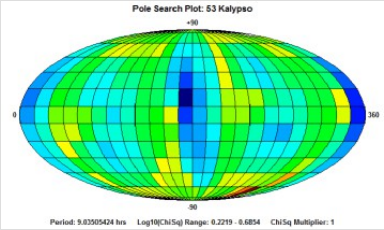
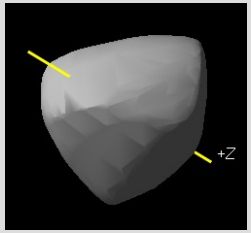
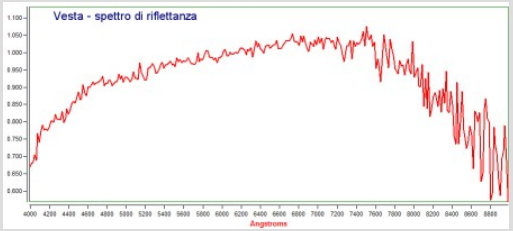
Asteroidi
Inversione Curve di Luce e Spettroscopia







Lorenzo Franco
(A81) Balzaretto Observatory, Rome
http://digilander.libero.it/A81_Observatory
https://www.facebook.com/a81balzarettobservatory

Premessa

Di seguito vedremo alcuni argomenti abbastanza peculiari dello studio degli asteroidi. Aspetti che fino a non molti anni fa erano riservati esclusivamente al mondo dell'astronomia professionale.

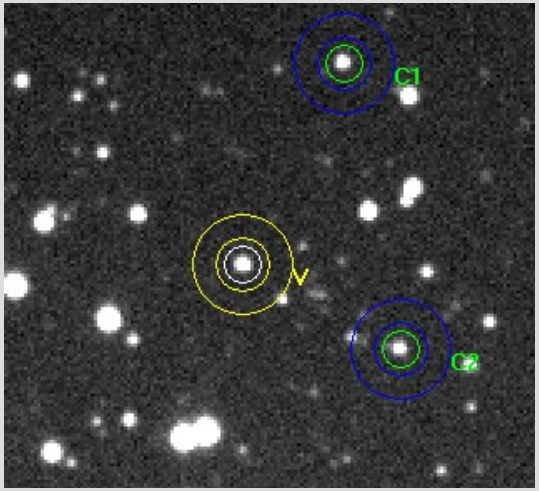
Parleremo in particolare di inversione di curve di luce e di spettroscopia.

Entrambe queste tecniche ci danno la possibilità di analizzare in profondità alcune delle caratteristiche fisiche degli asteroidi.

Inversione delle curve di luce

Fotometria - concetti

Fotometria: *ci permette di misurare il flusso luminoso proveniente da un oggetto (stella, asteroide, …) ripreso attraverso il telescopio ed una camera CCD.*



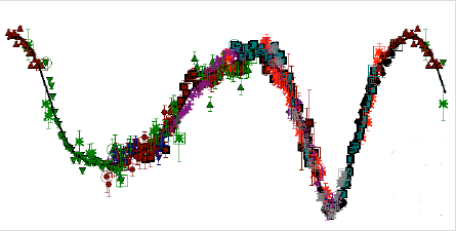
Magnitudine strumentale: *la otteniamo dal flusso integrato dell'oggetto, attraverso la relazione:* $m_{strumentale} = -2.5 \cdot \log(flusso)$

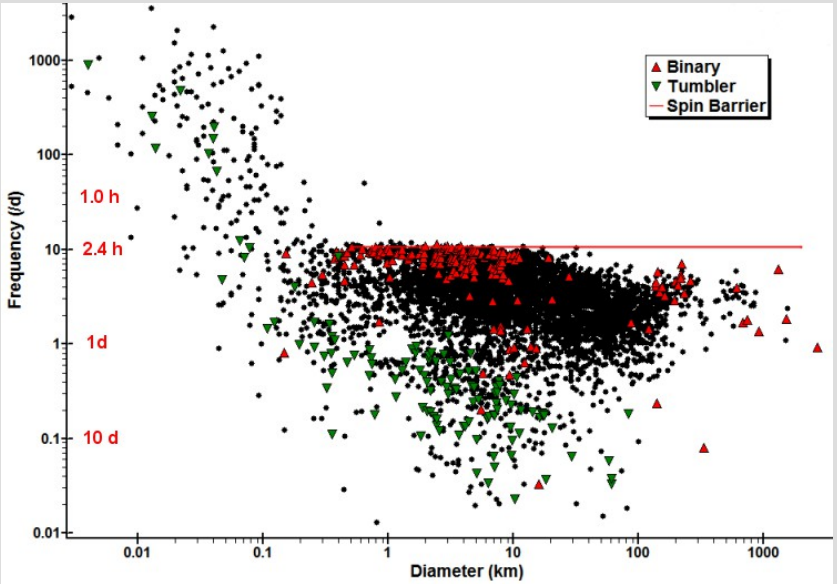
Magnitudine standardizzata: *la deriviamo dalla magnitudine differenziale, usando la magnitudine delle stelle di confronto presenti nel campo di vista e riportate nei cataloghi stellari (CMC15, APASS, ...).*

Fotometria All-sky: *è una tecnica complessa che richiede un grande impegno osservativo e necessita di condizioni atmosferiche stabili e perfette per tutta la notte (notti fotometriche).*

Periodo di rotazione

Le sequenze temporali di immagini rappresentano un formidabile strumento che ci permette di registrare le evoluzioni temporali dell' intensità luminosa di un asteroide, ottenendo il grafico che prende il nome di Curva di Luce.

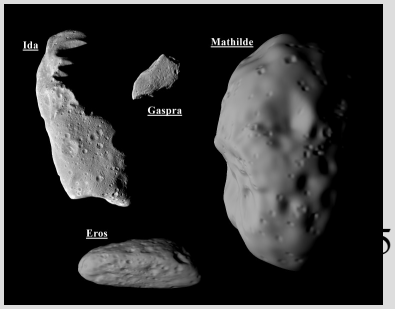




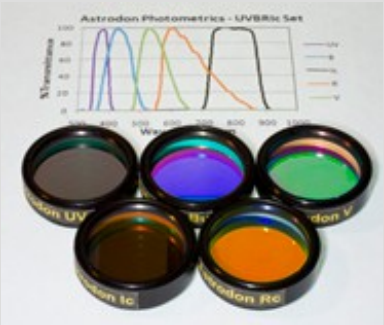
Relazione Periodo-Diametro (fonte Minor Planet Center)

La ripetizione delle forme caratteristiche della curva di luce e l'analisi di Fourier ci aiutano a determinarne il periodo sinodico di rotazione che prevalentemente si colloca tra 6-24 h.

Gli asteroidi sono assimilabili a degli ellissoidi triassiali e le loro curve di luce mostrano spesso un aspetto bi-modale (due massimi e minimi per ciclo).

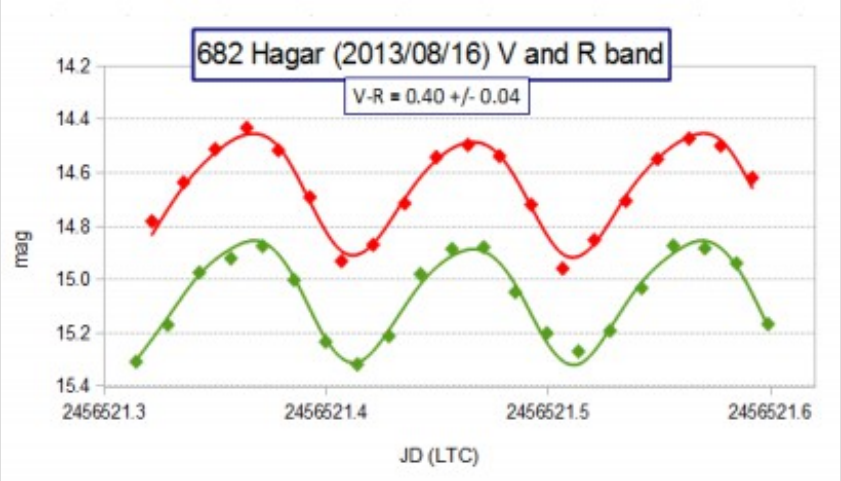


Indice di colore



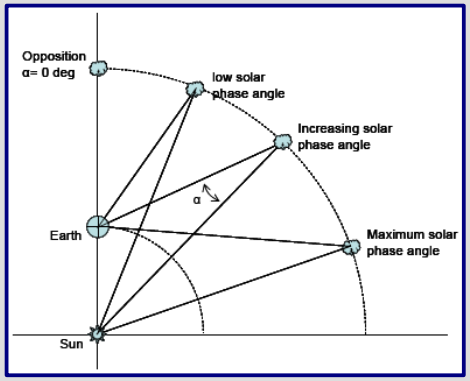
Con gli indici di colore misuriamo la differenza di magnitudine di un asteroide rispetto alle bande fotometriche standard B-V, V-R, R-I, attraverso cui possiamo tentare una sua preliminare classificazione tassonomica.

*Gli Asteroidi di tipo **C** (carbonacei) sono scuri, di basso albedo ed hanno un indice di colore B-V = 0.69, V-R = 0.38, mentre asteroidi di tipo **S** (rocciosi) hanno un indice di colore B-V =0.86,V-R = 0.49 ed un albedo medio.*



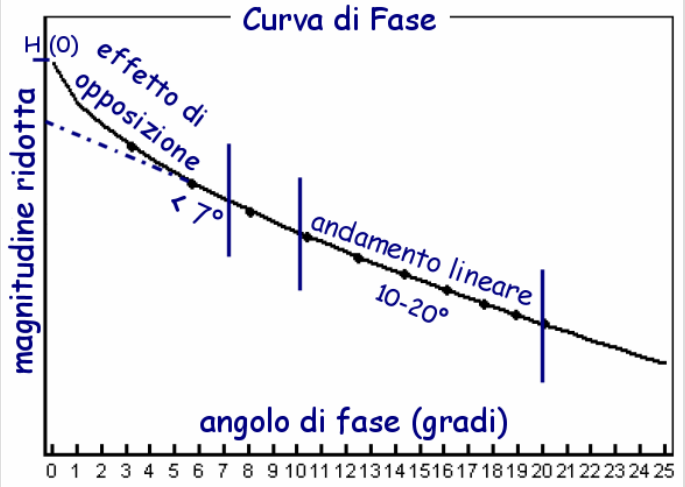
L'indice di colore V-R=0.40 indica che si tratta di un asteroide di basso albedo di tipo Carbonaceo.

Curva di fase, Magnitudine assoluta e Dimensioni



La luminosità di un asteroide varia a causa degli effetti geometrici, quali la distanza e l'angolo di fase α (angolo formato dall'asteroide con la Terra ed il Sole).

Il grafico che mette in relazione la magnitudine ridotta (rimossi gli effetti della distanza) al variare della fase, prende il nome di ***curva di fase (phase curve)****.*



La magnitudine ridotta ad angolo di fase zero prende il nome di ***magnitudine assoluta (H)*** *e permette di stimare la dimensione dell'asteroide.*

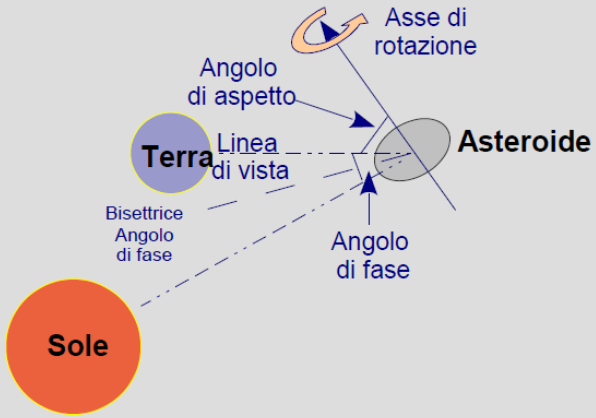
$$D = \frac{1329}{\sqrt{p}} 10^{-0.2H}$$

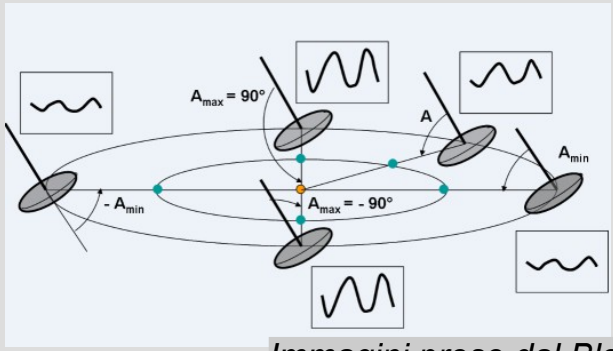
p = albedo geometrico
H = magnitudine assoluta

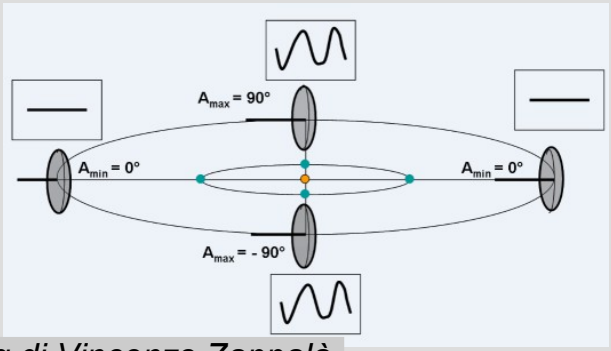
Inversione delle curve di luce

La curva di luce di un asteroide ha un aspetto diverso a seconda della geometria con cui si presenta ad una determinata opposizione.

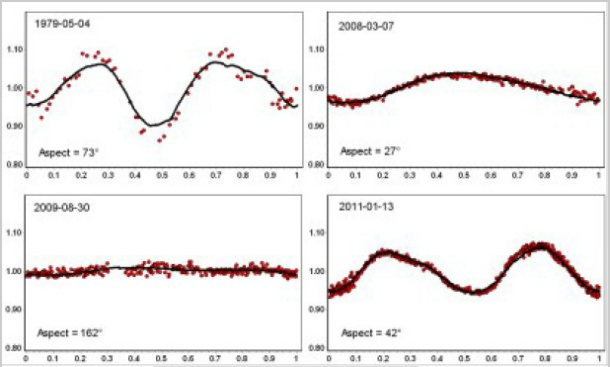
Analizzando queste variazioni per almeno 3-4 opposizioni è possibile risalire all'orientamento del polo di rotazione ed all'aspetto morfologico 3D.





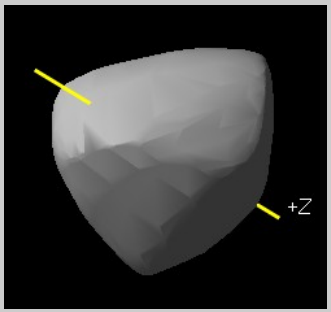


Immagini prese dal Blog di Vincenzo Zappalà



Curve di luce

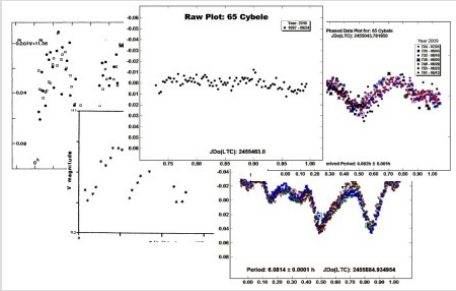
Processo di inversione



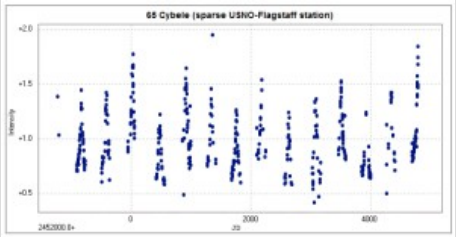
Polo e modello 3D

Inversione – cosa occorre

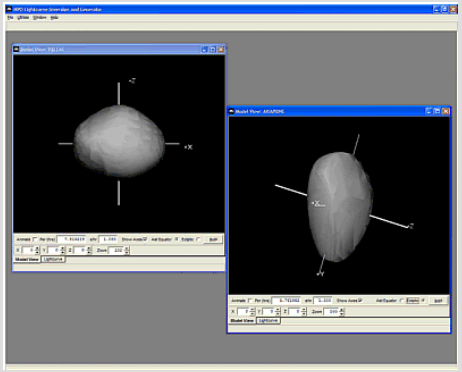
Il supporto teorico e le tecniche necessarie al processo di inversione sono state sviluppate nel 2001 da Mikko Kaasalainen e colleghi.



Dati densi. *Curve di luce di almeno 3-4 opposizioni. La fonte principale è il sito Asteroid Light Curve Database del MPC. Alcuni dati storici sono disponibili sul sito Asteroid Photometric Catalogue.*

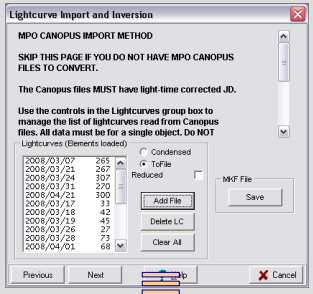


Dati sparsi. *Dati provenienti dalle Survey (USNO Flagstaff e Catalina Sky Survey) disponibili sul sito Asteroids Dynamic Site (AstDyS).*

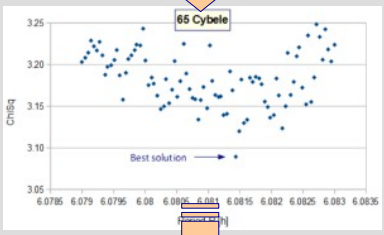


MPO LCInvert. *Il software implementa gli algoritmi ed il codice originale di Kaasalainen e Durech in una veste grafica ed amichevole.*

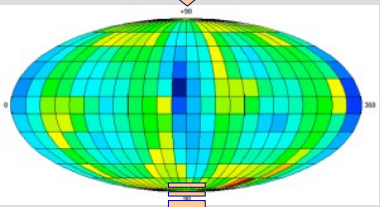
Inversione – come fare



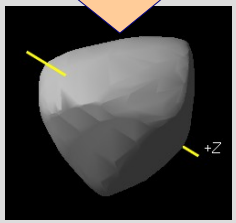
Importazione *e conversione di tutti i dati in LCInvert, tenendo conto della eventuale correzione per il tempo luce e della magnitudine ridotta. Attribuzione di un "peso" in base della qualità dei dati.*



Ricerca accurata del ***periodo sidereo*** *di rotazione dell'asteroide utilizzando, in prima approssimazione un intervallo vicino alla media dei periodi sinodici osservati.*



Ricerca dell'orientamento del ***polo di rotazione,*** *utilizzando il valore del periodo sidereo trovato al passo precedente.*

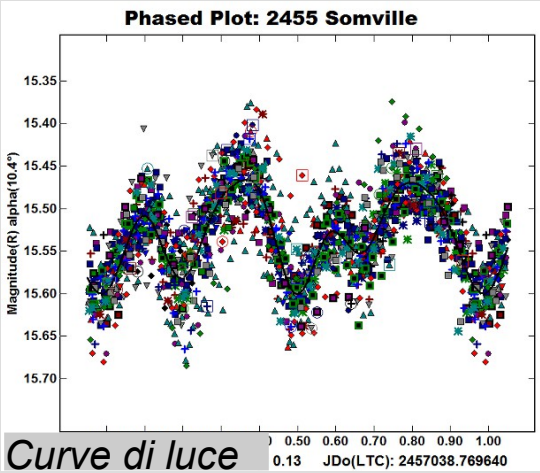


Finalmente otteniamo l'aspetto morfologico ed il ***modello 3D*** *dell'asteroide.*

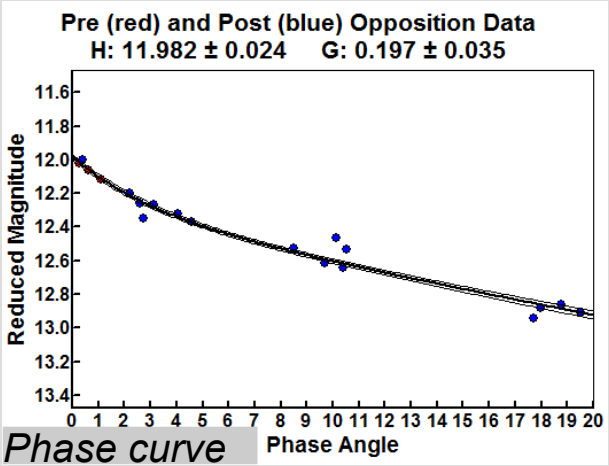
Notare che il tempo complessivo di elaborazione è di diversi giorni (PC di media potenza).

2455 Somville

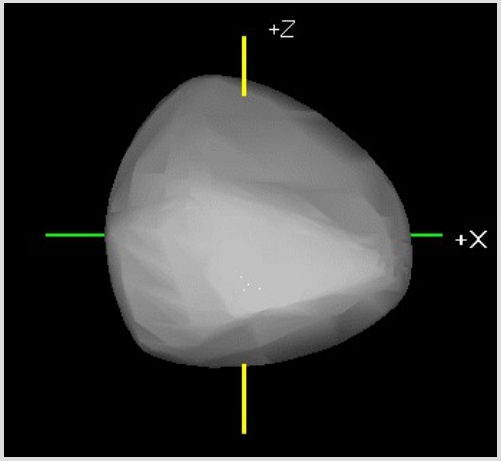
***Somville** è un asteroide di tipo C, osservato estensivamente per due mesi. E' stato così possibile determinare molti parametri fisici come: periodo di rotazione **P** = 2.82868 ± 0.00024 ore, indice di colore (**V-R**) = 0.43 ± 0.04, **H** =11.98 ± 0.02 mag, **G** = 0.20 ± 0.04, orientamento del polo (**λ** = 224°, **β** = -68°) / (**λ** =39°, **β** = -49°), diametro (**D**=16.7 km) ed aspetto morfologico.*

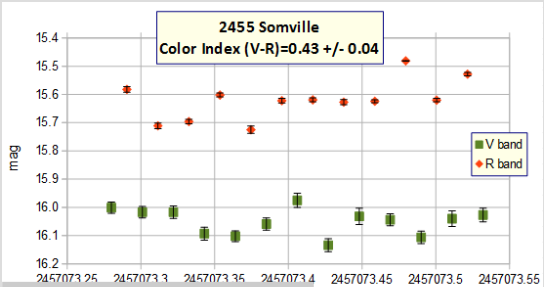


Curve di luce

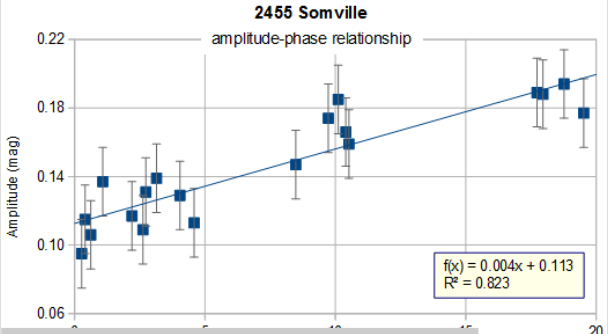


Phase curve

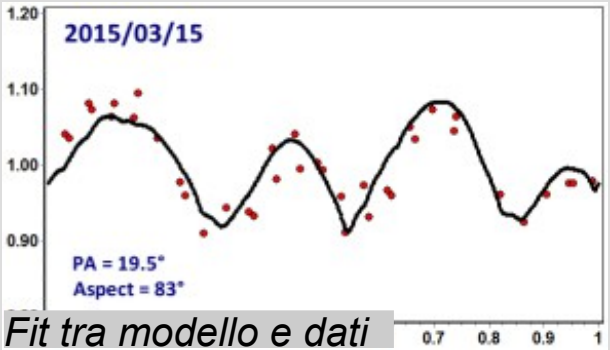




Indice di colore



Relazione ampiezza-fase

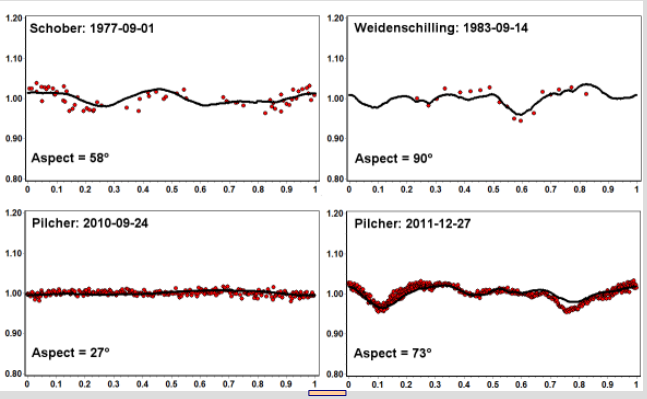


Fit tra modello e dati

Pubblicato sul MPB 42.3 e sul sito Damit.

65 Cybele

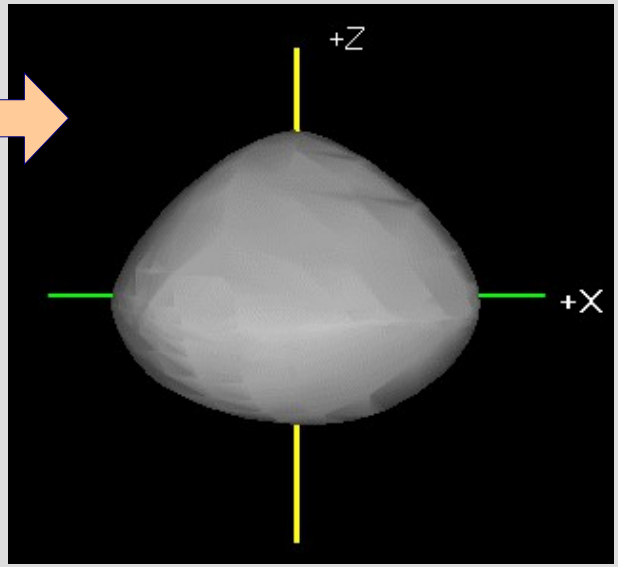
***Cybele** è un asteroide di tipo Xc con un diametro di circa 237 km, osservato dal 1977 al 2014 (15 apparizioni e 61 curve di luce), utili ad ottenere l'orientamento del polo di rotazione ed il modello 3D.*

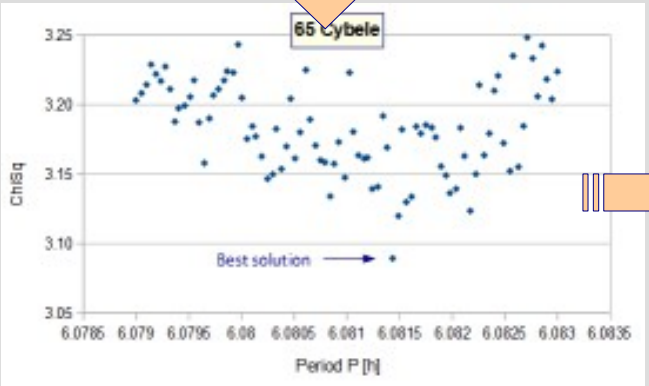


Curve di luce

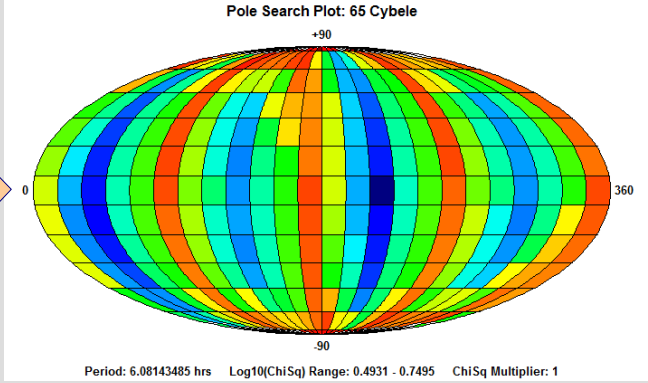
Psid = 6.081434 h ± 0.000005
λ = 208°, β = -7°
λ = 27°, β = -14°

λ° e β° sono la longitudine e la latitudine eclittica dell'orientamento del polo nord dell'asteroide.





Periodo siderale

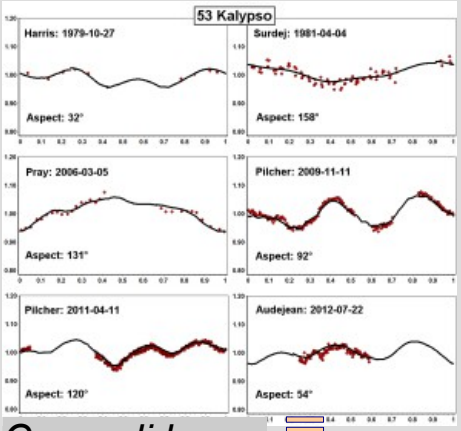


Orientamento del polo

Pubblicato sul MPB 42.3 e sul sito Damit.

53 Kalypso

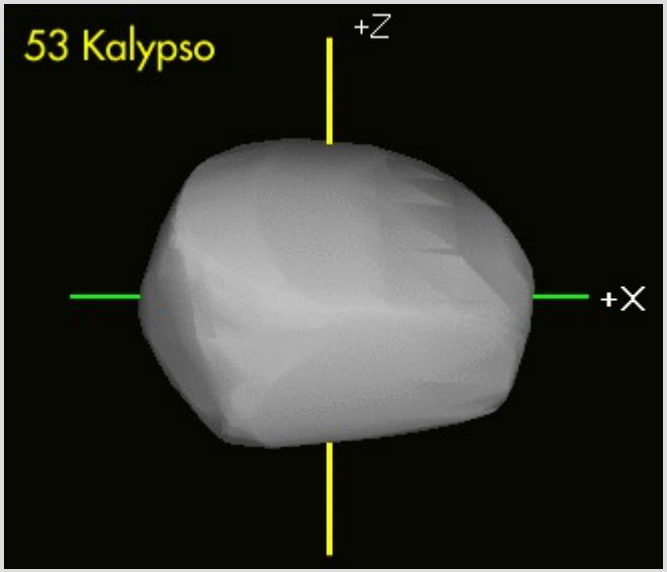
Kalypso *è un asteroide molto scuro (tipo Xc) del diametro di 91 km, osservato per 6 apparizioni nel corso degli ultimi 37 anni. C'erano pertanto sufficienti curve di luce per tentare di determinare l'orientamento del polo di rotazione (spin axis) e l'aspetto morfologico 3D dell'asteroide.*



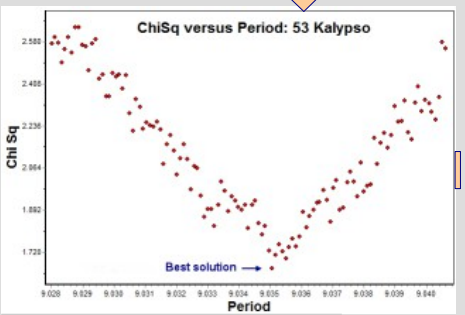
Curve di luce

Psid = 9.035058 h ± 0.000008
λ = 168°, β = 12°
λ = 349°, β = 8°

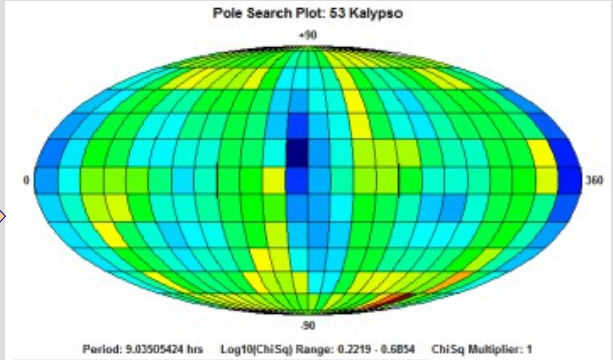
λ° e β° sono la longitudine e la latitudine eclittica dell'orientamento del polo nord dell'asteroide.



Pubblicato sul MPB 43.3 e sul sito Damit.



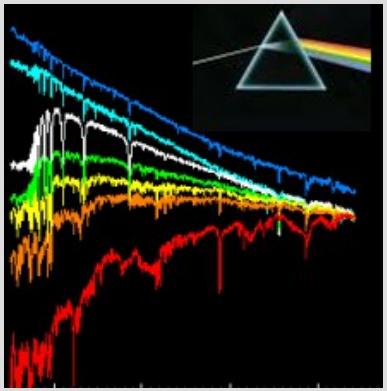
Periodo siderale



Orientamento del polo

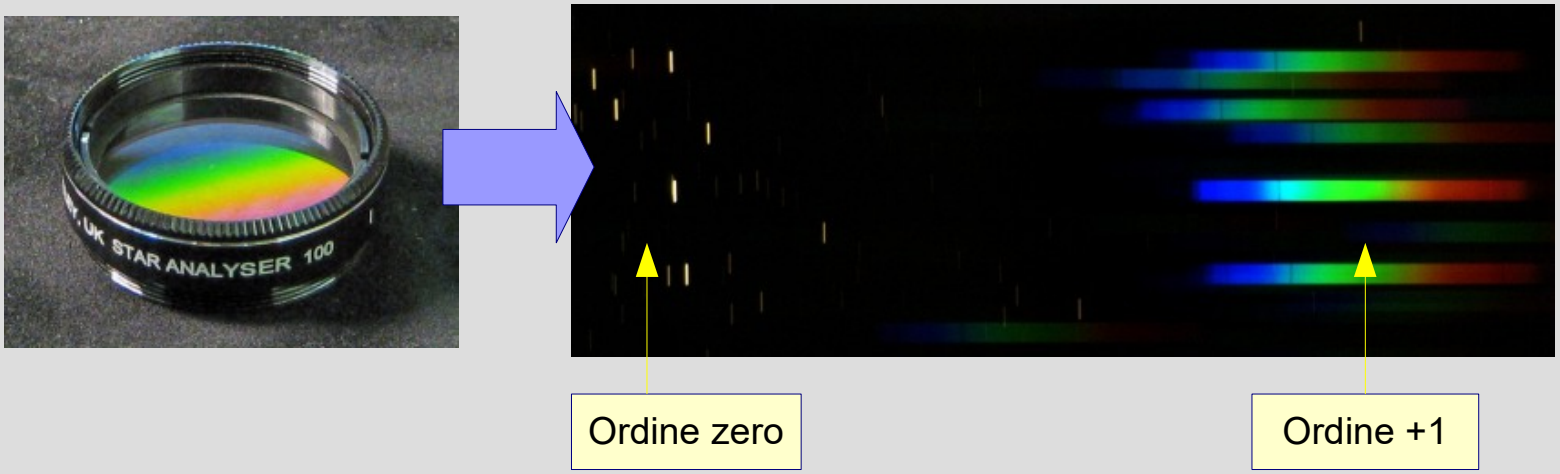
Spettroscopia

Spettroscopia

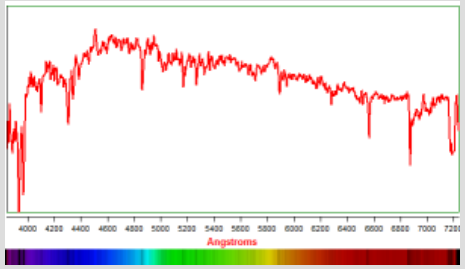


La spettroscopia è un potente strumento di analisi, attraverso il quale possiamo ricavare molte delle caratteristiche fisiche delle sorgenti luminose. Gli spettri in luce visibile registrano il flusso luminoso di una sorgente dalle lunghezza d'onda del violetto fino a quelle del rosso.

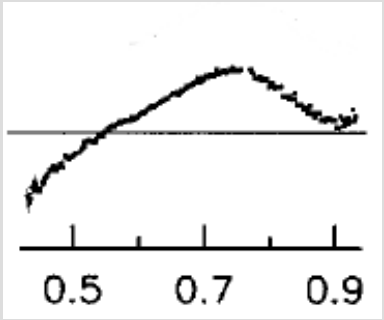
Per gli astrofili il modo più semplice ed immediato di approcciare al mondo della spettroscopia è attraverso un reticolo di diffrazione (Star Analyser) anteposto alla camera di ripresa.



Spettri di riflettanza



All' osservazione spettroscopica un asteroide ci mostrerà sostanzialmente lo spettro solare (classe G2V) poiché ne riflette la luce.



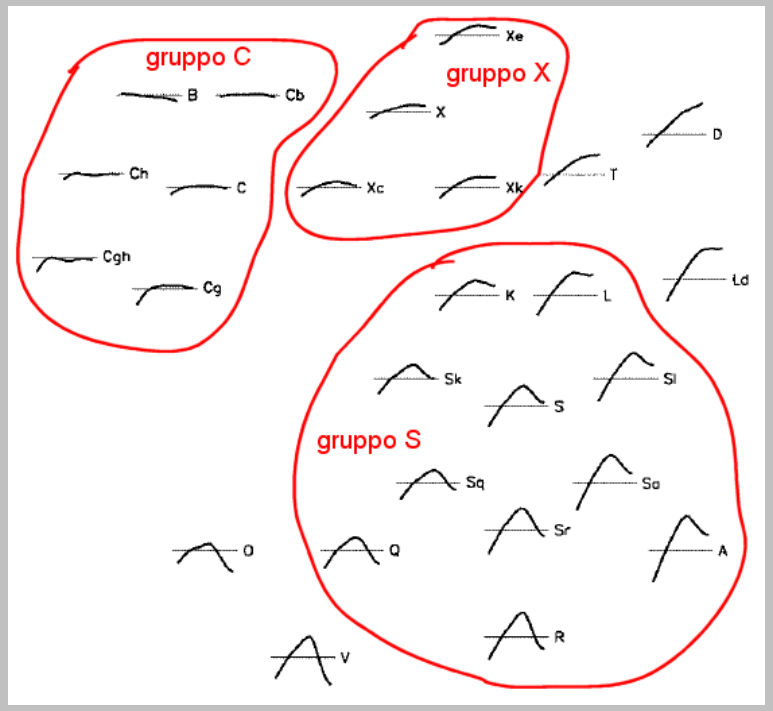
Se dividiamo lo spettro di un asteroide con quello di una stella di tipo solare isoliamo il solo contributo riconducibile alla sua superficie ed al materiale di cui è composto. Questi spettri prendono il nome di spettri di riflettanza.

Gli spettri di riflettanza degli asteroidi sono direttamente correlati alla loro composizione fisica e rappresentano quindi la base con cui possono essere classificati.

Classificazione Tassonomica

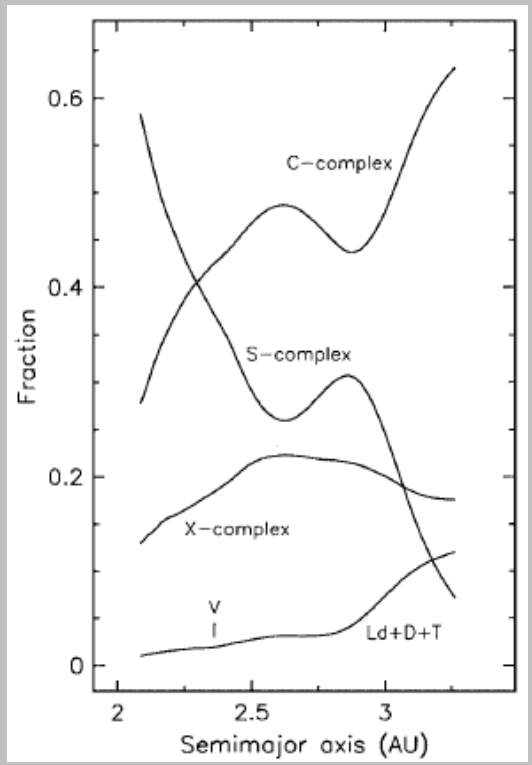
La classificazione Small Main-Belt Asteroid Spectroscopy SMASSII (Bus & Binzel 2002) raggruppa gli asteroidi in tre gruppi principali:

avg spectral slope →



1-µm band ↓

- ***gruppo C***: *Carbonacei molto scuri*
- ***gruppo S***: *Silicacei di medio albedo*
- ***gruppo X***: *Metallici*



Le varie tipologie mostrano una relazione con la distanza dal Sole.

Spettri – cosa occorre

Per effettuare la spettrografia sugli asteroidi non serve molto e probabilmente già disponiamo di quanto ci occorre.

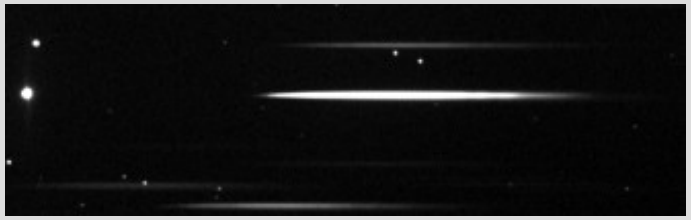
***StarAnalyser**. Rappresenta il cuore di uno spettrografo a bassa risoluzione, attraverso il quale possiamo ottenere spettri in luce visibile dal violetto al vicino infrarosso.*

***CCD**. Una camera CCD bw di buona sensibilità, indispensabile per registrare il debole flusso luminoso degli asteroidi disperso lungo il sensore.*

***Software.** Per la riduzione degli spettri è possibile utilizzare ISIS, VSpec (gratuiti) o RSpec (a pagamento).*

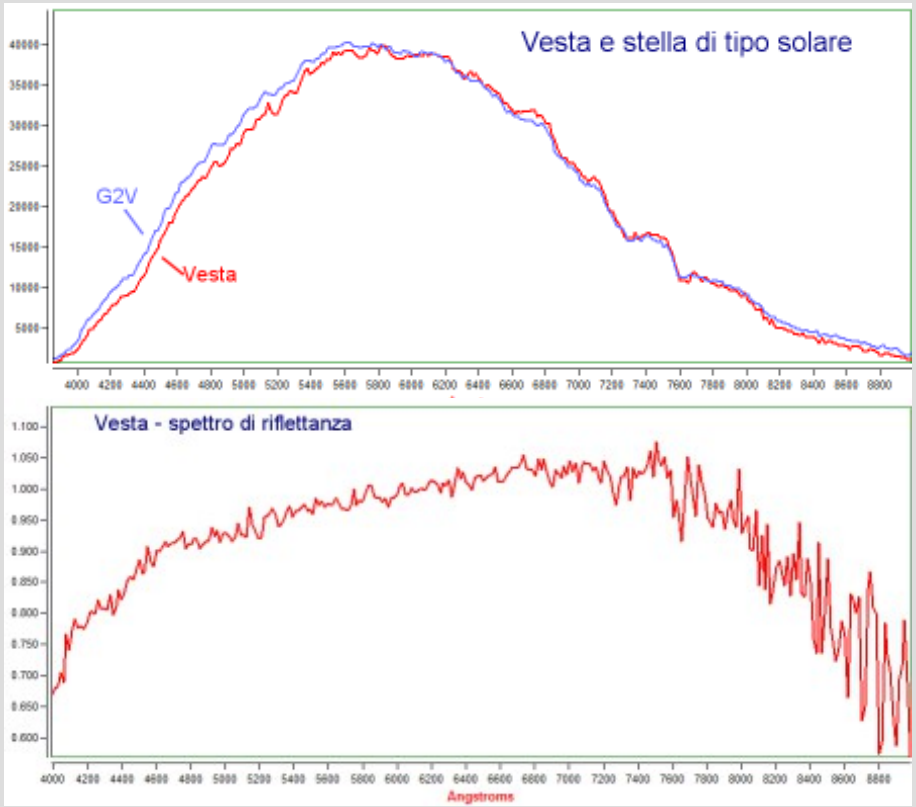
Spettri – come fare

Acquisizione



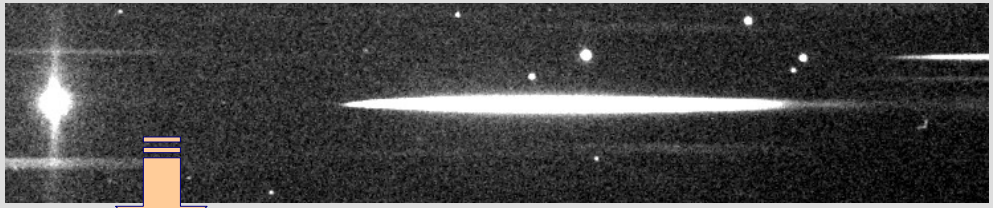
1. *Acquisire numerosi frame dell'asteroide, massimizzando il tempo di esposizione ed evitando "il mosso". I frame vanno poi mediati sul moto dell'asteroide.*
2. *Acquisire lo spettro di una stella di tipo A per la calibrazione in lambda e quello di una stella di tipo solare (G2V) posta alla <u>stessa massa d'aria</u> dell'asteroide.*

Riduzione

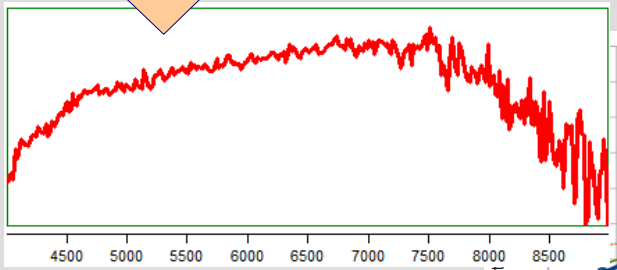


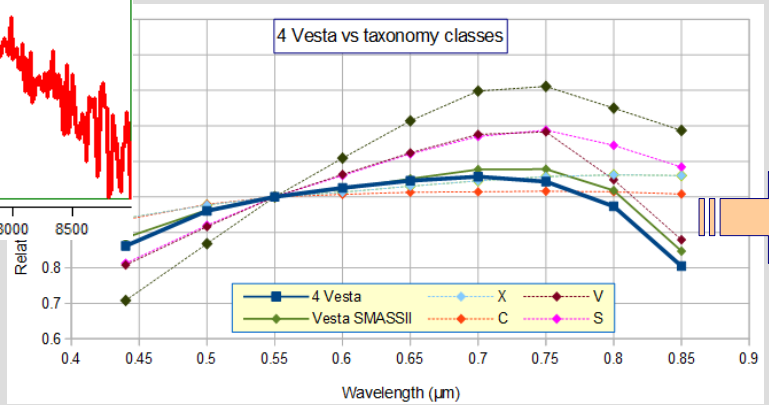
3. *Calibrare in lambda la stella di tipo A per ottenere la relazione: pixel - Angstrom.*
4. *Calibrare in lambda lo spettro dell'asteroide e quello della stella di tipo solare usando la relazione precedente.*
5. *Dividere lo spettro dell'asteroide con quello della stella di tipo solare (G2V) per ottenere lo spettro di riflettanza.*

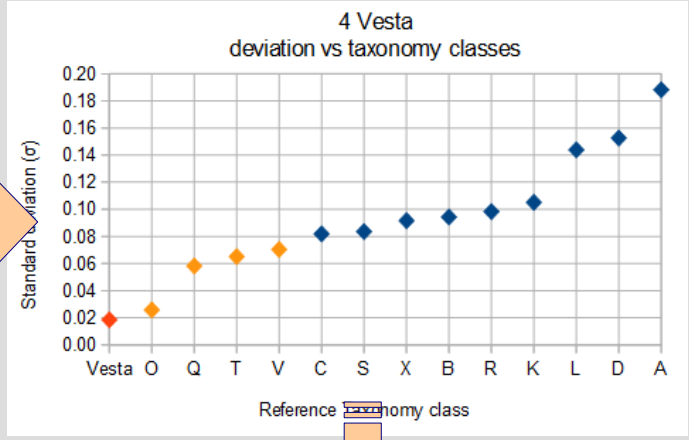
Lo spettro di Vesta



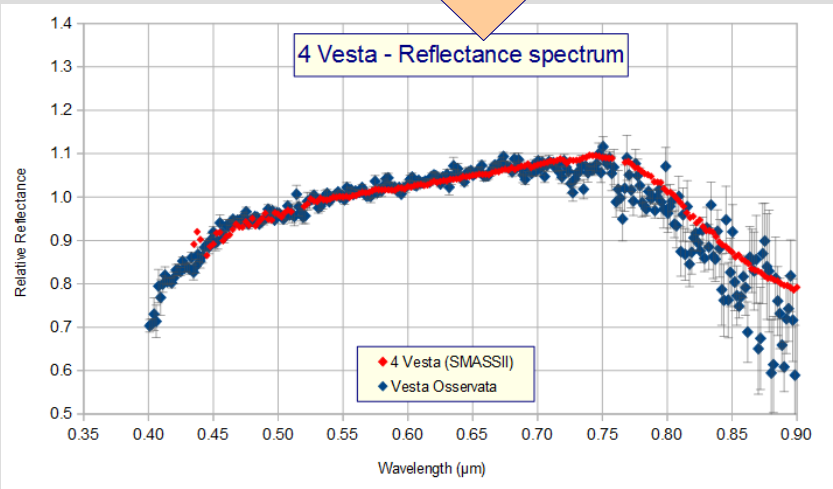
L'asteroide è stato osservato il 28 giugno 2014. Media di 3 frame da 120 secondi. Magnitudine 7 (V).



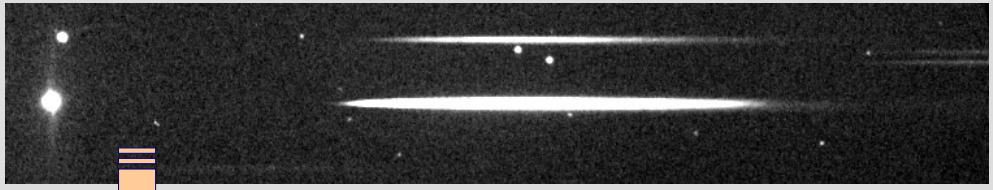




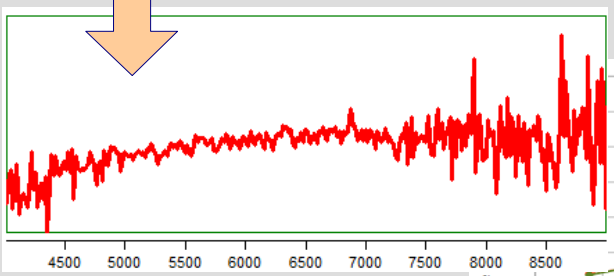
Lo spettro osservato coincide abbastanza bene con quello della survey SMASSII. Piuttosto rumorosa la regione del vicino infrarosso.

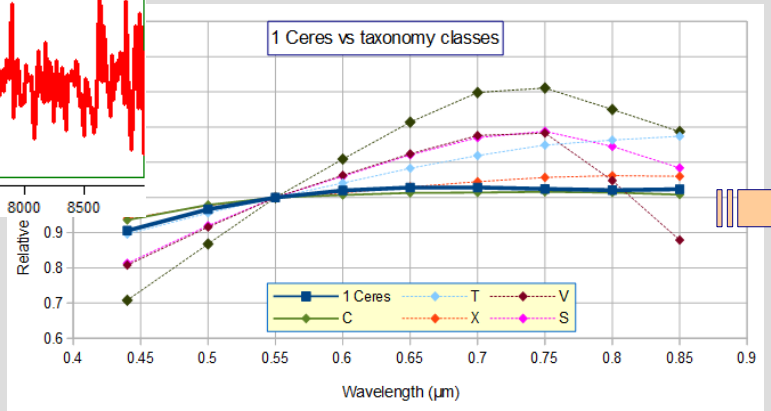


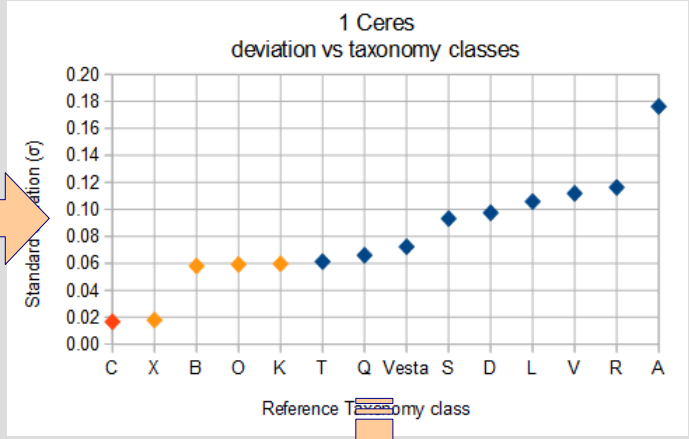
Lo spettro di Ceres

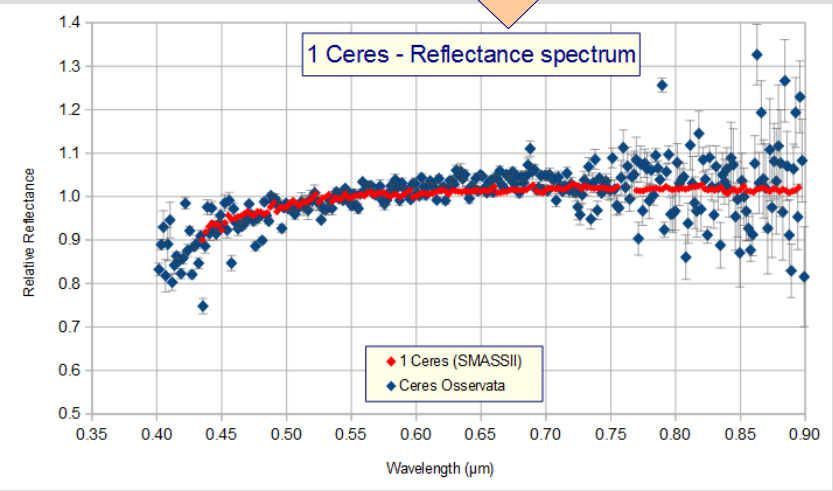


L'asteroide è stato osservato il 28 giugno 2014. Media di 5 frame da 120 secondi. Magnitudine 8.3 (V).



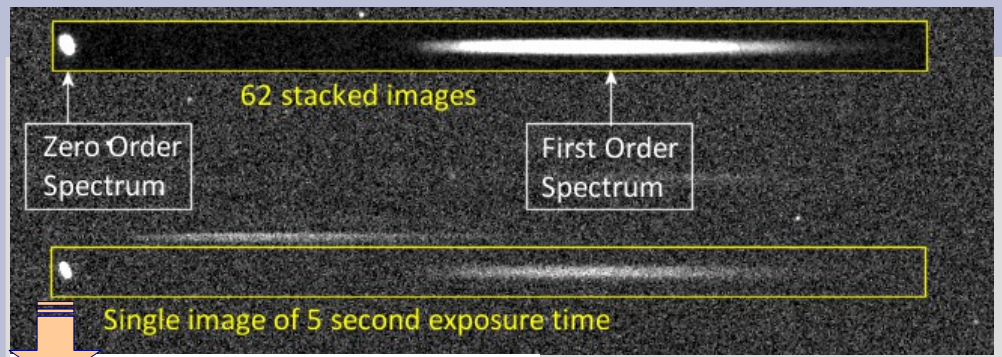






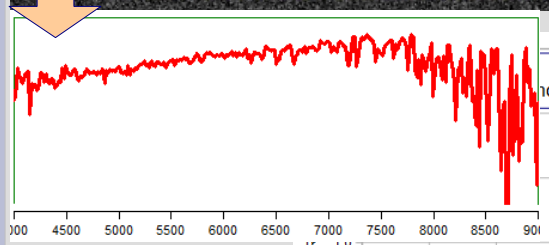
Lo spettro osservato coincide abbastanza bene con quello della survey SMASSII. Piuttosto rumorosa la regione del vicino infrarosso.

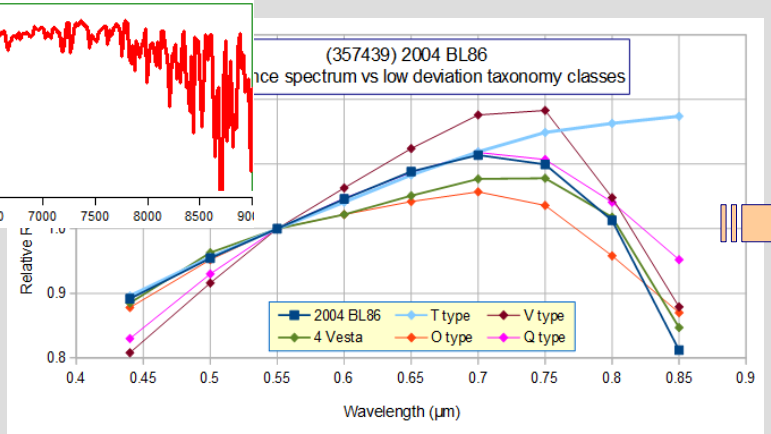
Lo spettro di (357439) 2004 BL86

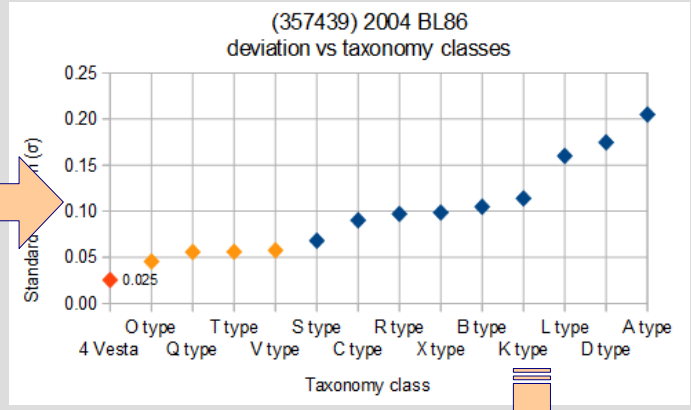


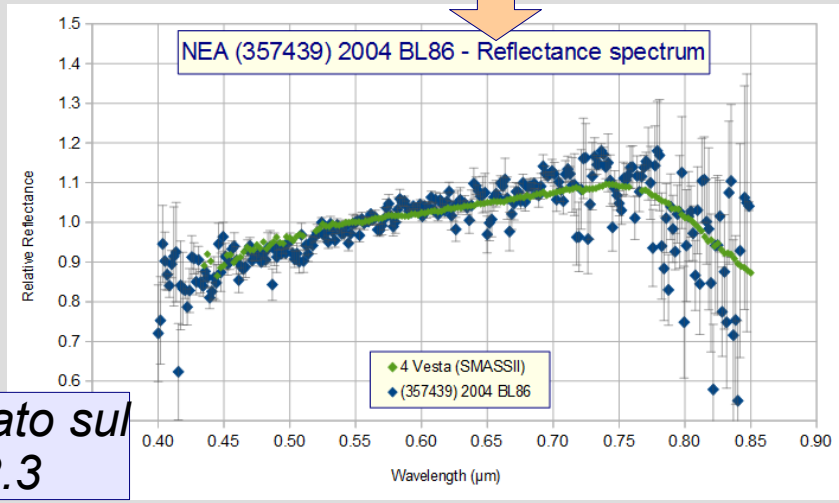
L'asteroide è stato osservato durante il flyby del 26 gennaio 2015 mentre si muoveva a 147 arcsec/min. Media di 62 immagini da 5 sec. Magnitudine 9.7 (R).

Immagine radar ripresa dal Goldstone





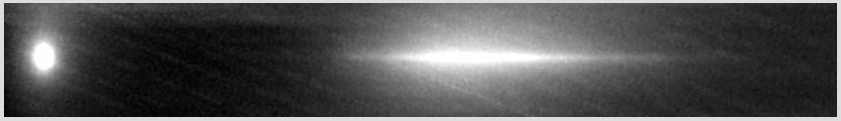




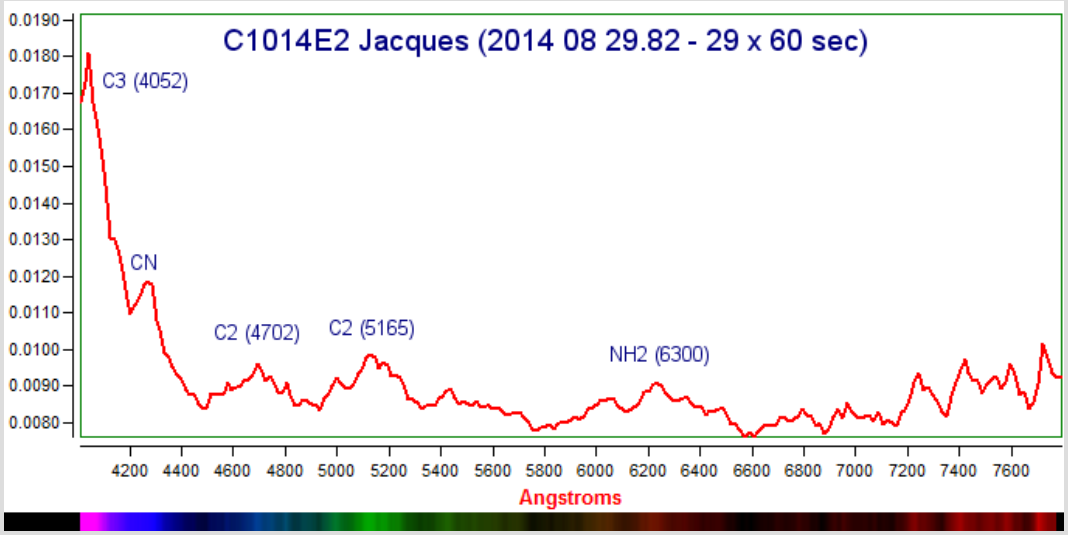
Lo spettro di 2004 BL86 coincide piuttosto bene con quello di Vesta (SMASSII). Possiamo quindi concludere che il NEA è della stessa tipologia di Vesta.

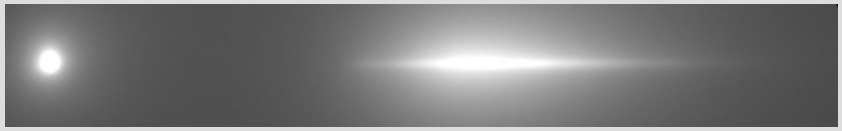
Pubblicato sul MPB 42.3

… anche lo spettro di due comete

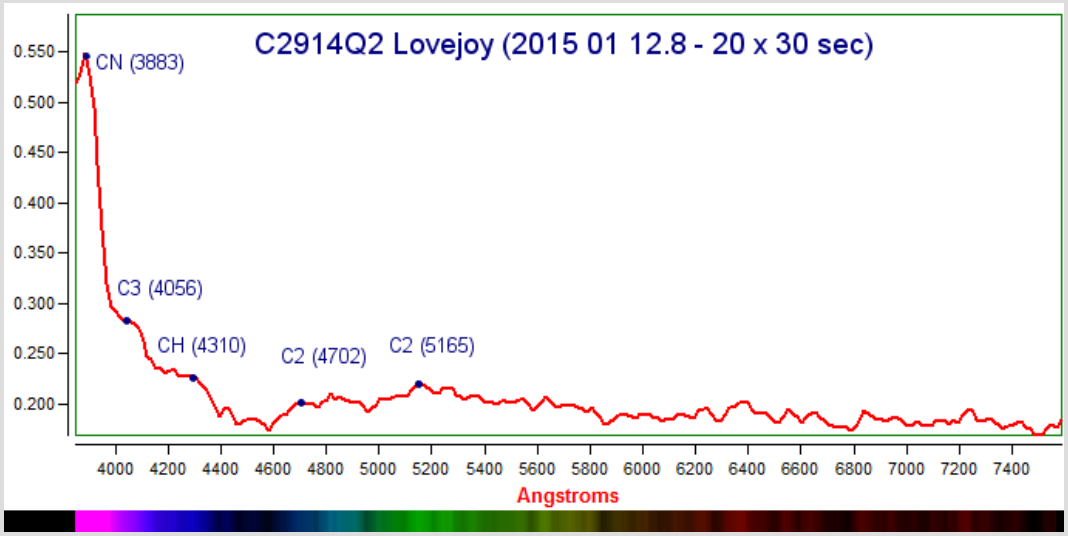


C/2014 E2 (Jacques) - 2014 08 28.8 – mag 7 (V) – 8.8 arcsec/min - 29 pose da 60 secondi ottenute con StarAnalyser.

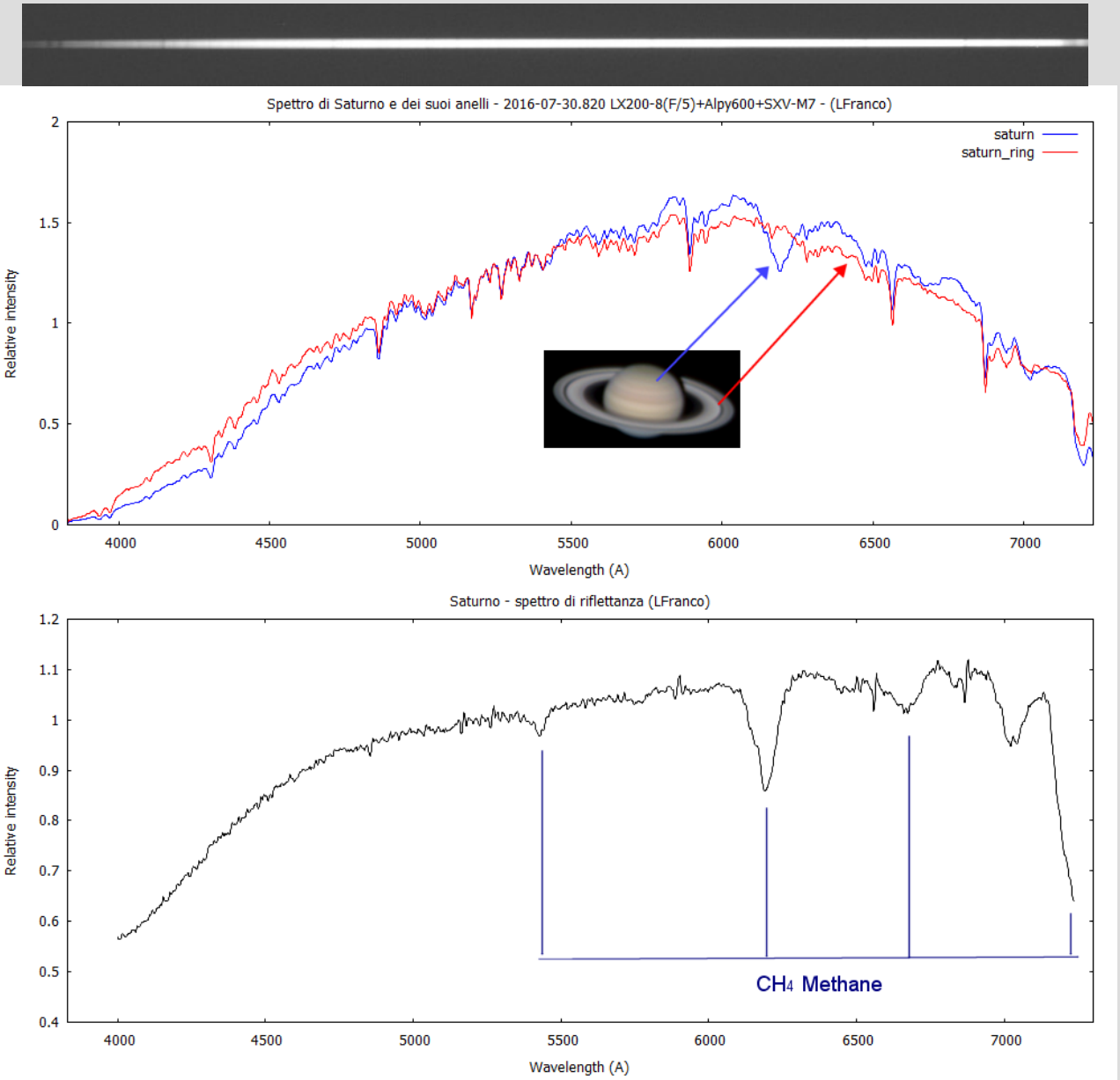




C/2014 Q2 (Lovejoy) – 2015 01 12.8 – mag 4 (V) – 7.1 arcsec/min - 20 pose da 30 secondi ottenute con StarAnalyser.



… e di Saturno



Lo spettro di Saturno e dei suoi anelli ripreso con uno spettrografo a fenditura Aply600.

Lo spettro di riflettanza mostra chiaramente le bande di assorbimento molecolare del metano CH_4.

… per concludere

L'inversione delle curve di luce permette di incrementare il limitato numero di asteroidi di cui si conosce l'orientamento del polo e la morfologia, arricchendo così il campione su cui basare le successive analisi statistiche.

La spettroscopia applicata agli asteroidi, ed in particolare alla popolazione dei NEA, apre degli interessanti scenari di studio per gli astrofili.

L'uso del reticolo di diffrazione StarAnalyser, nonostante la bassa risoluzione, permette di effettuare una preliminare classificazione tassonomica di NEA veloci e poco luminosi.

Se volete possiamo collaborare !!!

Domande