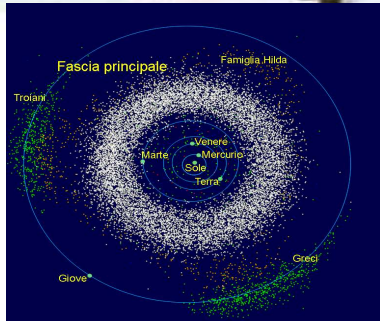


Associazione Astronomica del Rubicone

.....ma ora verranno le stelle,
le tacite stelle....

(G. P. ...)



L'A.A.R.

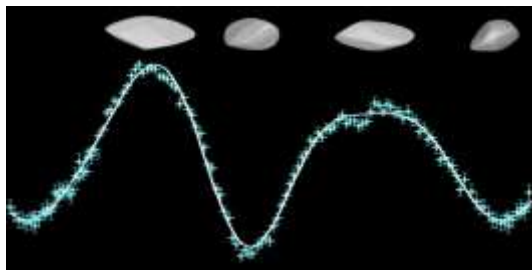
presenta



CORSO DI ASTRONOMIA DI BASE



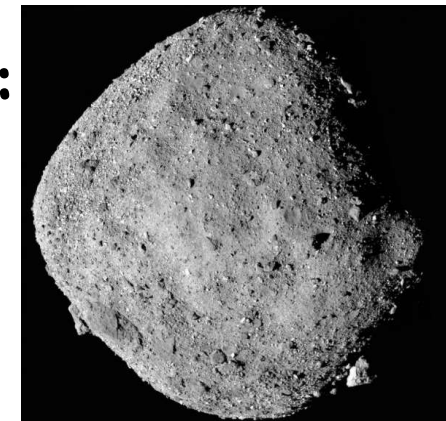
I corpi minori del Sistema Solare:



Savignano sul Rubicone

Gli asteroidi

Di Ubaldo Ferri



30/04/2021

Asteroide (*Pianetino*)

- Piccolo corpo celeste simile per composizione ad un pianeta terrestre, generalmente privo di forma sferica
 - Wikipedia
- Piccolo pianeta le cui dimensioni non superano il migliaio di chilometri
 - Dizionario de La Cotardière
- Corpi di dimensioni enormemente più piccole di quelle dei pianeti conosciuti ma, come questi, circolanti intorno al Sole in orbite ben determinate
 - Cecchini, Il cielo

Il pianeta mancante

C'è un'intervallo di 550 milioni di Km tra le orbite di Marte e Giove: già Keplero ipotizzava che lì ci fosse un altro pianeta

- I pianeti del sistema solare hanno le distanze medie D dal Sole che sono esprimibili con la **legge di Titius-Bode (1772)**
- **$D = 0,4 + 0,3 \times 2^n$ con $n = -\infty, 0, 1, \dots$**
- oppure, moltiplicando per 10:
- Prendiamo i numeri 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384
- Aggiungiamo 4 a ciascun numero, otteniamo:
- 4, 7, **10**, 16, 28, 52, 100, 196, 388
- Assumiamo la distanza della Terra pari a **10** (corrispondente a 1 UA)

Il pianeta mancante

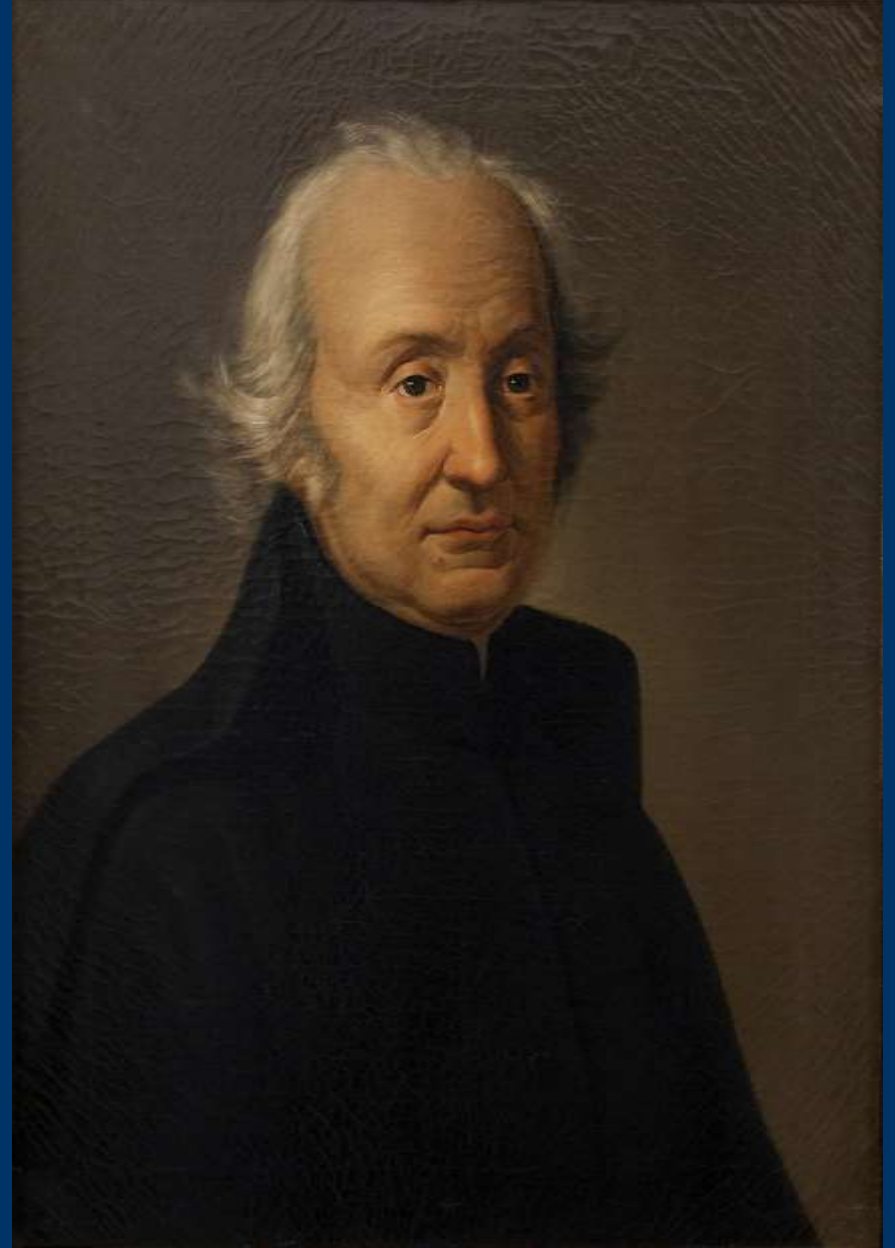
<u>Pianeta</u>	<u>Distanza teorica Bode</u>	<u>Distanza osservata</u>
Mercurio	0,40	4
	0,39 UA	
Venere	0,70	7
	0,72 UA	
Terra	<u>1,00</u>	<u>10</u>
	1,00 UA	
Marte	1,60	16
	1,52 UA	
???	<u>2,80</u>	<u>28</u>
	<u>2,77 UA</u>	
Giove	5,20	52
	5,20 UA	
Saturno	10,00	100
		95,4

Il pianeta mancante

- Manca un pianeta alla distanza 28!
 - Nel 1800 alcuni studiosi fra i quali il barone Franz Xaver von Zach, Herschel, l'astronomo reale britannico Nevil Maskelyne, Charles Messier, e Heinrich Olbers si riunirono per cercare il pianeta mancante: erano la “polizia celeste”
 - Ma furono... spiazzati
-
-

Un pianeta!

- 1° Gennaio 1801: scoperta di **Cerere** ad opera di padre Giuseppe **Piazzi** dell'osservatorio di Palermo
- Egli notò una “stella” che però si muoveva rispetto alle altre sera dopo sera, con un moto lento ed uniforme. All'inizio lo definì come una cometa, ma poi si accorse che non aveva nebulosità



Piazzi ritratto da Costante Angelini fonte:
INAF

DELLA SCOPERTA
DEL NUOVO PIANETA
CERERE FERDINANDEA

OTTAVO TRA I PRIMAJ DEL NOSTRO SISTEMA
SOLARE.



PALERMO
1802

NELLA STAMPERIA REALE.

La riscoperta di Cerere

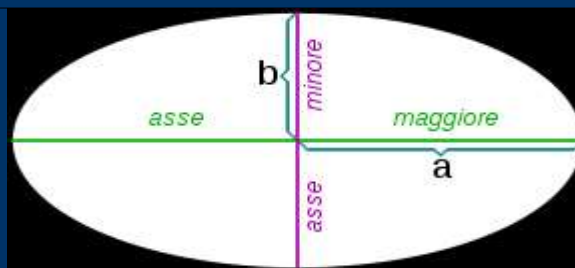
- **Piazzi** non poté seguire il moto di Cerere abbastanza a lungo (compì solo ventiquattro osservazioni) prima che, l'11 febbraio, l'astro entrasse in congiunzione, e diventasse quindi invisibile da Terra; non fu possibile determinarne l'orbita
- **Carl Friedrich Gauss**, riuscì a fornire agli astronomi i mezzi per recuperare l'asteroide, sviluppando un nuovo metodo di determinazione dell'orbita di un corpo celeste con tre sole osservazioni. Il metodo era basato sull'utilizzo dei minimi quadrati. In poche settimane Gauss predisse la traiettoria di Cerere in base ai dati raccolti da Piazzi e comunicò i suoi risultati a Franz Xaver von Zach. Il 31 dicembre 1801, Franz Xaver von Zach e Heinrich Wilhelm Olbers confermarono con certezza la riscoperta di Cerere.
- **Johann Elert Bode** pensò che Cerere fosse il "pianeta mancante" previsto da Johann Daniel Titius, orbitante fra Marte e Giove a una distanza, secondo la legge di Titius-Bode, di 419 milioni di chilometri (2,8 AU) dal Sole.
- Poiché era molto piccolo, **William Herschel** per descriverlo nel 1802 coniò il termine "**asteroide**" ("simile a stella")

Un nuovo pianeta? Anzi, due, no, tre...

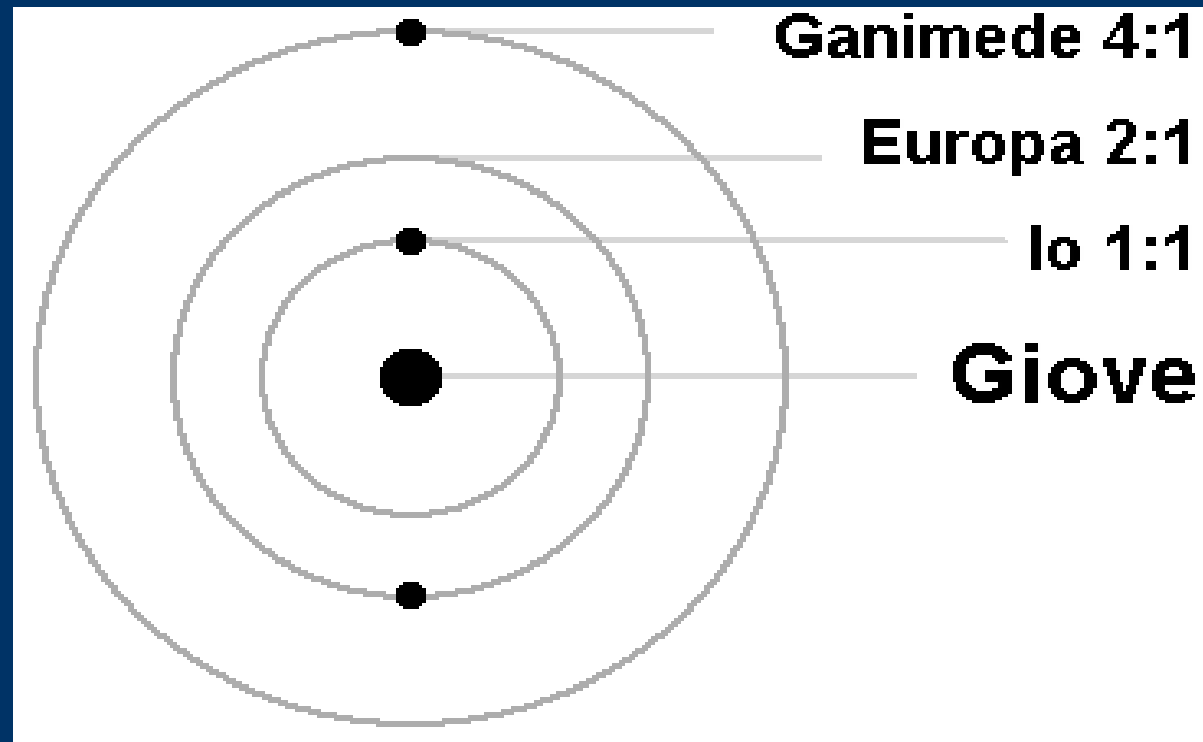
- 1802: **Pallade**
 - 1804: **Giunone**
 - 1807: **Vesta**
 - 1845: **Astrea**
 - E poi tanti altri...
 - Attualmente circa 200.000 asteroidi registrati
-
-

Dove sono?

- La maggior parte si trova tra l'orbita di Marte e quella di Giove ad una distanza media dal Sole tra 2,17 e 3,3 UA (Fascia degli asteroidi)
 - La loro massa complessiva è pari a circa 1/100 di quella terrestre
 - Lacune di Kirkwood a 2,50, 2,82, 2,96 e 3,28 UA (orbite in rapporto di 1/3, 2/5, 3/7 e 1/2 con la rivoluzione di Giove)
 - Famiglie di asteroidi co-orbitali nella Fascia (Flora, Eros, Temi, Coronide, Maria)
 - Asteroidi “eccentrici” che si avvicinano al Sistema solare interno
 - Satelliti minori di Marte, Giove, Saturno
-
-



Risonanza

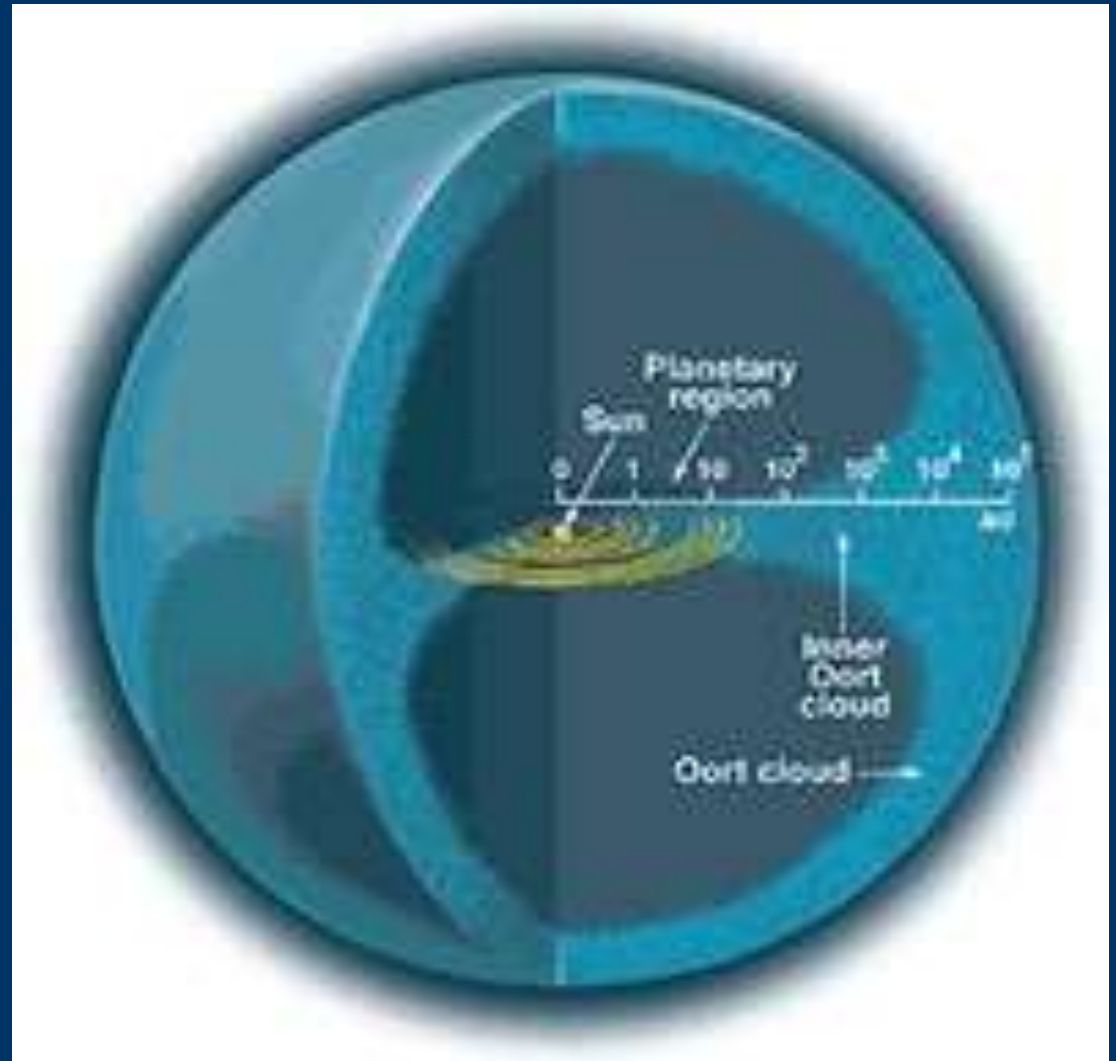


Eccentrici, perché?

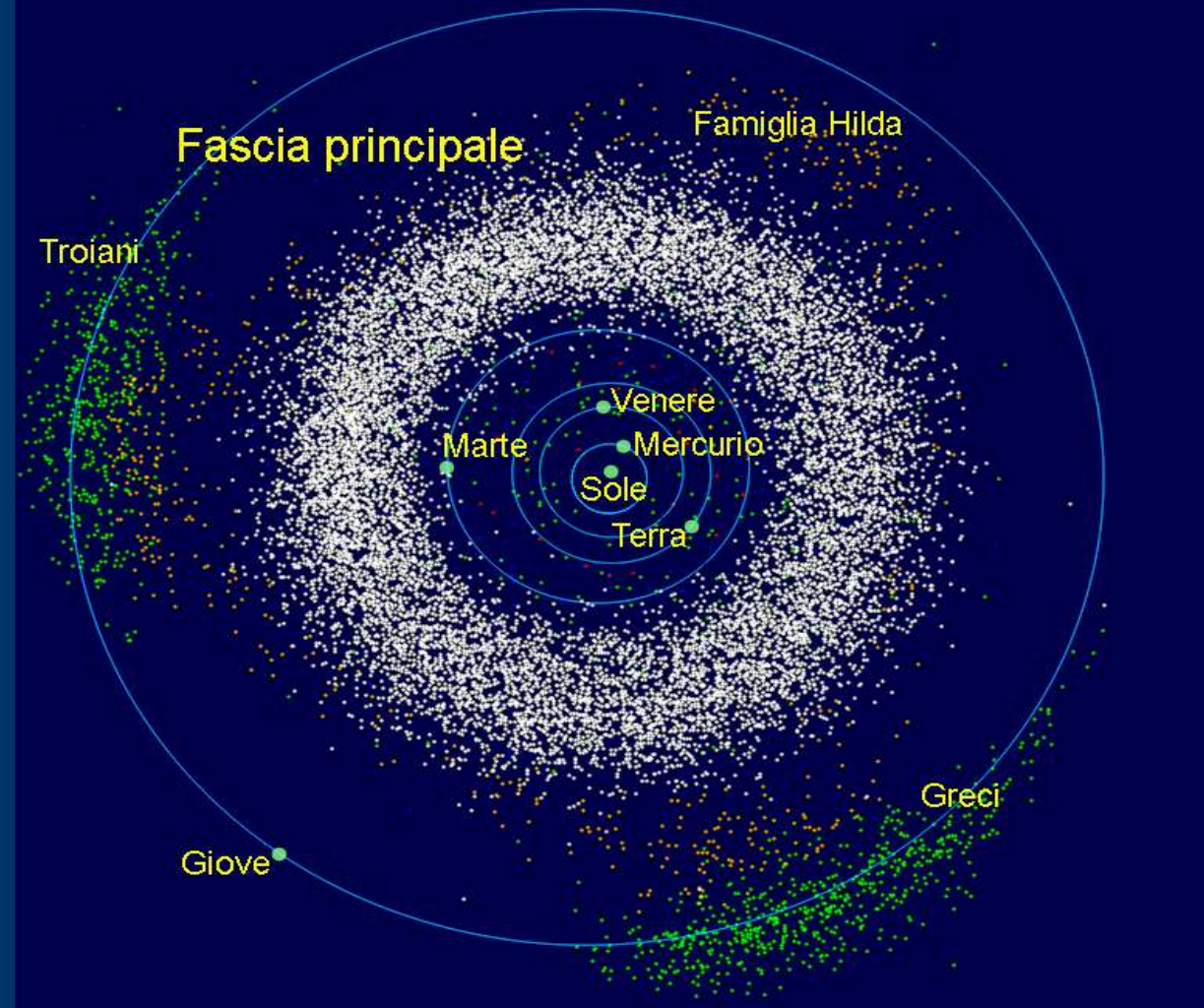
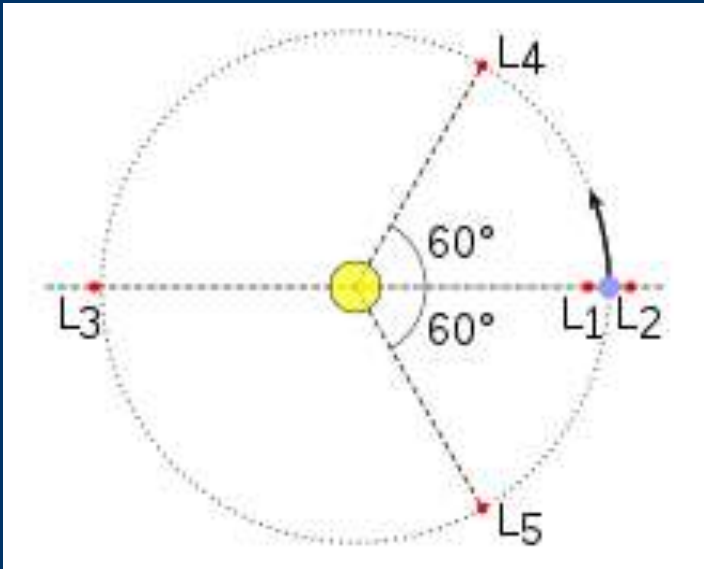
- Hanno orbite eccentriche, che possono avvicinarsi alla Terra, a Venere, a Mercurio
- Devianti dalla fascia per *interazioni gravitazionali e non gravitazionali* (es. *Effetto Yarkowsky*)
- *Eros, Icaro, Hermes* si avvicinano alla Terra
- NEO (Near Earth Object) NEA (... Asteroids)
- Alcuni hanno l'orbita interamente all'interno di quella terrestre

Ma non è finita...

- Troiani e Greci
- Centauri
- Fascia di Kuiper,
- Nube di Oort...



Troiani e Greci



- Si trovano lungo l'orbita di Giove (o di altri pianeti...) ed “oscillano” nei punti di Lagrange L_4 ed L_5 . La famiglia di Hilda si trova in L_3
- 9 **Greci** precedono Giove, 5 **Troiani** lo seguono
- Menelao 18 km diametro, gli altri stimati tra 40 e 70 km.

Centauri



fonte: Eurocommuter

- Planetoidi ghiacciati che orbitano tra Giove e Nettuno
- 18 i centauri attivi scoperti dal 1927
- Es: **Chirone** (orbita tra Saturno e Urano)

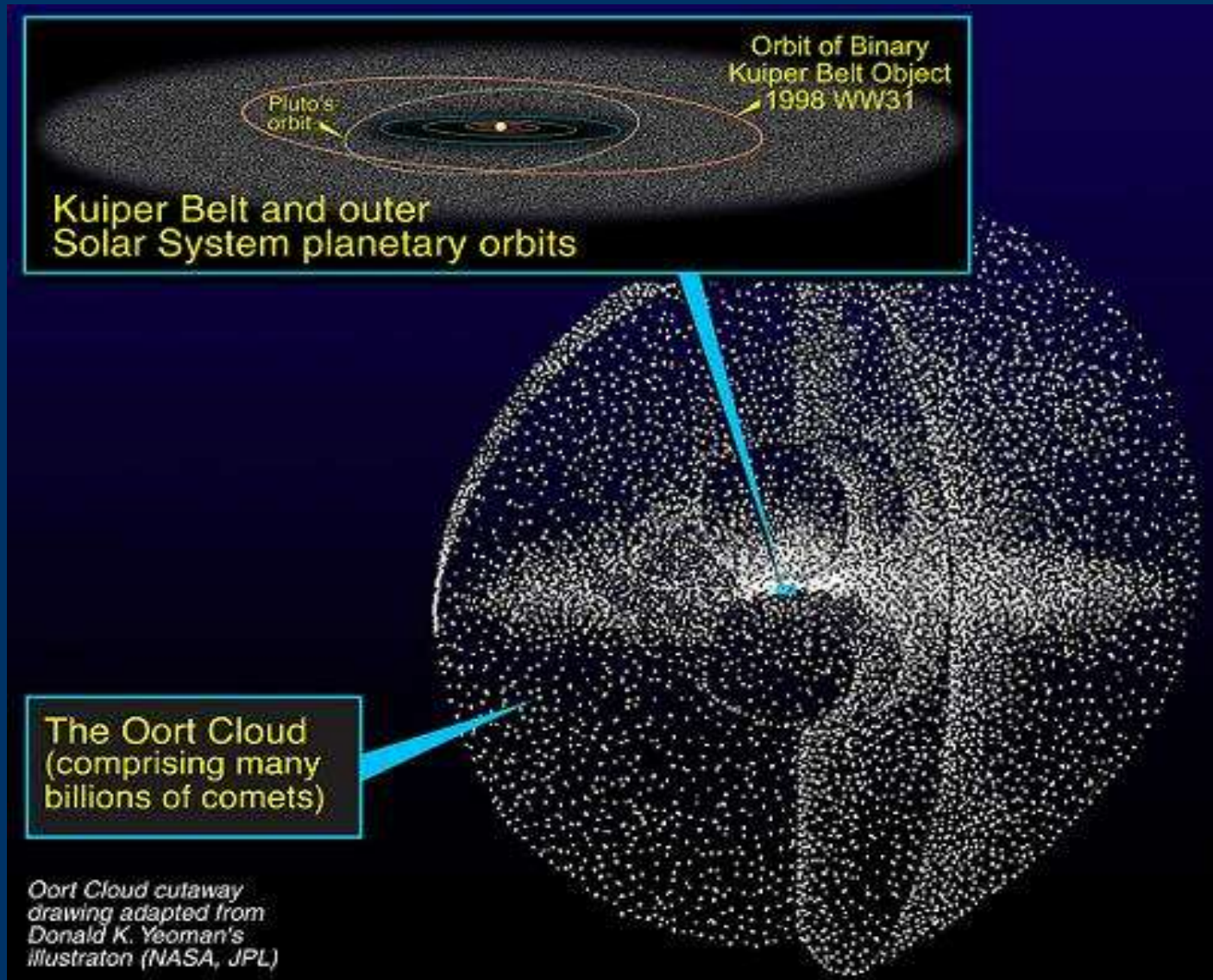


Centauri

- Dimensioni comparabili agli asteroidi,
- Probabile provenienza dalla **Fascia di Kuiper**, poi l'attrazione dei giganti gassosi può averli portati nel sistema solare esterno
- Ulteriori interazioni gravitazionali possono spingerli all'interno, dove sviluppano chioma e code
- es. **2019 Ld2**, vista da HST, finita
- tra i Troiani di Giove
- Ha sviluppato la coda a 5 UA dal
- Sole → composizione CO e CO₂
- Ma fra 2 anni avrà un nuovo incontro
- con Giove...



Fascia di Kuiper ed oltre



- Fonte: Astrogeo

Come si scoprono?

- Osservazioni sistematiche del cielo con strumenti a campo largo
- Metodi fotografici
- Surveys





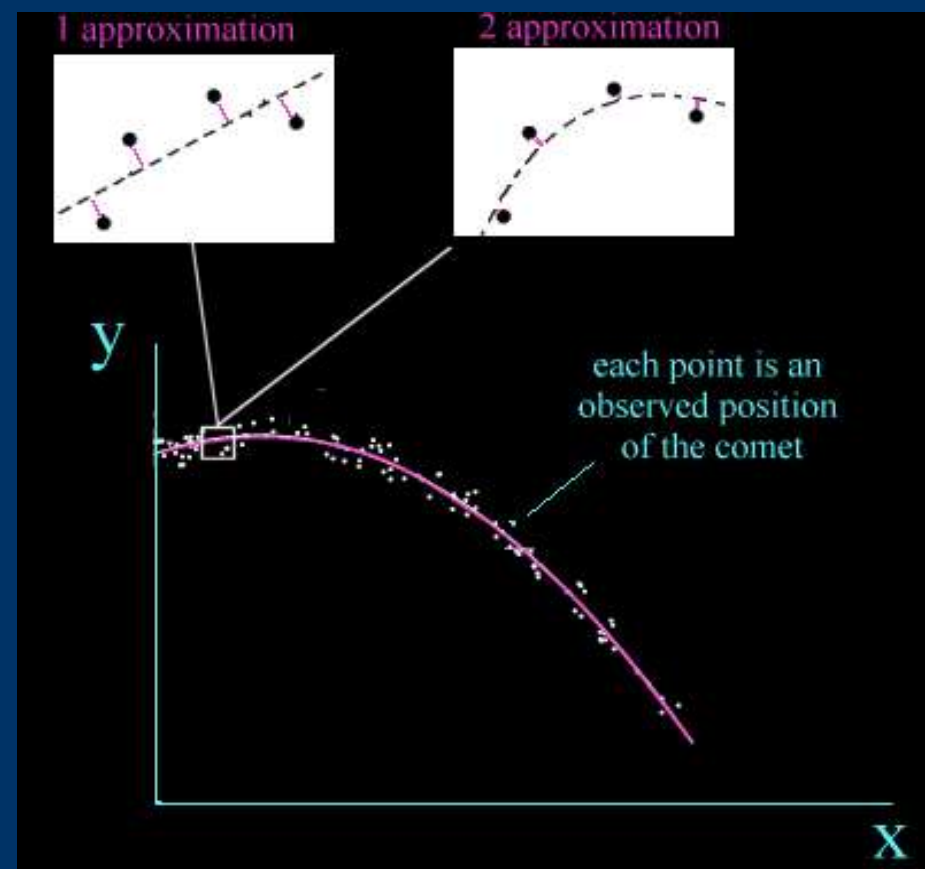
• Fonte: Viagginews



• Fonte: UAI

Determinare l'orbita

- Occorrono almeno 3 osservazioni per delineare un'orbita approssimativa (Metodo di Gauss)
- Osservazioni $\rightarrow$ orbita provvisoria $\rightarrow$ effemeridi $\rightarrow$ dati completi $\rightarrow$ orbita definitiva



Elementi orbitali

i = angolo fra l'inclinazione del piano dell'orbita del corpo (piano orbitale) rispetto al piano dell'eclittica

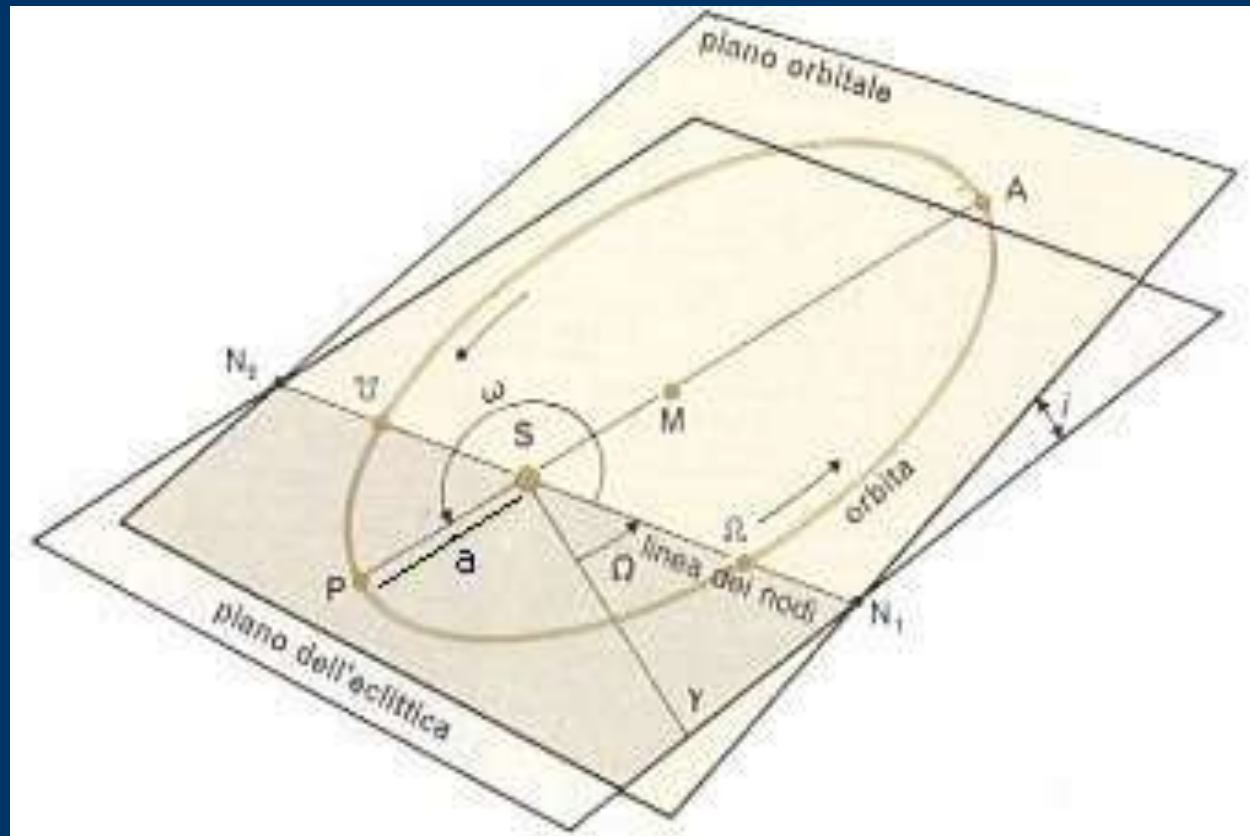
Ω = l'angolo che esprime l'orientamento della linea dei nodi

ω = angolo fra la linea dei nodi e il segmento che congiunge il centro del Sole col perielio

e = l'eccentricità dell'orbita

a = distanza dal perielio

t_0 = il tempo del passaggio al perielio



Dimensioni e caratteristiche fisiche

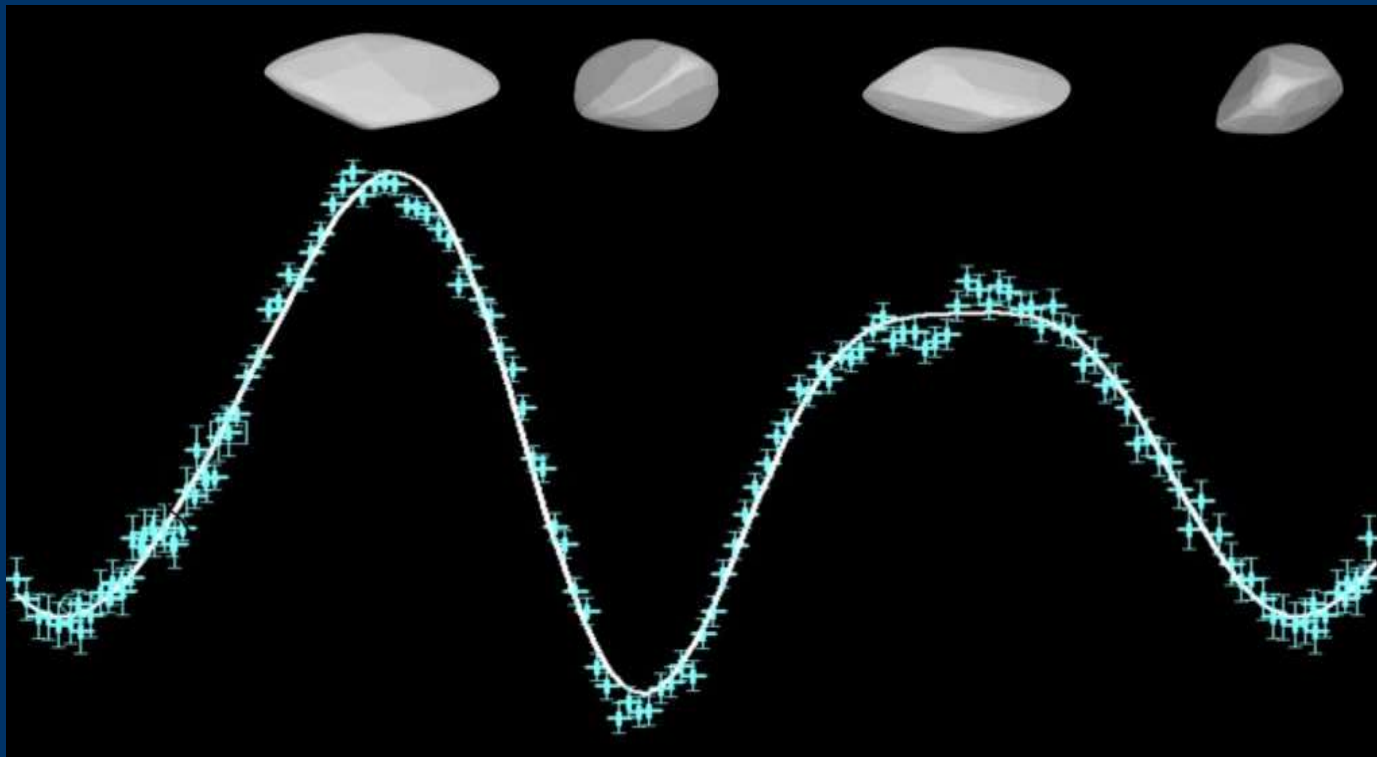
Variazioni di luminosità:

- Dipendenti dalla distanza
- A breve periodo: **rotazione** → forma o superficie irregolare (es. Eros 5 ore e 30' circa)



Metodi fotometrici

- Albedo
- Curva di luce: dipende da distanza, morfologia, rotazione
- Determinazione del periodo di rotazione con analisi di Fourier e di altri fenomeni (precessione, ecc.)



Radar e occultazioni stellari

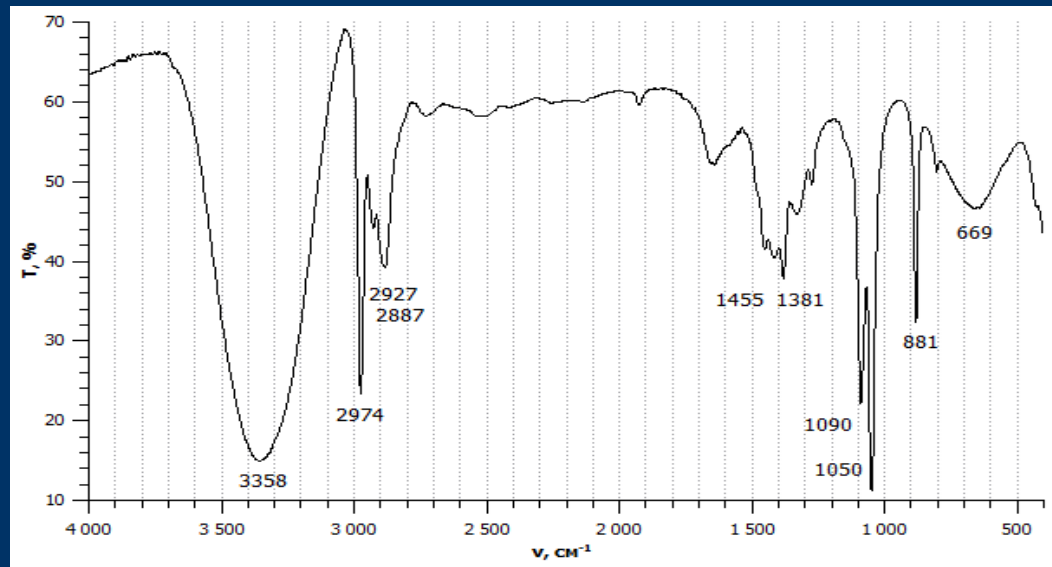
Radar

- Adatto ad oggetti vicini alla Terra
- Utilizza **microonde** ad emissione impulsiva o continua
- Si ottengono misure della **distanza** dell'oggetto, della **forma** e della sua **velocità** rispetto alla Terra
- **Occultazione di una stella**
- Permette di stimare le **dimensioni** dell'asteroide



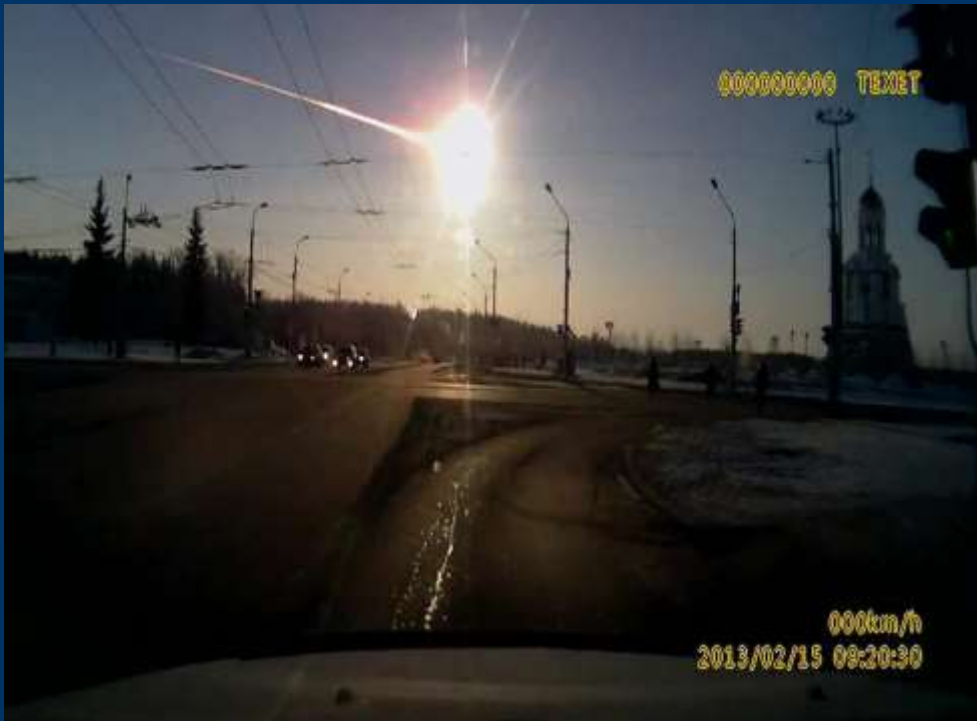
L'aiuto della spettroscopia

- Spettroscopia nel **visibile** e nel **vicino infrarosso**, da telescopi o da sonde *in situ*
- Confronto con **spettri di meteoriti** mineralogicamente determinati



Meteoriti

- **Meteoroidi**: corpo che viaggia nello spazio
- **Meteora**: corpo incandescente nell'atmosfera
- **Meteorite**: frammento che cade al suolo



- Fonte: Wikimedia



Meteoriti

Suddivisione classica strutturale e mineralogica:

- Rocciose (aeroliti) - silicati: Condriti, Acondriti
- Ferrose (sideriti) lega Ferro/Nickel Atassiti, Ottaedriti, Esaedriti
- Ferro-rocciose (sideroliti) - metallo e roccia Pallasiti (matrice metallica e inclusioni rocciose), Mesosideriti (matrice rocciosa ed inclusioni metalliche)
- Condriti carboniose: Carbonio, acqua, amminoacidi D ed L → origine chimica, isotopi come nel Sole

Il prelievo diretto di campioni

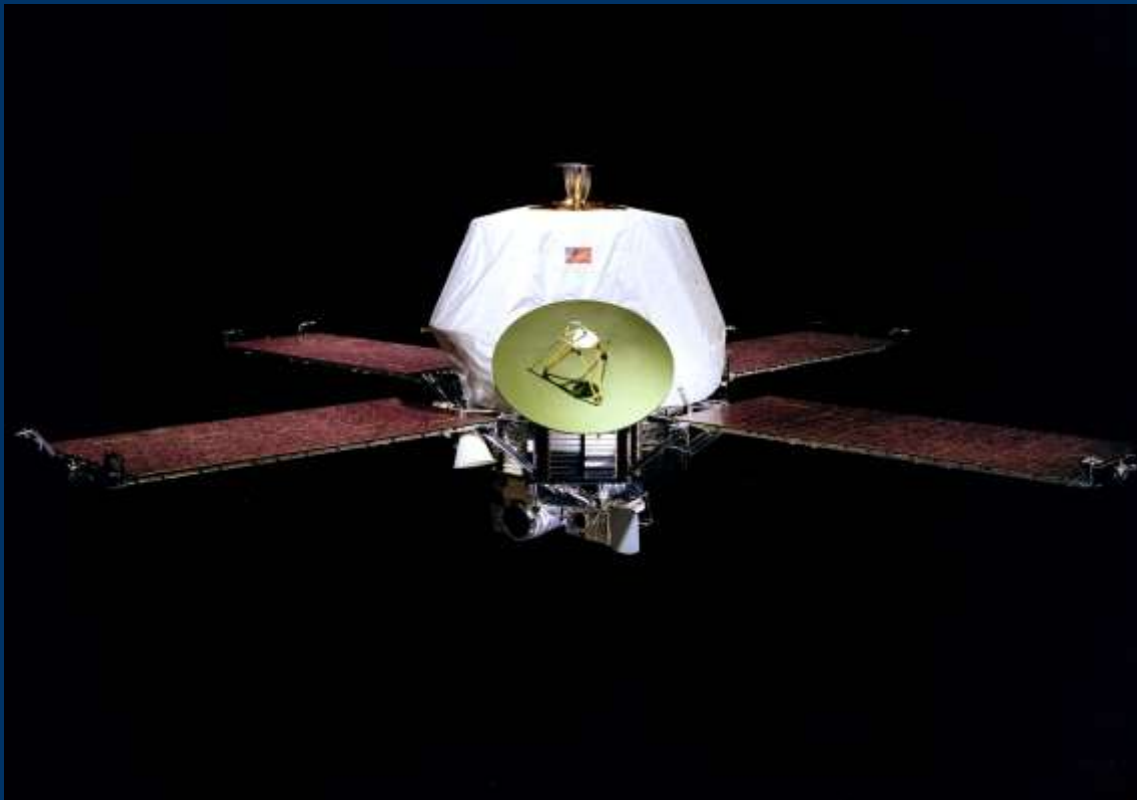
Prelievo di campioni dalla superficie e loro rientro a Terra a bordo di capsule

- Hayabusa
- Hayabusa 2
- Osiris-Rex



L'esplorazione diretta

- Come anno iniziale per l'esplorazione con sonde automatiche si può considerare il 1971, quando la sonda **Mariner 9** riprese immagini di **Phobos** e **Deimos**, satelliti “asteroidali” di Marte



Principali missioni

- 1991: Gaspra, Ida (Galileo)
- 1997: Mathilde, 2001: Eros (NEAR Shoemaker)
- 1999: 9969 Braille (Deep Space 1)
- 2002: 5535 Annefrank (Stardust)
- 2005: 25143 Itokawa (Hayabusa)
- Cerere, Vesta (Dawn della NASA)
- 5 Settembre 2008: 2867 Šteins, 10 luglio 2010: 21 Lutetia (Rosetta dell'ESA)
- 162173 Ryugu (Hayabusa 2 della Jaxa)
- 101955 Bennu (Osiris-Rex della NASA)



Dawn

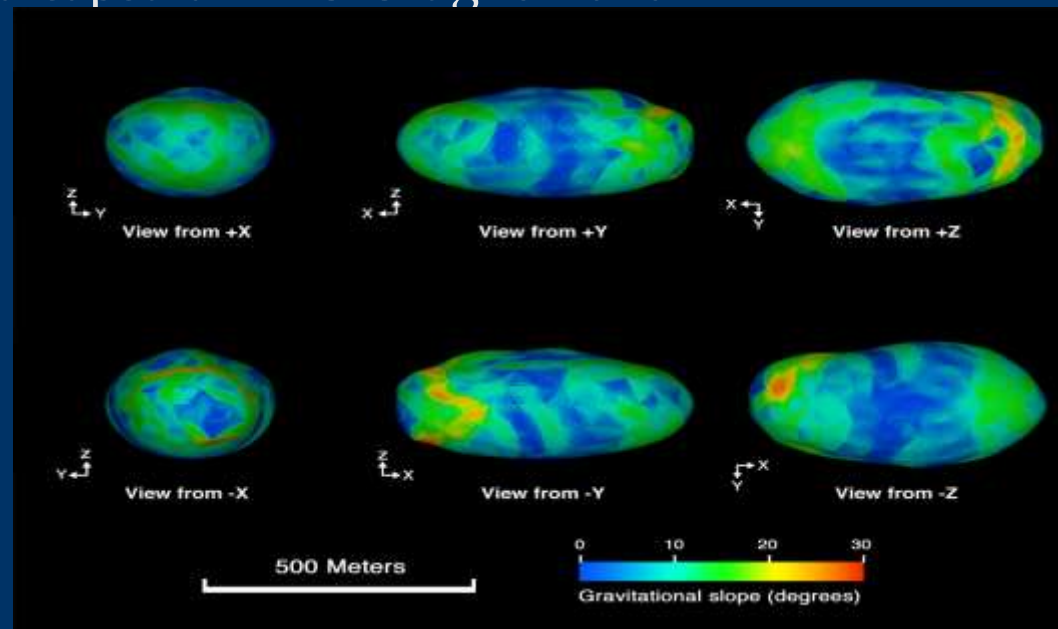
- Il lancio della sonda è avvenuto il 27 settembre 2007
- entrata in orbita attorno a **Vesta** il 16 luglio 2011, dove ha compiuto 14 mesi di osservazioni
- entrata in orbita attorno a **Cerere** il 6 marzo 2015
- Nel 2017 è stata annunciata una estensione della missione, che è terminata il 1 novembre 2018



• Fonte: NASA

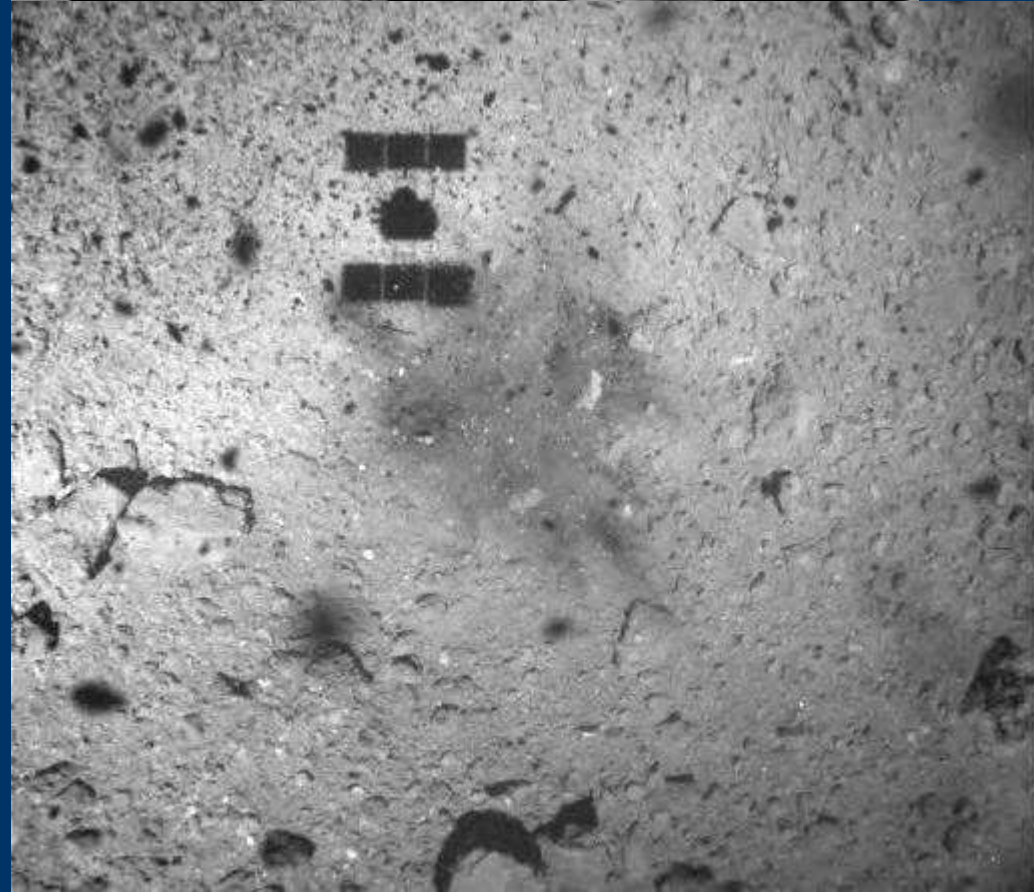
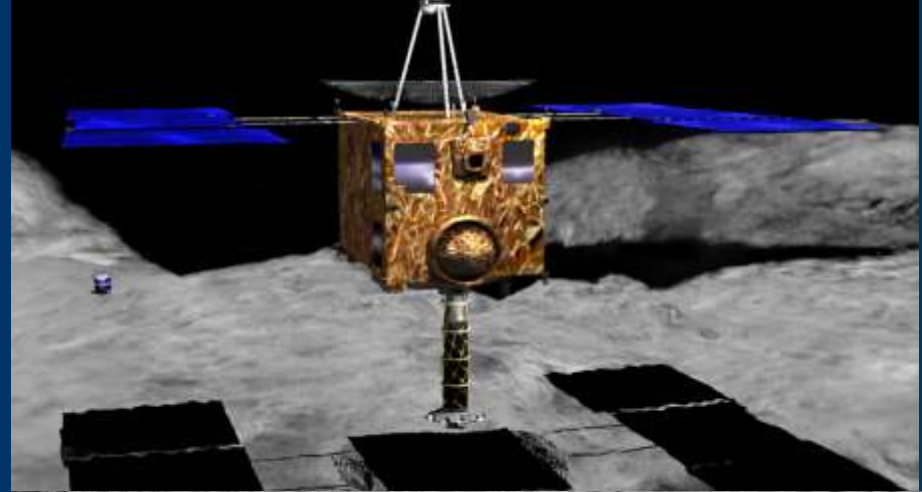
Hayabusa (falco pellegrino)

- Sonda dell'agenzia spaziale giapponese JAXA, a propulsione ionica, lanciata il 9 maggio 2003 con destinazione 25143 Itokawa, raggiunto nel Settembre 2005
- Prelievo di campioni il 19 e 25 Novembre 2005
- Ripartenza per la Terra il 25 Aprile
- Atterraggio della capsula il 13 Giugno 2010



Hayabusa 2

- Sonda dell'agenzia spaziale giapponese JAXA, lanciata il 3 Dicembre 2014 con destinazione 162173 Ryugu, raggiunto il 27 Giugno 2018
- Prelievo di campioni
- Ripartenza per la Terra il 13 Novembre 2019
- Atterraggio della capsula nel deserto australiano il 6 Dicembre 2020
- La sonda è ripartita per l'asteroide 1998 KY26



- Fonti: J Garry/Globalscience

- raccolta di materiale proveniente da un cratere di impatto generato da un **dispositivo (Small Carry-on Impactor o SCI)** composto di una carica esplosiva ed un proiettile di rame di 2,5 kg



- Di DLR, CC-BY 3.0, CC BY 3.0 de,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=87380425>

Osiris-Rex

- Sonda della NASA, lanciata l'8 settembre 2016 alle ore 23.05 UTC da Cape Canaveral a bordo del lanciatore United Launch Alliance Atlas V 411.
- Dopo aver viaggiato per più di due anni, la sonda è arrivata in prossimità dell'asteroide **101955 Bennu** il 3 dicembre 2018 e il 31 dicembre 2018 ha iniziato 505 giorni di mappatura della superficie a una distanza di circa 5 km per selezionare il **sito** da cui prelevare il campione della superficie dell'asteroide.
- La sonda ha prelevato i **campioni** di regolite il 20 ottobre 2020 alle ore 22.12 UTC, senza atterrare ma estendendo un braccio robotico.



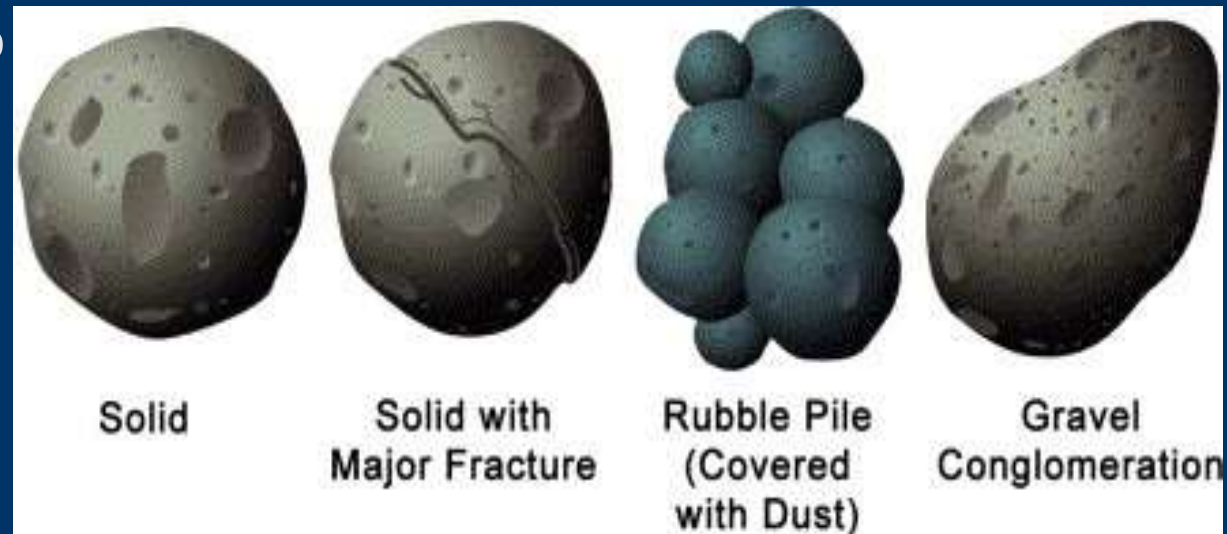
- Il ritorno sulla Terra avverrà il 24 settembre 2023.

Missioni future

- Lucy → Asteroidi troiani di Giove
- Psyche → Asteroide 16 Psyche (metallico)
- DART → satellite 65803 I Dimorphos
dell'asteroide 65803 Didymos (asteroide Apollo) :
160 e 780 m di diametro.
- Il satellite orbita attorno al corpo principale in 11 ore e 54 minuti. Un proiettile lanciato dalla sonda colpirà il satellite per causare la sua deviazione dall'orbita. Il tutto verrà ripreso dal cubesat italiano LICIACube e dalla successiva missione Hera.

Classificazione strutturale

- Rocciosi compatti, con eventuale presenza di fratture al loro interno
- Agglomerati di ciottoli, con copertura di regolite
- Insieme di rocce fluttuanti, tenute assieme dalla reciproca gravità
- A nucleo solido, circondato da materiale fine



- crediti: ScienceDirect

Classificazione spettrale-mineralogica

Metodi: fotometria, spettrofotometria, polarimetria, Radiometria infrarossa

- **Tipo C (47%)** superficie carboniosa, colore scuro (albedo da 0,02 - 0,06) riflessione come meteoriti carboniose;
 - **Tipo S (35%)** superficie silicea, colore chiaro, riflessione come meteoriti silicatiche;
 - **Tipo M (3%)** oggetti ricchi in metalli (albedo 0,08 - 0,15);
 - **Tipo R (1%)** simili alle condriti povere di Fe (albedo 0,20 – 0,30);
 - Tipo E superficie con Fe assente (albedo 0,30 - 0,38)
 - Tipo Vesta
 - **Tipo U** non classificati (13%)
-
-

Corpi maggiori

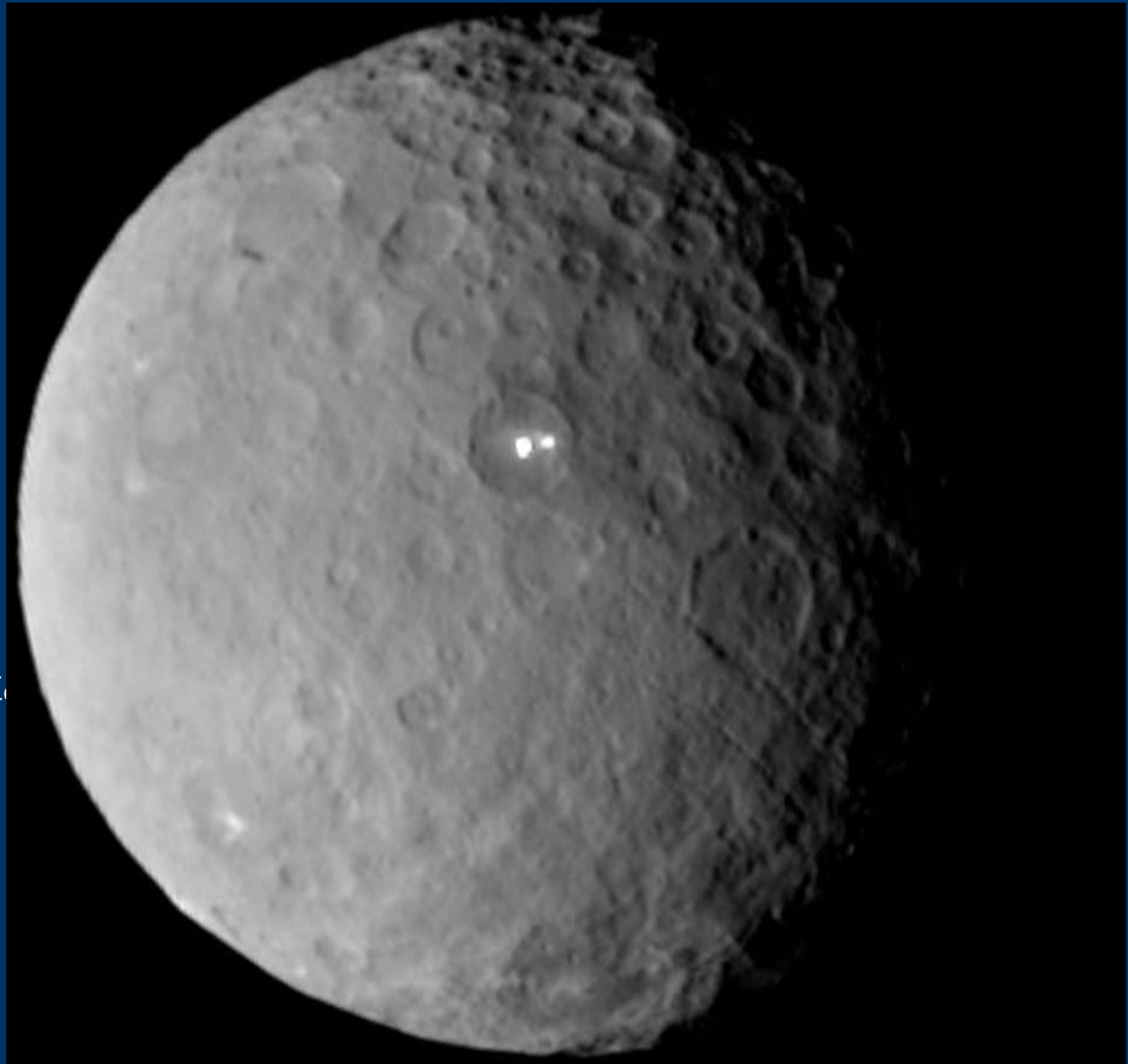
- Cerere
- Vesta
- Pallade
- Hygiea



- Vesta e Cerere, ai due estremi della Fascia degli asteroidi, da soli compongono circa il 40% della sua massa

Cerere

- Probabile **protopianeta**
- **Perielio** 2,546 UA
- **Afelio** 2,984 UA
- **Diametro** di circa 950 km.
- Forse **differenziato**
al suo interno
- Macchie bianche dovute a risalite
di sali
- Massa di Cerere sufficiente
a generare uno **sferoide**
stabile compresso
gravitazionalmente.
- L'unico altro asteroide di questo
tipo è **Vesta**.



- Animazione immagini della sonda Dawn
Di NASA/JPL-
Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA -

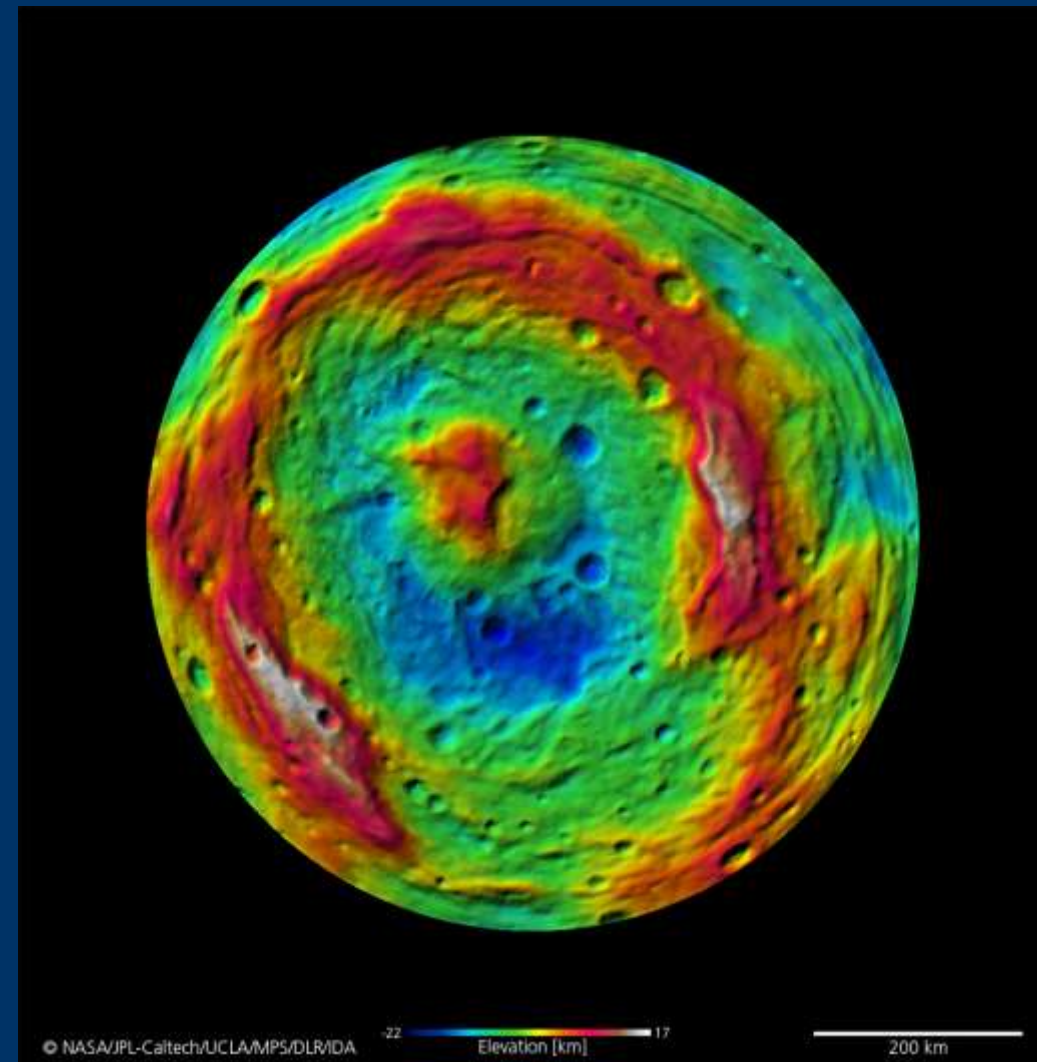
4 Vesta

- Secondo corpo più massivo della fascia di asteroidi, con un diametro medio pari a circa 525 chilometri e una massa stimata pari al 12% di quella dell'intera fascia
- Perielio 2,15 UA
- Afelio 2,57 UA
- E' l'asteroide in assoluto più luminoso e talvolta l'unico visibile a occhio nudo dalla Terra (magn. App. tra 5,1 e 8,48)
- Volume pari a quello di 2 Pallas, ma con una massa significativamente maggiore.



- Crediti: NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA

- Origine dei meteoriti HED (Howardite-Eucrite-Diogenite) e degli asteroidi di tipo V, derivati da impatti che hanno formato i crateri sovrapposti *Venenia* e *Rheasilvia* (d 505 km, p 25 km)
- Sulla basa della mineralogia delle meteoriti si ipotizzano:
- Nucleo Fe-Ni
- Mantello di olivina
- Crosta basaltica



- Mappa in falsi colori del polo sud. In rosso le altezze maggiori.
- Crediti: NASA

2 Pallas (*Pallade*)

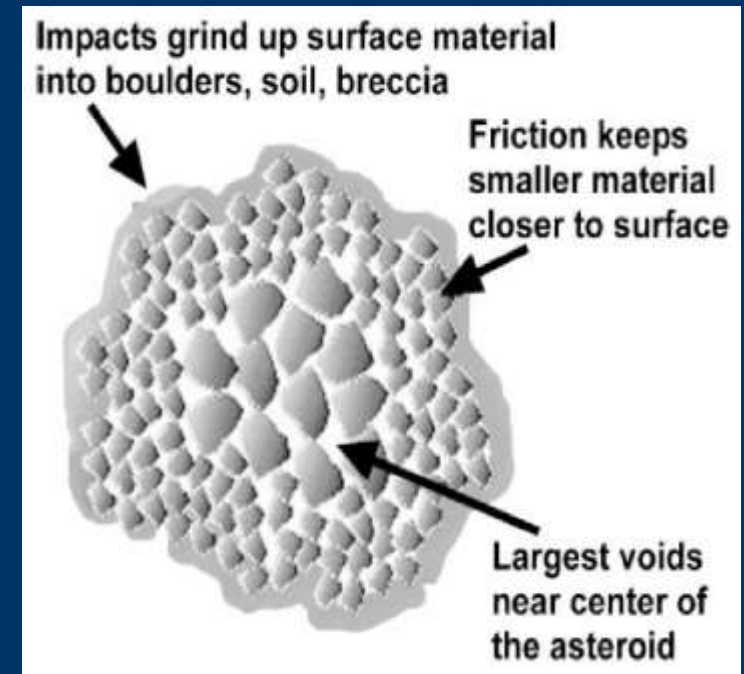
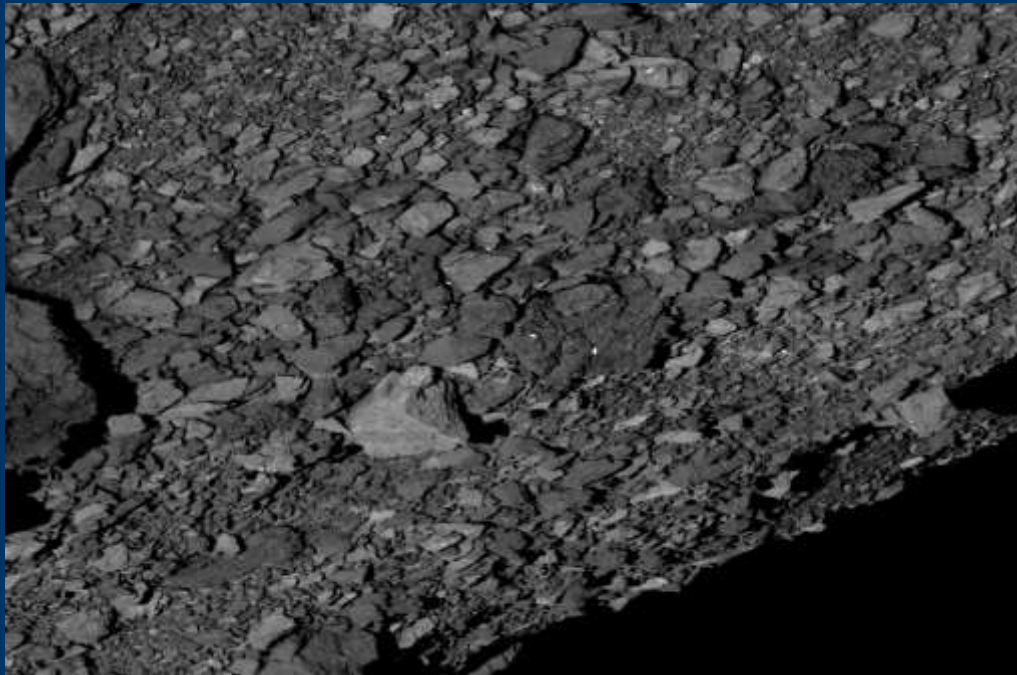
- Dimensioni $582 \times 556 \times 500$ km o $550 \times 516 \times 476$ km secondo altre fonti
- Pallade all'opposizione raggiunge mediamente l'ottava magnitudine, al di sotto del limite di visibilità dell'occhio nudo, ma alla portata di un binocolo 10×50 .
- Semiasse maggiore $414.966.688$ km ($2,7738415$ au)
- Periodo orbitale $1687,41$ giorni ($4,62$ anni)
- Si stima che la sua massa costituisca il **7%** di quella dell'intera fascia principale.



- Immagine dal Very Large Telescope
- Credit: ESO/Vernazza et al.

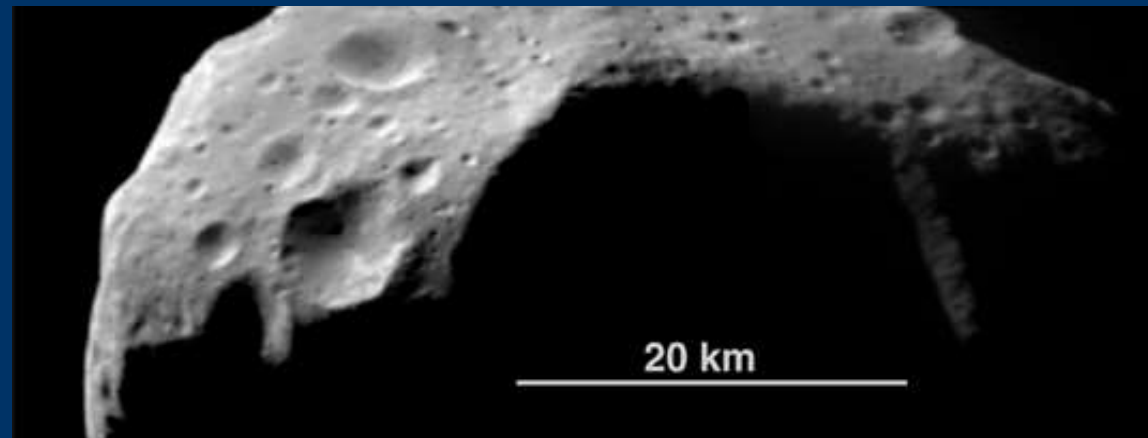
Agglomerati rocciosi (*Rubble pile*)

- Es: Bennu
- Bassa densità, alta porosità
- Origine da frantumazione e riagggregazione?



253 Mathilde

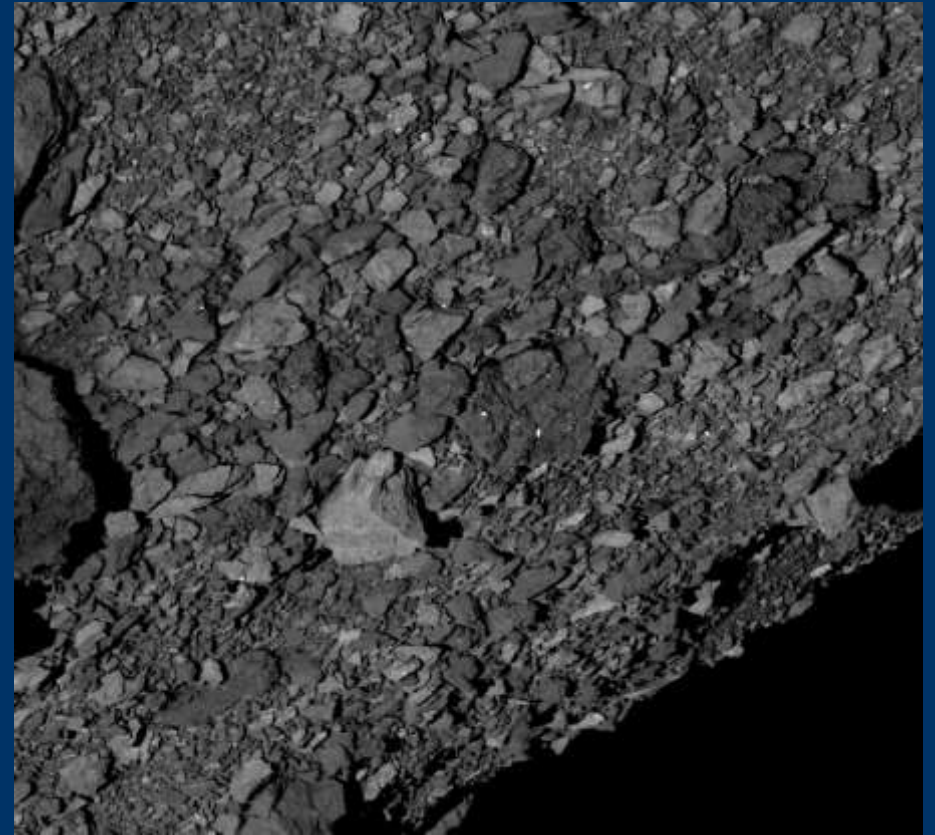
- Asteroide di **tipo C**
- Sulla faccia osservata sono stati individuati cinque **grandi crateri di dimensioni comparabili a quelle dell'asteroide stesso**, generati da impatti che avrebbero distrutto un oggetto monolitico. L'ipotesi più accreditata è quindi che Mathilde sia costituito secondo il modello **rubble pile**



- Crediti: NASA

162173 Ryugu e 101955 Bennu: vite parallele

- Oggetti Near Earth
- Obiettivo di due *sample return mission*: Hayabusa 2, Osiris-Rex
- Composizione, forma e origine simili
- Presenza di materiali esogeni (provenienti da collisioni con altri corpi)

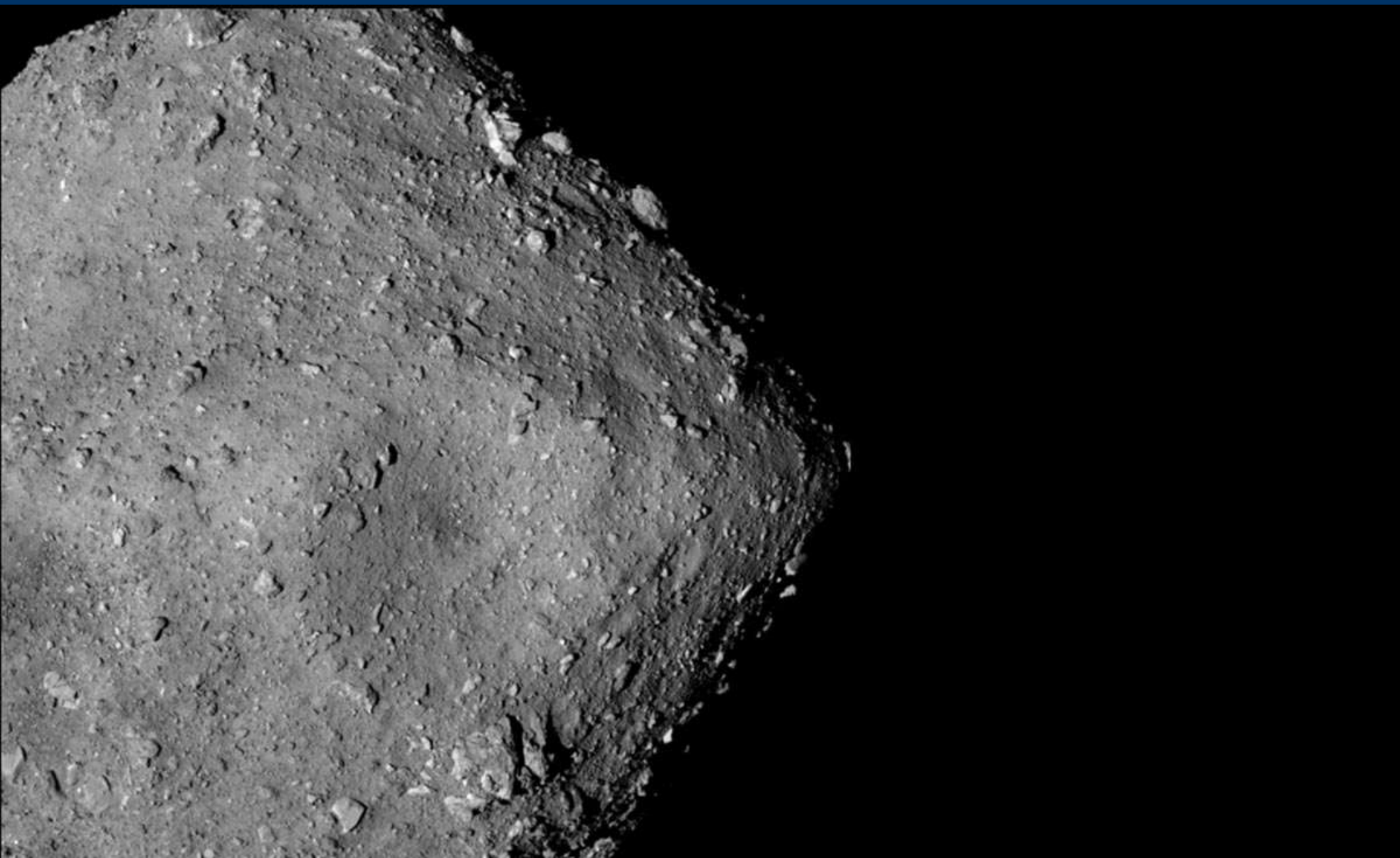


- Crediti: NASA

162173 Ryugu

- Asteroide gruppo Apollo
 - Tipo C
 - Periodo orbitale 1,3 anni
 - Perielio 144080523 km
 - 0,9631051 UA
 - Afelio 211832388 km
 - 1,4159919 UA
 - Diametro medio 0,87 km
 - L'avvicinamento più prossimo alla Terra dell'asteroide avverrà il 6 dicembre 2076 a una distanza di 0,010460 unità astronomiche (ovvero di 1564799 chilometri)
- Crediti: ISAS/JAXA

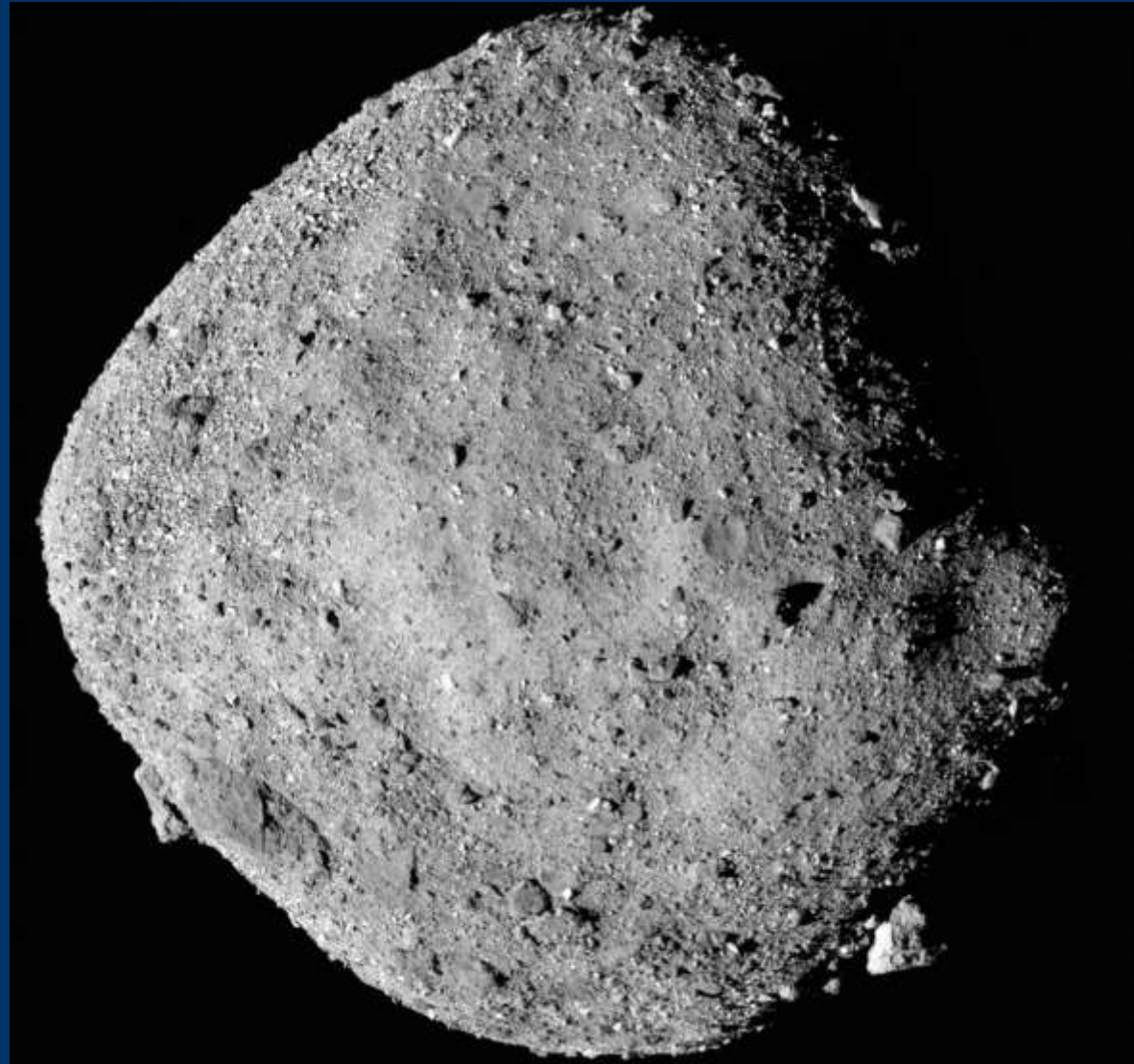




Credit: Media INAF

101955 Bennu

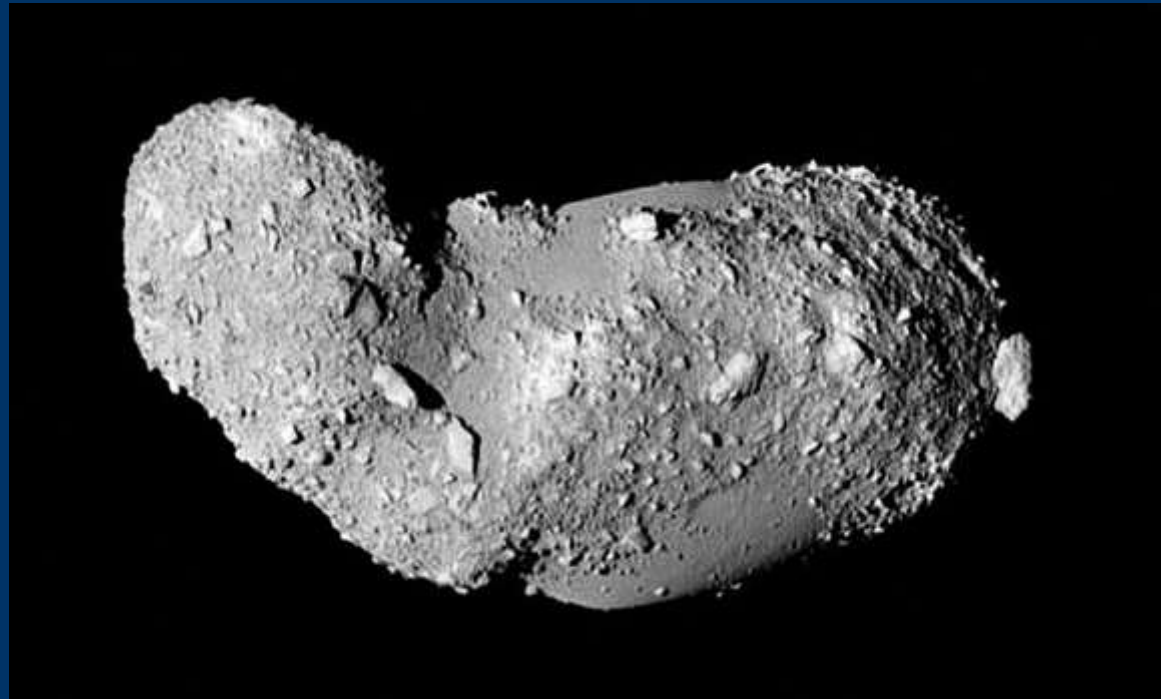
- Asteroide gruppo Apollo
- Periodo orbitale 1,19 anni
- Perielio 134121157 km
0,8965318 UA
- Afelio 202748003 km
1,3552674 UA
- Dimensioni 565 m × 535 m × 508 m
- Diametro medio 0,492 km



Crediti: NASA Goddard University of
Arizona

25143 Itokawa

- Gruppo Apollo
- Asteroide di tipo S
- Densità media: $(2,3 \pm 0,3) \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
- Dimensioni $535 \times 294 \times 209 \text{ m}$
- Mancanza crateri da impatto
- Struttura rubble pile
- Unione di due (o più) asteroidi a diversa densità 1750 e 2850 kg/m^3
- Periodo rotazione: 12,5 ore



• Fonte: sonda Hayabusa JAXA

Aggregati

- Asteroidi con satelliti (nell'immagine 243 Ida ed il suo satellite Dattilo)



Ettore (624 Hektor)

- Scoperto nel 1907
- 250 km di larghezza: è il più grande dei **troiani di Giove**
- **Probabile forma bilobata** e composizione rocce/ghiaccio come oggetti Kuiper
- **Una luna** scoperta nel 2006 con diametro di 12 km che orbita in 3 giorni con inclinazione di 45° sull'equatore di Hektor



Rappresentazione artistica

Crediti: H. Marchis & F. Marchis e Media
INAF

16 Psyche

- Asteroide di tipo M
 - Dimensioni 253,2 km
 - Semiasse maggiore: 437.330.931 km (2,9233351 UA)
 - Albedo 0,12
 - Analisi spettrale: Fe e Ni
 - Probabile nucleo di un planetesimo
 - Densità media $2,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ (bassa per un corpo metallico: porosità?)
 - Obiettivo della sonda statunitense Psyche (lancio Luglio 2022)
- 
- Psyche ripreso da Very large telescope
Crediti: ESO/LAM

Famiglie di asteroidi

- Raggruppamento di asteroidi con parametri orbitali simili ed affinità chimico-geologiche
 - Si stima che vi appartenga il 33-35% dei corpi della Fascia principale
 - Ogni famiglia può essere composta da centinaia di asteroidi
 - Si pensa che una famiglia derivi dalla frammentazione di un corpo progenitore a seguito di collisioni
-
-

Principali famiglie

- Famiglia di Vesta
- Famiglia di Pallade
- Famiglia di Igea
- Famiglia Massalia

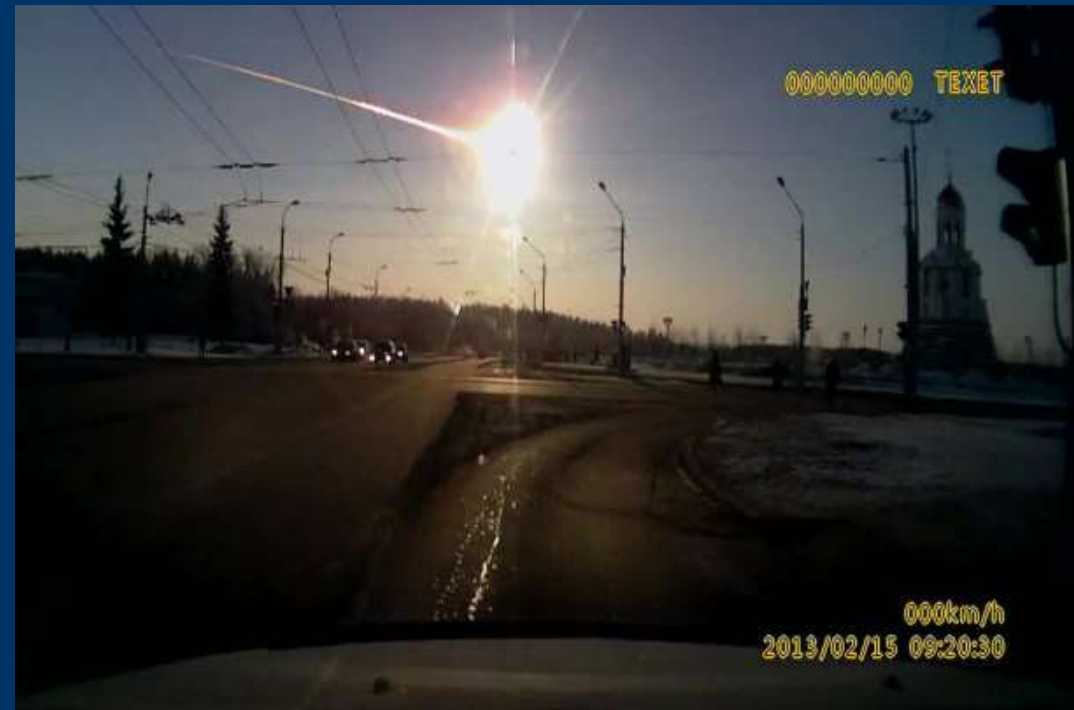


Teorie sull'origine degli asteroidi

- Olbers (inizio XX sec.): **residuo di un pianeta esploso**
- **Planetesimi non aggregati in un pianeta** a causa delle perturbazioni gravitazionali di Giove che li hanno accelerati, deviandone la traiettoria, facendoli scontrare e provocando una pioggia di asteroidi sui pianeti interni

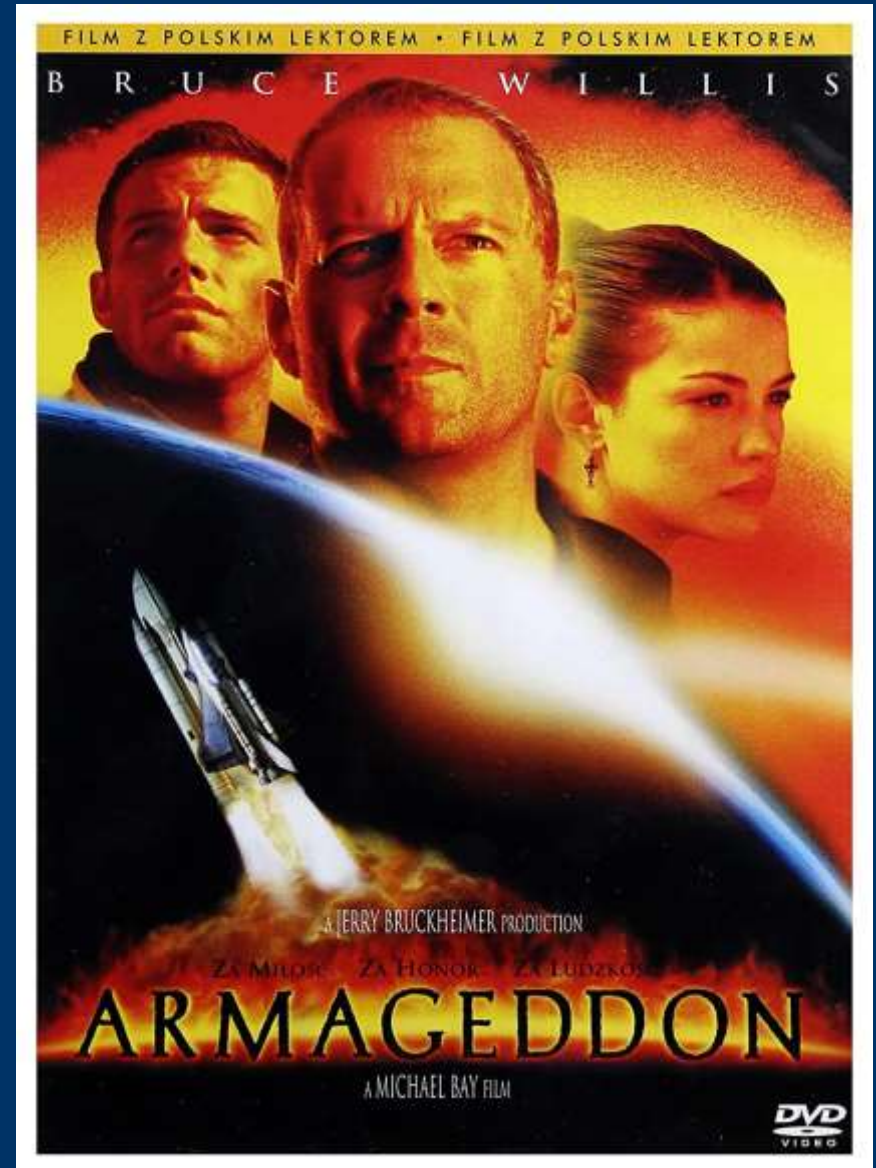
Ma... sono pericolosi?

- Ogni anno entrano nell'atmosfera terrestre circa 40.000 tonnellate di materiale dallo spazio, in generale come frammenti di piccole dimensioni
- Ma certe volte...



A vedere certi film...

- Armageddon, con Bruce Willis e Ben Affleck 1998
- Deep Impact ,con Robert Duvall e Vanessa Redgrave 1998
- Impact earth di Rex Piano 2015



- Crediti: Amazon

Per i dinosauri, forse sì!

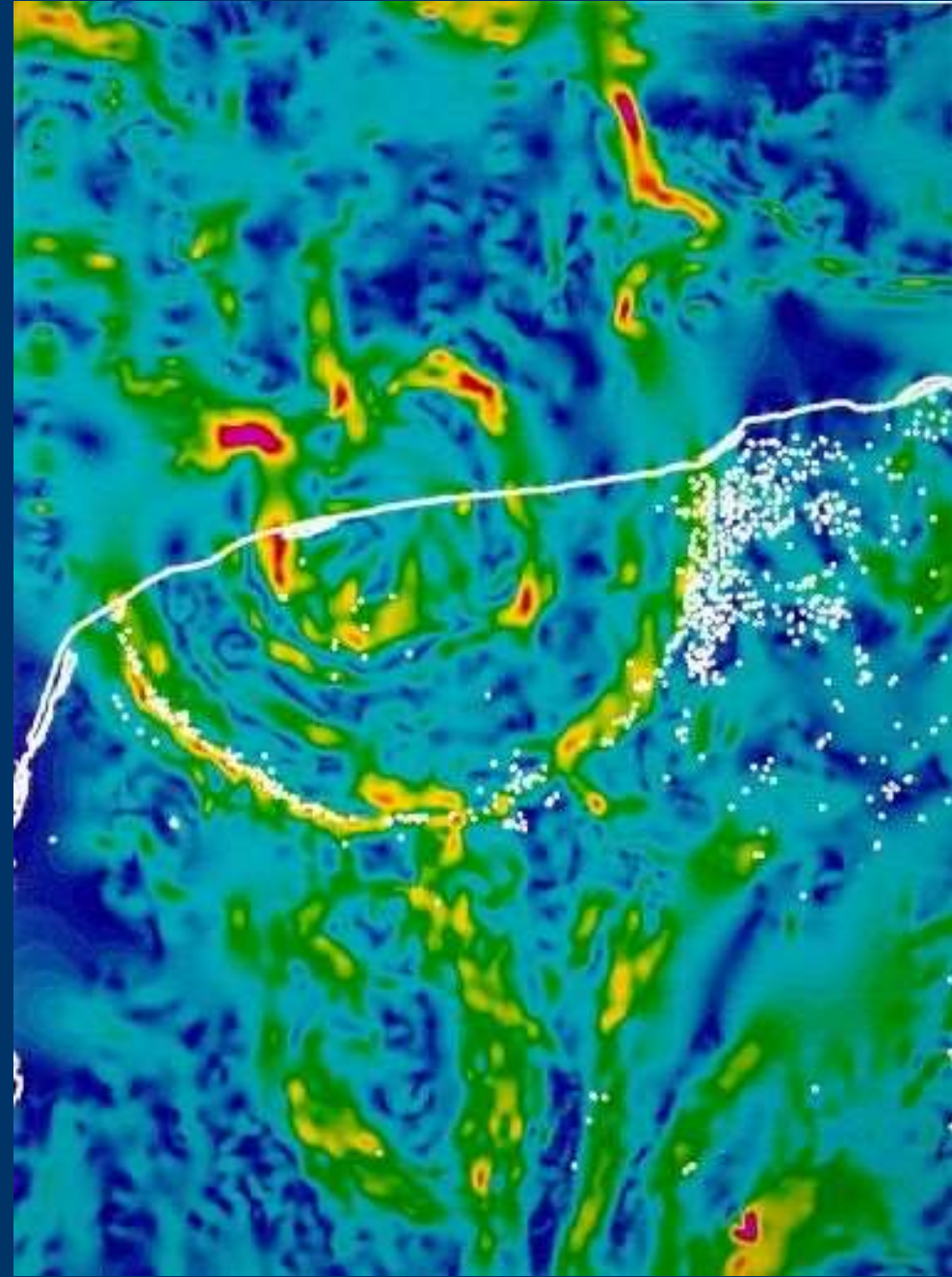
- Ipotesi di Luis e Walter
- Alvarez (1980) e Jan Smit:
- Caduta di un asteroide
- Tsunami, nube di detriti
- **Evidenze**
- Livello di iridio
- Cratere di Chixulub (MX)



crediti: ANSA.IT

Chicxulub

- Cratere da impatto ai margini della penisola dello **Yucatàn**, datato a circa 65,95 m.a.
- Diametro stimato del meteorite fra 10 e 14 km



- Immagine gravimetrica

Tunguska

- 30 Giugno 1908
- Vicino Vanavara, Governatorato di Enisejsk, **Siberia**, presso il fiume Tunguska
- **Abbattimento di decine di milioni di alberi**, bagliore visibile a 700 km circa di distanza, rumore percepito a 1000 km di distanza
- Tra il 1927 e il 1939 lo scienziato Leonid Alekseevič Kulik organizzò quattro spedizioni, ma non fu mai trovato il cratere o altre evidenze dell'impatto.
- L'ipotesi più accreditata come causa del fenomeno è l'esplosione di un asteroide sassoso di dimensioni comprese fra i 30 ed i 60 m di diametro che si muoveva a una velocità di almeno 15 chilometri al secondo (54.000 km/h). La deflagrazione sarebbe avvenuta a un'altezza di 8 chilometri. La resistenza offerta dall'atmosfera può aver frantumato l'asteroide, la cui energia cinetica è stata convertita in energia termica. La conseguente vaporizzazione dell'oggetto roccioso ha causato un'immane onda d'urto che ha colpito il suolo.



- Di CYD - From English Wikipedia, en:Image:Tunguska01.png, Pubblico dominio, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=134407>

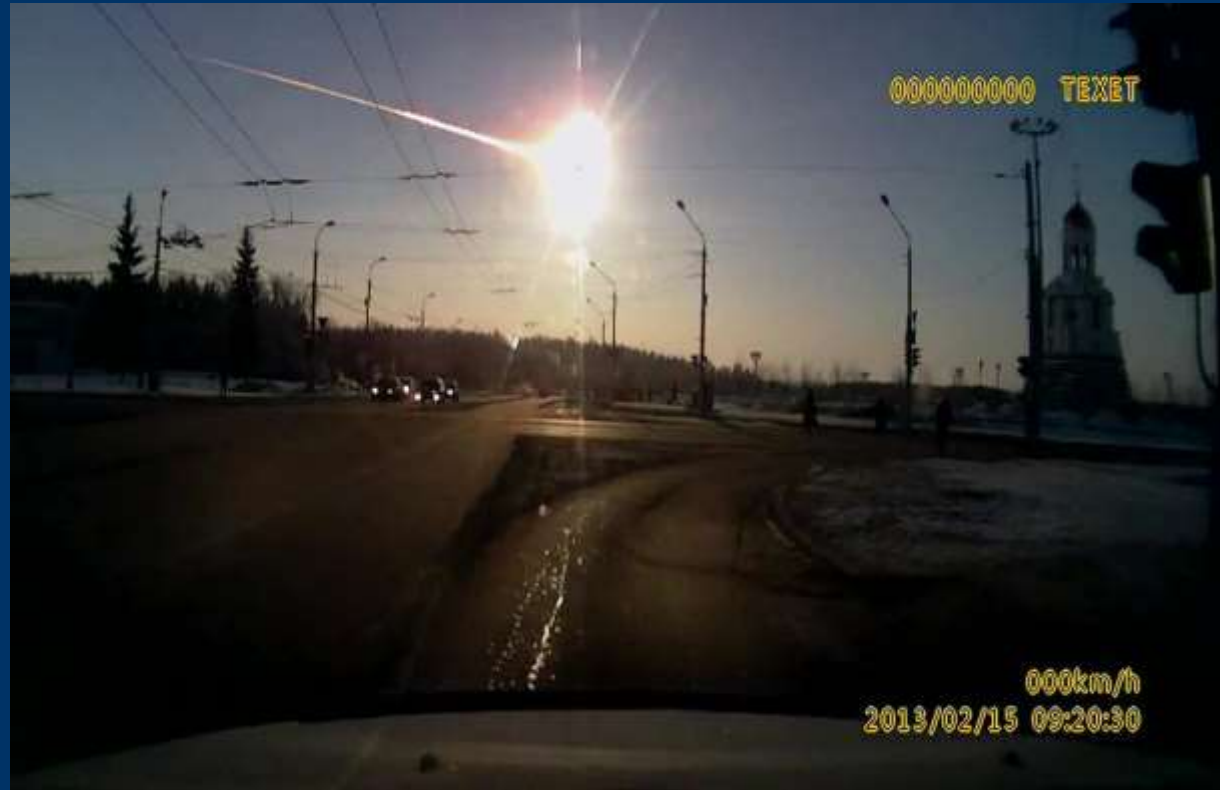
Asteroide o cometa?

- Alberi sulla verticale dritti ma spogli (onda d'urto verticale), alberi lontani abbattuti (onda d'urto orizzontale)
- Christopher Chyba e Kevin Zahnle con Paul J. Thomas, escludono che l'asteroide possa essere stato di natura ferrosa o carbonacea. Nel primo caso, il corpo celeste avrebbe raggiunto il suolo senza frantumarsi; nel secondo caso, la deflagrazione sarebbe avvenuta troppo in alto nell'atmosfera per devastare una zona così ampia di taiga.
- Nel 1930, l'astronomo britannico Fred Lawrence Whipple ha suggerito che il corpo Tunguska fosse una **piccola cometa**. Una cometa, essendo composta principalmente da ghiaccio e polvere, avrebbe dovuto essere completamente vaporizzata dall'impatto con l'atmosfera terrestre, senza lasciare tracce visibili. L'ipotesi della cometa è stata ulteriormente supportata dai cieli luminosi (o "notti luminose") osservati in tutta Europa per diverse serate dopo il giorno dell'impatto.

Celjabinsk

15 febbraio 2013, nella regione a sud degli Urali, in Russia, alle ore 9:13 locali

meteoroidi di circa 15 metri di diametro e una massa di 10.000 tonnellate alla velocità di 54.000 km/h si è frantumato alcune decine di km sopra la città di Čeljabinsk, con notevole velocità orizzontale. Una parte dei frammenti ha colpito il lago Čebarkul', dal quale il 16 ottobre del 2013 è stato ripescato un grosso pezzo di circa 570 kg di peso



• Fonte: Wikipedia

- Ferimento di ca 1000 persone a causa dei vetri frantumati dall'onda d'urto

- Tre siti d'impatto sono stati rinvenuti: due nell'area vicino al lago Čebarkul' e l'altro, a circa 80 km a nordest, presso la città di Zlatoust. Uno dei frammenti, che ha impattato vicino a Čebarkul', ha lasciato un cratere del diametro di sei metri. Un frammento del peso di oltre 570 kg è stato recuperato dal lago Čebarkul'



- Frammenti attribuiti al meteorite
- Crediti: Alexander Sapozhnikov - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=24837175>

Dinamica della penetrazione in atmosfera

- Il corpo è attratto dalla Terra con una forza proporzionale alla massa e a r^3
 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$
- L'atmosfera frena il corpo con una forza proporzionale alla sezione, cioè a r^2
 $A = r^2 \times 3,14$
- Tanto maggiore è il **raggio**, tanto più prevale l'attrazione sulla frenata
- La superficie **si riscalda** più dell'interno -> il corpo **esplode** e si frammenta
- Al momento **dell'impatto**, l'energia cinetica **$\frac{1}{2}mv^2$** si trasforma in calore
- Si **vaporizza** non solo il corpo, ma anche una parte della superficie terrestre → il cratere è molto più grande del buco provocato dalla caduta

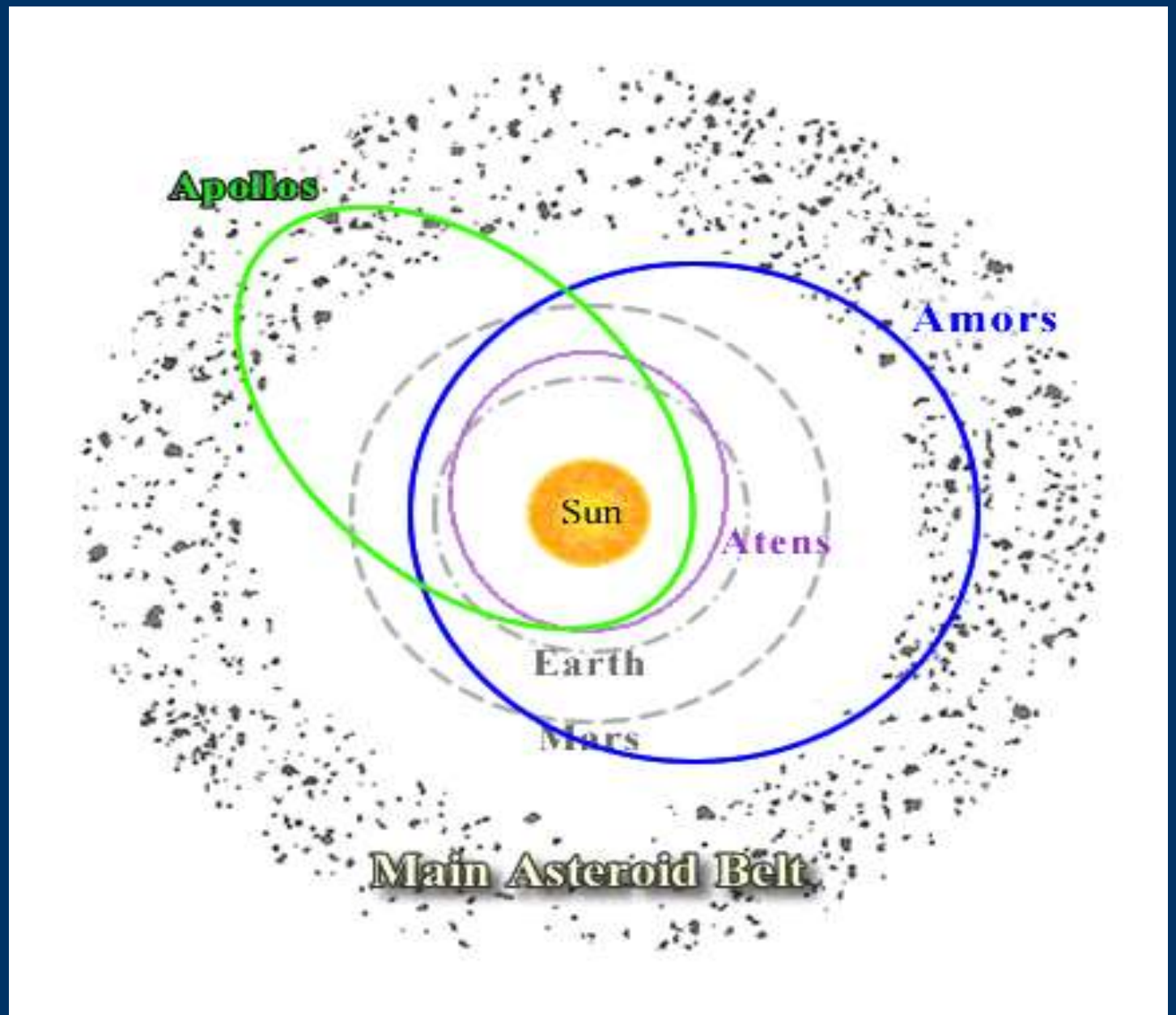
NEO

2 sottoclassi:

- NEA (asteroidi provenienti dalla Cintura principale e deviati per attrazione gravitazionale)
- NEC (nuclei esauriti di comete)

Near Earth Asteroids o NEA

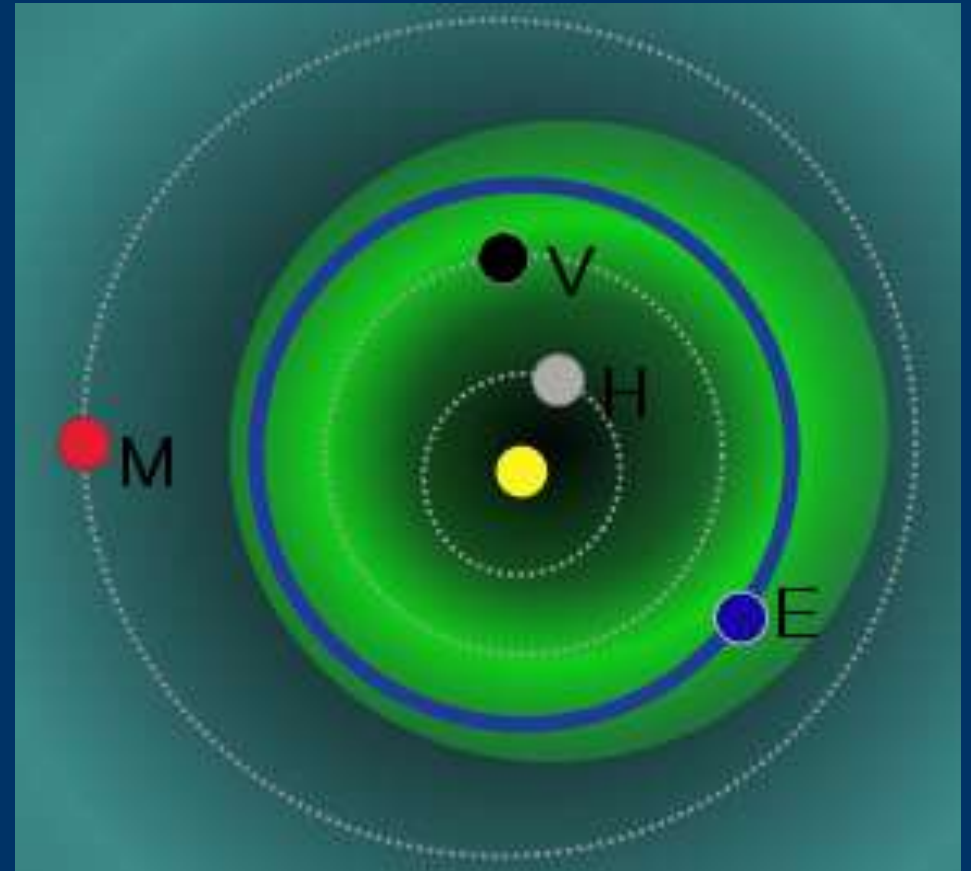
- Asteroidi la cui orbita è vicina a quella della Terra: diventano pericolosi se l'orbita interseca quella della Terra
 - Raggruppati in 3 famiglie:
 - Asteroidi **Aten** il cui semiasse maggiore è inferiore ad una unità astronomica;
 - Asteroidi **Apollo** il cui semiasse maggiore è maggiore di una unità astronomica e il perielio (q) inferiore a 1,017 au;
 - Asteroidi **Amor** il cui raggio orbitale medio è compreso tra quello della Terra e quello di Marte e il cui perielio è leggermente fuori dall'orbita terrestre (circa 1,017 - 1,3 au) → sono quelli meno pericolosi.
- Fonte: Wikipedia



- Credit: <https://www-n.oica.eu/>

Gruppo Apollo

- Gli asteroidi Apollo sono un gruppo di **asteroidi near-Earth** caratterizzati da un'orbita con **semiasse maggiore** superiore ad una unità astronomica e un **perielio** inferiore a 1,017 UA.
- Itokawa, Bennu, Didymos, Hermes



- Di AndrewBuck - Opera propria, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6605947>

Gruppo Amor

EROS

- Dimensioni $34,4 \times 11,2 \times 11,2$ km
- Semiasse maggiore 218.155.000 km - 1,458UA
- Perielio 1,133 UA
- Afelio 1,783 UA
- Asteroide di tipo S
- Esplorato dalla sonda NEAR Shoemaker della NASA, entrata in orbita il 14 febbraio 2000, atterrata il 12 febbraio 2001 sulla superficie dell'asteroide, dove ha condotto analisi chimiche

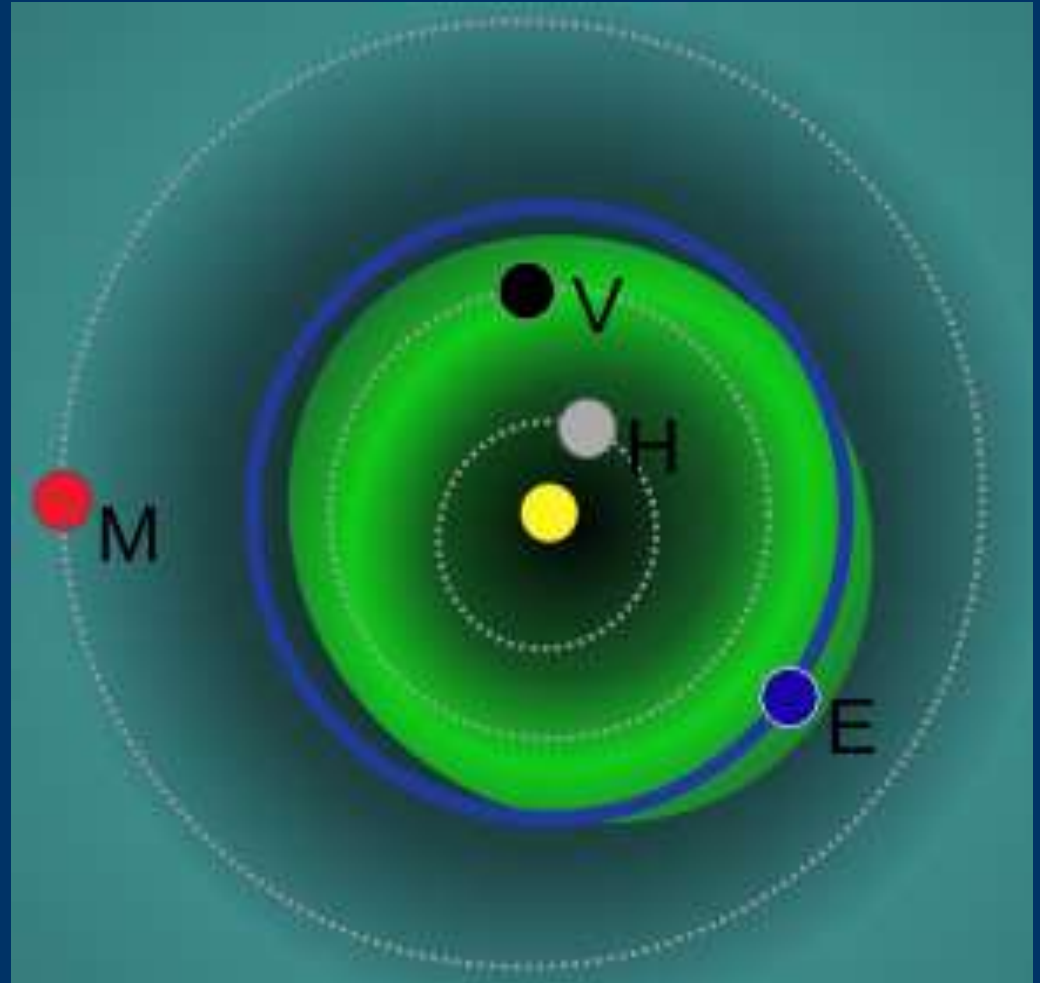


Crediti: NASA/JPL/JHUAPL

- Struttura interna essenzialmente uniforme, come suggerito dal campo gravitazionale e dal centro di massa quasi coincidente con il centro geometrico

Gruppo Aten

- Orbita con semiasse maggiore inferiore ad 1 UA
- Il più celebre è **99942 Apophis**, all'inizio ritenuto probabile un incontro con la Terra nel 2029 o 2035, poi considerato nullo



- Crediti: AndrewBuck - Opera propria, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=6606003>

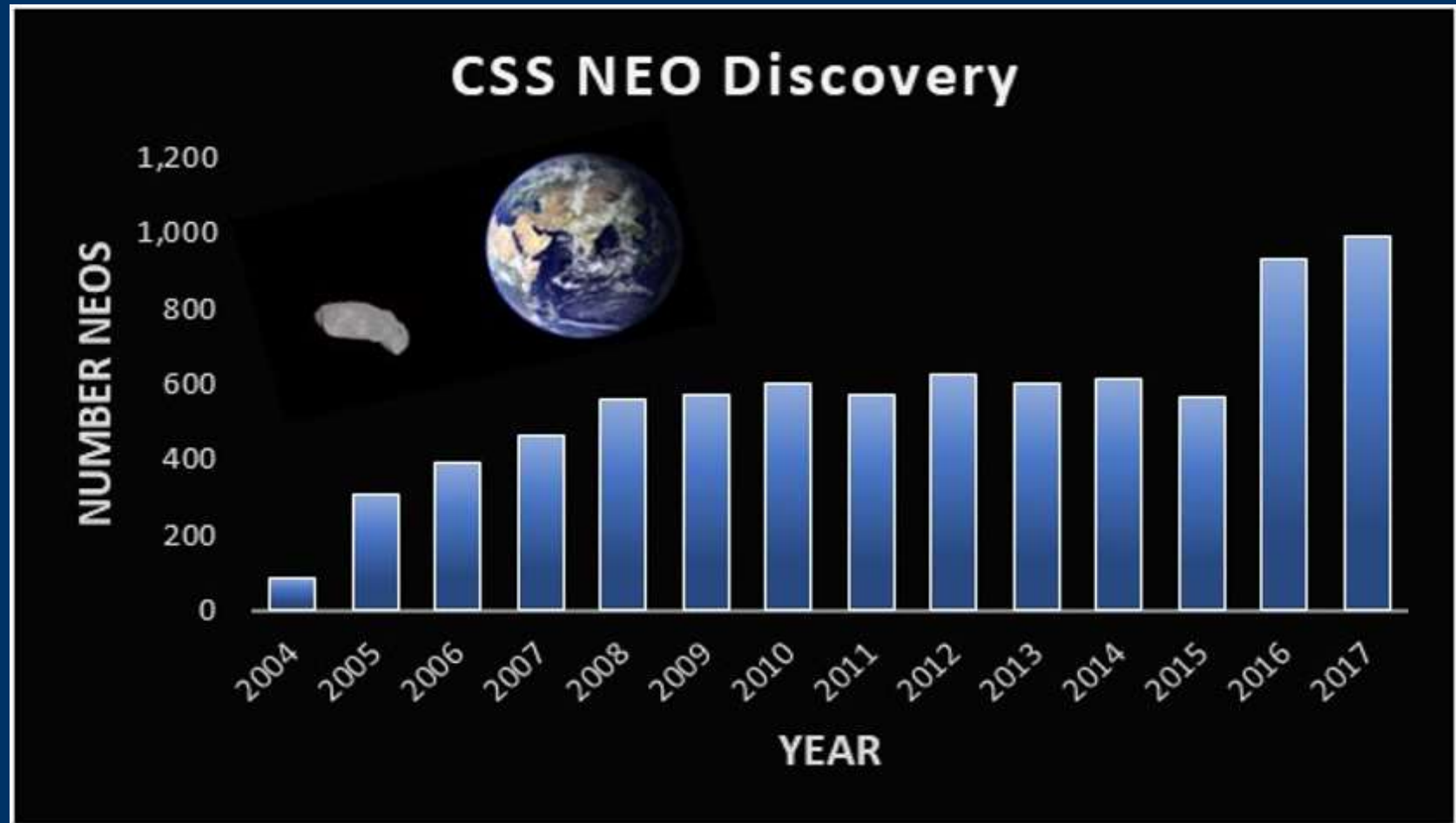
Probabilità...

- Gli asteroidi con diametro di **1 km** si scontrano con la Terra statisticamente ogni milione di anni, mentre grandi collisioni con oggetti di **5 km** accadono approssimativamente ogni dieci milioni di anni. Piccole collisioni, equivalenti a 1 chilotone, avvengono circa ogni mese.
- Principali classificazioni di rischio per i NEO:
- Scala Torino
- Scala Palermo

Programmi di sorveglianza

- **LINEAR** usa due telescopi di un metro di diametro e un telescopio di mezzo metro ubicati in Nuovo Messico.
- Il progetto **Spacewatch**, usa un telescopio di 90 cm situato nell'osservatorio di Kitt Peak in Arizona ed un altro da 1,8 metri.
- **NEAT** (Near-Earth Asteroid Tracking)
- **LONEOS** (Lowell Observatory Near-Earth-Object Search)
- **CSS** (Catalina Sky Survey)
- **ADAS** (Asiago-DLR Asteroid Survey)
- **INAS** (International Near-Earth Asteroid Survey)
- **ODAS** (OCA-DLR Asteroid Survey)
- **PCAS** (Palomar Planet Crossing Asteroid Survey)
- **UESAC** (Uppsala-ESO Survey of Asteroids and Comets)
- **CINEOS** (Campo Imperatore Near-Earth Object Survey)
- **NEOSSat** (un micro satellite costruito dal CSA Canada) fonte: Wikipedia

Un esempio...



- Crediti: Catalina sky survey – University of Arizona

NEO EXCHANGE

- L'osservatorio americano di Las Cumbres ha sviluppato una rete di telescopi per monitorare corpi minori del sistema solare ed in particolare i NEO



Come ci salveremo?

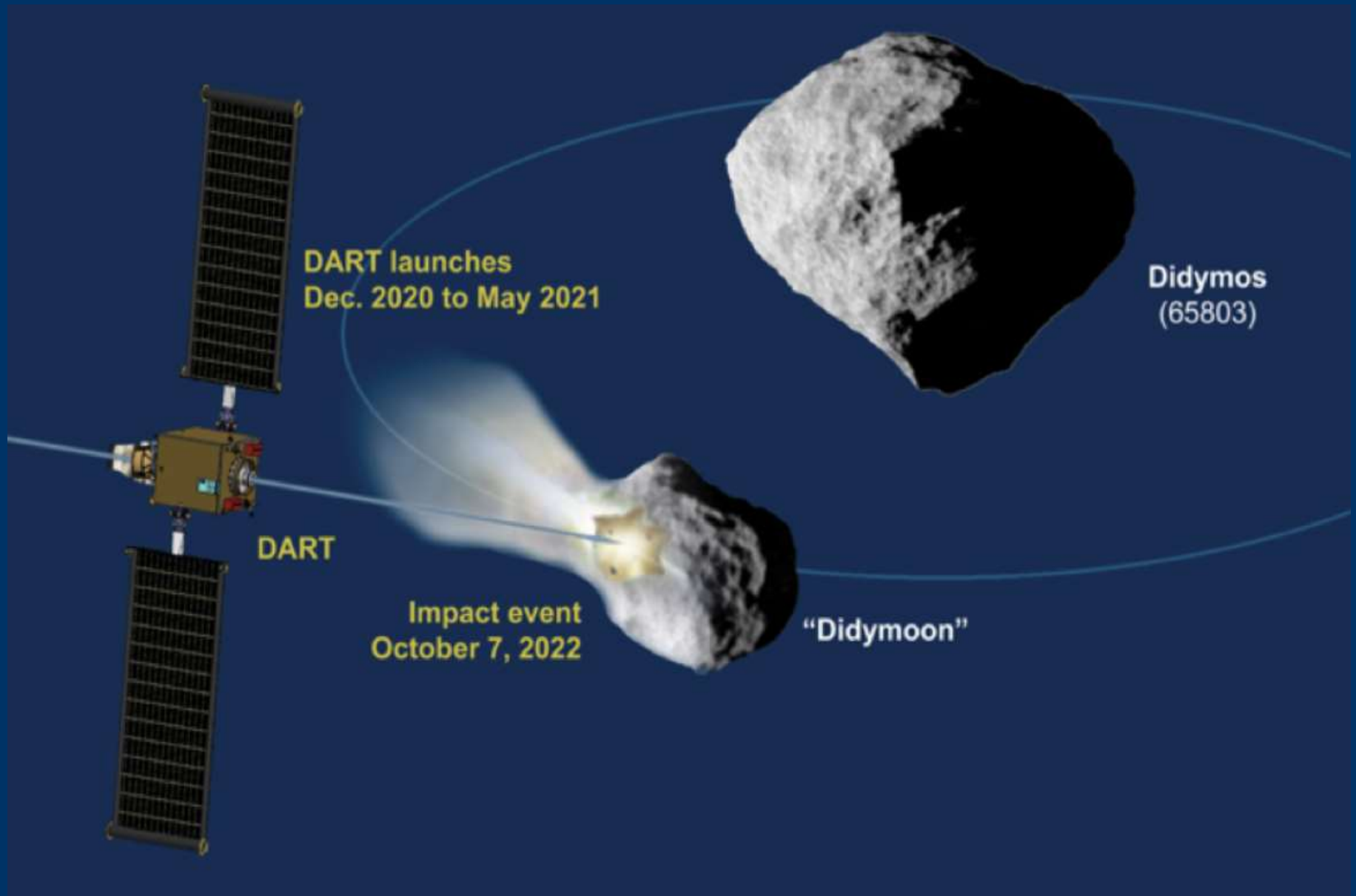
Iniziative di “difesa planetaria”:

- Colpire un asteroide per *distruggerlo* → NO:
produrrebbe una grande quantità di detriti che
colpirebbero un'area più vasta
- Colpire un asteroide per *deviarne la traiettoria* →
già questo è meglio!



Missioni AIDA: DART + HERA

- AIDA, (Asteroid Impact and Deflection Assessment) è una collaborazione internazionale che ha come obiettivo l'asteroide 65803 Didymos, appartenente ai NEO. Si compone di due missioni:
- DART (Double Asteroid Redirection Test) per colpire e deflettere la traiettoria di un piccolo asteroide, missione della NASA
- HERA dell'ESA, per osservare dopo alcuni anni le conseguenze dell'impatto
- Scoperto nel 1996, 65803 Didymos si muove su un'orbita che varia tra una distanza di 151,6 e 340,5 milioni di km dal Sole, ossia con un perielio di poco inferiore all'afelio del nostro pianeta. In altri termini, si tratta di un oggetto che, avvicinandosi alla nostra stella, lambisce l'orbita terrestre, rispetto alla quale la sua traiettoria è inclinata di soli $3,4^\circ$. Il suo periodo orbitale è pari a 2,11 anni. (Astronautinews.it)



• Fonte: NASA



- Crediti: ESA

Un precedente

- Hayabusa 2 nel 2014 ha già fatto 2 touchdown sull'asteroide Ryugu il 22 febbraio e l'11 luglio. Al secondo touchdown – compiuto con un'accuratezza di 60 cm – è andata a posizionarsi a 20 metri dal cratere che essa stessa aveva prodotto bombardando la superficie, prelevando così del materiale fuoriuscito da qualche metro di profondità. Il cratere formatosi in realtà è stato molto più ampio di quanto previsto, una decina e più di metri contro i 2 o 3 previsti! Questo porta anche ulteriori contributi al campo cosiddetto del planetary defence che intende capire come affrontare i pericoli provenienti da corpi celesti a rischio di impatto con il nostro pianeta.

- Media INAF del 20/09/2019

Una proposta di collaborazione

- La scoperta di nuovi NEA necessiterà sempre di più di una rete di **collaborazione** fra soggetti diversi, sia professionisti che non, che mettano a disposizione vari tipi di strumenti e che possano quindi scambiarsi **informazioni** molto rapidamente.



Miniere sugli asteroidi?

- Sono state rilevate materieprime che sulla Terra sono ormai rare, soprattutto negli asteroidi di tipo M



Asteroid day

- Si svolge ogni anno il **30 Giugno**, in ricordo dell'evento di Tunguska, con eventi in tutto il mondo sullo studio ed i rischi connessi agli asteroidi e sulle iniziative di difesa planetaria
- E' stato fondato nel 2014, da **Brian May**, astrofisico e chitarrista dei QUEEN, insieme a Danica Remy, Presidente della Fondazione B612 , Rusty Schweickart, astronauta dell'Apollo 9, e dal filmmaker Grig Richters
- E' promosso dalla **Asteroid foundation**, una organizzazione no-profit con sede in Lussemburgo
- <https://asteroidday.org/>

Bibliografia consultata

- Gino Cecchini – Il cielo. Vol. 1 – Torino : UTET, 1969
- Glauco Gottardi – I minerali – Torino : Boringhieri, 1984
- National Geographic - Il sistema solare – RBA Italia 2018
- Duncan John – Stelle e pianeti – Gribaudo-Parragon, 2008
- Philippe de La Cotardière – Dizionario di astronomia – Roma : Gremese, 2006

Sitografia e articoli

- Media INAF <https://www.media.inaf.it/>
 - <http://blog.teleskop-express.it/albino-carbognani-piccoli-punti-di-luce-che-si-muovono-in-cielo/>
 - <https://ilbolive.unipd.it/it/news/questione-nomi-anche-asteroidi>
 - <https://www.astronews.it/asteroidi/>
 - <https://www.oavda.it/portfolio-view/asteroidi>
 - <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S027311770501032X>
 - <https://www.eso.org/public/images/eso1405a/>
 - https://it.wikipedia.org/wiki/Oggetto_near-Earth
 - <https://www.astronautinews.it/2018/07/hera-la-missione-esa-per-la-difesa-planetaria-sullasteroide-binario-didymos/>
-
-

- **Th. Burline** in *Treatise on geochemistry*, 2. ed., 2014
- **Daniel J Britt**, in *Encyclopedia of the solar system*, 3. ed. , 2014
- consultati su *sciencedirect.com*
- **Linsay S. et al.**, Composition, mineralogy and porosity of multiple asteroid system from visible and near-infrared spectral data, *Icarus*, vol. 247 (2015), p. 53-70
- Reddy et al., Mineralogy and surface composition of asteroids, *Asteroids IV*, p. 43-63



Grazie per l'attenzione!

