

# Programma di fotometria CCD su minimi di binarie a eclisse. Osservazioni di OO Aquilae.

Gruppo Astrofili Catanesi, Sezione Stelle Variabili – UAI

## Abstract

A campaign of CCD photometry is proposed with the aim to detect minima of eclipsing binaries. A "test" list of eclipsing binaries is presented. It contains relatively bright sources, with a possible comparison star in the typical field of a CCD applied to 15 - 40 cm telescopes.

The possibility to perform useful photometry on variable stars by using webcams is discussed by showing the results obtained on V 745 Cas.

One time of minimum of the eclipsing binary OO Aql is also presented together with the updated O-C diagram.

## Perché le binarie a eclisse?

Tra gli "attrezzi" a disposizione dell'astrofisico, le binarie ad eclisse rivestono un'importanza fondamentale. Basti pensare alla possibilità di determinare, combinando osservazioni fotometriche e spettroscopiche di stelle binarie, le masse e i raggi stellari. L'osservazione delle binarie ad eclisse e delle binarie spettroscopiche sta anche alla base degli studi sull'attività magnetica e sugli scambi di materia nelle stelle. Questo tipo di analisi, pur molto complesso sul lato teorico, si basa su evidenze osservative che possono essere alla portata dell'astrofilo quali, per esempio, le variazioni di periodo orbitale.

Purtroppo, in confronto alla vertiginosa diffusione di telescopi e CCD amatoriali, di gran lunga meno rilevante è stato l'incremento dell'interesse dell'astrofilo per l'osservazione scientifica. Nel tentativo di modificare questa tendenza, si vuole proporre un programma di ricerca alla portata di chiunque sia dotato di un telescopio e di un CCD.

Non richiedendo la calibrazione al sistema fotometrico standard, dato che si può operare senza filtri, la fotometria di binarie a eclisse è ritenuta più adatta, per l'utilizzatore "medio" di sistemi CCD, rispetto ad altri programmi fotometrici che alcuni astronomi hanno recentemente proposto agli amatori. Inoltre, la pubblicazione su riviste internazionali (per esempio su *Information Bulletin on Variable Stars*) delle osservazioni di minimi di binarie a eclisse è possibile in tempi relativamente brevi.

Già da tempo un certo numero di astrofili, anche in Italia, ottiene sistematicamente dati sulle binarie a eclisse. La presente proposta è diretta anche ad astrofili con poca esperienza e vuole essere un incentivo a una ricerca più sistematica e più organizzata, finalizzata anche a una più efficace pubblicazione dei risultati.

## Gli obiettivi della campagna

In questa prima fase "di lancio", ci si può limitare al monitoraggio di un certo numero di sistemi a eclisse ottenendo le curve di luce nella fase di minimo. Ciò al fine di ricavare l'istante della centralità dell'eclisse (istante di minimo). È questo il dato che si vuole pubblicare, per renderlo disponibile alla comunità scientifica.

## Le osservazioni

Nella figura 1 sono schematizzati i passaggi relativi alla programmazione delle osservazioni, all'effettuazione delle stesse e all'analisi dei dati, finalizzata a ricavare l'istante di minimo e alla sua pubblicazione.



Figura 1. La procedura di base per la fotometria CCD di binarie a eclisse, finalizzata alla pubblicazione degli istanti di minimo. Sono tratteggiate le fasi "non obbligatorie" per gli aderenti alla campagna osservativa.

## Pianificazione delle osservazioni

Una buona pianificazione delle osservazioni include la previsione delle date e degli orari dei minimi. Tale fase potrà essere risparmiata agli osservatori se la Sezione Stelle Variabili o il coordinatore della campagna si occuperanno periodicamente di stilare un elenco dei minimi visibili, diffondendo le previsioni, per esempio tramite *mailing list*.

Per le binarie con periodo molto breve, può non essere strettamente necessaria la previsione dell'istante di minimo, tanto più che essa potrebbe essere addirittura fuorviante se basata su effemeridi non aggiornate: osservando per buona parte della notte sarà certamente possibile incontrare un minimo, primario o secondario.

## Le riprese fotometriche

Per le binarie di breve periodo, come quelle proposte, l'osservazione consiste nella semplice ripresa di immagini CCD in sequenza, in un arco di tempo di alcune ore, prima e dopo il minimo previsto. In ogni *frame* deve essere presente, oltre alla variabile, almeno una stella co-

stante di confronto. È ovvio che bisogna prima sincronizzare il *clock* del computer con un segnale orario ufficiale.

### **La calibrazione delle immagini**

La calibrazione delle immagini consiste nella consueta sottrazione del *dark* e nella divisione per i *flat field* (già a loro volta trattati per i relativi *dark*).

### **L'analisi fotometrica**

Per l'estrazione delle magnitudini dalle singole immagini, si adotta la "fotometria d'apertura", un metodo alla portata di tutti i possessori di CCD e che può essere applicato con molti *software*, tra cui *Maxim DL*, *AstroArt*, *IRAF* e *Iris* (in quest'ultimo caso le immagini prodotte da molti CCD devono essere prima convertite a 16 bit "con segno" usando il comando CONVERTSX).

La fotometria d'apertura, consiste nell'integrare (sommare) entro un cerchio prestabilito il segnale che la stella ha lasciato sull'immagine. Con *Iris* si utilizza il comando *Aperture Photometry*, stabilendo interattivamente il diametro del cerchio su cui verrà fatta l'integrazione del segnale. Tale diametro dovrà essere pari a 4-10 volte la FWHM (*Full Width at Half Maximum* - un indicatore dell'estensione in pixel della stella). Questa scelta ci permetterà di raccogliere praticamente tutto il segnale stellare tenendo conto anche di eventuali variazioni del *seeing*. Un cerchio troppo ampio è da evitare: raccoglierebbe anche troppo "rumore" e si rischierebbe di includere il segnale di una eventuale stella vicina.

Il programma sottrae automaticamente al segnale da integrare la media del livello del fondo cielo, stimato su una corona circolare che va selezionata con dimensioni tali da escludere qualsiasi sorgente luminosa. Basterà centrare con il *mouse* i cerchi sulla stella e cliccare, per visualizzare in una finestra le magnitudini misurate.

Utilizzando *Iris*, una maniera molto veloce per effettuare l'analisi di un gran numero di immagini è l'utilizzo di *Automatic Photometry*. Bisogna prima mettere a registro le immagini riferendosi alla stella variabile, cioè sovrapporre le immagini in modo che la variabile abbia in tutte la stessa posizione (molto efficaci in tal senso sono i comandi *Planetary Registration* e *Deep Sky Registration*). A questo punto, si può lanciare la fotometria automatica con *Automatic Photometry* specificando la posizione in *pixel* della stella variabile. Con *Iris*, la posizione del "centroide" stellare può essere individuata cliccando su *PSF* ("*Point Spread Function*") dopo aver selezionato una piccola area intorno alla stella. Quindi bisogna mettere a registro le immagini rispetto alla stella di confronto e lanciare la fotometria automatica anche su questa. Si otterranno due *file* con le magnitudini della stella variabile e della stella di confronto in corrispondenza dei tempi, in Giorni Giuliani (questi ultimi memorizzati in ogni immagine in Tempo Universale). Infine, per tracciare la curva di luce basterà riportare in grafico la differenza di magnitudine "V - C" ("Variabile meno Confronto") rispetto al tempo. Questa tecnica ("fotometria differenziale") permette di minimizzare le variazioni spurie introdotte dall'assorbimento atmosferico, dal *seeing* e dal passaggio di veli, in quanto questi effetti influiscono in maniera simile sia sulla variabile che sulla confronto.

Le magnitudini (o - in casi eccezionali - le semplici immagini originali) potranno a questo punto essere inviate allo scrivente o al coordinatore della Sezione Stelle Variabili. I dati saranno utilizzati per ricavarne gli istanti di minimo, tipicamente utilizzando il programma *Avalon* [1] oppure il metodo di Kwee & van Woerden [2] (entrambi i metodi sono inclusi nel *software Algol* disponibile in web [3]).

### **La lista "iniziale"**

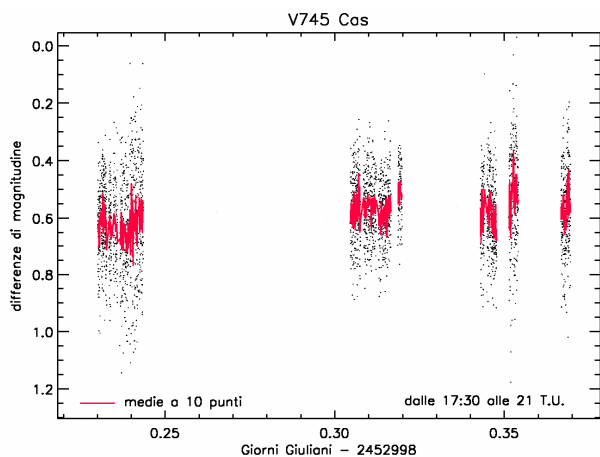
La lista proposta nella tabella 1 (a fine testo), stilata attingendo dal *database Simbad* [4] e da altre liste pubblicate ([5], [6], [7]), riporta un primo elenco di binarie a eclisse, proposto per attivare la campagna. Esse sono caratterizzate da una notevole variazione di magnitudine e da un breve periodo orbitale. Entro una decina di primi da ogni variabile è presente una stella utilizzabile come confronto, per ottenere le magnitudini differenziali. La lista, stilata originariamente allo scopo di tentare la fotometria con *webcam* o camere digitali, presenta stelle molto luminose. Per evitare la saturazione nelle immagini CCD sarà necessario, in alcuni casi, diaframmare il telescopio, poiché sono da evitare tempi di esposizione inferiori a 0.1 s.

### **È possibile con la webcam?**

In [8] abbiamo evidenziato la possibilità di utilizzare *webcam* e fotocamere digitali per ottenere dati fotometrici. Lo scopo di quel lavoro era la rilevazione degli istanti di minimo di luce di fenomeni di breve durata (massimo mezz'ora), i "fenomeni mutui" tra i satelliti medicei (*PHEMU*).

Lo stesso apparato strumentale è stato successivamente testato anche su una binaria a eclisse, V745 Cas, di ottava magnitudine e con periodo ancora non pubblicato sulle riviste ufficiali. A tale scopo, abbiamo applicato la *webcam Philips ToUcam Pro* (per la quale i nostri test presentati in [9] hanno evidenziato un discreto intervallo di linearità) al fuoco diretto di un telescopio Schmidt-Cassegrain da 20 cm *f*/10, ottenendo così una scala di 0,6" per pixel. Nell'arco di alcune ore, in cui la temperatura ambiente non ha subito rilevanti variazioni, la risposta fotometrica della *webcam* si è rivelata sufficientemente stabile, pur con una notevole dispersione dei dati, evidenziando un tratto costante della curva di luce. L'elevata dispersione dei valori fotometrici (l'ottava magnitudine è appena rivelabile da una comune *webcam* fissando il tempo di esposizione a 1/25 s - il tempo massimo possibile) ha imposto la ripresa di un gran numero di immagini (successivamente mediate a dieci a dieci). Per far ciò, abbiamo operato acquisendo filmati in sequenza (poi scomposti nei singoli *frame* componenti), anziché acquisire direttamente immagini separate. Purtroppo, nei singoli *frame* estratti dai filmati (alcuni *frame* sono anche duplicati dal *software* di acquisizione) non viene registrato l'istante di ripresa, che è stato ricavato in base all'istante di inizio del filmato.

Le differenze di magnitudine rispetto a una stella (non variabile) presente nel campo di ripresa, adottata come stella di confronto, sono presentate nella figura 2, in cui è stata evidenziata, il 24 dicembre 2003, la luminosità costante di V745 Cas, nell'arco di 3.5 ore, entro  $\pm 0.06$  mag (deviazione standard delle medie a 10 punti).



**Figura 2.** Fotometria di V745 Cas del 24-12-2003, effettuata con webcam Philips ToUcam Pro applicata a uno Schmidt-Cassegrain da 20 cm. I puntini rappresentano le differenze di magnitudine (estratte dai singoli frame) rispetto a una stella di confronto presente nel campo di ripresa. La linea spezzata connette le medie a 10 punti. Seeing di circa 3 secondi d'arco.

Per un altro test, stavolta eseguito riprendendo la notevole variazione della binaria OO Aql, è stata utilizzata una Philips ToUcam Pro 2 modificata per poter effettuare le lunghe esposizioni. In questo caso il risultato ha mostrato, oltre che una notevole dispersione nei dati, anche degli *shift* con tempi dell'ordine dell'ora. Non possiamo considerare conclusivo tale test, ma potremmo addebitare la scadente qualità dei dati ottenuti a un'insufficiente stabilità del sistema, oppure a un limitato intervallo di linearità del sensore o, ancora, all'inaffidabilità del tempo di integrazione. Altre fonti di errore potrebbero essere le differenze di sensibilità nell'area del sensore e le variazioni dell'immagine stellare, introdotte dal *seeing* o dal peggioramento della fuocoheggiatura. Cambiamenti del fuoco possono derivare dagli spostamenti dello specchio primario per le diverse posizioni del telescopio, problema tipico degli Schmidt-Cassegrain, incluso lo strumento da noi usato durante il test.

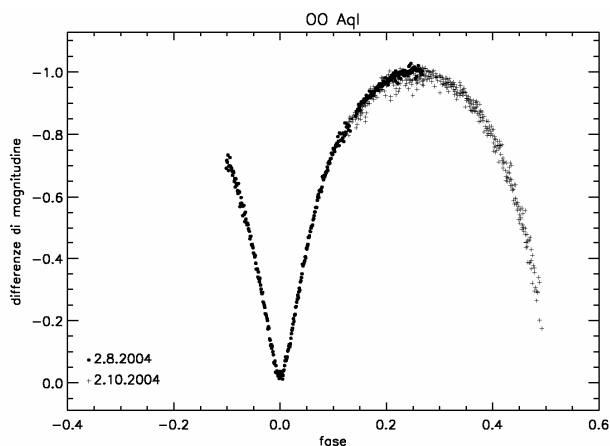
### Minimi di OO Aquilae

Presentiamo di seguito alcuni risultati dello studio della binaria a eclisse OO Aql.

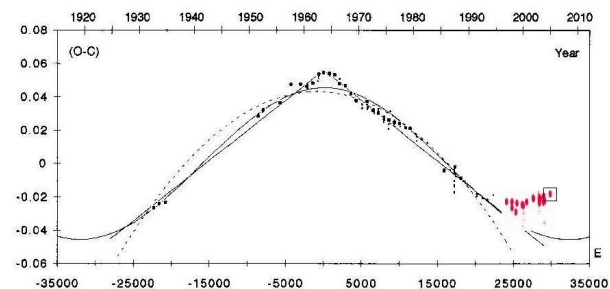
Nel 2004 abbiamo ottenuto il nostro primo minimo basato su fotometria CCD. In figura 3 è mostrata la curva di luce, ottenuta il 2-8-2004 e il 2-10-2004 con il CCD SBIG ST10 applicato all'apocromatico da 13 cm (senza filtro) di Giovanni Benintende. Particolarmente bassa è risultata la dispersione dei dati del 2 agosto, con una deviazione standard inferiore a 0.01 mag. L'istante del minimo (principale), ricavato con il programma *Avalon*, è il seguente:

$$\text{HJD}(\text{min. I}) = 2453220.41477 (\pm 0.0005)$$

Nella figura 4, tale istante di minimo è stato riportato nel diagramma O-C ("tempo Osservato meno Calcolato") insieme ai minimi raccolti in [10], ai minimi successivi al 1996 rintracciati in letteratura e ai minimi visuali ottenuti dal G.A.C. e dalla Sezione Stelle Variabili UAI dal 1999 al 2003 (tra cui i minimi pubblicati in [11]).



**Figura 3.** Curva di luce CCD di OO Aql nel 2004 (Gruppo Astrofili Catanesi). I dati sono riportati rispetto alla fase orbitale, calcolata utilizzando, come epoca iniziale, l'istante di minimo del 2-8-2004 (riportato nel testo) e il periodo di 0.5067888 giorni riportato in [10]. Le magnitudini non sono ridotte al sistema fotometrico standard.



**Figura 4.** Il diagramma degli O-C di OO Aql. I grossi punti finali rappresentano i minimi ritrovati in letteratura dal 1996. Il punto incorniciato rappresenta il minimo da noi ottenuto il 2-8-2004. Le crocette (poco evidenziate) rappresentano i minimi visuali del 1999 [11], 2002 e 2003. La figura è stata ottenuta riportando tutti i suddetti minimi sul diagramma presentato in [10].

Tale diagramma permette di evidenziare le differenze tra gli istanti di minimo osservato e quelli previsti, calcolati in base alle precedenti effemeridi.

Dall'esame della figura 4 sembra evidente una stabilizzazione del periodo orbitale a partire dalla metà degli anni Novanta. Ciò va contro le tre previsioni contemplate in [10], evidenziate dalla linea tratteggiata (andamento parabolico) e dalle linee continue (andamento bi-lineare e andamento sinusoidale), corrispondenti ai diversi meccanismi fisici invocati (attività magnetica, scambio di materia, presenza di un terzo corpo).

È chiaro quanto sia importante continuare a seguire il sistema, per poter stabilire il tipo di variazione del periodo e poterne tentare un'interpretazione fisica.

### Conclusioni

È proposta una campagna di fotometria di binarie a eclisse nell'ambito della Sezione Stelle Variabili UAI. Il programma proposto è alla portata di chiunque possieda un CCD.

I dati, preferibilmente già nel formato tempo-magnitudine, possono essere inviati all'autore o al coordinatore della Sezione Stelle Variabili. Sarà possibile, in tempi re-

lativamente brevi, la pubblicazione degli istanti di minimo su riviste scientifiche internazionali.

Nel testo si accenna alla possibilità di tentare delle riprese fotometriche utilizzando delle comuni webcam.

Recenti osservazioni di OO Aql, confrontate con i dati "storici" riportati in letteratura, mostrano quanto importante e interessante sia la fotometria delle binarie a eclisse, con cui l'astrofilo può fornire un rilevante contributo alla ricerca scientifica.

## Bibliografia

- [1] Gaspani A., *3rd GEOS workshop on variable star data acquisition and processing*, S. Pellegrino Terme (1995).
- [2] Kwee K. K. & van Woerden H., *Bull. Astron. Inst. Neth.*, **12**, 327-330 (1956).
- [3] Bernasconi P. A. & Gaspani A., *Algol Software V.2.11/2*, <http://www.upv.es/geos/software.htm> (1999).
- [4] Simbad Database (CDS Strasbourg), <http://simbad.u-strasbg.fr/Simbad>.
- [5] Rucinski S.M., *Publ. Astron. Soc. Pacific*, **114**, 1124-1142 (2002).
- [6] Adelman S.J., *Baltic Astronomy*, **10**, 589-593 (2001).
- [7] Foglia S., Programma Binarie a eclisse [in visuale], UAI-SSV, [http://digilander.libero.it/sf\\_astronomy/eb/vseb.htm](http://digilander.libero.it/sf_astronomy/eb/vseb.htm).
- [8] Spampinato S.A., Cammarata S., Lo Savio E., Marino G., Salvaggio F., *Astronomia UAI*, 4 (luglio-agosto), 47-50 (2004).
- [9] Gruppo Astrofili Catanesi, *Le Stelle*, 6, 86-89 (2003).
- [10] Demircan O. & Guerol B, *Astron. Astroph. Suppl. Ser.*, **115**, 333-338 (1996).
- [11] Salvaggio F., *Astronomia UAI*, 3 (maggio giugno), 4-6 (2001).

**Tabella 1.** Una lista di binarie a eclisse con cui lanciare il programma osservativo. Per alcuni oggetti non è stato possibile reperire informazioni sulle effemeridi (epoca iniziale di minimo e periodo orbitale). I casi in cui risulta mai effettuata una determinazione del periodo sono indicati con "?". Con "min. I" si indica il minimo primario (quello più profondo), a cui è associata la fase orbitale 0 (che coincide con 1 alla fine di un ciclo orbitale). Conoscendo un'epoca "iniziale" (qui data in giorni giuliani eliocentrici – che differiscono dai giorni giuliani al più di circa 8 minuti) e il periodo orbitale, è facile prevedere i tempi dei minimi.

Nome	Tipo	Magn.	$\Delta V$ (mag)	Epoca min. I (HJD)	Periodo (giorni)	Nome confronto	Magn. confronto
V 566 Oph = HIP 87860	W Uma	7.47	0.49	2440418.540	0.4096436	GAT 1022	7.7
IS CMa = HIP30174	W Uma	6.87	0.31		0.61698	TYC 6518-532-1	8.00
V 1130 Tau = HIP 17988	Algol	6.56	0.38		0.79887	HIP 18022	7.65
HIP 19270	Algol	7	0.54	2448998.0608	2.7966	TYC 4068-1659-1 HIP 19241	7.65 7.93
SZ Cam = HIP 19272	Beta Lyr	7.0	0.30		2.6984	HIP 19241	7.93
HL Dra = HIP 91052	Beta Lyr	7.3	0.31		0.9443	HIP 91005	8.5
V 459 Aur = HIP 31485	Beta Lyr	7.7	0.44		?	TYC 2439-150-1	8.5
ES Lib = HIP 74765	EB	7.10	0.47	2440329.4669	0.8830356	HIP 74743	8.0
GK Cep = HIP 106226	Algol	6.90	0.47	2438694.6870	0.9361653	HIP 106205	8.2
RS Vul = HIP 94822	"	6.8	0.82	2432808.2620	4.47766191	HIP 94787	7.9
U Cep = HIP 4843	"	6.9	0.85	2420354.6993	2.4929034	HIP 5108	7.93
TV Cas = HIP 1550	"	7.3	1.1	2450049.3011	1.812593	TYC 3665-26-1	9.03
CW Cep = HIP 113907	"	7.6	0.4	2441669.5723	2.72913954	HIP 113793	6.84
V342 And = HIP 817	"	7.7	< 0.6			HIP 767	7.15
IQ Per = HIP 18662	"	7.7	> 0.6	ApSS 253, 237		HIP 18663	9.28
U Sge = HIP 94910	"	6.5	3.61	2440774.4856	3.3805941	TYC 1607-726-1	9.53
NSV 6654 = HIP 70384	"	5.9	0.5		?	HIP 70414	6.18
Z Vul = HIP 95163	"	7.3	1.4	2425456.1187	2.45492779	HIP 95147	7.4
PU Peg = HIP 110464	Beta Lyr	8		2448500.0487	0.862023	TYC 1142-806-1	8.8
V451 Oph = HIP 90599	Algol	7.9	0.60	2444834.365	2.19659616	TYC 1027-164-1	8.68
W UMi = HIP 79069	Algol	8.7	1.1	2442235.7289	1.70113830	TYC 4655-320-1	9.75
V 745 Cas = HIP 1805	W UMa	8.1				HIP 1844	7.80
V 1471 Aql = HIP 98893	Beta Lyr	8.4				HIP 98964	8.30
OO Aql	W UMa	9.2	0.8	2453220.41477	0.5067888	TYC 1058-409-1	10.26