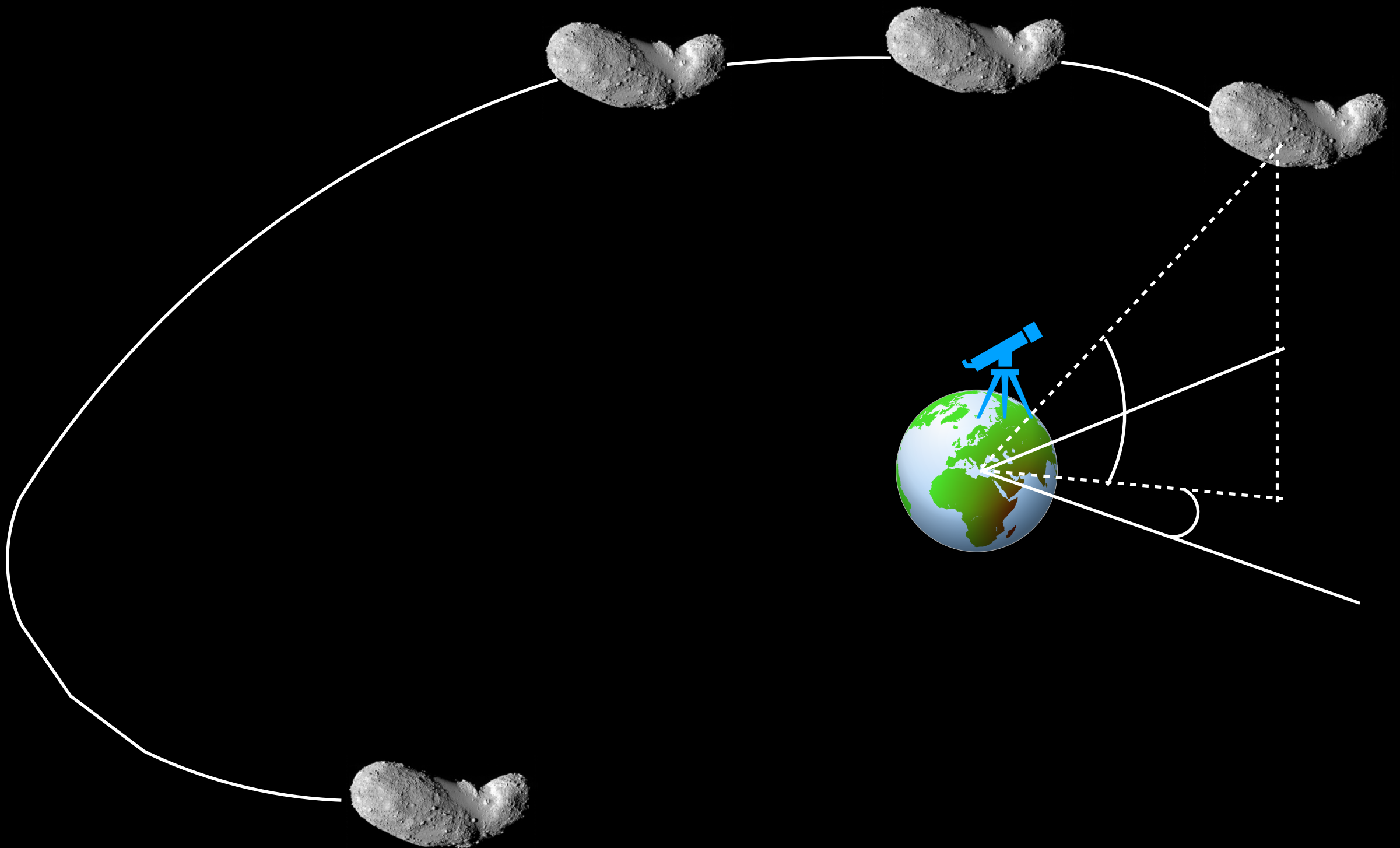
Cerere



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 <sub>max</sub>	TS <sub>max</sub>	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 MODENA C  
anni, con cui  
erano sposa-  
la 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 querelo. 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 al  
ho firm  
decimo  
simo: è  
Qatar,

**A**ndrea 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.

**G**iovanni 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.

**A**lessandro Bonaccorsi, 38 anni,  
tatuatore 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  
i formassero)

## DI SICILIA

oni Ambiente No Profit e Consumo

ra centro dell'evoluzione del

pubblicato lo studio  
' La scoperta è che  
sa diversa rispetto





## Columbus Was Wrong; Earth Is Pear Shaped!

New York, Jan. 28 (AP) — Old Mother Earth is actually a little pear-shaped.

She's a bit bulgy in the south, and pointed in the north.

the idea the sea level surface of this sphere is varied only by "bumps" no more than 1,000 miles or so across. It had been previously supposed by some scientists that the over-

# Andrea Milani

(1948-2018)



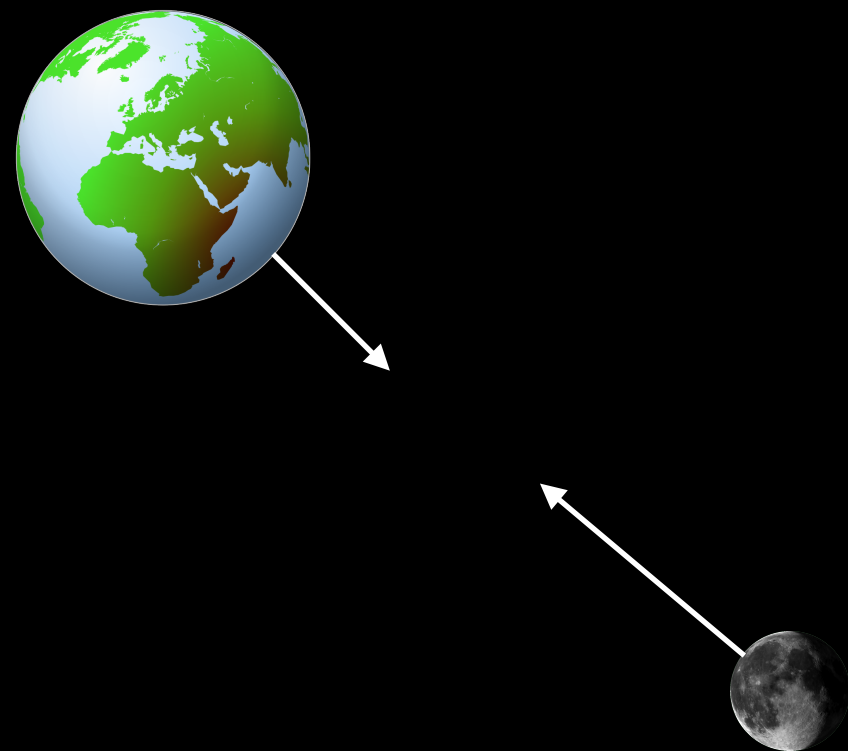


# Campo di gravità

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

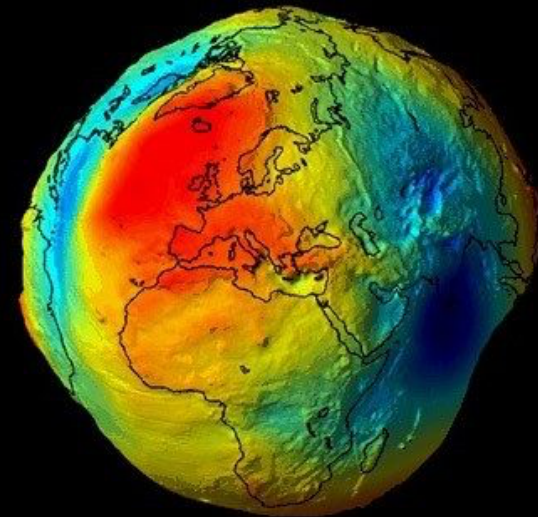
La forma di un pianeta è legata al modo in cui è distribuita la sua massa.



**Simmetria sferica**



**Ellissoide**



**Geoide**

**Ogni forma diversa determina un campo di gravità diverso**





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



$$V = \frac{GM}{r} + J_2 P_2$$

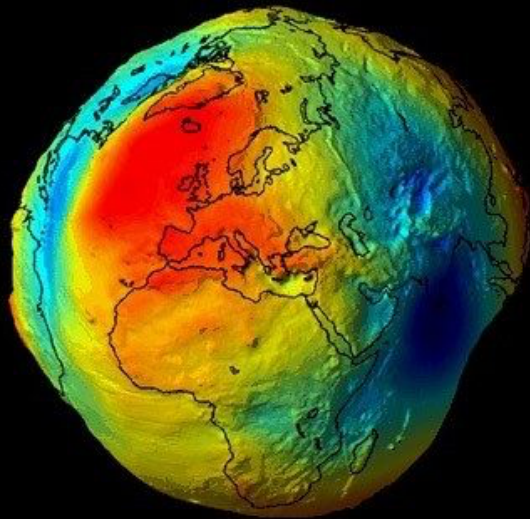
$J_2$  indica quanto il  
pianeta è  
schiacciato ai poli



$$V = \frac{GM}{r} + J_3 P_3$$

$J_3$  indica quanto la  
massa è asimmetrica  
rispetto all'equatore

# Gravità del geoid



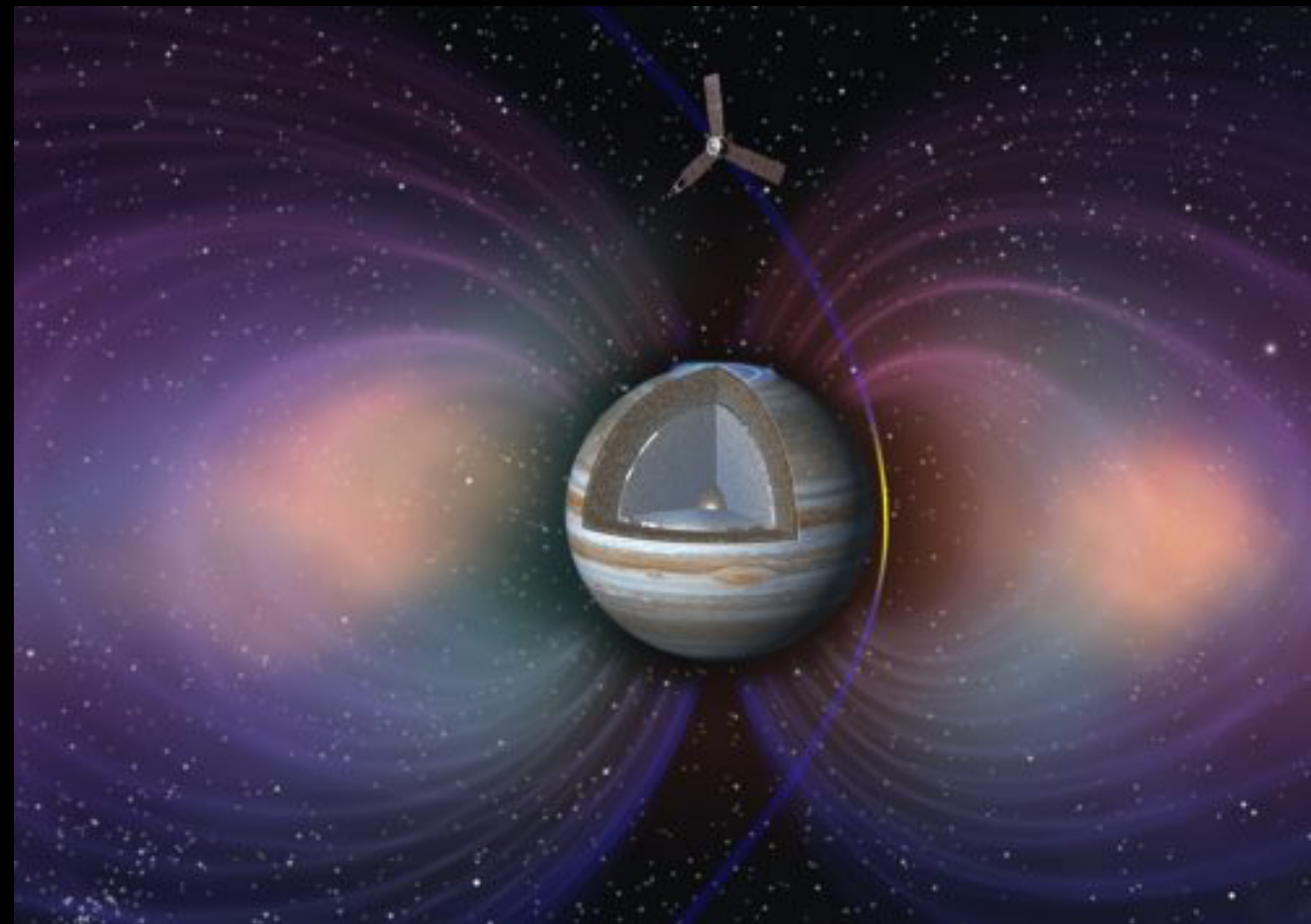
$$V = \frac{GM}{r} + J_2 P_2 + J_3 P_3 + J_4 P_4 + \dots$$

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!**

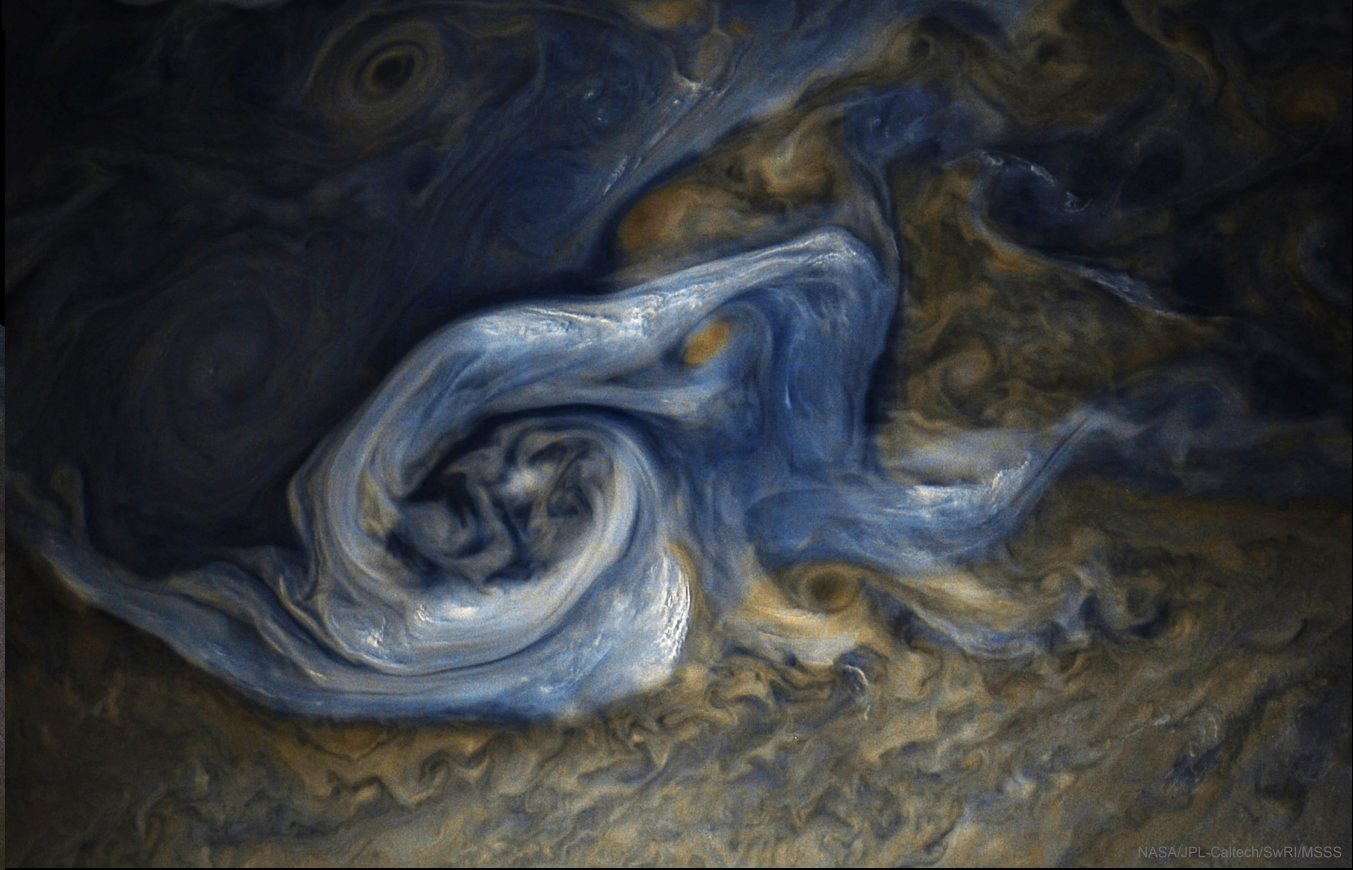
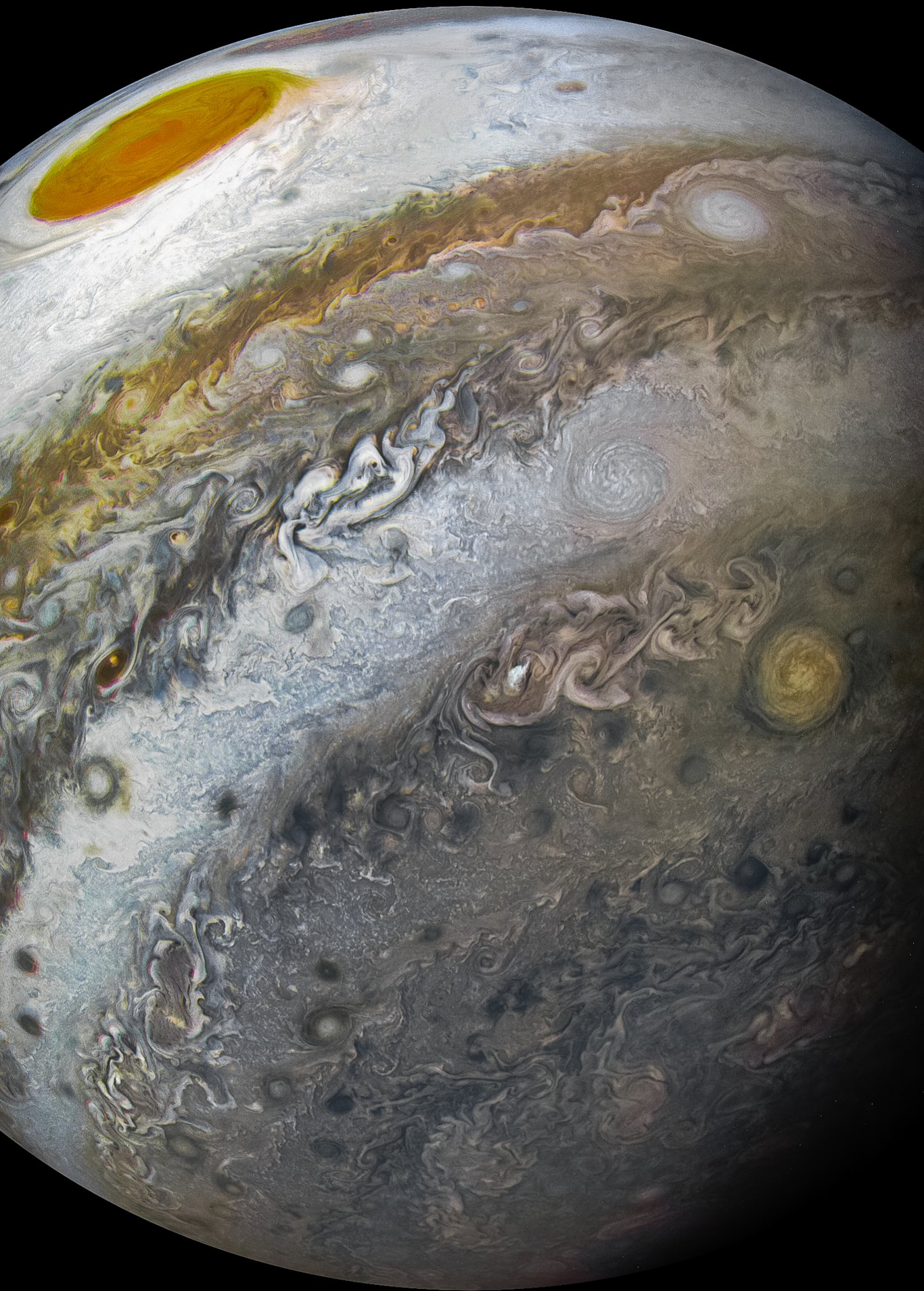


**Il team di Juno al Rose Bowl stadium di Pasadena**

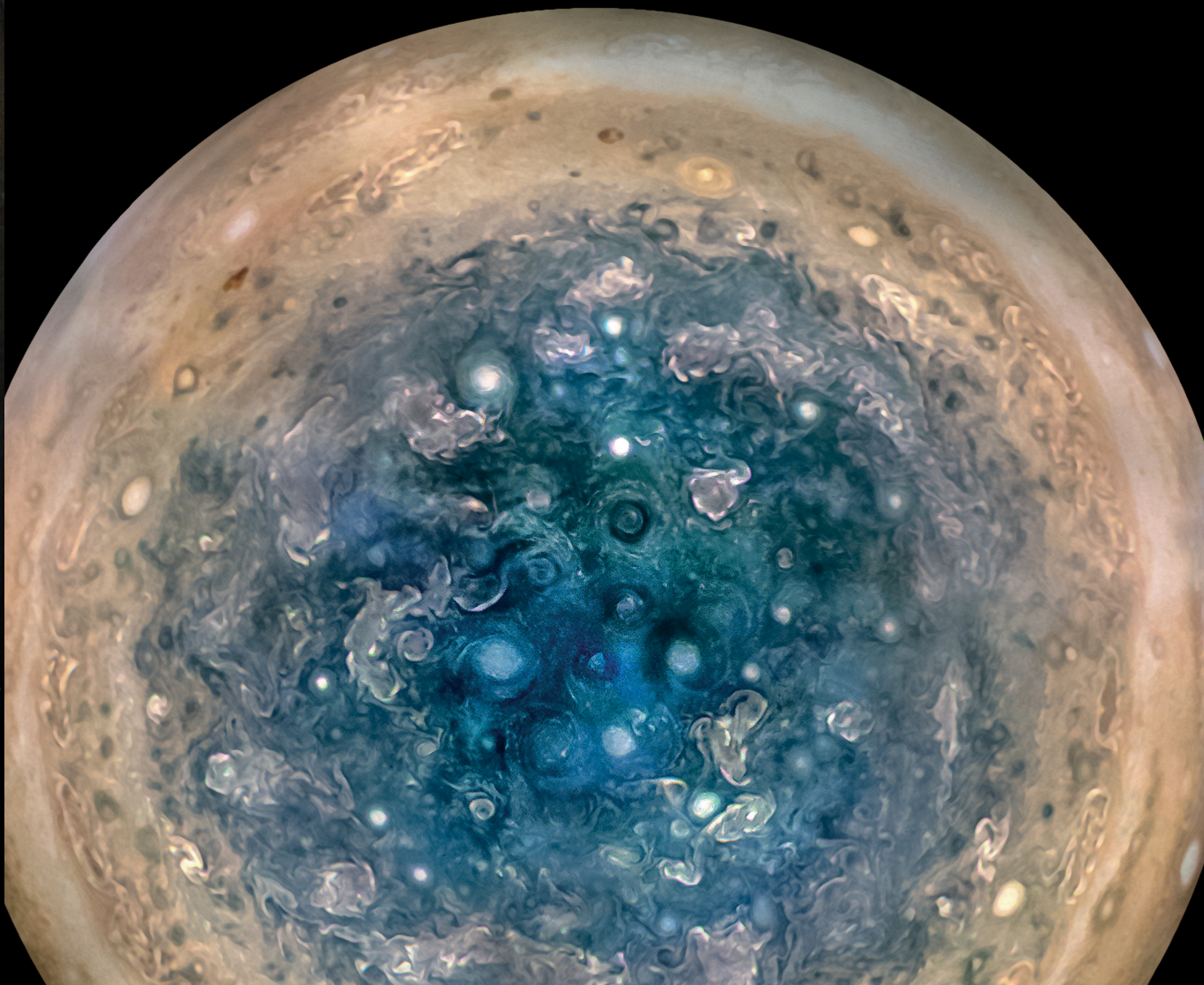
**Juno ci ha fornito le prime immagini dei poli di Giove**



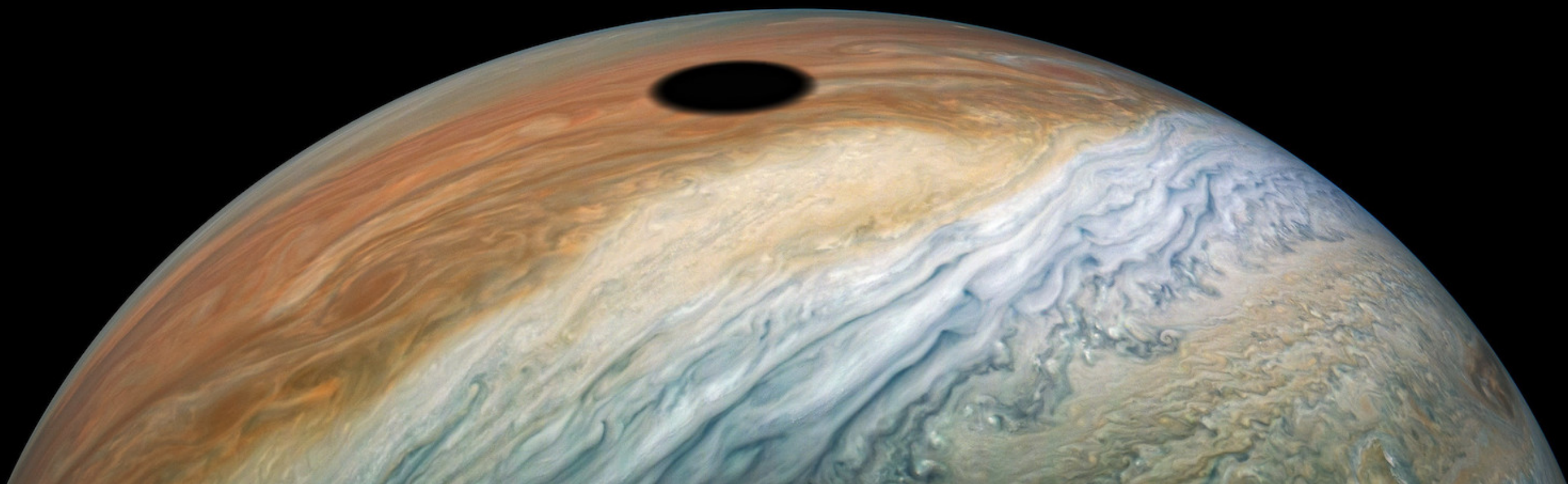




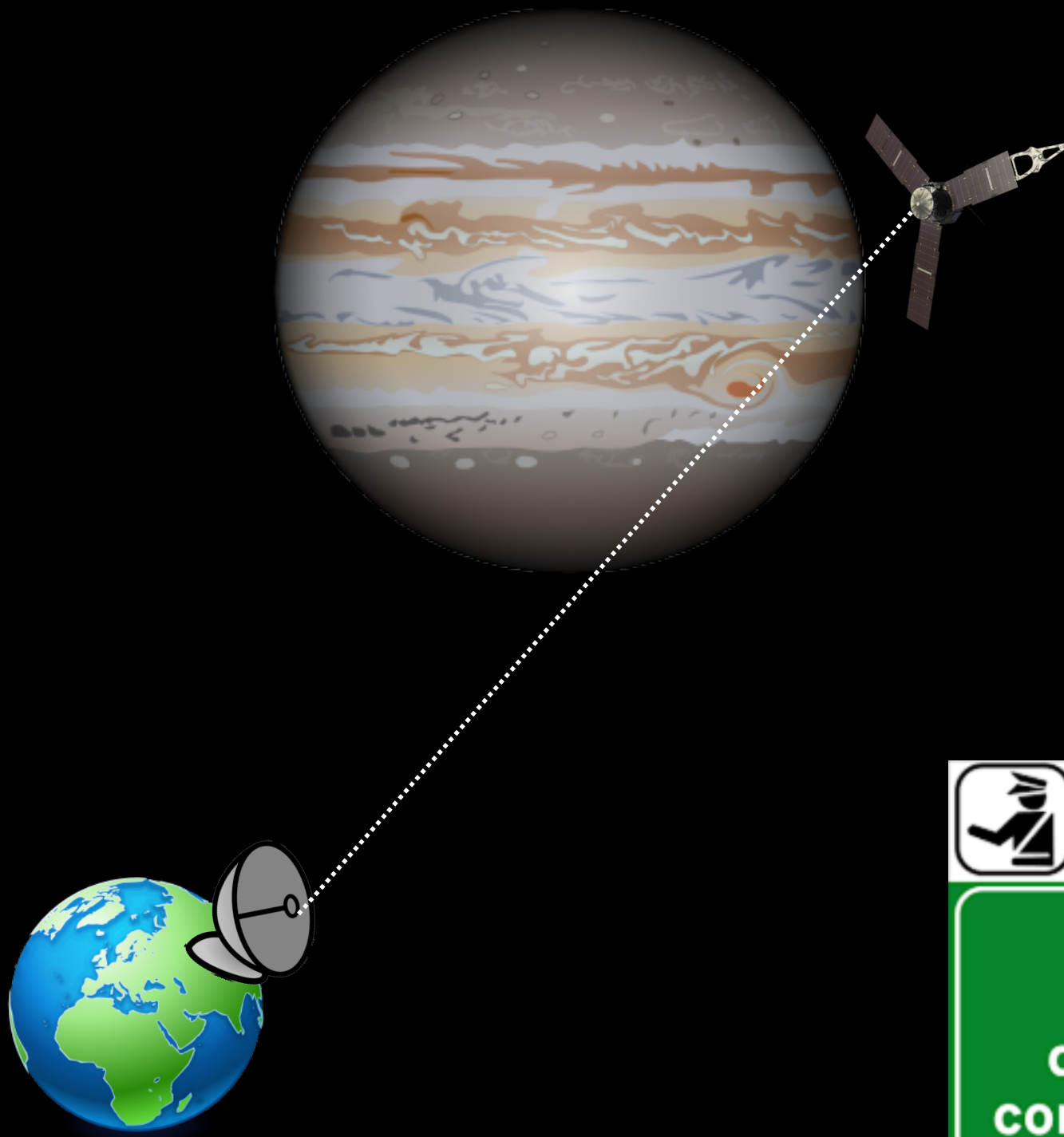
NASA/JPL-Caltech/SwRI/MSSS







# 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



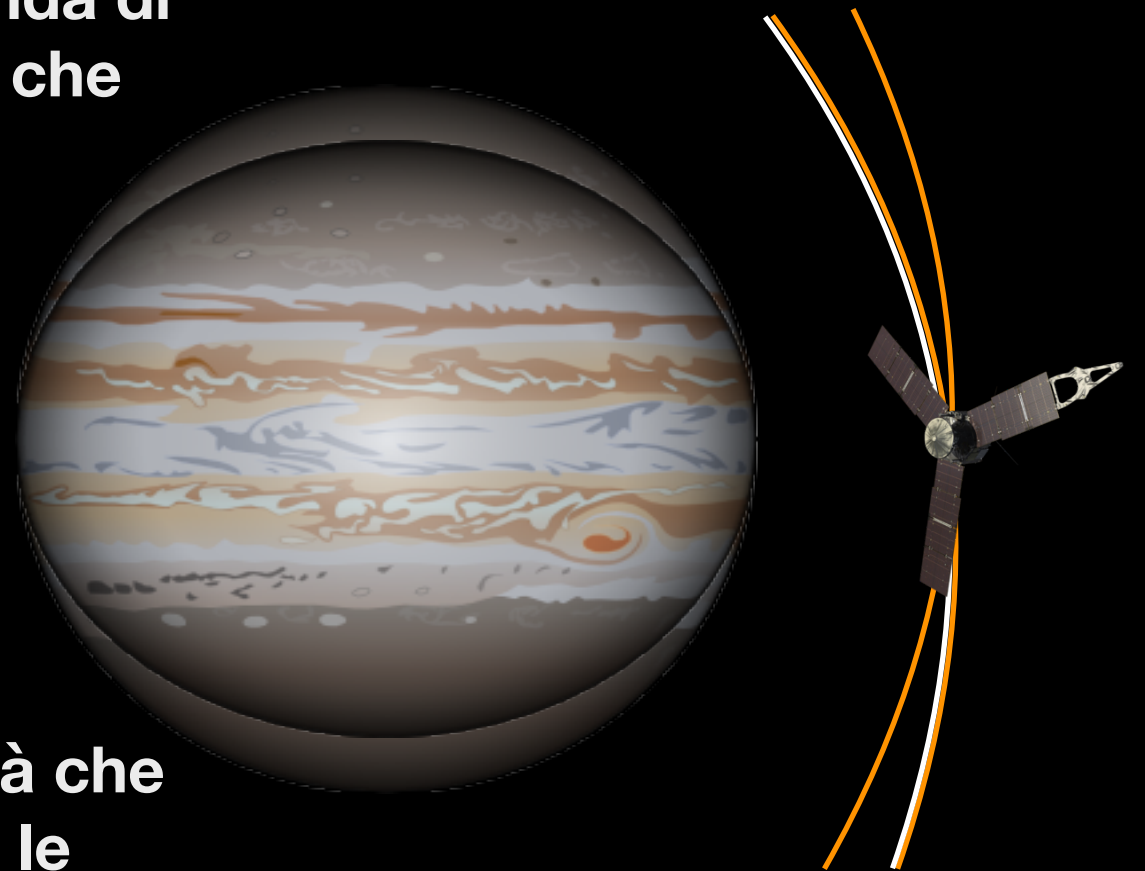
Non ci sarebbe scampo per chi supera il limite di velocità...

# 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

