

Fotometria CCD ed evoluzione del periodo orbitale di W Ursae Majoris

Federico Velardo

Abstract

Si presenta fotometria CCD di W UMa ottenuta nella notte 17/18 Febbraio 2026. Sono state analizzate 1251 misure in CV. I fit quadratici locali pesati forniscono $\text{Min I} = 2461089.544664 \pm 0.001050 \text{ d}$ e $\text{Min II} = 2461089.435023 \pm 0.044954 \text{ d}$. Il diagramma O-C storico completo ($N = 1750$) mostra una componente quadratica favorita e una modulazione ciclica plausibile.

1. Introduzione

W Ursae Majoris è il prototipo delle binarie a contatto di tipo EW. L'analisi O-C vincola l'evoluzione a lungo termine del periodo orbitale (Hilditch 2001; Skelton & Smits 2009).

2. Osservazioni e riduzione dati

Le osservazioni sono state effettuate con Seestar S50 (sensore CMOS integrato) in CV. Per il calcolo di fase è stata adottata l'ephemeris $T_0 = 2440707.347$ e $P = 0.3336358 \text{ d}$.

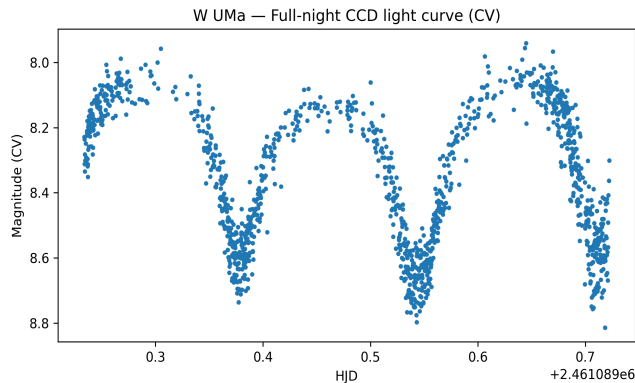


Figura 1. Curva di luce CCD dell'intera notte in CV ($N = 1251$ punti).

3. Curva di luce e tempi di minimo

I tempi di minimo sono stati determinati con un fit quadratico locale pesato attorno a ciascun minimo, usando pesi inversamente proporzionali alla varianza delle incertezze fotometriche.

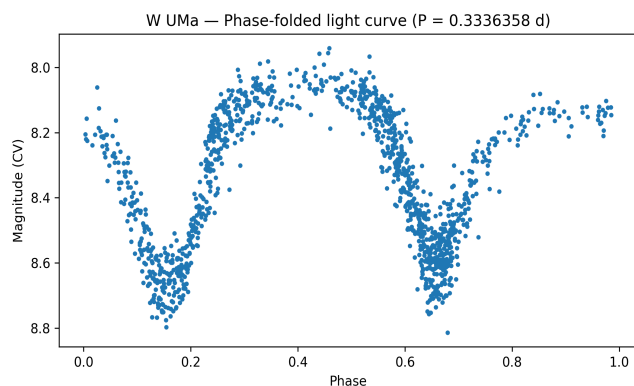


Figura 2. Curva ripiegata in fase usando $T_0 = 2440707.347$ e $P = 0.3336358 \text{ d}$.

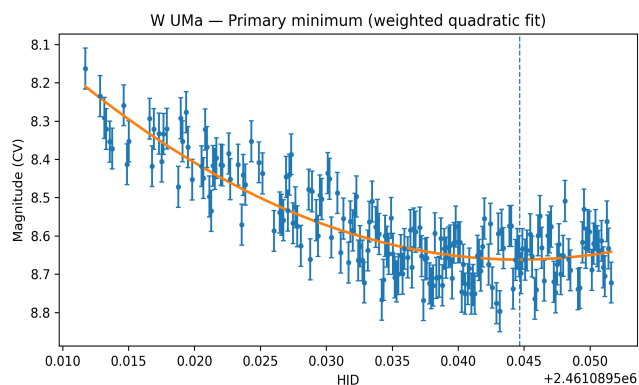


Figura 3. Minimo primario con fit quadratico locale pesato; la linea tratteggiata indica il vertice.

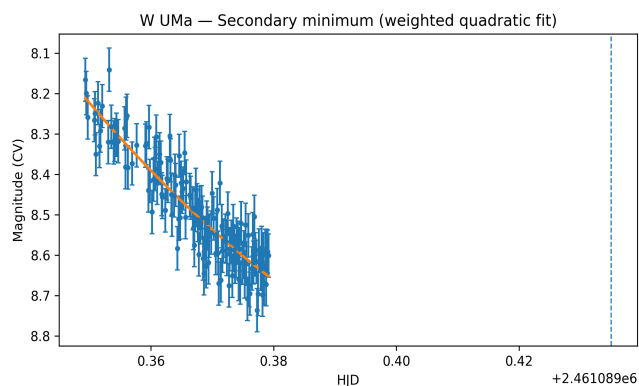


Figura 4. Minimo secondario con fit quadratico locale pesato; la linea tratteggiata indica il vertice.

Modelli di timing

$$(1) O - C = aE^2 + bE + c$$

$$(2) O - C = mE + q$$

$$(3) O - C = A \sin(2\pi E/P_m + \varphi) + c$$

Tabella 1. Nuovi minimi e coefficienti del fit quadratico locale pesato.

Minimum	HJD_min	σ (HJD)	a	σ (a)	b	σ (b)	c	σ (c)
Primario (I)	2461089.544664	0.001050	-4.167e+02	3.448e+01	8.121e+00	3.843e-01	8.622310	5.483e-03
Secondario (II)	2461089.435023	0.044954	-1.043e+02	6.696e+01	1.422e+01	5.987e-01	8.493169	6.338e-03

Tabella 2. Parametri dei modelli O–C (spazio delle epoche).

Model	m	q	a	b	c	A	Pm (epochs)	σ (days)
Lineare	2.395e-08	6.777e-02	–	–	–	–	–	–2.956e-02
Quadratico	–	–1.924e-11	2.786e-06	1.322e-02	–	–	–	–1.676e-02
Sinusoidale	–	–	–	–6.966e-02	3.016e-02	61536.3	1.676	2.228e-02

Tabella 3. Parametri derivati secolari e ciclici (questo lavoro; assunti M1=1.10 M $\odot$, q=0.30 per stime d’ordine di grandezza).

Quantità	Valore
P (adopted)	0.3336358 d
a (quadratic O–C)	-1.924e-11 d
P˙	-4.212e-08 d/anno (= -0.0036 s/anno)
τ	7.92e+06 anni
A (sinusoid)	3.016e-02 d (= 2606.0 s)
P ₃	56.2 anni
a ₁₂ sin i	5.222 AU
f(M ₃)	4.508e-02 M $\odot$
M _{3,min} (i=90°)	0.56 M $\odot$
Assunzioni	M ₁ =1.10 M $\odot$, q=0.30 (M ₂ =0.33 M $\odot$)
M˙ ₁	-1.98e-08 M $\odot$ /anno

4. Analisi O–C storica completa

I minimi storici compilati in VarAstro sono stati usati per costruire l'O–C. Sono stati confrontati modelli lineare, quadratico e sinusoidale nello spazio delle epoche; il fit quadratico presenta la minore dispersione dei residui.

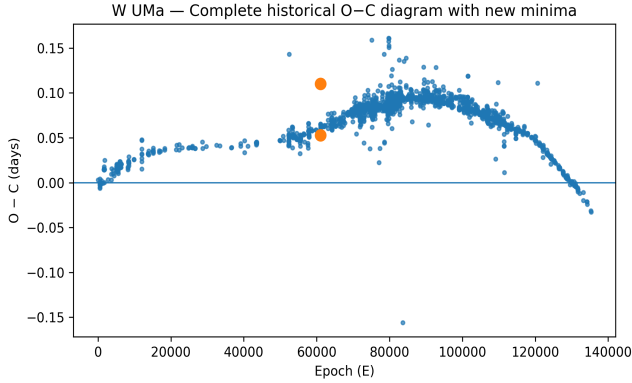


Figura 5. Diagramma O–C storico completo da VarAstro con i nuovi minimi evidenziati (questo lavoro).

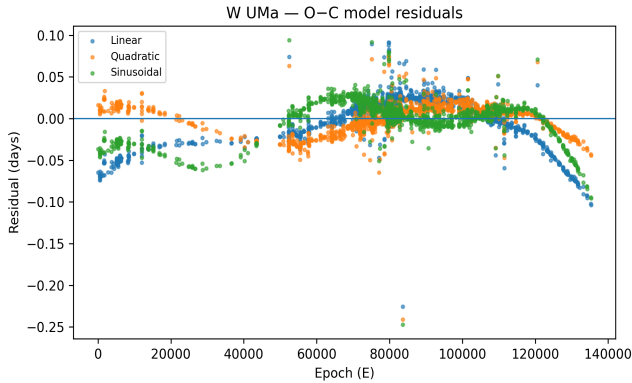


Figura 6. Residui dei modelli O–C lineare, quadratico e sinusoidale (spazio delle epoche).

4.1 Derivata secolare del periodo

Il coefficiente quadratico $a = -1.924e-11$ d implica una derivata secolare del periodo. Usando lo sviluppo standard dell'ephemeris:

$$(4) O - C = (1/2) \cdot P \cdot P \cdot E^2$$

$$(5) P = 2a / P$$

Con $P = 0.3336358$ d si ottiene $P = -4.212e-08$ d anno⁻¹ ($= -0.0036$ s anno⁻¹) e $\tau \approx 7.92e+06$ anni.

4.2 Interpretazione: trasferimento di massa

Assumendo trasferimento di massa conservativo e parametri rappresentativi ($M_1 = 1.10 M_\odot$, $q = 0.30$), il valore di P implica $M_1 \approx -1.98e-08 M_\odot$ anno⁻¹ (ordine di grandezza).

4.3 Termine ciclico e LITE

La componente sinusoidale ha semiampiezza $A = 3.016e-02$ d (2606.0 s) e periodo di modulazione $P_3 \approx 56.2$ anni.

Nell'interpretazione LITE: $a_{12} \sin i \approx 5.222$ AU, $f(M_3) \approx 4.508e-02 M_\odot$, da cui $M_{3,\min} \approx 0.56 M_\odot$ per $i = 90^\circ$.

4.4 Contesto evolutivo

La coesistenza di componenti secolari e cicliche è coerente con una binaria a contatto in evoluzione attiva, potenzialmente in un sistema multiplo gerarchico.

5. Geometria di Roche (illustrativa)

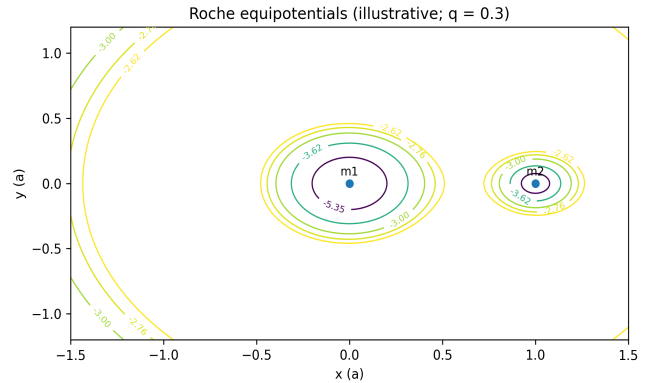


Figura 7. Contorni delle equipotenziali di Roche (illustrativo; $q = 0.3$) per la geometria a contatto.

6. Conclusioni

Il valore secolare di P stabilisce un'evoluzione orbitale in corso, mentre il termine ciclico è naturalmente spiegato da un compagno terziario via LITE.

Ringraziamenti

Questa ricerca ha utilizzato l'AAVSO International Database. Si ringraziano AAVSO e la compilazione dei minimi VarAstro.

Riferimenti

- Hilditch, R.W. 2001, An Introduction to Close Binary Stars (Cambridge: Cambridge Univ. Press).
- Skelton, J., & Smits, D.P. 2009, South African Journal of Science, 105, 120-125.
- AAVSO. 2024, CCD Observing Manual (American Association of Variable Star Observers).
- Lucy, L.B. 1968, ApJ, 151, 1123.
- Rucinski, S.M. 2007, MNRAS, 382, 393.
- Qian, S.-B. 2003, MNRAS, 342, 1260.