

ASTEROIDI

**DALLA RICERCA DI NUOVI OGGETTI
alla misura del periodo di rotazione**

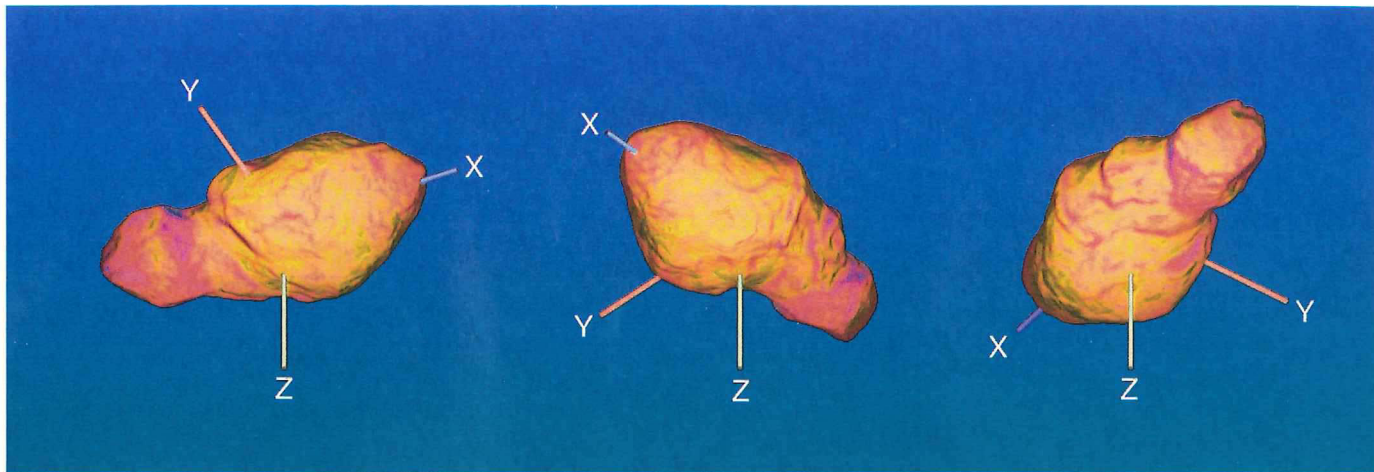
**L'EVOLUZIONE (OBBLIGATA) PER
GLI AMATORI CHE VOGLIONO
CONTINUARE A OPERARE NEL
CAMPO DEI "MINOR PLANETS"**

di Luca Strabla, Ulisse Quadri e Roberto Girelli

Negli ultimi decenni, il numero di pianetini di cui si conoscono con precisione i parametri orbitali è aumentato con progressione geometrica. Erano circa 3000 all'inizio degli anni '80, sono diventati 10 000 alla metà degli anni '90, per poi incrementare esplosivamente grazie all'avvio delle grandi survey automatiche. Oggi il loro numero è arrivato a più di 300 000 (di cui, circa 17 000 quelli con un nome proprio) e la corsa non sembra arrestarsi. Questa rivoluzione ha spostato sempre più avanti la magnitudine limite dei nuovi oggetti scoperti, creando non poche difficoltà ai numerosi amatori che, dotati di telescopi da 30-50 cm di apertura, si dedicavano a questo genere di ricerca. Tanto che le scoperte amatoriali stanno divenendo sempre più rare.

Come spesso accade, però, i grandi cambiamenti chiudono delle strade e aprono nuove opportunità. Ora, ad esempio, di tutti i pianetini catalogati si conoscono bene i parametri relativi alla rivoluzione intorno al Sole, ma solamente di poche migliaia sono noti anche quelli di rotazione intorno al proprio asse. E questa può essere un'occasione ghiotta per gli amatori: avviare un nuovo campo di ricerca, a patto di adattare gli strumenti di osservazione, mettere a punto nuove metodologie di riduzione dei dati e approfondire le conoscenze sull'argomento.

Il primo astronomo ad accorgersi della variazione periodica della luminosità di un asteroide fu Egon von Oppolzer (1869-1907) che da Innsbruck, nel 1901, osservando (433) Eros nell'ambito della campagna per la misura della parallasse solare, registrò un deciso calo di magnitudine nel giro di poche ore. Per lunghi decenni, la comunità astronomica dubitò della possibilità che anche tutti gli altri pianetini potessero essere soggetti allo stesso fenomeno e, solo negli anni '50, con l'affinamento delle tecniche osservative a mezzo di fotometri sempre più precisi, la misura di tali variazioni luminose divenne oggetto di vere e proprie campagne osservative. Divenne così chiaro che anche i corpi minori erano dotati di una rotazione intorno al proprio asse, rivelata proprio dalla periodica variazione della magnitudine.



Come si determina il periodo di rotazione di un asteroide?

Mentre i pianeti hanno un aspetto che si discosta poco da quello di una sfera, i pianetini presentano forme anche molto irregolari. Se li potessimo osservare da vicino durante la rotazione essi ci mostrerebbero una superficie frontale sempre diversa, anziché il classico disco circolare dei pianeti (Fig. 1), così che, mutando la superficie frontale, cambia anche la quantità di luce riflessa.

I pianetini, ovviamente, sono così piccoli che dalla Terra non è possibile apprezzarne superficie e dimensioni; anche i più grandi, infatti, non arrivano a mostrare ai massimi avvicinamenti un diametro angolare superiore al secondo d'arco. Essi conservano però nella quantità di luce che arriva a noi l'informazione della variazione della superficie esposta alla nostra vi-

In alto (Fig 1). I pianetini generalmente hanno una forma irregolare, per questo mostrano una superficie frontale variabile durante la rotazione. In alcuni istanti è minima, riflettendo meno luce solare, in altri istanti è massima, riflettendo più luce.

L'illustrazione ritrae l'asteroide (4179) Toutatis, un oggetto di circa 5 km a struttura triassale (X,Y,Z), che durante la rotazione può riflettere la luce secondo geometrie molto complicate.

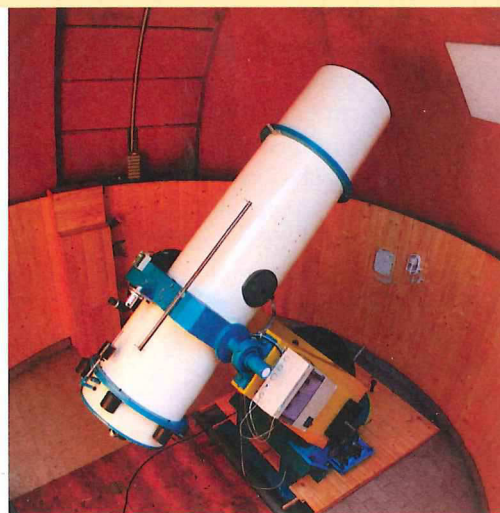
sta, tanto che effettuando delle misure fotometriche diventa possibile risalire al periodo di rotazione che provoca le variazioni (Fig. 2).

Ma non solo... dall'entità della variazione (V) sarà anche possibile ricavare (molto approssimativamente) il rapporto tra gli assi principali del pianetino, secondo la formula:

$$\text{Rapporto tra gli assi} = 10^{(0,4 \cdot V)}$$

■ L'Osservatorio Astronomico di Bassano Bresciano I ■

L'Osservatorio di Bassano Bresciano ha visto la prima luce agli inizi degli anni '90. Fin dall'inizio il campo di indagine primario è stato lo studio e la ricerca dei corpi minori del sistema solare: questo ha portato alla scoperta di 4 nuovi pianetini nei tre anni successivi all'entrata in funzione. Più tardi, con l'avvento delle grandi survey, ci siamo trovati a dover riadattare il campo di indagine, decidendo di rivolgere la nostra attenzione



alla determinazione fotometrica del periodo di rotazione dei pianetini.

Lo strumento principale di cui disponiamo è uno Schmidt classico con lo specchio di 400 mm di diametro e la lastra correttrice di 320 mm per un rapporto focale 1/3, al cui fuoco diretto è montata una camera CCD Starlight HX516 con sensore Sony ICX084AL, 660x494 pixel.

Di recente l'osservatorio è stato completamente automatizzato, sia per quanto riguarda le procedure di inseguimento e la fotografia degli oggetti, sia per la gestione del movimento e della chiusura della cupola, a fine serata o in caso di maltempo. Il tutto per mezzo di "Polypus", un software (da noi personalmente sviluppato) che permette di gestire telescopio e cupola e di vi-

sualizzare la carta del cielo relativa al campo puntato.

Attraverso una serie di istruzioni è possibile scrivere degli script che pilotano l'esecuzione delle osservazioni per tutta la notte senza bisogno di avere l'osservatorio presidiato. Il software scritto in C++ è scaricabile dal sito dell'osservatorio in forma sorgente con licenza GPL. ★

Così che, per una differenza tra minimo e massimo di 0,1 magnitudini si potrà presumere che il rapporto tra l'asse più lungo e quello più corto sia di 1,09; di 1,58 se la differenza è di 0,5 magnitudini e di 2,51 per forti variazioni di un'intera magnitudine.

Un pianetino con una forma quasi sferica presenta infatti una scarsa variazione della superficie frontale e, di conseguenza, la variazione della luce riflessa sarà minima, tipicamente inferiore al decimo di magnitudine. Per motivi opposti, un pianetino con forma molto schiacciata presenta un'elevata variazione nel flusso della luce riflessa.

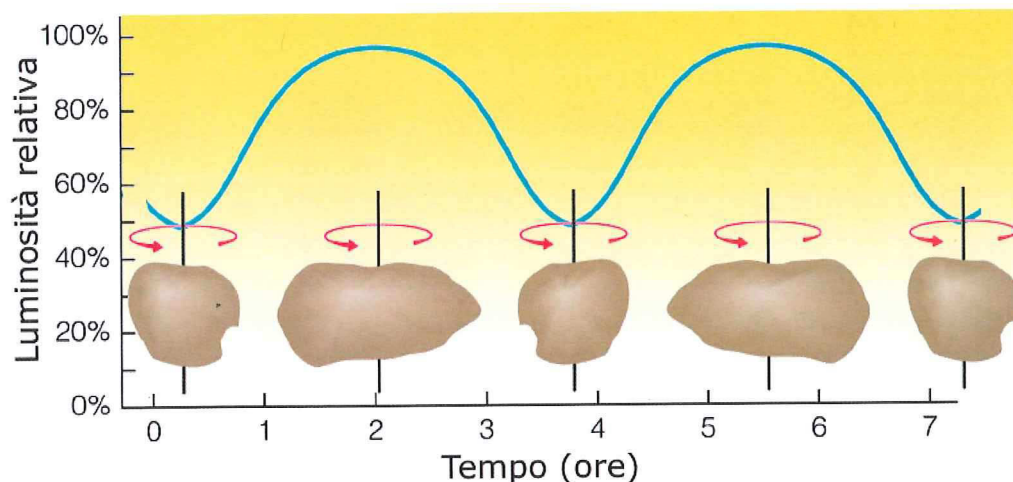
Un altro parametro che influenza la variazione della luminosità è l'orientamento dell'asse di rotazione. Se infatti quest'ultimo punta verso l'osservatore la regione mostrata rimarrà sempre la stessa e non ci sarà alcuna variazione di luce, mentre se è perpendicolare la variazione sarà la più ampia possibile. Poiché la direzione da cui osserviamo i pianetini cambia da un'opposizione all'altra, misure fatte in anni diversi forniscono variazioni di diversa entità. Associando i dati di più opposizioni è possibile quindi determinare anche la direzione dell'asse di rotazione del pianetino.

Lo studio statistico completo permette poi di ricavare considerazioni interessanti sulla struttura dei pianetini. Mettendo in relazione il diametro di un certo numero di asteroidi con il loro corrispondente periodo di rotazione si otterrà un grafico con una disposizione dei punti non casuale (Fig. 3): si può infatti notare che la maggior parte dei periodi cade nell'intervallo tra le 4 e le 10 ore. La cosa però più sorprendente è che sembra esistere un limite abbastanza netto che "impedisce" ai pianetini con raggio superiore al chilometro di ruotare su se stessi con periodi inferiori alle 2,2 ore. Questo limite è infranto solo dai corpi più piccoli, alcuni dei quali ruotano vorticosamente con periodi di un solo minuto.

Questo diagramma, insieme a considerazioni meccaniche, porta gli astronomi a credere

che i corpi che compiono la rotazione più velocemente di 2,2 ore siano necessariamente monolitici (strength-bound). Se così non fosse la forza centrifuga, generata dalla rapida rotazione, avrebbe il sopravvento sulla debole gravità portando il pianetino alla disgregazione.

Gli astronomi pensano inoltre che la maggior parte dei corpi con rotazione più lenta di 2,2 ore siano "conglomerati di macerie" (rubble piles) sufficienti a contrastare la forza centrifuga.

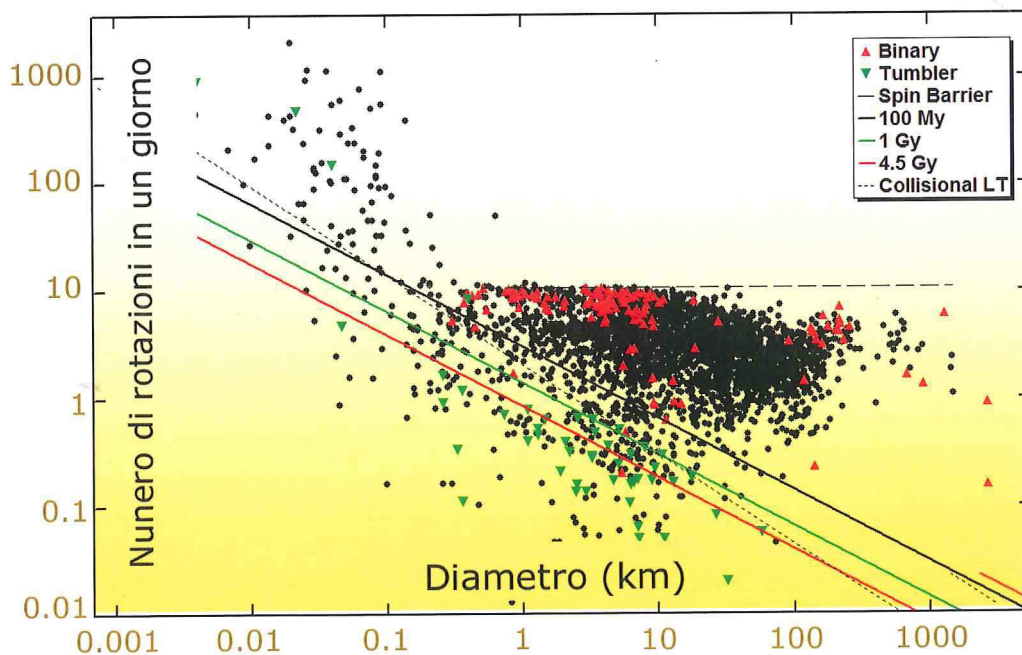


In alto (Fig 2). Un esempio di come la rotazione di un pianetino, variando la percentuale di luce riflessa verso la Terra, viene "modellizzata" dall'esame della corrispondente curva di luce.

In basso (Fig 3). Il Grafico mette in relazione il diametro con il periodo di rotazione (qui espresso come "frequenza", ovvero il numero di rotazioni in un giorno). I punti non si distribuiscono a caso. Si può notare che non esistono pianetini con diametro superiore a 1 km con più di 10 rotazioni al giorno e, su questo limite, esiste un taglio netto detto "barriera di rotazione" (Spin Barrier): velocità di rotazioni superiori tendono a disgregare pianetini di grosse dimensioni.

Invece, la maggior parte dei pianetini con diametro inferiore a 1 km compiono più di 10 rotazioni in un giorno. In questo grafico i punti rossi identificano i pianetini doppi, cioè quei pianetini dove due corpi ruotano uno intorno all'altro.

Il fatto che si ammassino quasi tutti nei pressi della barriera di rotazione suggerisce che siano nati per disgregazione di pianetini più grossi che ruotavano velocemente.



Una volta individuati periodo e orientazione dell'asse, l'indagine sembrerebbe terminata. Non è così, i ricercatori che studiano i pianetini sono interessati a nuove misure a distanza di anni perché queste permettono di verificare possibili cambiamenti. La rotazione potrebbe diventare più veloce o più lenta. La direzione dell'asse di rotazione potrebbe cambiare.

Questi cambiamenti sono probabilmente dovuti all'effetto YORP, un processo termico in cui la luce solare, assorbita ed emessa come calore, "spinge" il pianetino nella direzione opposta al punto più caldo, influenzando rotazione e/o orientazione dell'asse. Ci sono insomma tutte le premesse per un campo di ricerca interessante e alla portata dell'amatore.

UN ESEMPIO PRATICO

La procedura che porta dalle riprese fotografiche all'analisi della curva di luce è cosa non difficile, ma abbastanza complessa, e solo l'esperienza diretta può portare a una rapida comprensione di tutte le sue fasi. Ciò che proporremo di seguito non avrà quindi la pretesa di essere una trattazione esaustiva dell'argomento (servirebbe molto più spazio), ma solo una descrizione sommaria utile a indirizzare la curiosità e gli approfondimenti del lettore.

Tutto ciò che verrà descritto, inoltre, è stato realizzato con la strumentazione del nostro osservatorio (vedi la scheda a pag. 21), che si avvale di procedure quasi del tutto automatizzate, tuttavia l'intera operazione è da ritenersi alla portata di qualsiasi amatore munito di telescopio e camera digitale.

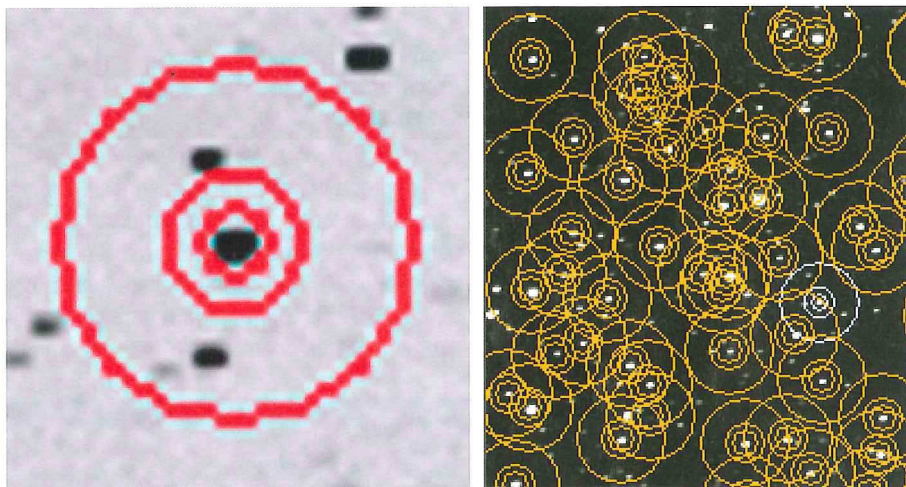
Per la scelta del pianetino da osservare ci affidiamo al sito "Collaborative Asteroid Lightcurve Link", da dove è possibile scaricare il "Minor Planet Bulletin", il bollettino trimestrale dove è presente la lista dei pianetini prossimi all'opposizione, con magnitudine apparente minore di +16, di cui non è mai stato determinato il periodo di rotazione, oppure di oggetti già osservati il cui periodo è incerto.

Lo scorso settembre, dal bollettino n. 38-3 abbiamo selezionato il pianetino (1430) Somalia. La scelta è caduta su questo oggetto perché il periodo di rotazione non era ancora noto, non era troppo debole (mag. +14,5) e potevamo inoltre contare su di un'ottima elevazione sull'orizzonte per circa 6 ore nella parte centrale della notte.

I pianetini, come abbiamo visto sopra, hanno generalmente tempi di rotazione di poche ore, ma non è raro trovarne con periodi anche molto superiori, per i quali diventa necessario osservarli per più notti di seguito. Nel caso di (1430) Somalia

abbiamo programmato di riprendere in una sola notte 180 fotografie con pose da 120 secondi ciascuna, escludendo gli orari in cui l'elevazione sull'orizzonte scendeva sotto i +30°. La durata dell'esposizione è stata invece scelta in modo che il segnale del pianetino non superasse i 2/3 della dinamica del CCD, per poter quindi utilizzare la parte lineare della curva di risposta del sensore e avere così a disposizione il miglior rapporto segnale rumore.

A questo punto, abbiamo corretto tutte le immagini ottenute con il flat e il dark ricavati nella stessa notte, e ci siamo completamente affidati al programma di fotometria **MPO Canopus**, un software appositamente progettato per i pianetini e in grado di effettuare quella che chiamiamo "fotometria di apertura", ossia la tecnica che consiste nel determinare il flusso luminoso di una stella (in questo caso di un asteroide) analizzando i valori in ADU contenuti nei pixel dell'area interessata dai



In alto. A sinistra (Fig 4), la misura fotometrica utilizza tre cerchi concentrici centrati sull'oggetto da misurare. Il cerchio interno è usato per misurare la luce dell'oggetto. Lo spazio tra il primo cerchio e il secondo è una zona morta non considerata. Lo spazio tra il secondo e il terzo cerchio è usata per misurare il valore del fondo cielo nei dintorni dell'oggetto.

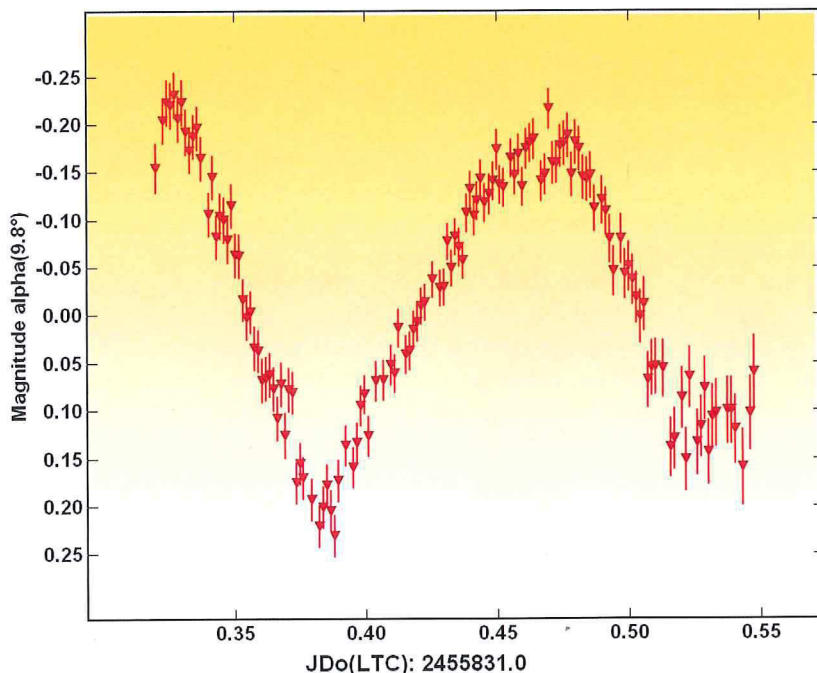
A destra (Fig 5). Il software MPO Canopus riconosce automaticamente le stelle di catalogo (in giallo) e il pianetino (in bianco).

■ Fotometria di pianetini ■

La fotometria sui pianetini presenta delle complicazioni in più rispetto a quella classica sulle stelle, difficoltà che sono legate essenzialmente al loro rapido movimento nel cielo. Ogni sera viene inquadrata una porzione di cielo diversa quindi si devono selezionare e utilizzare diverse stelle di comparazione. Cambiano anche le distanze tra il pianetino e il Sole e tra il pianetino e la Terra, fattori anche questi che influiscono sulla sua luminosità. Di conseguenza, per poter assemblare misure fotometriche di notti diverse queste debbono essere riportate alla distanza standard di 1 UA dal Sole e 1 UA dalla Terra. Spesso poi il pianetino si trova a transitare (apparentemente) vicino a una stella che ne rende impossibile la misura, in questo caso si dovranno scartare le relative immagini.

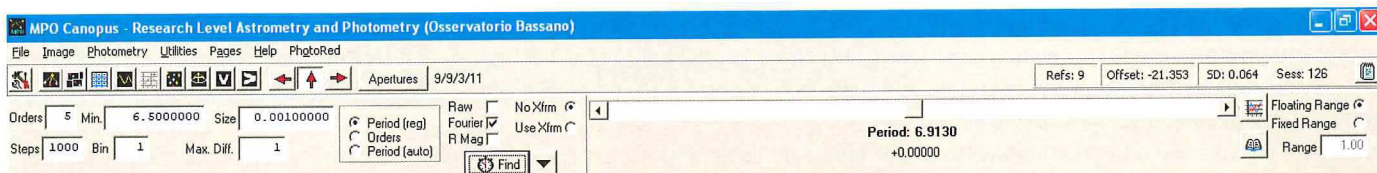
Esiste anche un aspetto positivo: i pianetini riflettono la luce del Sole quindi i loro indici di colore sono molto simili a quello solare. Questo permette di effettuare le pose fotografiche senza l'ausilio di filtri. È necessario essere però molto rigorosi nella selezione delle stelle di comparazione che devono essere di tipo solare, così che gli effetti dell'estinzione atmosferica e della risposta cromatica di telescopio e CCD si ripercuotano allo stesso modo su pianetino e stelle di confronto annullandosi. Sembra assurdo ma l'assenza di filtri permette di aumentare il rapporto segnale rumore della misura e ottenere risultati migliori.

Raw Plot: 1430

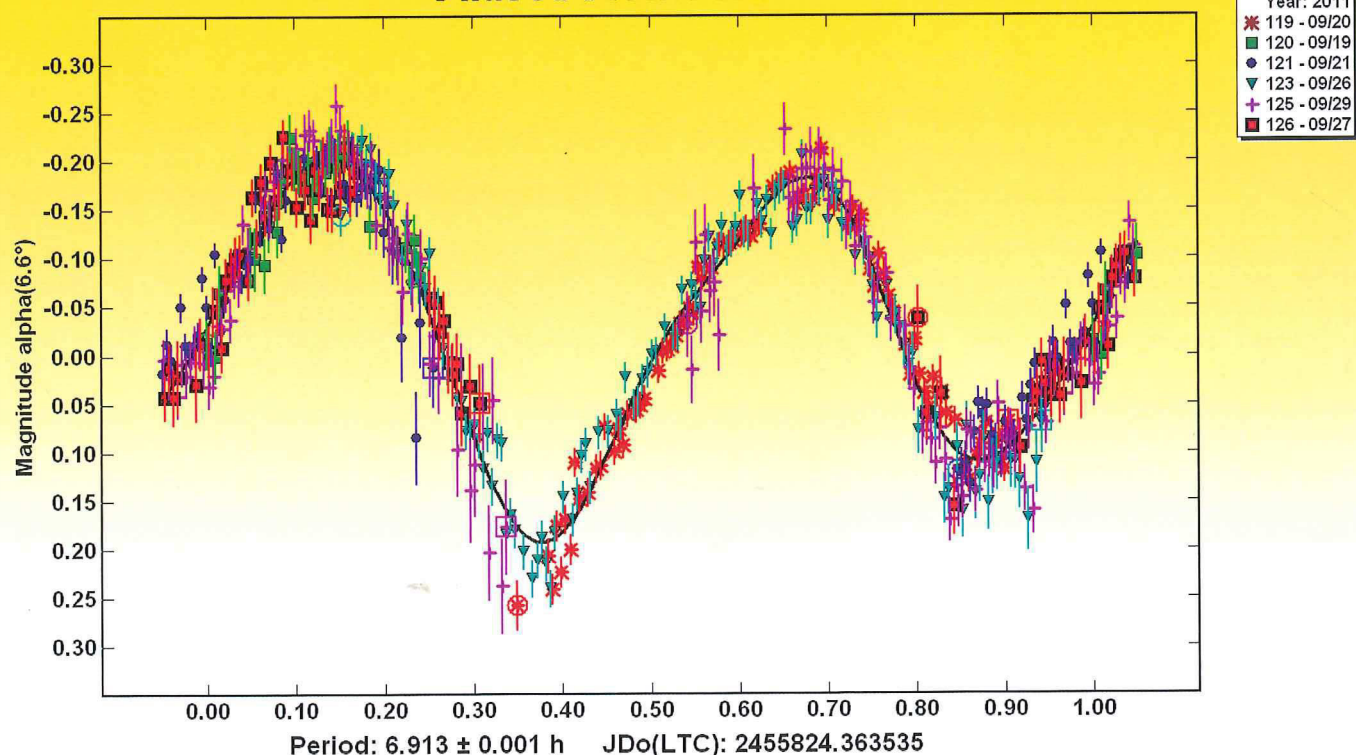


In alto (Fig 6). Il grafico grezzo ricavato in 5 ore e mezza in una notte di misure sul pianetino (1430) Somalia. Si individuano chiaramente un minimo e un massimo. Un altro massimo sembra essere presente nei primi istanti e un minimo negli ultimi. Il grafico sembra perciò coprire circa 3/4 del periodo, che va quindi ricercato in un range tra le 5 e le 10 ore.

In basso (Fig 7). Ed ecco la curva di luce finale del pianetino 1430 Somalia, ottenuta con misure ricavate in sei notti di osservazioni. Il periodo è risultato essere di 6,913 ore e l'ampiezza di circa 0,45 Mag. Si nota l'andamento bimodale (2 minimi e 2 massimi), la asimmetria della curva e le diverse altezze di minimi e massimi.



Phased Plot: 1430



Points: 500	Period: 6.9130	PE: ±0.0010	RMS: 3.0144	0.000000 ± 0.000000 d	Time of Maximum Calculator
2011/09/27 @ 23:17:36 JD (LT) := 2455832.4639 Session: 126 IM: -7.305 DM: 14.672 RM: 12.733					
Active Session/Observation Files: PHSESS / PHOB55					

fotoni in arrivo (ADU è una sigla che sta per “Analog to Digital Units”, ovvero il valore numerico assunto da ciascun pixel dopo la conversione in digitale).

Come prima cosa occorre identificare con esattezza la posizione del centro dell'immagine dell'asteroide, ovvero il suo centroide. Note quest'ultimo, dobbiamo capire quanto si estende nei suoi dintorni l'area colpita dai fotoni; ed essendo il sistema di ripresa ottico a simmetria circolare l'apertura fotometrica sarà un'area circolare, concentrica al centroide, di cui il software dovrà identificare il raggio (Fig. 4).

Canopus è in grado di fare molte altre cose, tutte necessarie per avviare una corretta procedura di analisi: calcola ad esempio le distanze tra pianetino, Terra e Sole, normalizzando le misure fotometriche alla distanza standard di 1 UA sia dal Sole che dalla Terra (vedi l'approfondimento a pag. 23) e applicando la correzione LTC (Light-Time Correction) che sottrae il tempo di per-

correnza della luce dall'asteroide alla Terra. Riconosce inoltre le stelle presenti sulla fotografia (Fig. 5), recupera le loro magnitudini dal catalogo e permette un'agevole selezione di quelle da utilizzare come comparazione. Questa è la fase più delicata, le stelle di confronto devono essere presenti su tutte le foto e devono essere le più luminose possibili, senza però essere sature.

Una volta effettuate tutte le misure e aver fatto i controlli sulle stelle di riferimento e sul rumore, Canopus è già in grado di restituire il grafico di una prima curva di luce. Questa è la fase più emozionante di tutto il lavoro; sino a questo punto si è infatti proceduto senza alcun indizio che faccia capire se il lavoro è stato proficuo oppure no e, improvvisamente, ci si trova invece di fronte al risultato (Fig. 6)!

Come si può vedere, l'escursione è circa di 0,45 magnitudini e già nel grafico c'è la possibilità di identificare con sicurezza un minimo e un massimo. Da una prima valutazione il periodo dovrebbe essere compreso tra le 6 e le 10 ore, ma occorre essere prudenti in quanto le curve di luce sono spesso piuttosto asimmetriche; tanto che, per individuare il corretto periodo, è necessario ripetere le osservazioni per più notti, in modo da ottenere altre porzioni di curva di luce in momenti diversi.

Abbiamo perciò osservato (1430) Somalia per altre 5 notti nell'arco di 10 giorni ottenendo complessivamente 700 misure, una quantità che rende possibile tentare la ricostruzione del periodo attraverso l'analisi di Fourier. Il software, infatti, è in grado di trovare tutti i periodi che meglio si accordano con i dati osservativi e, nel nostro caso, Canopus ha suggerito rotazioni di circa 6, 7, 8 e 9 ore.

A questo punto il compito della "macchina" è esaurito, l'individuazione del periodo non può essere affidata alla semplice selezione automatica del valore di dispersione più basso, fidandosi di qualche punto percentuale di differenza, ma è necessaria la vista dell'uomo. Plottiamo quindi la curva di luce per i quattro possibili periodi individuati e valutiamo quale di questi combini meglio le misure. Nel nostro caso è quello che si colloca nei pressi delle 7 ore, più precisamente a 6,913 ore (Fig. 7).

Il periodo è così finalmente determinato, come pure l'ampiezza della variazione, che si conferma di circa 0,45 magnitu-

>>> INDIRIZZI UTILI

■ Pagina dell'Osservatorio di Bassano Bresciano dove è possibile scaricare i sorgenti del software Polycon con licenza GPL

<http://www.osservatoriobassano.org/archivio/software/lista.asp>

■ Pagina dell'Osservatorio di Bassano Bresciano dove è possibile vedere tutte le curve di luce misurate dall'osservatorio

www.osservatoriobassano.org/archivio/mp-light-curves/lista.asp

■ Pagina del Minor Planet Center dove è possibile vedere e scaricare le misure fotometriche dei pianetini

www.minorplanetcenter.net/light_curve

■ Pagina del Minor Planet Center dove è possibile scaricare un documento con la definizione del formato di scambio delle misure fotometriche

www.minorplanetcenter.net/iau/info/ALCDEF_V109.pdf

■ Pagina del Minor Planet Observer dove si accede a un database con tutte le informazioni rotazionali disponibili

www.minorplanet.info/lightcurvedatabase.html

■ Pagina del Minor Planet Observer che fornisce la lista dei pianetini dei quale è utile effettuare la determinazione della curva di luce

www.minorplanet.info/PHP/call_OppLCDB-Query.php

dini; il che sta a indicare un rapporto tra gli assi del pianetino di circa 1,3.

A questo punto cosa fare dei dati ottenuti? Dal 2011 il Minor Planet Center – da sempre collettore mondiale di tutti i dati relativi ai corpi minori del sistema solare – raccoglie anche i dati fotometrici. Attraverso il formato di scambio dati

"The Asteroid Lightcurve Data Exchange Format (ALCDEF)" è possibile inviare le proprie misure. Queste entrano poi a far parte di un database dal quale tutti gli astronomi possono attingere per effettuare studi.

È inoltre possibile scrivere un breve articolo (in lingua inglese) dove descrivere gli strumenti utilizzati e i risultati ottenuti e inviarlo per la pubblicazione allo stesso Minor Planet Bulletin dal quale è stata presa la lista delle opportunità, chiudendo così il cerchio. ★



Gli Autori

Ulisse Quadri è insegnante di scuola elementare. **Luca Strabla** lavora come software engineer presso una azienda di automazione industriale. **Roberto Girelli** è medico del lavoro.

Insieme hanno collaborato alla realizzazione dell'Osservatorio Astronomico di Bassano portando ciascuno le proprie competenze. Ora, dopo un ventennio di collaborazione, stanno mettendo a frutto le esperienze e le capacità acquisite per svolgere vari tipi di ricerca utilizzando i due telescopi robotici dell'osservatorio.