Concorso giovani astronomi al TNG, IV edizione A.S. 2026-27

Caratterizzazione fotometrica di asteroidi near-Earth

Albino Carbognani

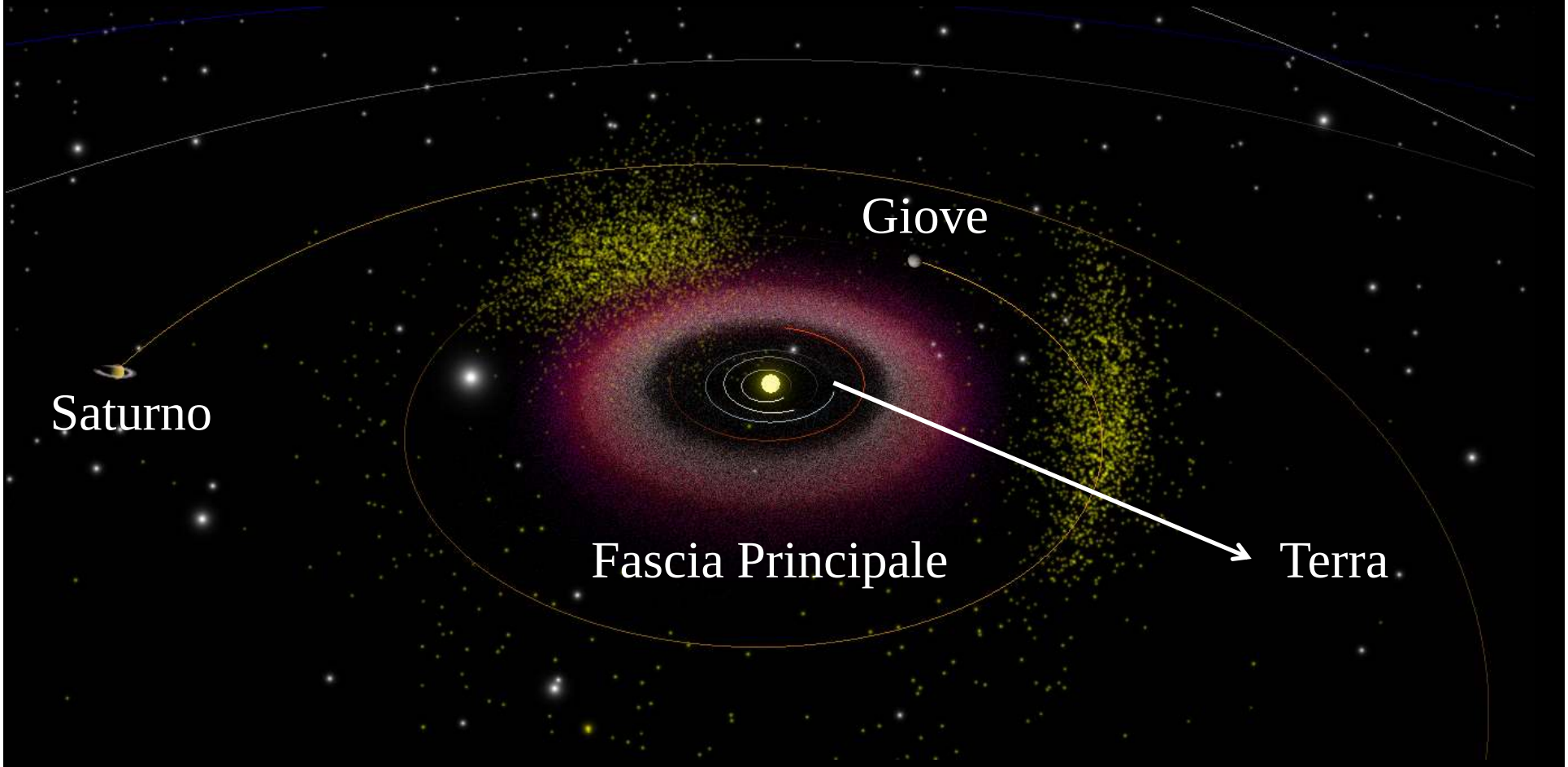
INAF-Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna,

Via P. Gobetti 93/3 40129 Bologna - Italy



Gli asteroidi nel Sistema Solare

1 au = 150 milioni di km



Comete e asteroidi sono oggetti relativamente primordiali, i resti dei planetesimi da cui si sono formati i pianeti e i loro satelliti circa 4,75 miliardi di anni fa.

Gli asteroidi sono soggetti all'evoluzione collisionale...



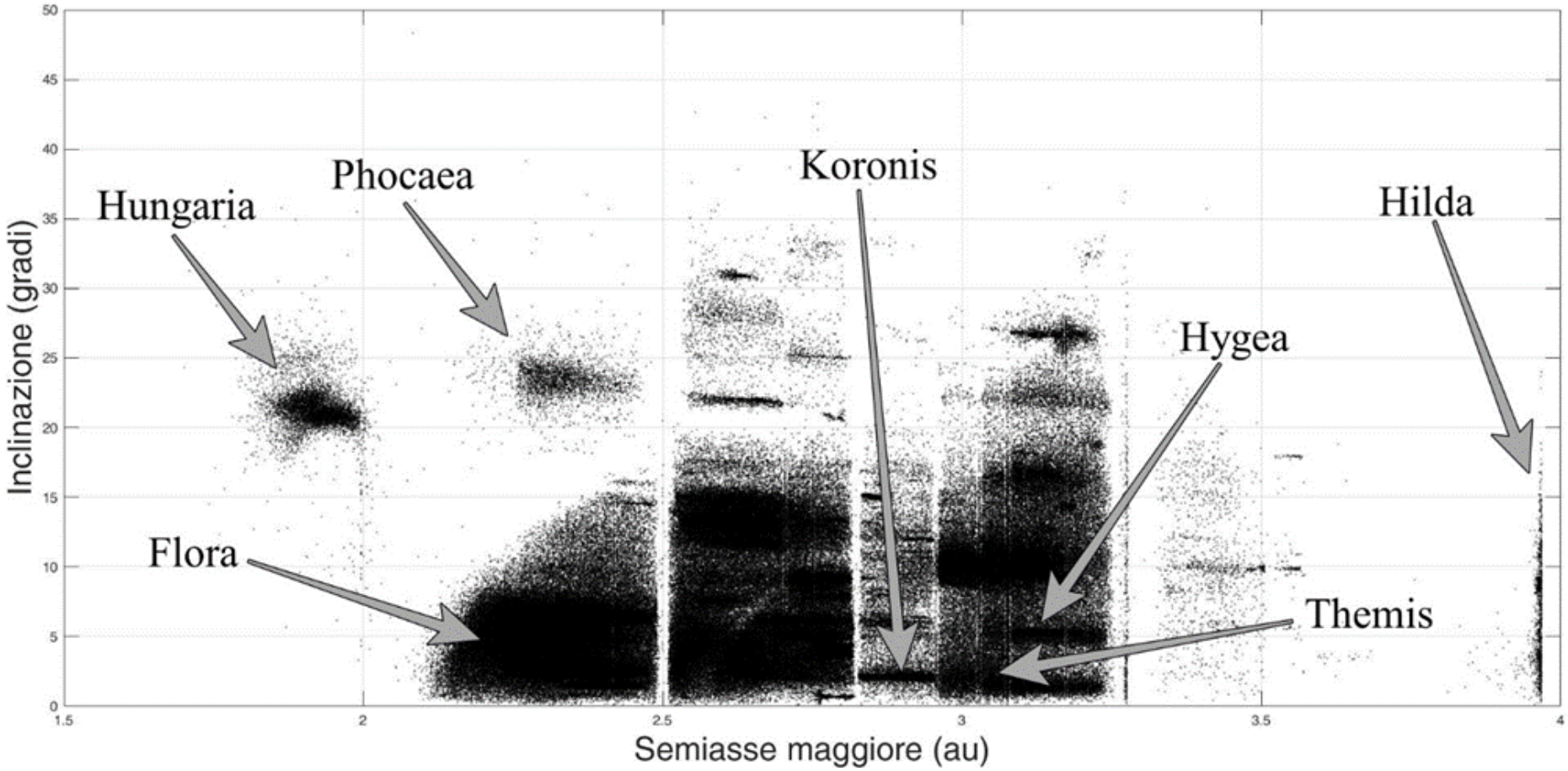
Che prove abbiamo delle collisioni catastrofiche fra asteroidi?

Un esempio di evoluzione collisionale: (253) Mathilde

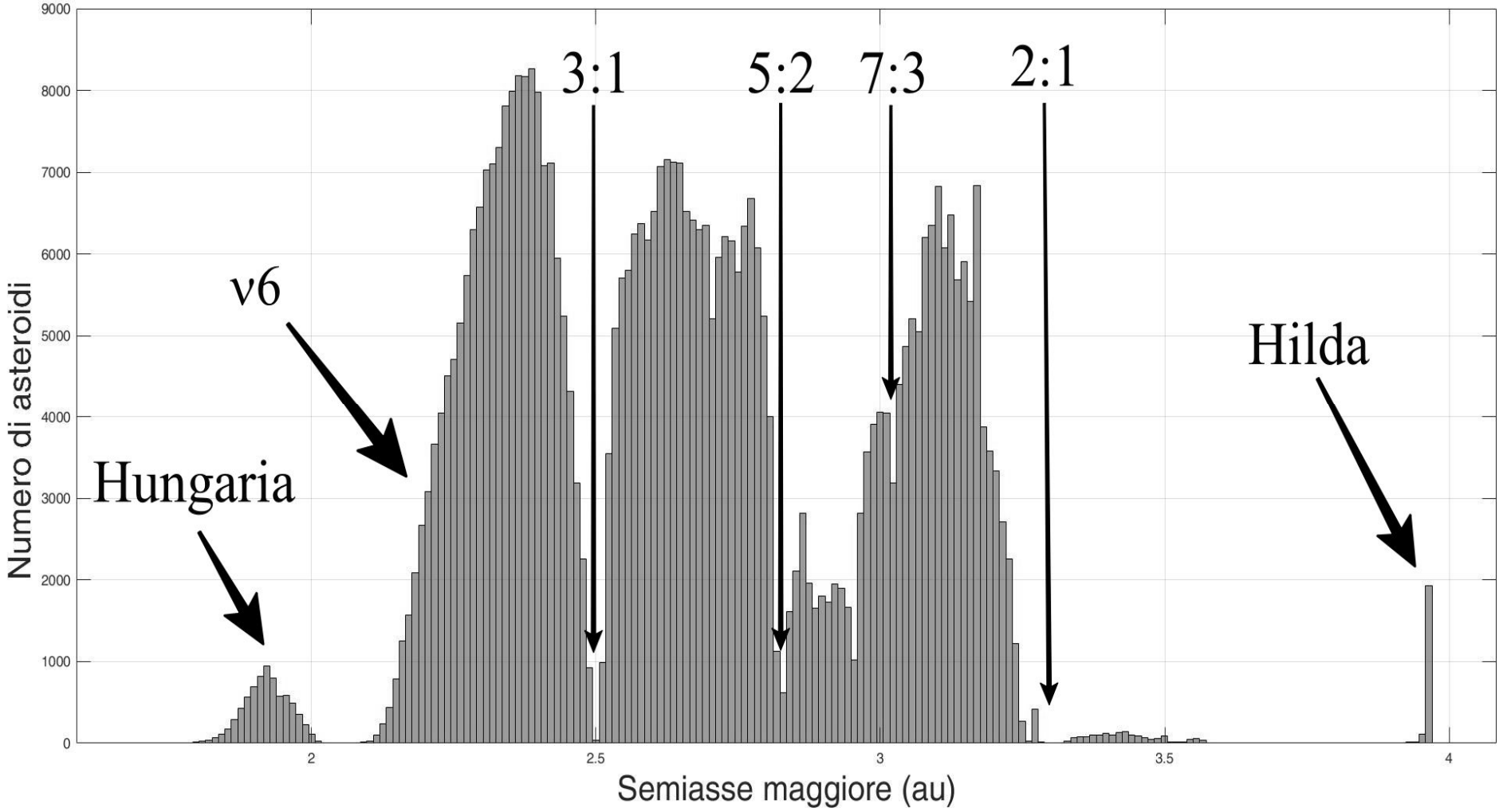


253 Mathilde è un asteroide di tipo C della fascia principale del diametro medio di circa 52,8 km, visitato dalla sonda NEAR (Near Earth Asteroid Rendezvous) nel giugno del 1997, durante il suo viaggio verso 433 Eros. Questo oggetto presenta alcuni enormi crateri d'impatto, dal diametro paragonabile a quello dell'asteroide stesso.

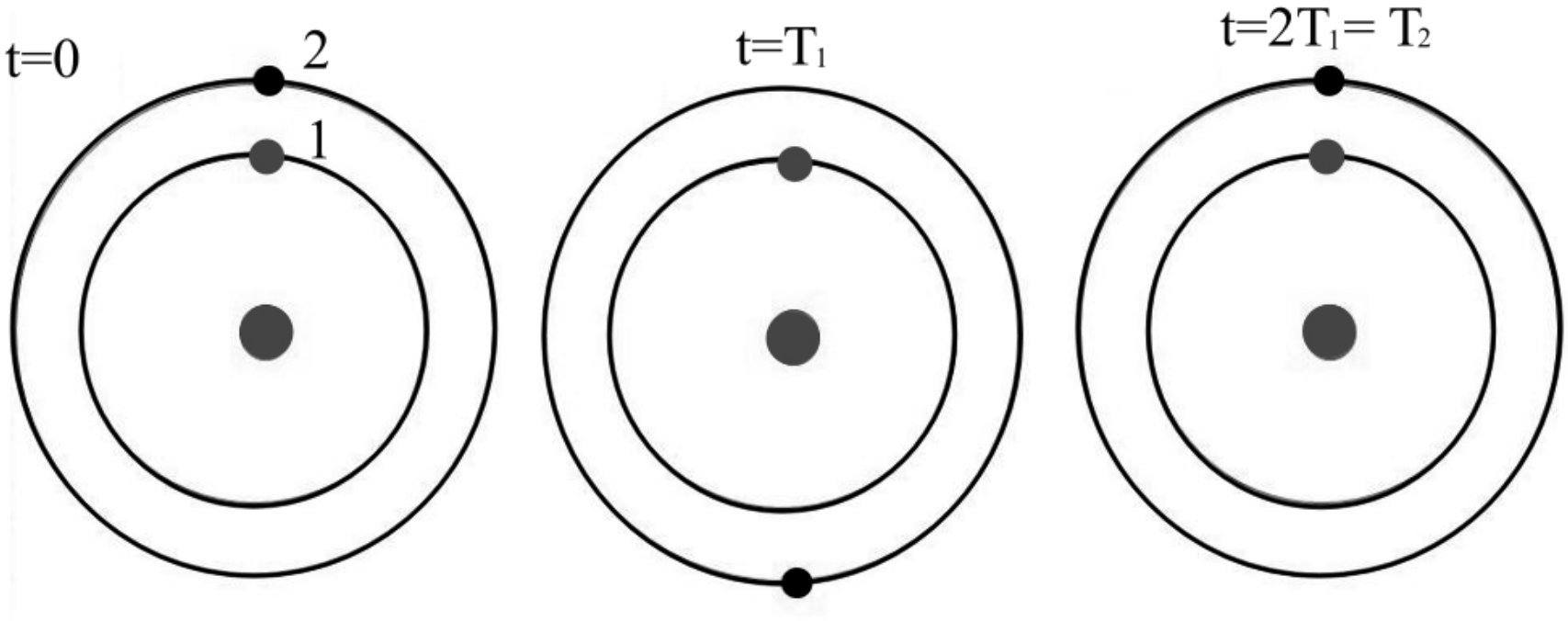
Le famiglie di asteroidi derivano dall'evoluzione collisionale



Le lacune di Kirkwood sono una conseguenza delle risonanze di moto medio con Giove

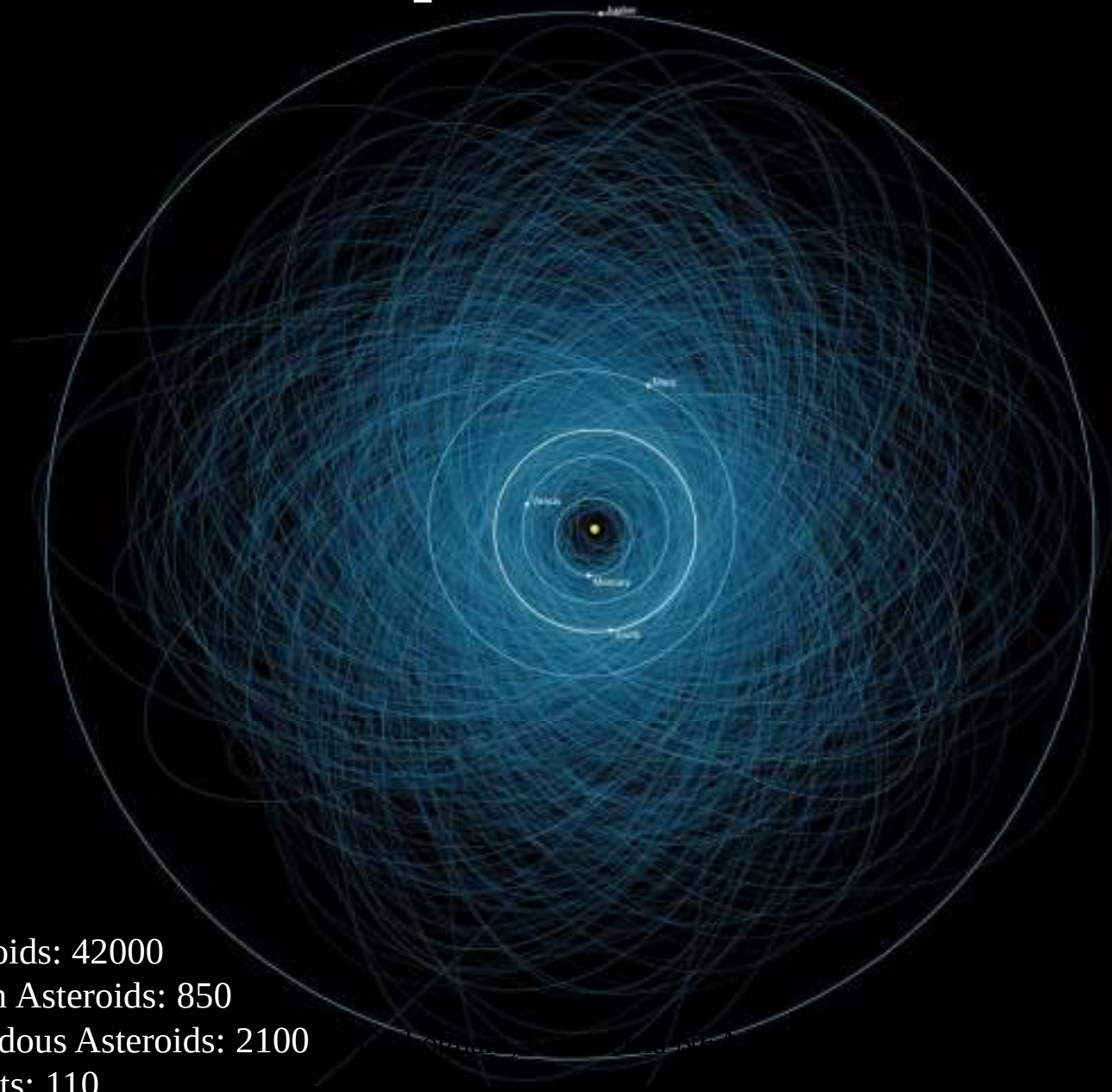


Come funziona una risonanza di moto medio orbitale



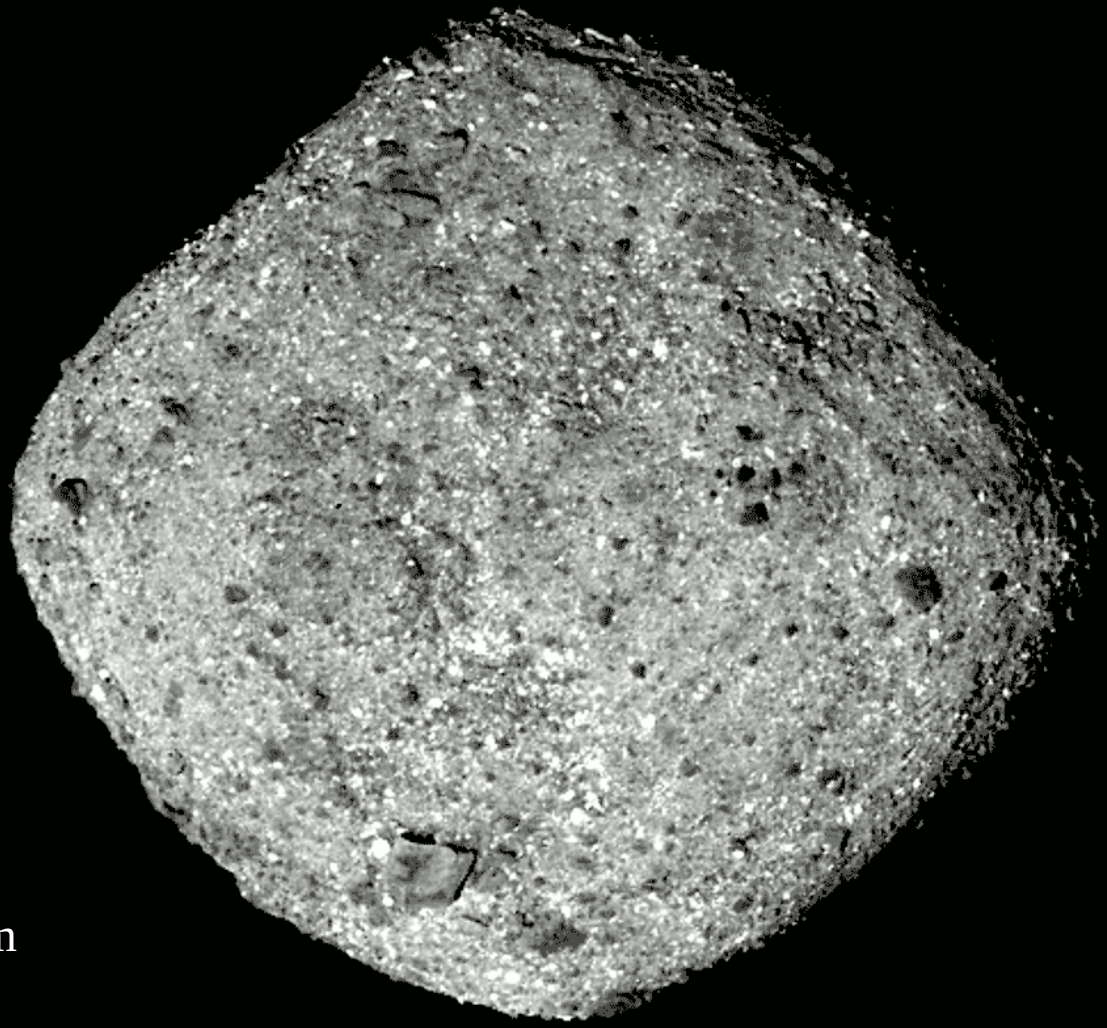
La gravità di Giove, insieme alla luce del Sole, espelle gli asteroidi dalla main-belt e genera la popolazione degli asteroidi near-Earth.

Asteroidi «pericolosi»: i NEA



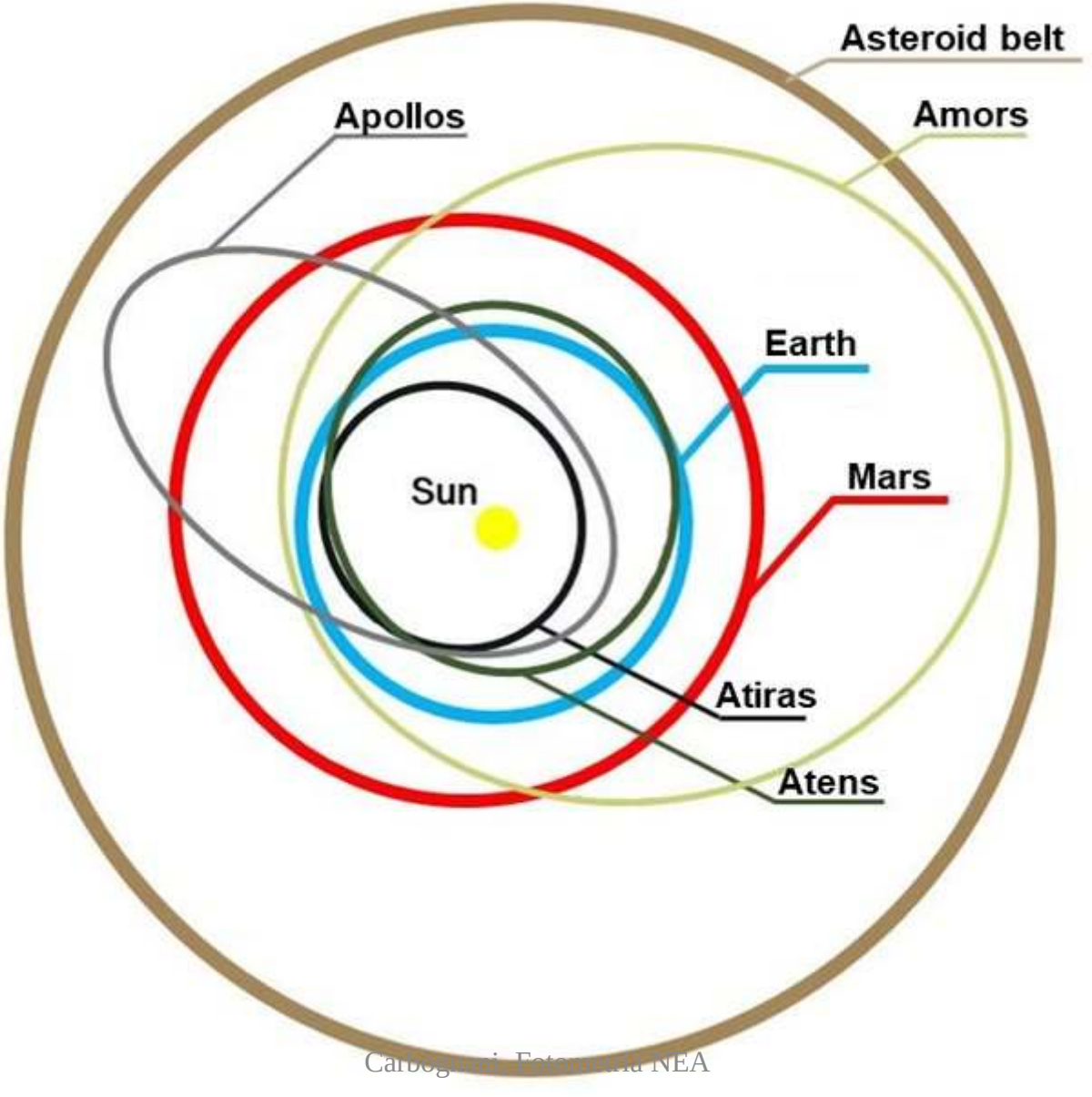
Near-Earth Asteroids: 42000
1+ km Near-Earth Asteroids: 850
Potentially Hazardous Asteroids: 2100
Near-Earth Comets: 110

L’asteroide (101955) Bennu

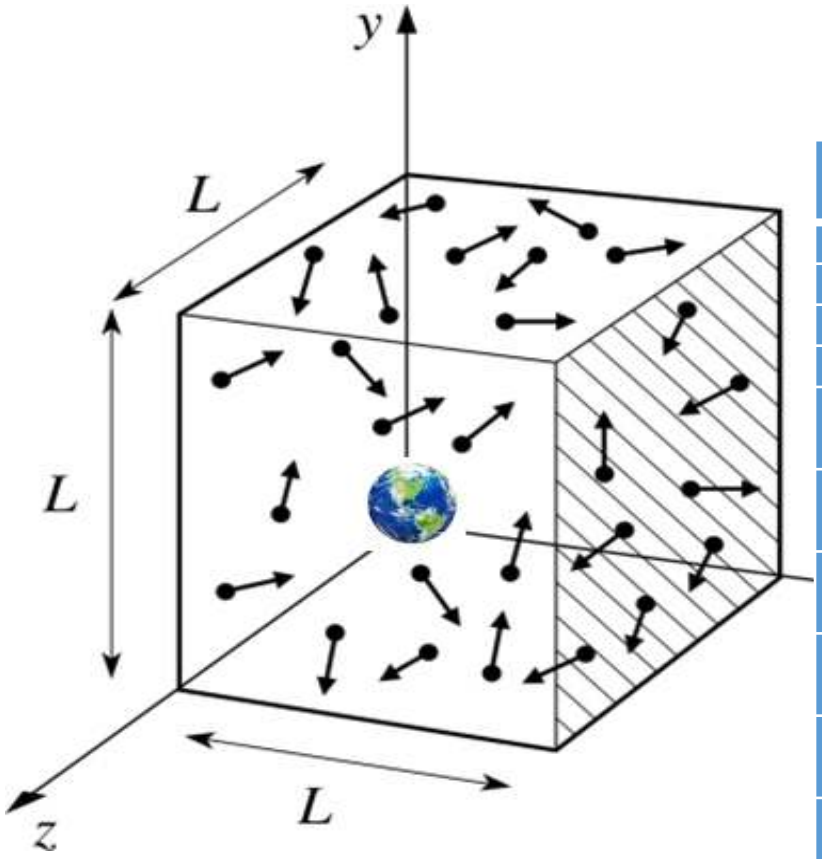


Diametro = 0,5 km
Periodo = 4,28 h
Struttura = rubble pile
OSIRIS-Rex (NASA)

Tipi di orbite per i near-Earth



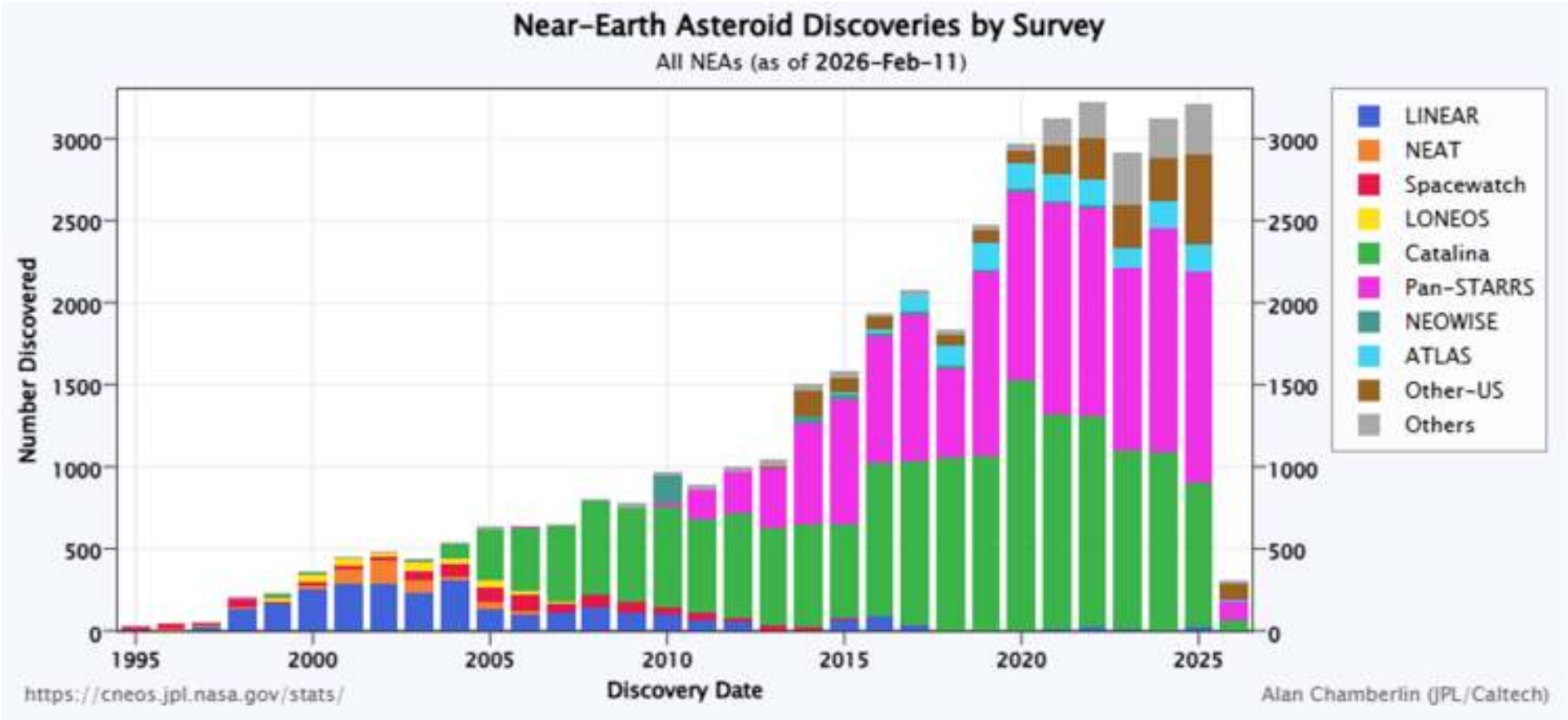
Frequenza di collisione fra asteroidi near-Earth e Terra



Diametro minimo	Evento	Intervallo medio di collisione (anni)	Effetto	Energia totale
10 m		10	Airburst	42 kt
20 m	Chelyabinsk	60	Airburst	340 kt
50 m	Tunguska	600	Airburst	5,3 Mt
100 m		3600	Cratere, 1,4 km	42 Mt
140 m		8000	Cratere 2,3 km	10^2 Mt
0,5 km		200.000	Cratere 7 km	$5 \cdot 10^3$ Mt
1 km		1.000.000	Cratere 13 km	$4 \cdot 10^4$ Mt
5 km		60.000.000	Cratere 56 km	$5 \cdot 10^6$ Mt
10 km	Estinzione dinosauri	360.000.000	Cratere 103 km	$4 \cdot 10^7$ Mt

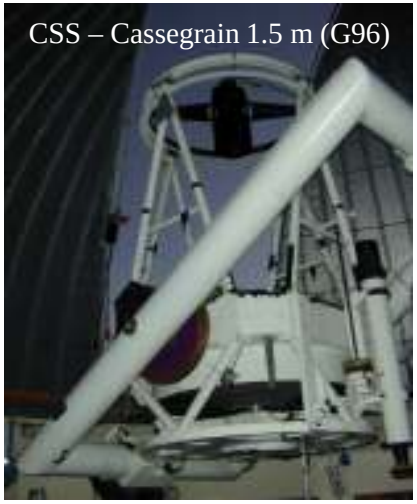
Regola aurea: più piccoli sono gli asteroidi, maggiore è il loro numero; di conseguenza, è molto più probabile la collisione con i piccoli asteroidi.

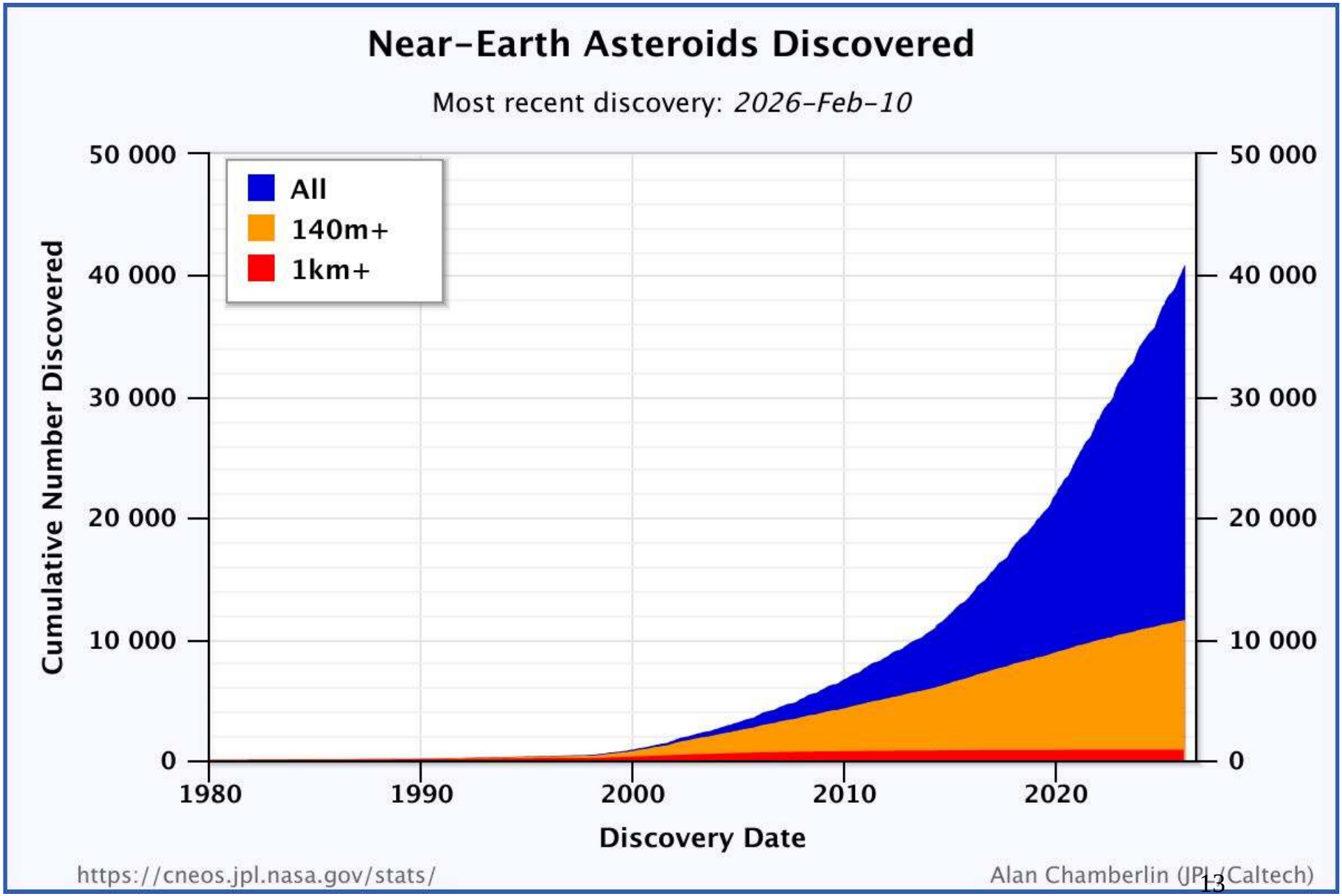
Tabella tratta da: «L'asteroide di Sodoma e Gomorra», in Riga Edizioni, 2023.

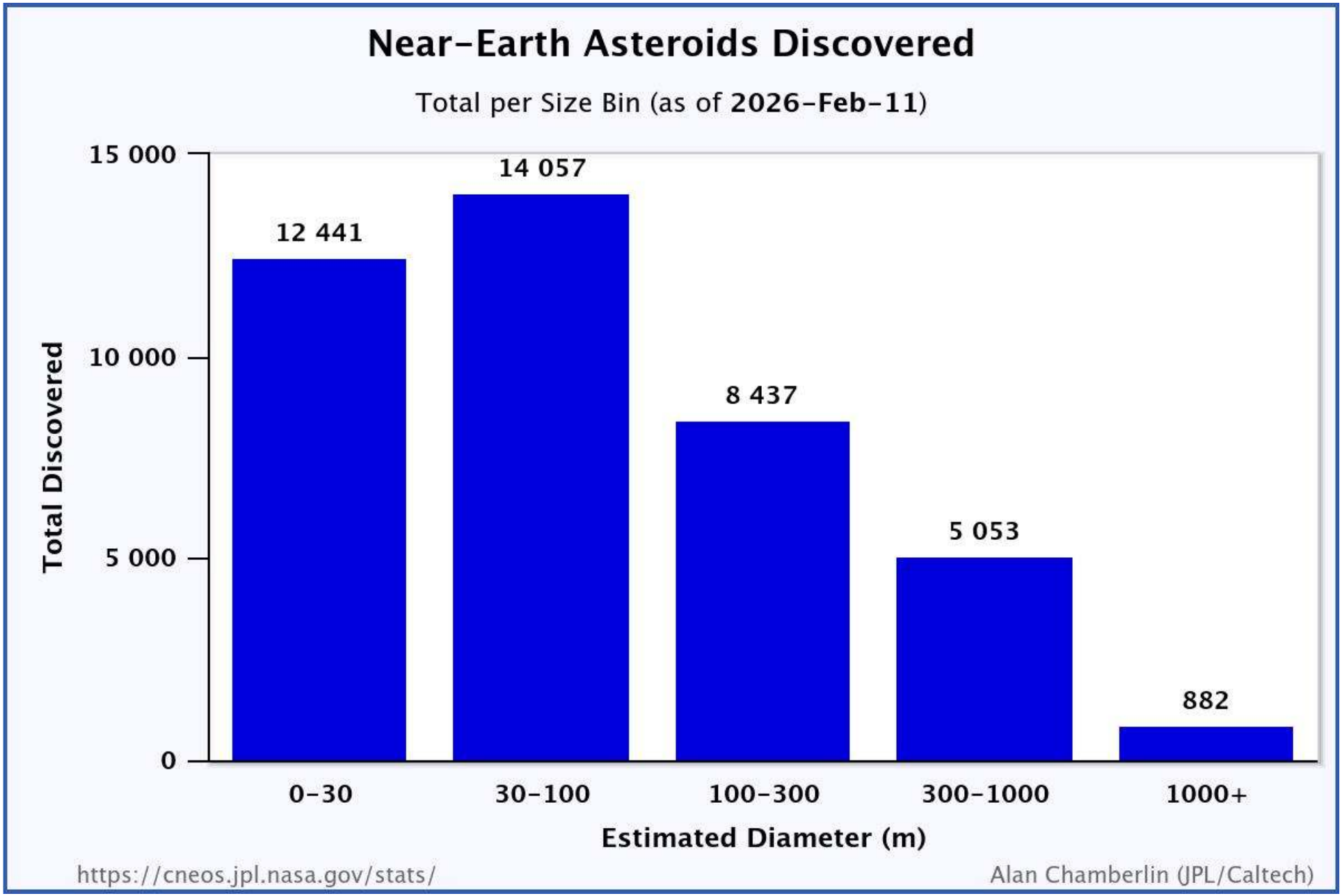

Near-Earth Asteroid Discoveries by Survey
All NEAs (as of 2026-Feb-11)
Number Discovered
Discovery Date
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
1995
2000
2005
2010
2015
2020
2025
LINEAR
NEAT
Spacewatch
LONEOS
Catalina
Pan-STARRS
NEOWISE
ATLAS
Other-US
Others
https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/
Alan Chamberlin (JPL/Caltech)


Pan-STARRS (F51)


CSS – Schmidt 68 cm (703)


CSS – Cassegrain 1.5 m (G96)


Near-Earth Asteroids Discovered
Most recent discovery: 2026-Feb-10
All
140m+
1km+
Cumulative Number Discovered
50 000
40 000
30 000
20 000
10 000
0
1980
1990
2000
2010
2020
Discovery Date
https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/
Alan Chamberlin (JPL/Caltech)

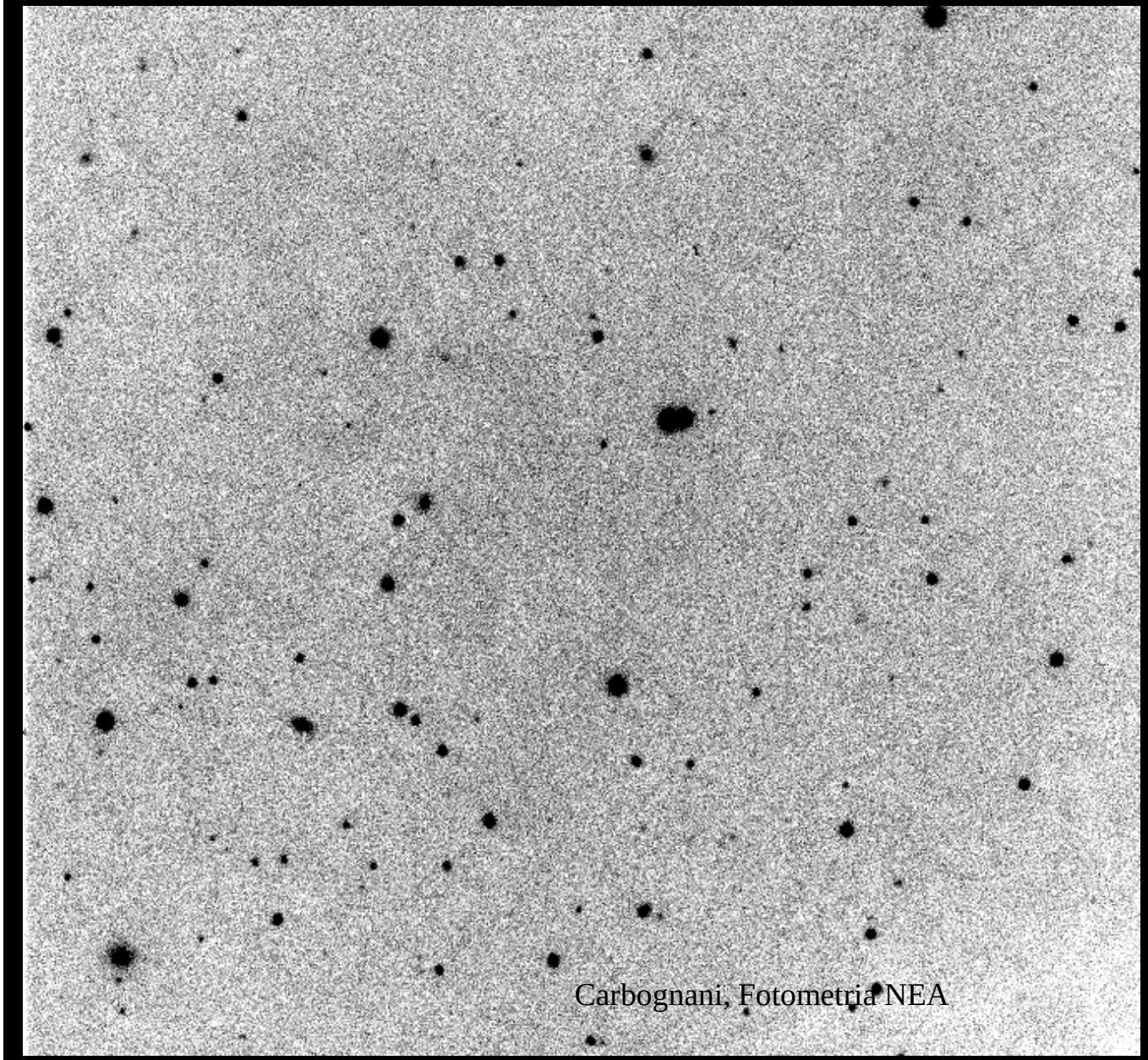

Near-Earth Asteroids Discovered
Total per Size Bin (as of 2026-Feb-11)
15 000
10 000
5 000
0
Total Discovered
12 441
14 057
8 437
5 053
882
0-30
30-100
100-300
300-1000
1000+
Estimated Diameter (m)
https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/
Alan Chamberlin (JPL/Caltech)

Chi coordina? Il Minor Planet Center



Il punto di arrivo delle misure di posizione astrometriche sui NEO è il Minor Planet Center (MPC), che si trova a Cambridge presso lo Smithsonian Astrophysical Observator (Massachusetts, USA), fondato nel 1947. Il MPC è responsabile per l'identificazione, la denominazione e il calcolo dell'orbita di asteroidi, comete e satelliti irregolari dei pianeti.

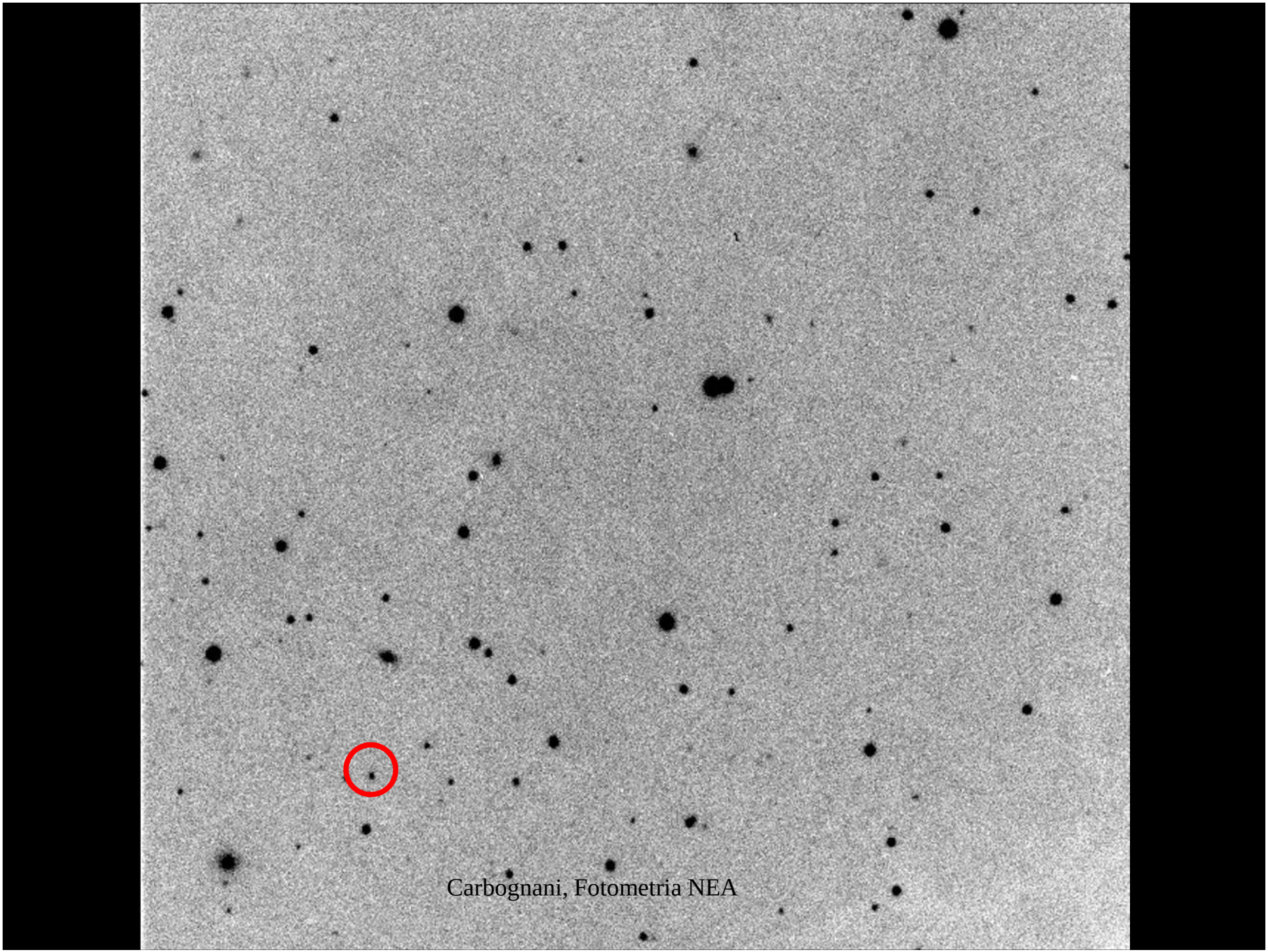
Dov’è l’asteroide?

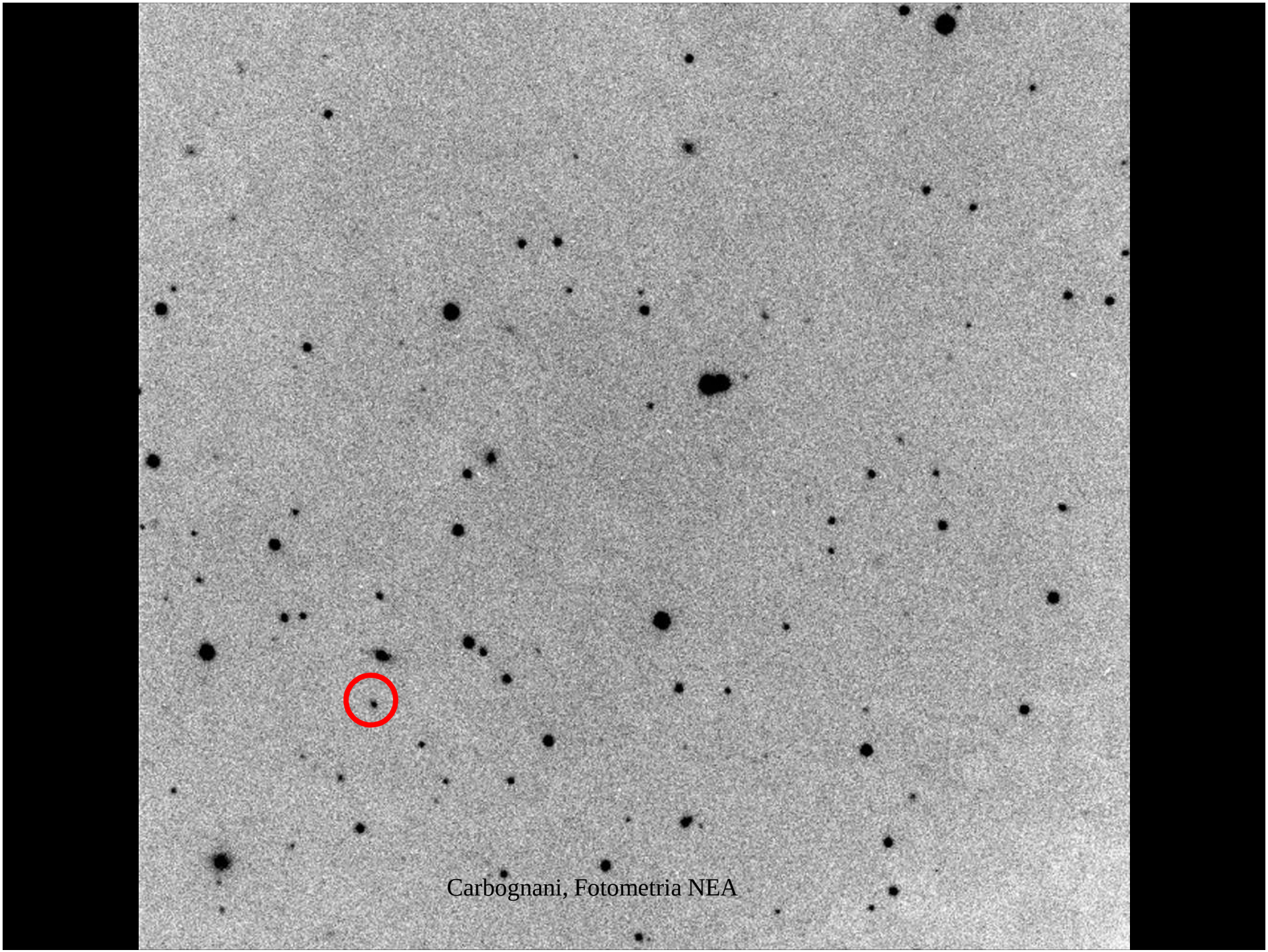


Carbognani, Fotometria NEA

NEA 2020 LK, scoperto l’11 giugno 2020 a 4,5 milioni di km dalla Terra. Diametro 75 m.

N.B. Gli asteroidi ripresi al telescopio sono di aspetto puntiforme, di fatto indistinguibili dalle stelle di campo.


Carbognani, Fotometria NEA


Carbognani, Fotometria NEA

La Catastrofe di Tunguska (30 giugno 1908)



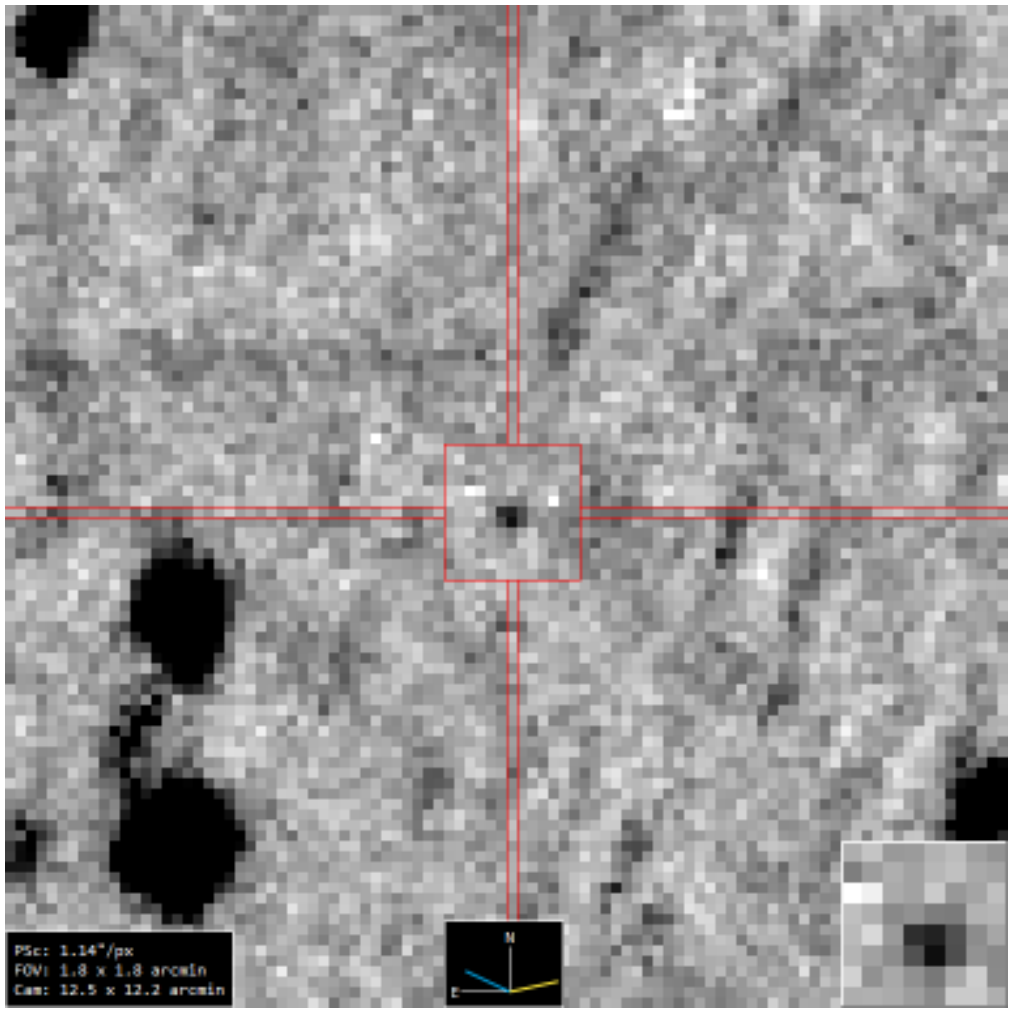
Tunguska, Siberia (Russia)
Data: 30 giugno 1908
Ore 7:14 locali (00:14 UT)
Esplosione di un corpo cosmico di 50-60 m di diametro a 8 km di quota
Inclinazione traiettoria: 35°
Boato udito fino a 1200 km di distanza
Area devastata: 2.150 kmq²
Energia cinetica rilasciata: 12,5 Mt
Bomba Hiroscima: 16 kt (rapporto=800)

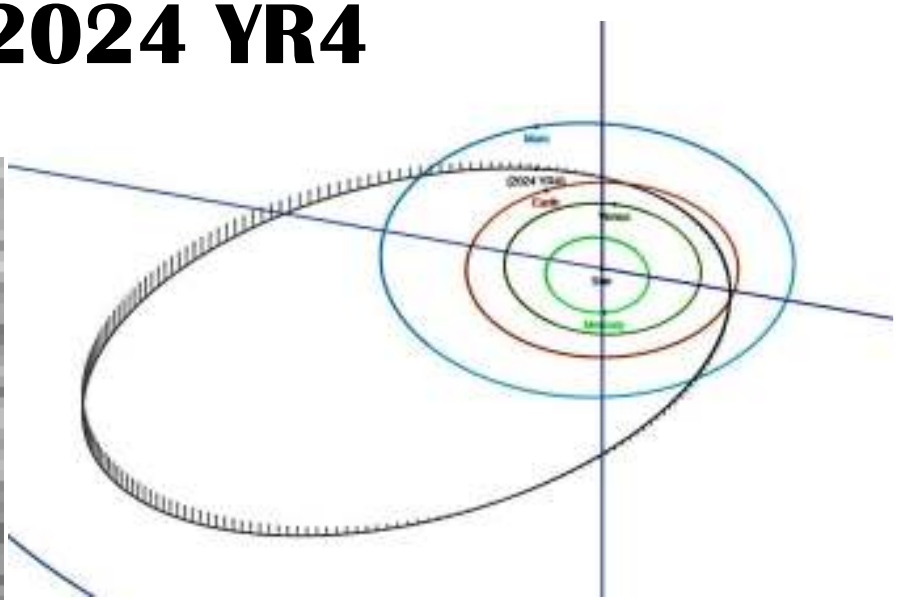
Chelyabinsk (2013)



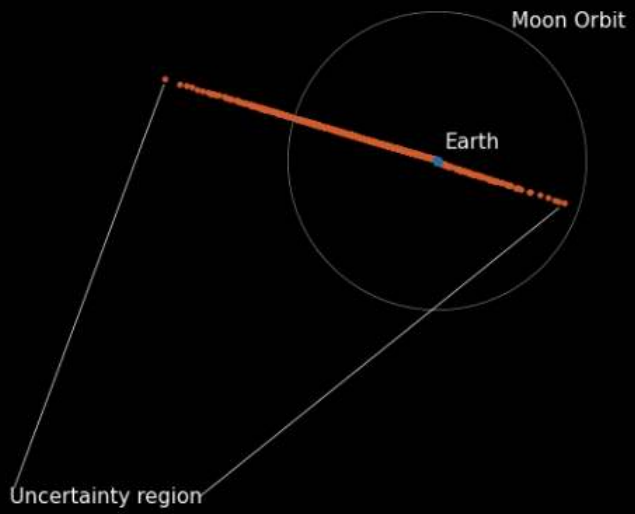
Caduta di un asteroide di circa 20 m di diametro presso la città russa di Chelyabinsk il 15 febbraio 2013. Velocità media di 19 km/s, esplosione a 30 km di quota con un rilascio di energia cinetica pari a 500 kt (rapporto=30).

L’asteroide 2024 YR4

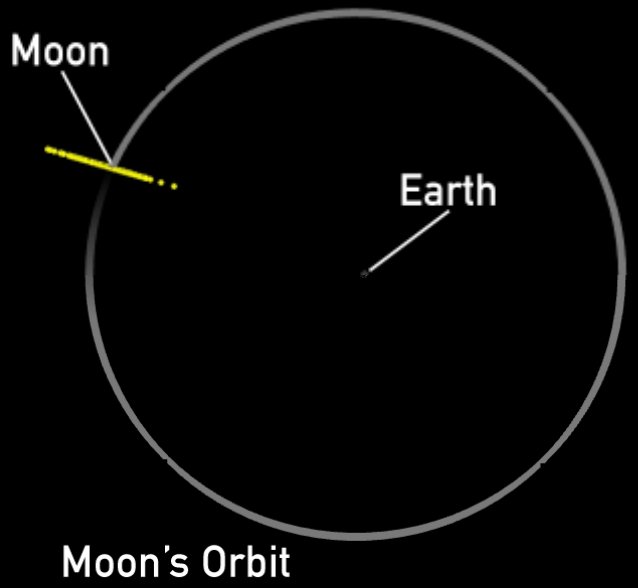




L’asteroide near-Earth **2024 YR4**, scoperto il 27 dicembre 2024 dal telescopio cileno del progetto ATLAS, è salito agli onori della cronaca perché il **18 febbraio 2025** ha raggiunto una **probabilità d’impatto con la Terra del 3%** per il **22 dicembre 2032**: la più alta mai registrata. Avendo un diametro di 60 metri avrebbe potuto provocare un’altra catastrofe di Tunguska.



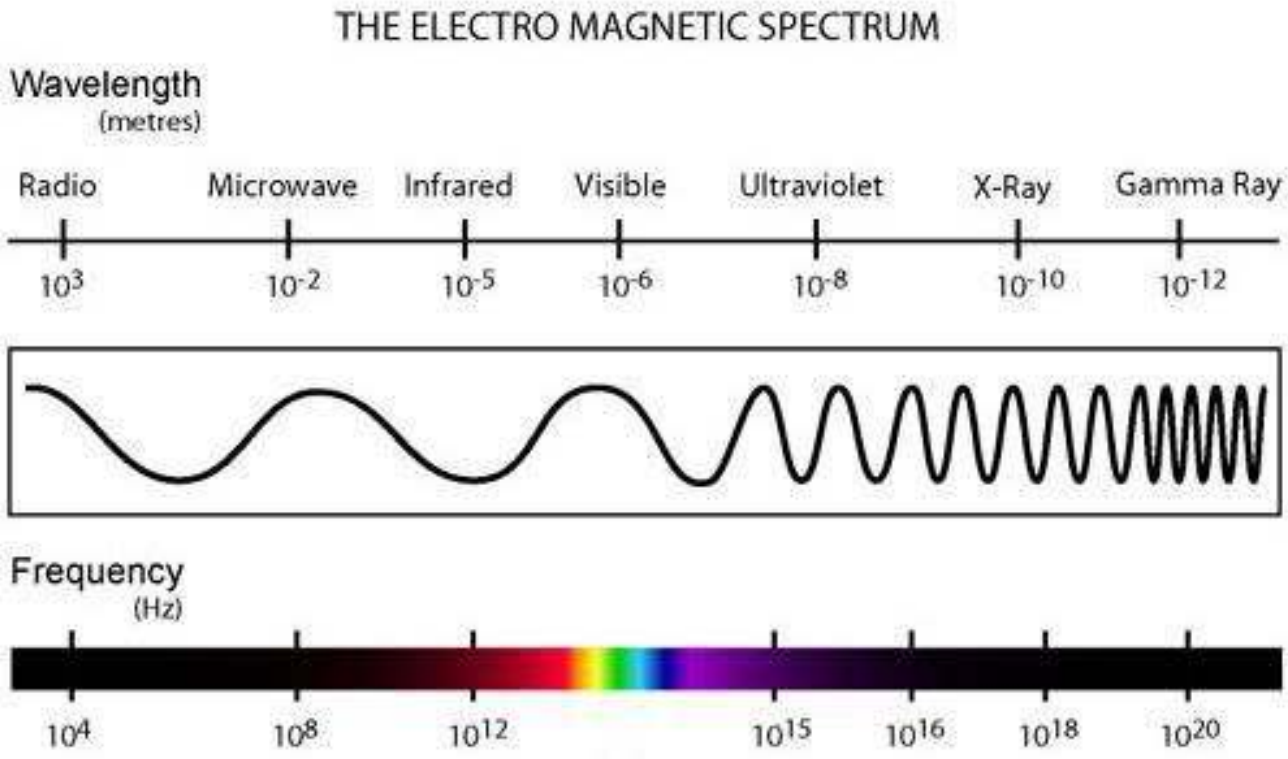
18 febbraio 2025



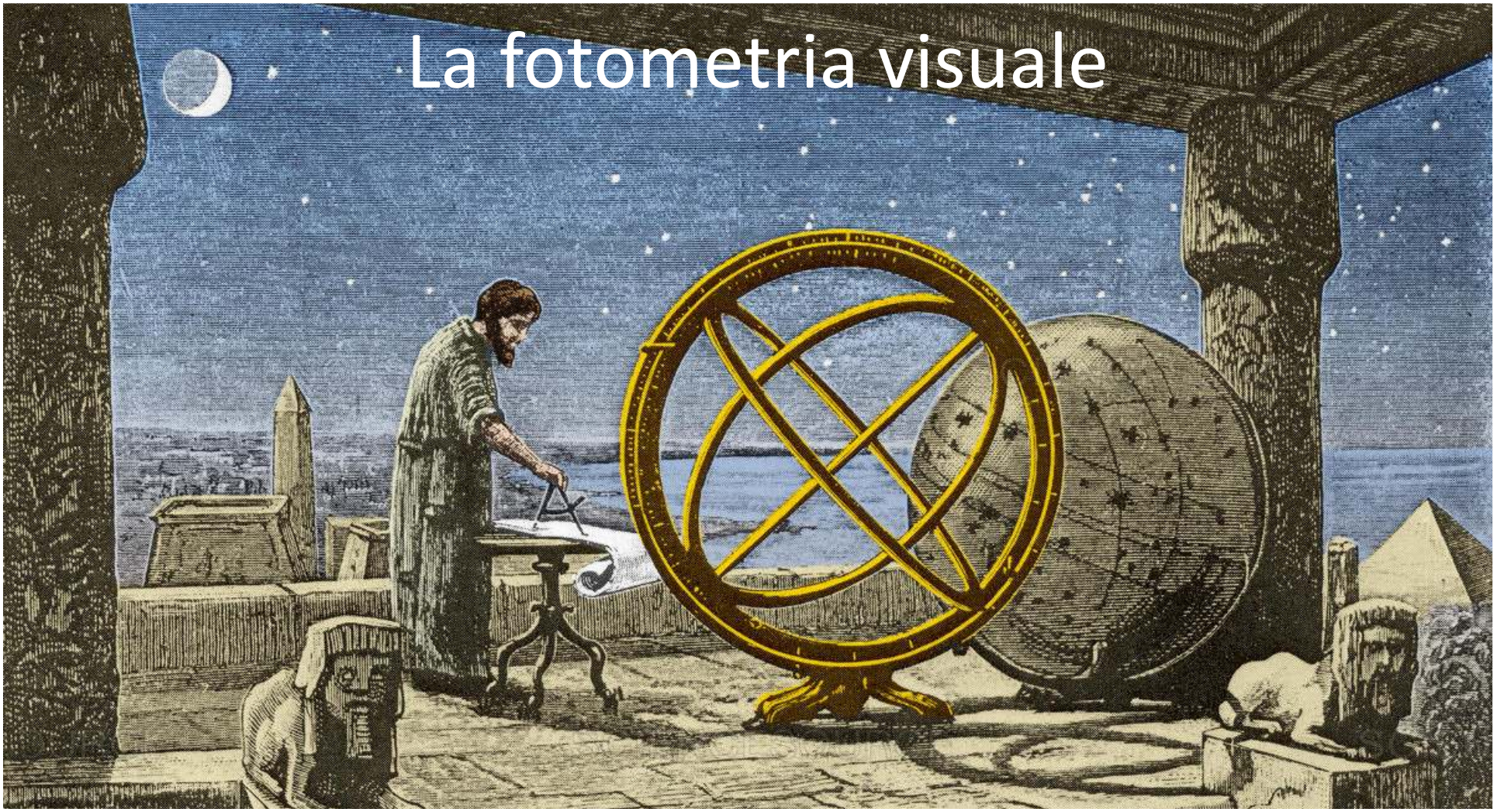
2 aprile 2025

La fotometria degli asteroidi

In astrofisica con il termine **fotometria** si indica lo studio della **radiazione ottica** emessa da un corpo celeste. Poiché i corpi celesti emettono radiazione elettromagnetica anche a lunghezze d'onda non visibili, il termine da usare in questo caso è **radiometria**.



La fotometria visuale



Una rozza fotometria visuale fu introdotta per la prima volta dall'astronomo greco **Ipparco di Nicea** (190-120 a.C. circa). Ipparco compilò un catalogo stellare di **1080** stelle esprimendone la luminosità in magnitudini (Nicea è l'attuale città turca di Iznik). *Nella scala di Ipparco le stelle di prima magnitudine erano quelle più brillanti come Vega, Capella, Arturo, mentre quelle appena visibili ad occhio nudo erano di sesta magnitudine.*

La formula di Pogson

Nel 1856 l'astronomo inglese Robert Pogson (1829-1891), espresse in modo quantitativo la scala delle magnitudini (sensazione), legandole al flusso luminoso *f* ricevuto al suolo (stimolo):

$$m = C - 2{,}5 Log_{10}(f)$$

Qui *C* è una costante che segna il "punto zero" della scala, mentre *f* è il flusso luminoso ricevuto dalla stella, misurato in Watt/m^2. La relazione precedente si può calibrare assegnando un valore di *m* a una stella assunta come riferimento e misurandone il flusso, come ad esempio Vega che è, quasi per definizione, di magnitudine 0.

$$m_1 - m_2 = -2{,}5 Log\left(\frac{f_1}{f_2}\right)$$

Con la definizione di Pogson, 2 stelle che differiscono di 5 magnitudini hanno un rapporto fra i flussi esattamente pari a 100.

Perché Pogson usò proprio il logaritmo?

Flamsteed e Celsius all'inizio del 1700 si erano accorti che la differenza di magnitudine di due stelle era la stessa **indipendentemente** dall'apertura del telescopio usato.

Quindi se *m=F(f)*, dove F è la funzione incognita che lega la magnitudine al flusso luminoso, si può scrivere:

$$F(f_1) - F(f_2) = F(kf_1) - F(kf_2)$$

Ma questa è proprio una proprietà della funzione logaritmica:

$$log\left(\frac{A}{B}\right) = log\left(\frac{kA}{kB}\right) = log(A) - log(B) = log(kA) - log(kB)$$

Quindi la funzione più generale che possiamo scrivere fra *m* e *f* è questa:

$$m = C + Klog(f)$$

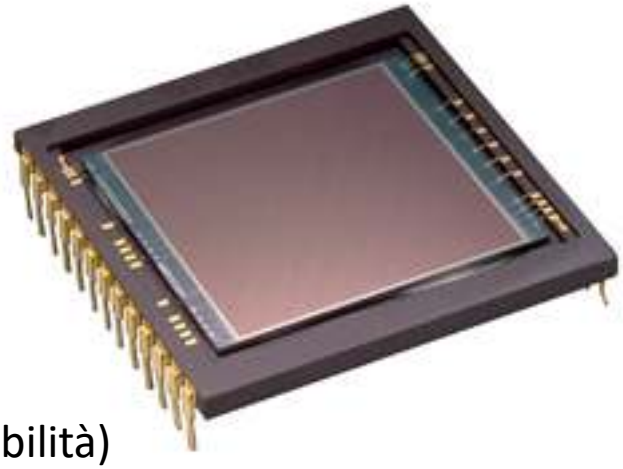
Tratto da: J. B. Hearnshaw, *The Measurement of Starlight: Two Centuries of Astronomical Photometry*, Cambridge University Press, 1996.

Lo strumento di misura: la camera CCD



Caratteristiche di una camera CCD:

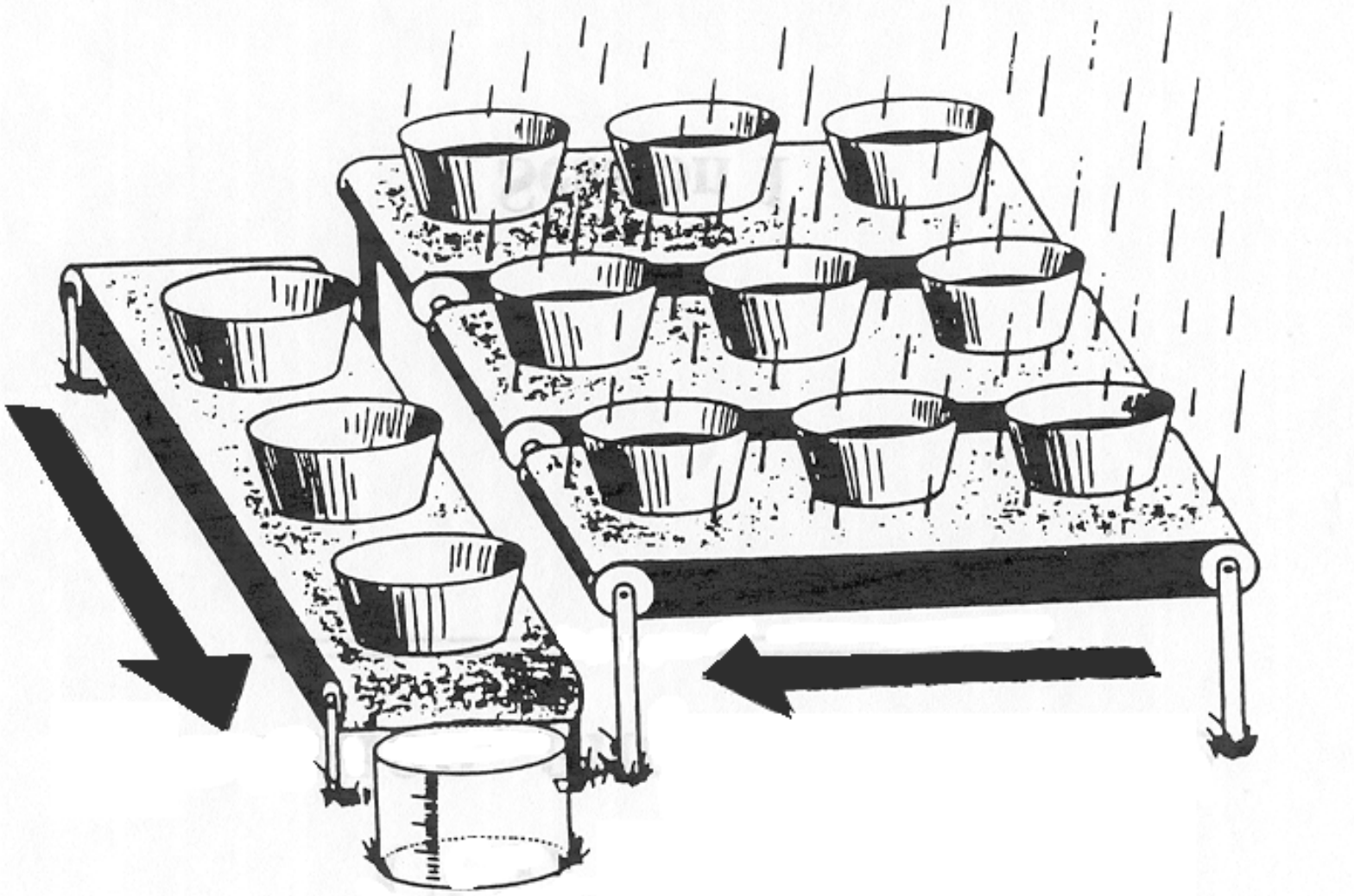
1. Linearità
2. Buona dinamica (16 bit, ossia 65536 livelli di grigio)
3. Ottima efficienza quantica di picco (80-90%)
4. Risoluzione spaziale uniforme



Caratteristiche auspicabili per un CCD «fotometrico»:

1. Monocromatico (per massimizzare la sensibilità)
2. Controllo elettronico della temperatura (per una migliore stabilità)
3. No sistema antiblooming (riduce sensibilità del sensore)
4. Campo di vista di almeno 10 × 10 primi d'arco (per avere un buon numero di stelle di confronto)

Principio di funzionamento di un CCD



La magnitudine strumentale

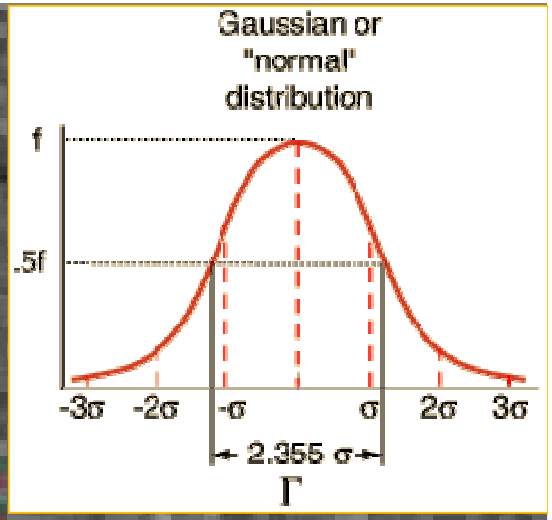
La misura della **magnitudine strumentale** di un corpo celeste si può ottenere riprendendo un'immagine CCD dell'oggetto.
Il CCD è un dispositivo a risposta lineare quindi l'intensità *I* di una stella (ottenuta sommando l'intensità di tutti i pixel che compongono l'immagine della stella), espressa in elettroni estratti (ADU*Gain), è direttamente proporzionale al flusso luminoso ricevuto. Al segnale *S* va tolto il valore del fondo cielo che indichiamo con *b*:

$$I = S - b$$

$$m_{str} = -2{,}5 log\left(\frac{I}{\Delta t}\right)$$

Qui Δt è il tempo di posa dell'immagine. In questo modo è possibile confrontare le magnitudini strumentali acquisite a tempi diversi.

La fotometria d'apertura



Anello di misura del fondo cielo

Anello di misura del segnale.
Diametro= 3*FWHM=7,1*sigma

Zona morta

Come determinare il periodo di rotazione di un asteroide con la fotometria d'apertura fitta

La fotometria differenziale

La fotometria differenziale consiste nel misurare la **differenza di magnitudine** fra il target e due o più **stelle di confronto**.

Rispetto alla fotometria all-sky non richiede **condizioni di trasparenza costanti del cielo** e fornisce una buona accuratezza quando si tratta di misurare piccole variazioni di magnitudine (< 0,1 mag), perché la luce sia del target sia dei confronti attraversano la **stessa airmass** e, se hanno **colore simile**, subiscono gli **stessi effetti di estinzione atmosferica** (Sole: B-V=0,66; V-R=0,53).

Altro grande vantaggio è che, nelle condizioni di cui sopra, **si può lavorare sulle differenze delle magnitudini strumentali** perché saranno uguali alle differenze delle magnitudini vere.

$$\Delta M = (m_{target} - m_{comp}) + K(CI_{target} - CI_{comp})$$

NOTA: nel caso degli asteroidi il set di stelle di confronto cambia da una sera all'altra

Il SNR (rapporto segnale rumore)

Per un qualsiasi pixel il valore I letto al termine dell'esposizione è:

$$I = Signal + Sky\ Background + Thermal + Readout$$

L'intensità del pixel è una somma di eventi (fotoni in arrivo, elettroni estratti e letti) che capitano a caso ma con una media temporale definita, quindi ubbidiscono alla **distribuzione di Poisson**, la cui incertezza è data dalla radice quadrata del numero di eventi, quindi:

$$\sigma = \sqrt{\sigma s^2 + \sigma B^2 + \sigma T^2 + \sigma R^2} = \sqrt{S + B + T + \sigma R^2}$$

Per definizione il **rapporto segnale rumore** è dato da:

$$SNR = \frac{S}{\sigma} = \frac{S}{\sqrt{S + B + T + \sigma R^2}}$$

S, B e T crescono linearmente con il tempo di esposizione. Raddoppiando l'esposizione, S aumenta di un fattore 2 mentre le incertezze di un fattore $\sqrt{2}$, quindi **il SNR aumenta di un fattore $\sqrt{2}$.**

Il SNR e l'incertezza sulla magnitudine

SNR	Incertezza	SNR	Incertezza
200	0,005	25	0,043
100	0,011	10	0,110
50	0,022	5	0,220

La tecnica osservativa

La **selezione del target** avviene in base alla **magnitudine apparente**, alla **velocità angolare**, al **range di airmass** e al **numero di ore** che un asteroide può essere osservato (più sono e meglio è):

1. **Gli asteroidi si spostano sulla sfera celeste, non sono target statici! Tempo di esposizione (minuti)=FWHM(arcsec)/velocità angolare (arcsec/minuto)**. Esposizioni tipiche: MBA ~ 240-180 s, NEA ~ 15-120 s.
2. **Target ad almeno 25° di altezza sull'orizzonte** (air mass=2,4)
3. **SNR ≥ 50**, quindi incertezza di 0,02 mag
4. Osservazione su **almeno 2 notti consecutive** per target con periodo sconosciuto.
5. File di **calibrazione** necessari:
   - **Master dark**: mediana di 20 dark frame alla stessa temperatura ed esposizione.
   - **Master Flat**: media di 20 flat frame singoli.

6. Analisi fotometrica dei file fits con il **software MPO Canopus** (V10): https://minplanobs.org/BdwPub/php/displayhome.php

Calcolo del tempo di posa per un asteroide

DOLORES (Device Optimized for the LOw RESolution) is a focal reducer instrument installed at the Nasmyth B focus of the TNG. The detector is a **2048 x 2048** back-illuminated CCD with a **pixel size of 13.5 µm**. The scale is **0.252 arcsec/px** which yields a field of view of about **8.6 x 8.6 arcmin**.

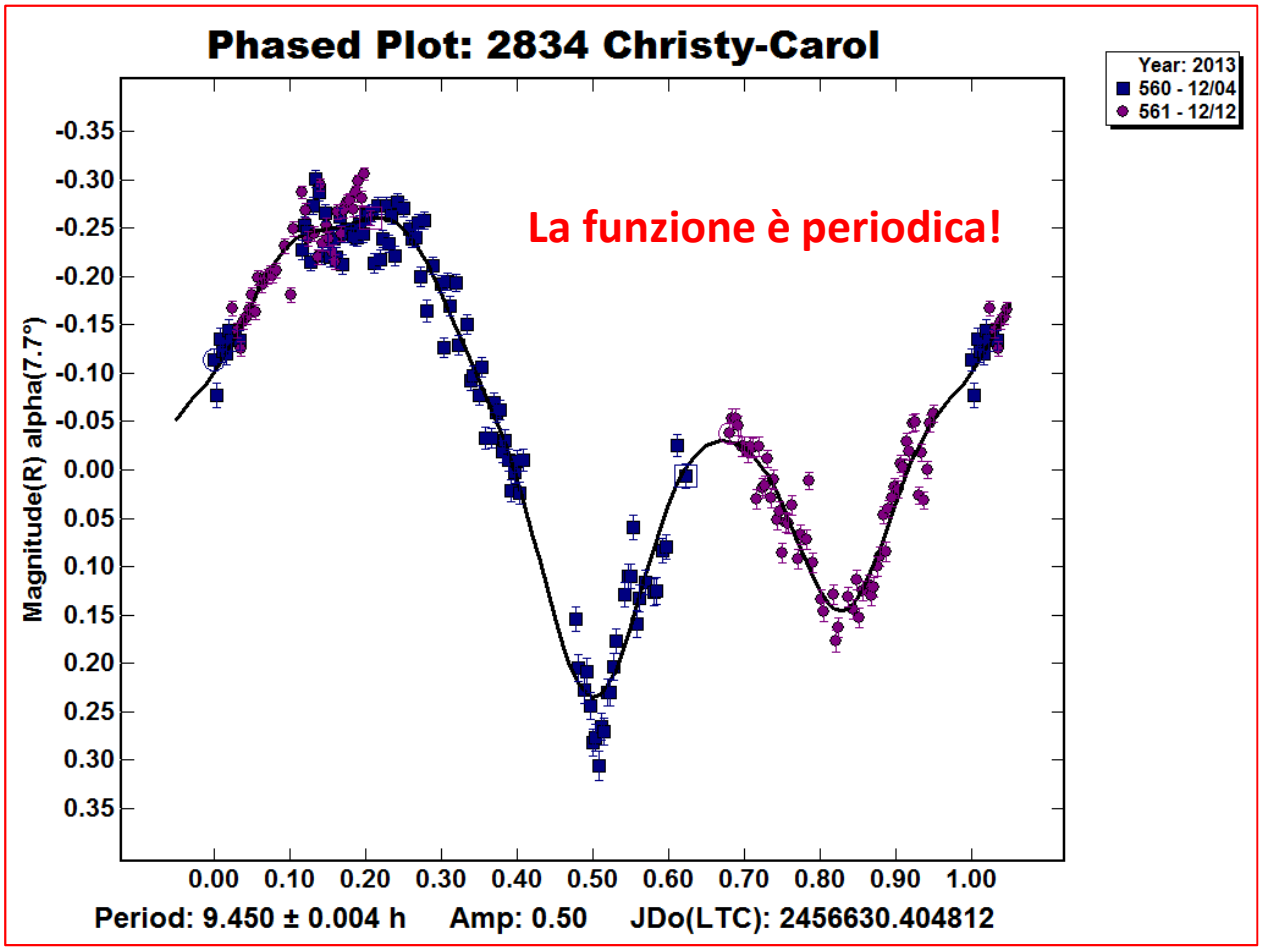
Dal sito web del **Minor Planet Center** si calcolano le effemeridi per l'asteroide che interessa inserendo come **Observatory code Z19** che è il codice IAU del TNG: https://minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html

Ogni asteroide ha un valore di **velocità angolare v in cielo** (colonna **Sky Motion**, espresso in arcsec/minuto)

Il tempo di posa massimo, **in secondi**, per contenere l'immagine dell'asteroide entro un paio di pixel sul sensore sarà:

$$t = \frac{d}{v} = 60 \cdot \frac{0.505}{v}$$

Il risultato: la curva di luce

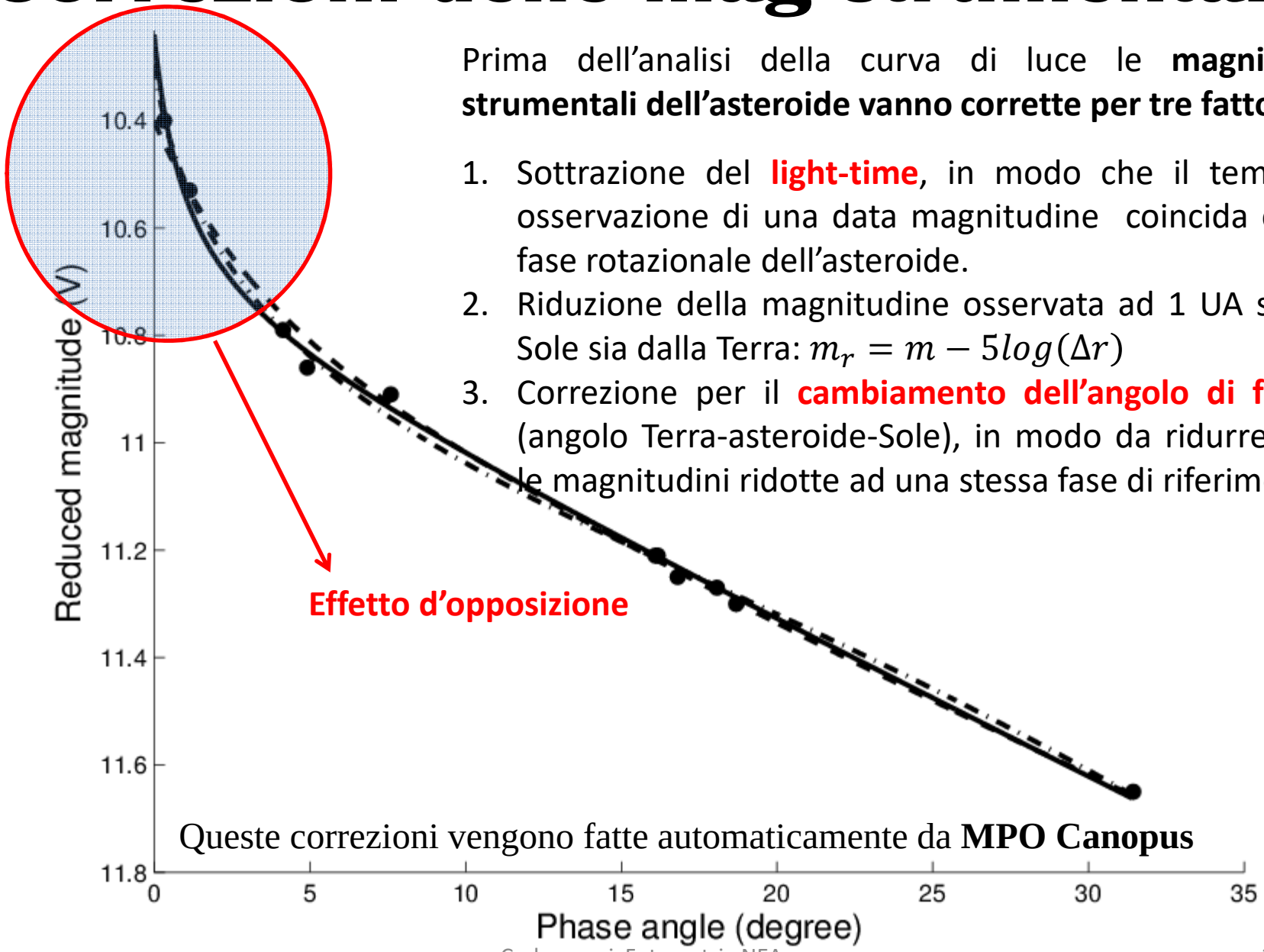


La tipica curva di luce di un asteroide è **bimodale**, cioè presenta **due massimi** e **due minimi**, come ci si aspetta da un generico corpo irregolare di forma allungata. **Ma non sempre è così.**



Come si ottiene una curva di luce?

Correzioni delle mag strumentali



Prima dell'analisi della curva di luce le **magnitudini strumentali dell'asteroide vanno corrette per tre fattori**:

1. Sottrazione del **light-time**, in modo che il tempo di osservazione di una data magnitudine coincida con la fase rotazionale dell'asteroide.
2. Riduzione della magnitudine osservata ad 1 UA sia dal Sole sia dalla Terra: $m_r = m - 5log(\Delta r)$
3. Correzione per il **cambiamento dell'angolo di fase α** (angolo Terra-asteroide-Sole), in modo da ridurre tutte le magnitudini ridotte ad una stessa fase di riferimento.

Queste correzioni vengono fatte automaticamente da **MPO Canopus**

I dati pronti per l'analisi...matematica

Condensed Observation Data for Session: 61

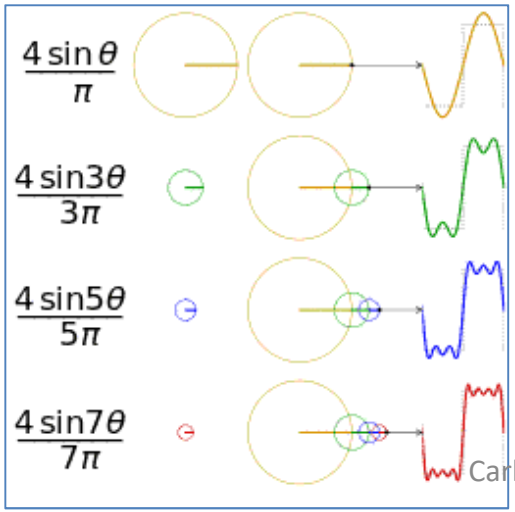
U	J.D.	Obj-CAvg	Err
Y	2454511.42032	-0.069	0.003
Y	2454511.42120	-0.070	0.004
Y	2454511.42208	-0.053	0.003
Y	2454511.42296	-0.071	0.003
Y	2454511.42384	-0.068	0.003
Y	2454511.42472	-0.070	0.003
Y	2454511.42560	-0.070	0.004
Y	2454511.42648	-0.087	0.004
Y	2454511.42736	-0.077	0.004
Y	2454511.42824	-0.089	0.004
Y	2454511.42912	-0.088	0.004
Y	2454511.43000	-0.089	0.004
Y	2454511.43088	-0.084	0.004
Y	2454511.43176	-0.097	0.004
Y	2454511.43264	-0.086	0.004
Y	2454511.43352	-0.079	0.004
Y	2454511.43440	-0.080	0.004
Y	2454511.43528	-0.073	0.004
Y	2454511.43616	-0.073	0.004
Y	2454511.43704	-0.073	0.004
Y	2454511.43792	-0.071	0.004

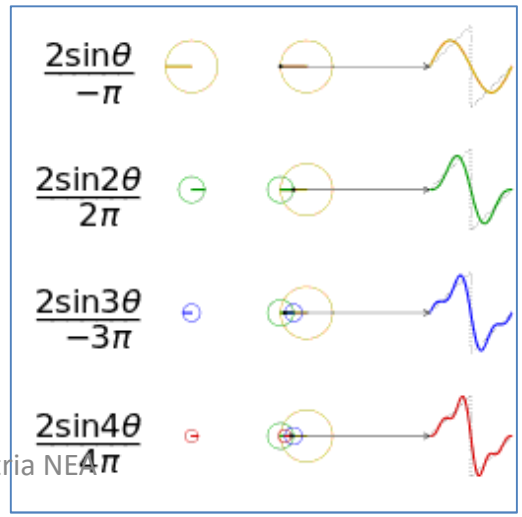
La serie di Fourier

La serie di Fourier fornisce una rappresentazione di una qualsiasi funzione **periodica** di periodo ***P***, *f(x)=f(x+P),* mediante una combinazione lineare di funzioni sinusoidali. **Teorema di Fourier (1822)**: **qualsiasi funzione periodica può essere rappresentata tramite la serie di Fourier**:

$$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{P} + b_n \sin \frac{n\pi x}{P} \right)$$

Le funzioni sinusoidali sono dette **armoniche** e l'insieme delle armoniche è detto **spettro**. Quella con **n=1** si chiama **armonica fondamentale**. I numeri a_n e b_n sono noti come **coefficienti di Fourier**. La *f(x)* avrà lo stesso periodo della armonica fondamentale ma non sarà sinusoidale.





Il periodo di rotazione con il metodo di Harris (1989)

I dati fotometrici con le magnitudini ridotte **di ogni sessione** vengono fittate con una **serie di Fourier di grado *m* finito** (Harris et al., Icarus 77, 1989):

$$H(\alpha,t) = \bar{H}(\alpha) + \sum_{n=1}^{m}\left(a_n \cos\frac{2\pi n}{P}(t-t_0) + b_n \sin\frac{2\pi n}{P}(t-t_0)\right)$$

La soluzione fornisce, per ogni singola curva di luce ottenuta, la magnitudine media ridotta della sessione all'angolo di fase α, un insieme di coefficienti di Fourier, il periodo di rotazione e una stima delle incertezze per tutte queste quantità. Da questi valori si può ottenere una curva di luce composita con un unico periodo P.
Il residuo O-C (osservato-calcolato) della i-esima osservazione $V_i(\alpha)$ è dato da:

$$\frac{\delta_i}{\varepsilon_i} = \frac{V_i(\alpha) - H(\alpha,t_i)}{\varepsilon_i}$$

Qui ε_i è l'errore in magnitudini della i-esima osservazione.

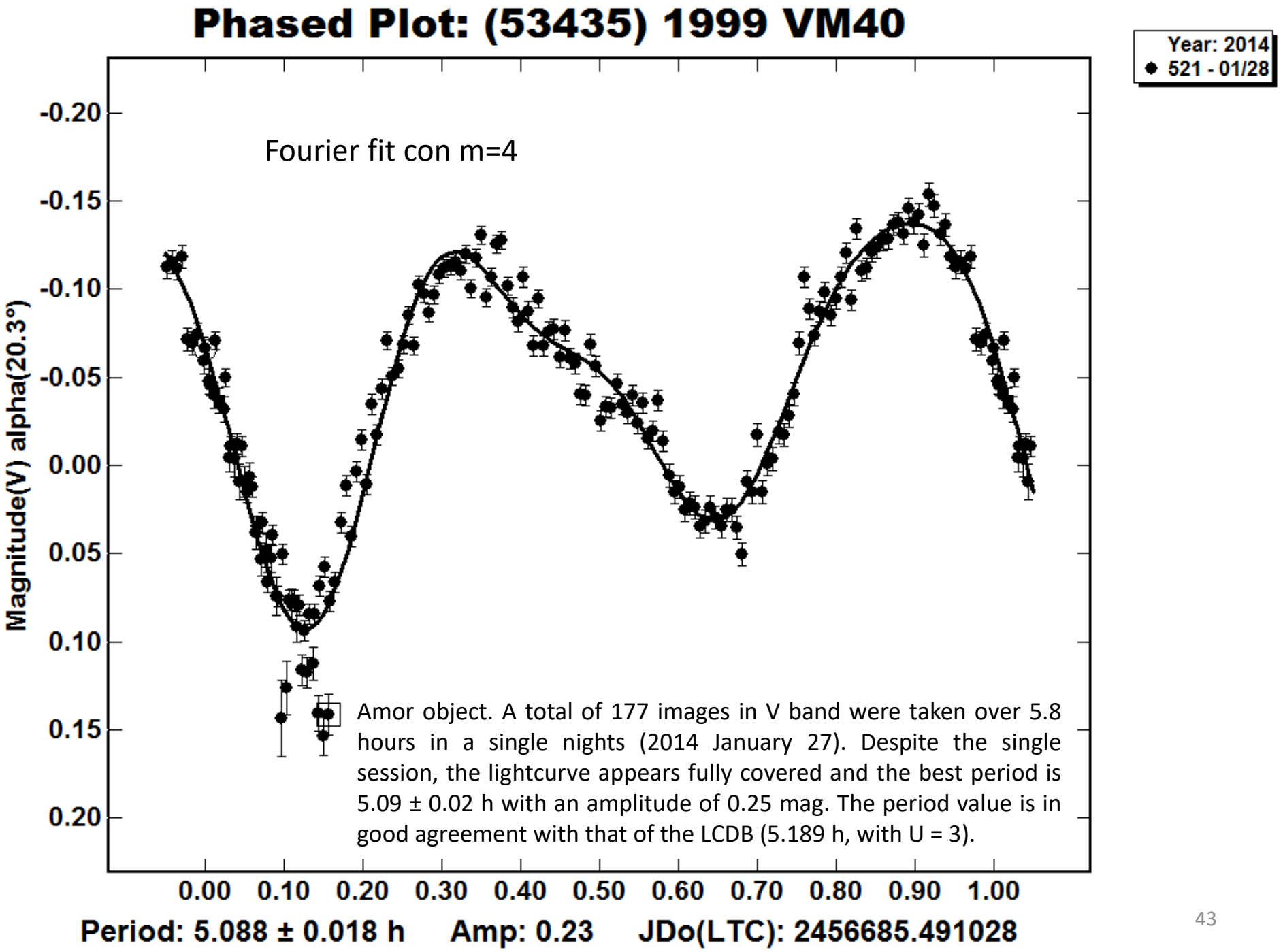
Lo spettro dei periodi

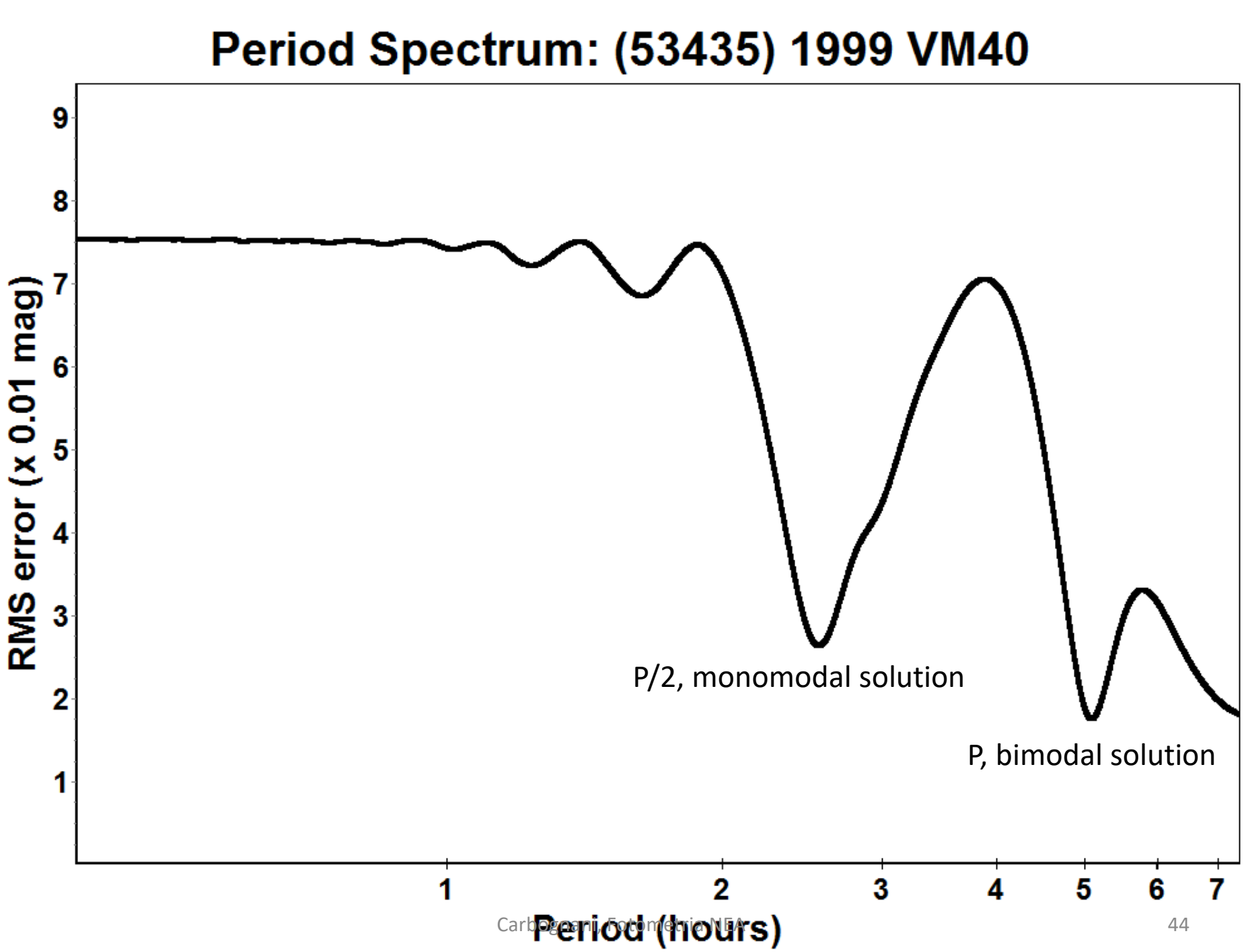
Per trovare il periodo P che meglio fitta tutte le sessioni osservative si fa una **scansione di possibili periodi**, con piccoli incrementi all'interno di range ragionevoli, e grado della serie di Fourier, **minimizzando** la seguente varianza:

$$s^2 = \frac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\delta_i}{\varepsilon_i}\right)^2$$

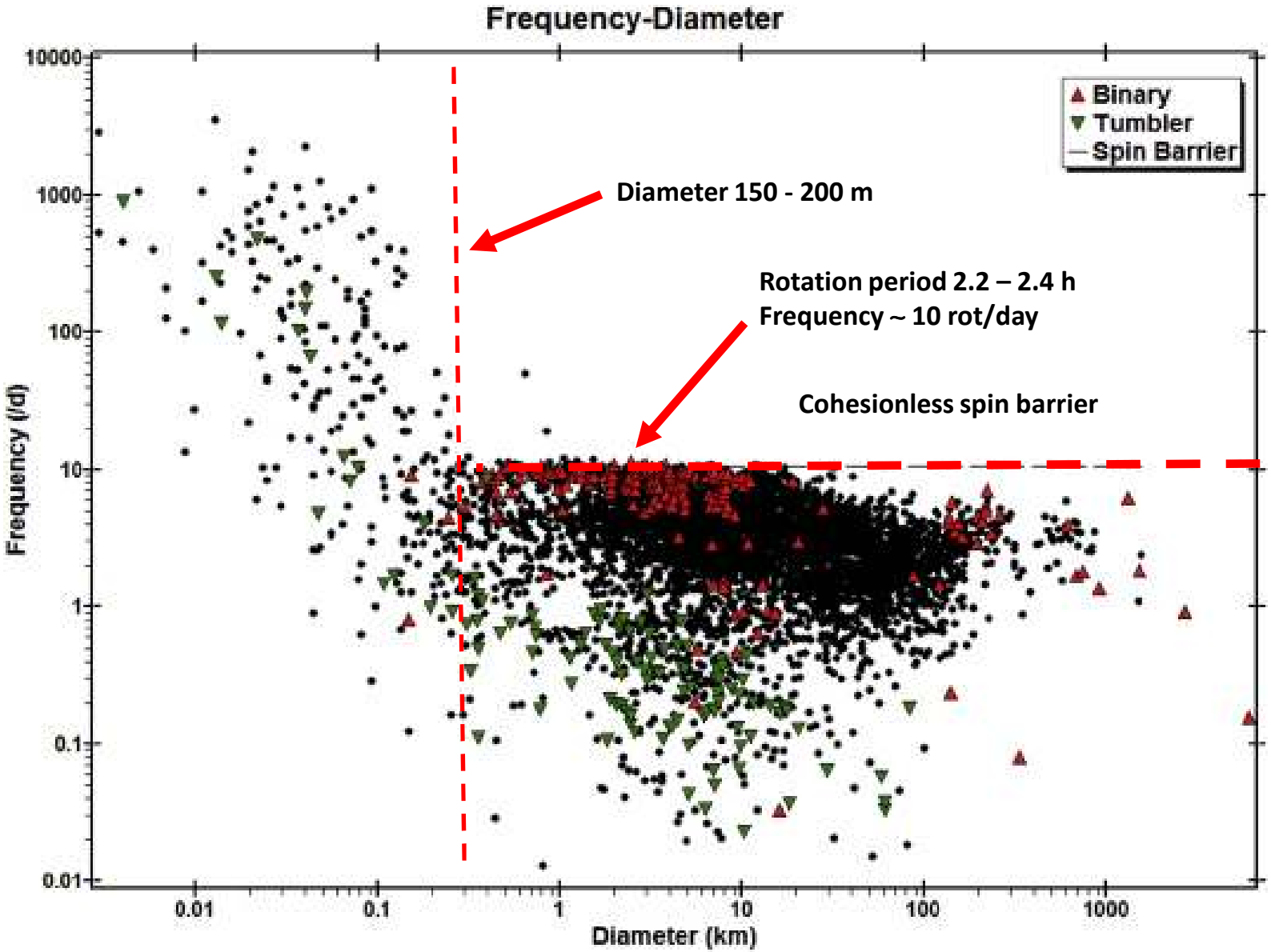
Dove *n* è il numero di osservazioni mentre *k=2m+p+1* è il numero totale di **parametri liberi della soluzione**: *m* è il grado della serie di Fourier, *p* il numero di giorni di osservazione e «+1» è il periodo di rotazione P. Quindi **n-k** è il **numero di gradi di libertà** del sistema.

Minimizzare il valore di s^2 non garantisce l'unicità della soluzione per P, specie se la curva di luce è simmetrica, cioè massimi e minimi sono uguali o i dati incompleti.

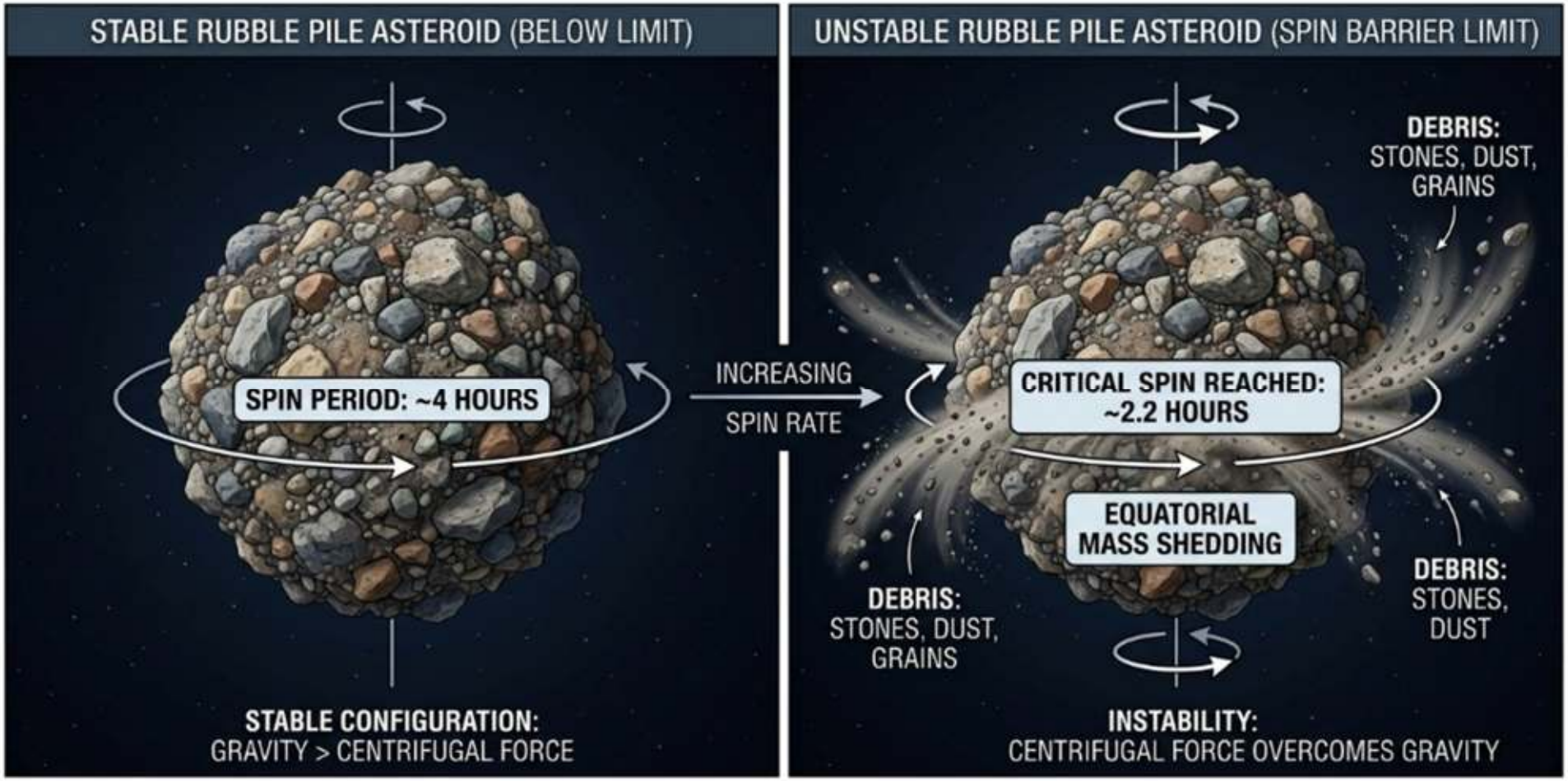

Phased Plot: (53435) 1999 VM40
Year: 2014
521 - 01/28
Fourier fit con m=4
Magnitude(V) alpha(20.3°)
-0.20
-0.15
-0.10
-0.05
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00
Amor object. A total of 177 images in V band were taken over 5.8 hours in a single nights (2014 January 27). Despite the single session, the lightcurve appears fully covered and the best period is 5.09 ± 0.02 h with an amplitude of 0.25 mag. The period value is in good agreement with that of the LCDB (5.189 h, with U = 3).
Period: 5.088 ± 0.018 h Amp: 0.23 JDo(LTC): 2456685.491028


Period Spectrum: (53435) 1999 VM40
RMS error (x 0.01 mag)
9
8
7
6
5
4
3
2
1
1
2
3
4
5
6
7
Period (hours)
P/2, monomodal solution
P, bimodal solution

Perché si determina il periodo? Il curioso andamento dello spin-rate vs il diametro



La cohesionless spin-barrier



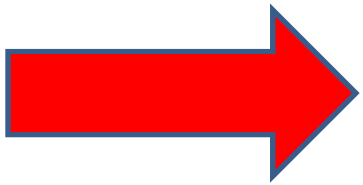
Per spiegare l'andamento dello spin-rate vs diametro per gli asteroidi si ipotizza che gli oggetti più piccoli di circa 150-200 m di diametro siano blocchi monolitici, mentre i corpi più grandi siano oggetti fratturati dalle collisioni e composti da blocchi più piccoli, non coesi fra di loro, ma tenuti insieme solo dalla reciproca forza di gravità (struttura a "rubble pile" senza coesione).

Il periodo limite per la spin-barrier (senza coesione)

Il periodo limite al di sotto del quale si ha la frammentazione, P_{lim}, si trova imponendo che l'accelerazione superficiale dovuta alla rotazione dell'asteroide (supposto di raggio R e massa totale M), sia pari a quella di gravità del corpo.

In questo modo si impone la condizione che i blocchi superficiali di cui è fatto l'asteroide rubble-pile seguano un'orbita circolare con raggio pari a quello del corpo stesso:

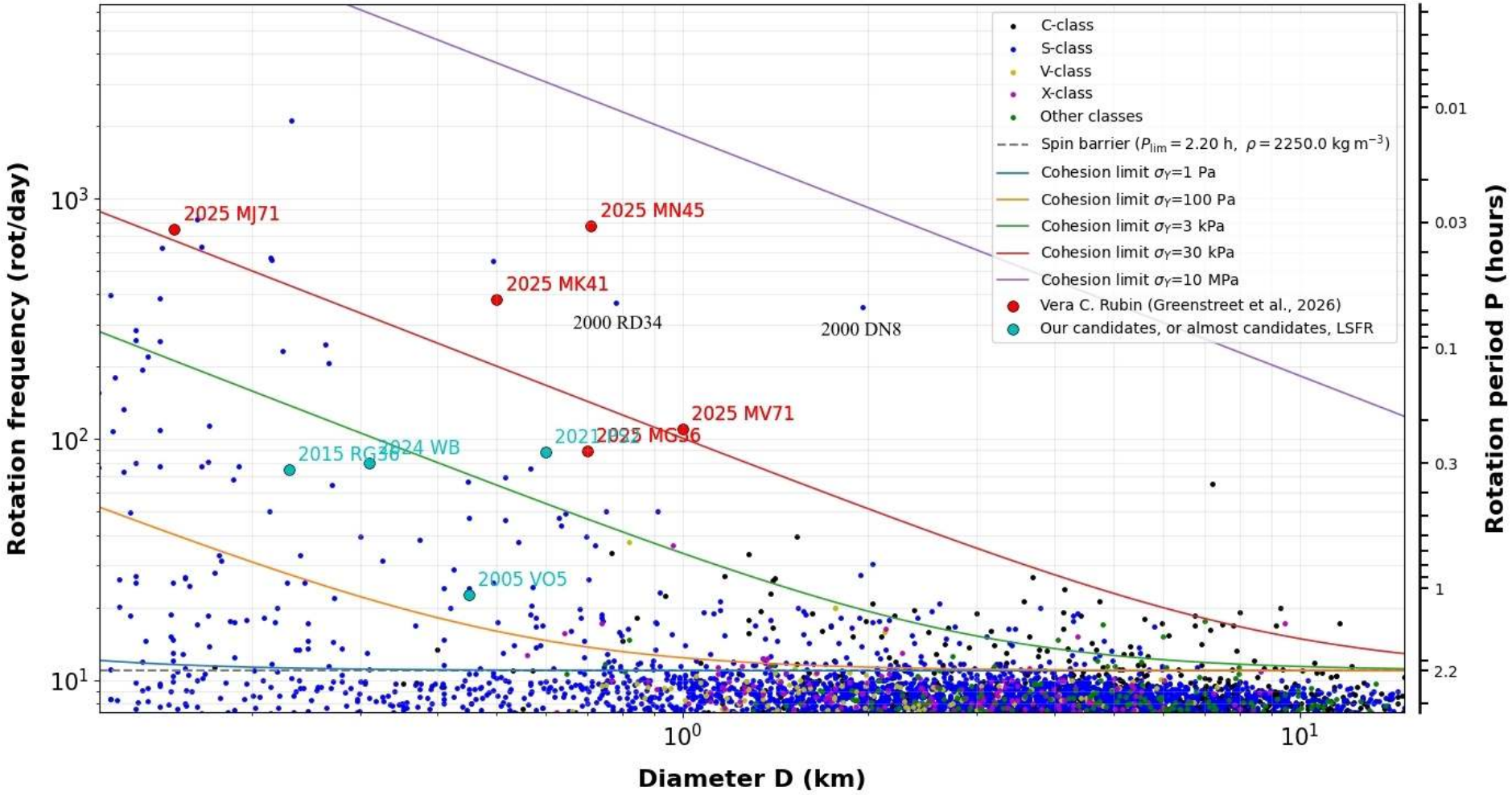
$$\frac{v^2}{R} = \frac{GM}{R^2}$$



$$P_{\lim} = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$$

Se il periodo di rotazione diminuisce al di sotto di P_{lim}, l'equilibrio si rompe e l'asteroide si separa in blocchi distinti. Notare come il risultato sia indipendente dal diametro dell'asteroide.

La spin-barrier per i rubble-pile coesi



$$\omega^2 \leq \omega_0^2 + \frac{\sigma_Y}{\rho r^2}$$

Forza di coesione

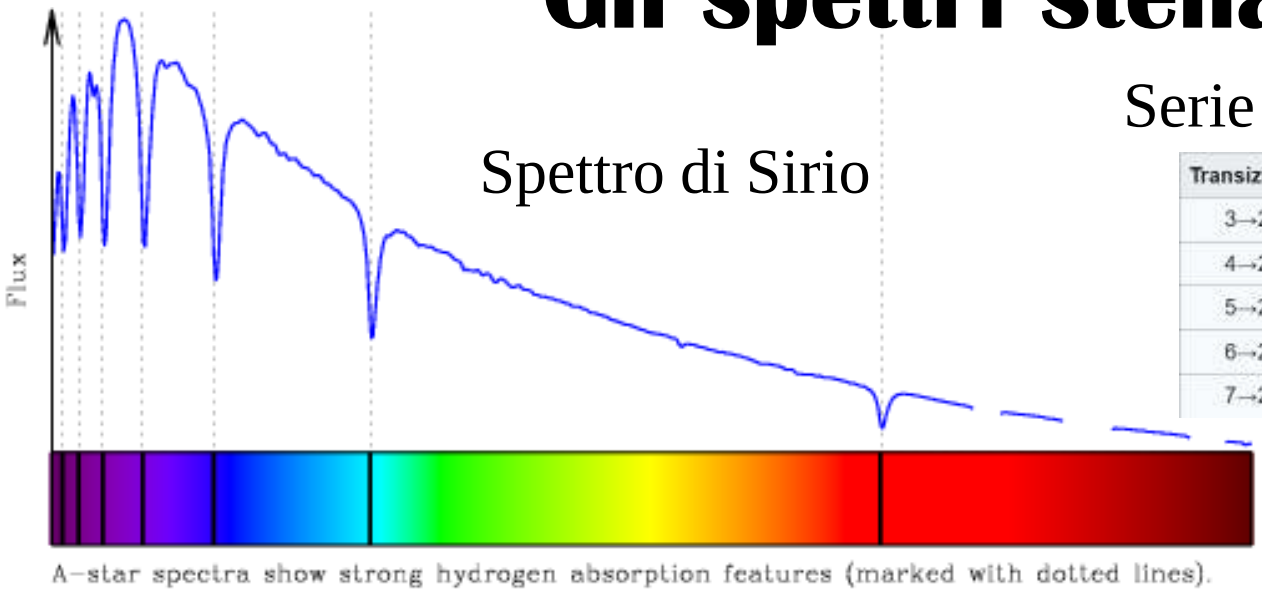
Raggio dell'asteroide

Spin barrier rate $\omega = 2\pi/P$ for an asteroid with cohesive strength (Sánchez and Scheeres, 2014)

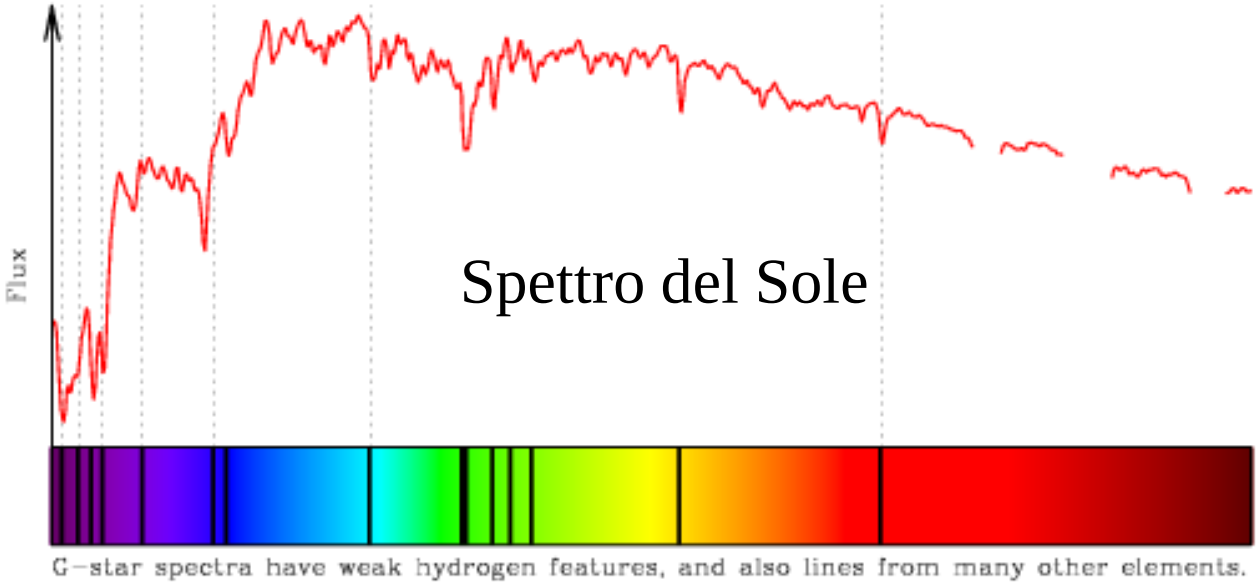
Determinare il tipo tassonomico e il diametro di un asteroide

Gli spettri stellari

Spettro di Sirio



Spettro del Sole



http://astronomy.nmsu.edu/geas/lectures/lecture20/slide01.html

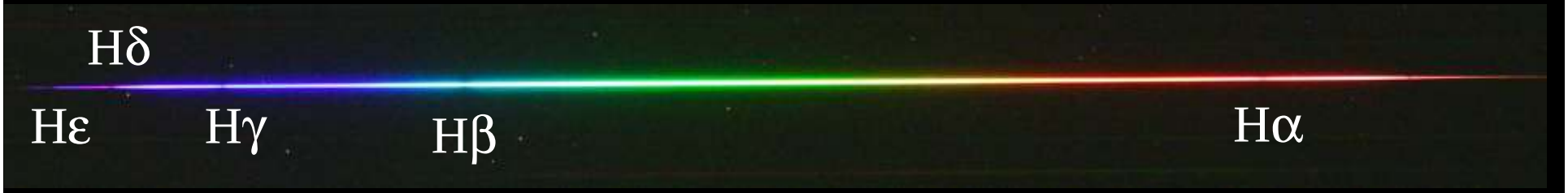
Serie di Balmer dell'Idrogeno

Transizione	Nome	Lunghezza d'onda (Å)	Colore
3→2	Hα, Lα	6563	Rosso
4→2	Hβ, Lβ	4861	Ciano
5→2	Hγ, Lγ	4341	Blu
6→2	Hδ, Lδ	4102	Violetto
7→2	Hε, Lε	3970	Violetto

Classe Harvard (di temperatura)	Temperatura (in kelvin)[16]
O	≥33 000 K
B	10 000-33 000 K
A	7 300-10 000 K
F	6 000-7 300 K
G	5 300-6 000 K
K	3 900-5 300 K
M	≤3 900 K

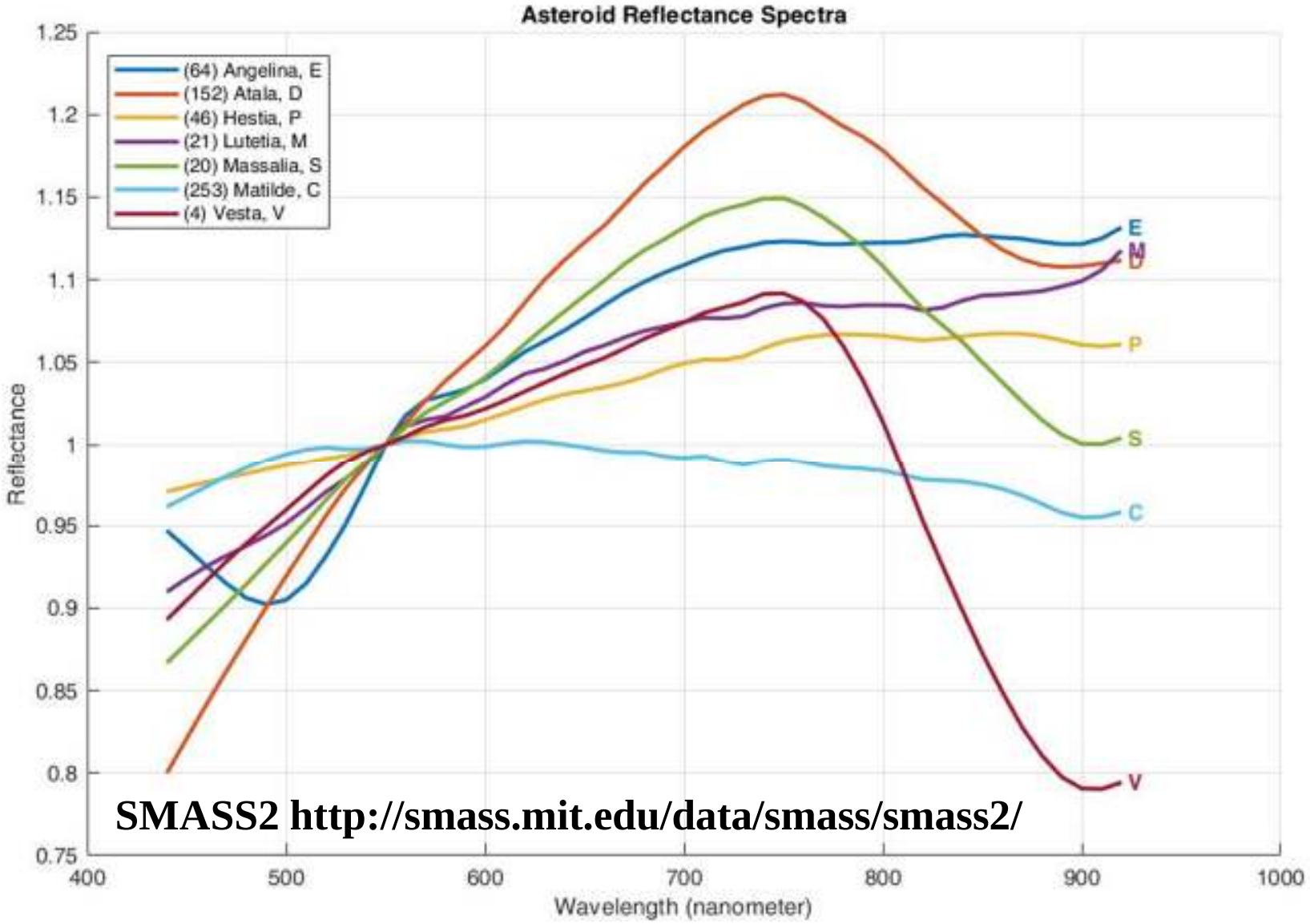
Tabelle tratte da Wikipedia

Lo spettro di Sirio



Ripresa effettuata con un reticolo di diffrazione da 200 linee/mm applicato davanti al teleobiettivo da 135 mm di una macchina fotografica del tipo reflex.

Gli spettri di riflettanza degli asteroidi



Quando la radiazione elettromagnetica emessa dal Sole incide sulla superficie di un corpo opaco come un asteroide, una parte è assorbita dagli atomi e molecole componenti, mentre il rimanente è riflesso nello spazio. La quantità di radiazione riflessa in funzione della lunghezza d'onda determina la luminosità dell'asteroide e il suo colore.

Tipi di asteroidi (classi di Tholen)

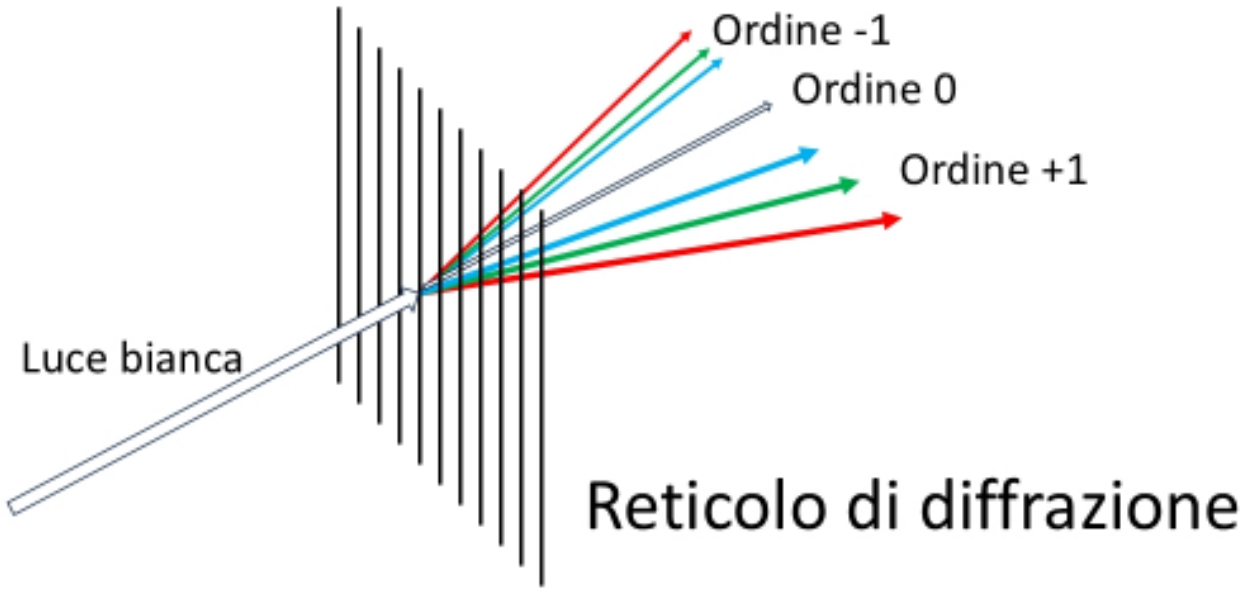
1. **Tipo C**: asteroidi carbonacei, sono il tipo più primitivo e indifferenziato. Hanno una superficie molto scura e sono il 75% degli asteroidi noti.
2. **Tipo S**: sono asteroidi composti principalmente da silicati, rappresentano il 17% della popolazione totale.
3. **Tipo X**: tutto quello che non rientra nelle altre classi
4. **Tipo D**: asteroidi scuri che si trovano nella main-belt esterna.
5. **Tipo V**: asteroidi con la stessa composizione di 4 Vesta (vestoidi).

Tipo	pV		B-V	V-R	V-I
C	0,071		0,698	0,376	0,744
S	0,208		0,846	0,475	0,889
X (E, M, P)	0,098		0,697	0,410	0,818
D	0,086		0,734	0,464	0,960
V	0,297		0,810	0,413	0,651

Referenze: Carbognani, 2016; Dandy et al., 2003; Usui et al., 2013;

Procedura per la ripresa di uno spettro di riflettanza di un NEA:

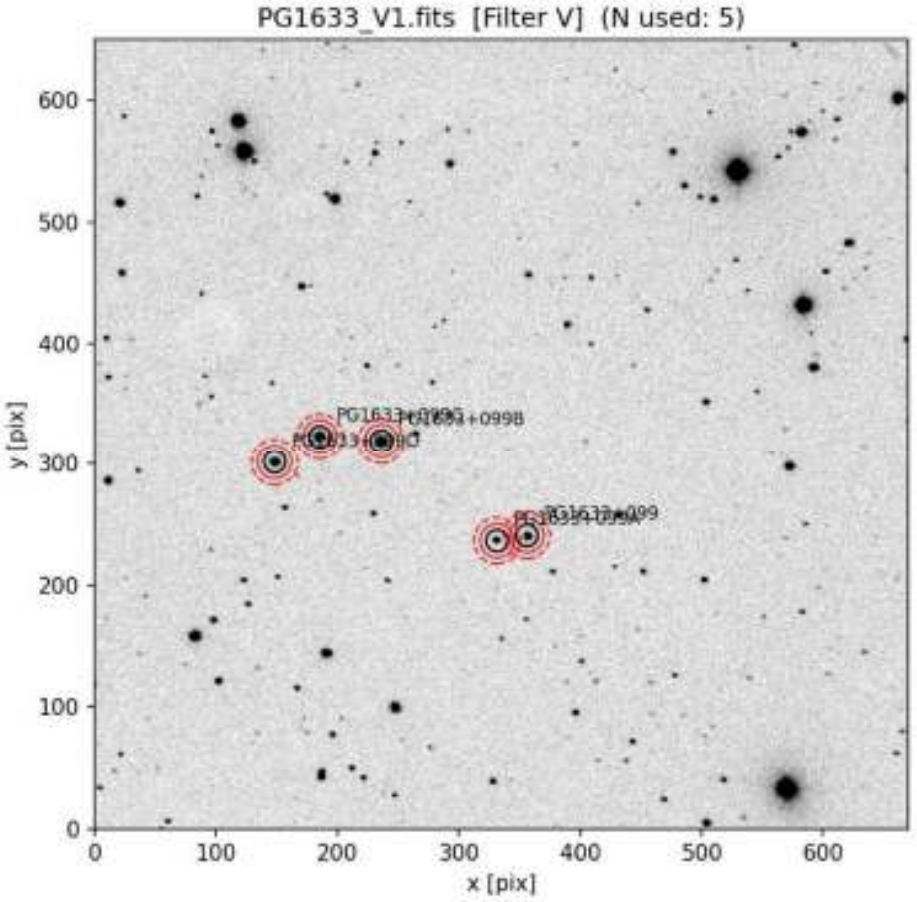
1. Riprendere lo **spettro dell'asteroide**
2. Riprendere uno **spettro di calibrazione** (ad esempio una stella di tipo A0 che hanno le righe della **serie di Balmer dell'idrogeno** molto intense, oppure quello interno allo spettroscopio)
3. Lo spettro dell'asteroide va **diviso** per lo **spettro di una stella di tipo solare (G2)** per ottenere lo spettro di riflettanza. **La stella di tipo solare deve essere alla stessa altezza sull'orizzonte e prospetticamente vicino all'asteroide in modo da subire lo stesso assorbimento di luce da parte dell'atmosfera**.
4. Per convenzione la **riflettanza vale 1 alla lunghezza d'onda di 550 nm**. Per l'analisi delle immagini fits con gli spettri si può usare il **software Rspec** (trial di 30 giorni): https://rspec-astro.com/

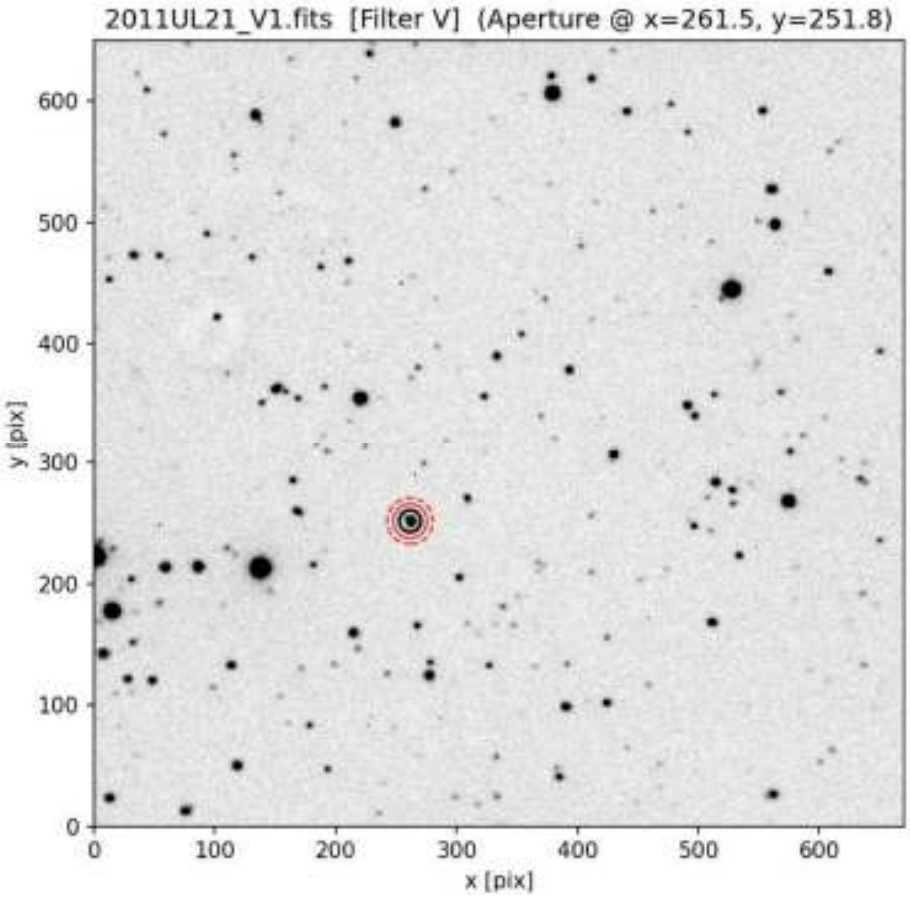


Alternativa: misura delle magnitudini BVR_cI_c di un asteroide

Campo stellare di Landolt con stelle standard, aventi magnitudine nota nelle diverse bande fotometriche e non variabili, quindi adatte alla calibrazione fotometrica degli asteroidi.

Campo di vista dell'asteroide, <u>alla stessa airmass del campo di Landolt</u>, così stelle e asteroide sono direttamente confrontabili perché subiscono lo stesso assorbimento atmosferico.





La matematica dell'indice di colore e della riflettanza

Per ogni stella osservata con il filtro X, che può essere B,V, R, I, si può scrivere:

$$m_{std_X} - m_{inst_X} = ZP_X + CT_X \cdot C_X$$

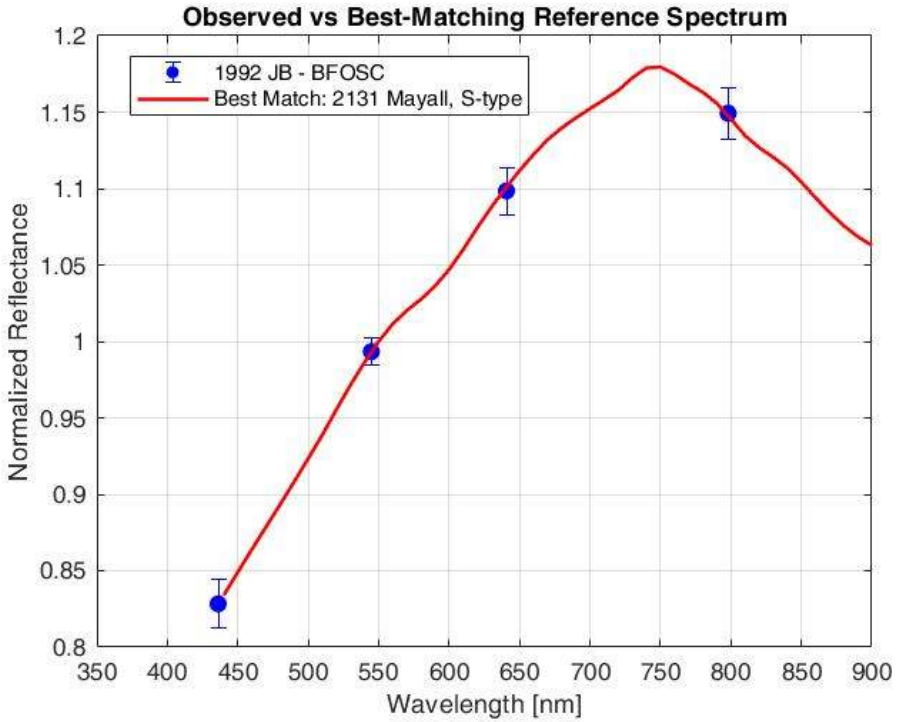
Con:

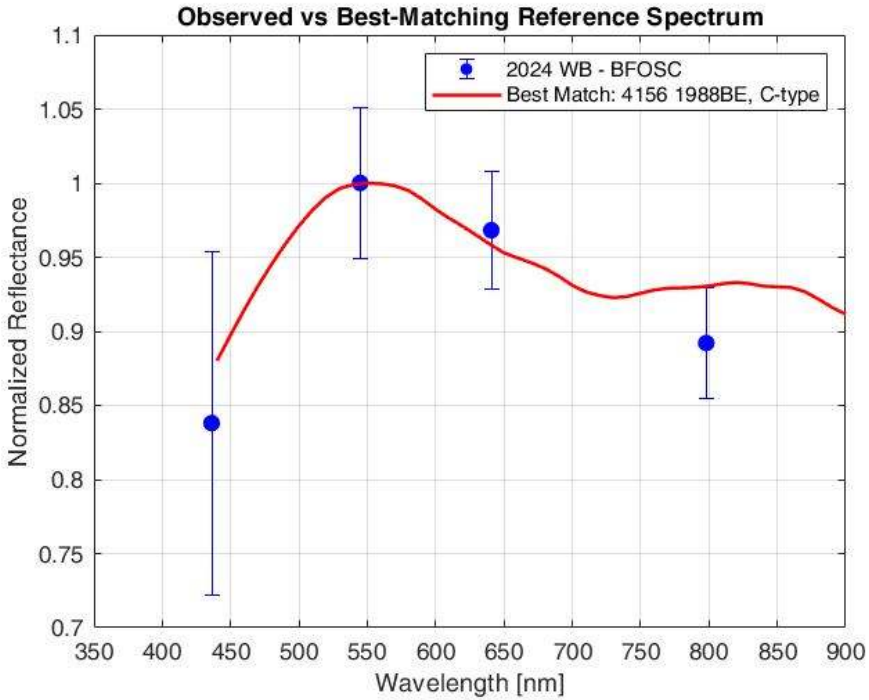
$$C_B = (B - V)$$
$$C_V = (B - V)$$
$$C_R = (V - R)$$
$$C_I = (R - I)$$

Con le stelle del campo di Landolt si determinano le costanti **ZP_X (zero point)** e **CT_X (correzione di colore)**. Note queste costanti, che **valgono per il valore di airmass del campo di Landolt**, si ottiene la mag standard nel filtro X dell'asteroide, una volta misurata quella strumentale. La riflettanza nella banda X, con X=B,V, R, I è data da:

$$R_X = \frac{f_X / f_V}{f_{X\odot} / f_{V\odot}} = 10^{0,4\left[(X-V)-(X-V)_\odot\right]}$$

Classificazione degli asteroidi con la fotometria

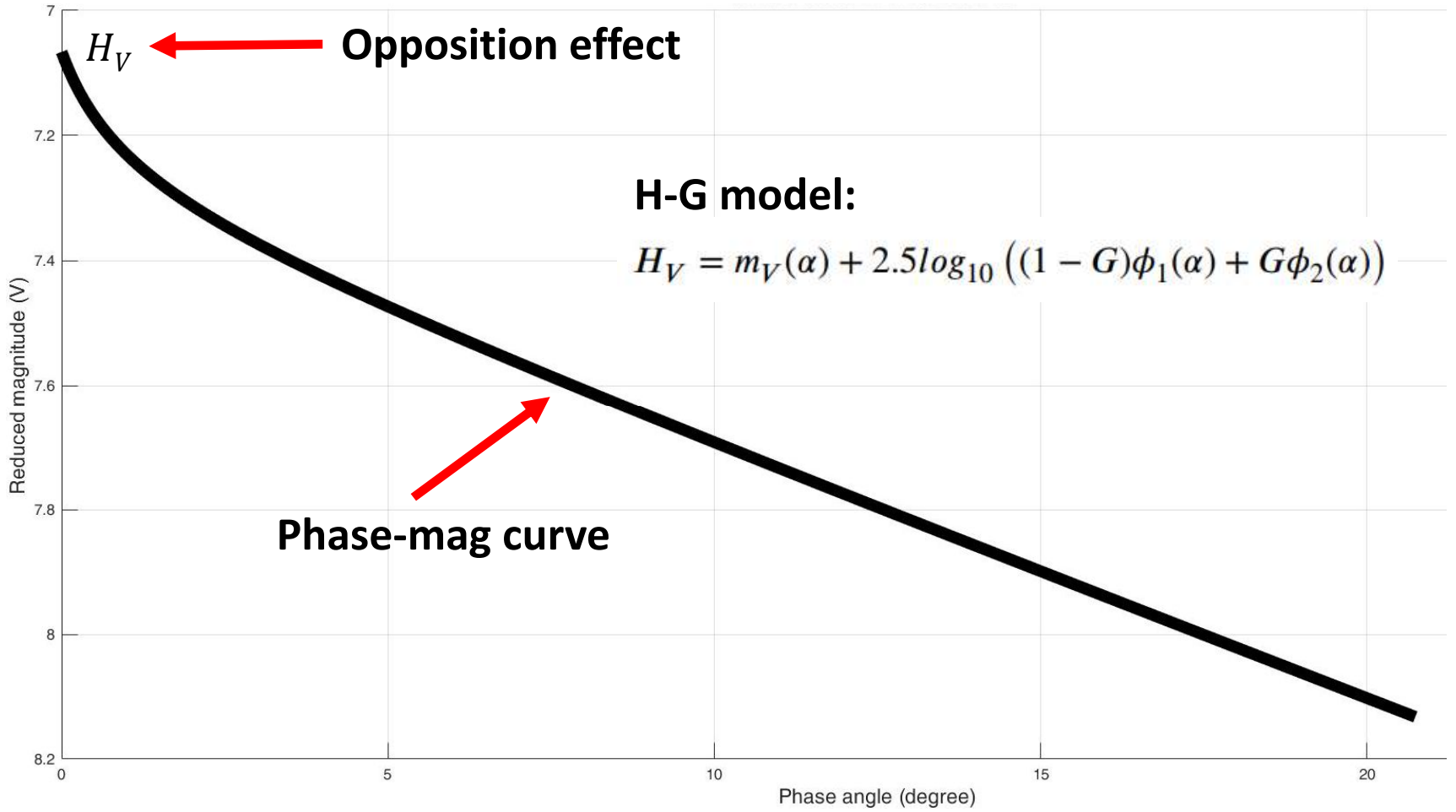




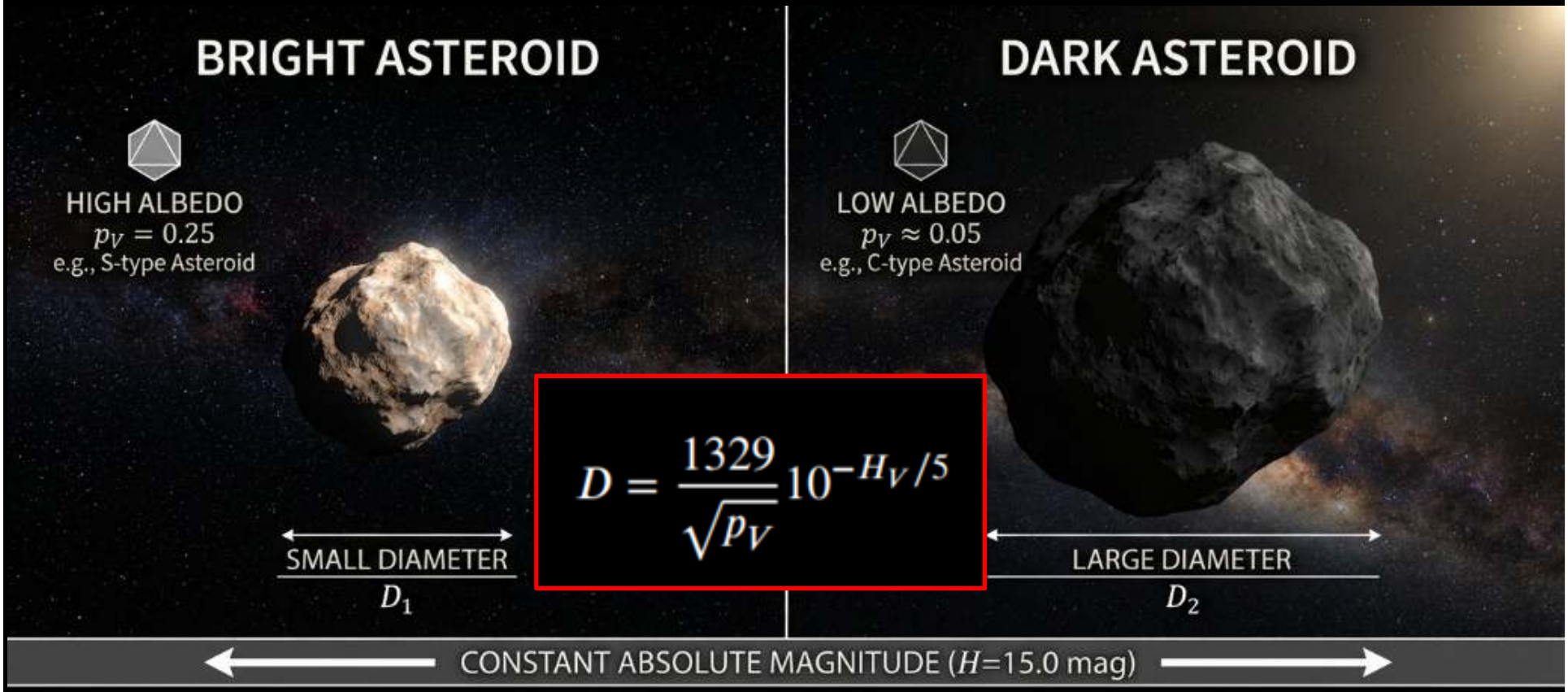
Una volta calcolati i valori di riflettanza si possono confrontare con le curve di riflettanza di asteroidi di tassonomia nota. Come riferimento, abbiamo adottato le curve di riflettanza osservate durante la seconda fase della Small Main-belt Asteroid Spectroscopic Survey (SMASS II). Per ciascun asteroide, abbiamo adottato la classificazione che minimizza la distanza tra la riflettanza a quattro punti osservata e la curva di riflettanza completa.

Come si stima la magnitudine assoluta di un asteroide

Per la stima della magnitudine assoluta H_V, in prima approssimazione, si può utilizzare il valore medio della magnitudine in banda V — impiegando la semplice curva di fase H-G definita da Bowell et al. (1989) — per riportare il dato all'angolo di fase zero. Un modello più sofisticato per la curva di fase, ovvero il sistema (H, G1, G2) di Muinonen et al. (2010), fornisce risultati analoghi a quelli del modello H-G per gli asteroidi osservati ad angoli di fase elevati.

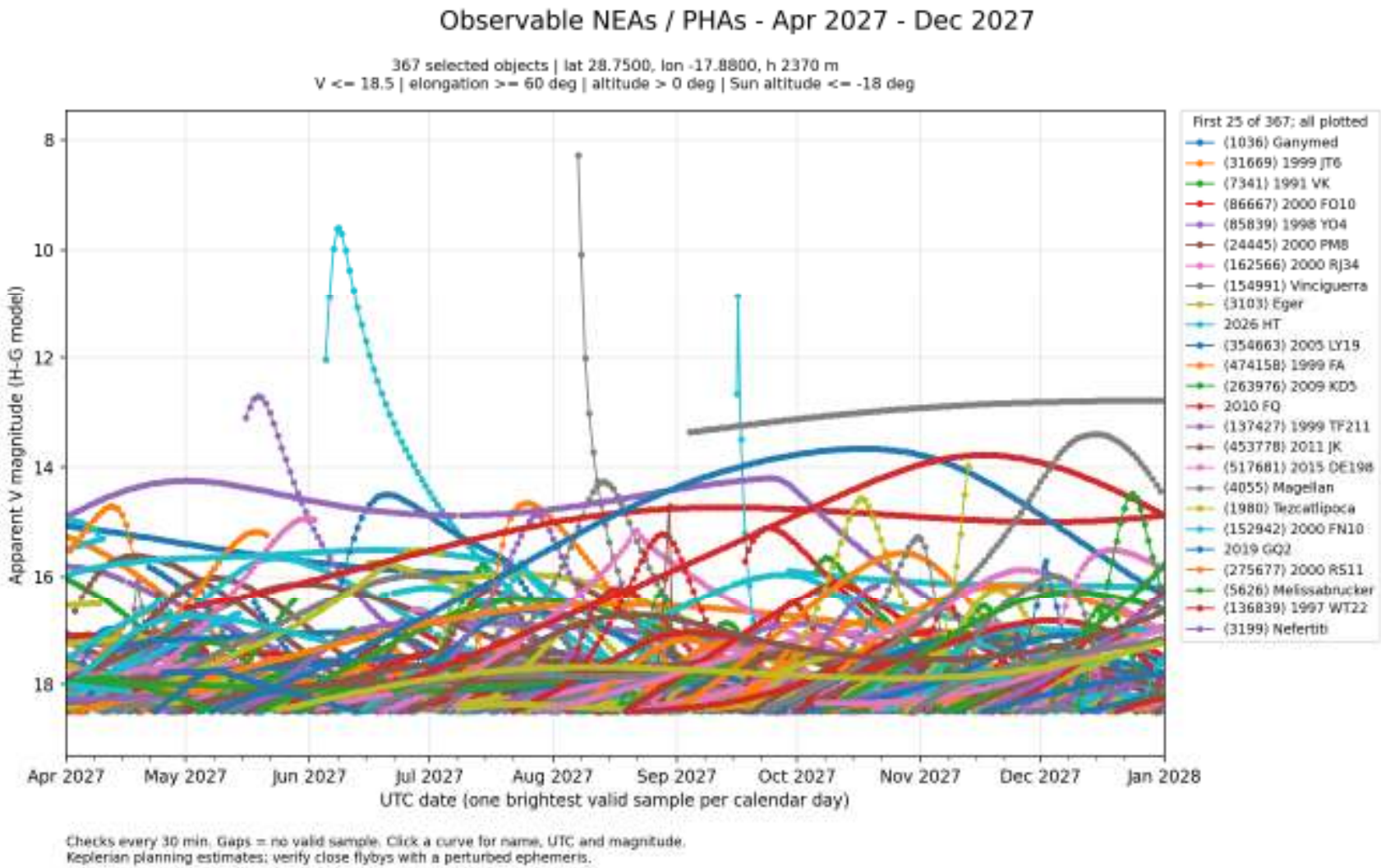


Stima delle dimensioni di un asteroide



Una volta determinata la classe tassonomica dell'asteroide p_V, è possibile utilizzare i valori medi di albedo geometrico della classe e la magnitudine assoluta H_V per stimarne le dimensioni reali.

Possibili NEA, aprile – dicembre 2027



<u>Attenzione</u>: le condizioni di osservabilità alla minima distanza potrebbero **non essere ottimali**. Va trovato, con il calcolo delle effemeridi, il **periodo migliore**: **asteroide alto sull'orizzonte** (almeno 30°), **velocità angolare minima** (il FOV del CCD è di soli 8,4 primi) e che sia ancora **abbastanza luminoso**. Per il calcolo delle effemeridi si può usare il sito del Minor Planet Center, inserendo il **codice Z19 per il Telescopio Nazionale Galileo**.

Modulo di presentazione della proposta

1.Titolo della proposta:
[inserire il titolo della proposta]

2.Caso scientifico:
[selezionare con una X l'area tematica della proposta]
- [] Galassie e cosmologia
- [] Stelle e popolazioni stellari
- [] Pianeti extra-solari
- [] Sistema solare

3.Riassunto (massimo 1000 caratteri, spazi inclusi)
[scrivere un breve riassunto della proposta, evidenziandone la rilevanza scientifica]

4.Strumenti utilizzati:
[per ogni strumento richiesto, inserire il numero di ore necessarie per portare a termine la proposta; se uno strumento non è necessario, non indicare nulla]

- DOLORES: …
- NICS: …
- HARPS-N: …

5.Descrizione della proposta (massimo 10.000 caratteri, spazi inclusi):
[descrivere la proposta in relazione ai criteri riportati nel bando. Esplicitare gli obiettivi che ci si prefigge di raggiungere con le osservazioni. È possibile inserire grafici o immagini per completare la descrizione, così come la bibliografia utile]

6. Vincoli sulle osservazioni (massimo 800 caratteri, spazi inclusi):
[assumendo che le osservazioni verranno fatte tra ottobre e dicembre 2027, indicare un intervallo di date in cui fare l'osservazione e la fase lunare ideale per il buon esito delle osservazioni]

7. Lista dei target e tempi di esposizione
[indicare il nome dei target, le coordinate e i tempi di esposizione richiesti su singolo target, compilando una tabella con la seguente struttura]

Nome	α	δ	Epoca	Magnitudine	Tempo	Note

8. Strategia osservativa e calcolo dei tempi di esposizione
[indicare la strategia osservativa ed il calcolo dei tempi di esposizione riportati nella tabella precedente, necessari per portare a termine la proposta]

9. Elaborazione e interpretazione dei dati osservativi
[descrivere come si intendono analizzare i dati osservativi raccolti durante la campagna al TNG, eventualmente insieme a quelli d'archivio, e interpretare i risultati]

Bibliografia

Carbognani A. et al., 2027. ***Photometric characterization of near-Earth asteroids: Rotation, taxonomy, and candidate evidence for internal cohesion***. Icarus, Vol. 461. https://arxiv.org/abs/2609.02563.

Dandy C.L. et al., 2003. *Optical colors of 56 near-Earth objects: trends with size and orbit*. Icarus 163, p.363–373.

Harris, A.W., et al., 1989. *Photoelectric observations of asteroids 3, 24, 60, 261, and 863*. Icarus 77, 171–186

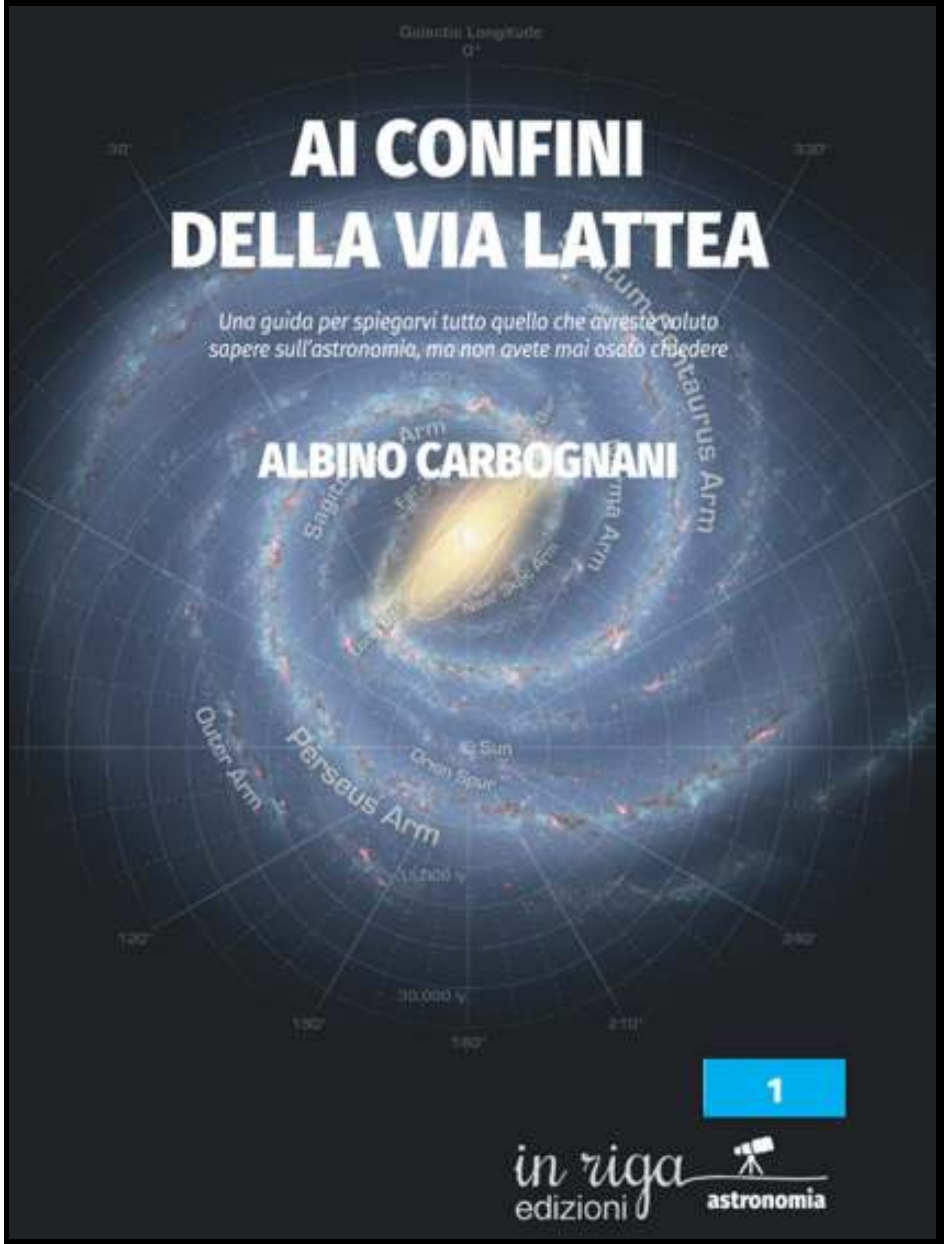
Usui, F. et al., 2013. *Albedo Properties of Main Belt Asteroids Based on the All-Sky Survey of the Infrared Astronomical Satellite AKARI*. The Astrophysical Journal 762, p.56.

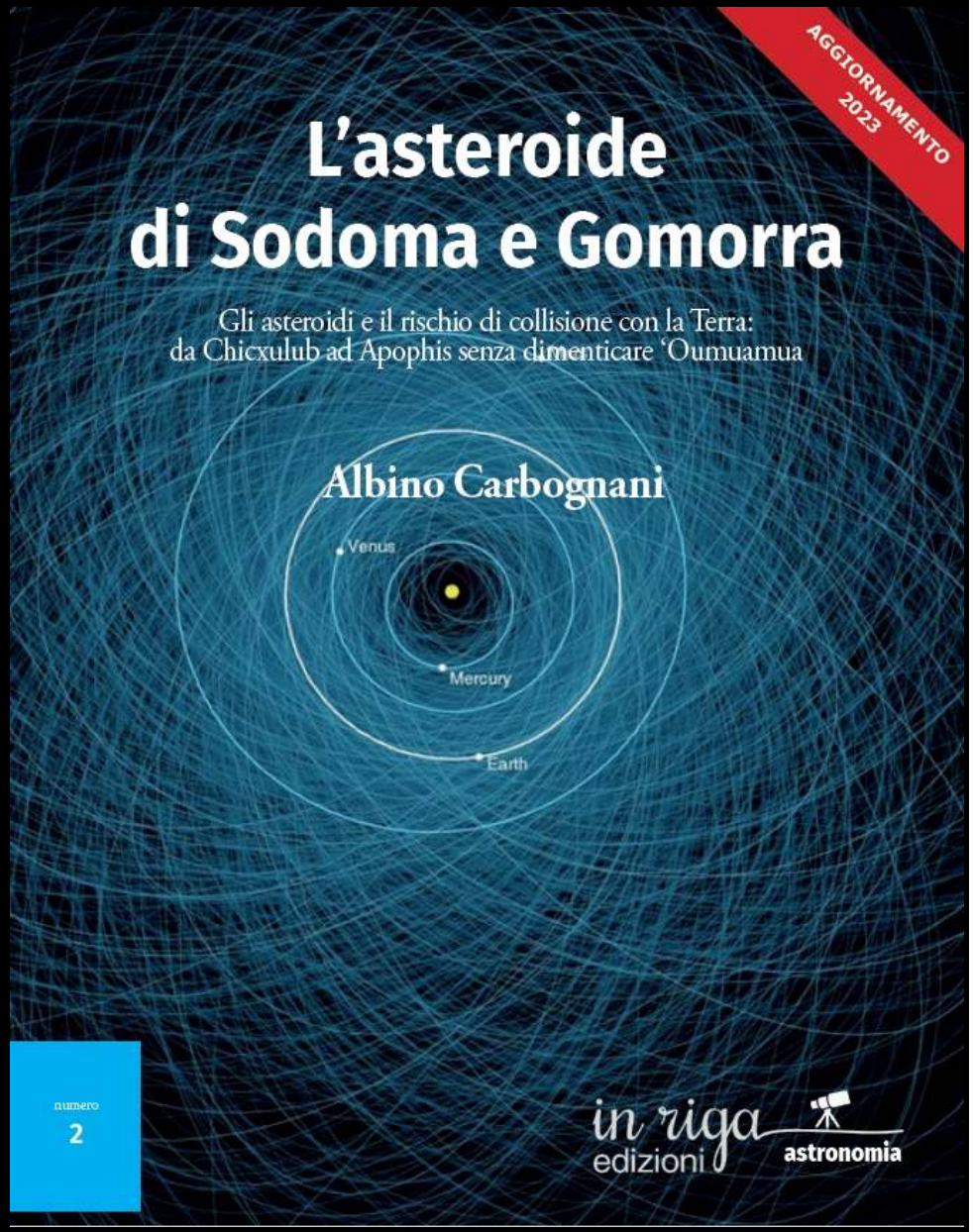
Siti Web

Sorvegliati Spaziali (INAF): https://sorvegliatispaziali.inaf.it/comete-e-asteroidi-near-earth/
Progetto NEOROCKS: https://www.neorocks.eu/
JPL Small-Body Database Lookup: https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html
Minor Planet Center: https://cgi.minorplanetcenter.net/
NEOCC (ESA): https://neo.ssa.esa.int/
CNEOS (NASA): https://cneos.jpl.nasa.gov/
https://asteroidiedintorni.blog/perche-fare-la-fotometria-degli-asteroidi/

Software

MPO Canopus (V10): https://minplanobs.org/BdwPub/php/displayhome.php (fotometria)
Aladin Sky Atlas: https://aladin.cds.unistra.fr/ (atlante stellare)
Rspec (trial di 30 giorni): https://rspec-astro.com/ (spettroscopia)
Astrometrica: http://www.astrometrica.at/ (astrometria)


AI CONFINI
DELLA VIA LATTEA
Una guida per spiegarvi tutto quello che avreste voluto sapere sull'astronomia, ma non avete mai osato chiedere
ALBINO CARBOGNANI
Perseus Arm
Outer Arm
Sun
1
in riga edizioni
astronomia


AGGIORNAMENTO 2023
L'asteroide
di Sodoma e Gomorra
Gli asteroidi e il rischio di collisione con la Terra:
da Chicxulub ad Apophis senza dimenticare 'Oumuamua
Albino Carbognani
Venus
Mercury
Earth
numero
2
in riga edizioni
astronomia