

T Ursae Minoris: spettroscopia e riattivazione pulsazionale (2019–2026)

Fabio Mariuzza (AAVSO, Udine) fabio.mariuzza@dipharma.com

Costantino Sigismondi (ICRANet Pescara e APRA Roma)

prof.sigismondi@icra.it Gianluca Rossi (AAVSO, Roma)

Submitted: [24 July 2026] / Accepted: [3 September 2026]

Sommario Presentiamo un'analisi spettroscopica multi-epoca di T Ursae Minoris (T UMi) basata su undici spettri ottici acquisiti tra il 2019 e il 2026 da tre Osservatori: AAVSO (FJQ e RGN) ed il Telescopio Copernico da 1.82 m di Cima Ekar (INAF). Misuriamo gli indici $\text{TiO } \gamma$ (6159 Å) e $\text{TiO } \alpha$ (5847 Å) e analizziamo la regione di $\text{H}\alpha$. Lo spettro del Copernico ($\text{S/N}=170$, $\Delta\lambda=4.53$ Å/px) rivela nella regione $\text{H}\alpha$ una struttura in assorbimento con minimo a ~ 6581 Å, attribuibile alla banda $\text{TiO } \delta$ piuttosto che a emissione $\text{H}\alpha$. Il nuovo spettro RGN del 2026-06-21 mostra $\text{TiO } \gamma = 1.366$ e struttura $\text{H}\alpha/\text{TiO } \delta$ con $\text{EW} = -0.77$ Å. La fotometria Sloan coeva ($r'-i' = 2.196$) conferma eccesso infrarosso per polvere circumstellare.

Parole chiave: stelle: variabili Mira, semi-regolari — T UMi — spettroscopia: TiO , $\text{H}\alpha$ — fotometria Sloan

Abstract We present a multi-epoch spectroscopic study of T UMi based on eleven optical spectra (2019–2026) from AAVSO observers FJQ and RGN and the 1.82m Copernico Telescope at Cima Ekar (INAF).

The Copernico spectrum ($\text{S/N}=170$, $\Delta\lambda=4.53$ Å/px) shows in the $\text{H}\alpha$ region an absorption minimum at ~ 6581 Å, attributed to $\text{TiO } \delta$ rather than $\text{H}\alpha$ emission. The 2026 June 21 RGN spectrum shows $\text{TiO } \gamma = 1.366$ and $\text{H}\alpha$ -region $\text{EW} = -0.77$ Å. Contemporaneous Sloan $r'-i' = 2.196$ confirms circumstellar excess.

1. Introduzione

T Ursae Minoris (T UMi) è una variabile semi-regolare AGB oggetto di analisi fotometrica in Mariuzza & Sigismondi 2026 (Paper I), che ha documentato una riduzione del periodo da ~ 205 a ~ 181 giorni e un calo del 72% della potenza pulsazionale. Il database AAVSO riporta per il 2026 un periodo di 115.7 giorni. In questo Paper II presentiamo undici spettri ottici (2019–2026), includendo per la prima volta uno spettro professionale del Telescopio Copernico da 1.82 m di Cima Ekar (INAF) acquisito da Dr. Andrea Reguitti, che chiarisce l'interpretazione della regione di $\text{H}\alpha$.

2. Osservazioni

2.1 Spettri

Il dataset comprende undici spettri: dieci dall'archivio AAVSO e uno dal Telescopio Copernico 1.82m di Cima Ekar (INAF, Asiago), acquisito e ridotto da Dr. Andrea Reguitti con lo spettrografo AFOSC (GR04, fessura 2.5"), rivelatore CCD E2V raffreddato a -90°C , calibrazione in flusso assoluto. La Tabella 1 riassume la strumentazione completa.

Codice	Sede	Apertura	Spettrografo / periodo	Camera	R / $\Delta\lambda$
FJQ	Los Angeles	330 mm	LISA (2019–2020)	Atik 460/414ex	R~1000–7000 / 0.78–1.82 Å/px
RGN	Roma, Italia	Newton 150 mm	SA200 (2020-04-25, 2021-06-01, 2022-02-28)	Atik 383L QHY268	R~600–1100 / 6.1–9.8 Å/px
RGN	Roma, Italia	Newton 150 mm	SA200 grism (2022-04-16, 2026-06-21)	QHY268 Mono	R~900–1400 / ~4–6 Å/px
Copernico	Cima Ekar (Asiago)	1.82 m	AFOSC + GR04, fessura 2.5" (2026-07-16)	Andor iKon-L	R~1283 / 4.53 Å/px

Tabella 1. Strumentazione completa. RGN ha usato tre configurazioni distinte. Il Telescopio Copernico fornisce flusso calibrato in $\text{erg}/\text{cm}^2/\text{s}/\text{\AA}$ con $S/N = 170$.

2.2 Fotometria Sloan 2026-06-21

La stessa sera dello spettro RGN del 2026-06-21, Gianluca Rossi ha acquisito fotometria nei filtri Sloan g'r'i' con la camera QHY268 Mono. I dati sono depositati nel database AAVSO.

Oggetto	JD	Magnitudine	Incertezza	Filtro
T UMi	2461213.41134	11.258	± 0.018	g'
T UMi	2461213.410694	9.757	± 0.022	r'
T UMi	2461213.410231	7.561	± 0.035	i'

Tabella 3. Fotometria Sloan g'r'i' di T UMi (RGN, 2026-06-21). $g'-r' = 1.501$; $r'-i' = 2.196$.

3. Metodi

Indici TiO: $\text{TiO } \gamma = \text{flusso } [6100\text{--}6220] / \text{continuo medio } [5900\text{--}6000, 6300\text{--}6400] \text{ \AA}$; $\text{TiO } \alpha = \text{flusso } [5847\text{--}5907] / \text{continuo } [5700\text{--}5780, 5960\text{--}6030] \text{ \AA}$.

Struttura H α : EW misurata in [6548–6582] Å rispetto al pseudo-continuo [6500–6540] e [6590–6630] Å; inclusa la banda TiO δ a bassa risoluzione, non interpretabile come emissione H α pura.

4. Risultati

4.1 Spettri Sovrapposti

La Figura 1 mostra tutti e undici gli spettri sovrapposti (3600–8200 Å) normalizzati al continuo 6000–6100 Å. La Figura 2 mostra il dettaglio della regione H α /TiO δ .

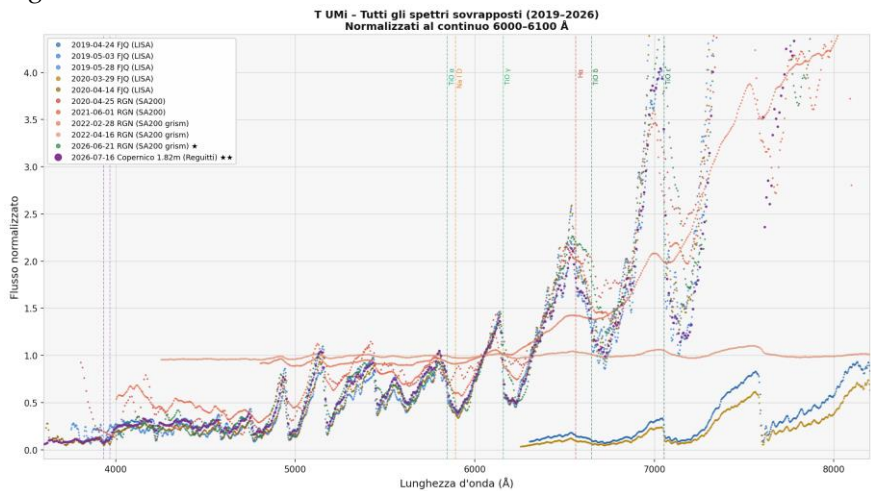


Fig. 1. Tutti gli spettri di T UMi sovrapposti (2019–2026), normalizzati al continuo 6000–6100 Å. Viola: Copernico 1.82m (Reguitti, 2026-07-16); Blu: FJQ/LISA; Rosso: RGN/SA200; Verde: RGN/SA200 grism 2026-06-21.

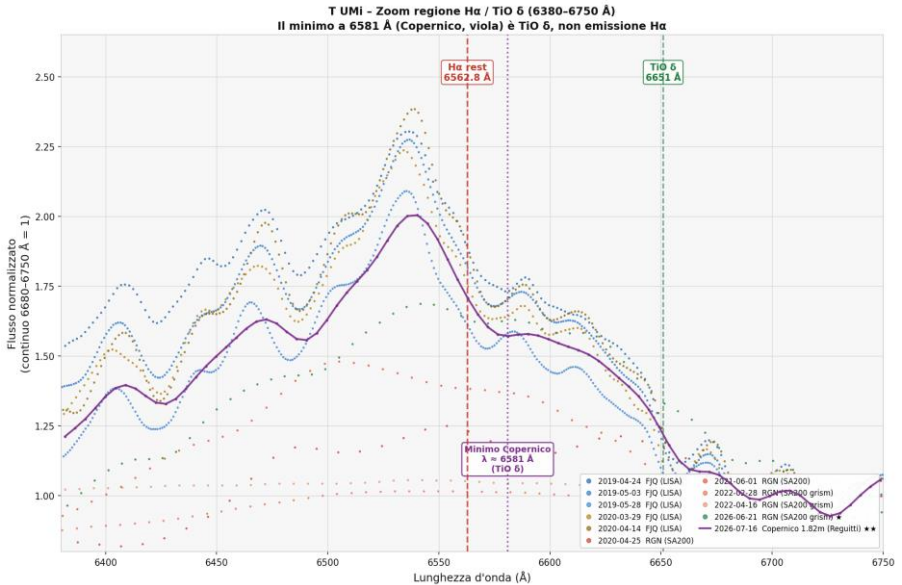


Fig. 2. Zoom regione H α /TiO δ (6380–6750 Å). Lo spettro Copernico (viola) mostra il minimo a 6581 Å, attribuito a TiO δ in assorbimento.

4.2 Spettro Copernico e Regione H α

Le Figure 3 e 4 mostrano rispettivamente lo spettro completo del Copernico e il dettaglio della regione H α . Il minimo di assorbimento si trova a $\lambda \approx 6581$ Å, spostato di +18 Å rispetto alla lunghezza d'onda a riposo di H α (6562.8 Å), coerente con la banda TiO δ . Come indicato da Costantino Sigismondi, non è possibile affermare con certezza la presenza di emissione H α sulla base di questi spettri.

T UMi - Spettro Telescopio Copernico 1.82m (Reguitti, 2026-07-16)
AFOSC + GR04, fessura 2.5", S/N = 170, $\Delta\lambda = 4.53 \text{ \AA/px}$

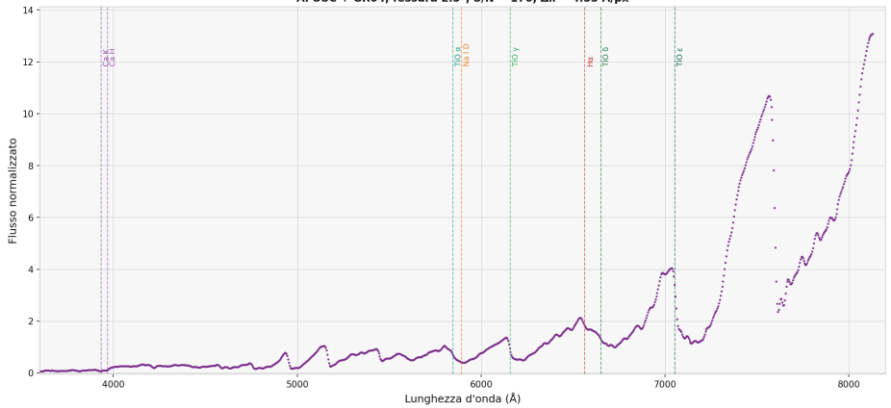


Fig. 3. Spettro completo del Telescopio Copernico 1.82m (registrato con A. Reguitti il 2026-07-16). Copertura 3500–8130 Å, flusso calibrato in $\text{erg}/\text{cm}^2/\text{s}/\text{\AA}$, S/N = 170.

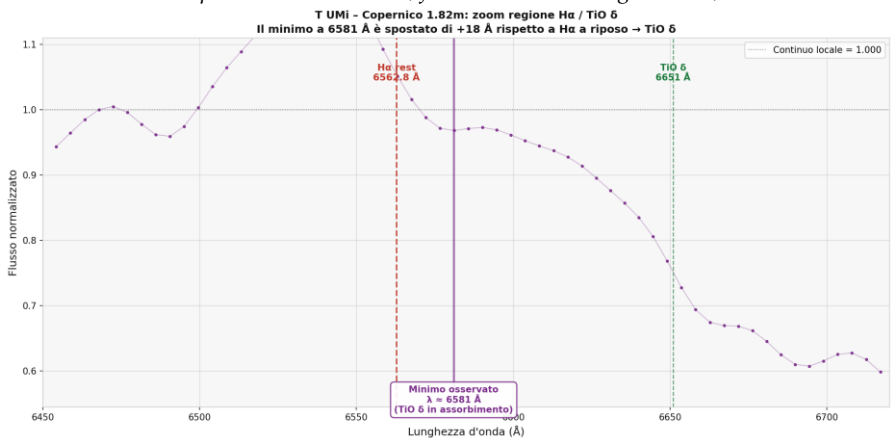


Fig. 4. Copernico 1.82m: zoom regione H α /TiO δ . Il minimo a $\lambda \approx 6581 \text{ \AA}$ è spostato di $+18 \text{ \AA}$ rispetto a H α a riposo e è attribuito alla banda TiO δ in assorbimento.

4.3 Indici TiO e Correlazione Temporale

La Tabella 2 riassume tutte le misure. La Figura 5 mostra la correlazione temporale tra curva V, struttura H α /TiO e indice TiO γ .

Data	Obs.	V	Str. H α †	TiO γ	TiO α	Fase	Strum.
2019-04-24	FJQ	10.466	-0.37	—	—	disc.	Atik 460/LISA
2019-05-03	FJQ	10.497	-0.49	0.829	0.588	disc.	Atik 460/LISA
2019-05-28	FJQ	10.733	+0.21	0.659	0.596	min.	Atik 460/LISA
2020-03-29	FJQ	10.906	-0.26	—	—	risal.	Atik 460/LISA
2020-04-14	FJQ	10.971	-0.73	0.855	0.543	max.	Atik 414/LISA
2020-04-25	RGN	10.814	—	1.185	0.869	p.max.	Atik 383/SA200
2021-06-01	RGN	10.601	-0.50	0.983	0.745	disc.	Atik 383/SA200
2022-02-28	RGN	11.361	-0.21	0.964	0.957	max.	QHY268/SA200
2022-04-16	RGN	11.002	-0.19	1.019	0.986	risal.	QHY268/SA200gr.
2026-06-21	RGN	10.92*	-0.77	1.366	0.757	disc.	QHY268/SA200gr.
2026-07-16	COP.	[r'=9.76]	†ass.	0.962	0.592	?	AFOSC/1.82m

Tabella 2. Misure spettroscopiche complete. ♠ = RGN 2026-06-21; ♠♠ = Copernico 1.82m. † = struttura TiO δ nella regione H α , non emissione H α confermata. * V indicativo.

5. Discussione

5.1 Regione H α e Banda TiO δ

Il minimo a ~ 6581 Å rilevato dallo spettro del Copernico esclude una semplice identificazione con H α a riposo (6562.8 Å). La spiegazione più plausibile è l'assorbimento della banda TiO δ , dominante in stelle M6 a $T_{\text{eff}} \sim 3100$ K. Ne consegue che le variazioni di EW nella regione H α degli spettri AAVSO riflettono la variabilità termica del ciclo pulsazionale tramite TiO δ , non necessariamente emissione H α da onde d'urto.

5.2 Indici TiO e Eccesso Infrarosso

Gli indici TiO γ e TiO α rimangono misure robuste. Il TiO γ del Copernico (0.962) conferma i valori RGN 2021–2022. La variazione TiO γ da 0.659 (2019) a 1.366 (2026-06-21) documenta l'escursione termica del ciclo. L'indice $r'-i'$ = 2.196 indica forte eccesso infrarosso coerente con polvere

circumstellare calda, confermando l'arrossamento V-R di Paper I. Il periodo AAVSO di 115.7 giorni (2026) conferma la prosecuzione della contrazione.

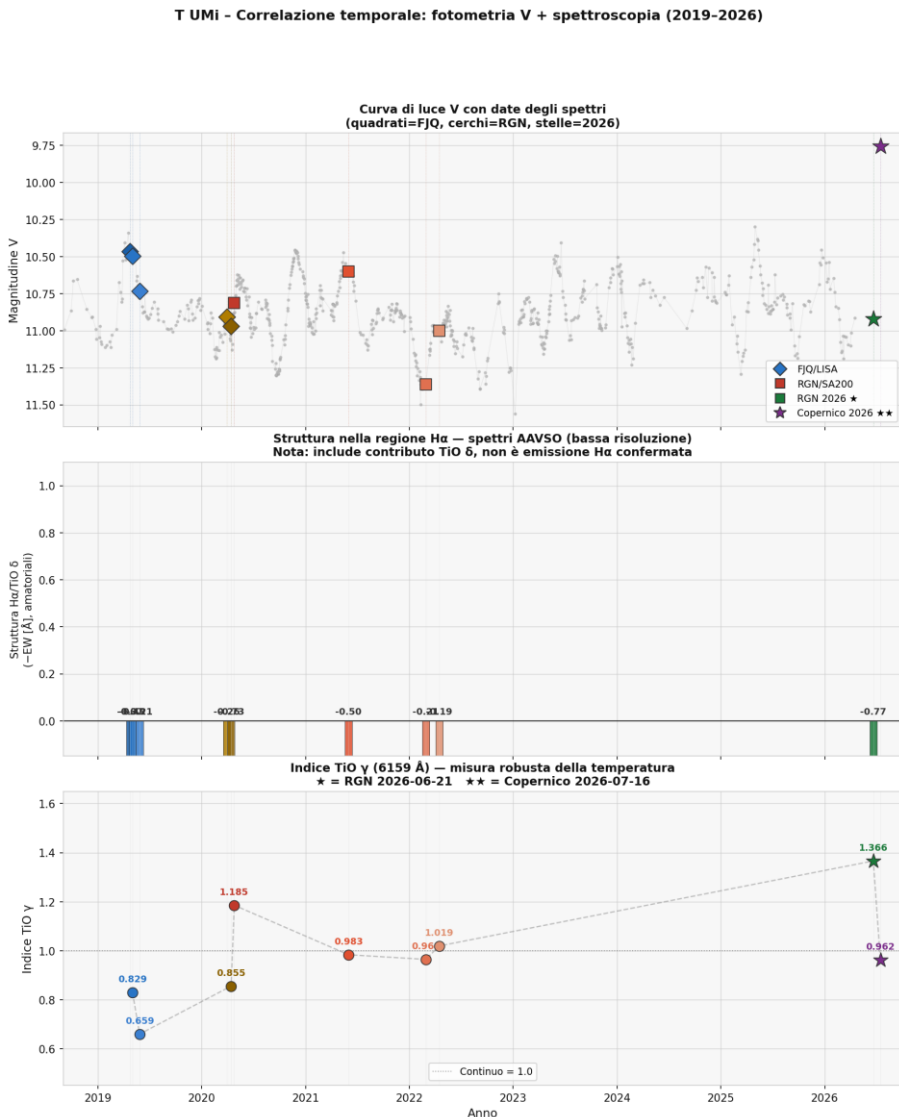


Fig. 5. Correlazione temporale 2019–2026: curva V con date spettri (pannello 1), struttura H α /TiO δ AAVSO (pannello 2), indice TiO γ (pannello 3).

6. Conclusioni

- Lo spettro del Copernico 1.82m del 2026-07-16 mostra nella regione H α un assorbimento con minimo a ~ 6581 Å, attribuito a TiO δ : la risoluzione degli spettri amatoriali non permette di confermare emissione H α .
- Gli indici TiO γ e TiO α sono misure robuste: il Copernico conferma i valori amatoriali.
- Il nuovo spettro RGN del 2026-06-21 mostra TiO γ = 1.366 (massimo del dataset) e struttura H α /TiO δ con EW = -0.77 Å, coerenti con una fase di espansione della fotosfera.
- La fotometria Sloan coeva ($r'-i' = 2.196$) fornisce la prima evidenza fotometrica diretta di eccesso infrarosso in T UMi.
- Il periodo AAVSO di 115.7 giorni (2026) conferma la prosecuzione della contrazione di Paper I.

Sviluppi futuri: spettri ad alta risoluzione per separare H α da TiO δ ; velocità radiali; fotometria NIR.

Nota sull'uso di intelligenza artificiale

Questo lavoro ha beneficiato di strumenti di IA generativa (Claude, Anthropic) per analisi, figure e redazione. I risultati sono stati verificati dagli autori. Nessun conflitto di interessi.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano Dr. Andrea Reguitti (INAF, Osservatorio dell'Università di Padova) per aver acquisito e ridotto lo spettro del Telescopio Copernico da 1.82m del 2026-07-16 e per averlo messo a disposizione. Si ringraziano Gianluca Rossi (RGN, Roma) per gli spettri e la fotometria Sloan 2026-06-21, l'osservatore FJQ (Los Angeles) e la rete AAVSO. L'autore ringrazia il Referee per i preziosi suggerimenti.

Referenze

- Fox, M. W., Wood, P. R., & Dopita, M. A. 1984, *ApJ*, 286, 337
Gillet, D. et al. 1985, *A&A*, 148, 67
Kloppenborg, B. 2026, AAVSO International Database. <https://www.aavso.org>
Mariuzza, F. & Sigismondi, C. 2026, *Gerbertvs*, vol. 23 (Paper I)
Molnár, L., Joyce, M., & Kiss, L. L. 2019, *ApJ*, 879, 62
Joyce, M., Molnár, L. et al. 2024, *ApJ*, 971, 186
Reid, M. J. & Goldston, J. E. 2002, *ApJ*, 568, 931
Reguitti, A. 2026, comunicazione privata (spettro Copernico 1.82m, Cima Ekar)
Templeton, M. R. & Kamath, G. 2009, *PASP*, 121, 1076
Uttenthaler, S. et al. 2011, *A&A*, 531, A88