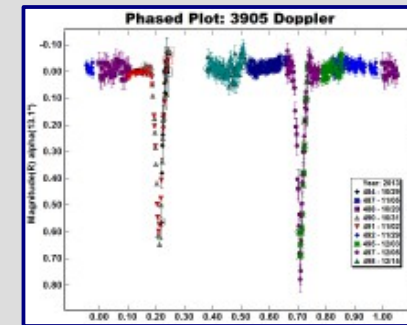
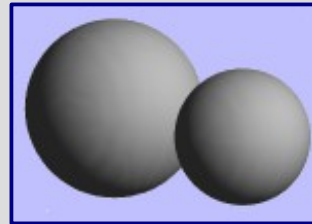
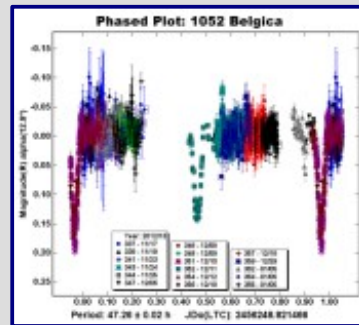


Asteroidi Binari



Meeting: Asteroidi, Meteore, Comete
29-30 marzo 2014 – Arcetri (FI)



- Lorenzo Franco – A81 Balzaretto Observatory, Rome

Premessa

Gli asteroidi binari sono formati da due o più corpi legati gravitazionalmente che orbitano intorno al comune centro di massa. Furono teorizzati nel corso del secolo scorso, raccogliendo diverse prove indirette della loro esistenza (occultazioni e curve di luce anomale). Si riteneva comunque fossero rari ed estremamente difficili da osservare.

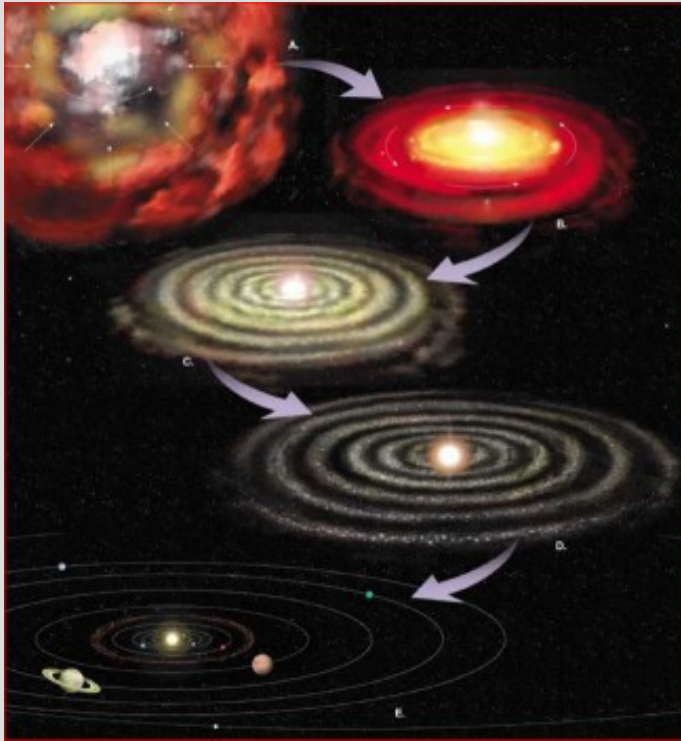


L'asteroide 243 Ida (32 km) con il suo piccolo satellite Dactyl (1.4 km) scoperto nel 1993 dalla sonda Galileo diretta verso Giove.

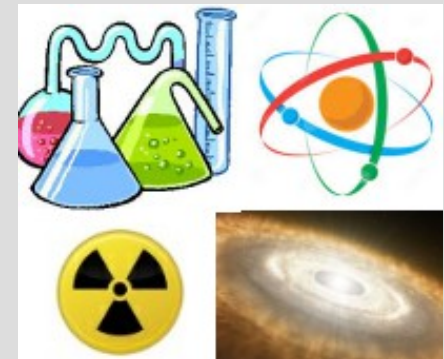
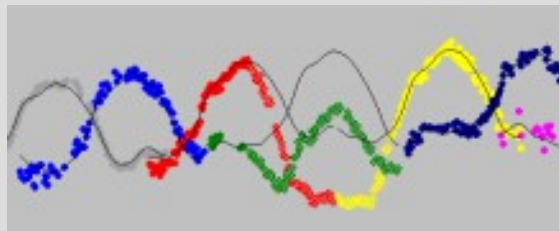
*Fu grande la sorpresa, quando nel 1993 la sonda **Galileo**, diretta verso **Giove**, scoprì casualmente che l'asteroide **243 Ida** aveva una piccola luna (**Dactyl**).*

Da allora sono stati scoperti più di 200 asteroidi binari con metodi fotometrici, radar e attraverso la rilevazione diretta (telescopio spaziale o grandi telescopi a terra con ottiche adattive).

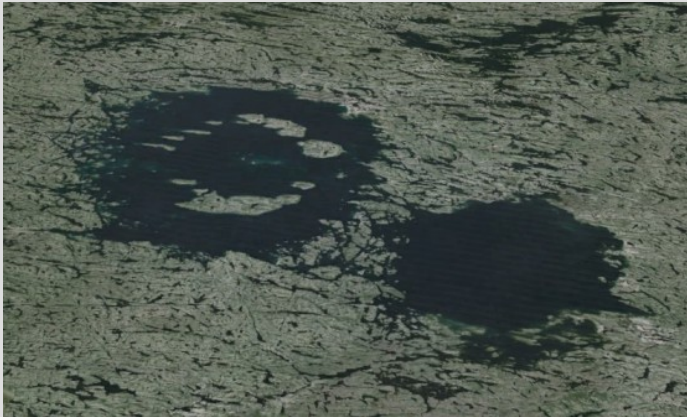
L' importanza



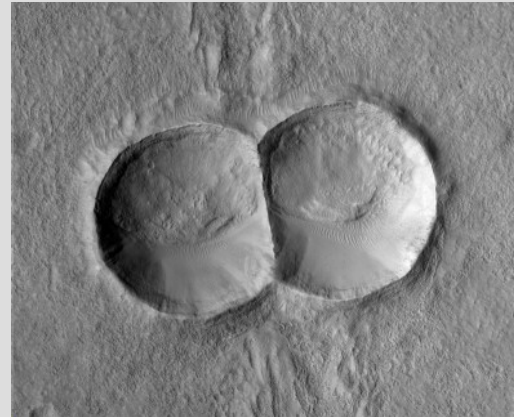
*Gli asteroidi binari rivestono un particolare interesse scientifico poiché rappresentano un **laboratorio naturale** nel quale **sperimentare** i risultati delle **collisioni** e delle **interazioni gravitazionali**, all'origine della formazione del sistema solare, permettendo di stimare parametri fisici (massa e densità) altrimenti difficilmente derivabili.*



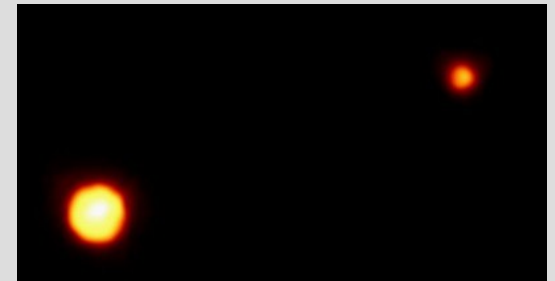
Qualche esempio concreto



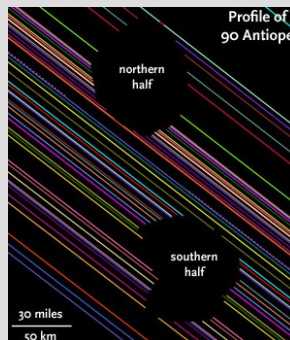
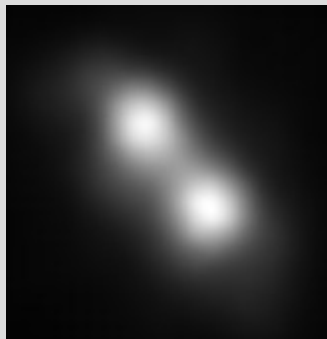
I laghi Clearwater in Canada, rispettivamente di 36 e 26 km, la cui origine è riconducibile all'impatto di un asteroide doppio avvenuto circa 290 milioni di anni fa. (immagine Landsat di Google earth).



Doppio cratere meteorico su Marte, formatosi dall'impatto di un asteroide doppio. (immagine NASA).



La coppia Plutone e Caronte (immagine Hubble Telescope).



90 Antiope. Immagine della scoperta con il telescopio Keck (Mauna Kea Hawaii) (Merline, et al., 2000).

Occultazione del 2011 della stella LQ Aquarii (IOTA).

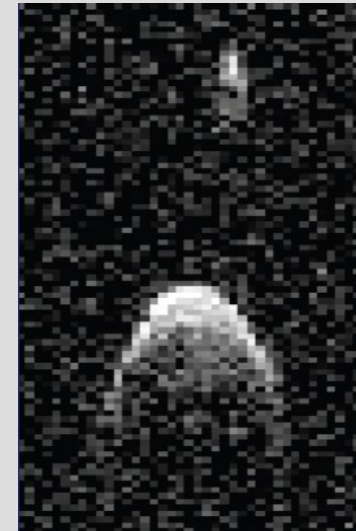
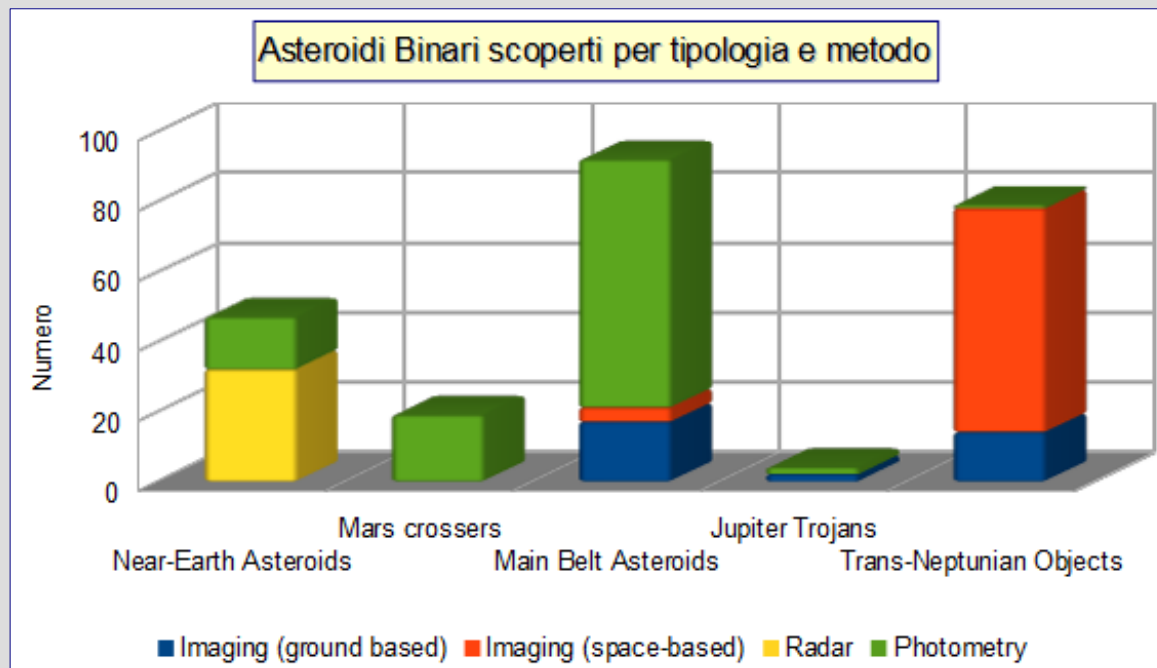


Immagine radar dell' asteroide binario NEA (153958) 2002 AM31 (Taylor, Arecibo Observatory).

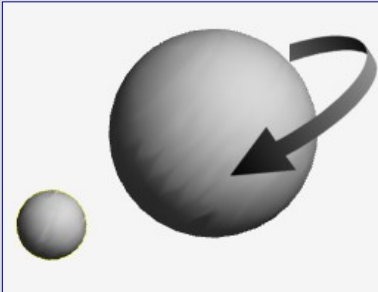
Le scoperte

Gli asteroidi binari scoperti (circa 230) sono distribuiti in tutte le popolazioni asteroidali: Near-Earth Asteroids (NEA), asteroidi di fascia principale (MBA) e trans-nettuniani (TNA). Si stima che il 15% della popolazione dei NEA sia formata da asteroidi binari, che si riduce al 2-4% nella popolazione degli asteroidi di fascia principale.

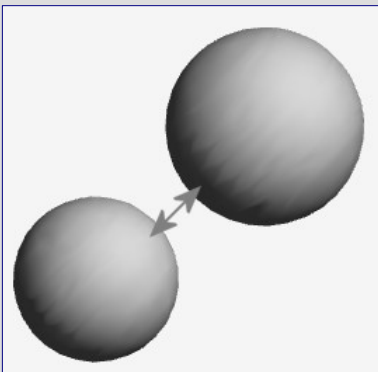


Tra i NEA prevale il metodo di scoperta radar, mentre per i trans-nettuniani prevale quello con il telescopio spaziale. Le tecniche fotometriche giocano un ruolo primario nella scoperta degli asteroidi binari di fascia principale e NEA.

Le tipologie



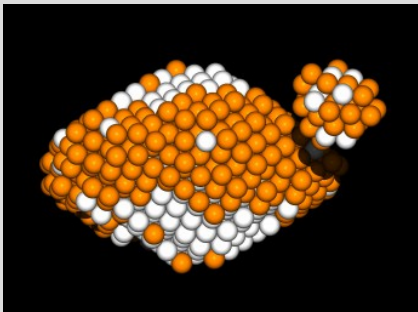
Binari Asincroni: caratterizzati da periodi di rotazione del primario sensibilmente inferiore al periodo orbitale del secondario (satellite), le cui dimensioni sono più piccole del primario ($D_s/D_p \leq 0.5$).



Binari Sincroni: caratterizzati da un periodo di rotazione del primario coincidente con quello orbitale: i due corpi hanno dimensioni quasi simili ($D_s/D_p > 0.5$) e ruotano intorno al comune centro di massa rivolgendosi l'un l'altro sempre la stessa faccia. Sono degli oggetti **piuttosto rari** e ad oggi ne sono stati scoperti poco meno di venti.

I meccanismi di formazione (1/2)

Disgregazione rotazionale



La radiazione solare incidente su di un corpo di forma asimmetrica e di piccole dimensioni crea una forza torcente (effetto YORP) che ne fa aumentare la velocità di rotazione fino al limite critico di rottura (accelerazione centrifuga maggiore di quella gravitazionale). Si ipotizza che questo sia il meccanismo principale di formazione degli asteroidi binari nella popolazione dei NEA e dei piccoli asteroidi di fascia principale (Bottke et al., 2006), caratterizzati da rotazioni rapide e da una bassa separazione delle componenti.

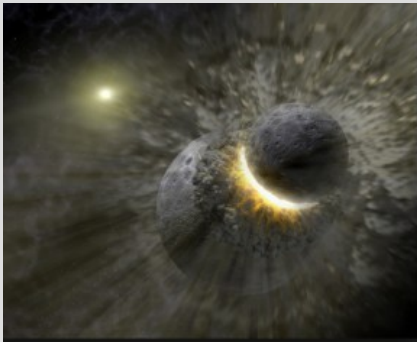
Perturbazioni mareali



Forti perturbazioni mareali, in seguito al passaggio ravvicinato con un pianeta, rappresentano un ulteriore meccanismo di formazione nella popolazione dei NEA (Derek et al., 1998). Si pensi ad esempio al caso della distruzione della cometa Shoemaker-Levy 9 al suo passaggio ravvicinato con Giove.

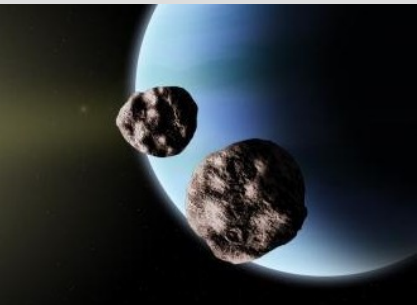
I meccanismi di formazione (2/2)

Impatti catastrofici



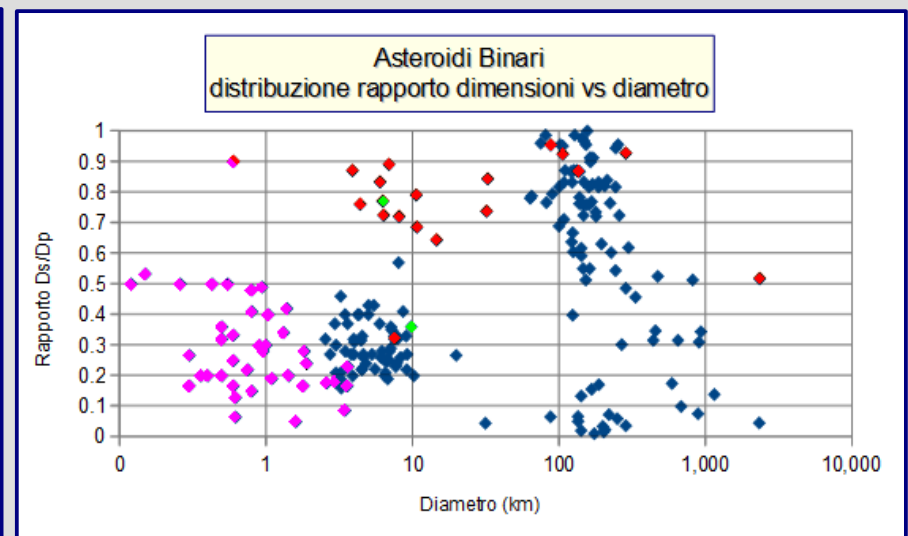
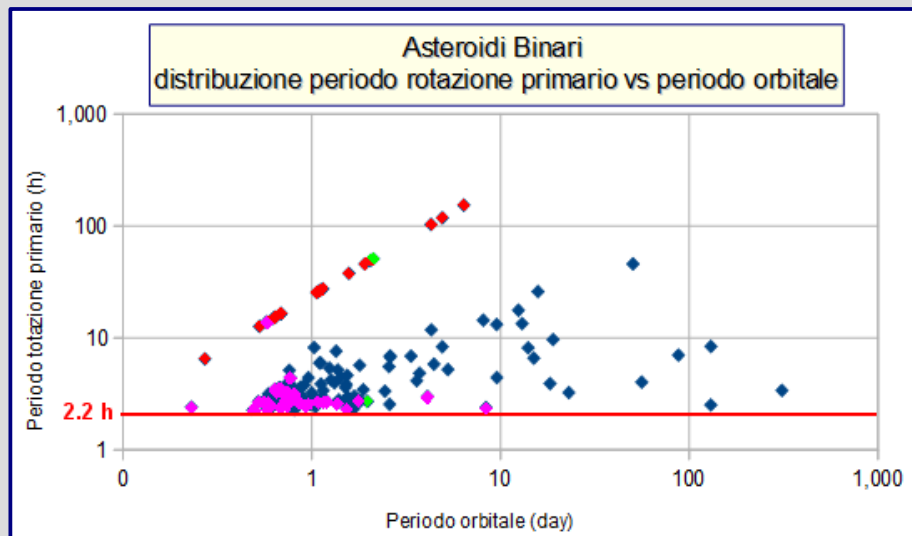
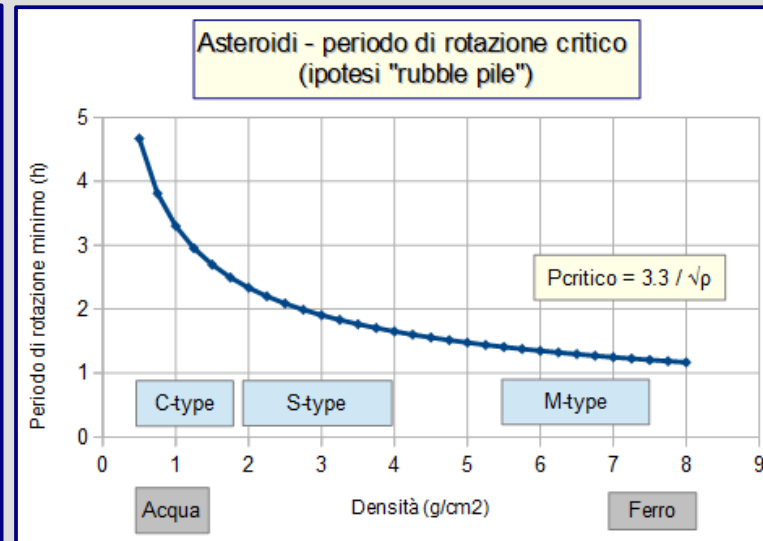
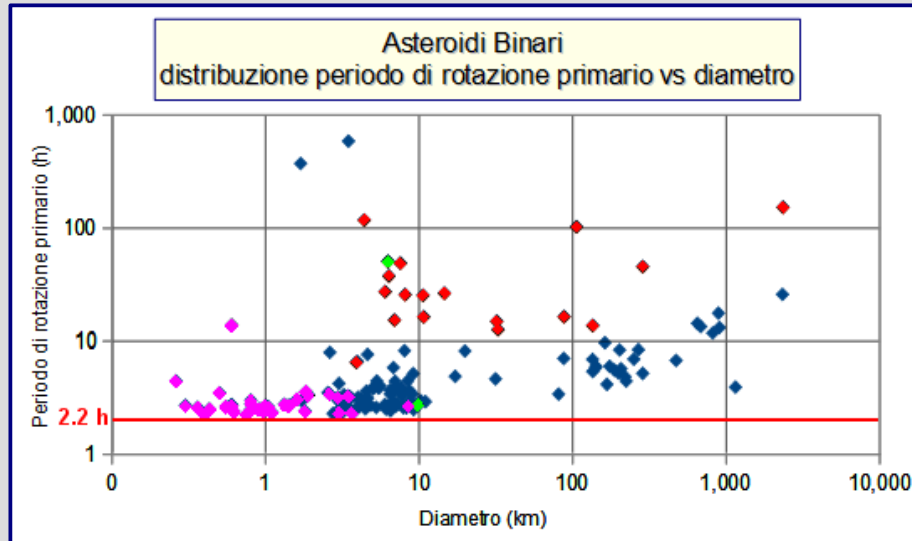
Eventi collisionali, parzialmente o totalmente distruttivi, legati anche alla formazione delle famiglie dinamiche, possono spiegare la formazione di sistemi binari nella popolazione degli asteroidi di fascia principale, come confermato anche da simulazioni dinamiche (Durda et al., 2004). I MBA binari più grandi sono caratterizzati da rotazioni lente e da un' alta separazione delle componenti.

Cattura gravitazionale



La mutua cattura gravitazionale di due corpi rappresenta uno scenario plausibile per la formazione dei binari trans-nettuniani, avvenuta nelle prime fasi di formazione del Sistema Solare (Astakhov et. al., 2005). Questi sistemi sono caratterizzati da una grande separazione delle componenti e da dimensioni confrontabili. Condizioni queste che portano ad escludere le dinamiche collisionali quale causa della loro formazione.

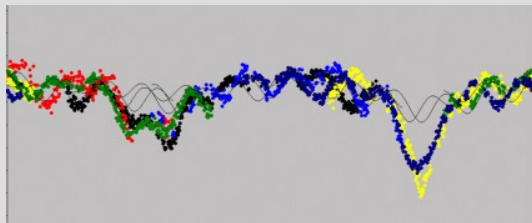
Alcuni dati statistici



L'osservazione fotometrica

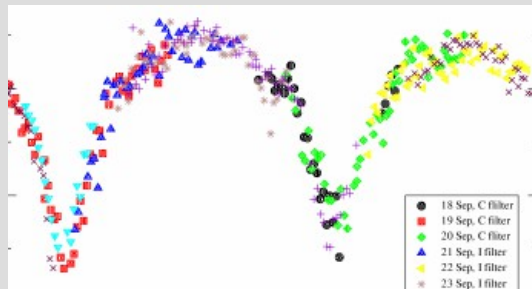
Si possono osservare molti asteroidi binari con i metodi della fotometria CCD e l'analisi delle loro curve di luce (andamento nel tempo delle variazioni luminose). Tali variazioni dipendono principalmente dalla rotazione del corpo principale e dagli eventi mutui di eclisse / occultazione del satellite, i cui effetti si sommano linearmente tra di loro.

$$F(t) = F_1(t) + F_2(t) \quad (\text{rotazione del primario} + \text{rivoluzione del secondario})$$



NEA (66063) 1998 RO1 (Pravec)

Binari Asincroni: caratterizzati da una curva di luce multi-periodica che rappresenta quindi un forte indizio della loro natura binaria.



809 Lundia (Poznan Observatory)

Binari Sincroni: caratterizzati da una curva di luce mono-periodica, simile a quella delle stelle binarie ad eclisse, con minimi profondi a V causati dagli eventi mutui di eclisse / occultazione.

Due casi concreti

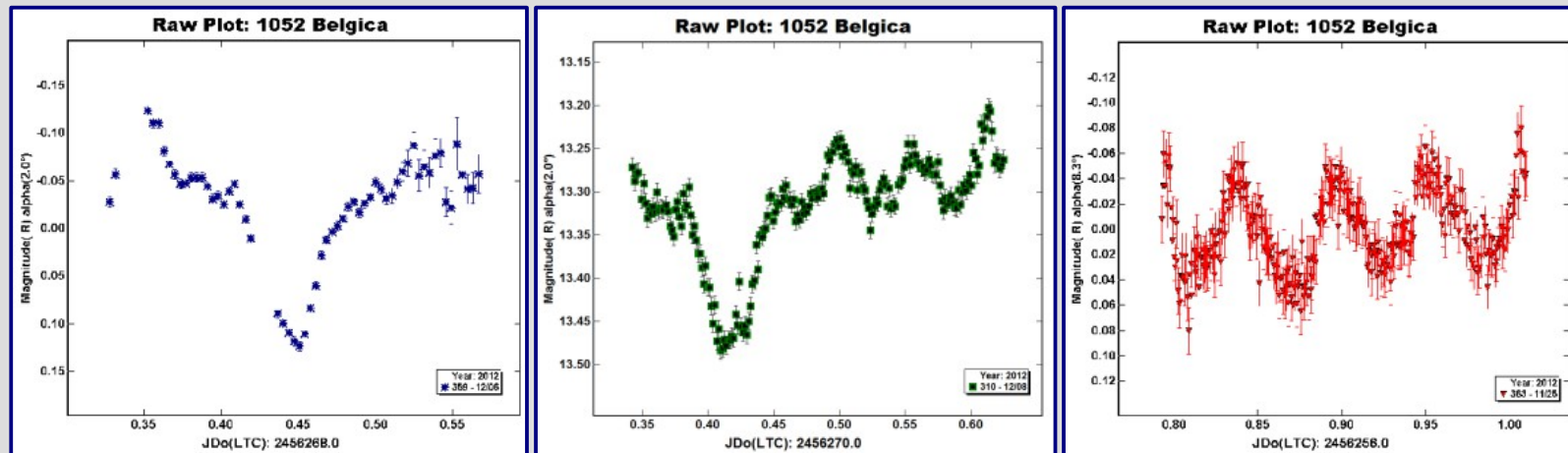
Vedremo adesso due casi concreti, sui quali ho avuto esperienza diretta nelle fasi di scoperta e di analisi dei dati.

1052 Belgica: *scoperto in collaborazione con Andrea Ferrero (Mombercelli, Asti) e Luis Martinez (Arizona, USA) CBET 3372 del 7 gennaio 2013.
Minor Planet Bulletin 40-3 luglio-settembre 2013*

3905 Doppler: *scoperto in collaborazione con la professoressa Melissa N. Hayes-Gehrke (Dipartimento di Astronomia dell'Università Maryland) ed i suoi studenti.
CBET 3755 del 16 dicembre 2013
Minor Planet Bulletin 41-2 aprile-giugno 2014*

1052 Belgica alcune anomalie

L'asteroide 1052 Belgica è un asteroide (MBA) di tipo roccioso (Stony), scoperto il 15 novembre del 1925 da Eugène Joseph Delporte in Belgio, orbita ad una distanza di 2.24 UA in 3.3 anni.

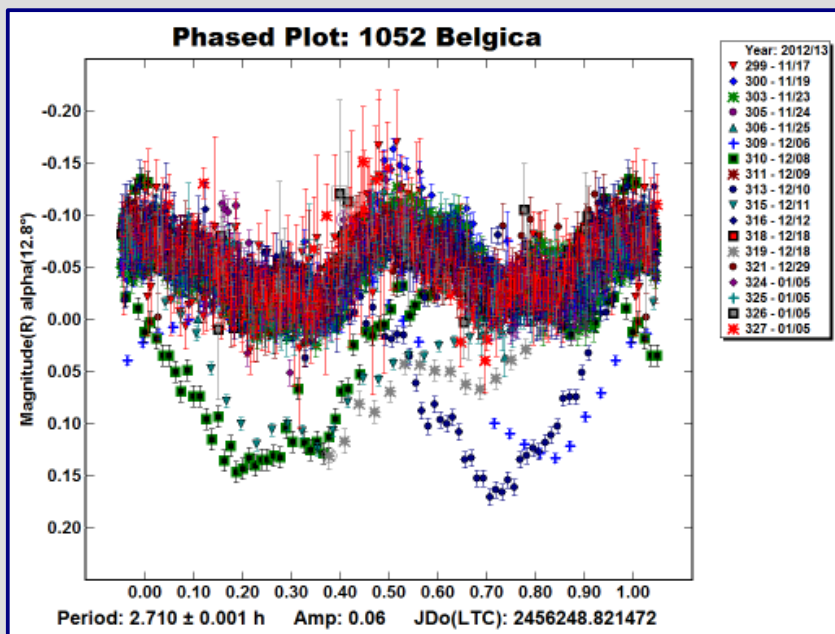


Le sessioni osservative acquisite (nov-dic 2012) in Italia mostravano dei minimi profondi a V, mentre quelle acquisite in Arizona mostravano un andamento sinusoidale di bassa ampiezza.

1052 Belgica

La curva di luce composita

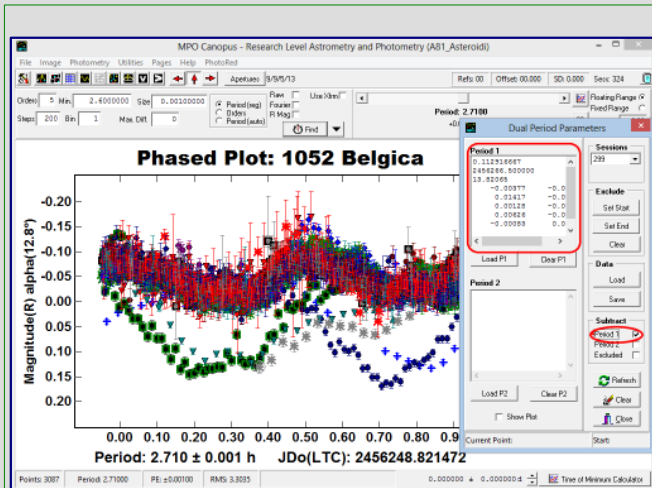
*Per la fotometria e l'analisi dei dati è stato utilizzato MPO Canopus che implementa l'algoritmo **FALC** (Fourier Analysis of Light Curves) e la funzione **Dual Period Search** per la ricerca del doppio periodo che caratterizza gli asteroidi binari (rotazione del primario e rivoluzione del satellite).*



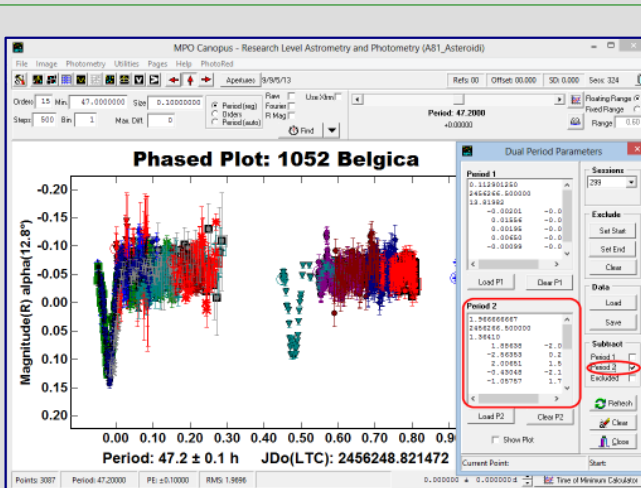
La curva di luce composita, fasata sul periodo principale di 2.7h mostra delle variazioni periodiche residuali che fanno pensare alla presenza di un periodo secondario.

1052 Belgica

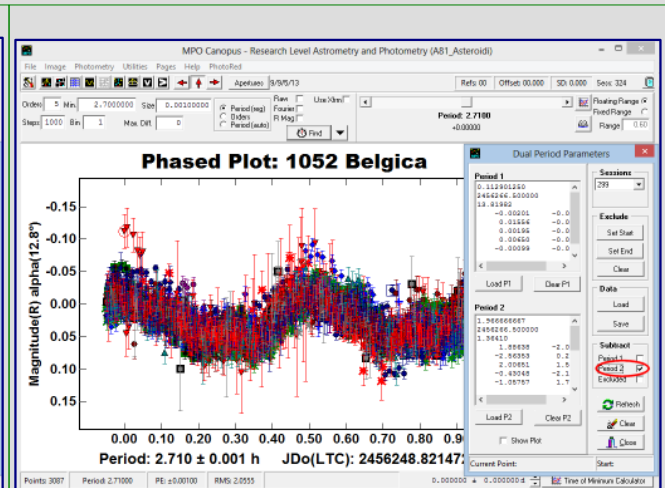
La ricerca del doppio periodo



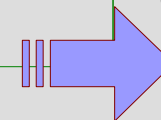
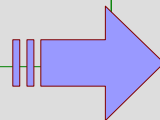
Con la funzione Dual Period Search si ricerca dapprima il periodo di rotazione del primario.



Sottraendo il periodo primario, si ottiene il periodo secondario (orbitale).



Sottraendo il periodo secondario (orbitale) si ottiene ancora il periodo principale, depurato però dagli eventi mutui.

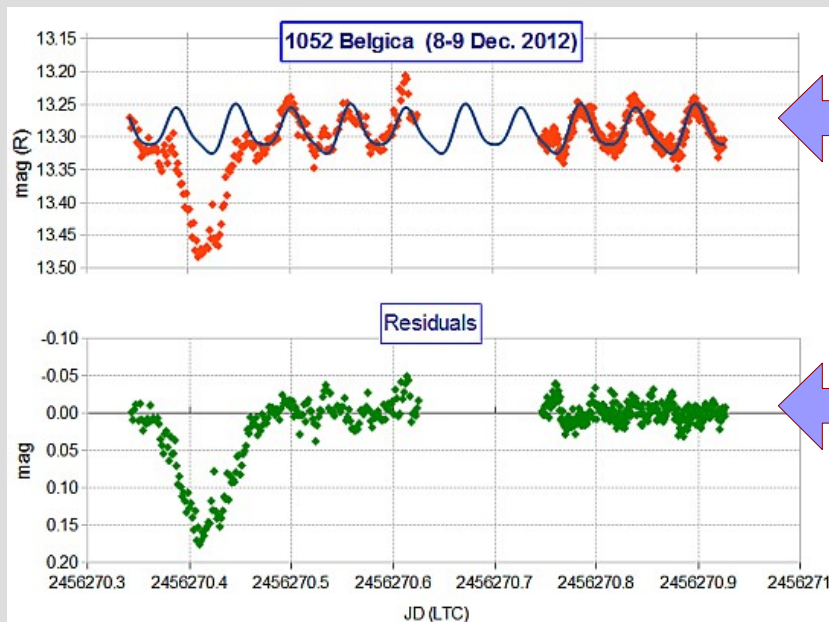


1052 Belgica

La scomposizione in serie

Da un punto di vista matematico la curva di luce non è altro che la somma di una serie di componenti sinusoidali, sviluppabile con un foglio di calcolo (i coefficienti si ottengono da MPO Canopus).

$$M(t, P) = a_0 + \sum_{i=1}^n [a_i \sin(2\pi t/P) + b_i \cos(2\pi t/P)]$$



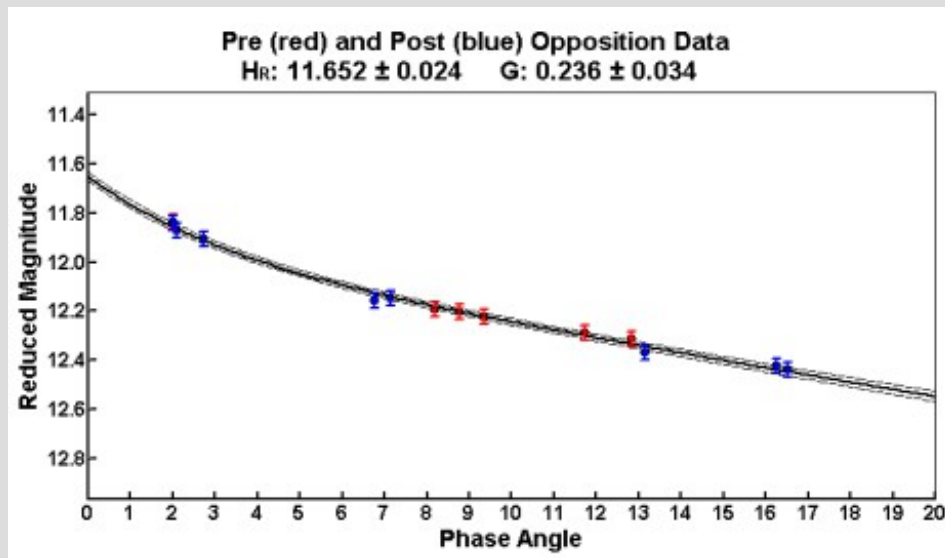
Il fit della curva di luce originale con la risultante della serie di Fourier che ne descrive il periodo principale.

La differenza (residui) tra la curva di luce originale e la serie di Fourier del periodo principale, permette di isolare in modo chiaro gli eventi mutui di eclisse / occultazione che caratterizzano il periodo secondario (orbitale).

1052 Belgica

La curva di fase H-G

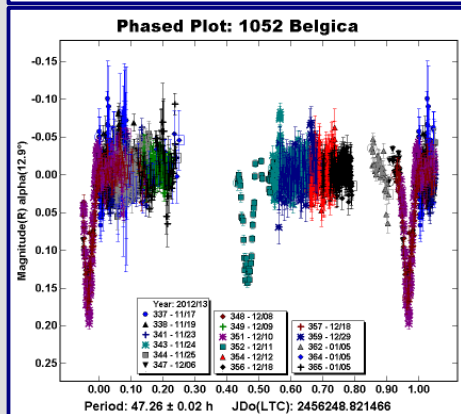
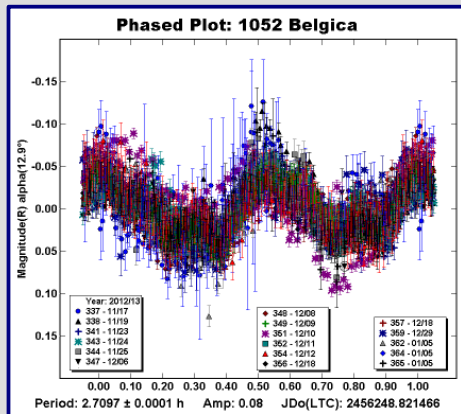
*L'ampio angolo di fase coperto durante le osservazioni (da 2 a 17 gradi) ha permesso di determinare la curva di fase, ossia il grafico che mette in relazione l'andamento della **magnitudine ridotta** (depurata dagli effetti della distanza) al variare dell'angolo di fase formato con la Terra ed il Sole.*



*La magnitudine ridotta ad angolo di fase zero prende il nome di **Magnitudine Assoluta (H)** ed è direttamente legata alla dimensione fisica dell'asteroide. La pendenza invece (Slope Parameter G) è legata alla classe tassonomica.*

1052 Belgica

I dati fisici del sistema



Periodo di rotazione del primario	P1 = 2.7097 ± 0.0001 h (A=0.08 mag)
Periodo orbitale del satellite	Porb = 47.26 ± 0.02 h
Rapporto diametro secondario/primario	D2/D1 ≥ 0.36 ± 0.02
Magnitudine Assoluta & Slope Param.	H = 12.17 ± 0.05 mag, G = 0.24 ± 0.03
Diametro Eq. / Primario / Secondario	Deq = 10.41 ± 0.08 km (fonte wise), Dp= 9.8 km, Ds = 3.5 km (*)
Rapporto semiasse / Diametro primario	a/D1 = 3.9 (*)
Semiasse maggiore orbita	a = 38 km (*)
Densità	P = 2.3 g/cm³ (*)

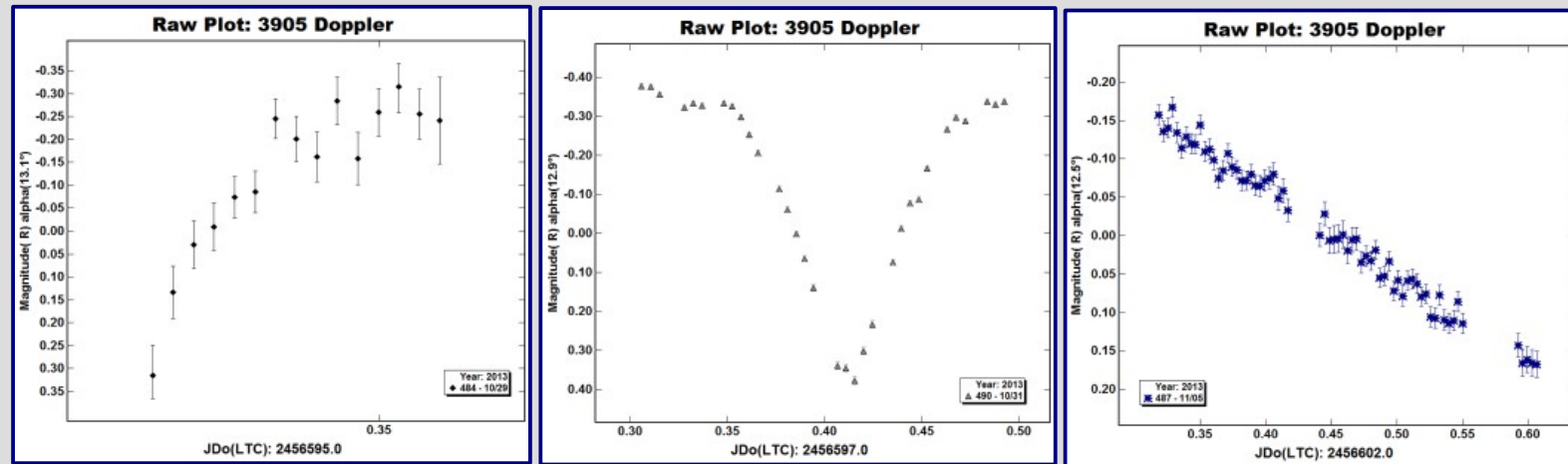
(*) Pravec P. Binary Asteroid Parameters (2013)



3905 Doppler

Alcune anomalie

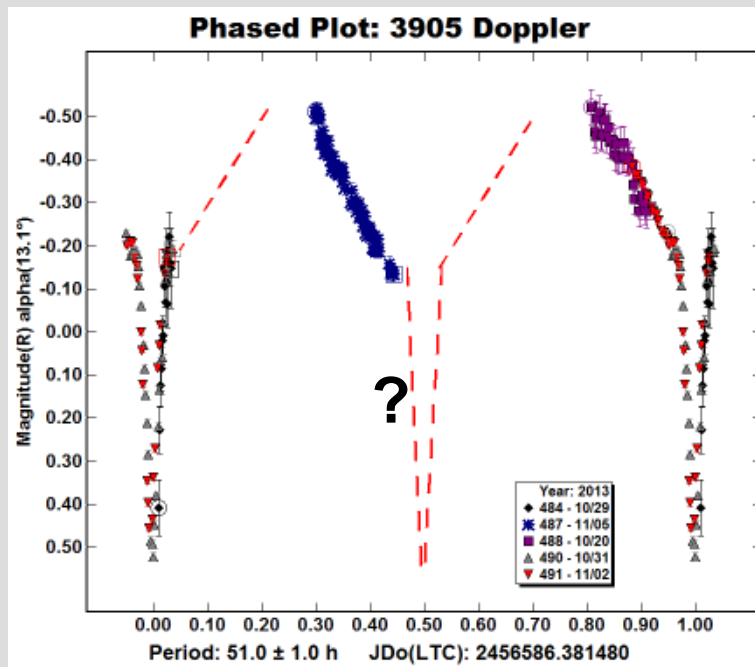
L'asteroide 3905 Doppler venne scoperto il 28 agosto del 1984 dall'astronomo ceco Antonin Mrkos, orbita ad una distanza di 2.6 UA nella fascia principale degli asteroidi in 4.1 anni.



Le prime sessioni osservative acquisite (ott-nov 2013) in Italia e in USA mostravano dei minimi profondi e delle asimmetrie, difficilmente spiegabili attraverso il semplice effetto della rotazione dell'asteroide.

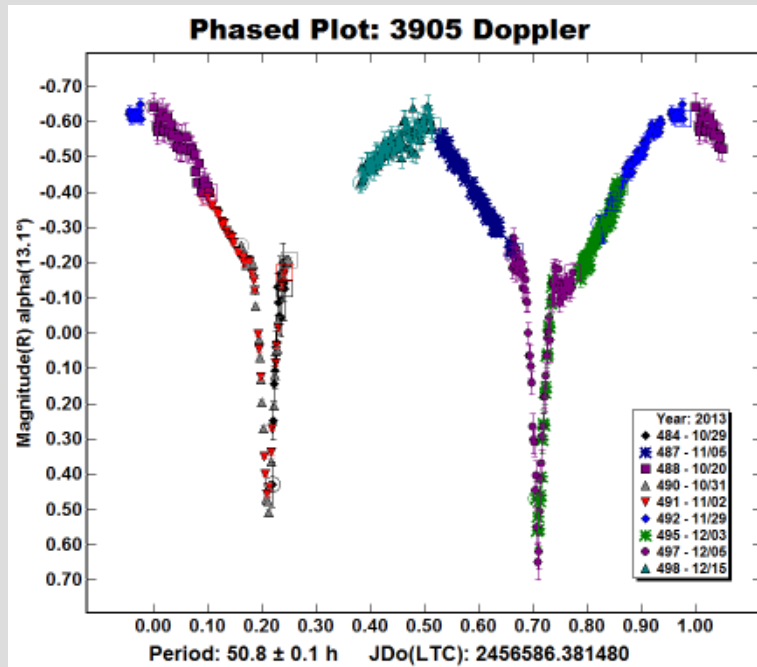
3905 Doppler l'ipotesi binaria

Le cinque curve di luce acquisite fino al 2 novembre 2013 mostravano tre minimi profondi a V che si potevano interpretare attraverso il modello di un asteroide *binario sincrono* con periodo di circa 51h.



Ipotizzando un modello binario non è stato difficile calcolare le effemeridi del minimo mancante ... che andava assolutamente osservato per confermare o smentire l'ipotesi fatta.

3905 Doppler confermata l'ipotesi binaria

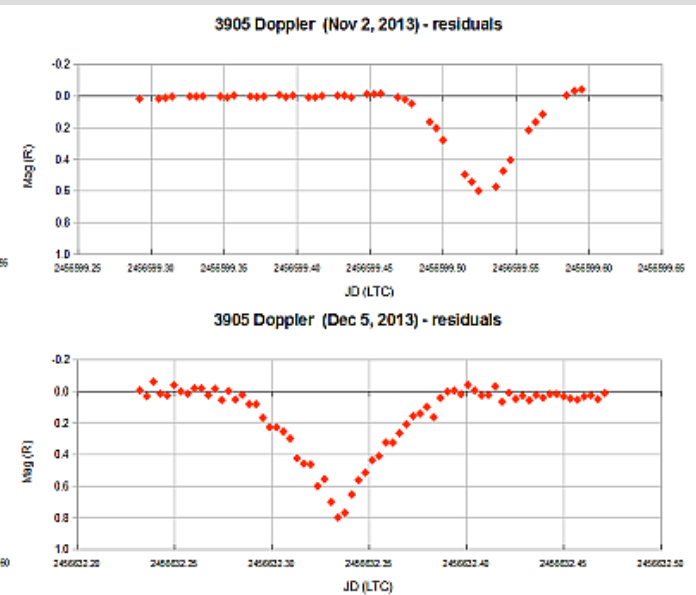
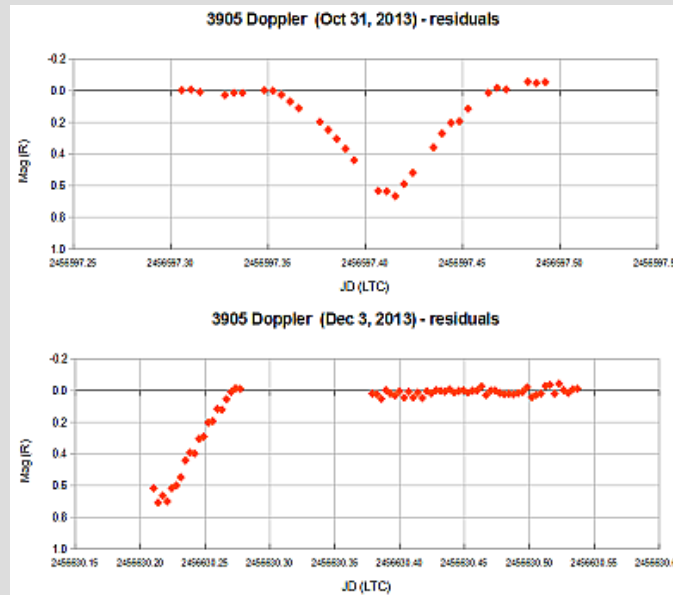
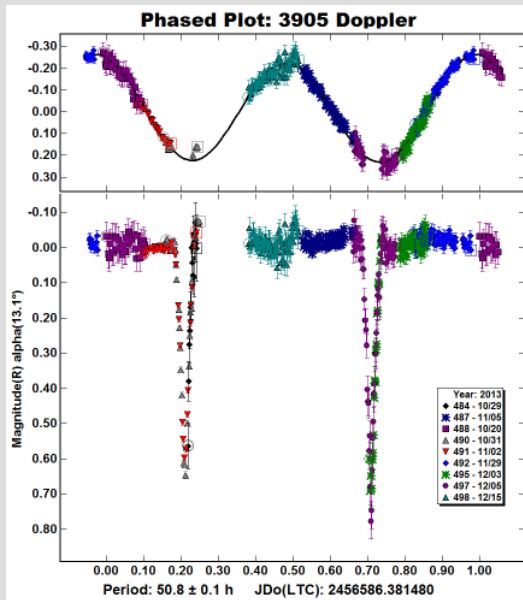


Le successive sessioni mirate, effettuate nella prima metà di dicembre 2013, permisero di confermare l'ipotesi binaria, osservando il minimo principale mancante e buona parte dell'intera curva di luce. Si trattava proprio di un raro asteroide binario sincrono.

Il periodo di rotazione orbitale è risultato di 50.8h con un limite inferiore del rapporto medio D_s/D_p di 0.77, come confermato anche dall'analisi del Dr. Petr Pravec (professionista ceco esperto di asteroidi binari).

3905 Doppler

la scomposizione in serie



Anche le curve di luce mono periodiche degli asteroidi binari sincroni si possono scomporre in serie.

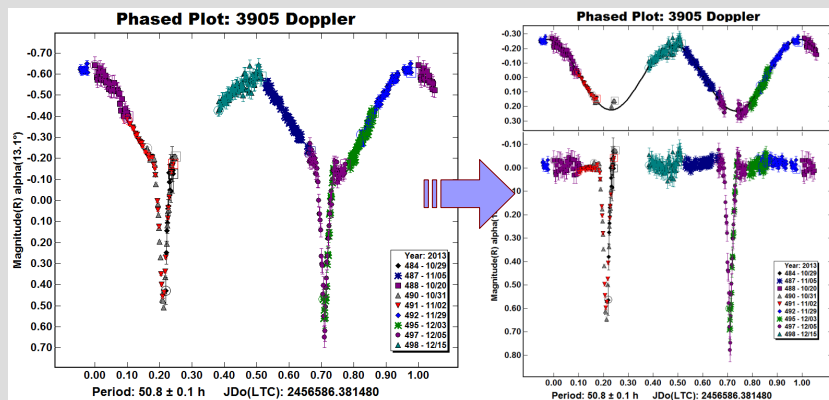
Troviamo una componente rotazionale, dovuta alla rotazione dei due asteroidi, ed una componente orbitale, dovuta agli eventi mutui di eclisse / occultazione.

3905 Doppler

I dati fisici del sistema

Periodo orbitale	$P_{orb} = 50.8 \pm 0.1 \text{ h}$
Rapporto diametro secondario/primario	$D2/D1 \geq 0.77$
Diametro Eq. / Primario / Secondario	$D_{eq} = 7.9 \pm 0.05 \text{ km}$ (fonte wise), $D_p = 6.3 \text{ km}$, $D_s = 4.8 \text{ km}$ (*)
Rapporto semiasse / Diametro primario	$a/D1 = 5.6$ (*)
Semiasse maggiore orbita	$a = 35 \text{ km}$ (*)
Densità	$P = 3 \text{ g/cm}^3$ (*)

(*) ottenuti da una prima approssimazione



Qualche riferimento utile

- *MPO Canopus, Bdw Publishing (2013),*
<http://www.minorplanetobserver.com/MPOSoftware/MPOCanopus.htm>
- *Wm. Robert Johnston. (2013) "Asteroids with Satellites"*
<http://www.johnstonsarchive.net/astro/asteroidmoons.html>
- *Pravec, P., (2013) "Photometric Survey for Asynchronous Binary Asteroids"*
<http://www.asu.cas.cz/~asteroid/binastphotsurvey.htm>
- *W. J. Merline et al., (2002) "Asteroids Do Have Satellites" (Asteroids III)*
- *Richardson and Walsh (2006), "BINARY MINOR PLANETS" (Annual Review)*
http://www.astro.umd.edu/~dcr/reprints/richardson_areps34,47.pdf

Domande

