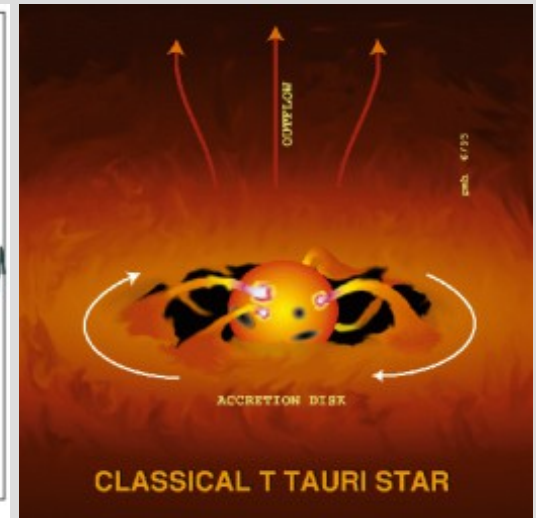
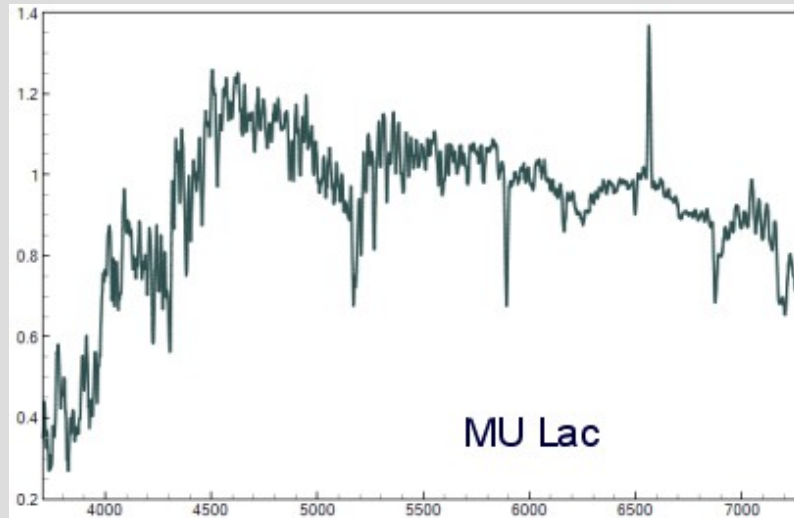


MU Lac: facciamo il punto



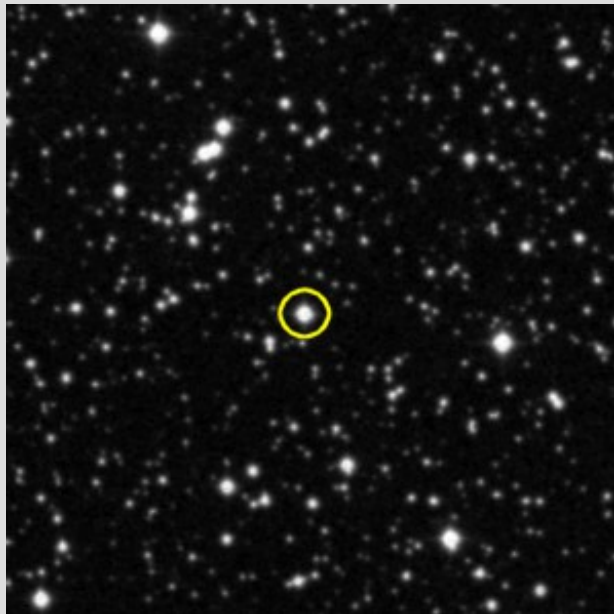
27° Convegno Nazionale del GAD
5-6 ottobre 2019, Todi (PG)



Lorenzo Franco (lor_franco@libero.it)
(A81) Balzaretto Observatory, Rome
http://digilander.libero.it/A81_Observatory
<https://www.facebook.com/a81balzarettoobservatory>

Premessa

MU Lac (22 24 56.92, +51 36 54.0)



Dal 2012 la stella MU Lac è stata oggetto di continue osservazioni da parte della sezione stelle variabili UAI, raccogliendo così numerose misure fotometriche sia nelle bande fotometriche che in clear. E' stata anche oggetto di due sessioni fotometriche e spettroscopiche con il telescopio di Loiano.

In questa relazione cercheremo di fare il punto ad oggi sullo stato delle nostre conoscenze su questa variabile (fatti osservativi ed ipotesi) e cercheremo di delineare i prossimi passi.

Un pò di storia

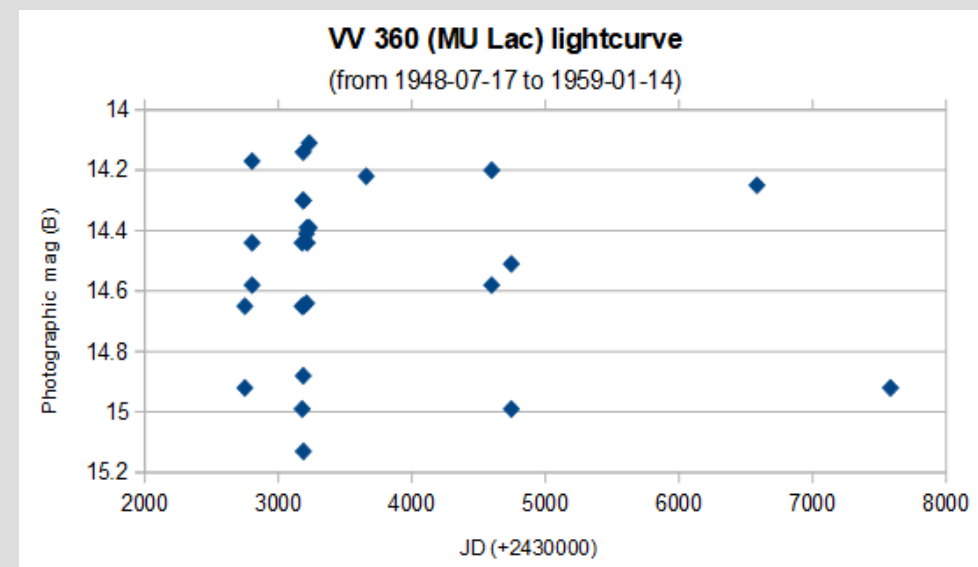
MU Lac è una stella osservata la prima volta da *W.J. Miller* dal 1948 al 1959, presso l'osservatorio vaticano di *Castel Gandolfo*, nell'ambito di una survey centrata nella regione della *Via Lattea del Cigno*.

Il gran numero di lastre fotografiche acquisite venne successivamente elaborato e pubblicato dallo stesso Miller nel 1971 (*), identificando 150 variabili tra cui *VV 390*, la nostra *MU Lac*.

Al riguardo della variabile il documento riporta testualmente:

“Certainly an eclipsing star. So far, no elements could be found. The star is fainter than normal on.”

La variabile è stata quindi classificata sul *GCVS* come una variabile ad eclisse e non sono presenti in letteratura degli studi specifici.



Dati originali di Miller

Un pò di storia

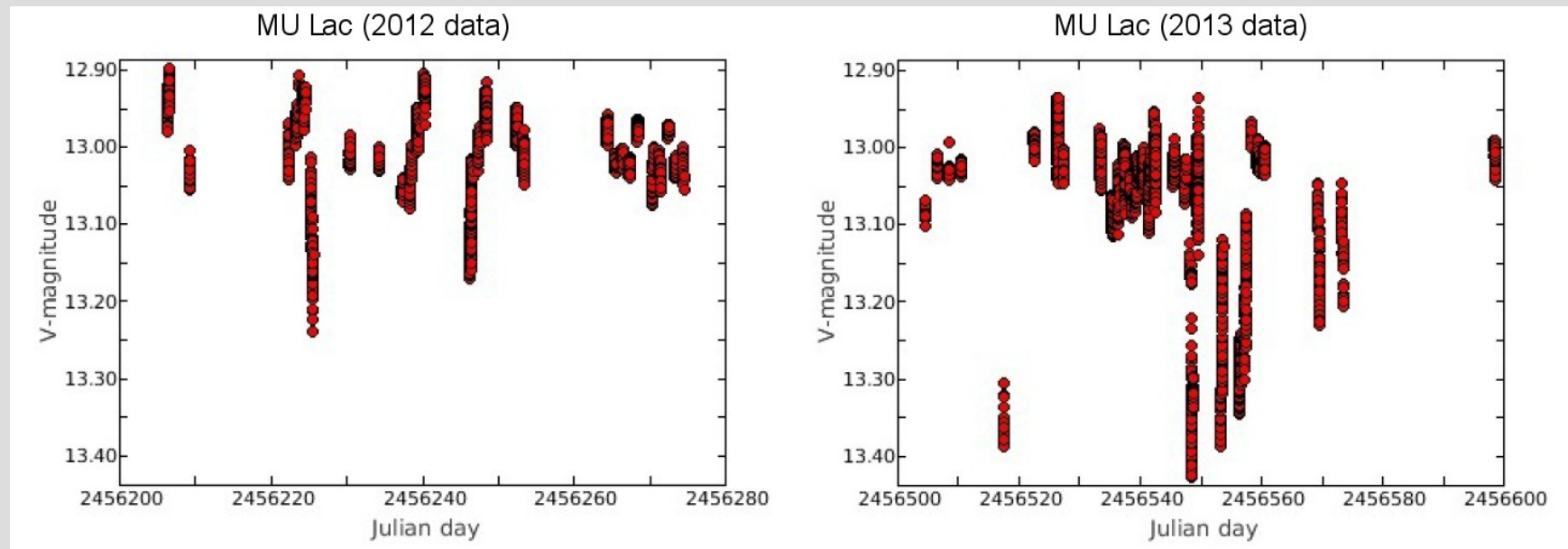
MU Lac è stata osservata nell'ambito della sezione stelle variabili UAI a partire dal 2012 (N. Ruocco) e sin da subito si è capito che si trattava di una variabile abbastanza peculiare. I dati fotometrici sembravano non seguire un andamento ben prestabilito. Da allora numerose sono state le sequenze fotometriche acquisite (filtrate e non) dalla sezione per cercare di venirne a capo.



Nel 2014 (20 agosto e 6 settembre) la variabile è stata oggetto di osservazioni fotometriche e spettroscopiche presso l'osservatorio INAF di Loiano (telescopio Cassini da 1.5m). Sessioni osservative a cui hanno partecipato molti colleghi della sezione stelle variabili UAI.

Dati osservativi (sequenze fotometriche)

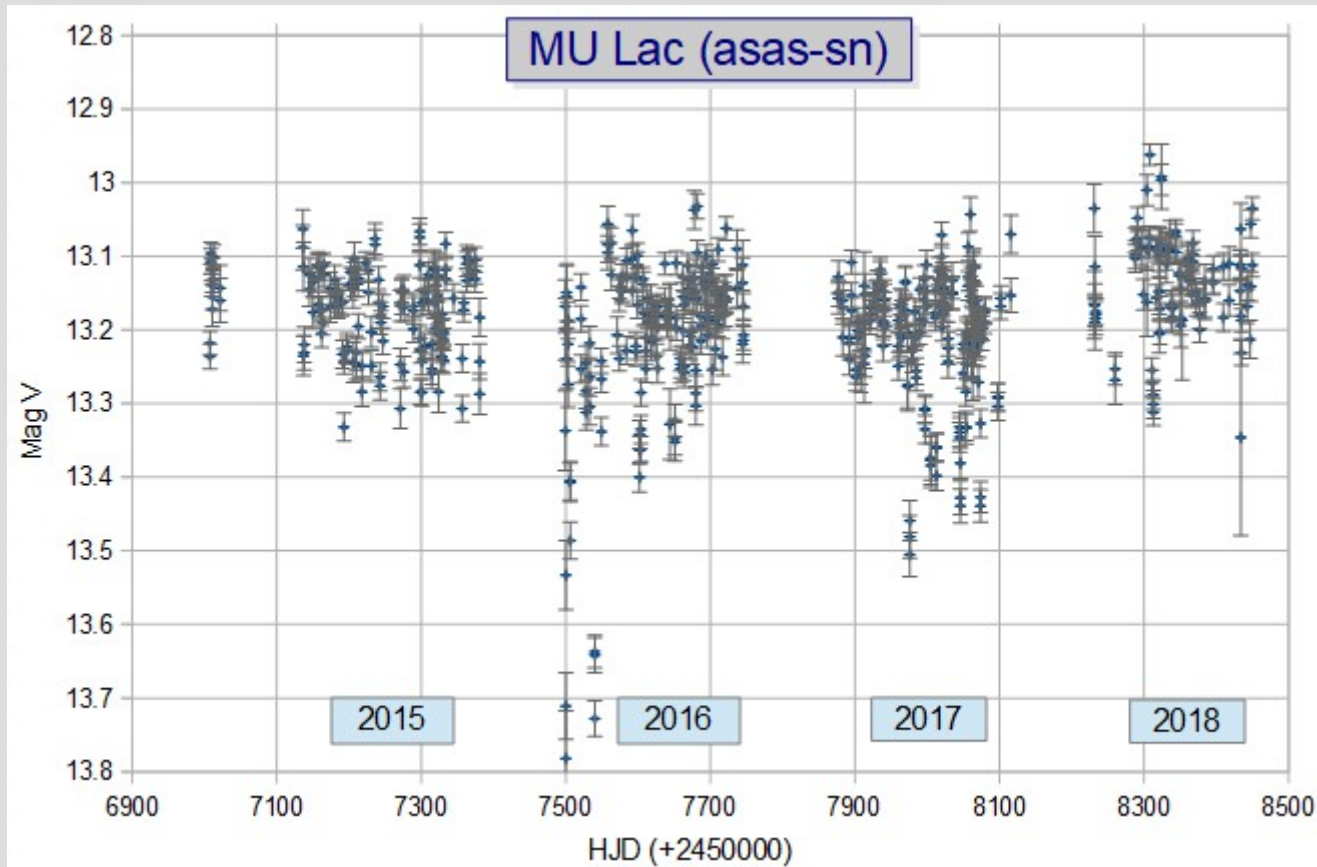
*Nel 2012 e 2013 **MU Lac** è stata intensivamente osservata dalla sezione stelle variabili UAI, senza comunque riuscire a determinare una ben precisa periodicità. I dati sembrano disporsi in sequenze piuttosto casuali il cui andamento generale resta comunque ben celato.*



Alle osservazioni hanno contribuito: M.Banfi, L.Barbieri, G.Bianciardi, G.Corfini, A.Marchini, G.Marino, M.Martinengo, R.Papini, N.Ruocco, R.Zambelli.

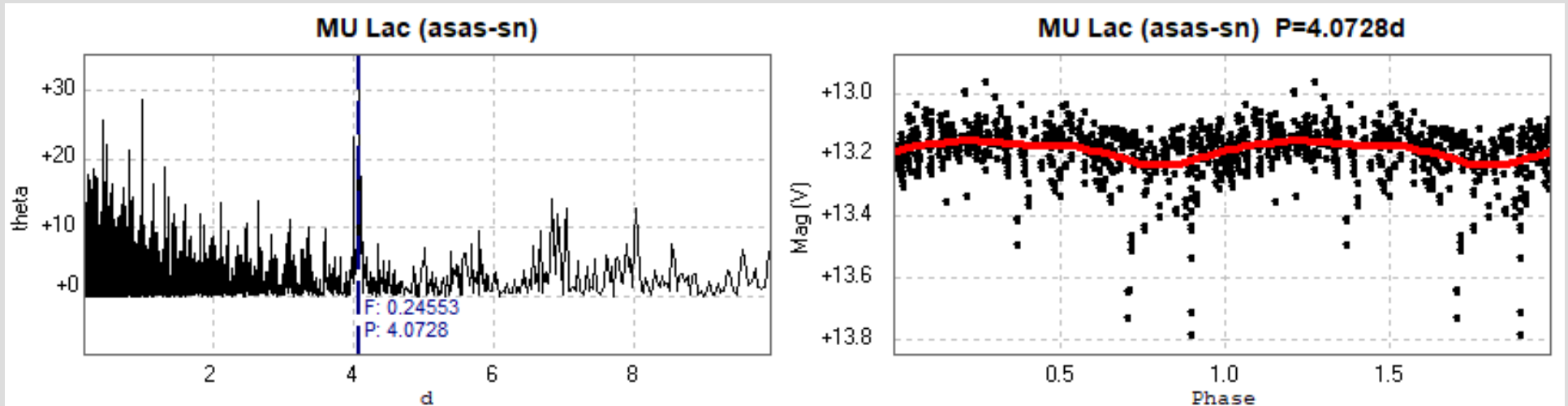
Dati osservativi (asas-sn)

La survey ASAS-SN per MU Lac fornisce numerosi dati fotometrici sparsi (banda V) per quattro anni (dal 2015 al 2018). Si conferma un andamento irregolare con occasionali cali di luminosità. Nel 2018 l'andamento dei punti di massimo sembra leggermente in crescita rispetto alla media degli anni precedenti.



Dati osservativi (periodo)

L'analisi del periodo dei dati fotometrici sparsi della survey asas-sn, nell'intervallo tra 0.2 e 10 giorni, mostra un periodo dominante centrato su $P = 4.0728$ giorni di ampiezza molto bassa (0.08 magnitudini).



Ipotesi: questa variazione periodica potrebbe essere causata da uno spot caldo sulla stella che si presenta ad ogni rotazione.

Dati osservativi

(indici di colore)

Dalle osservazioni fotometriche AllSky di Loiano del 6 settembre 2014 si ricavano i seguenti dati:

Filter	mag	err
U	14.88	0.07
B	14.12	0.01
V	13.15	0.08
g'	13.63	0.01
r'	12.68	0.03
I'	13.13	0.15

Color Index	Value	err
U-V	1.74	0.11
B-V	0.98	0.08
g'-r'	0.96	0.03
(*) V-R	0.58	0.03

(*) Indice di colore ottenuto con la sessione del 17 ago 2014 di L.Barbieri

La stima dell'eccesso di colore causato dall'arrossamento interstellare (mappe IRSA + modello di Chen B. et al. (1999)) porta ad un eccesso di colore: $E(B-V)=0.05$; $E(V-R)=0.03$ che ci permette di de-arrossare l'indice di colore di MU Lac in $(B-V)_0=0.93$; $(V-R)_0=0.55$.

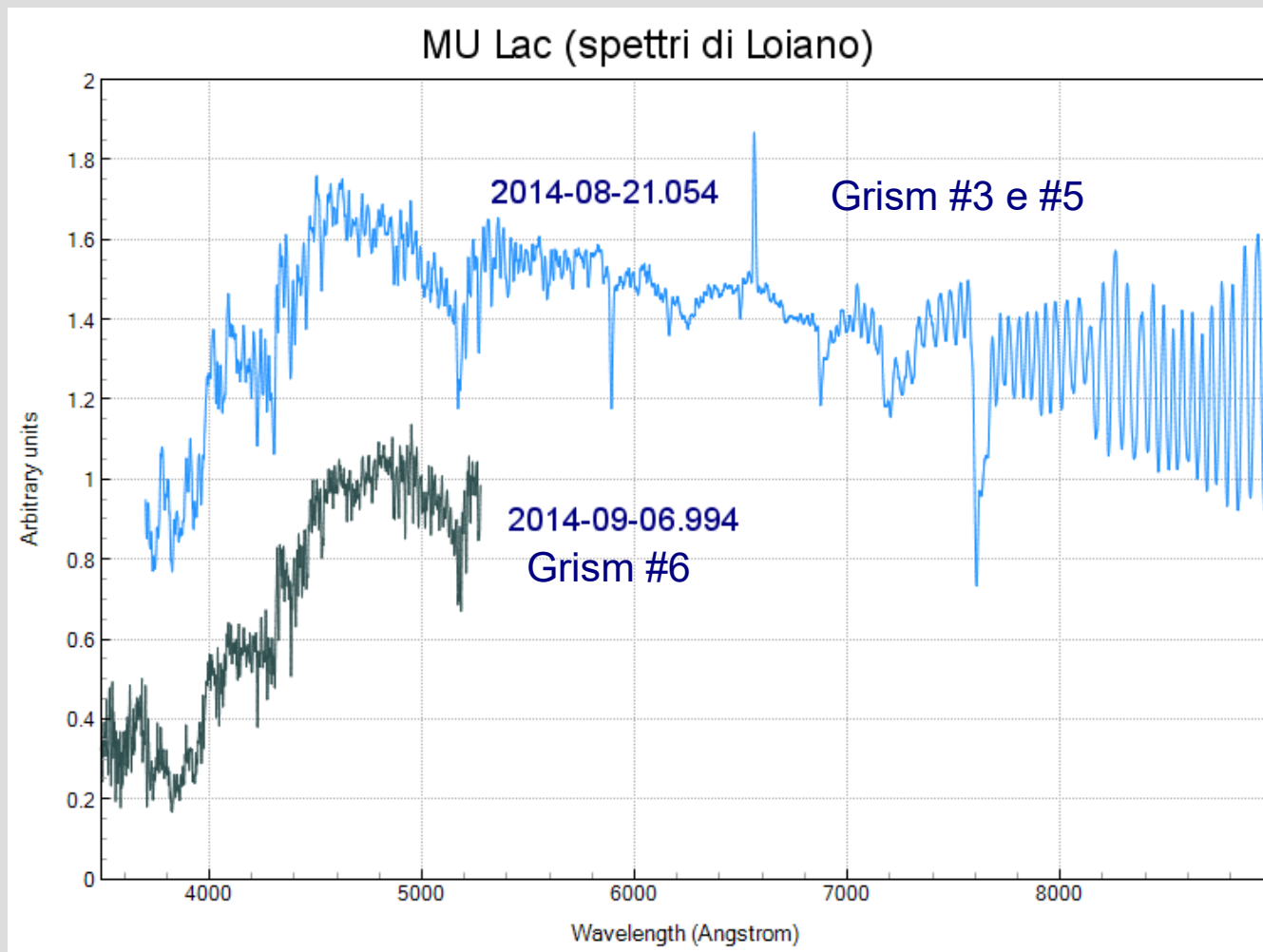
Questi indici di colore sono compatibili con quelli di stelle di sequenza principale di tipologia K0V-K3V (**).

Stima della distanza: stelle di tipo K0V / K3V hanno una magnitudine assoluta rispettivamente di 6.0 / 6.8 mag, con un modulo di distanza $(m-M)=7.15 / 6.35$ ed una distanza $d=10^{((m-M)/5+1)} = 269$ pc (877 a.l.) / 186 pc (607 a.l.).

(**) A.J.Pickles (1998) "A Stellar Spectral Flux Library"

Dati osservativi (spettri)

Le sessioni spettroscopiche di Loiano su MU Lac del 20 agosto e 9 settembre 2014 sono state ottenute con lo spettroscopio BFOSC (Bologna Faint Object Spectrograph & Camera).



Caratteristiche

Grism #3

3300 – 6420 Å

Dispersione: 2.7 Å/pix

Grism #5

4800 – 9800 Å

Dispersione: 4 Å/pix

Grism #6

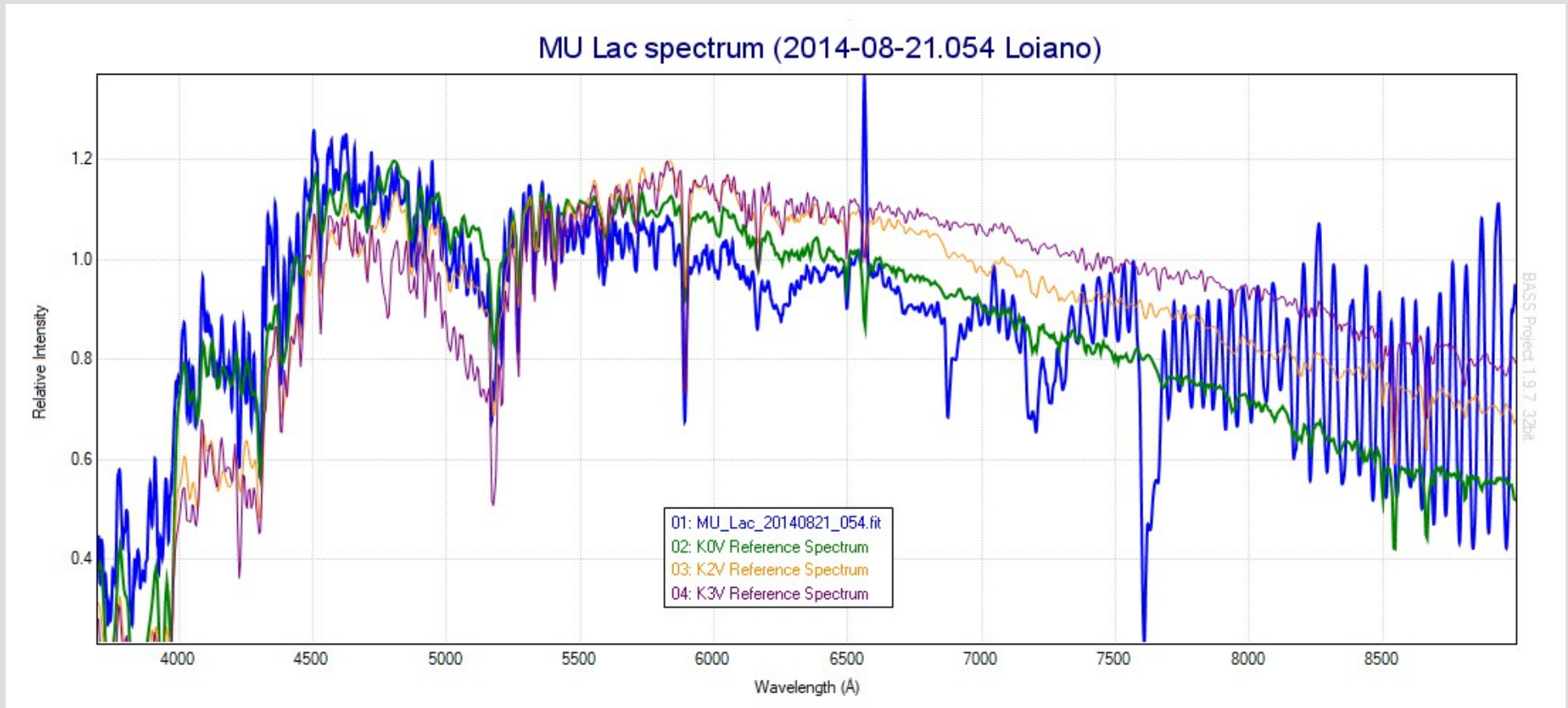
3300 – 5350 Å

Dispersione: 1.7 Å/pix

Gli spettri di Loiano sono stati ridotti con la collaborazione di P. Berardi.

Dati osservativi (classe spettrale)

Lo spettro di MU Lac si avvicina a quello di stelle di classe spettrale K0V - K3V.



Dati osservativi (SED e distanza)

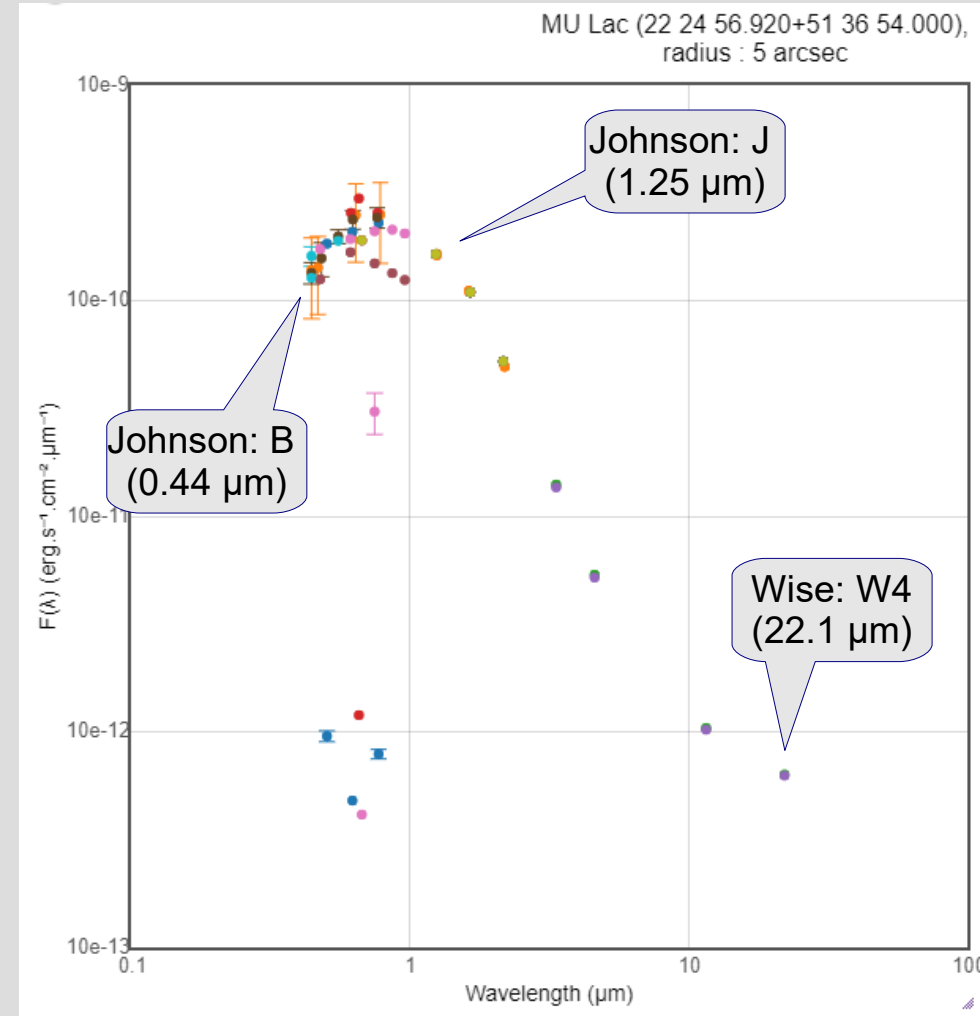
SED (Spectral Energy Distribution)

Il servizio VizieR "Photometry viewer" (<http://vizier.u-strasbg.fr/vizier/sed/>) fornisce il grafico che mostra la distribuzione del flusso energetico di MU Lac nelle varie lunghezze l'onda.

Si va da $0.44 \mu\text{m}$ (Blu) a $22.1 \mu\text{m}$ del lontano infrarosso.

Distanza

il catalogo Gaia riporta per MU Lac una parallasse: $6.3863 \text{ mas} \pm 0.7538$ (milli-arco-secondi) corrispondente ad una distanza compresa tra **457** e **579** anni luce.



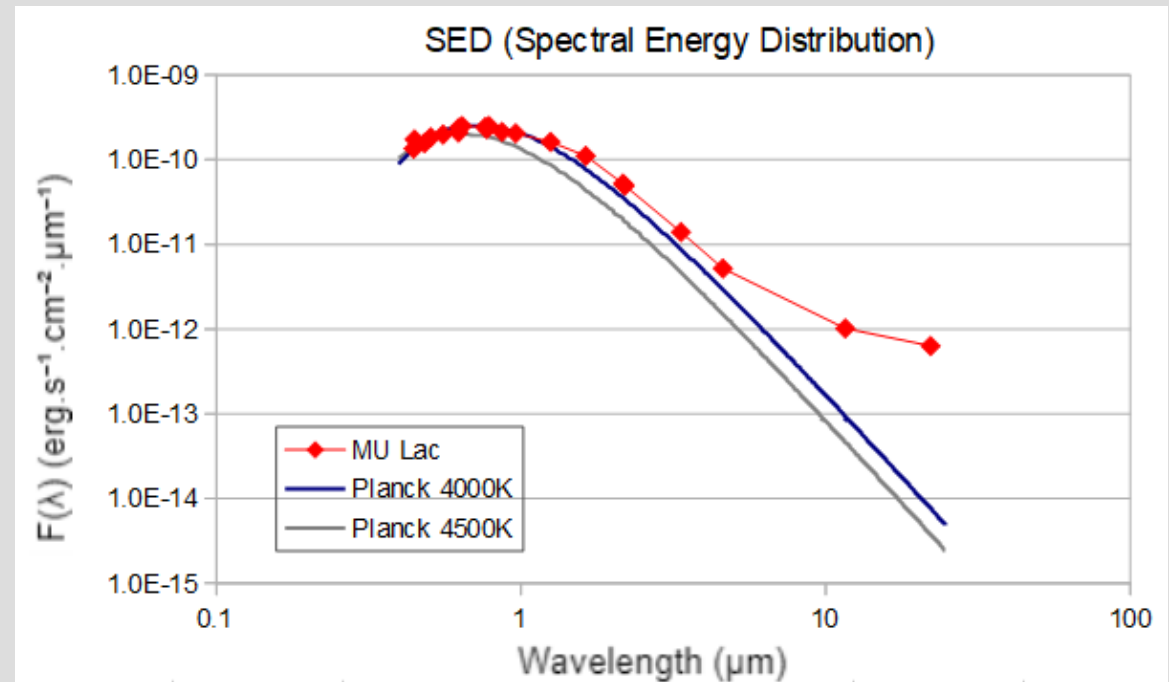
Analisi

(classe spettrale e SED)

Classe Spettrale *Gli indici di colore ed il profilo spettrale ci suggeriscono di collocare MU Lac tra i primi tipi della classe spettrale K (K0V-K3V). Il modulo di distanza che ne deriva ci fornisce una distanza che non si discosta molto (+43%) rispetto alla misura diretta della parallasse fornita dal catalogo Gaia.*

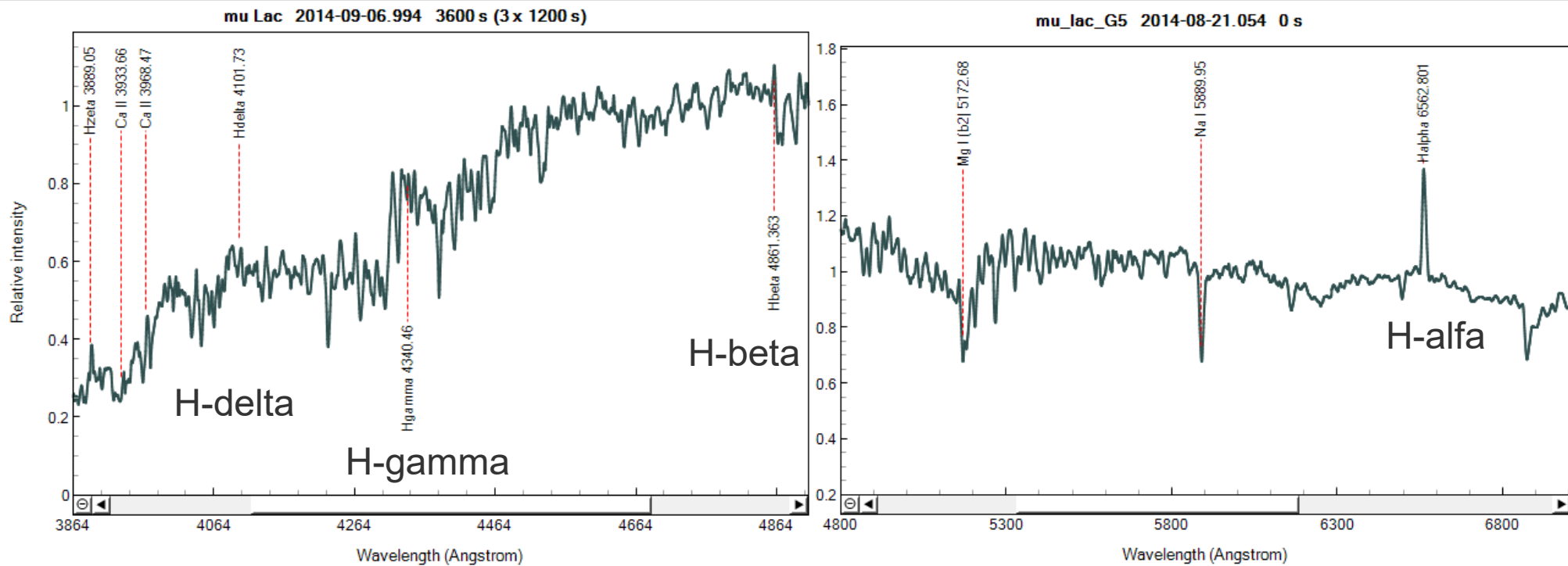
SED (Spectral Energy Distribution)

La distribuzione spettrale di MU Lac mostra un eccesso di energia nella regione dell'infrarosso, se confrontata con quella emessa da un corpo nero (curva di Planck a 4000 e 4500 K).



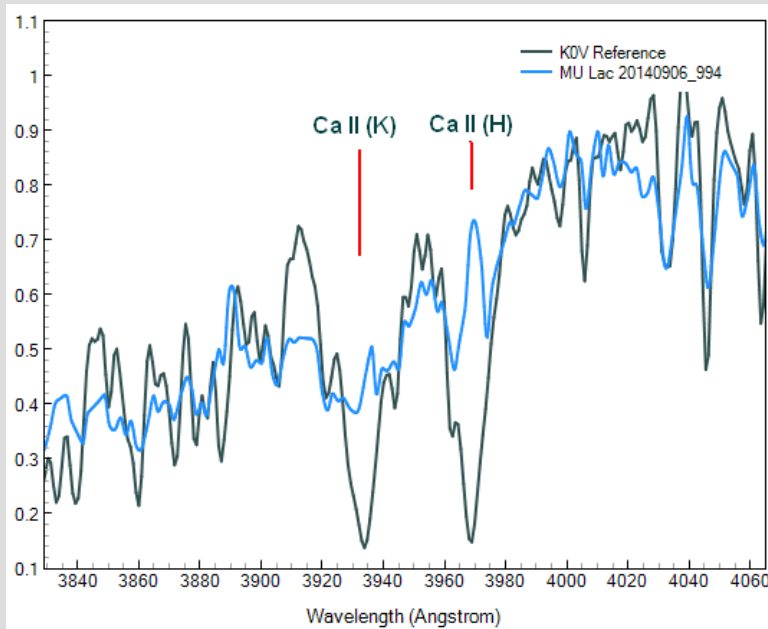
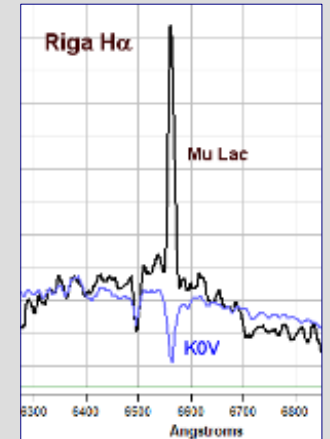
Analisi (righe di emissione)

Lo spettro di MU Lac mostra in emissione le righe della serie di Balmer (H-alfa, H-beta, H-gamma, H-delta) e del Calcio ionizzato (H e K Ca II). Si ritiene che una forte emissione della riga H-alfa sia un indicatore della presenza di un disco di accrescimento



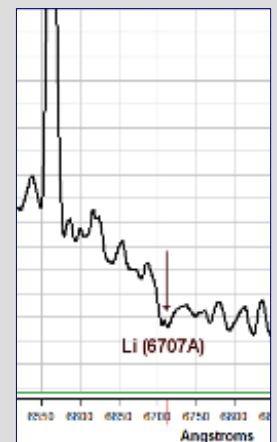
Analisi (peculiarità)

La riga *H-alfa* sembra mostrare un profilo *P-Cygni* che denoterebbe l'espansione di un disco di materiale “*optically thin*”, ossia trasparente. La differenza tra la componente di assorbimento e quella di emissione è di circa *12 Å* corrispondenti ad una velocità di espansione di circa *500 km/s*. Sulla riga *H α* si misura una *EW = -5.0 Å* (*Equivalent Width*).



Si osservano anche delle righe di emissione all'interno di righe di assorbimento per il **Calcio ionizzato**, *Ca II K* e *H* (3934Å, 3969Å). Queste righe di emissione indicano di solito la presenza di attività cromosferica.

Il **Litio** è presente solo nelle stelle giovani e scompare nelle fasi evolutive successive. Nello spettro di *MU Lac* si osserva una riga di assorbimento del **Litio** a *6707Å*.



Considerazioni

Le T Tauri sono stelle di pre-sequenza principale con età compresa tra 100 mila a 10 milioni di anni, masse comprese tra 0.2 e 2 masse solari. Si classificano in CTTS (Classical T Tauri Stars) e WTTS (Weak T Tauri Stars). Le prime con forti ed evidenti righe di emissione e le seconde con uno spettro composto da righe di assorbimento, poche righe di emissione e un basso eccesso infrarosso.

Caratteristiche osservate su MU Lac:

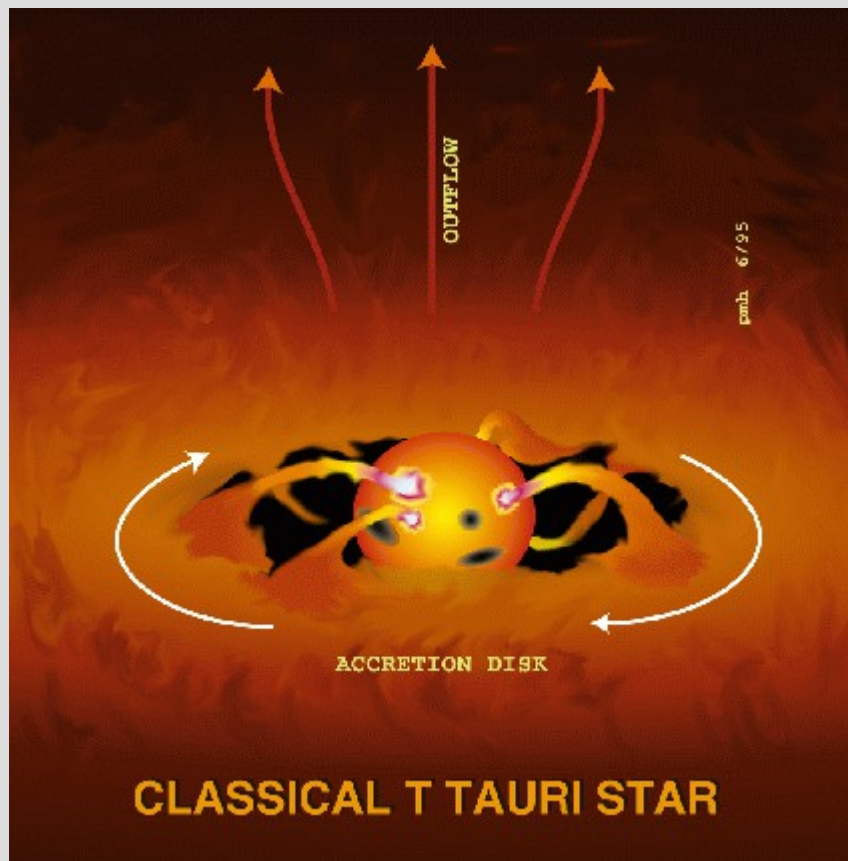
- 1) Si comporta come una variabile di tipo irregolare.*
- 2) Stella di tipo spettrale K.*
- 3) Si trova in prossimità del piano galattico.*
- 4) Mostra un eccesso della distribuzione spettrale di energia nella regione dell'infrarosso, caratteristica tipica dei dischi caldi di polvere e gas intorno alle stelle.*
- 5) Spettro in emissione delle righe della serie di Balmer e delle righe H e K del Calcio ionizzato (Ca II).*
- 6) Mostra una riga di assorbimento del Litio, caratteristica delle stelle giovani in fase di formazione.*
- 7) Ha un valore assoluto di $EW(H\alpha) = 5.0 \text{ \AA}$.*

Le CTTS hanno $EW(H\alpha) > 10 \text{ \AA}$.

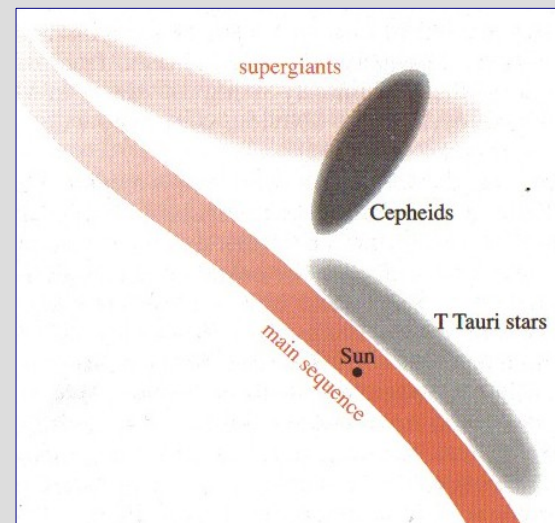
Le WTTS hanno $EW(H\alpha) < 10 \text{ \AA}$.

Ipotesi

Sulla base delle considerazioni precedenti possiamo ipotizzare che *MU Lac* sia una stella di tipo *T Tauri* e più precisamente una *WTTS* (*Weak T Tauri Star*) che ruota lentamente in 4 giorni.



Le *WTTS* si collocano in una fase evolutiva successiva rispetto alle *CTTS* (classiche *T Tauri*) poiché hanno già perso gran parte del loro materiale circumstellare.



Nel diagramma *H-R*, le stelle *T Tauri* si collocano sopra e a destra della sequenza principale.

Prossimi passi

*Sicuramente **MU Lac** è un oggetto interessante e questo rappresenta il primo studio approfondito su questa stella variabile. Per finalizzare il grande lavoro fin'ora svolto occorre:*

- *Preparare un articolo da pubblicare su JAAVSO con i dati fotometrici acquisiti e gli spettri di **MU Lac**, evidenziando le caratteristiche spettroscopiche (righe di emissione della serie di Balmer e del Calcio ionizzato) ed ipotizzando si tratti di una stella variabile di tipo **T Tauri**.*
- *Una volta pubblicato l'articolo si potrebbe proporre all' INAF una sessione osservativa al telescopio TNG (Telescopio Nazionale Galileo da 3.58m) per acquisire degli spettri ad alta risoluzione.*

Domande

