

# Introduzione alla Fotometria Asteroidale

Lorenzo Franco ([lor\\_franco@libero.it](mailto:lor_franco@libero.it))

## Premessa

La fotometria applicata agli asteroidi rappresenta una interessante opportunità di ricerca amatoriale. Ci sono tutt'ora (maggio 2022) circa 13 mila asteroidi di diametro maggiore di 5 km ( $H=14$ ) per i quali non si conosce il periodo di rotazione e che restano alla portata di piccoli telescopi. In questo campo gli astrofili hanno il vantaggio, rispetto ai professionisti, di poter effettuare delle osservazioni in maniera continuativa e per numerose notti, condizione necessaria per riuscire ad ottenere delle ottime curve di luce. Questo articolo si pone l'obiettivo di stimolare gli astrofili che desiderano cimentarsi nella ricerca amatoriale per riuscire in breve tempo a fornire il proprio contributo importante ed originale. Percorreremo i passi principali del processo che vanno dalla selezione degli asteroidi da osservare, all'acquisizione dei frame fino alla fase finale di riduzione ed analisi.

## Fotometria e Curve di Luce

La fotometria si prefigge lo scopo di misurare il flusso luminoso di una sorgente luminosa. Il flusso ricevuto può estendersi su un'ampia gamma dello spettro della luce visibile, dal blu al rosso. Tale flusso può essere convertito in magnitudini attraverso una relazione di tipo logaritmico. Il flusso misurato, e quindi la magnitudine, dipende molto dalla strumentazione utilizzata (atmosfera+telescopio+sensore) e per questo motivo si parla di magnitudini strumentali, non direttamente confrontabili con quelle ottenute da altri osservatori con una diversa strumentazione. Basti pensare che la sola presenza di veli durante una sessione fotometrica può alterare le nostre misure, così come pure l'altezza della sorgente luminosa nel cielo. Per poter ottenere delle misure confrontabili è stato introdotto il sistema fotometrico standard delle magnitudini, basato su una serie di filtri fotometrici e stelle di calibrazione la cui magnitudine è ben nota con una notevole precisione.

Il grafico che mostra le variazioni di luminosità in funzione del tempo prende il nome di "curva di luce". Gli asteroidi, specialmente quelli più piccoli, si possono assimilare a degli ellissoidi triassiali. Da un punto di vista intuitivo hanno un aspetto oblungo ed irregolare. La rotazione lungo l'asse più corto, quello che garantisce la maggiore stabilità (minore momento di inerzia), mostrerà alternativamente il lato più lungo ed il lato più corto. La luce riflessa subirà quindi delle periodiche variazioni di luminosità, in base alla superficie illuminata. Queste variazioni di luminosità sono correlate direttamente con il periodo di rotazione dell'asteroide osservato dalla Terra (periodo di rotazione sinodico). Le curve di luce degli asteroidi hanno generalmente un

aspetto bimodale, formato cioè da due massimi e due minimi per ciclo di rotazione, in ragione del fatto che un ellissoide durante una rotazione completa mostra per due volte la faccia più lunga (più grande e più luminosa) e per due volte quella più corta (meno grande e meno luminosa). Un asteroide perfettamente sferico e senza asperità mostrerebbe una curva di luce piatta e senza alcuna variazione di luminosità.

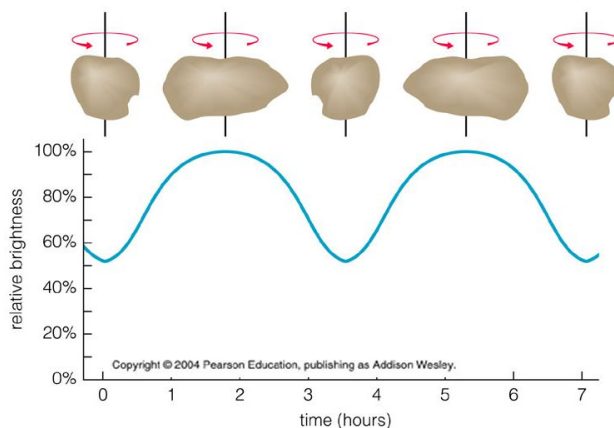


Figura 1: Curva di luce: gli asteroidi mostrano una periodica variazione di luminosità con due massimi e due minimi per ciclo, determinata dalla superficie illuminata.

I periodi di rotazione degli asteroidi variano da poche ore fino a 12-24 ore ed anche di più. Pertanto per riuscire a registrare un intero ciclo di rotazione saranno necessarie diverse notti di osservazione, richiedendo un significativo sforzo osservativo. In alternativa la collaborazione tra più osservatori potrà rendere l'impegno osservativo meno oneroso.

## Strumentazione

Per la fotometria in generale occorre disporre di una strumentazione di base non particolarmente sofisticata e spesso già posseduta dagli astrofili per la fotografia astronomica. Vediamo in particolare quali sono le principali caratteristiche alle quali non si può rinunciare:

- Telescopio con montatura equatoriale automatizzata e collegabile al computer.
- Camera di ripresa CCD/CMOS, sensibile, monocromatica e a 16 bit.
- Sistema di autoguida
- Computer di controllo/autoguida e di acquisizione ed elaborazione dati.
- Software di controllo del telescopio, planetario e riduzione fotometrica. Per quest'ultimo si raccomanda l'uso di MPO Canopus che supporta la fotometria asteroidale in modo eccellente.

Valgono anche le seguenti raccomandazioni:

- Acquisire, oltre alle immagini principali (*light frame*), anche le immagini accessorie di calibrazione (*dark e flat frame*) che andranno utilizzate nella fase di pre-trattamento. Questa fase, molto delicata, contribuisce a minimizzare i potenziali artefatti.
- Massimizzare l'efficienza del proprio sistema (telescopio+sensore) cercando di avvicinarsi al campionamento ottimale di due *pixel* per unità di risoluzione (*seeing*). Ad esempio con un *seeing* medio di 3 secondi d'arco, il campionamento ottimale del proprio sistema dovrà avvicinarsi a 1.5 secondi d'arco per *pixel*.
- Stazionare accuratamente la montatura del telescopio per raggiungere una migliore precisione nel puntamento e per minimizzare la deriva in declinazione e la rotazione di campo.

### Scelta dell'asteroide da osservare

Una delle fonti di riferimento per la fotometria degli asteroidi è rappresentata dal sito "Collaborative Asteroid Lightcurve Link" (CALL) all'indirizzo:

<https://minplanobs.org/mpinfo/php/call.php>, dove troveremo la pagina "Lightcurve Targets" (<https://minplanobs.org/mpinfo/php/calloplcdbquery.php>) con la lista degli asteroidi osservabili in un determinato periodo dell'anno.

Figura 2: Lightcurve Targets – la pagina di ricerca. (<https://minplanobs.org/mpinfo/php/calloplcdbquery.php>)

Ad esempio impostando [2022], [May] e la magnitudine massima [14] + [Run Search] otterremo la lista degli asteroidi osservabili e che risponderanno ai criteri di selezione inseriti.

LCDB	Ephemeris	Reset	LCDB	Eph	CN	CS	Fav	Num	Name	Fam	ODate	OMag	MDate	MDist	BDDate	BMag	BDDec	PF	Period	AMin	AMax	U	H	pV	Diam
					N	N	N	482	Petrina	9108	05.09.5	12.8	05.07.9	1.787	05.05.4	12.8	-1		11.7922	0.07	0.56	3	8.97	0.057	89.45
					N	N	N	18	Melbomene	9104	05.09.9	10.3	05.10.9	1.725	05.07.1	10.3	-1		11.570	0.10	0.34	3	6.56	0.20	145.54
					N	N	N	3200	Phaethon	9101	10.28.7	17.3	05.15.9	0.872	05.10.6	14.0	16		3.604	0.05	0.34	3	14.40	0.20	3.92
					N	N	N	390	Aeria	539	05.15.8	13.2	05.16.8	1.815	05.14.0	12.6	-5		4.179	0.04	0.13	3	8.75	0.17	67.32
					N	N	N	472	Roma	506	05.16.8	13.0	05.14.3	1.824	05.14.1	13.0	4		9.8007	0.27	0.46	3	8.96	0.25	42.91
					N	N	N	306	Untas	9104	05.24.4	11.3	05.29.8	1.183	05.23.9	11.3	-7		8.736	0.16	0.30	3	8.89	0.20	49.64
					N	N	Y	5693	1993 EA	9101	99.99.9	99.9	05.28.2	0.069	05.24.2	13.7	15		2.496	0.05	0.13	2	16.75	0.20	1.33
					N	N	N	273	Atopos	9104	05.28.7	13.4	05.28.3	1.176	05.25.3	13.4	17		23.924	0.52	0.65	3	10.51	0.20	23.50
					N	N	N	660	Crescentia	506	05.29.4	12.2	05.27.7	1.322	05.26.2	12.2	5		7.9116	0.15	0.33	3	9.16	0.25	39.13

Figura 3: Lista asteroidi osservabili (maggio 2022) e che rispondono ai requisiti di ricerca.

Dalla lista ottenuta notiamo (ad esempio) l'asteroide 369 Aeria di circa 13a magnitudine e con un periodo di rotazione di quasi cinque ore. Questo asteroide potrebbe rappresentare un buon candidato per iniziare con la fotometria asteroidale, poiché si tratta di un asteroide relativamente luminoso e con un periodo abbastanza breve da seguire per un intero ciclo di rotazione in una sola notte. Con la funzione [Ephemeris] potremo ottenere le coordinate dell'asteroide nei vari giorni nel mese. Questa funzionalità potrà essere ottenuta anche con un buon planetario per PC, come ad esempio il software gratuito C2A (<http://www.astrosurf.com/c2a/english/>)

### Puntiamo il telescopio

Il puntamento del telescopio, centrato sulla posizione dell'asteroide, non è così banale come si potrebbe pensare in un primo momento. Gli asteroidi tendono a confondersi con le stelle di campo e si muovono lentamente. Sarà importante sincronizzare l'orologio del proprio PC prima di avviare la sessione osservativa. A questo scopo si consiglia di utilizzare un orologio radio-controllato, un GPS o il servizio internet NTP (*Network Time Protocol*). Una montatura equatoriale "GoTo" potrà fornirci un notevole aiuto nella fase di puntamento, specialmente se ben stazionata e precisa.

Una volta puntato il telescopio occorrerà verificare se saremo o meno riusciti a centrare effettivamente l'asteroide. Per farlo sarà sufficiente riprendere due immagini (ad esempio di 30 secondi) distanziate da qualche minuto l'una dall'altra. Naturalmente senza muovere il telescopio e con il movimento siderale attivo. Confrontando le due immagini, visivamente o tramite la funzione [Blink], vedremo un puntino luminoso muoversi tra le stelle in due posizioni diverse.

### Acquisizione delle immagini

Una volta completate le operazioni di "puntamento" saremo pronti per iniziare l'acquisizione vera e propria della sequenza di immagini, che potrà protrarsi per diverse ore o (meglio) per tutta la notte. Si consiglia di utilizzare l'autoguida per garantire un perfetto inseguimento e per mantenere ben centrato il campo inquadrato durante tutta la sequenza. Per la fotometria asteroidale è sempre consigliato l'uso del filtro fotometrico "R" a meno che non si tratti di un asteroide poco luminoso per il quale conviene non usare alcun filtro (*unfiltered*).

Il tempo di esposizione da utilizzarsi andrà scelto secondo i seguenti 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 (es: 20-30 mila ADU di picco andranno bene).
- Occorre tener conto anche dell'incremento del flusso luminoso dell'asteroide vicino alla culminazione in meridiano, causato dal progressivo minore assorbimento atmosferico.
- Il tempo di esposizione non dovrà nemmeno essere troppo lungo per evitare di ottenere la traccia del movimento dell'asteroide. Mediamente un asteroide di fascia principale si muove con una velocità di circa 0.6 secondi d'arco al minuto, corrispondenti a poco più di ½ minuto d'arco all'ora e 4-5 di minuti di esposizione andranno ancora bene.
- Con asteroidi molto luminosi si consiglia di usare dei tempi di esposizione più bassi (15-30-60 secondi), compatibilmente con la sensibilità e con il livello di saturazione della propria camera di ripresa.

Adesso siamo pronti per iniziare l'acquisizione della sequenza di immagini dell'asteroide selezionato e, se il telescopio e l'autoguida saranno ben impostate, potremo anche andare a dormire (mettendo la sveglia all'alba), mentre la strumentazione lavorerà per noi tutta la notte. Ricordarsi di chiudere la sessione osservativa solo dopo aver ripreso anche le immagini accessorie di calibrazione (*dark e flat frame*) senza le quali il lavoro fin qui svolto verrebbe compromesso. I *flat frame* andranno acquisiti per ogni filtro utilizzato durante la sessione osservativa.

### Riduzione Fotometrica

Questa fase è la più delicata di tutto il processo. Ricordarsi sempre di calibrare con *dark e flat frame* le immagini acquisite (*pre-trattamento*). Si consiglia anche di allineare tutti i frame tra di loro per correggere eventuali piccoli spostamenti del campo di ripresa. Questa fase ci permetterà di ottenere delle immagini (*science frame*) ripulite dai problemi del rumore termico sulle lunghe esposizioni e dai difetti causati dalla differente sensibilità dei *pixel*, dalla vignettatura e dagli aloni scuri causati dai granelli di polvere. I *frame* acquisiti vanno ridotti sempre alla banda fotometrica corrispondente al filtro fotometrico utilizzato per le riprese. Nel caso di frame acquisiti senza filtro (*unfiltered*) la banda fotometrica da utilizzarsi è la "R" (C->R). Per una descrizione dettagliata (passo passo) delle fasi da seguire durante la riduzione fotometrica e per l'analisi delle curve di luce, si rimanda al documento "Come utilizzare MPO Canopus per ottenere una curva di luce" al link:

[https://digidownload.libero.it/A81\\_Observatory/documnti/MPOCanopus\\_tutorial.pdf](https://digidownload.libero.it/A81_Observatory/documnti/MPOCanopus_tutorial.pdf)

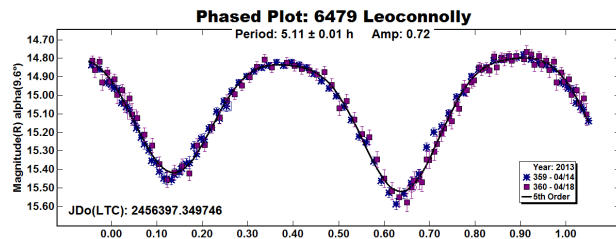


Figura 4: Esempio di curva di luce con periodo di rotazione di 5.11 ore, ottenuta dall'autore.

### Campagne fotometriche UAI

Dal 2017 la sezione asteroidi UAI propone, con cadenza trimestrale, delle campagne fotometriche per l'osservazione degli asteroidi. Gli asteroidi sono selezionati per acquisire dati utili a migliorarne la caratterizzazione e per tentare di ottenere dei modelli 3D con il processo di "inversione delle curve di luce". La proposta riguarda asteroidi luminosi e meno luminosi per offrire a tutti la possibilità di partecipare con la propria strumentazione. Le curve di luce acquisite vengono pubblicate sul "Minor Planet Bulletin", dove ogni osservatore concorre come "co-autore". Il risultato tangibile di queste campagne è rappresentato dalla pubblicazione di 25 articoli per un totale di 96 curve di luce e 5 modelli 3D di asteroidi. Una particolare nota di soddisfazione è rappresentata dalla scoperta di due asteroidi binari (7132 Casulli e 4528 Berg) avvenuta grazie ai dati acquisiti durante le campagne fotometriche UAI.

128

**COLLABORATIVE ASTEROID PHOTOMETRY FROM UAI: 2021 OCTOBER-DECEMBER**

Lorenzo Franco  
Balzaretto Observatory (A81), Rome, ITALY  
lo\_franco@libero.it

Alessandro Marchini, Riccardo Papini  
Astronomical Observatory, DSF TA - University of Siena (K54)  
Via Roma 56, 53100 - Siena, ITALY

Marco Iozzi  
HOB Astronomical Observatory (I63), Capraia Fiorentina, ITALY

Paolo Bacci, Martina Maestriperi  
GAMP - San Marcello Pistoiese (I04), Pistoia, ITALY

Giorgio Baj  
M57 Observatory (K38), Saltrio, ITALY

Gianni Galli  
GiuGa Observatory (203), Pogliano Milanese, ITALY

Fabio Mortari, Davide Gabellini  
Hypatia Observatory (I62), Rimini, ITALY

Nello Rusaco  
Osservatorio Astronomico Nastro Verde (CR2), Sorrento, ITALY

Luciano Tancelli  
GAV (Gruppo Astrofil Villasantia), Villasantia, ITALY

Nico Montigiani, Massimiliano Mannucci  
Osservatorio Astronomico Margherita Hack (A57)  
Firenze, ITALY

Giulio Scarfi  
Iota Scorpis Observatory (K78), La Spezia, ITALY

Fabio Salvaggio  
Wild Bear Remote Observers (K49)  
San Casciano in Val di Pesa (FI), ITALY

(Received: 2022 Jan 13)

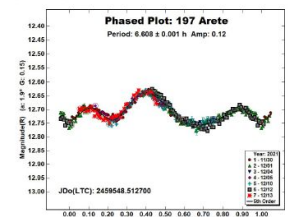
Photometric observations of eight asteroids were made in order to acquire lightcurves for shape/spin axis modeling. The synodic period and lightcurve amplitude were found for 197 Arete, 359 Georgia, 796 Sarita, 901 Brunsta, 1346 Gotha, 4660 Nereus, 4935 Maslachkova and 6249 Jennifer.

Collaborative asteroid photometry was done inside the Italian Amateur Astronomers Union (IAU) 2021 group. The targets were selected mainly in order to acquire lightcurves for shape/spin axis modeling. Table II shows the observing circumstances and results.

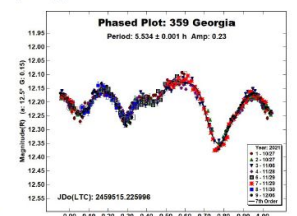
The CCD observations of eight asteroids were made in 2021 October-December using the instrumentation described in Table I. Lightcurve analysis was performed at the Balzaretto Observatory with MPO Canopus (Warner, 2021). All the images were calibrated with dark and flat frames and converted to R magnitudes using solar

colored field stars from CMC15 catalogue, distributed with MPO Canopus. For brevity, the following citations to the asteroid lightcurve database (LCDB; Warner et al., 2009) will be summarized only as "LCDB".

197 Arete is an S-type (Bus and Binzel, 2002) middle main-belt asteroid. Collaborative observations were made over seven nights. The data analysis shows a synodic period of  $P = 6.608 \pm 0.001$  h with an amplitude  $A = 0.12 \pm 0.02$  mag. The period is close to the previously published results in the LCDB.



359 Georgia is an X-type (Bus and Binzel, 2002) middle main-belt asteroid. Collaborative observations were made over five nights. The data analysis shows a synodic period of  $P = 5.534 \pm 0.001$  h with an amplitude  $A = 0.23 \pm 0.03$  mag. The period is close to the previously published results in the LCDB.



796 Sarita is an X-type (Bus and Binzel, 2002) middle main-belt asteroid. Collaborative observations were made over five nights. The data analysis shows a synodic period of  $P = 8.176 \pm 0.002$  h with an amplitude  $A = 0.32 \pm 0.02$  mag. The period is close to the previously published results in the LCDB.

Figura 5: Esempio di pubblicazione relativa alla campagna fotometrica UAI di ottobre-dicembre 2021 (Minor Planet Bulletin 49-2).

## **Il ruolo degli astrofili**

Gli astrofili possono fornire un contributo importante e personale alla fotometria asteroidale. In particolare le collaborazioni tra astrofili hanno il vantaggio di mettere a fattor comune gli sforzi per raggiungere dei risultati più efficaci e produttivi.

## **Conclusioni**

Le occasioni di ricerca nell'ambito della fotometria asteroidale sono tantissime. Ci sono asteroidi di cui non si conosce ancora il periodo di rotazione, altri con un periodo non ben determinato, altri ancora sono stati osservati in una sola opposizione. Le curve di luce acquisite in diverse opposizioni danno la possibilità di ottenere dei modelli tridimensionali. La fotometria *multi-banda* infine permette di definire, anche se in modo approssimato e preliminare, la classe tassonomica dell'asteroide osservato.

## **Risorse utili ed approfondimenti**

Asteroid Photometry Guide:

<https://minplanobs.org/mpinfo/php/photometryguide.php>

R.K. Buchheim, "*The Sky is Your Laboratory*"

R. Dymock, "*Asteroids and Dwarf Planets and How to Observe Them*"

JPL Small-Body Database:

[https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb\\_lookup.html#/](https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_lookup.html#/)

Minor Planet & Comet Ephemeris Service:

<https://minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>

W. Romanishin, "*An Introduction to Astronomical Photometry Using CCDs*":

<http://www1.phys.vt.edu/~jhs/phys3154/CCDPhotometryBook.pdf>

UAI Sezione di Ricerca Asteroidi: <http://asteroidi.uai.it/it/>

B.D. Warner, "*A Practical Guide to Lightcurve Photometry and Analysis*"