

Simone Santini, Riccardo Papini, Massimo Banfi, Stefano Mandelli, sezione.eb@grav.it

Una nuova effemeride per GU Cassiopeiae

Gruppo di Ricerca Astronomica Variabilisti (G.R.A.V.) – Sezione Binarie ad Eclisse

Abstract

*A new linear ephemeris (Min I = 2441181.4573 + 3.093316 * E) for the Algol-type eclipsing binary star GU Cassiopeiae is proposed in this paper. In the General Catalogue of Variable Stars (GCVS) there are three different ephemerides. Some studies of the star, mostly between the first and the second half of the past century, report visual and photographic observations but there are a few observations after 1973. A research of the literature about this star showed that the most up-to-date ephemeris is the one published both in GCVS and Rocznik Astronomiczny n.74 (SAC, 2003). Since 2005 this star is in the observing program of the Eclipsing Binary Section of the Gruppo Astrofili Variabilisti Italia (GRAV) with aim to find new times of minima and to calculate an updated ephemeris.*

Introduzione

GU Cassiopeiae (GSC 3661-0177-1, AN 1937.0422; SVS 0825) è classificata nel *General Catalogue of Variable Stars* (GCVS) [1] come una binaria ad eclisse tipo Algol (EA). Si tratta di una binaria di classe spettrale O, con indice di colore B-V di 0.42 e con un intervallo di variazione dalla magnitudine 10.8 alla 11.7 (visuale). Per questa stella il GCVS riporta ben tre effemeridi. L'*Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars* [2,3] riporta un'altra effemeride, che, però, non è basata su dati osservativi ma estrapolata dal diagramma O-C. Nessuna di queste effemeridi, comunque, in una verifica osservativa preliminare eseguita da alcuni membri del gruppo, è stata capace di predire con esattezza l'istante di minimo, con scarti che vanno da oltre sette ore per la più recente effemeride riportata dal GCVS, a circa un'ora per l'effemeride dell'Osservatorio di Mt. Suhora. La tabella 1 mostra le effemeridi riportate in letteratura.

Epoca (JD)	Periodo (d)	Fonte
2428749,423	3,093329	GCVS
2437367,375	3,093325	GCVS
2441181,458	3,093391	GCVS
2441181,477	3,0933205	Mt. Suhora

Tabella 1. Effemeridi per GU Cassiopeiae. L'effemeride di riferimento impiegata per il calcolo è evidenziata in giallo.

Esistono alcune voci bibliografiche riguardanti questa stella [4-11], ma la maggior parte di esse è precedente al 1970 e dal 1973 la stella è stata osservata solo in modo sporadico. Solo pochi minimi sono stati pubblicati negli anni fra il 1999 e il 2005, ma senza che sia stata eseguita una rivalutazione ed un aggiornamento dell'effemeride.

Osservazioni e riduzione dei dati

Dal 2005 la stella è stata inserita nel programma binarie ad eclisse del GRAV e sono stati osservati 6 minimi, sia attra-

verso osservazioni visuali sia con metodica CCD in banda V di Johnson, nel periodo luglio-dicembre 2005.

Per lo studio della stella è stata realizzata una cartina (disponibile sul sito internet del GRAV all'indirizzo www.grav.it, figura 1a), che impiega una sequenza di riferimento ottenuta dal catalogo Tycho-2 [12], convertendo le magnitudini B_t e V_t nei corrispondenti valori di magnitudine in banda B e banda V di Johnson, oltre che nel valore dell'indice di colore B-V corrispondente, come segue:

$$B-V=0.85*(B_t-V_t)$$

$$V=V_t-[(B_t-V_t)*0.09]$$

Le formule riportate sopra sono approssimate e vengono impiegate assumendo che le magnitudini riportate nello standard del catalogo Tycho-2 siano correlate linearmente con le loro controparti nello standard di Johnson [13].



Figura 1a. La cartina di riferimento per GU Cassiopeiae.

Per ridurre gli errori dovuti a differenze di colore fra la variabile e le stelle di riferimento, in particolare per chi osservava in visuale, sono state selezionate per la sequenza

Stella (TYC)	AR (J2000)	DEC (J2000)	Bt mag	Vt mag	Vmag	B-V
3661-1123-1	00 15 22.612	+56 27 19.88	12.436	11.995	11.95	0.44
3661-1257-1	00 15 26.830	+56 28 16.34	11.899	11.592	11.56	0.26
3661-1423-1	00 15 38.618	+56 23 52.79	11.270	10.841	10.80	0.36

Tabella 2. Sequenza di riferimento per GU Cassiopeiae, ricavata dal catalogo Tycho-2.

di confronto solo stelle che presentano un indice di colore B-V il più vicino possibile a quello della variabile. Nella tabella 2 sono indicate le stelle di riferimento utilizzate nelle stime visuali e per le misure con metodica CCD, ricavate dal catalogo Tycho-2.

Per le stime visuali, eseguite con il metodo di interpolazione, applicato ai “gradini” di Argelander [14], sono state impiegate tre stelle di riferimento, rispettivamente di magnitudine 10.8, 11.6 e 12.0. Per le riprese CCD sono state scelte come riferimento le prime due stelle della tabella 2. Il metodo seguito per le osservazioni visuali è basato sul confronto della variabile con due stelle di riferimento, scelte in modo che una appaia più luminosa e l'altra più debole rispetto alla variabile ed attribuendo un numero di “gradini” variabile da zero a cinque, che rappresentano la stima della differenza di luminosità fra la variabile e la stella di riferimento. La magnitudine della variabile viene poi calcolata ricorrendo alla seguente relazione:

$$mV = mA + [x/(x+y)] \cdot (mB - mA)$$

Dove mV, mA e mB sono, rispettivamente, le magnitudini della variabile e delle due stelle di confronto, ed x e y sono i gradini attribuiti a ciascuna coppia (variabile-stella A, variabile-stella B). Nella tabella 3 è evidenziata la strumentazione impiegata da ciascun osservatore.

Osservatore	Strumento	Metodo
Simone Santini	SCT 200mm F/10	Visuale
Riccardo Papini	SCT 250mm F/10 + StarlightXpress M916	CCD V
Massimo Banfi	SCT 200 mm F/10 + SBIG ST7E	CCD V
Stefano Mandelli	Newton 6" F/5 + CCD Meade DSI	CCD (unfiltered)

Tabella 3. Osservatori e strumentazione impiegata.

Le immagini CCD ottenute attraverso la strumentazione riportata sopra, sono state analizzate impiegando software commerciali (MaximDL, AstroArt, AIP4Win). Per ogni osservazione è stata ripresa una serie di *dark frame* (ottenuti effettuando la ripresa ad otturatore chiuso), una serie di *bias frame* (integrazione con tempo zero) e vari *flat field* (ottenuti inquadrando uno sfondo bianco, illuminato uniformemente, o il cielo al crepuscolo, con moto orario fermo). Per l'acquisizione dei *flat* e dei *dark* è stato usato lo stesso tempo di integrazione impiegato nelle riprese delle immagini del campo della variabile. Per ogni serie di immagini è stato ottenuto un *master dark* (sottraendo da ciascun *dark frame* il relativo *bias frame*) ed un *master flat* dalla mediana dei vari *flat field*, dopo aver applicato i relativi *dark*. Dopo aver sot-

tratto da ciascuna immagine il *bias*, il *master dark* ed aver diviso per il *master flat* normalizzato a 1 [15, 16] è stata eseguita l'analisi fotometrica con la metodica della fotometria di apertura. Vengono misurati i flussi (conteggi ADU) all'interno di due aree concentriche, in modo da comprendere la stella da misurare nel cerchio più interno e il fondo cielo nella corona circolare fra i due cerchi. Il raggio del cerchio interno viene determinato analizzando la *curva di crescita* della stella più brillante da misurare. La *curva di crescita* mostra come cambia il conteggio complessivo in ADU dei pixel interessati dalla luce della stella all'aumentare del raggio del cerchio di misura, e cessa di cambiare valore, cioè diventa indipendente da questo raggio, al di sopra del suo valore minimo ottimale. Viene quindi determinato il conteggio complessivo della stella di confronto, ADU_c, e quella della variabile, ADU_v. Il rapporto ADU_c/ADU_v, uguale al rapporto di luminosità delle due stelle, permette di calcolare la magnitudine della variabile, con la formula di Pogson, essendo nota la magnitudine della stella di confronto, V_c, in accordo alla relazione:

$$V_c - V_v = -2.5 \log ADU_c / ADU_v$$

operazione che viene eseguita automaticamente dai software utilizzati.

Nella tabella 4, sono riportati i minimi osservati e i relativi errori. Infine, la tabella 5 evidenzia i minimi ricavati dai dati della letteratura. I dati completi sono stati ricavati attraverso il sito web *O-C gateway* (<http://var.astro.cz/ocgate/index.php?lang=en>) [17]. Di questi 39 sono ricavati da lastre fotografiche (indicati con *pg* nella Tabella 5), 1 con metodica CCD (*unfiltered*) e 5 con osservazioni visuali (indicati con *v* nella Tabella 5). I minimi rilevati dopo il 1973 (esclusi quelli del nostro gruppo) sono solamente 7 (un solo minimo nel 1999, 2001 e 2005, 2 minimi nel 2003 e 2 nel 2004).

Osservatore	ToM (HJD)	Errore
Massimo Banfi	2453712.4820	0.0019
Massimo Banfi	2453706.2895	0.0019
Massimo Banfi	2453644.4220	0.0030
Simone Santini	2453644.4162	0.0022
Simone Santini	2453613.4754	0.0038
Simone Santini	2453582.5551	0.0043
Massimo Banfi	2453579.4590	0.0010
Simone Santini	2453706.2890	0.0020
Riccardo Papini	2453644.4203	0.0010
Stefano Mandelli	2453706.2898	0.0030

Tabella 4. Minimi osservati. Gli istanti di minimo sono espressi in giorni giuliani eliocentrici (HJD)

Minimo (HJD)	Metodo	Osservatore
2417474.2300	pg	Kukarkin B.V
2427722.3200	pg	Parenago P.
2427722.4800	pg	Kukarkin B.V
2427784.1800	pg	Parenago P.
2428081.2400	pg	Kukarkin B.V
2428573.0900	pg	Kukarkin B.V
2428573.2000	pg	Parenago P.
2428576.2200	pg	Parenago P.
2428749.4000	pg	Kukarkin B.V
2428774.1900	pg	Kukarkin B.V
2429547.5000	pg	Kukarkin B.V
2429872.3000	pg	Kukarkin B.V
2430642.5710	pg	Whitney B.S
2431381.8370	pg	Whitney B.S
2431703.5620	pg	Whitney B.S
2432009.8160	pg	Whitney B.S
2432501.6270	pg	Whitney B.S
2432708.8830	pg	Whitney B.S
2433101.7020	pg	Whitney B.S
2433284.2374	pg	Whitney B.S
2433503.8460	pg	Whitney B.S
2434360.7040	pg	Whitney B.S
2435118.6250	pg	Whitney B.S
2435477.3700	pg	Romano G.
2438759.3270	pg	Malshakova N.K
2439056.3030	pg	Malshakova N.K
2439056.4550	pg	Berthold T.
2439059.4460	pg	Berthold T.
2440151.3800	pg	Berthold T.
2441181.4090	pg	Malshakova N.K
2441181.4420	pg	Malshakova N.K
2441181.4540	pg	Berthold T.
2441181.4750	pg	Malshakova N.K
2441181.5080	pg	Malshakova N.K
2441212.3340	pg	Malshakova N.K
2441240.2860	pg	Malshakova N.K
2441546.4570	pg	Malshakova N.K
2441546.4890	pg	Malshakova N.K
2441973.3320	pg	Berthold T.
2451324.3810	CCD	Paschke A.
2452617.4780	v	Meyer R.
2452648.4150	v	Meyer R.
2453248.4810	v	Meyer R.
2453341.2757	v	Diethelm R.
2453638.2360	v	Meyer R.

Tabella 5. Elenco degli istanti di minimo ricavati dalla letteratura (1906-2005). Trentanove sono ricavati da lastre fotografiche (indicati con pg), 1 con metodica CCD (unfiltered) e 5 con osservazioni visuali (indicati con v).

Il calcolo dell'istante del minimo (ToM) dai dati osservativi è stato eseguito utilizzando sia il programma TINTAGEL di A. Gaspani, che impiega un algoritmo basato sulle reti neurali (minimi visuali) [18], sia il programma AVE di Rafael Barbera, che utilizza l'algoritmo di Kwee-van Woerden [19], fornendo l'istante di minimo ed il relativo

errore (minimi CCD). Nel caso in cui osservatori diversi abbiano osservato lo stesso minimo, è stato impiegato, nella successiva analisi dei dati, il valore medio.

Nella figura 1 b è riportata una delle curve di luce ottenute con metodica CCD in banda V di Johnson (punti blu nel grafico).

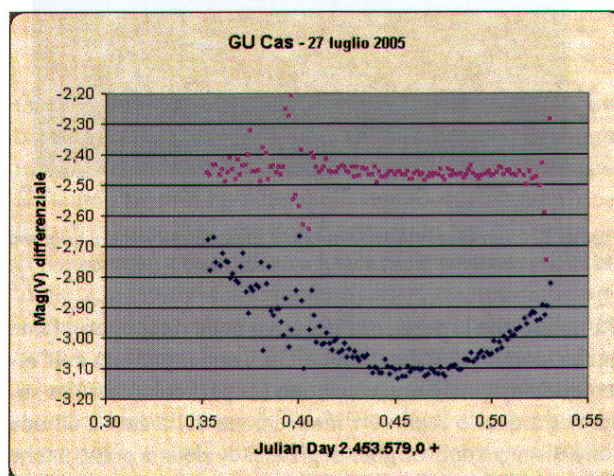


Figura 1b. Minimo del 27 luglio 2005 (punti blu). I punti in rosso rappresentano la differenza di magnitudine fra le due stelle di riferimento.

Il diagramma O-C, ottenuto calcolando gli istanti di minimo utilizzando l'effemeride più recente del GCVS è illustrato nella figura 2.

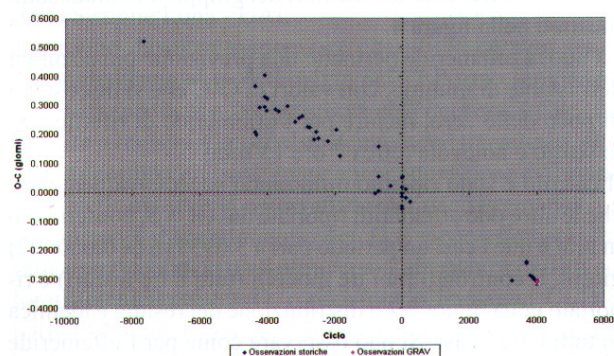


Figura 2. Diagramma O-C ricavato calcolando gli istanti di minimo con la più recente effemeride riportata nel GCVS.

Il diagramma mostra un evidente andamento lineare con pendenza negativa: questo andamento è dovuto al fatto che il periodo riportato nelle effemeridi non è quello corretto, mentre l'epoca di riferimento sembra essere abbastanza corretta, dato che il grafico passa vicino all'origine degli assi. Le osservazioni effettuate dai membri del GRAV (in rosso) appaiono ben allineate con le osservazioni storiche (in blu). Il calcolo della nuova effemeride è stato eseguito mediante un algoritmo di calcolo basato sul metodo dei minimi quadrati [20] per determinare l'equazione della retta interpolante i punti del diagramma O-C, utilizzando poi il risultato per calcolare i nuovi elementi dell'effemeride e i relativi errori medi.

Discussione

Il modello scelto, lineare, si adatta bene alle osservazioni. Nella figura 3 è evidenziata la retta interpolante ed i relativi residui. Come si può notare i residui sono distribuiti in modo abbastanza uniforme intorno al valore zero, indice di un buon adattamento del modello alla situazione reale.

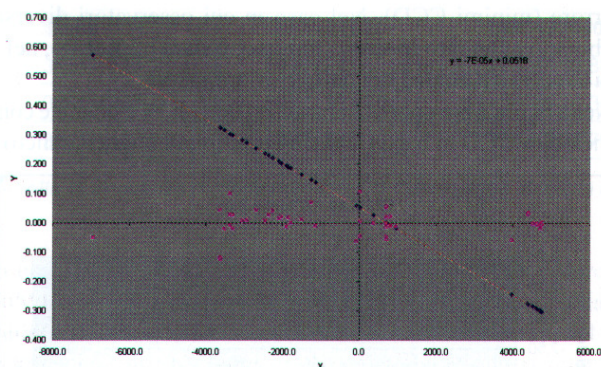


Figura 3. Interpolazione lineare con il metodo dei minimi quadrati dei minimi osservati (punti in blu) e relativi residui (in rosso).

Da notare che la pendenza negativa della retta interpolante indica, come già il diagramma O-C, che il periodo dell'effemeride originale non è corretto (in particolare risulta superiore a quello reale) e l'intersezione della stessa ad una certa distanza dall'origine degli assi evidenzia come anche l'epoca di riferimento debba essere corretta.

La nuova effemeride lineare calcolata risulta essere:

$$\text{Min I} = 2441181.4573(\pm 0.0060) + 3.093316(\pm 0.000002) * E$$

La nuova effemeride è stata poi verificata ricalcolando gli istanti di minimo e confrontandoli con i risultati delle osservazioni effettuate dai membri del gruppo. I risultati sono illustrati nella figura 4.

La nuova effemeride permette una previsione più accurata dell'istante di minimo, con valori di O-C che si discostano di poco dallo zero, mentre per l'effemeride di riferimento lo scarto è notevole (circa 7 ore 15 min).

Il calcolo è stato ripetuto utilizzando successivamente anche le altre due effemeridi riportate dal GCVS, confermano in tutti e due i casi un periodo pari a $3.093316 (\pm 0.000002)$ giorni. Il confronto fra i tre modelli (tutti e tre lineari) è riportato nella figura 5. La distribuzione dei residui è identica in tutti e tre i casi. Si può osservare come per l'effemeride più datata (indicata come GCVS 1 nel grafico) il periodo era sottostimato, ma più vicino a quello vero, mentre era sovrastimato per le altre due. Tutte e tre le effemeridi presentavano una incertezza sull'epoca di riferimento.

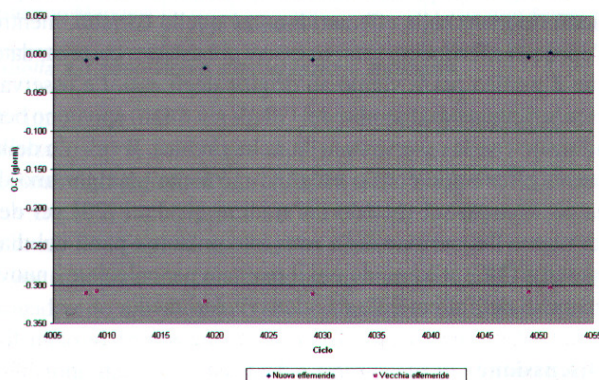


Figura 4. Verifica della nuova effemeride. In blu i valori di O-C per i minimi osservati nel 2005, in rosso i valori di O-C degli stessi minimi calcolati con l'effemeride del GCVS. La differenza nella previsione del minimo è di oltre 7 ore.

La stella è tuttora inserita nel programma osservativo del

gruppo e i dati osservativi raccolti a tutt'oggi (in corso di pubblicazione sull'IBVS - *Information Bulletin on Variable Stars*), confermano l'accuratezza dell'effemeride nella previsione dell'istante dei minimi primari.

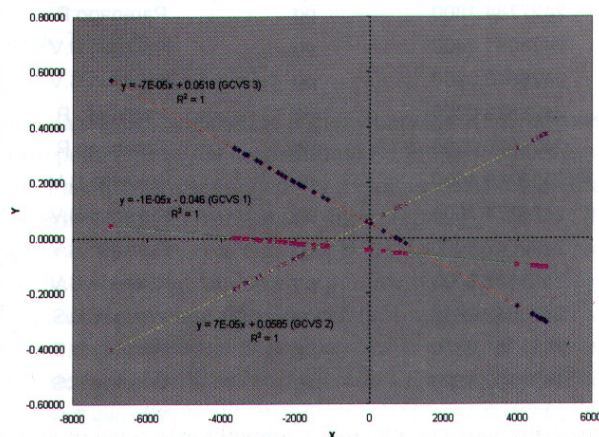


Figura 5. Confronto fra i tre modelli (lineari) ricavati utilizzando le effemeridi del GCVS.

Bibliografia

- [1] General Catalogue of Variable Stars (GCVS) <http://www.sai.msu.ru/groups/cluster/gcvs/gcvs/>
- [2] An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars <http://www.as.ap.krakow.pl/o-c/index.php3>
- [3] Kreiner J.M., *Acta Astronomica*, **54**, 207-210 (2004)
- [4] Withney B.S., *Astronomical Journal*, **62**, 1524, 371-376 (1957)
- [5] Agerer F., Hassforther B., Lange T., Pasch, A. *Ke Berliner Arbeitsgemeinschaft fuer Veraenderliche Sterne - Mitteilungen*, **157**, 1-12 (2003)
- [6] Hubscher J., Lange T., Paschke A., Walter F., *Berliner Arbeitsgemeinschaft fuer Veraenderliche Sterne - Mitteilungen*, **174**, 1-11 (2005)
- [7] Romano G., *Publ. Oss. Astron. Padova*, **116**, 1-43 (1959)
- [8] Wood B.D., Forbes J.E. *Astron. J.*, **68**, 257-269 (1963)
- [9] Mal'Shakova N. K., *Perem. Zvezdy Prilozh.*, **2**, 277-282 (1975)
- [10] Huebscher J., *IBVS* #5643 (2005)
- [11] Diethelm R., *IBVS* #5653 (2005)
- [12] Hog E., et Al., *Astron. Astrophys.*, **355**, L27-L30 (2000)
- [13] The Hipparcos and Tycho catalogues, *ESA -SP 1200*, **1**, 1997.
- [14] Maraziti A., *l'Astronomia*, **43**, 62 (1985)
- [15] Berry R. & Burnell J., *The Handbook of Astronomical Image Processing*, Willmann-Bell, Inc., Richmond, USA, 2000
- [16] Peretto I., Zattera F., Santini S., Toschi S., *Lo studio delle stelle variabili. Manuale del GRAV*, 2007
- [17] O-C Gateway <http://var.astro.cz/ocgate/index.php?lang=en>
- [18] Gaspani A., *3rd GEOS workshop on variable star data acquisition and processing*, S. Pellegrino Terme (1995)
- [19] Kwee K.K., van Woerden H., *Bulletin of the Astronomical Institutes of the Netherlands*, **12**, 327-330 (1956)
- [20] Belserene E. P., *JAASO*, **17**, 123-129 (1988)