

FOTOMETRIA DEGLI ASTEROIDI

Come si realizza una curva di luce

Lorenzo Franco
lor_franco@libero.it



Introduzione al Progetto: “Il cielo sopra di noi: osserviamolo!”

Questo è il primo articolo di una serie, che ci auguriamo lunga e proficua, con la quale ASTRONOMIA NOVA intende stimolare l'interesse degli appassionati per alcune importanti attività di ricerca astronomica alla portata di telescopi amatoriali medio-piccoli, come ce ne sono tanti (forse più di 5000!!!) nelle case degli astrofili di questo Paese, un po' smemorato, che si dimentica in soffitta un autentico patrimonio strumentale!

Lo stimolo per “imbracciare” nuovamente il telescopio può avvenire solamente grazie alle straordinarie competenze di chi, come il dott. **Lorenzo Franco** e, insieme a lui, tanti altri astronomi e astrofili, si rendono ora disponibili a trasmettere il loro sapere e la loro passione, attraverso queste pagine.

Premessa

Lo studio fotometrico degli asteroidi rappresenta una non trascurabile opportunità di ricerca amatoriale. Infatti solo per un numero abbastanza ridotto di asteroidi è stata ottenuta una curva di luce ed è stato determinato il periodo di rotazione. In questo settore il vantaggio della ricerca amatoriale, rispetto a quella professionale, è costituito dal fatto che i primi, non avendo vincoli condizionanti nell'utilizzo della loro strumentazione, possono decidere di osservare in modo continuativo, e per diverse notti, lo stesso asteroide, ottenendo così un ottimo campionamento temporale, il che consente di

determinare con buona precisione il loro periodo di rotazione.

Questo articolo si propone di stimolare tutti quei diletanti che hanno voglia di cimentarsi in un settore importante della ricerca, non solo amatoriale, nel quale è possibile, in breve tempo, conseguire risultati scientifici importanti e originali. L'articolo ripercorre i passi fondamentali del processo che va dalla ricerca dei potenziali obiettivi, all'acquisizione dei dati ed alla loro riduzione.

Fotometria e Curve di Luce

La fotometria è la misura del flusso luminoso di un oggetto. Le variazioni di luminosità nel corso del tempo si possono rappresentare con un grafico che prende il nome di *curva di luce*. Gli asteroidi, specialmente quelli di piccole dimensioni, hanno delle forme ovali e piuttosto irregolari.

Il periodo di rotazione rappresenta il tempo (solitamente espresso in ore) durante il quale l'asteroide compie una rotazione completa. Il nostro obiettivo sarà quello di registrare queste variazioni di luminosità per ricavarne la curva di luce e fare quindi una prima stima del periodo di rotazione.

I periodi di rotazione degli asteroidi variano da poche ore fino a 12-24 ore e, a volte, anche più. Pertanto per registrare un intero periodo saranno necessarie delle sessioni osservative piuttosto lunghe che ci potranno impegnare per diverse ore ed anche per tutta la notte.

Le curve di luce degli asteroidi si presentano generalmente con un aspetto *bimodale*, formato cioè da due massimi e due minimi, in ragione del fatto che un ellissoide durante una rotazione completa mostra per due volte la faccia più lunga (più luminosa) e per due volte quella più corta (meno luminosa). Se l'asteroide fosse perfettamente sferico e senza alcuna asperità, la curva di luce si presenterebbe piatta e senza variazioni di luminosità.

Metodologia osservativa

Per acquisire la curva di luce di un asteroide occorre una strumentazione con le seguenti caratteristiche:

- Telescopio (meglio se con montatura Goto), accoppiato ad una camera CCD.
- Planetario per PC es: freeware C2A - Computer Aided Astronomy (www.astrosurf.com/c2a/english/index.htm)
- Software per la riduzione e l'analisi fotometrica es.: freeware Iris, www.astrosurf.com/buil/us/iris/iris.htm

I passi da seguire sono per certi versi simili a quelli adoperati per l'astrofotografia, ma con qualcosa in più, vediamoli.

1. Individuiamo prima l'asteroide da osservare

La fonte di riferimento primaria per la fotometria degli asteroidi è rappresentata dal sito *Collaborative Asteroid Lightcurve Link* (CALL) all'indirizzo: www.minorplanet.info/call.html; dove troveremo la pagina "Lightcurve Targets" (www.minorplanet.info/PHP/call_OppLCDBQuery.php) tramite la quale potremo ottenere la lista degli asteroidi osservabili in un determinato mese (fig. 1).

Ad esempio impostiamo [Febbraio] e la magnitudine massima [14], quindi [Submit] per ottenere la lista dei potenziali asteroidi osservabili.

Dalla lista ottenuta selezioniamo ad esempio l'asteroide **347 Pariana** di circa 11^a magnitudine con un periodo di rotazione di poco superiore alle quattro ore. Questo asteroide rappresenta un buon punto di partenza per iniziare con la fotometria degli asteroidi poiché ci dà la possibilità di osservarlo per un intero periodo di rotazione ed è anche molto luminoso.

Impostiamo la latitudine e la longitudine approssimata del nostro sito osservativo e l'orario di osservazione (Tempo Universale, UT), quindi selezioniamo l'asteroide (segno di spunta) e premiamo [Generate Ephemeris] per ottenere le coordinate dell'oggetto nei vari giorni del mese e all'orario UT scelto.

CALL: Potential Lightcurve Targets (with LCDB data)

Enter the search parameters for asteroids reaching opposition during the chosen month of the current year.

If you enter an incorrect range for declination and/or magnitude, you'll be returned to this page and red asterisks will appear next to the Field Name.

Selecting 'All' for the month should be used in conjunction with one or more other filters.
There are more than 4500 entries in the table. Getting all records could timeout the server.

The filters work as Boolean AND, i.e., all conditions must be met.

Data for the "Next" year are not available until sometime in October or November of the "Current" year. At which time, the "Current" year data will be moved to the "Previous" year, even if the year is not over.

Opposition Data Table Filtering Options
Results are sorted by order of date of brightest

Value	Range Low/Selection	Range High/Filter
Number	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="999999"/>
Name	<input type="text" value="Any"/>	<input type="text"/>
Year and Month	<input type="text" value="Current"/>	<input type="text" value="February"/>
Mag Range	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="14"/>
Dec Range	<input type="text" value="-10"/>	<input type="text" value="90"/>

Fig. 1. Lightcurve Targets – la pagina di ricerca www.minorplanet.info/call.html

Check one or more asteroids to generate an ephemeris. 40 positions starting with today's date are generated

Enter Longitude and Latitude to the nearest whole degree.
Western/Southern Hemisphere = negative
(For example: Colorado Springs, CO = -106 +39; Adelaide, Australia = +138 -34)

Enter Elevation above sea level **in meters** (1 foot = 0,3048m)
Enter UT (nearest whole hour) for the position on each date
If invalid entries are made for Longitude and/or Latitude, geocentric positions are returned

Geocentric Topocentric Longitude Latitude Elevation UT

CN	CS	Fav	Num	Name	ODate	OMag	MDate	MDist	BDate	BMag	BDec	PF	Period	AmpMin	AMax	U
<input checked="" type="checkbox"/>	N	N	Y	433 Eros	02 19.1	8.3	01 31.5	0.178	02 03.9	8	-9		5.270	0.04	1.49	3
<input type="checkbox"/>	N	N	N	6 Hebe	03 01.3	9.4	02 23.3	1.771	02 25.8	9.4	16		7.2745	0.05	0.21	3
<input type="checkbox"/>	Y	Y	N	471 Papagena	02 19.0	10.9	02 04.7	1.96	02 08.9	10.8	31		7.113	0.11	0.13	3
<input type="checkbox"/>	N	N	N	389 Industria	02 18.6	10.9	02 23.6	1.482	02 21.7	10.8	1		8.53	0.18	0.34	3
<input type="checkbox"/>	Y	Y	Y	96 Aegle	02 10.2	10.9	02 13.1	1.683	02 10.1	10.9	15		13.82	0.05	0.29	3
<input type="checkbox"/>	N	N	N	88 Thisbe	02 21.1	11.5	02 25.8	2.195	02 23.2	11.5	4		6.042	0.08	0.25	3
<input checked="" type="checkbox"/>	N	N	Y	347 Pariana	03 06.1	11.6	02 29.9	1.229	02 28.0	11.6	27		4.0529	0.09	0.50	3
<input type="checkbox"/>	Y	Y	N	386 Siegena	02 13.9	11.8	02 13.0	2.092	02 16.6	11.7	3		9.763	0.11	0.18	3
<input type="checkbox"/>	N	N	N	387 Aquitania	02 26.4	11.9	02 29.0	2.083	02 23.3	11.9	21		24.144		0.25	3
<input type="checkbox"/>	Y	Y	Y	162 Laurentia	02 15.2	12	02 14.1	1.505	02 12.7	12	23		11.8686	0.28	0.35	3

Fig 2: lista dei potenziali asteroidi osservabili nel mese di Febbraio

Quest'ultimo passo non sarà necessario se si utilizza un planetario per PC, aggiornato con i dati orbitali degli asteroidi, come ad esempio C2A.

2. Puntiamo il telescopio

Il puntamento del telescopio nella posizione occupata

dell'asteroide al momento dell'osservazione non è proprio una cosa così banale come si potrebbe pensare in un primo momento. Gli asteroidi tendono a confondersi con le stelle di campo e non hanno mai una posizione fissa. Prima del puntamento, è però molto importante sincronizzare l'orologio del PC. A questo scopo si può

Ephemeris for 347 Pariana

- Topocentric positions (J2000) at 0 UT
- Longitude: 12 Latitude: +42 Elevation: 2306
- E.D. = Earth Distance in AU
- S.D. = Sun Distance in AU
- Ph = Phase Angle
- E = Solar Elongation
- Az = Azimuth (0 = North, 90 = East, 180 = South, 270 = West)

Date	RA	Dec	Mag	E.D.	S.D.	Ph	E	Alt	Az
2012-02-02	11 28 16.2	+22 47 55.5	12.05	1.321	2.200	15.0	145	59	120
2012-02-03	11 28 02.6	+22 58 00.4	12.03	1.315	2.199	14.7	146	60	121
2012-02-04	11 27 47.2	+23 08 09.2	12.01	1.309	2.199	14.4	146	61	122
2012-02-05	11 27 29.8	+23 18 21.4	11.98	1.303	2.198	14.0	147	62	124
2012-02-06	11 27 10.5	+23 28 36.2	11.96	1.297	2.197	13.7	148	63	125
2012-02-07	11 26 49.3	+23 38 53.2	11.94	1.292	2.197	13.4	149	63	126
2012-02-08	11 26 26.3	+23 49 11.4	11.92	1.287	2.196	13.0	150	64	128
2012-02-09	11 26 01.4	+23 59 30.3	11.90	1.282	2.196	12.7	151	65	129
2012-02-10	11 25 34.7	+24 09 49.0	11.88	1.277	2.195	12.4	152	66	131
2012-02-11	11 25 06.2	+24 20 07.0	11.86	1.272	2.194	12.1	152	66	133
2012-02-12	11 24 36.0	+24 30 23.3	11.84	1.268	2.194	11.7	153	67	135
2012-02-13	11 24 04.1	+24 40 37.1	11.82	1.264	2.193	11.4	154	68	136
2012-02-14	11 23 30.4	+24 50 47.8	11.80	1.260	2.193	11.1	155	69	138
2012-02-15	11 22 55.2	+25 00 54.4	11.78	1.256	2.192	10.9	155	69	141
2012-02-16	11 22 18.3	+25 10 56.2	11.76	1.253	2.192	10.6	156	70	143
2012-02-17	11 21 40.0	+25 20 52.1	11.75	1.249	2.191	10.3	157	71	145
2012-02-18	11 21 00.1	+25 30 41.5	11.73	1.246	2.191	10.1	157	71	148
2012-02-19	11 20 18.9	+25 40 23.3	11.72	1.244	2.190	9.9	158	72	151
2012-02-20	11 19 36.2	+25 49 56.8	11.70	1.241	2.190	9.7	158	72	154
2012-02-21	11 18 52.3	+25 59 21.0	11.69	1.239	2.189	9.5	159	73	157
2012-02-22	11 18 07.2	+26 08 35.1	11.68	1.237	2.189	9.3	159	73	160
2012-02-23	11 17 21.0	+26 17 38.3	11.67	1.235	2.188	9.2	159	74	164
2012-02-24	11 16 33.7	+26 26 29.8	11.67	1.233	2.188	9.1	160	74	167
2012-02-25	11 15 45.5	+26 35 08.7	11.66	1.232	2.187	9.0	160	74	171
2012-02-26	11 14 56.3	+26 43 34.3	11.66	1.231	2.187	9.0	160	75	175
2012-02-27	11 14 06.4	+26 51 45.8	11.65	1.230	2.187	9.0	160	75	179
2012-02-28	11 13 15.8	+26 59 42.6	11.65	1.230	2.186	9.0	160	75	183
2012-02-29	11 12 24.5	+27 07 24.0	11.65	1.229	2.186	9.0	160	75	187

Fig 3: Effemeridi dell'asteroide 347 Pariana

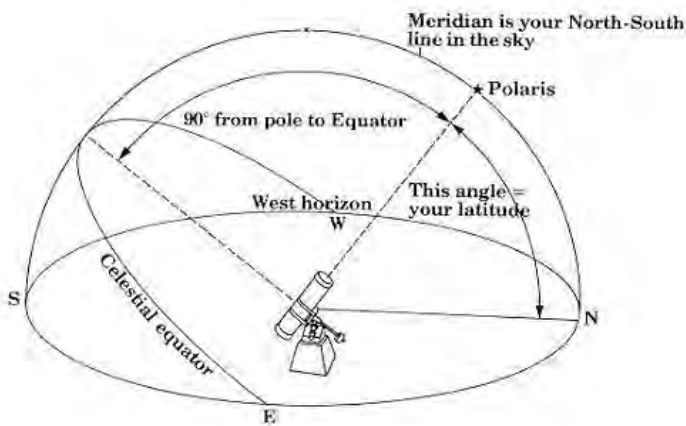
usare un orologio radiocontrollato, un GPS o il servizio internet NTP (Network Time Protocol).

Una volta puntato il telescopio dovremo verificare se l'asteroide è effettivamente nel campo di vista.

Per fare questo sarà necessario riprendere una immagine, ad esempio di 30 secondi di esposizione, aspettare qualche minuto e riprendere una seconda immagine dello stesso campo senza muovere il telescopio e con il movimento di inseguimento laterale in funzione.

Poi si confrontano le due immagini visivamente o attraverso il comando [BLINK img1 img2 200] di IRIS, dove *img1* ed *img2* sono rispettivamente le due immagini.

L'asteroide sarà l'unico oggetto che si sarà mosso.



A sinistra, allineamento polare del telescopio, a destra, una tipica configurazione per l'autoguida.

3. Acquisizione delle immagini

Una volta completate tutte le operazioni di “puntamento” saremo pronti per iniziare l'acquisizione vera e propria della sequenza di immagini, che ricordo, potrà durare anche diverse ore o, addirittura, per tutta la notte.

Il tempo di esposizione da utilizzare nelle riprese andrà scelto secondo i seguenti due criteri:

- scegliere una posa sufficientemente lunga, tale da ottenere un buon livello di segnale, ma senza esagerare per non correre il rischio di raggiungere il livello di saturazione della camera CCD (es: 20 mila ADU di picco vanno bene se la camera è a 16 bit, ricordando che IRIS conteggia gli ADU da -32767 a $+32767$).
- la posa non dovrà nemmeno essere troppo lunga per non registrare la traccia prodotta dal movimento dell'asteroide. Mediamente un asteroide di fascia principale si muove ad una velocità di $0.6''$ /minuto, corrispondenti a poco più di $30''$ /ora e **4-5 di minuti di esposizione** andranno bene.
- Con asteroidi molto luminosi si potranno usare dei tempi di esposizione anche più bassi (**30-60 secondi**).

E' evidente che con tempi di esposizione di qualche minuto sarà indispensabile utilizzare l'autoguida. Sarà inoltre molto importante stazionare bene il telescopio per minimizzare gli effetti dovuti alla deriva in declinazione ed alla rotazione del campo.

Adesso siamo pronti per iniziare l'acquisizione della sequenza di immagini dell'asteroide e se il telescopio e l'autoguida saranno ben impostati, potremo anche andare a dormire (mettendo la sveglia all'alba), mentre la nostra strumentazione lavorerà per noi.

Al termine della sessione osservativa sarà indispensabile riprendere le immagini accessorie di calibrazione (Dark e Flat frame) senza le quali il lavoro fin qui fatto risulterebbe di scarsa qualità fotometrica.

4. Fotometria

Prima di procedere con l'analisi fotometrica delle immagini acquisite, sarà necessario calibrarle ed allinearle. Queste sono procedure note a tutti coloro che realizzano immagini astronomiche.

Per i passi successivi useremo, a titolo di esempio, le immagini acquisite lo scorso 22 settembre sull'asteroide 1077 Campanula. Esse sono state ottenute con un telescopio LX200 da 20 cm ed una camera CCD SBIG ST7-XME non antiblooming. Ho utilizzato per tutte le immagini un'esposizione di 5 minuti, per un totale di 80 frame che coprono un intervallo temporale di circa 6 ore e 40 minuti.

La somma delle immagini calibrate ed allineate ci potrà fornire un'idea precisa del percorso effettuato dall'asteroide durante tutta la sessione osservativa (fig. 5). Ad esempio con IRIS si usa l'opzione del menù [Processing]-[Add a sequence], specificando il nome della sequenza ed il numero complessivo di frame.

L'immagine risultante ci mostra molto chiaramente la traccia percorsa dall'asteroide ed i due estremi rappresentano la sua posizione iniziale e finale.

A questo punto occorrerà scegliere le stelle di confronto con le quali misureremo le variazioni di luminosità del nostro asteroide, applicando due semplici criteri:

- non dovranno essere saturate e non dovranno eccedere il valore di picco di 50.000 ADU per i sensori CCD non antiblooming e 30.000 ADU per i sensori dotati di antiblooming.

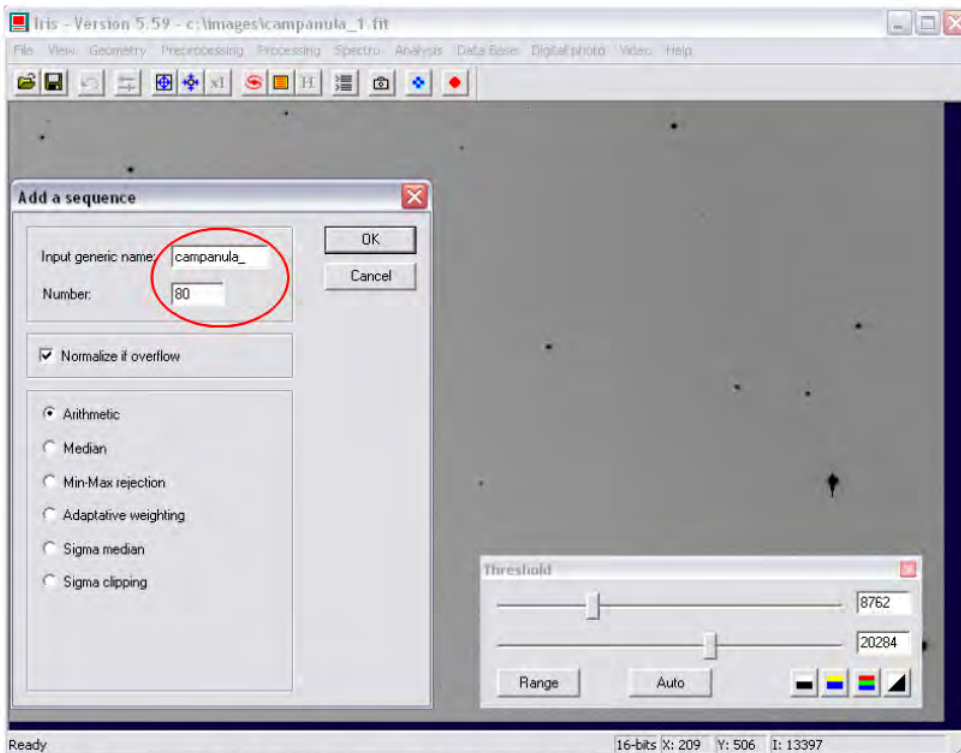


Fig 4: La somma di tutte le immagini ci mostra la traccia dell'asteroide

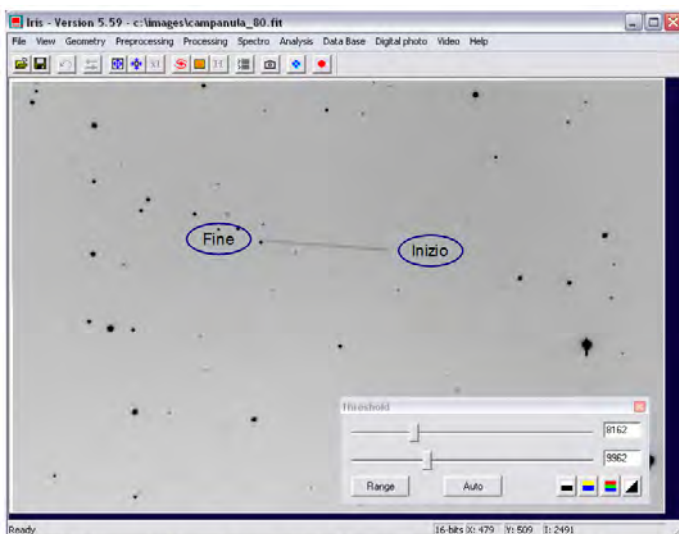


Fig 5: La somma di tutte le immagini ci mostra la traccia dell'asteroide

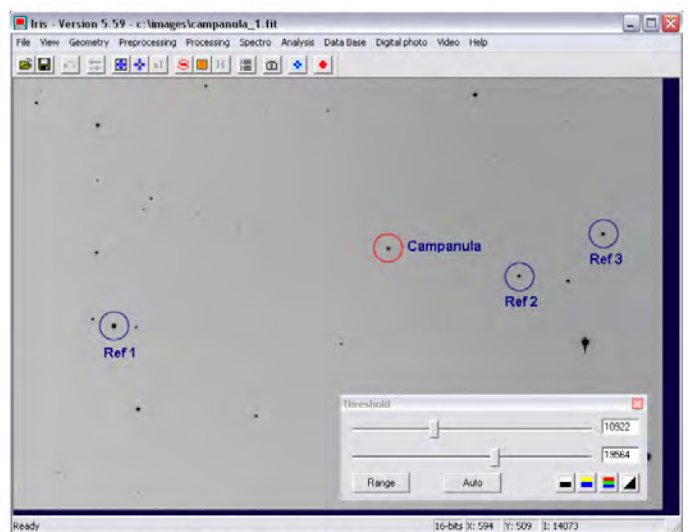
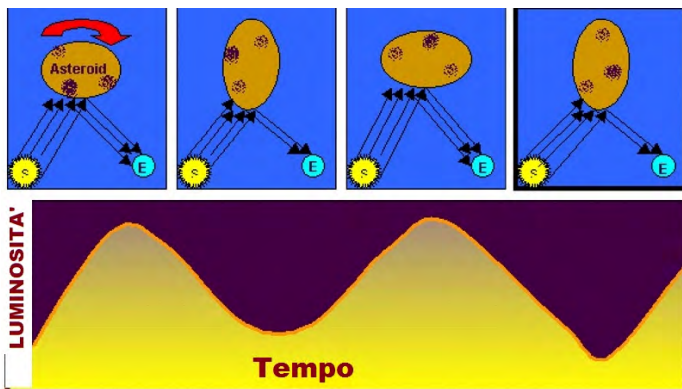


Fig 6: L'asteroide e le tre stelle di confronto scelte per la fotometria.



Variazioni di luminosità di un asteroide che, ruotando, presenta, di volta in volta, una maggiore e minore superficie verso il Sole.

- dovranno avere un colore simile a quello solare, poiché gli asteroidi ne riflettono la luce ed hanno quindi lo stesso colore. Questo fattore ci aiuterà a mantenere bassi gli errori fotometrici introdotti dalla diversa altezza sull'orizzonte del nostro campo durante la sessione osservativa.

Nel nostro caso abbiamo scelto tre stelle di confronto, come evidenziato in fig. 6. Le tre stelle sono rispettivamente di magnitudine (V) 12.332, 13.268 e 13.482. La seguente scheda sintetizza alcuni concetti fondamentali della fotometria d'apertura (fig. 7).

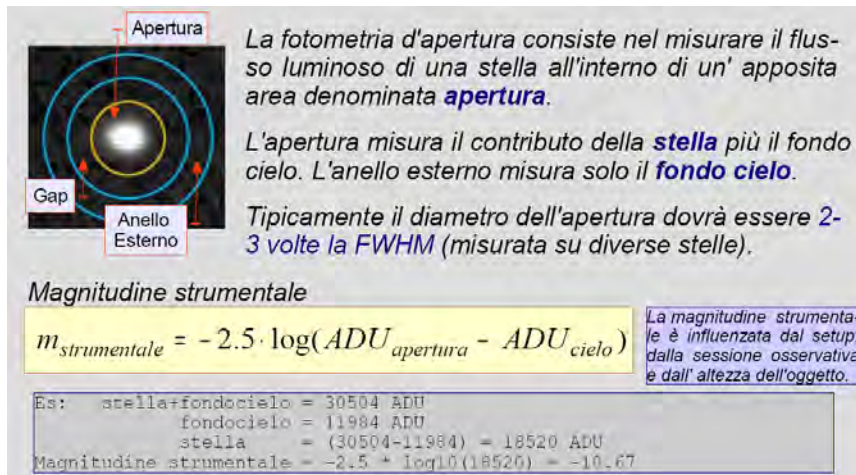


Fig. 7: Le principali definizioni della fotometria d'apertura

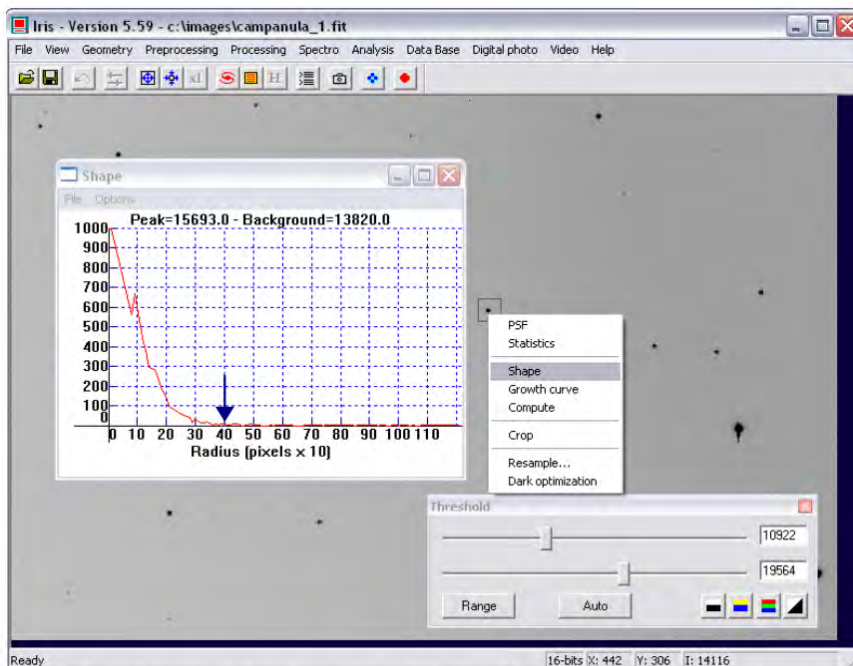


Fig 8: Il profilo della stella ci permette di individuare il raggio dell'apertura

Per stabilire quale sia il miglior raggio d'apertura per la nostra sessione, possiamo usare il comando [Shape] di IRIS raggiungibile selezionando la stella con il mouse e con il tasto destro (fig. 8).

Vedremo così che con un raggio d'apertura di 4 pixel potremo misurare l'intero flusso luminoso dell'asteroide. Esso si muove e quindi la sua posizione cambia tra un frame e l'altro. Dovremo quindi valutare l'entità del suo spostamento in pixel e la sua velocità, espressa in pixel per giorno.

Sulla finestra dei comandi di Iris scriveremo:

```
>load campanula_1 (primo frame)
>info
>load campanula_80 (ultimo frame)
>info
```

Dai dati riportati sulla finestra di output di fig. 9 calcoliamo la differenza di tempo Δt tra la data giuliana dell'ultima e della prima immagine:

$$\Delta t = 2455827.6273 - 2455827.3498 = \mathbf{0.2775 \text{ d}}$$

Ora ci manca la distanza in pixel della posizione iniziale e finale dell'asteroide. Usiamo i comandi di IRIS per sommare la prima e l'ultima immagine [ADD] e poi con il comando [DIST] puntiamo con il mouse sulla posizione iniziale e finale dell'asteroide (fig. 10).

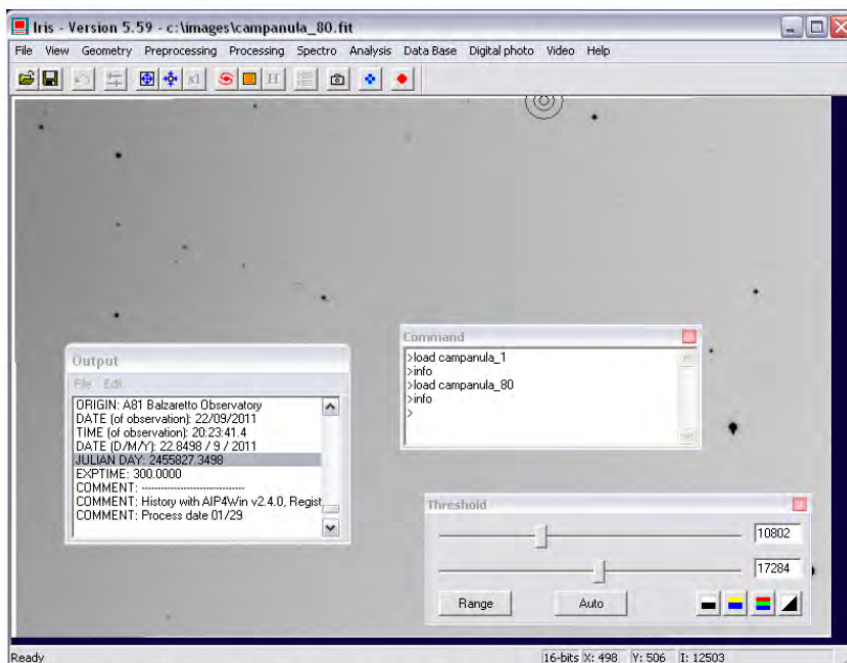


Fig 9: Data Giuliana della prima e dell'ultima immagine

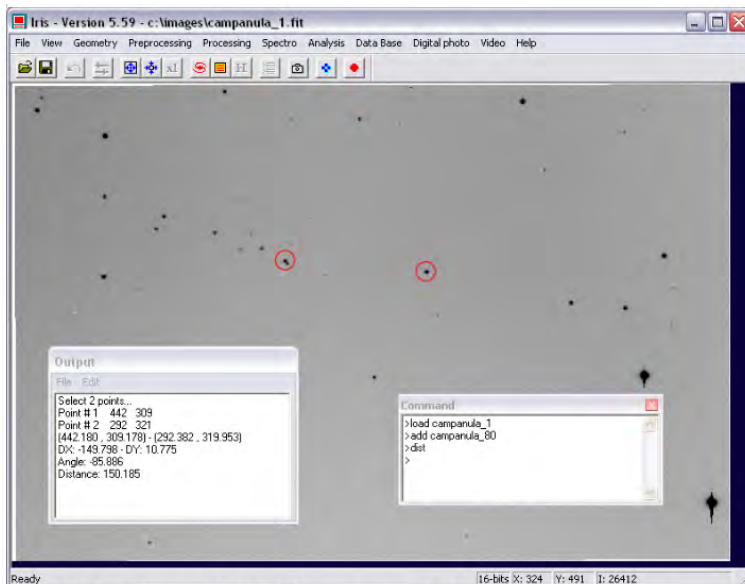


Fig 10: Con il comando DIST determiniamo la distanza tra la posizione iniziale e finale dell'asteroide.

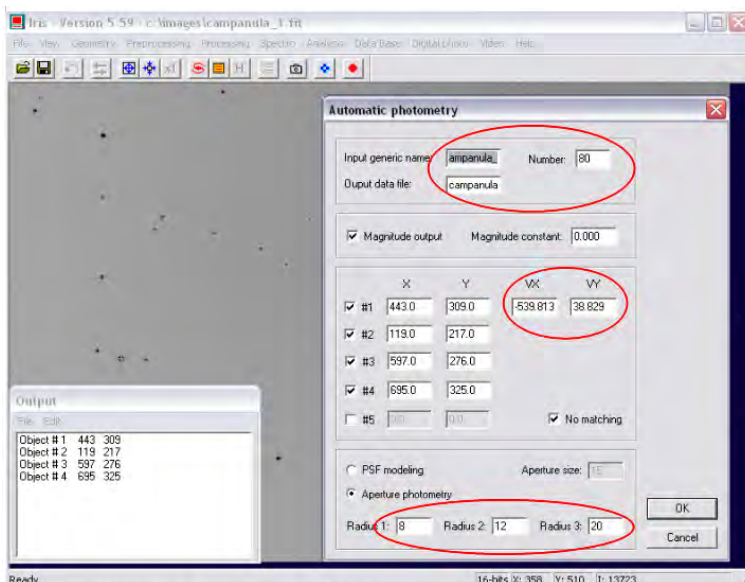


Fig 11: Fotometria automatica di IRIS

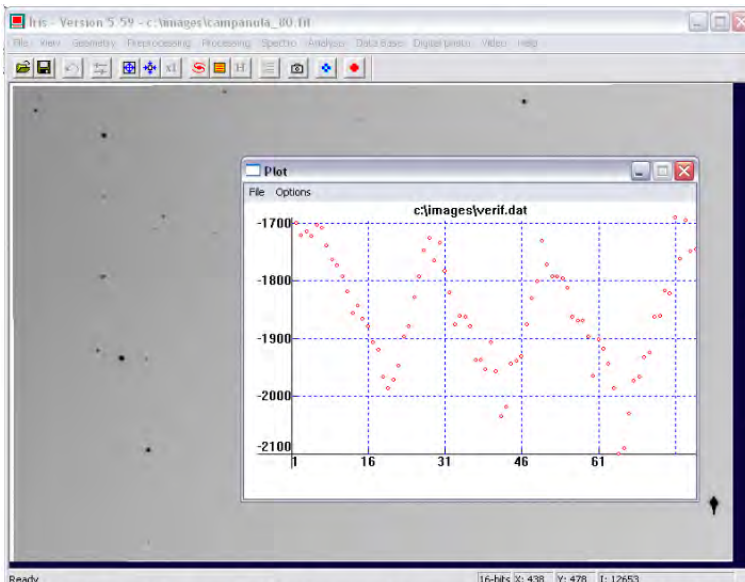


Fig 12: Curva di Luce di 1077 Campanula ottenuta con il comando Plot di Iris.

Da cui otteniamo DX: -149.798 e DY: 10.775 e possiamo quindi calcolare la velocità in pixel per giorno dell'asteroide.

$$VX = -149.798 / 0.2775 = -539.813 \text{ pixel / giorno}$$

$$VY = 10.775 / 0.2775 = 38.829 \text{ pixel / giorno}$$

Procediamo ora con la vera e propria analisi fotometrica dell'asteroide (fig. 11).

Visualizziamo il primo frame (load campanula_1) e dal menù [Analysis]-[Select Objects] selezioniamo con il mouse la posizione dell'asteroide e delle tre stelle di confronto, quindi [Analysis]-[Automatic photometry...].

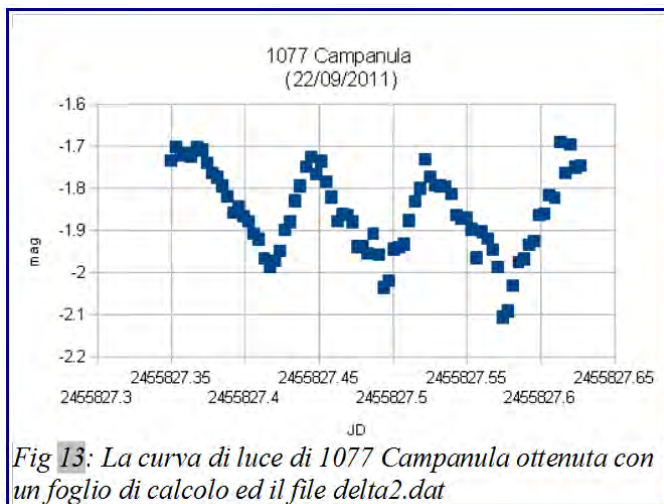
Le coordinate (X e Y) dell'asteroide e delle stelle di confronto ci vengono mostrate in automatico. Completiamo con il nome dell'asteroide (campanula_), il numero di frame (80), il file dei risultati (campanula) e la velocità in pixel calcolata al punto precedente.

Premendo il tasto OK vedremo scorrere i vari frame come se fosse un filmato.

Il risultato dell'analisi fotometrica sarà automaticamente salvata su alcuni file di IRIS. Per controllare subito il risultato si può usare la funzione [View]-[Plot] e dalla finestra visualizzata potremo caricare il file [File]-[Load]-[verif.dat] ottenendo il grafico di verifica con la curva di luce dell'asteroide (fig. 12).

Volendo si può usare anche un foglio di calcolo per visualizzare il grafico (fig. 13), ma in questo caso sarà meglio usare il file **delta2.dat** (creato in automatico da IRIS), che riporta per ogni punto la data giuliana e la magnitudine differenziale e potrà essere utilizzato anche per scambiare i propri dati con altri osservatori. Nella nostra curva di luce rileviamo la presenza di quattro massimi e tre minimi. Possiamo perciò dedurre che abbiamo osservato circa due cicli completi, in un intervallo di $0.2775d = 6h 40m$, e quindi il periodo di rotazione dell'asteroide sarà approssimativamente di 3-4 ore.

Se poi vorrete dedicarvi attivamente alla fotometria degli asteroidi sarà opportuno dotarsi di un software specifico come MPO Canopus (www.minorplanetobserver.com/MPOSoftware/MPOCanopus.htm) che implementa tutte le necessarie funzioni per l'analisi fotometrica e il calcolo del periodo di rotazione.



In fig. 14 riportiamo il grafico di fase della medesima sessione osservativa, ottenuta però con MPO Canopus che fornisce l'indicazione del periodo di rotazione calcolato attraverso l'algoritmo FALC (Fourier Analysis of Light Curves) sviluppato dal Dr. Alan Harris (JPL).

L'articolo con i dati raccolti sull'asteroide 1077 Campanula, qui illustrati e acquisiti dallo scrivente (A81 Balzaretto Observatory) e da Andrea Ferrero (Bigmuskie Observatory – B88), è stato trasmesso, per la pubblicazione, al Minor Planet Bulletin, www.minorplanet.info/mpdownloads.html

**ED ORA... UNA PROPOSTA OSSERVATIVA!
NEL CORSO DEL MESE DI MARZO SEGUIAMO
GLI ASTEROIDI:**

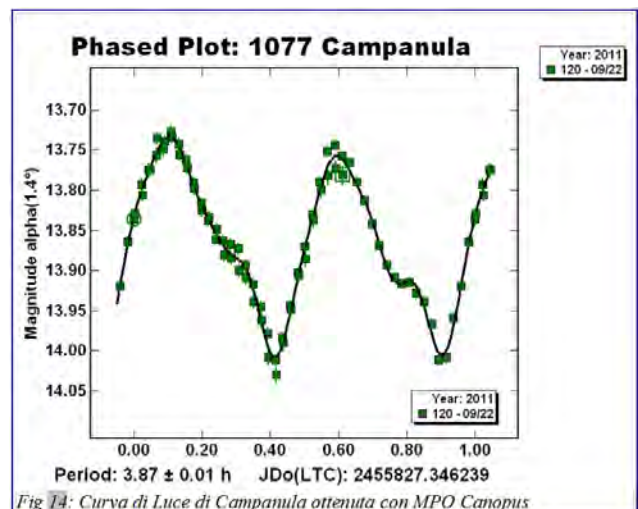
16 Psyche

416 Vaticana

E RICAVIAMO LA LORO CURVA DI LUCE

16 Psyche, www.minorplanetcenter.net/db_search/show_object?object_id=16, è un asteroide della fascia principale, scoperto a Napoli da A. De Gasperis nel 1852 e, a marzo, sarà di magnitudine 10.5 circa, quindi molto luminoso e con tempi di esposizione brevi. Saranno sufficienti strumenti di 15 cm di diametro per ottenere ottime curve di luce!

416 Vaticana, sarà invece di magnitudine 12, sarà perciò necessario un tempo di esposizione un po' più lungo rispetto a Psyche. Vaticana ruota con un periodo di poco più di 5 ore. Per questo asteroide un telescopio di 20 cm fornirà una splendida curva di luce.



Per ottenere le effemeridi esatte dei due asteroidi occorre compilare il form alla pagina:

www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html

PER QUALSIASI INFORMAZIONE SCRIVETE

ALL'AUTORE: lor_franco@libero.it



Lorenzo Franco, nato a Monte S. Angelo (FG), è appassionato di Astronomia da sempre, tanto da conseguire la Laurea in Astronomia presso l'Università di Bologna. Vive e lavora a Roma nel settore dell'Information Technology di una Banca. Dal 2005 si dedica nel tempo libero all'osservazione di asteroidi e comete ed alla ricerca scientifica amatoriale, collabora con la Sezione Stelle Variabili dell'UAI.