

Variabilità Fotometrica a Lungo Termine di T Ursae Minoris:

Cambio di Periodo, Temperatura Efficace, Luminosità ed Evoluzione del Raggio

Fabio Mariuzza fabio.mariuzza@dipharma.com

Costantino Sigismondi (ICRANet e UPRA) prof.sigismondi@icra.it

Submitted 6th May 2026, revised & accepted 1st June 2026

Sommario

Presentiamo uno studio fotometrico multi-epoca di T Ursae Minoris (T UMi), una variabile semi-regolare (SRb) sul ramo asintotico delle giganti (AGB), coprendo due distinte finestre osservative: 2009–2012 (misure in 202 date) e 2016–2025 (928 date). I dati, tratti dall’archivio AAVSO (American Association of Variable Star Observers), sono stati ottenuti grazie alla rete globale di osservatori variabilisti. Utilizzando fotometria in banda V combinata con gli indici di colore B–V e V–R, deriviamo serie temporali di temperatura efficace (T_{eff}), luminosità bolometrica (L) e raggio stellare (R). L’analisi tramite il periodogramma di Lomb–Scargle rivela una diminuzione di periodo statisticamente significativa da ~205 giorni (2009–2012) a ~181 giorni (2016–2025), pari a circa il 12% in un decennio. La potenza del segnale periodico si è ridotta del ~72% e le deviazioni standard di T_{eff} e L sono diminuite di un fattore ~2. La temperatura efficace media è calata di ~55K e la luminosità media di ~49 $L_{\odot}$. L’indice V–R mostra un arrossamento sistematico di +0.61 mag, coerente con un’intensificazione della perdita di massa. Un risultato metodologicamente rilevante è che la sola banda V costituisce un indicatore affidabile della luminosità bolometrica ($|r| \sim 0.90\text{--}0.91$), rendendo lo studio su T UMi realizzabile anche con fotometria visuale, senza filtri aggiuntivi.

Parole chiave: stelle: AGB e post-AGB — stelle: variabili: Mira, semi-regolari — stelle: individuali: T UMi — stelle: oscillazioni — stelle: parametri fondamentali

Abstract

We present a long-baseline photometric study of T Ursae Minoris (T UMi), a semi-regular variable (SRb) on the asymptotic giant branch (AGB), based on AAVSO archive data covering two distinct observational windows:

2009–2012 (202 epochs) and 2016–2025 (928 epochs). Using V-band photometry combined with B–V and V–R colour indices, we derive time series of effective temperature (T_{eff}), bolometric luminosity (L), and stellar radius (R). Lomb–Scargle periodogram analysis reveals a statistically significant period decrease from ~ 205 days (2009–2012) to ~ 181 days (2016–2025), corresponding to a reduction of 12% over approximately one decade. The pulsation power in the periodogram decreased by $\sim 72\%$, and the standard deviations of T_{eff} and L fell by factors of ~ 2.4 and ~ 2.0 respectively. The mean effective temperature declined by $\sim 55\text{K}$ and the mean luminosity by $\sim 49 L_{\odot}$. The V–R colour index shows a systematic increase of $+0.61$ mag, far exceeding what the thermal cooling alone can explain, pointing to enhanced circumstellar reddening consistent with intensified mass loss. A methodologically relevant finding is that V-band photometry alone provides a reliable proxy for bolometric luminosity ($|r| \sim 0.90\text{--}0.91$), making T UMi study accessible to amateurs with a visual-band monitoring without additional filters. These results are consistent with an ongoing pulsation mode transition on the AGB, in agreement with the thermal pulse scenario proposed by Molnár et al. (2019).

1. Introduzione

T Ursae Minoris (T UMi; AR $13^{\text{h}} 34^{\text{m}} 41^{\text{s}}$, Dec $+73^{\circ} 25' 53''$) è la terza variabile scoperta nella costellazione dell’Orsa Minore, dopo R e S UMi, e fu identificata come variabile nel 1903 da Lidiya Ceraski. Da allora viene monitorata ininterrottamente, con un dataset AAVSO che si estende su oltre un secolo di osservazioni.

Un prezioso vantaggio di T UMi è la sua **posizione circumpolare** per gli osservatori dell’emisfero Nord (declinazione $+73^{\circ}$), visibile tutto l’anno senza interruzione stagionale — una caratteristica condivisa da pochissime LPV. T UMi è stata nominata “LPV of the Month” dall’AAVSO nel luglio 2016 e nel maggio 2018 (Mattei 1995; AAVSO 2016, 2018).

Come gigante rossa sul ramo asintotico delle giganti (AGB), T UMi appartiene alla classe delle variabili a lungo periodo (LPV). Fino al 1979 aveva mostrato un periodo stabile di 310–315 giorni (tipo Mira); da allora il periodo è diminuito di ~ 2.75 giorni per ciclo. Molnár et al. (2019) interpretano questo come evidenza di un impulso termico in corso, stimando massa $\sim 2 M_{\odot}$ ed età ~ 1.2 miliardi di anni. Cambiamenti analoghi si osservano in R Doradus e in Betelgeuse (Dupree et al. 2022).

Il lavoro è organizzato come segue: Sezione 2 (osservazioni), Sezione 3 (periodogramma), Sezione 4 (parametri fisici), Sezione 5 (discussione), Sezione 6 (conclusioni).

2. Osservazioni e Riduzione dei Dati

2.1 Dati Fotometrici

Il dataset proviene dall'archivio AAVSO, descritto in (Kafka 2021). La prima campagna (2009 gennaio – 2012 agosto) comprende 202 misure in altrettante date, banda V; la seconda (2016 gennaio – 2025 aprile) comprende altre 928 date. Misure degli indici B–V e V–R sono disponibili per sottoinsiemi di 74 e 627 epoche. Le due finestre sono separate da una lacuna 2013–2015.

2.2 Derivazione dei Parametri Fisici

L'arrossamento interstellare è trascurabile essendo la latitudine galattica $b \approx +43^\circ$. Dalle mappe di Schlafly & Finkbeiner (2011) si ricava $E(B-V) = 0.025 \pm 0.005$ mag, con $A_V \approx 0.08$ mag ($R_V = 3.1$, Cardelli et al. 1989).

La correzione influenza T_{eff} di meno di 10K.

Le temperature efficaci sono derivate da $(B-V)_0 = (B-V) - E(B-V)$ con la calibrazione di Alonso et al. (1999):

$$\theta_{\text{eff}} = 5040/T_{\text{eff}} = 0.541 + 0.952 \cdot (B-V)_0 - 0.205 \cdot (B-V)_0^2 + 0.028 \cdot (B-V)_0^3$$

Tale calibrazione è formalmente valida per $T_{\text{eff}} \geq 3500\text{K}$; viene applicata per continuità, con incertezza sistematica $\sim 100\text{--}150\text{K}$ sui valori assoluti. Le variazioni relative tra epoche non sono influenzate da questa scelta.

Le luminosità bolometriche si ricavano da M_{bol} adottando $M_{\text{bol},\odot} = +4.74$.

I raggi stellari si stimano da $R/R_\odot = (L/L_\odot)^{0.5} \times (T_\odot/T_{\text{eff}})^2$, con $T_\odot = 5778$ K.

3. Analisi con il Periodogramma di Lomb–Scargle

Abbiamo applicato il periodogramma di Lomb–Scargle (Lomb 1976; Scargle 1982) alle serie temporali in banda V usando *astropy.timeseries.LombScargle* (Astropy Collaboration 2022), con incertezza fotometrica 0.02 mag, campionamento a 20 punti per picco, periodi 50–800 giorni.

La **potenza normalizzata** (P_{LS} , 0–1) misura la frazione di varianza fotometrica spiegata da una sinusoide al periodo considerato — in analogia con la potenza nello spettro di Fourier, ma adattata a serie

temporali non uniformemente campionate. La **probabilità di falso allarme** (FAP) quantifica la probabilità che il picco emerga per caso:

FAP $\sim 10^{-3}$ indica una rilevazione altamente significativa.

I nostri valori FAP $\sim 10^{-38}$ e 10^{-34} escludono con certezza assoluta l'origine casuale dei segnali.

I risultati sono riassunti nella Tabella 1 e illustrati in Figura 1.

Parametro	2009–2012	2016–2025	Nota
Periodo dominante	~205 giorni	~181 giorni	$\Delta P = -24 \text{ g } (-12\%)$
Potenza L-S max	0.614	0.172	Riduzione ~72%
FAP	$\sim 10^{-38}$	$\sim 10^{-34}$	Entrambi significativi
N osservazioni	202	928	

Tabella 1. Risultati del periodogramma Lomb–Scargle per i due intervalli osservativi.

T UMI - Analisi periodale (Lomb-Scargle)

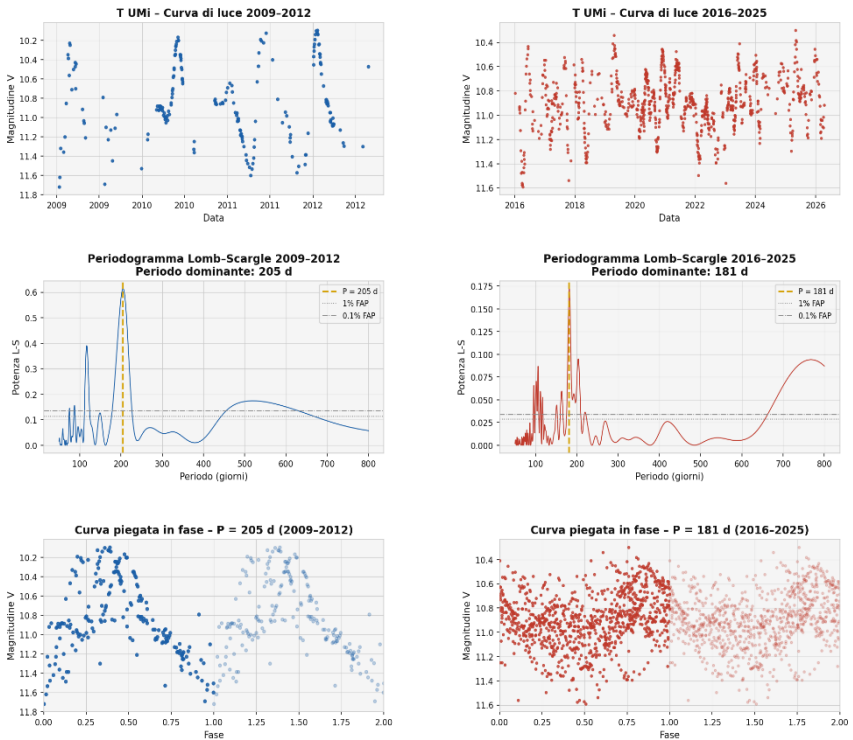


Fig. 1. Periodogrammi L-S, curve di luce e dati ripiegati in fase (2009–2012 blu; 2016–2025 arancione).

Il periodo dominante nella prima epoca è $P_1 = 205 \pm 2$ giorni (FAP $\sim 10^{-38}$). Nella seconda epoca si sposta a $P_2 = 181 \pm 1$ giorno (FAP $\sim 10^{-34}$), con una riduzione $\Delta P \approx 24$ giorni ($\sim 12\%$).

La potenza L-S è scesa da 0.614 a 0.172 (-72%), indicando una pulsazione più irregolare nel secondo periodo. Le curve ripiegate in fase confermano questo visivamente.

4. Evoluzione dei Parametri Fisici

4.1 Statistiche Riepilogative

La Tabella 2 confronta i valori medi e le deviazioni standard dei parametri fisici tra le due finestre.

Parametro	2009–12	σ 09–12	2016–25	σ 16–25	Δx
V [mag]	10.835	0.399	10.896	0.223	+0.060
T_{eff} [K]	3177	253	3121	106	–55
L [$L_{\odot}$]	413	131	364	65	–49
R [$R_{\odot}$]	67.4	13.5	65.4	7.6	–2.0
B–V	1.488	0.174	1.529	0.100	+0.041
V–R	1.242	0.241	1.855	0.154	+0.613
M_{bol} [mag]	–1.752	0.319	–1.647	0.186	+0.105

Tabella 2. Parametri fisici medi nei due intervalli 2009–12 e 2016–25 e loro variazioni.

4.2 Temperatura Efficace

La T_{eff} media è diminuita da $3177 \pm 253\text{K}$ a $3121 \pm 106\text{K}$ ($\Delta T_{\text{eff}} \approx -55\text{K}$). La deviazione standard si è ridotta di un fattore ~ 2.4 . La correlazione B–V / T_{eff} è eccellente in entrambe le epoche ($r = -0.87$ e -0.98).

4.3 Luminosità

La luminosità media è calata da $413 \pm 131 L_{\odot}$ a $364 \pm 65 L_{\odot}$ ($-49 L_{\odot}$, $\sim -12\%$). La stretta anti-correlazione $r(V, L) = -0.90/-0.91$ conferma che la sola banda V è sufficiente a monitorare la luminosità bolometrica — risultato di interesse per gli osservatori amatoriali.

4.4 Raggio Stellare

Il raggio medio è rimasto quasi invariato ($67.4 \pm 13.5 R_{\odot}$ vs. $65.4 \pm 7.6 R_{\odot}$), ma la deviazione standard si è dimezzata, indicando una riduzione dell’escursione radiale della pulsazione.

4.5 Indici di Colore e Arrossamento Circumstellare

L’indice V–R è aumentato da 1.242 ± 0.241 a 1.855 ± 0.154 ($\Delta V-R = +0.61$ mag), variazione molto più grande di quella in B–V ($+0.04$ mag) e non spiegabile con il solo raffreddamento. L’interpretazione più plausibile è un aumento dell’opacità della polvere circumstellare.

T UMi - Analisi fisica: Temperatura, Luminosità, Raggio

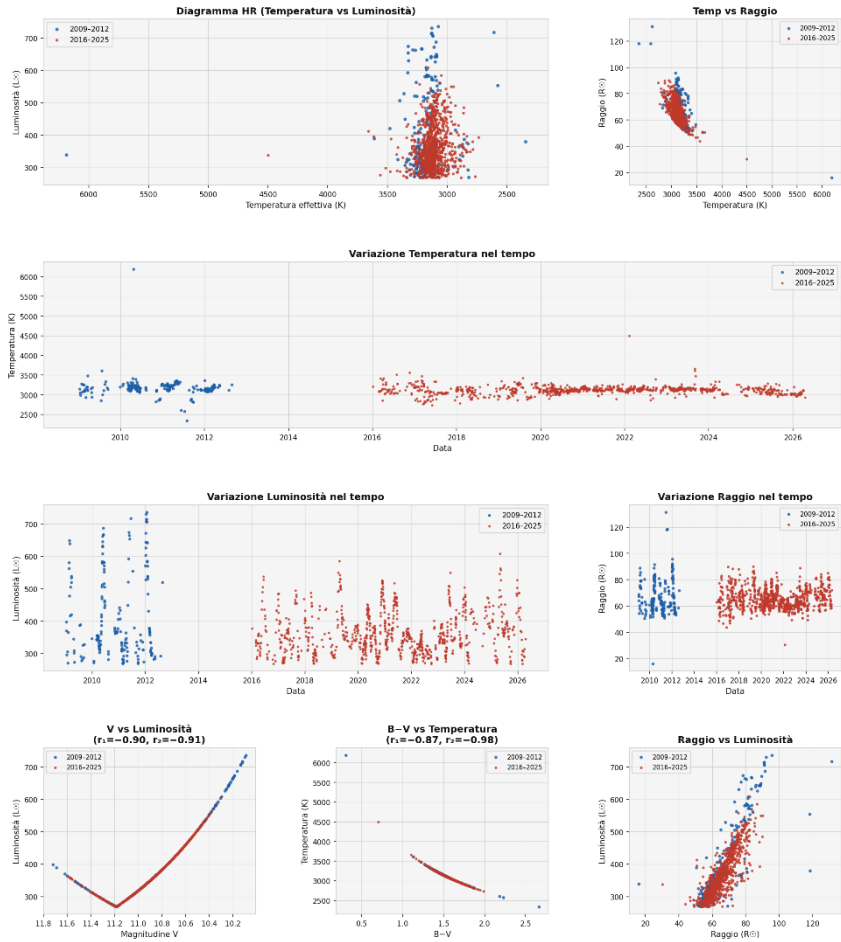


Fig. 2. Analisi fisica di T UMi: diagramma H-R, evoluzione temporale di T_{eff} , L , R e correlazioni chiave.

5. Discussione

5.1 Riduzione del Periodo e Transizione di Modo

La riduzione del periodo ($\sim 12\%$) è coerente con la *transizione di periodo* documentata in altre variabili AGB (Templeton & Kamath 2009;

Uttenthaler et al. 2011; Molnár et al. 2019). Il rapporto $P_2/P_1 \approx 0.88$ è intermedio tra modo fondamentale e primo armonico, indicando una transizione incompleta. Il modello di Molnár et al. (2019) prevede che il periodo raggiunga ~ 100 giorni entro alcune decadi.

La simultanea riduzione della potenza L-S (-72%) e della dispersione in T_{eff} e L supporta questa interpretazione. Comportamenti analoghi si osservano in R Doradus e in Betelgeuse (Dupree et al. 2022).

5.2 Stato Evolutivo e Diagramma H-R

La luminosità media ($\sim 390 L_{\odot}$) e $T_{\text{eff}} \sim 3150\text{K}$ collocano T UMi nella parte a bassa luminosità dell'AGB-TP, coerente con una stella di massa $\sim 1-2 M_{\odot}$.

5.3 Perdita di Massa e Inviluppo Circumstellare

Il significativo aumento di V-R ($+0.61$ mag) suggerisce un'estinzione circumstellare dipendente dalla lunghezza d'onda. Stimiamo un tasso di perdita di massa dell'ordine di $10^{-7}-10^{-6} M_{\odot} \text{ anno}^{-1}$ (van Loon 2005).

6. Conclusioni

Abbiamo presentato uno studio fotometrico a lungo termine di T UMi su oltre 1130 epoche per circa 16 anni. Le principali conclusioni sono:

- Il periodo di pulsazione si è ridotto da $P_1 \approx 205$ giorni a $P_2 \approx 181$ giorni ($\sim 12\%$), con FAP $< 10^{-34}$.
- La potenza L-S è diminuita del $\sim 72\%$, indicando riduzione della coerenza pulsazionale.
- T_{eff} media calata di $\sim 55\text{K}$; L media calata di $\sim 49 L_{\odot}$; raggio costante ($\sim 65-67 R_{\odot}$).
- Le deviazioni standard di T_{eff} e L si sono ridotte di un fattore ~ 2.4 e ~ 2.0 .
- V-R aumentato di $+0.61$ mag: arrossamento circumstellare intensificato.
- La banda V è ottimo proxy di L ($|r| \sim 0.90-0.91$): per questo T UMi è monitorabile, con profitto, anche senza filtri aggiuntivi.
- I risultati sono coerenti con transizione di modo sull'AGB (Molnár et al. 2019)
- Sviluppi futuri: (i) colmare la lacuna 2013–2015; (ii) fotometria infrarosso; (iii) confronto con modelli AGB; (iv) spettroscopia radiale.

Nota sull'uso di intelligenza artificiale

Questo lavoro ha usato strumenti di intelligenza artificiale generativa (Claude, Anthropic) per supporto nell'analisi, nella generazione delle figure e nella redazione del testo. Gli autori hanno verificato criticamente tutti i risultati scientifici. Nessun conflitto di interessi è dichiarato.

Ringraziamenti

L'articolo è scritto in memoria di Janet Akyüz Mattei (1943–2004) già direttrice dell'AAVSO e Dorrit Hoffleit (1907–2007) che la introdusse – quando era direttrice dell'Osservatorio di Nantucket- nel mondo delle stelle variabili, grandi e indimenticabili studiose di stelle variabili.

Gli autori ringraziano l'AAVSO e la sua rete globale di osservatori per la disponibilità dell'archivio fotometrico.

Riferimenti Bibliografici

- AAVSO (2016,2018), LPV of the Month: T UMI-(<https://www.aavso.org>)
- Alonso, A., Arribas, S., & Martínez-Roger, C. 1999, A&AS, 140, 261 - (<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1999A%26AS.140..261A>)
- Astropy Collaboration 2013, A&A, 558, A33; 2022, ApJ, 935, 167- (<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201322068>)
- Cardelli et al. 1989, ApJ 345, 245- (<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1989ApJ...345.245C>)
- Dupree, A. K. et al. 2022, ApJ, 936, 18 -(<https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac7dbd>)
- Kloppenborg, B. 2026, AAVSO International Database. -(<https://www.aavso.org>)
- Lomb 1976, Ap&SS 39, 447- (<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1976Ap%26SS.39..447L>)
- Mattei 1995, JAAVSO 23, 106- (<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1995JAVSO..23..106M>)
- Molnár, L., Joyce, M., & Kiss, L. L. 2019, ApJ, 879, 62 — <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ab22a5>)
- Scargle 1982, ApJ 263, 835-(<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1982ApJ...263..835S>)
- Schlafly & Finkbeiner 2011, ApJ 737, 103-(<https://doi.org/10.1088/0004-637X/737/2/103>)
- Templeton & Kamath 2009, PASP 121, 1076-(<https://doi.org/10.1086/605456>)
- Uttenthaler et al. 2011, A&A 531, A88-(<https://doi.org/10.1051/0004-6361/201116463>)
- van Loon, J. Th., Cioni, M.-R. L., Zijlstra, A. A., & Loup, C. 2005, A&A, 438, 273 - (<https://doi.org/10.1051/0004-6361:20041732>)
- Whitlock, P. A. et al. 2008, MNRAS, 386, 313-(<https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2008.13032.x>)

Appendice – Curva di luce AAVSO di T UMi (2006–2026)

Il grafico mostra la curva di luce completa di T UMi dall'archivio AAVSO. Quadrati verdi: banda V; diamanti rossi: banda R; asterischi blu: banda B. I simboli con croce nel pannello inferiore (2022–2025) sono le misurazioni dell'autore (codice AAVSO 000-BBT-772).

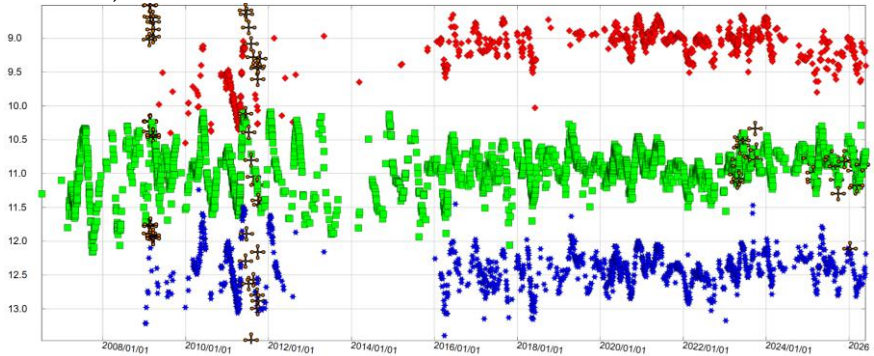


Fig. A1. Curva di luce di T UMi (AAVSO, 2006–2026). I simboli con croce indicano le misurazioni nelle tre bande fotometriche fatte da Fabio Mariuzza (MFB, codice osservatore).