

Concorso Nazionale *Giovani Astronomi al Telescopio Nazionale Galileo* III Edizione

Allegato 2 Modulo di presentazione della proposta

1. Titolo della proposta:

Monitoraggio dei parametri di novae da variabili cataclismiche tramite analisi fotometrica e spettroscopica

2. Caso scientifico:

[selezionare con una X l'area tematica della proposta]

- ☐ Galassie e cosmologia
- ☒ Stelle e popolazioni stellari
- ☐ Pianeti extra-solari
- ☐ Sistema solare

3. Riassunto (massimo 1000 caratteri, spazi inclusi)

In virtù di un'imminente *outburst* della nova ricorrente **T Coronae Borealis**, si propone l'osservazione per l'acquisizione del suo spettro chimico in alta risoluzione. L'analisi dei dati permetterà di calcolare la velocità radiale dei singoli componenti del sistema e l'identificazione e l'abbondanza delle specie chimiche presenti.

Inoltre, si propone l'osservazione del sistema binario **EX Draconis**, finalizzata allo studio della sua composizione chimica e della curva di luce durante l'eclissi. I risultati saranno confrontati con i valori riportati in letteratura per individuare variazioni rispetto alle altre epoche e incrementare le conoscenze dell'evoluzione temporale del sistema.

Le osservazioni saranno eseguite utilizzando strumenti specifici del **Telescopio Nazionale Galileo**: per l'acquisizione di uno spettro ad alta risoluzione per l'analisi chimica si prevede di utilizzare **Harps-N** mentre le misure fotometriche e spettroscopiche a minor risoluzione saranno eseguite con **DOLORES**.

4. Strumenti utilizzati:

[per ogni strumento richiesto, inserire il numero di ore necessarie per portare a termine la proposta; se uno strumento non è necessario, cancellarlo dalla lista]

- DOLORES: 6 ore divise nelle due notti osservative.
- HARPS-N: 4 ore per una notte soltanto.

5. Descrizione della proposta (massimo 10.000 caratteri, spazi inclusi):

La famiglia di stelle variabili è composta da molte tipologie di stelle che variano la loro luminosità in tempi scala differenti a causa dei fenomeni che generano la variazione.

Le **variabili cataclismiche** (CV) sono una sottofamiglia di stelle variabili costituite da un sistema binario [1]. Il modello classico che descrive il sistema è raffigurato in Fig.1: una delle componenti è una nana bianca (WD) la quale aumenta la propria massa tramite trasferimento di materiale proveniente dalla stella compagna, generalmente una stella nana rossa.

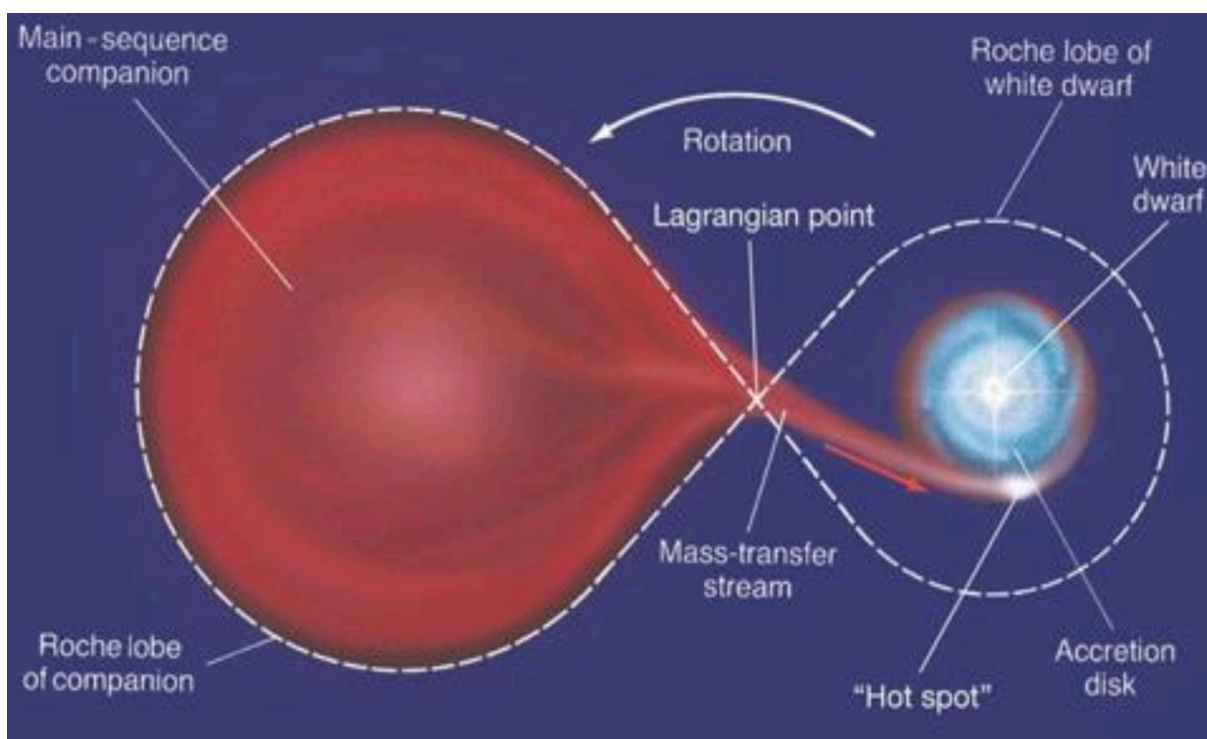


Fig.1: rappresentazione del trasferimento di massa da una stella donatrice (a sinistra) a una WD.

Questo fenomeno avviene principalmente attraverso processi di tipo mareale. Se la WD presenta un campo magnetico poco intenso, il materiale in caduta libera su di essa spiraleggia e forma un **disco di accrescimento** (AD) lungo l'equatore della WD.

Il nome CV deriva dalle eruzioni (outbursts) di materiale che viene espulso dalla stella ricevente. Questo fenomeno può essere innescato attraverso processi termonucleari, in questo caso prende il nome di **Novae**, oppure con il raggiungimento di instabilità nel AD, in questo secondo caso prende il nome di **dwarf novae**.

Con questo progetto vogliamo studiare due sistemi CV attraverso la raccolta di dati fotometrici e spettroscopici per comprendere meglio le componenti che costituiscono

il sistema, le specie chimiche che li compongono, le velocità con le quali questi astri ruotano, i processi fisici che portano alla nova e le variazioni temporali delle loro proprietà attraverso il confronto con i dati di letteratura.

Le sorgenti che intendiamo studiare mediante la strumentazione del **Telescopio Nazionale Galileo** (TNG) sono ***T Coronae Borealis*** (*T CrB*) e ***EX Draconis*** (*EX Dra*).

T CrB dista 916 pc., è un sistema binario simbiotico (SySt) ed è composto da una WD e una stella gigante rossa (RG) di classe M3 III, ha un periodo orbitale di 227.545 ± 0.005 giorni e un'inclinazione pari a $\sim 55^\circ$ [2]. Questa sorgente è molto nota perché è una ***Nova Ricorrente*** (RN): l'eruzione avvenuta nel 1866 è ricordata perché fu la prima nova osservata spettroscopicamente, mentre la seconda eruzione registrata, avvenuta nel 1946, la rese la nova più brillante tra quelle conosciute, raggiungendo un picco di magnitudine pari a 2 [3].

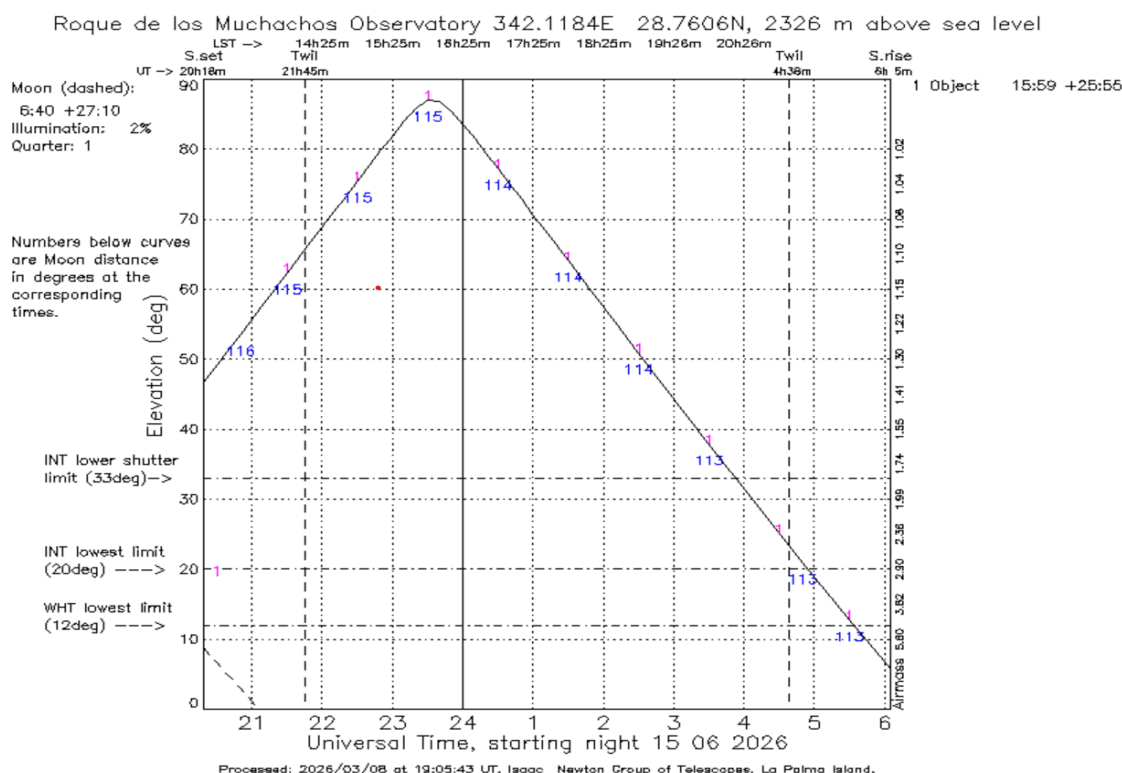
Attorno a maggio 2014, *T CrB* ha iniziato a lasciare la fase di quiescenza incrementando la sua luminosità come conseguenza dell'aumento del flusso di massa attraverso il disco e verso la WD. Come riportato da Munari et al. (2025) [4], questa fase ricorda la fase pre-outburst osservata nel 1946, suggerendo che il sistema stia evolvendo verso una nuova esplosione, coerente con il suo periodo eruttivo di circa 80 anni.

La deflagrazione avviene quando la massa di gas accumulata sulla superficie della WD viene compressa; l'aumento della temperatura innesca così le reazioni termonucleari espellendo una parte di massa verso l'esterno. Inoltre, per *T CrB* è stato stimato che la massa della WD è molto vicina al limite di Chandrasekhar rendendo questo sistema un ottimo candidato a diventare una supernova di tipo Ia.

T CrB ha coordinate (*ra*: 15 59 30.162 ; *dec*: +25 55 12.613) (fonte: Simbad database[5]) e dai grafici inseriti nella Fig.2 si deduce che la sorgente risulta osservabile lungo tutta la notte nelle date 15-16/06 dal cielo di La Palma, culminando allo zenit poco dopo le 23.

Maggiore è l'angolo di elevazione dall'orizzonte e minore è lo strato atmosferico, chiamato massa d'aria, che la luce deve attraversare per giungere nel telescopio. Questo fatto rappresenta un vantaggio per la nostra osservazione poiché l'atmosfera assorbe una certa quantità di flusso prima che esso giunga al nostro strumento.

L'elevata luminosità dell'astro causa una saturazione dei rivelatori della maggior parte degli strumenti, costituiti da dispositivi Charge-Coupled Device (CCD). Questa però è in realtà un vantaggio per effettuare studi ad alta risoluzione spettrale.



Sky tracks, Roque de los Muchachos Observatory 342.1184E 28.7606N, 2326 m above sea level
All times are in UT. Tracks are shown only if above horizon and between sunset and sunrise

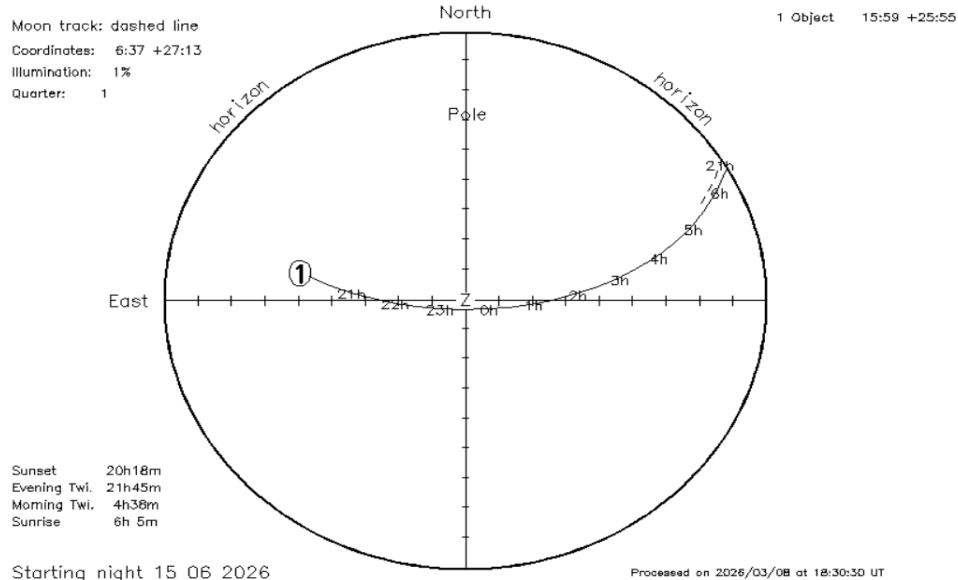


Fig 2: elevazione e posizione di T CrB nella notte del 15/06

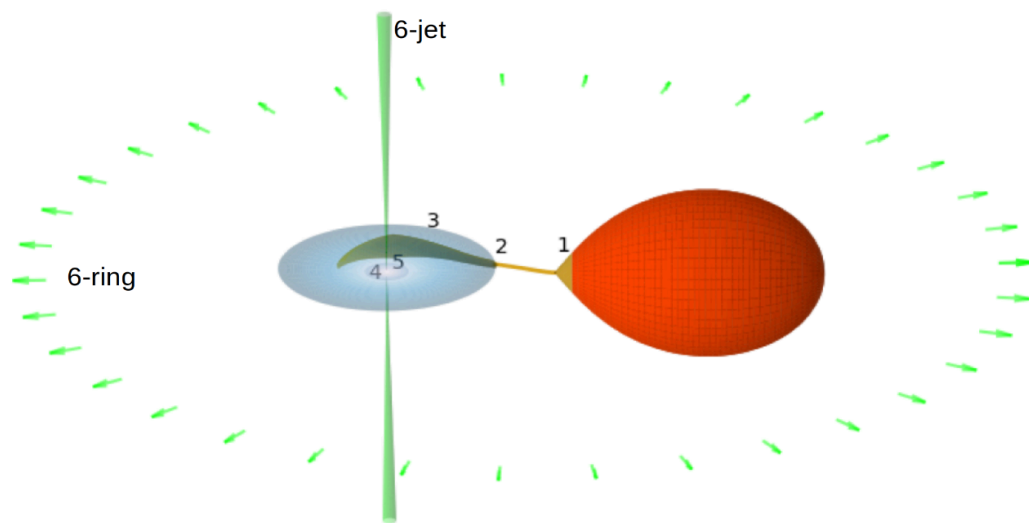
Per questo motivo si è scelto di utilizzare lo strumento **HARPS-N**. Questo strumento permette di coprire un intervallo che va da 383 nm - 690 nm dello spettro con una risoluzione spettrale di $R = 115'000$. Grazie a questa risoluzione molto alta, ci prefiggiamo di raccogliere dati sulla composizione chimica e l'abbondanza di specie del sistema, nonché di calcolare le velocità radiali delle componenti del sistema grazie all'effetto Doppler. Per completare lo spettro si vuole concludere l'osservazione acquisendo dati con **DOLORES**: sebbene la sua risoluzione sia inferiore al primo strumento, esso ci permetterà di spingerci fino a 1000 nm osservando la sorgente nell'infrarosso vicino ed estendendo l'informazione ottenuta

in questa regione.

Dalle osservazioni effettuate con differenti telescopi si osserva uno spettro che spazia dall'ultravioletto all'infrarosso [6]. La parte a bassa energia dello spettro è dominata dalla presenza della stella rossa mentre la parte ad alta energia è dominata dal disco di accrescimento e la WD.

La composizione chimica della gigante rossa è stata trattata da Planquart et al.[7]. Il gruppo di ricerca ha analizzato i dati presi con lo spettrografo HERMES, montato sul telescopio Mercator, situato a La Palma. HERMES ha una risoluzione pari $R=86000$ e scandaglia un intervallo di lunghezza d'onda compreso tra i 380 e 900 nm. In una campagna di raccolta dati durata dal 2011 al 2023, il team ha identificato diversi elementi chimici localizzandoli in differenti punti della sorgente, come mostrato in Fig.3, ed è riuscito a tracciare un grafico delle velocità radiali in funzione del periodo orbitale.

Il nostro lavoro sarà quello di acquisire e analizzare lo spettro individuando gli elementi chimici, calcolando la temperatura delle sorgenti in funzione dell'intensità, e calcolare le velocità radiali delle due stelle. I dati saranno confrontati con i risultati trovati nella letteratura passata alla ricerca di eventuali evoluzioni temporali dello spettro.



n	Interaction site	Lines	T [kK]	t_p [d]
1	Irradiation spot	O I (abs) $\lambda 7772-7775$	[5, 10]	1289
2	Bright spot	He I $\lambda 6678$ O I $\lambda 8446$	>20 ^(a)	481
3	Disk overflow	He I (abs) ($\lambda < 4800$)	[9, 10] ^(b)	—
4	Accretion wind	H I $\lambda 6563$ He I $\lambda 5578$	>20 ^(a)	860
5	Boundary layer	He II $\lambda 4686$ N III $\lambda 4641$	>60 ^(a)	894
6	Nebula (jet or ring ?)	[O III], [Ne III]	[10–50]	210

Fig.4: modellizzazione e raffigurazione di T CrB. I punti numerati in fig. mostrano le diverse componenti del sistema riportate nella tabella. Per ognuno sono riportati gli elementi, la lunghezza d'onda e la temperatura.

EX Dra si trova a una distanza $d \sim 250 \pm 80$ pc, appartiene alla categoria delle DN e gli outbursts si verificano con una ciclicità di ~ 26 giorni. Questo sistema si differenzia dal precedente perché la compagna della WD ($M_1 = 0.75 \pm 0.15 M_\odot$) è una nana rossa di massa $M_2 = 0.54 \pm 0.10 M_\odot$ e il loro periodo orbitale è di 5.04 h [8]. Inoltre il piano orbitale di questo sistema ha un'inclinazione di $\sim 85^\circ$ permettendoci di osservare fenomeni di eclissi tra le due stelle.

In questa classe di CV, l'outburst è generato dal raggiungimento del limite di massa che può ospitare il disco di accrescimento. Quando si raggiunge l'instabilità nel disco, una grande quantità di materiale precipita sulla WD aumentando la magnitudine del sistema. Il disco torna stabile e ricomincia il ciclo fino al successivo outburst.

EX Dra ha coordinate (*ra*: 18 04 14.249; *dec*: +67 54 12.274) (fonte: Simbad database[6]) e dalla figura Fig.5 si può vedere che la sorgente sarà visibile durante tutta la notte del 15-16 giugno a un angolo d'elevazione compreso tra 40 e 50 gradi.

Nella prima notte di osservazione vogliamo acquisire uno spettro, misurare le abbondanze degli elementi che compongono la sorgente, calcolare la temperatura in base all'intensità del flusso e infine calcolare le velocità radiali degli elementi che compongono il disco.

Dal lavoro di Joergens et al. (1999)[9], nel periodo di quiescenza, sono state osservate principalmente le righe della serie di Balmer H_β , H_γ , H_δ , H_ϵ , nonché le righe $He I$ e $Ca I$.

Durante la prima notte si intende acquisire lo spettro della sorgente utilizzando HARPS-N in alta risoluzione e DOLORES fino a 1000 nm, analogamente a come previsto per T CrB.

Durante la seconda notte si vuole osservare la sorgente con DOLORES in modalità *imaging* per una durata di 5h, pari al periodo orbitale del sistema. In questo modo si vuole studiare un intero periodo orbitale in fotometria e studiare l'eclissi attraverso lo studio della curva di luce. Il lavoro descritto da Wei Liu et al.[10] ha evidenziato la presenza di *negative superhumps* nella curva di luce e gli autori suggeriscono che il AD sia inclinato rispetto al piano orbitale del sistema ed in precessione. Questo fenomeno comporta variazioni nella periodicità della curva di luce nel tempo.

Lo scopo di questo lavoro è confrontare la curva di luce da noi ottenuta con i risultati presenti in letteratura, inserendola nel contesto delle osservazioni precedenti. In particolare, intendiamo verificare la coerenza dei nostri dati con il fenomeno dei *negative superhumps* e contribuire con ulteriori informazioni osservative sul sistema EX Dra.

LST →
 S.set 20h18m
 Twil 21h45m
 4h25m 15h25m 18h25m 17h25m 18h25m 19h25m 20h25m
 Twil 4h36m
 S.rise 6h 5m
 UT → 21 22 23 24 1 2 3 4 5 6

Moon (dashed):
 6:40 +27:10
 Illumination: 2%
 Quarter: 1

Numbers below curves
 are Moon distance
 in degrees at the
 corresponding
 times.

Elevation (deg)
 INT lower shutter
 limit (33deg) →
 INT lowest limit
 (20deg) ---->
 WHT lowest limit
 (12deg) ---->

1 Object 18: 4 +67:54

Processed: 2026/03/08 at 19:08:25 UT. Isaac Newton Group of Telescopes, La Palma Island.

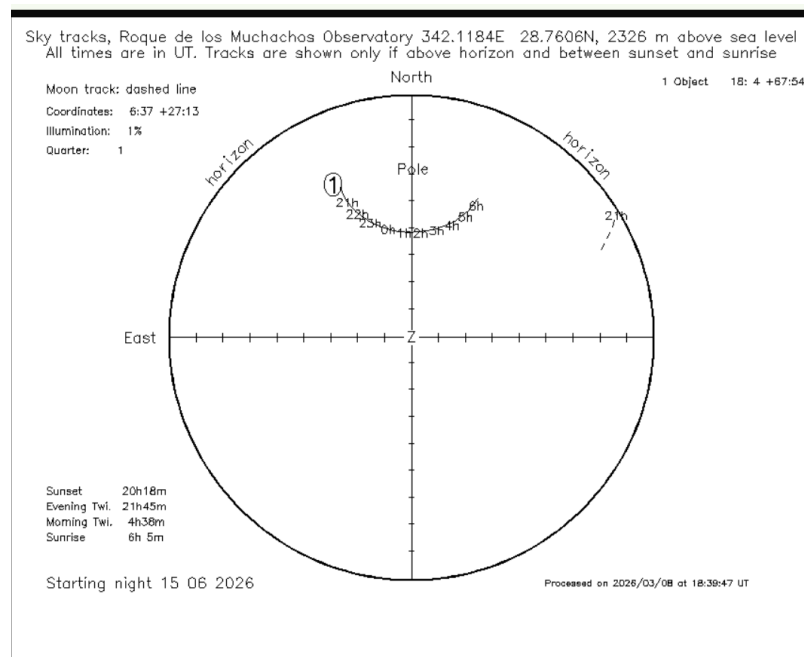


Fig.5: le figure evidenziano la posizione e l'elevazione di Ex Dra durante tutto l'arco del 15/06

Bibliografia:

- [1] Smith, Robert Cannon. *Contemporary physics* 47.6 (2006): 363-386.
- [2] Pei, Songpeng, et al. *Astronomy & Astrophysics* 706 (2026): A94
- [3] Hinkle, Kenneth H., et al. *The Astrophysical Journal* 983.1 (2025): 76.
- [4] Munari, U., et al. *Astronomy & Astrophysics* 701 (2025): A176.
- [5] Gaia Collaboration. *Originally published in: 2021A&A. A 649* (2020).
- [6] Lima, Isabel de Jesus, et al. *Astronomy & Astrophysics* 689 (2024): A86.
- [7] Planquart, Léa, Alain Jorissen, and Hans Van Winckel. *Astronomy & Astrophysics* 694 (2025): A85
- [8] Baptista, R., M. S. Catalán, and L. Costa. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 316.3 (2000): 529-539.
- [9] Joergens, Viki, et al. *Astronomy and Astrophysics* 354.2 (2000): 579-588.
- [10] Liu, Wei, et al. *The Astrophysical Journal* 974.1 (2024): 130.

6. Periodo ottimale per l'osservazione (massimo 800 caratteri, spazi inclusi):

Prima scelta:

- Intervallo date: 15-16 giugno
- Fase lunare: luna nuova

Seconda scelta:

- Intervallo date: 8-9 giugno
- Fase lunare: luna calante ultimo quarto

Note: Dato che le sorgenti sono molto luminose abbiamo studiato che la Luna non va a influire sull'osservazione delle sorgenti

7. Lista dei target e tempi di esposizione

Nome	α	δ	Epoca	Magnitudine	Tempo di esposizione	Setup strumentale (filtro, grism, ecc)	Note
T CrB	15 59 30.162	+25 55 12.613	J2000	B = 11.52 V = 10.24 R = 9.70	2x30 min	Harps-N DOLORES (LR-R, optional)	Misure di spettroscopia
EX-Dra	18 04 14.249	+67 54 12.274	J2000	B = 14.78 V = 14.48 R = 14.49	6x 30 min	Harps-N DOLORES (LR-R, optional)	Misure spettroscopiche
EX-Dra	18 04 14.249	+67 54 12.274	J2000	B = 14.78 V = 14.48 R = 14.49	12 cicli x 5min a ciclo x 5 volte	DOLORES (U-G-R-I)	Misure fotometriche

8. Strategia osservativa e calcolo dei tempi di esposizione

Per ottimizzare l'utilizzo del tempo osservativo disponibile, la raccolta dei dati è stata organizzata separando le osservazioni spettroscopiche da quelle fotometriche in due notti distinte.

La notte del 15/06 sarà dedicata all'analisi spettroscopica di entrambe le sorgenti, impiegando gli strumenti HARPS-N e DOLORES. I tempi di esposizione sono stati stimati mediante i simulatori specifici dei due strumenti. Al fine di coprire un ampio intervallo spettrale, HARPS-N verrà utilizzato per osservazioni nel range 380-690 nm, mentre DOLORES verrà impiegato per estendere la copertura spettrale fino ai 1000 nm.

Per la sorgente T CrB sono previste due esposizioni da 30 minuti con HARPS-N, che risultano sufficienti per ottenere un rapporto segnale-rumore adeguato, come indicato dalle simulazioni riportate nelle figure di riferimento.

Nel caso di EX Draconis è invece necessario ampliare la finestra osservativa: sono pertanto previste sei esposizioni da 30 minuti con HARPS-N (Fig. 9-10). La copertura spettrale alle lunghezze d'onda maggiori verrà completata con osservazioni effettuate con DOLORES. Le esposizioni con quest'ultimo strumento saranno più brevi (20 s) poiché l'elevata luminosità apparente della sorgente comporta un rapido raggiungimento del livello di saturazione del rivelatore.

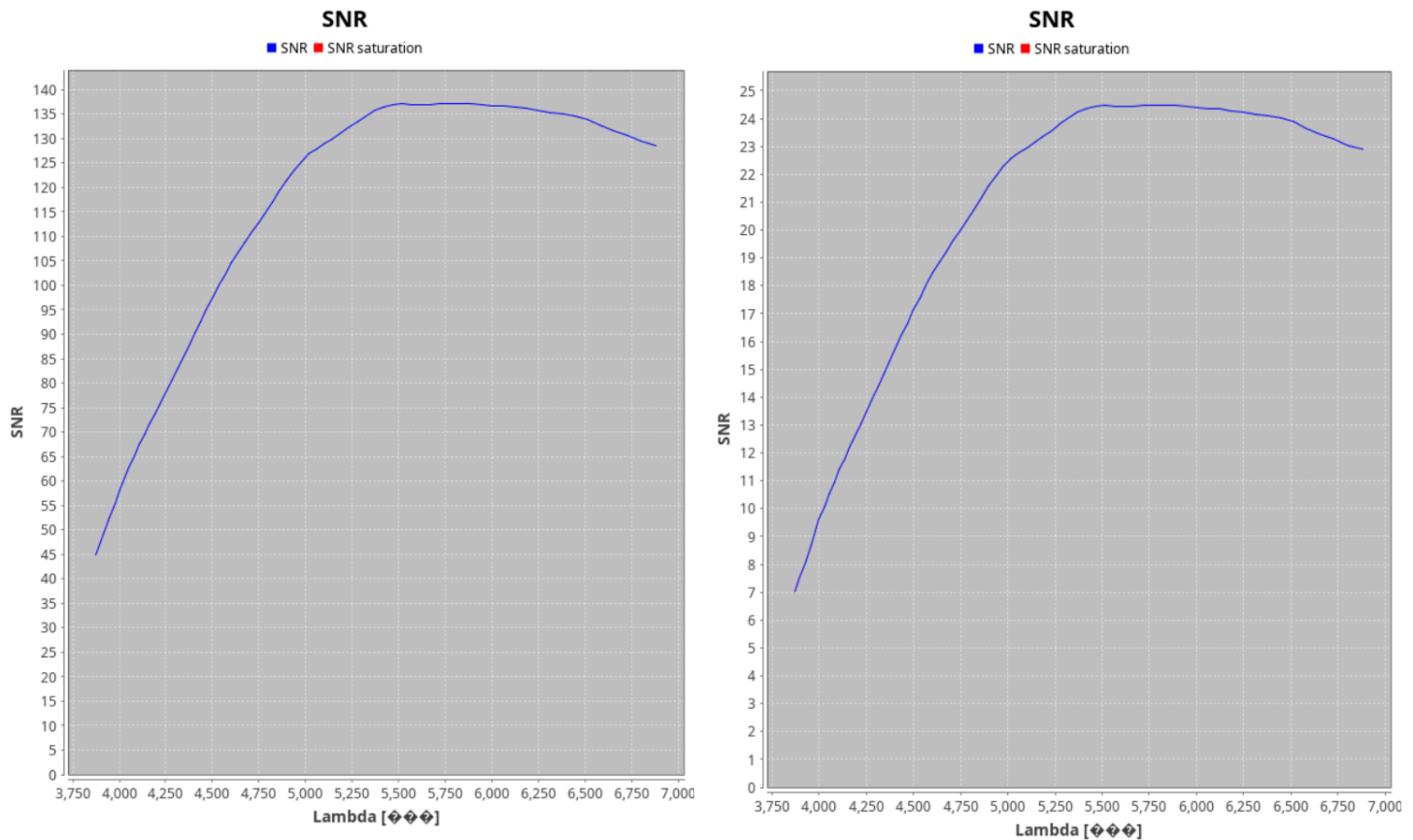


Fig.9: a sinistra è riportato il rapporto segnale rumore osservando T CrB per 3600 s, airmass =1.3 e magnitudine 9.49. A destra è riportato il rapporto segnale rumore osservando Ex Draconis per 10800 s, airmass = 1.3 e magnitudine 14.49. Il calcolo è stato eseguito utilizzando il calcolatore del tempo di esposizione di HARPS-N.

La seconda notte osservativa sarà dedicata esclusivamente a misure fotometriche della sorgente EX Draconis mediante DOLORES. L'obiettivo è monitorare la variazione di luminosità durante la fase di eclisse, ottenendo una curva di luce multi-banda. Le osservazioni verranno effettuate utilizzando quattro filtri fotometrici: U, G, R e I. La finestra temporale è stata calcolata utilizzando il calcolatore di tempo di esposizione per fotometria e spettroscopia ed è riportata nella Fig.10 nella pagina successiva.

Calcolatore del tempo di esposizione per l'imaging

Risultati

INGRESSO

STRUMENTO	LRS
BANDA	B
GRANDEZZA APPARENTE	14.775 mag
TIPO DI FONTE	Punto
CESTINO	1 x 1
TEMPO DI ESPOSIZIONE	20 secondi
FWHM	1,0 secondi d'arco
MASSA D'ARIA	1.3
MAGNITUDINE DEL CIELO	22,67 mag/arcosec ²

PRODUZIONE

ELETTRONI RILEVATI DALL'OGGETTO	812459.52
ELETTRONI/PIXEL RILEVATI DAL CIELO	57,75
RAPPORTO SEGNALE/RUMORE SULL'AREA PSF	898.18
PIXEL CENTRALE SEGNALE-RUMORE	223.04
PIXEL SULL'AREA PSF	41.54

Fig 10: tempo di esposizione dello strumento DOLORES per lo studio fotometrico di EX Dra**9.Elaborazione e interpretazione dei dati osservativi**

Durante le osservazioni, verranno acquisiti i dati necessari per la calibrazione delle immagini e degli spettri: dark e flat-field per la rimozione delle correnti di buio e dei pattern elettronici e per omogeneizzare la risposta dei pixel del rivelatore, spettri di lampade con elementi noti per la calibrazione in lunghezza d'onda degli spettri e campi di standard fotometriche (per l'imaging) e spettri di stelle standard spettrofotometriche e standard telluriche (per la spettroscopia). L'analisi dei dati, sia per la calibrazione dei dati grezzi che per la successiva interpretazione, verrà eseguita con i diversi strumenti software esistenti in rete per questo tipo di studi, in primis una serie di pacchetti scritti in Python (e.g.: astropy, photutils, easyspec e pacchetti simili) e/o con il package IRAF di lunga tradizione e affidabilità anche se un po' obsoleto per certi versi.

Una volta estratte le informazioni necessarie sulla curva di luce, eclissi periodo etc per Ex Dra si analizzeranno i risultati con software appropriati per lo studio dei fenomeni periodici, anch'essi disponibili come pacchetti Python oppure come programmi indipendenti *standalone* (e.g. Lomb-Scargle periodograms), mentre l'analisi degli spettri in alta e media risoluzione verrà condotta sia con gli appositi strumenti software disponibili in IRAF, sia con gli equivalenti pacchetti python, utilizzando, per l'analisi chimica, dati di letteratura e programmi liberamente disponibili in rete per la misura delle larghezze equivalenti e il confronto con modelli

di atmosfera.

Qualora, al momento delle osservazioni, ci si trovasse in una fase di outburst, la strategia di osservazione, e di conseguenza il piano di analisi e interpretazione dei dati, verranno modificati adeguatamente considerando la molto maggior luminosità degli oggetti, in particolare per quanto riguarda T CrB.

Per l'apprendimento nell'uso di questi strumenti saremo assistiti dal tutor assegnato, che ha già fornito la sua disponibilità in materia.

10. Informazioni sui proponenti

Scuola: Liceo Scientifico G. Galilei

Codice meccanografico: SIPS03000E

Dirigente Scolastico: Alfredo Stefanelli

Docente di riferimento: Lorenzo Bellizzi

Indirizzo e-mail del docente di riferimento: lorenzo.bellizzi@gmail.com

Partecipante 1: Pietro Benvenuti, 4D

Partecipante 2 Filippo Fantuzzi, 4C

Partecipante 3: Maria Gabriella, 4B

Partecipante 4: Marco Minosi, 4E

Partecipante 5: Matteo Nencini, 4D

Il mancato rispetto del formato comporterà l'esclusione dal concorso.