

Fotometria del Sistema binario over contact W UMa

RAFFAELE CAMPANILE

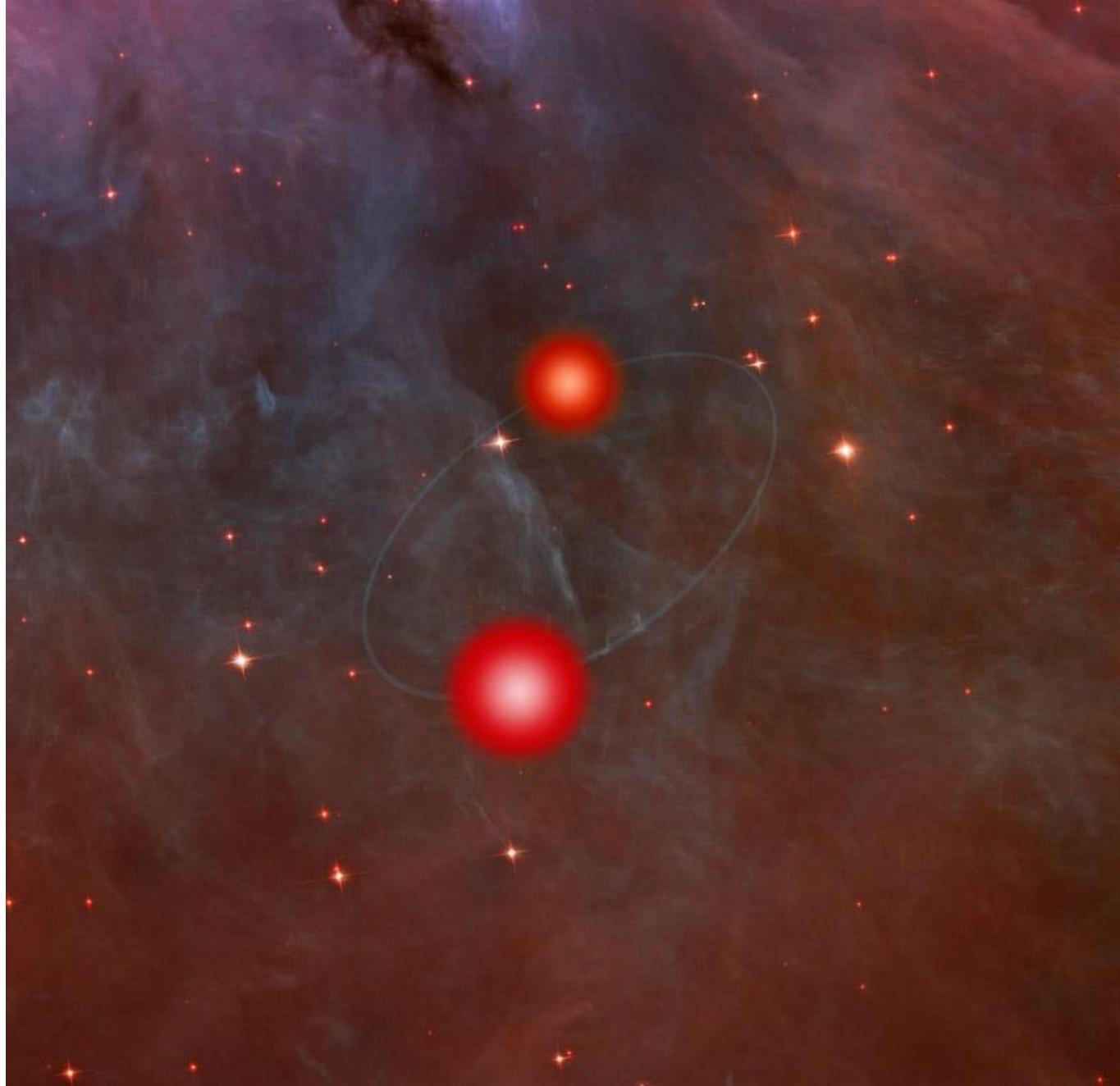
FEDERICO LUONGO

GIANMARCO SASSO

Sistemi Binari

Un **sistema binario** in astronomia indica un sistema di due oggetti legati dalla reciproca attrazione gravitazionale che orbitano attorno ad un centro di massa comune.

Sono di cruciale importanza perché **l'analisi delle orbite** permettere di misurarne parametri altrimenti molto difficili da stimare (massa, temperature, densità).



Modello di Roche

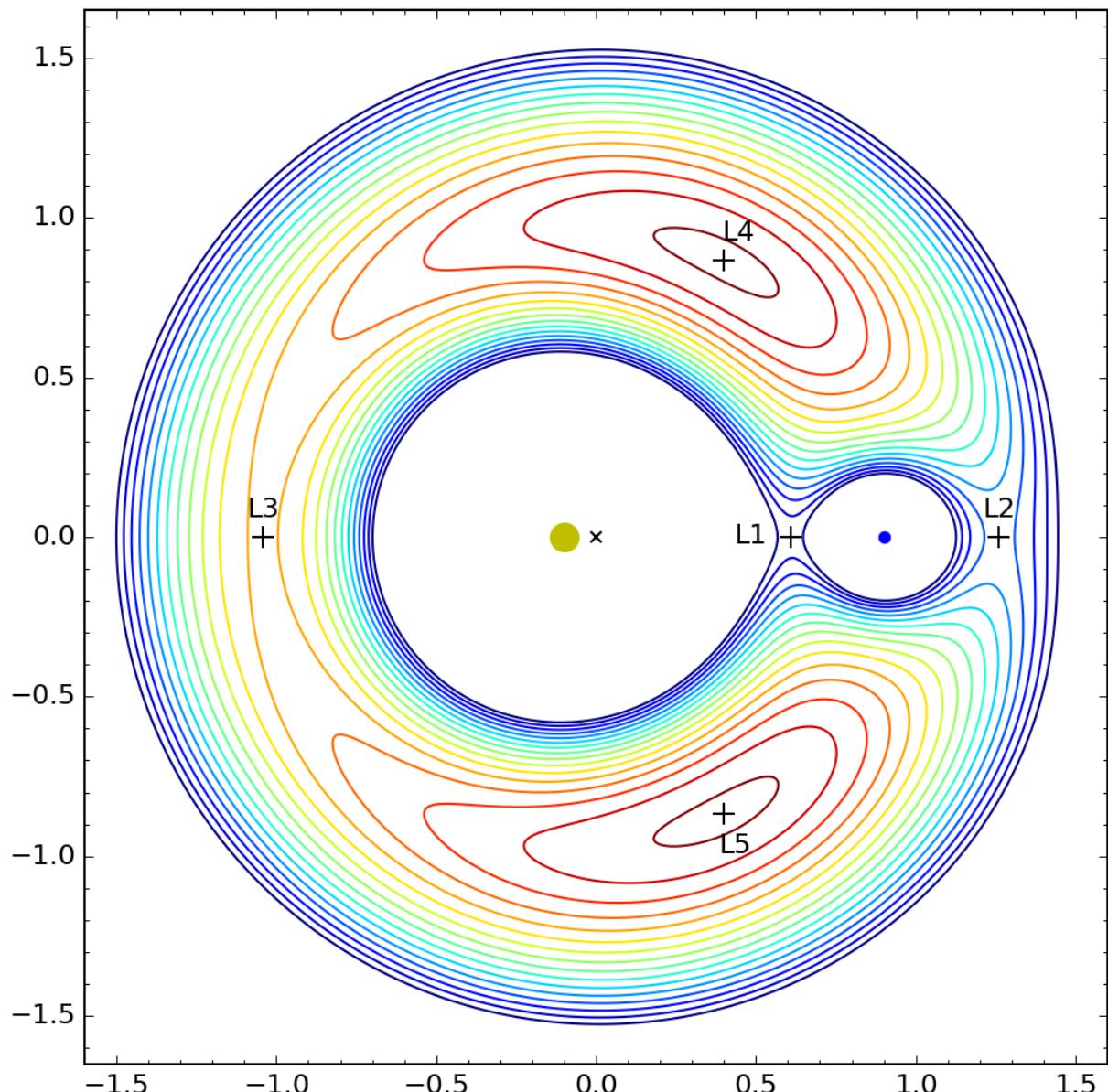
Stelle considerate **puntiformi**

Nel sistema del Centro di Massa, **il potenziale** cui è soggetto un terzo corpo vale

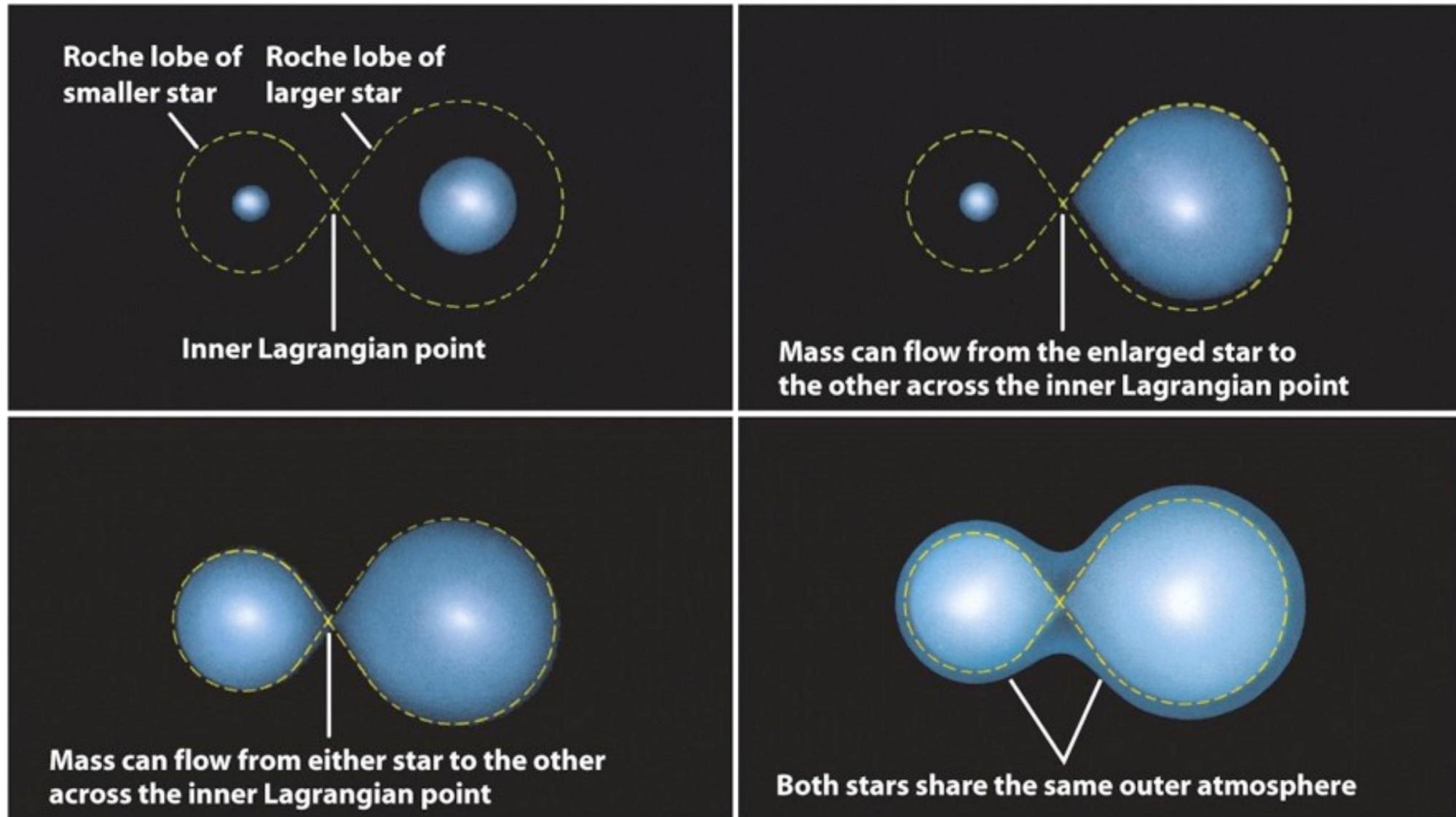
$$\Phi(x, y, z) = -G \left(\frac{m_1}{r_1} + \frac{m_2}{r_2} \right) - \frac{1}{2} \omega^2 \left[\left(x - \frac{m_2}{m_1 + m_2} \right)^2 + y^2 \right]$$

Punti di Lagrange: $\nabla \Phi(x, y, z) = 0$

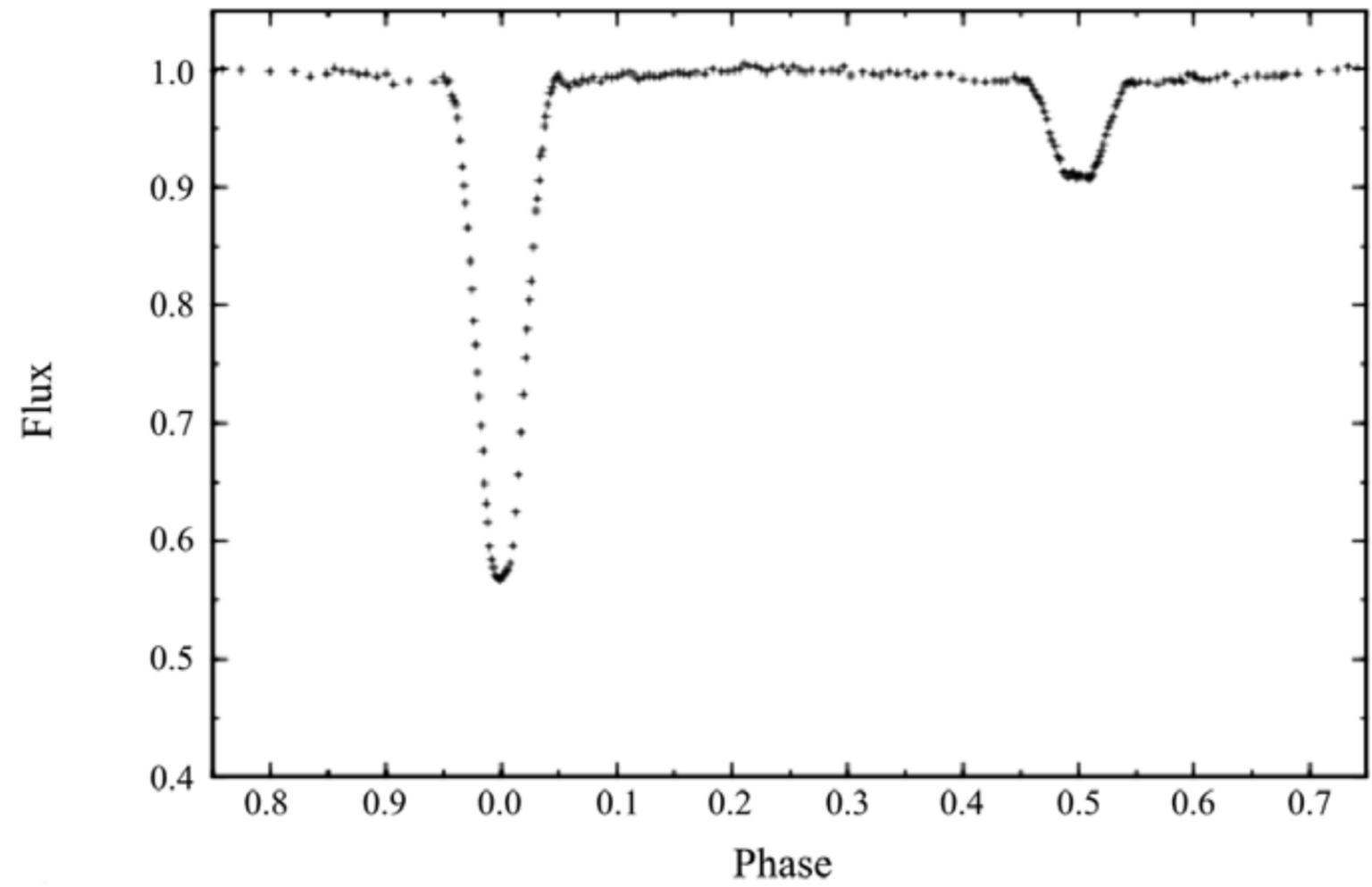
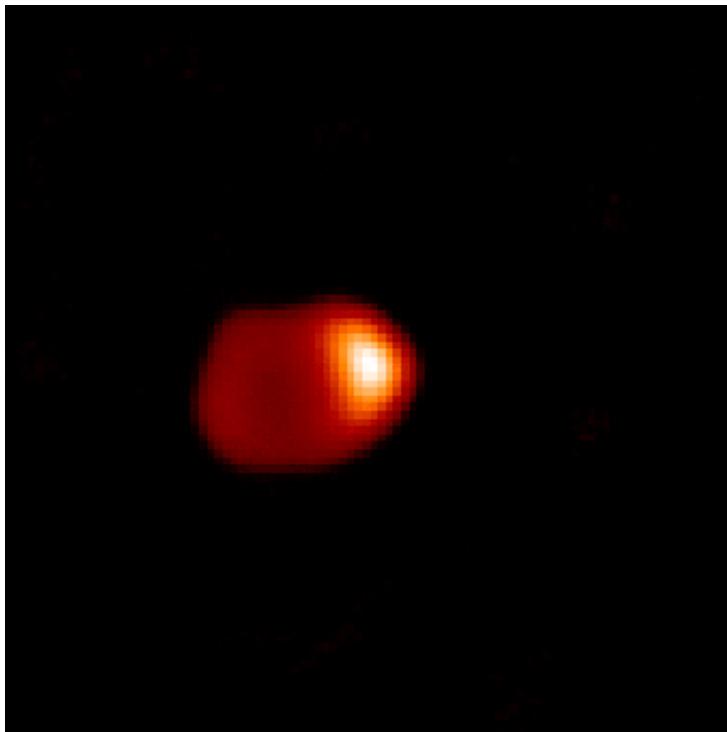
La più interna curva di livello chiusa intorno alle due componenti del sistema passa per il punto L1 e forma i due **lobi di Roche**.



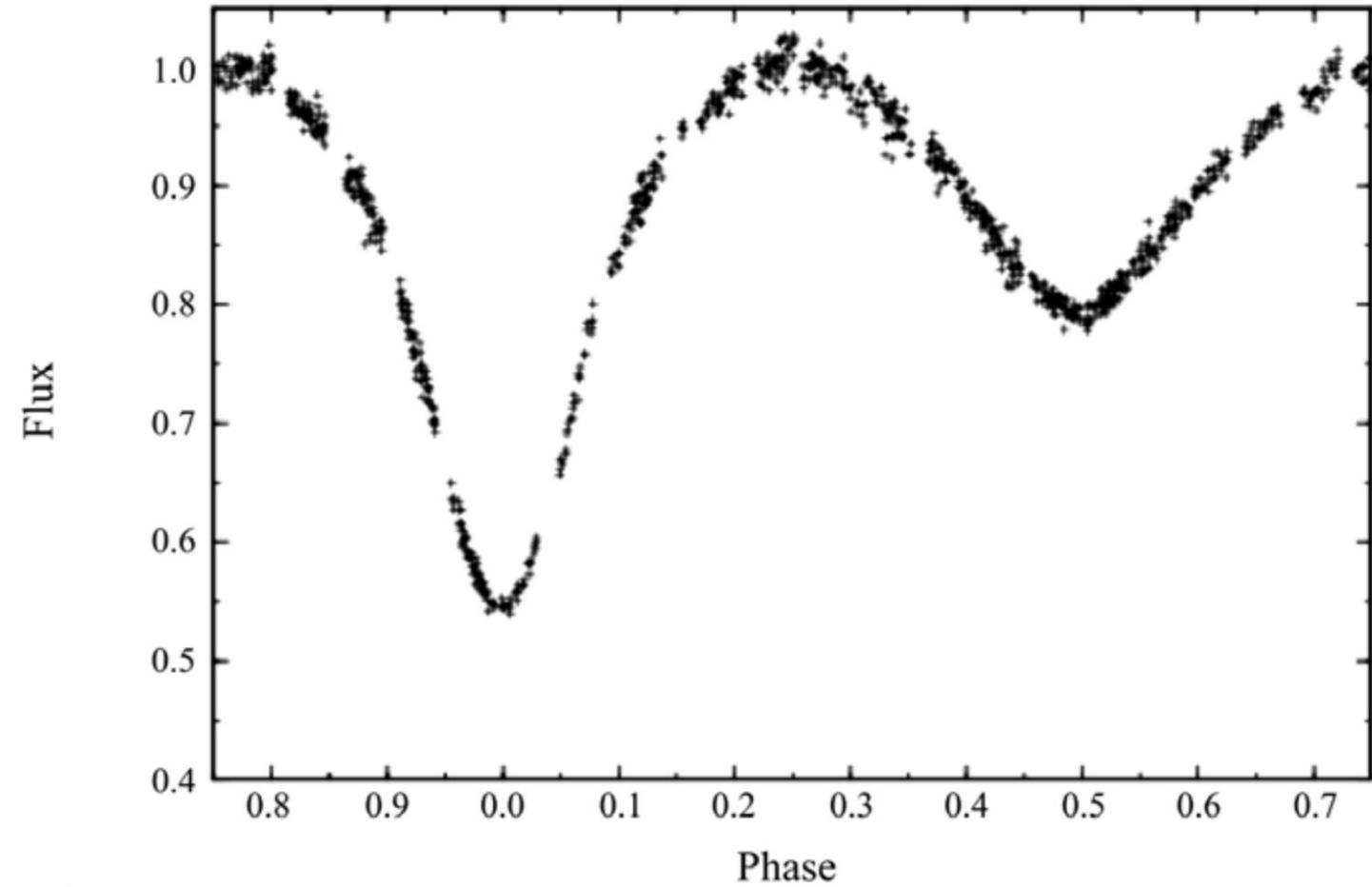
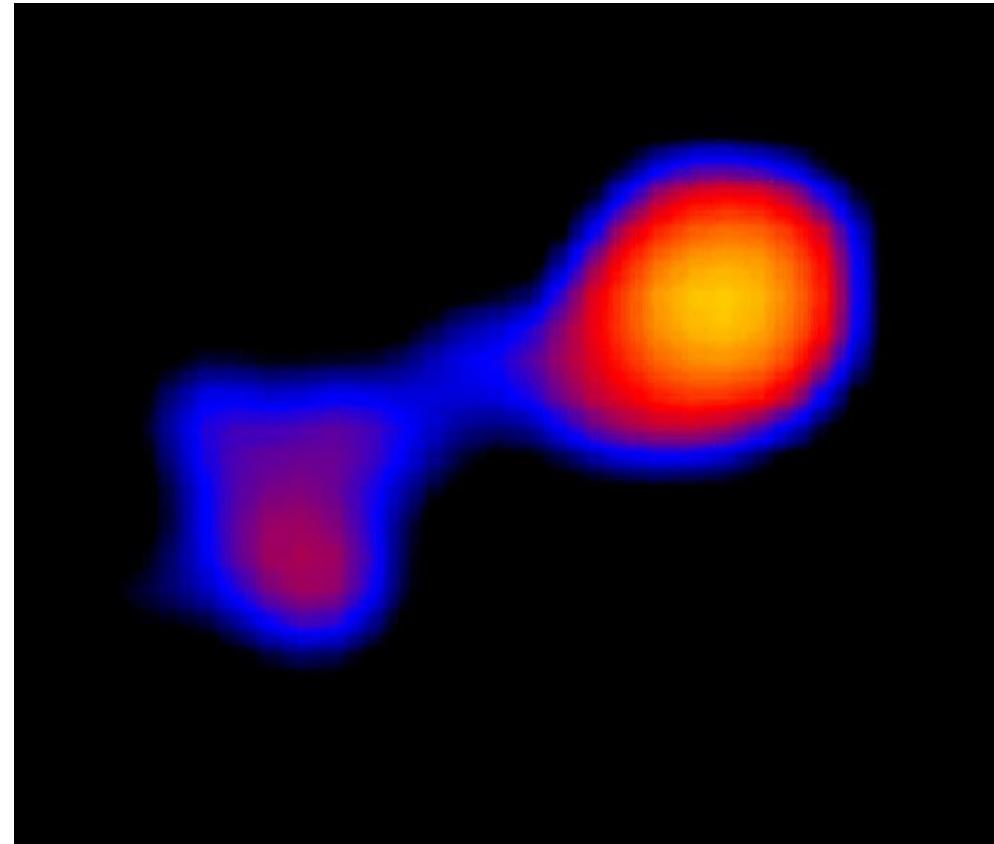
Classificazione



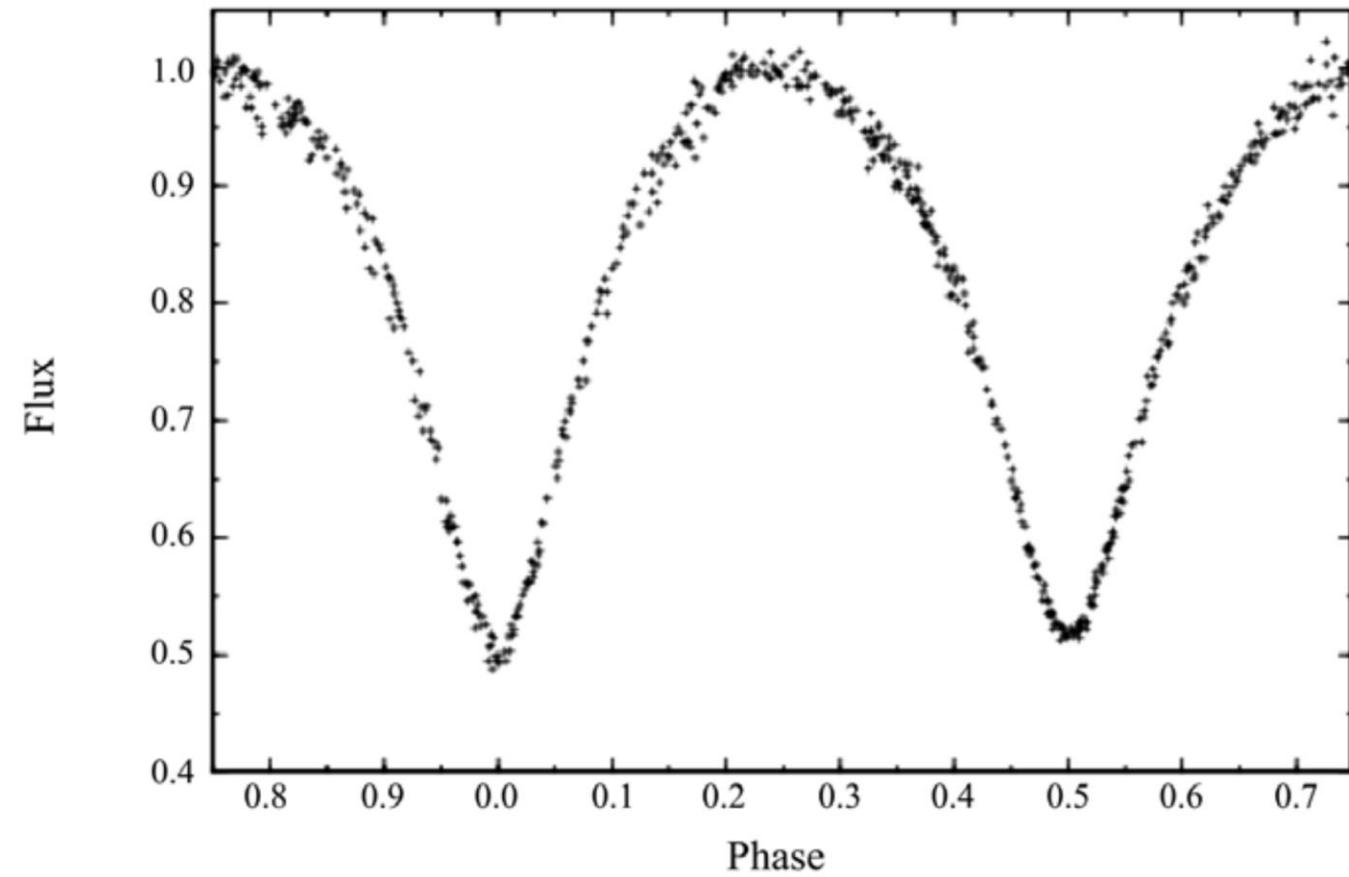
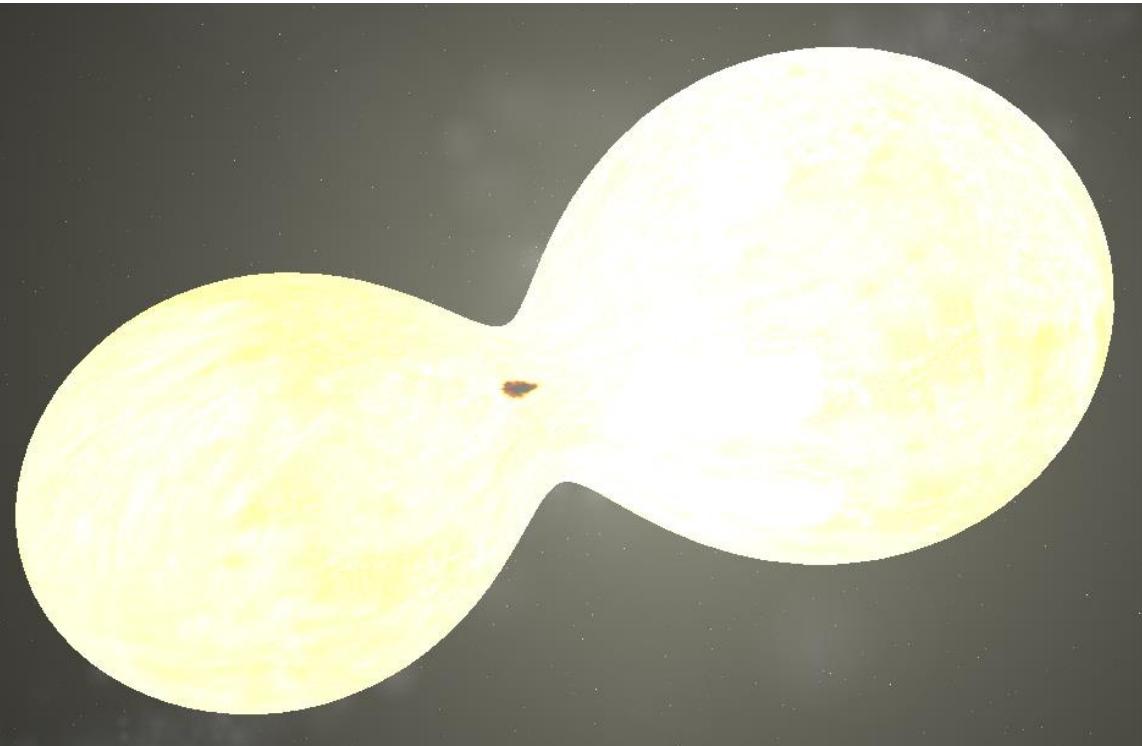
Sistemi detached: Algol



Sistemi semi-detached: Beta Lyrae

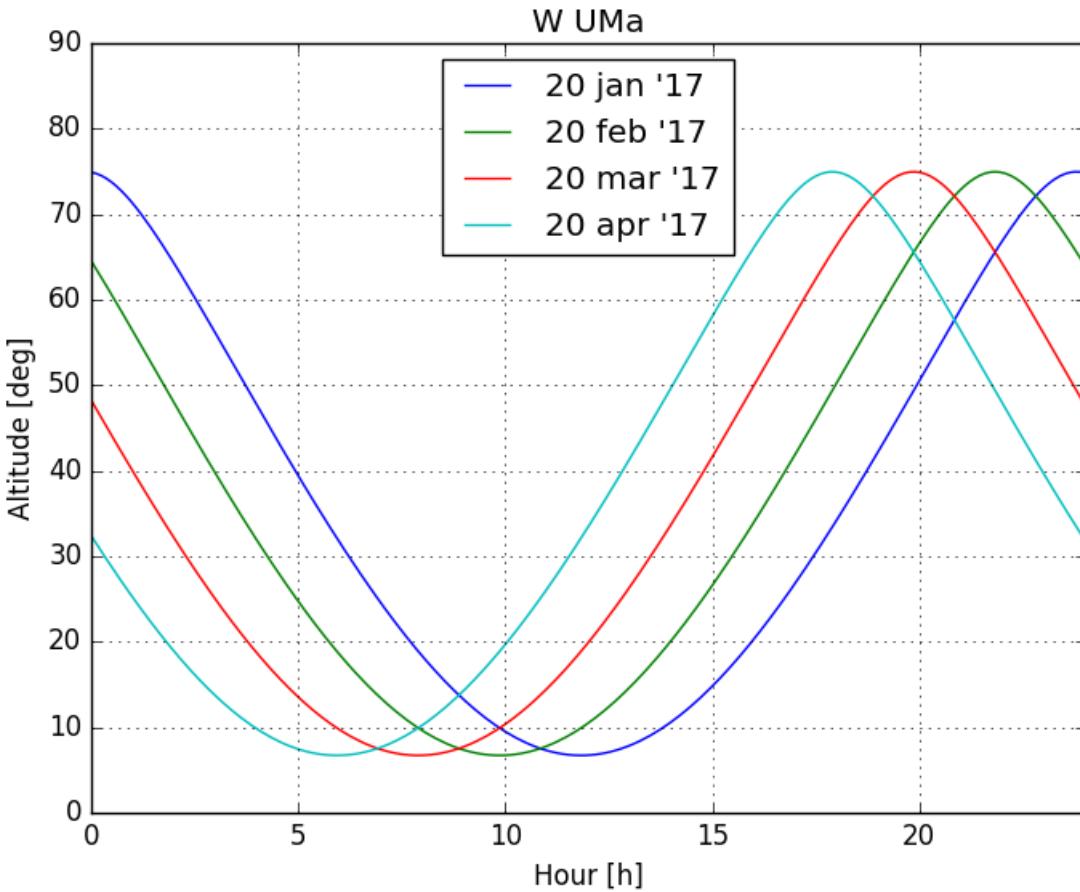


Sistemi over contact: W UMa

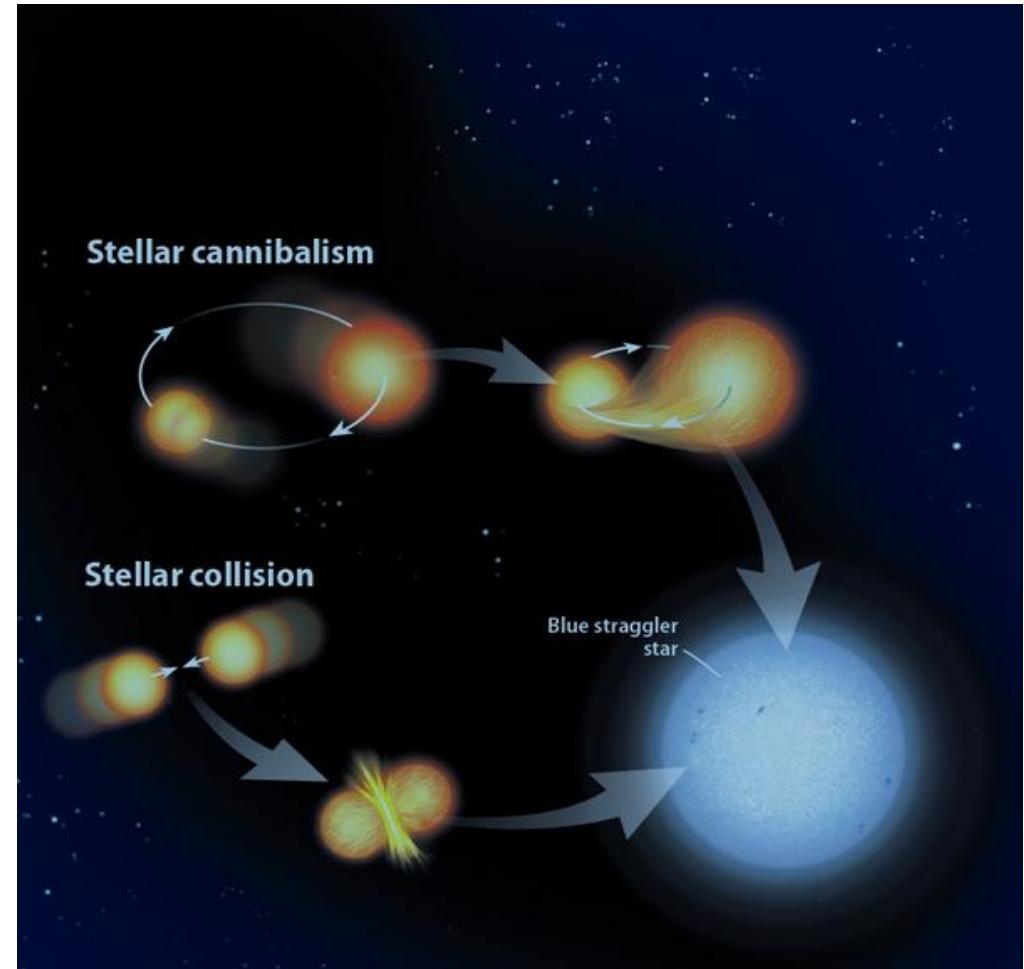


Perché W UMa?

Osservabilità



Mass transfer e importanza storica

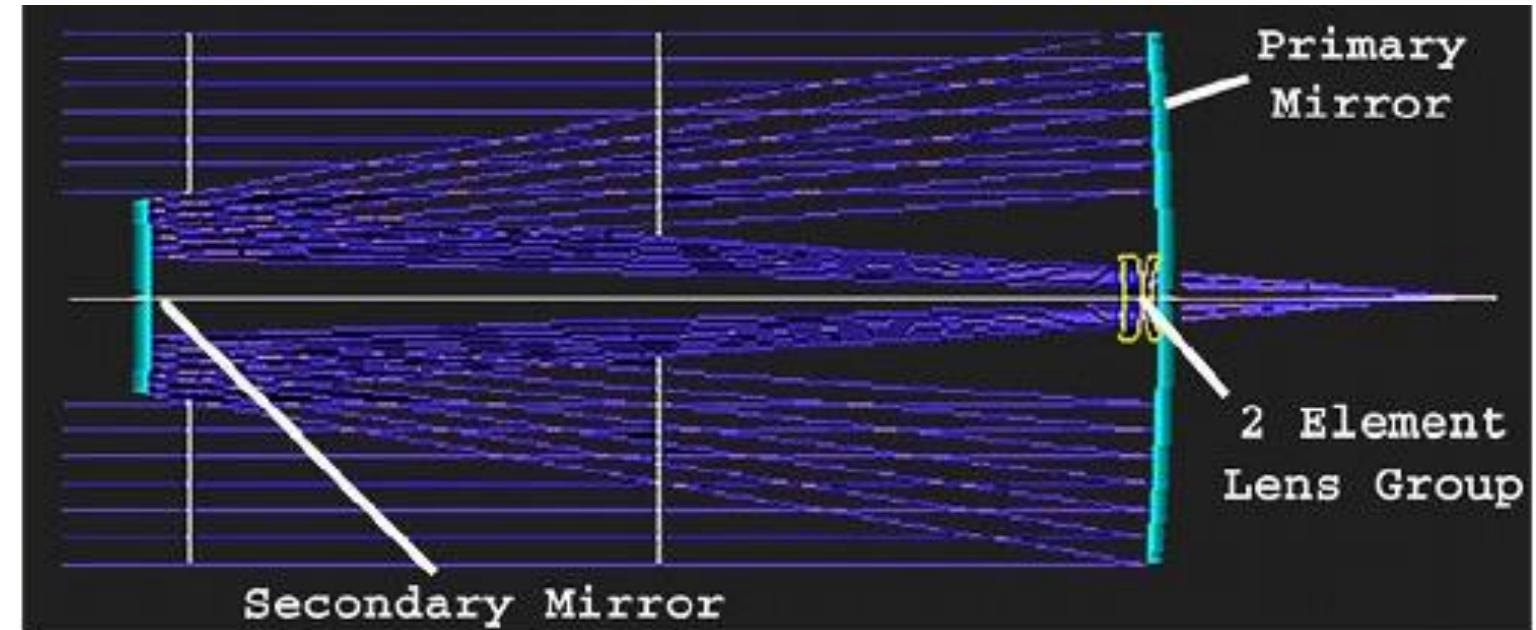


L'apparato sperimentale

Telescopio PlaneWave CDK 20
della Baader Planetarium su
una **montatura** GM 4000

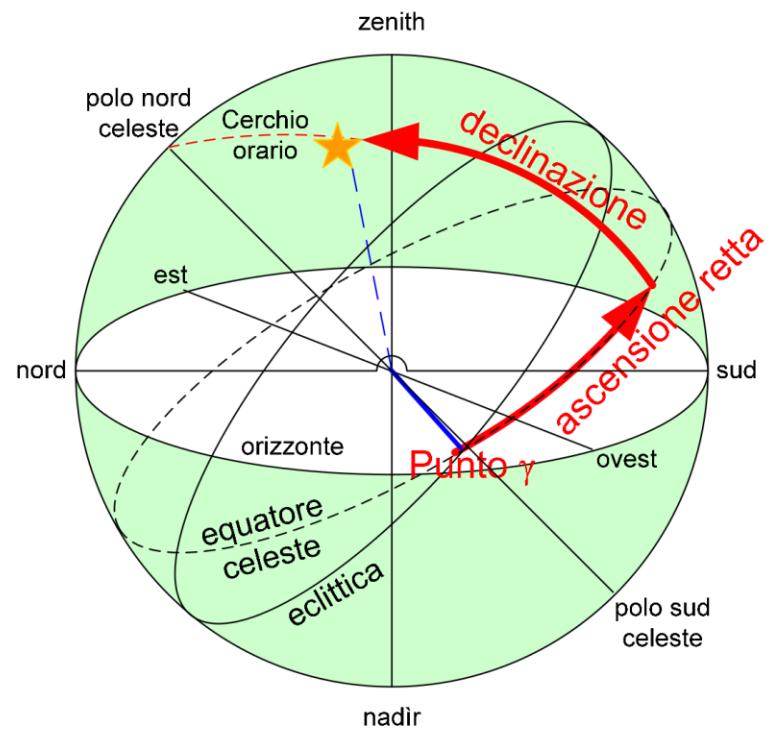
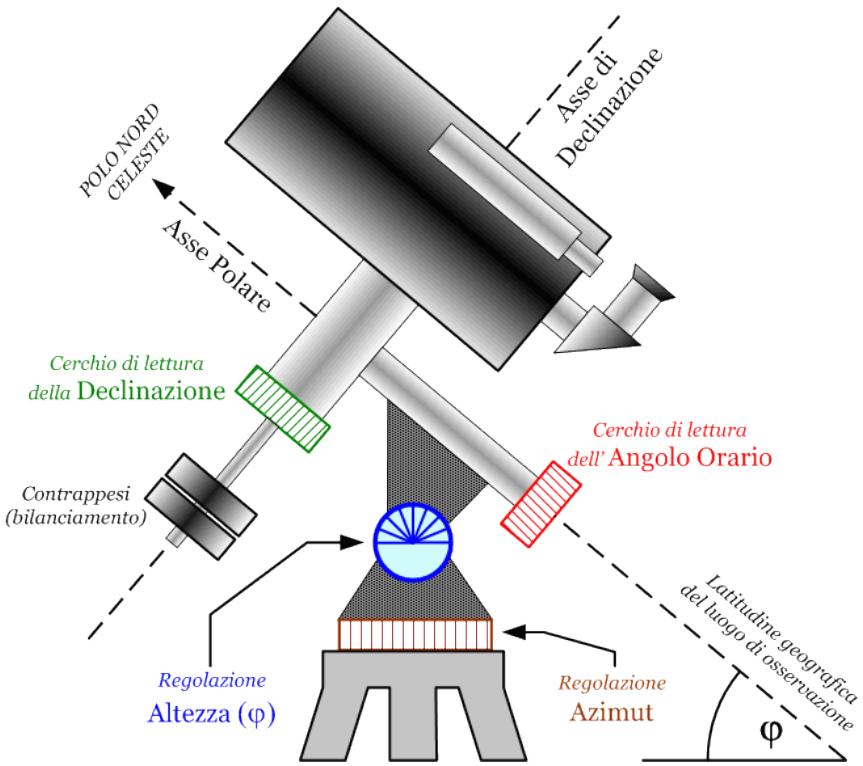
Camera Atik 11000, munita di un **sensore CCD**
KAI-11002 momocromatico da $37.25 \times 25.79\text{mm}$





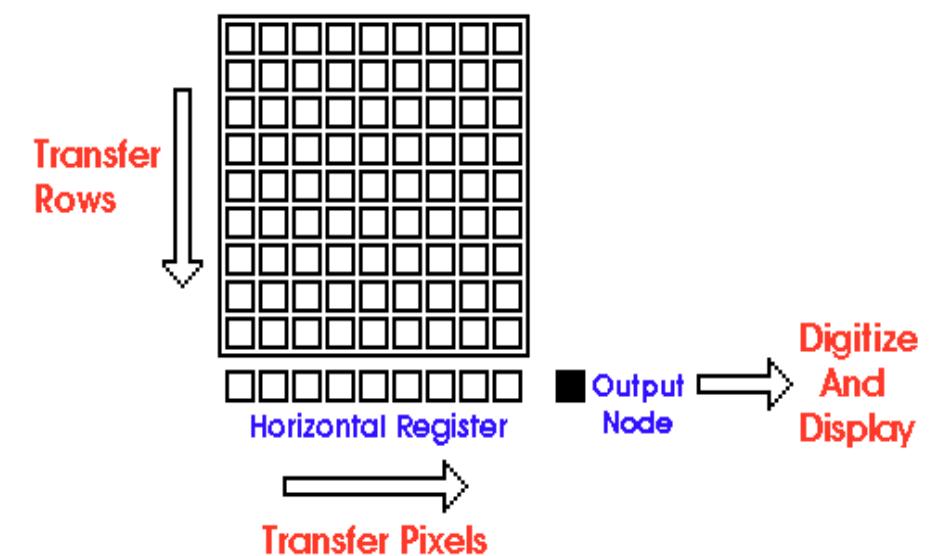
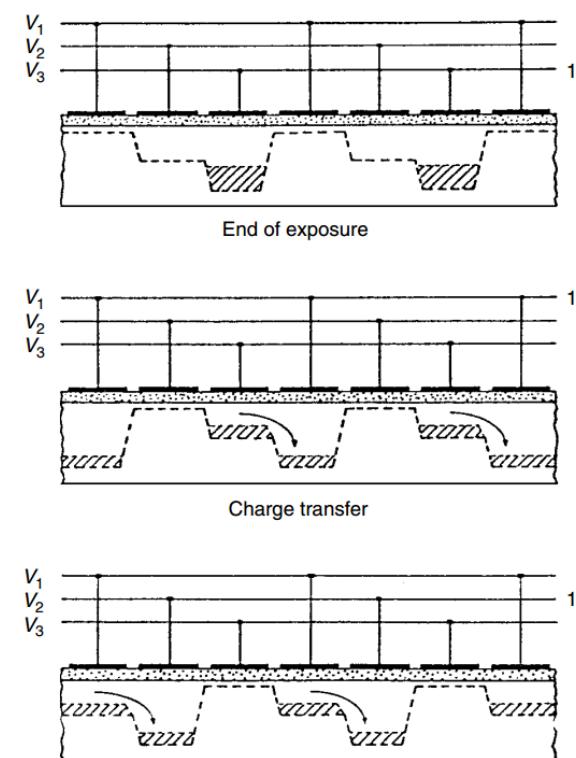
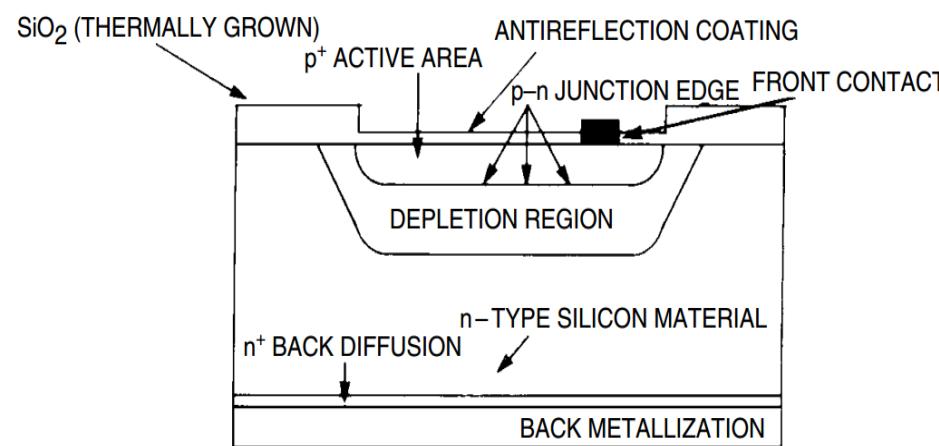
Sistema di lenti

- Configurazione Cassegrain-Schmidt
- Primario parabolico
- Secondario iperbolico



Montatura

Charged Coupled Device (CCD)



Diverse sono le fonti di rumore in un sensore CCD

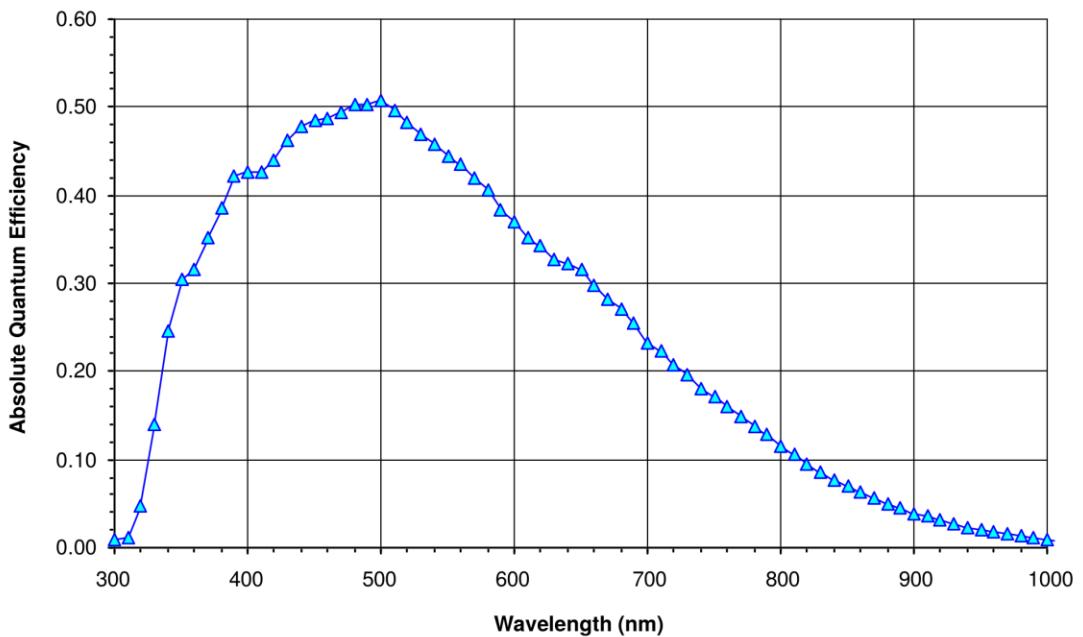
L'errore di **Read-out** è legato principalmente a due fattori:

- Non sempre ad ugual numero di cariche corrisponde ugual numero di conteggi nella conversione A/D
- L'elettronica introduce cariche spurie, nel nostro caso 13 e/px.

Diffusione di carica: è il rumore generato dalla probabilità non nulla da parte delle cariche di diffondere nelle buche vicine.

La **Dark-current** è rappresentativa delle cariche generate per agitazione termica. Generalmente è trascurabile nei moderni sensori

L' **Efficienza quantica** determina la capacità da parte del silicio di assorbire fotoni e produrre cariche nella zona di svuotamento. È funzione della lunghezza d'onda.



Equazione del CCD

Il rapporto **segnale rumore** è descritto dalla seguente relazione che, vista la sua importanza, è detta **equazione del CCD**:

$$\frac{S}{N} = \frac{N_s}{\sqrt{N_s + n_{px}(N_{bg} + N_D + N_R^2)}}$$

Possiamo leggere l'equazione come somma in quadratura di errori associati a distribuzioni di Poisson, eccezion fatta per l'errore di read-out.

Atik 11000

• Sensore	KAI 11002
• Risoluzione	4007x2671
• Pixel Size (μm)	9x9
• Read Out Noise	$13e^-$
• Gain Factor	$0.92 e^-/\text{ADU}$
• Saturazione	$\sim 65000 \text{ ADU}$
• Dark Current ($-20^\circ C$)	$\sim 0.03 e^-/\text{s}$





Riduzione immagini

Riduzione dati

Le immagini acquisite con una CCD non possono essere utilizzate direttamente per misure scientifiche data la presenza di diverse componenti di rumore (perlopiù elettronico).

La **riduzione dati** è il processo attraverso cui i dati sono normalizzati e le immagini raw sono ripulite dalle diverse componenti di rumore.

IMMAGINI DI BIAS

Correggono lo shift del potenziale nelle buche e l'errore di read out.

Ottenute a tempo di esposizione nullo o, meglio, per numero di fotoelettroni collezionati nullo.

IMMAGINI DI DARK

Utili per stimare la dark current, elettroni generati dall'agitazione termica del silicio.

Ottenute , con otturatore chiuso, a tempo di esposizione e temperatura di lavoro della CCD pari a quelle delle presa dati.

IMMAGINI DI FLAT

Correggono la diversa efficienza (quantica e geometrica) dei pixel del rivelatore.

Esistono diversi metodi di produzione di tali immagini (nel seguito in dettaglio).

Master Bias

Temperatura di lavoro del CCD

T = -10 °C

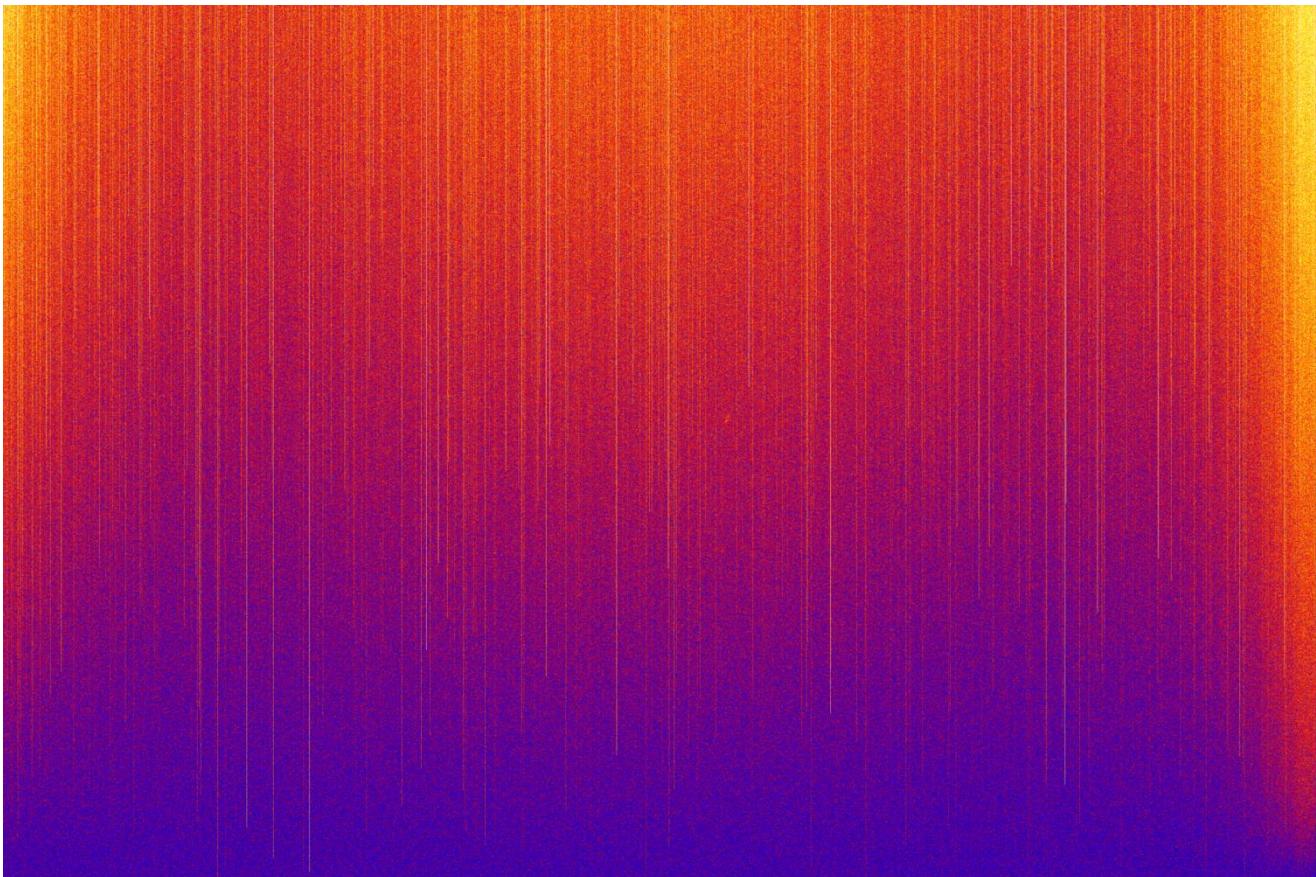
Tempo di esposizione

~ 0 ms

Frame acquisiti

20

Le linee verticali più calde sono dovute ad imperfezioni di fabbricazione.



Flat Fielding

Per stimare la diversa **efficienza** dei pixel è necessario illuminare l'intero rivelatore con una **sorgente uniforme**.

Uguale flusso esterno, ma diversa efficienza comportano conteggi diversi nelle varie tile.

TWILIGHT FLAT

Pro: sorgente in buona approssimazione uniforme

Contro: diverso spettro rispetto al cielo notturno

SKY FLAT

Pro: spettro di emissione tipico del cielo notturno

Contro: sorgente non uniforme, va resa tale applicando dei filtri digitali e prendendo alcuni accorgimenti.

Scivolamento nel campo

~ 5 pixel / min

Offset fra le immagini

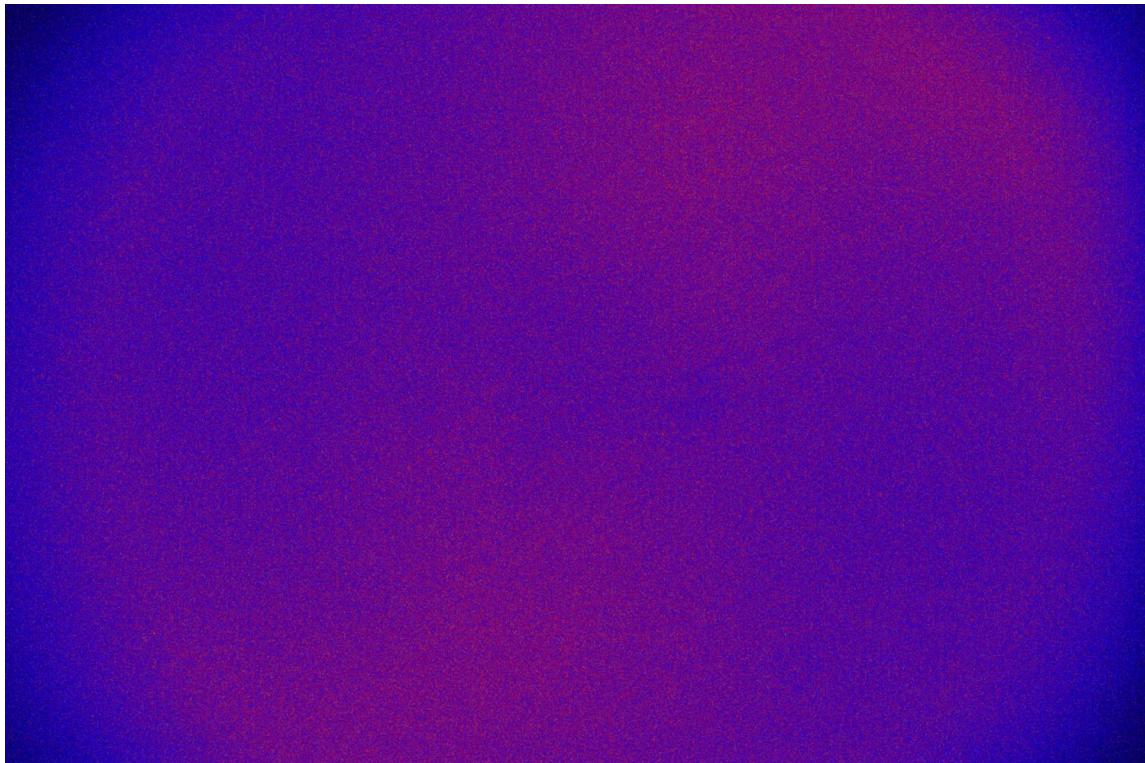
5 minuti

Outliers scartati

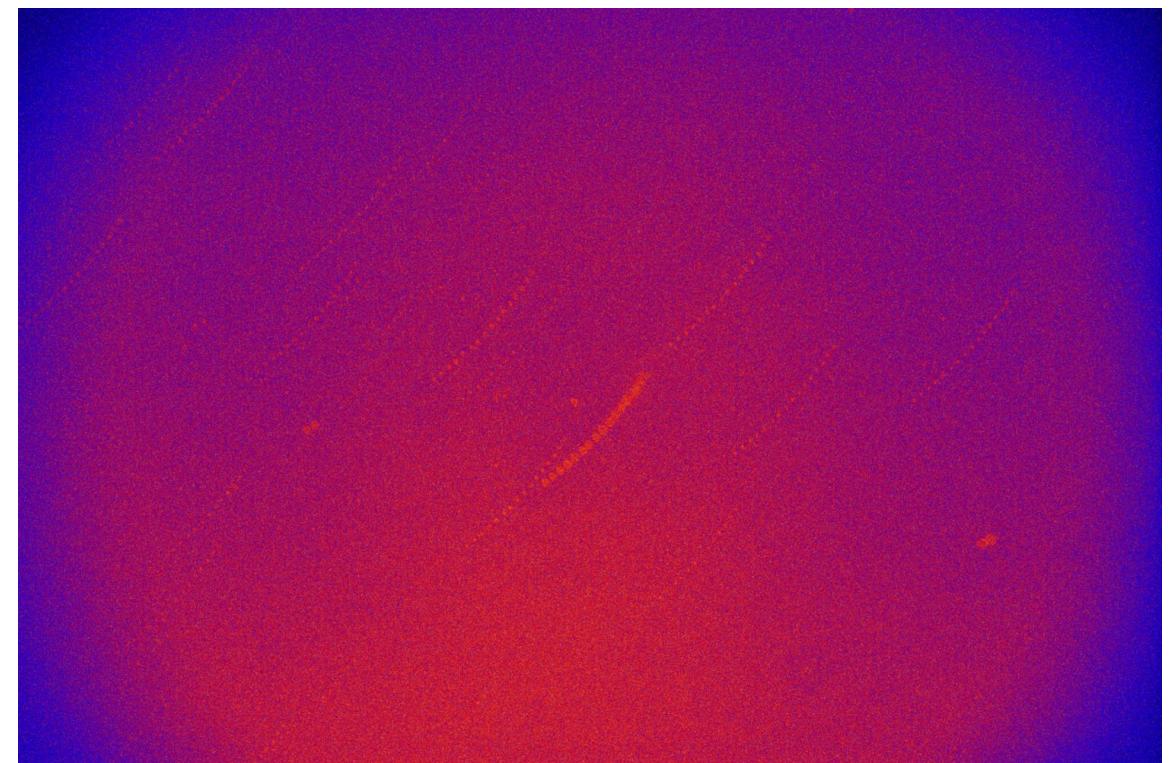
5

FILTRO MEDIANO

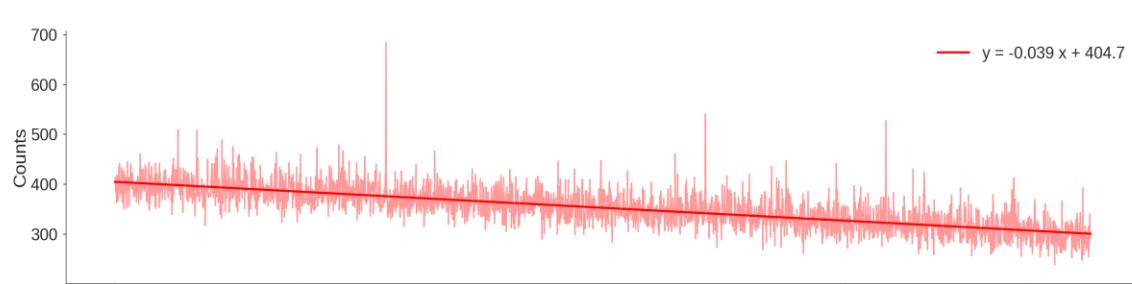
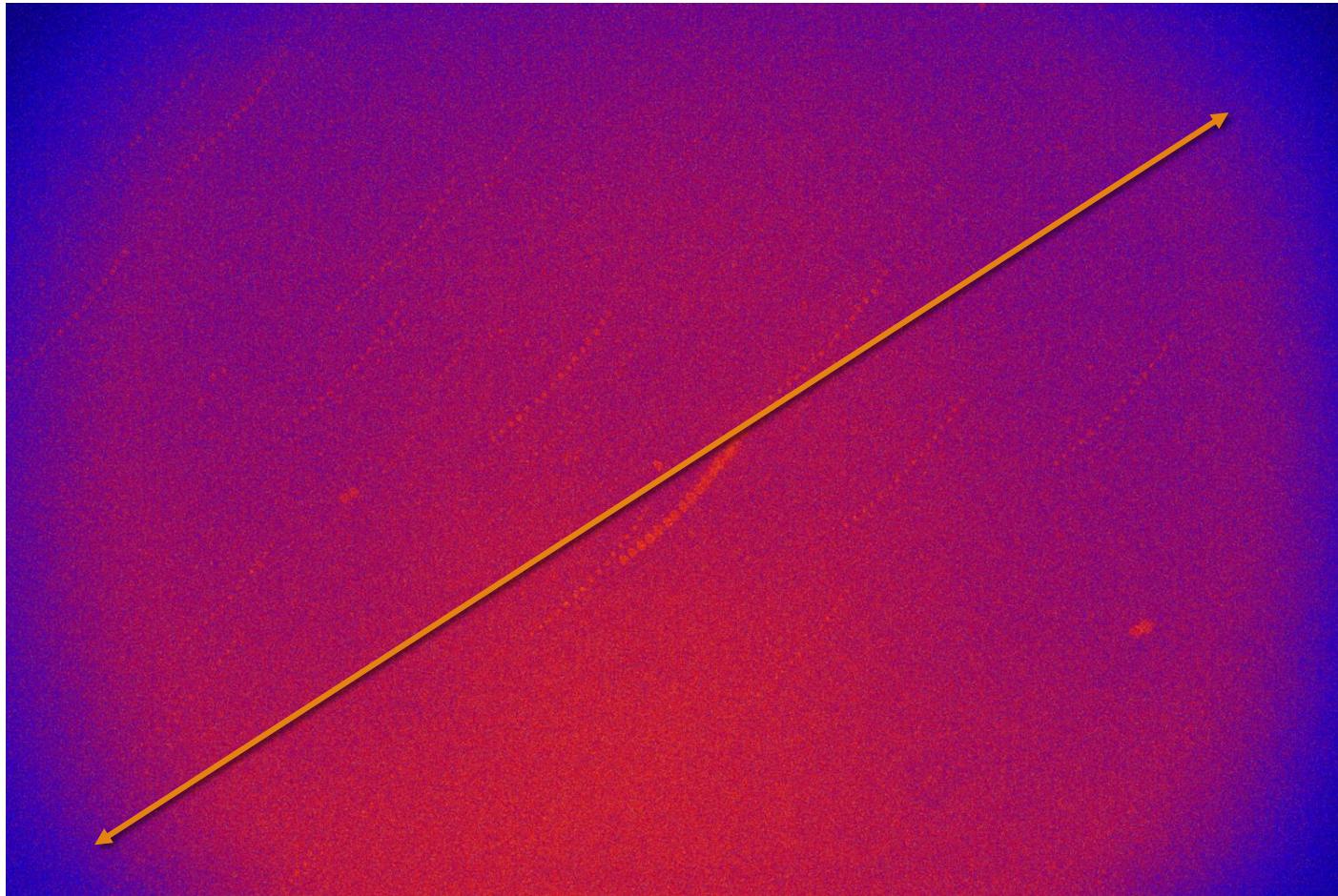
$$\bar{P}_{ij} = \frac{1}{K'} \sum_k P_{ij}^{(k)}$$



25 gennaio



26 gennaio



Problemi riscontrati

Tracce delle sorgenti

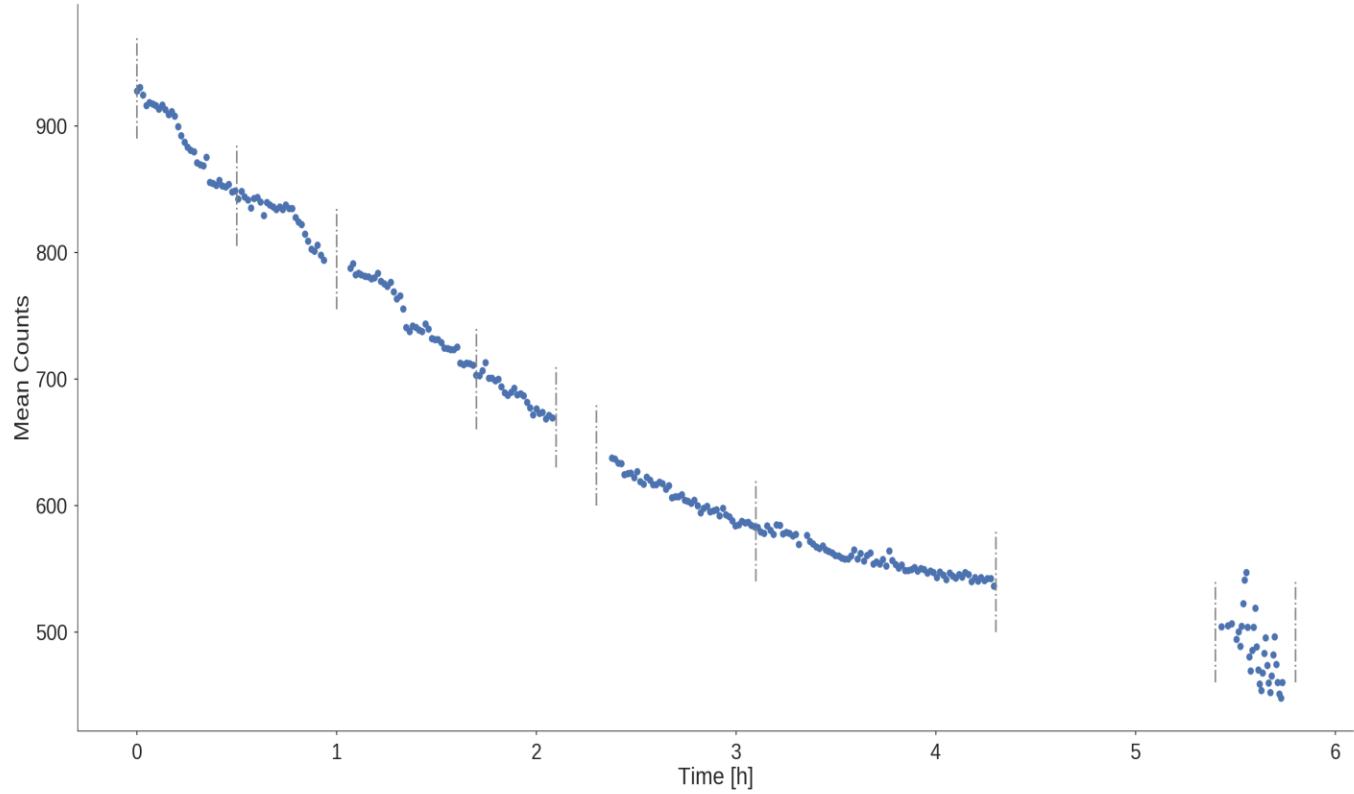
Gradiente di conteggi marcato
(ad esempio lungo una diagonale)

Fit lineare

$$y = ax + b$$

$$a = -0.039 \pm 0.002$$

$$b = 404.7 \pm 0.8$$

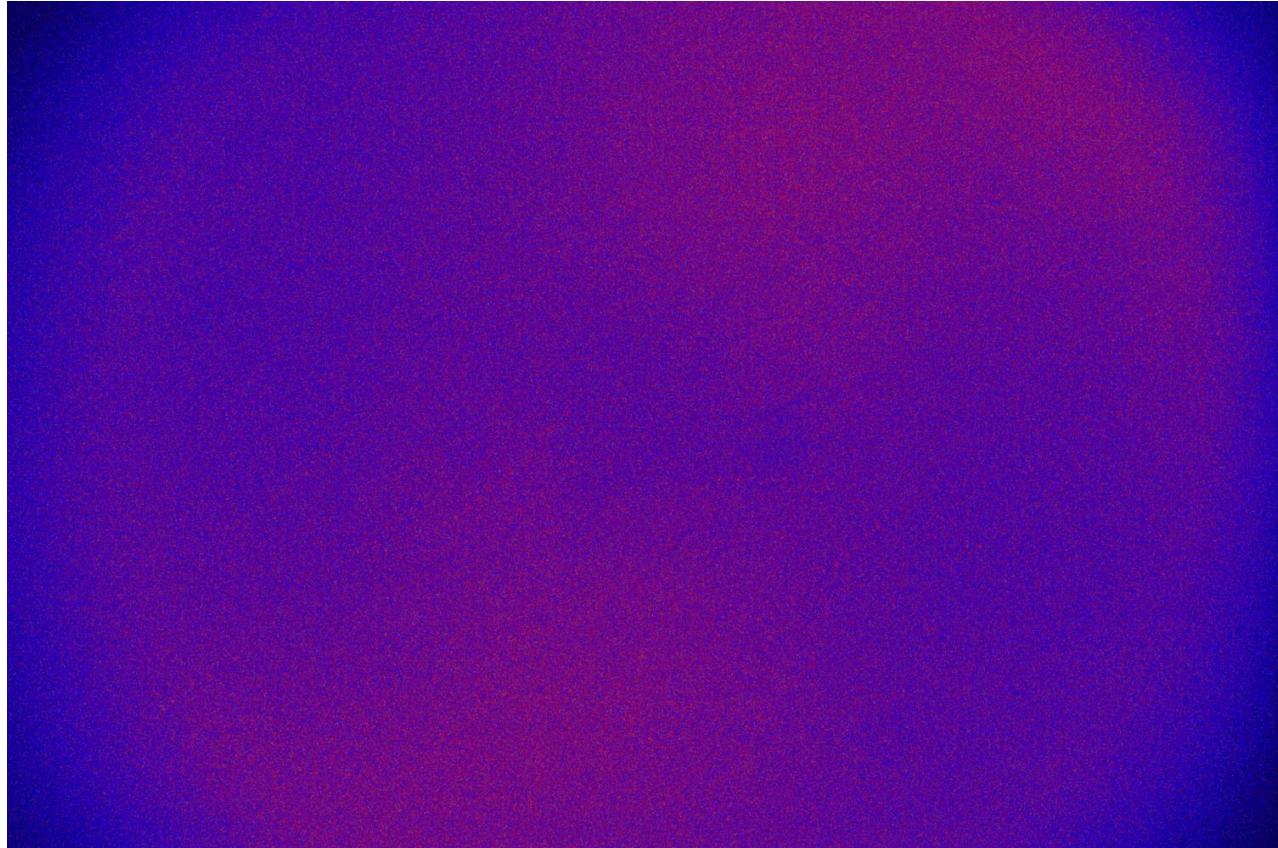


Variazione del **valor medio** dei conteggi con lo scorrere del tempo.

Tale disparità è stata probabilmente causata da una **variazione dell'umidità** dell'aria che, nella notte, è passata dal 54% al 74%.

SOLUZIONE

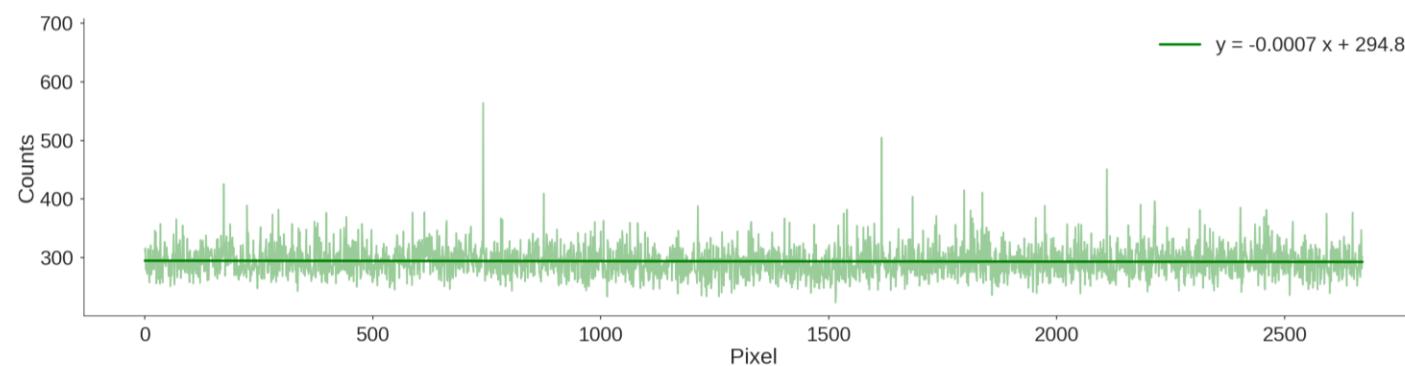
Dividere i frame della notte del 26 gennaio in slice temporali e calcolare per ognuna di esse un diverso flat.



Il metodo funziona!

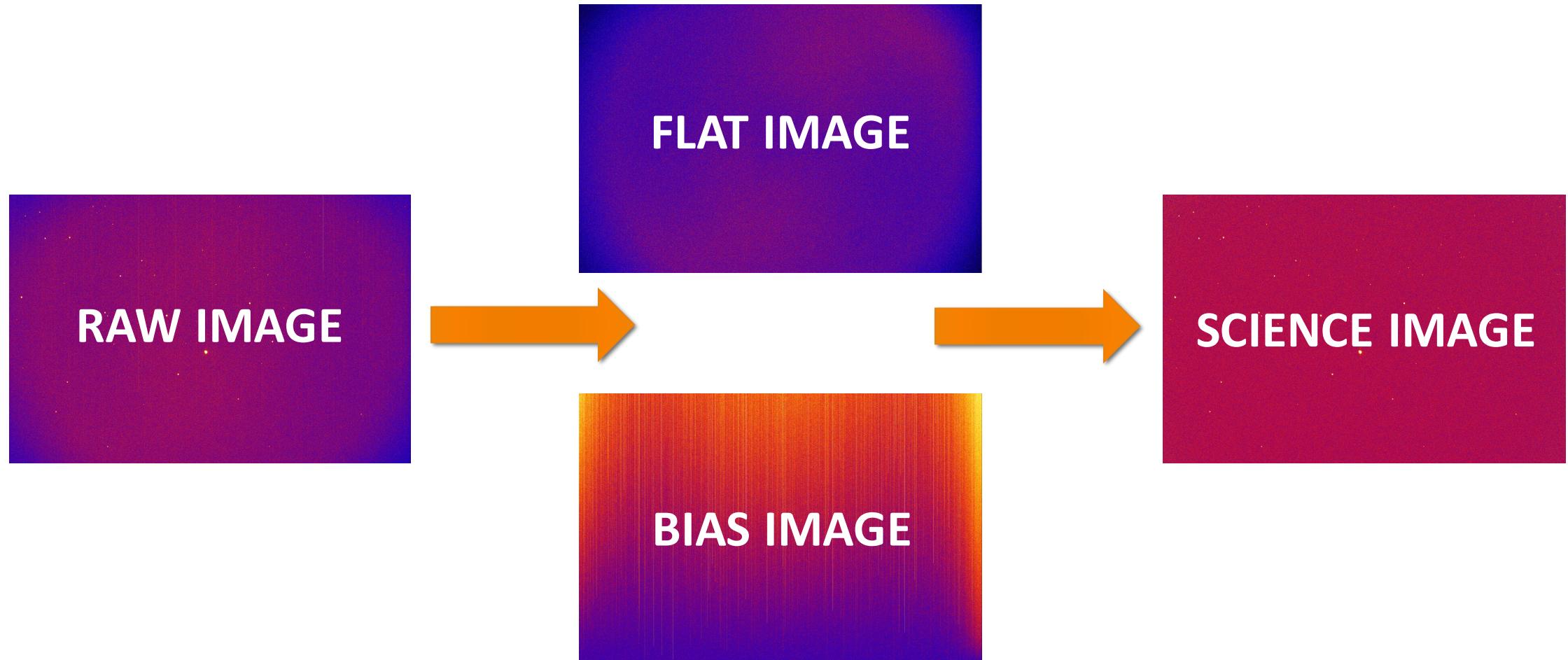
Abbiamo ottenuto flat senza tracce lasciate dalle sorgenti ed in cui non vi è un gradiente di conteggi.

$$y = ax + b$$

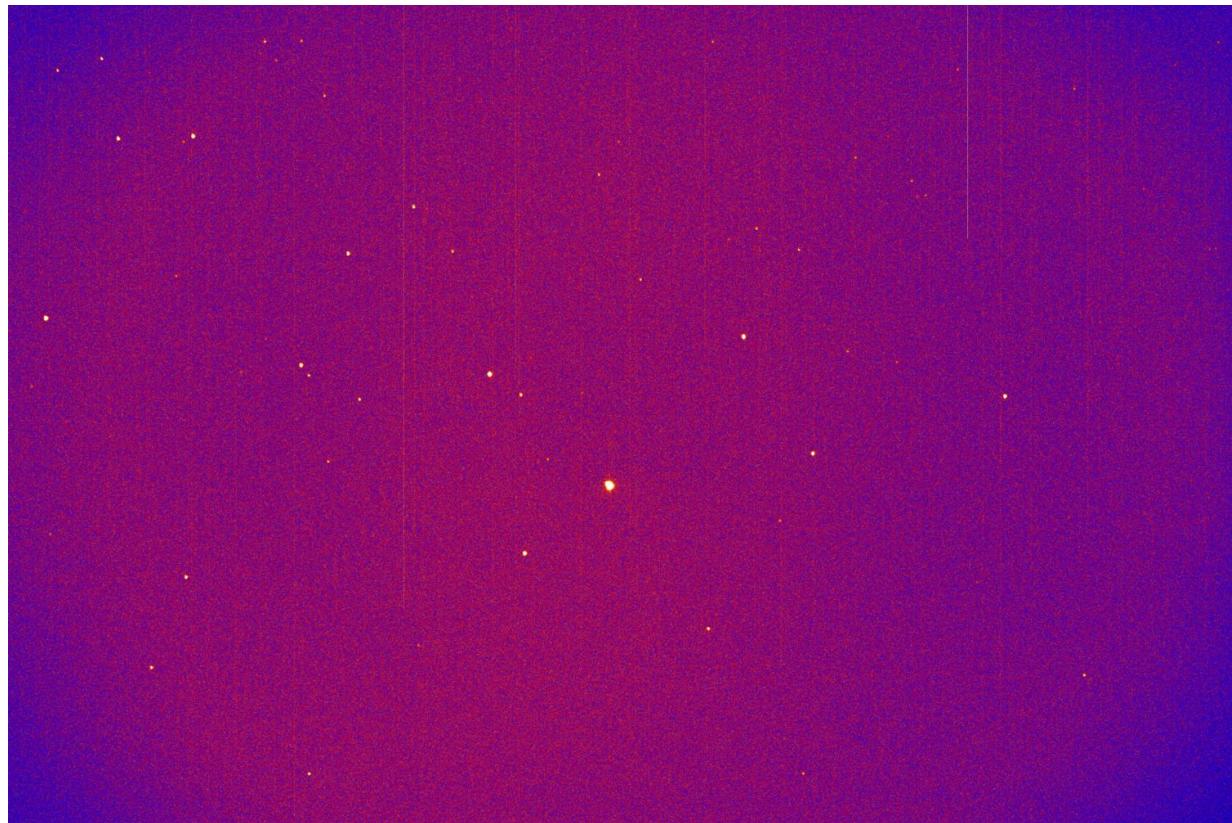


$$a = -0.0007 \pm 0.008$$

$$b = 294.8 \pm 0.3$$



RAW IMAGE



SCIENCE IMAGE



Fotometria

Stima del
baricentro
degli oggetti

Stima del
rumore di
fondo locale

Calcolo del
flusso delle
sorgenti

Baricentro

Individuiamo empiricamente una regione L^*L intorno alla sorgente.

Somme marginali lungo x ed y:

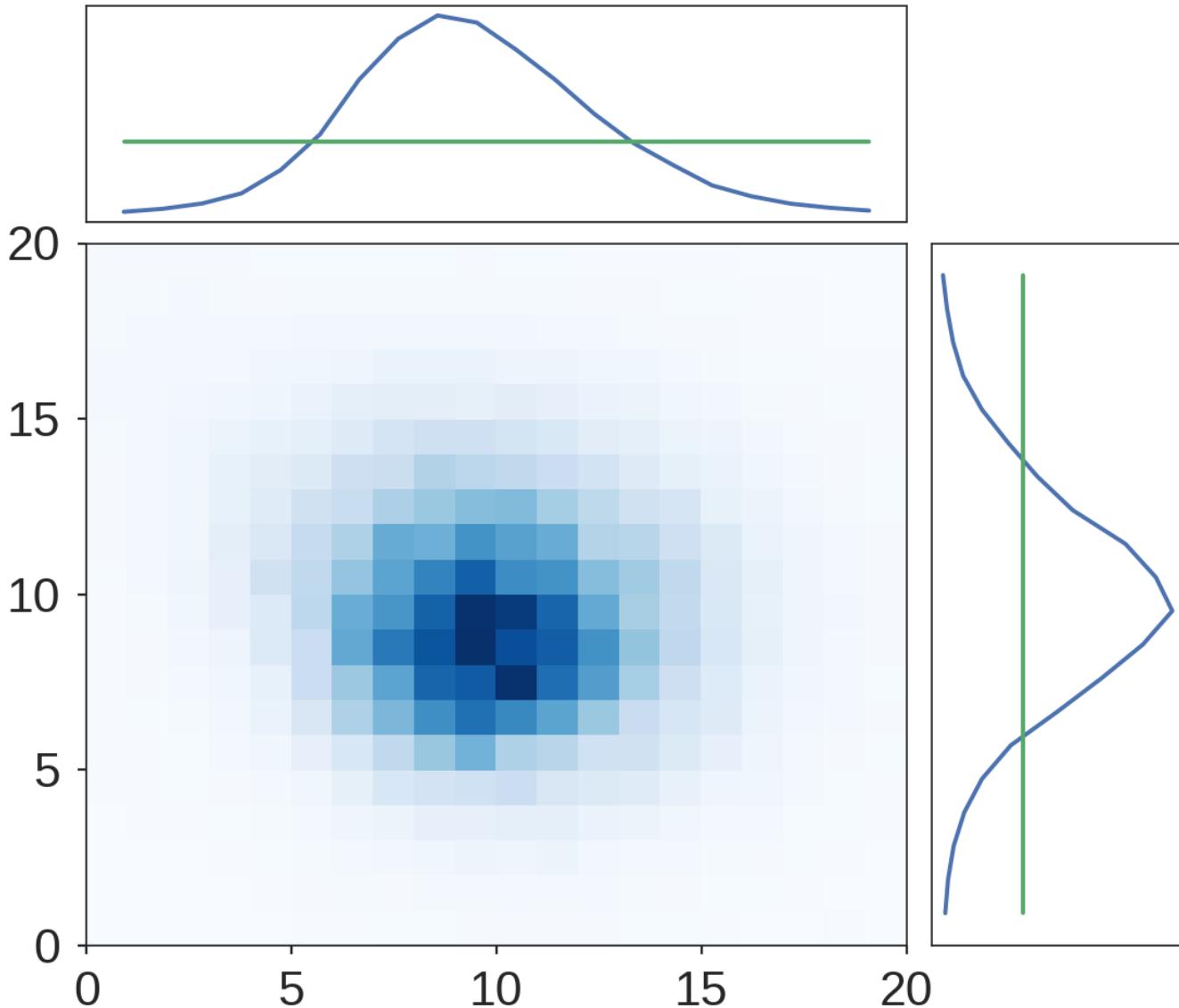
$$I_i = \sum_{j=-L}^L c_{ij}$$

$$J_j = \sum_{i=-L}^L c_{ij}$$

Il baricentro è quindi stimato pesando sugli scarti delle somme marginali dalle medie marginali (\bar{I}, \bar{J}) :

$$x_c = \frac{\sum_i (I_i - \bar{I}) x_i}{\sum_i (I_i - \bar{I})}$$

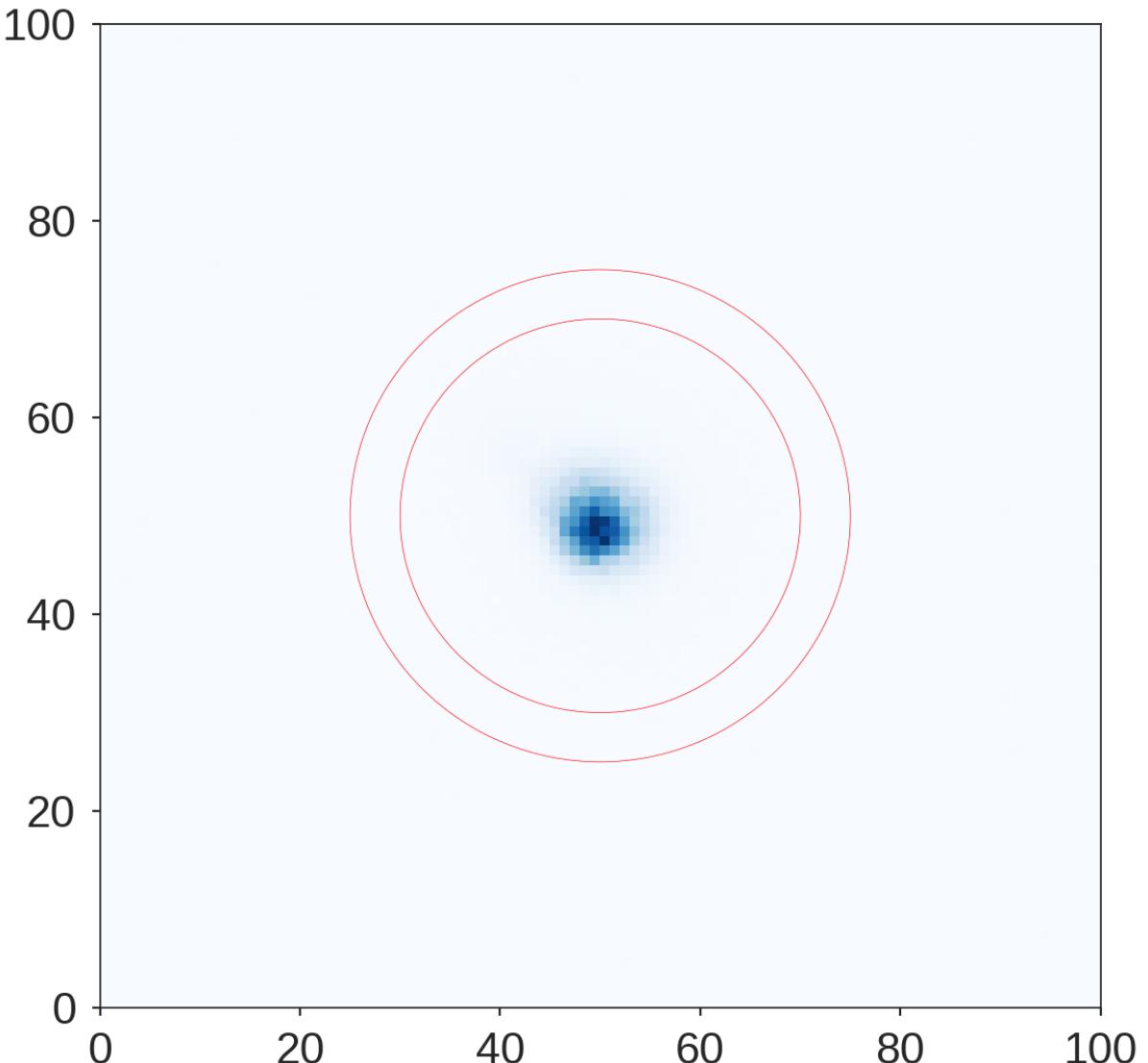
$$y_c = \frac{\sum_j (J_j - \bar{J}) y_j}{\sum_j (J_j - \bar{J})}$$



Background locale

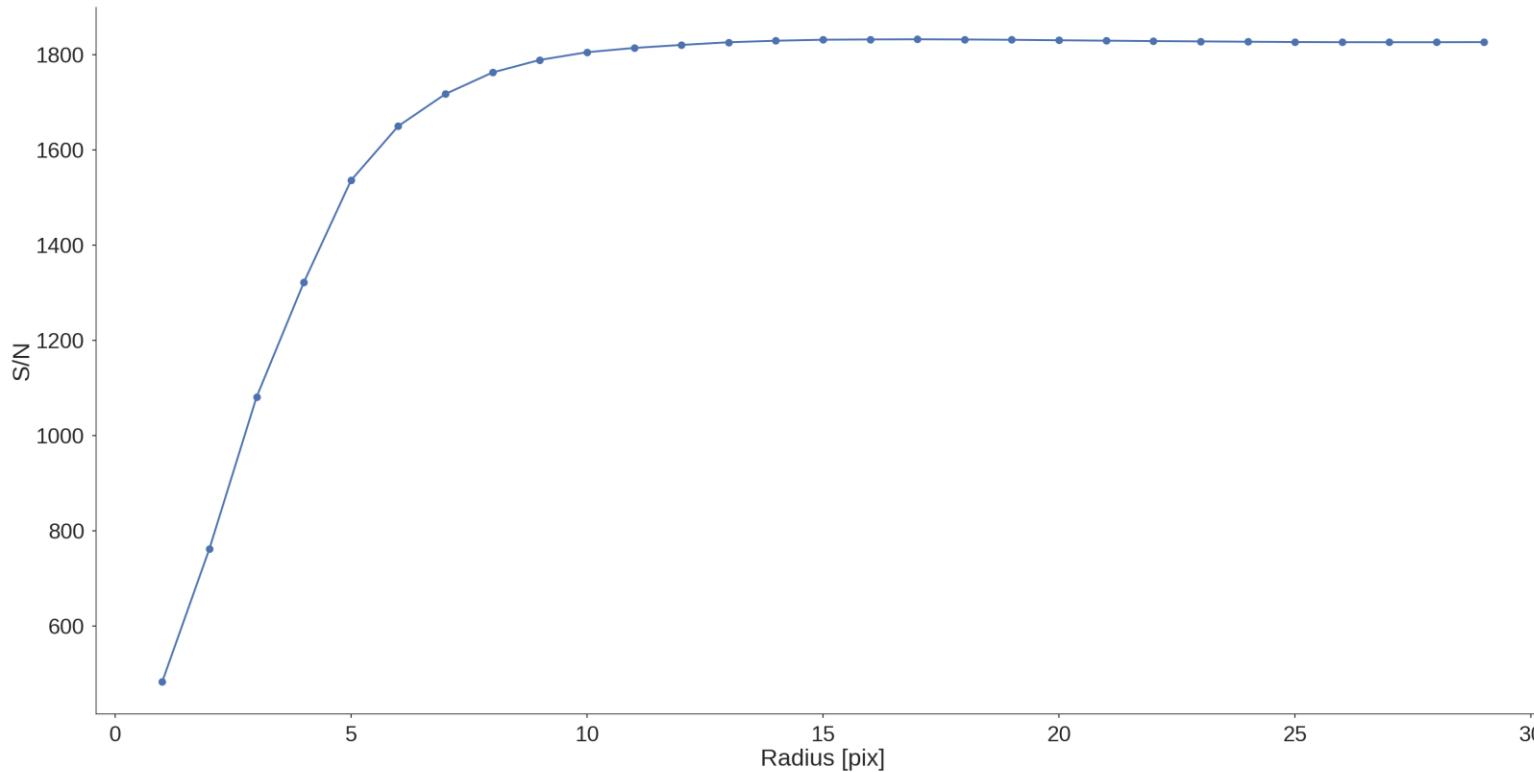
La stima del livello di **fondo locale** è necessaria al fine di avere una corretta misura del flusso della sorgente, infatti, ciascun pixel raccoglierà sia i fotoni da essa provenienti sia i fotoni provenienti da sorgenti di rumore esterne.

Per stimare il livello di fondo locale, si definisce una **corona circolare** attorno alla sorgente, che contenga un numero sufficiente di pixel, e si media lungo tale corona.



Stima dell'intensità luminosa

La scelta del **raggio di apertura** che caratterizza la sorgente è stata effettuata **massimizzando il rapporto S/N**.



Stima dell'**intensità** attraverso la relazione:

$$I = S - n_{px} \bar{B}$$

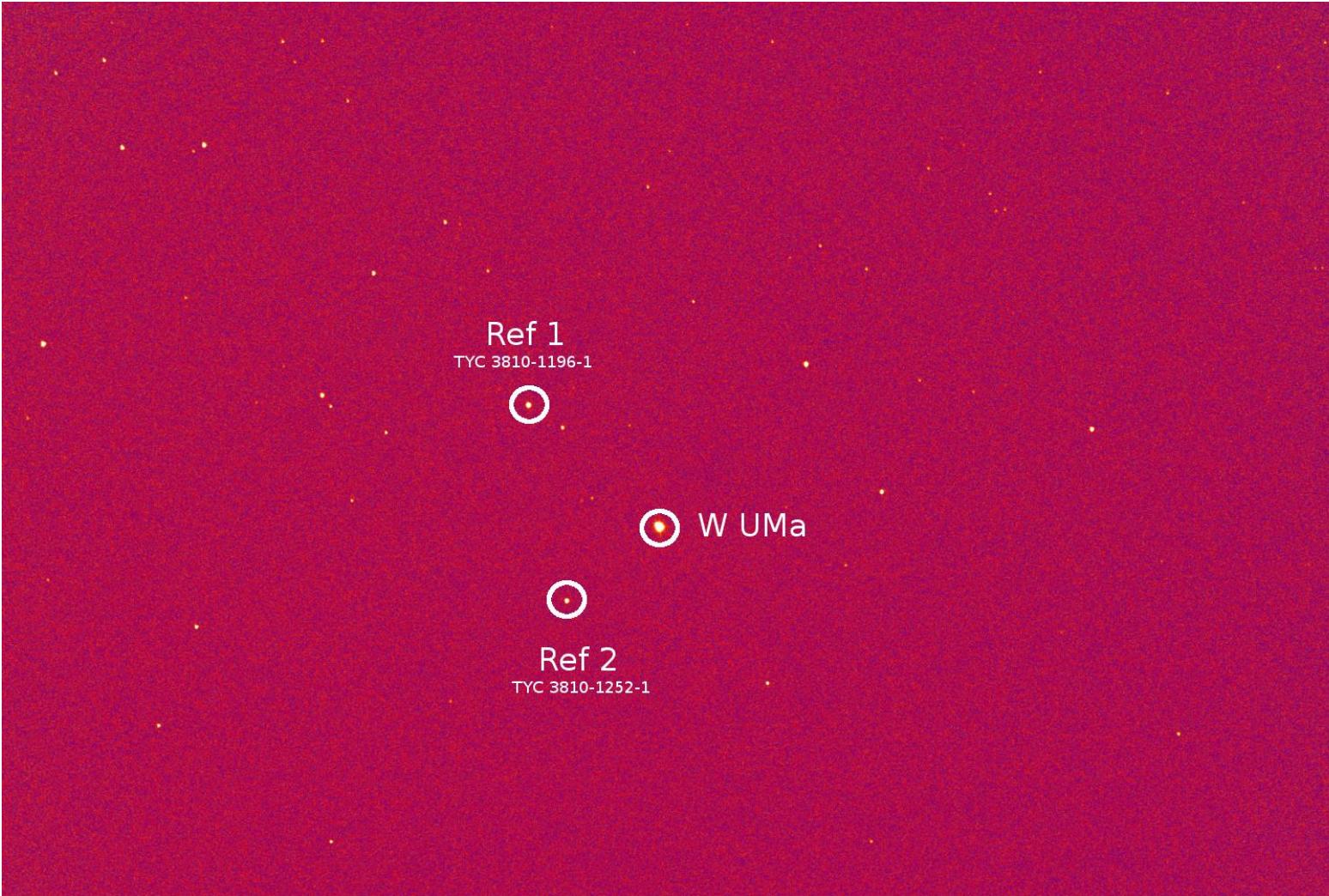
In astrofisica si preferisce parlare di
magnitudini

$$m = -2.5 \log_{10} I + C$$



Analisi dati

Riconoscere gli oggetti fotometrici



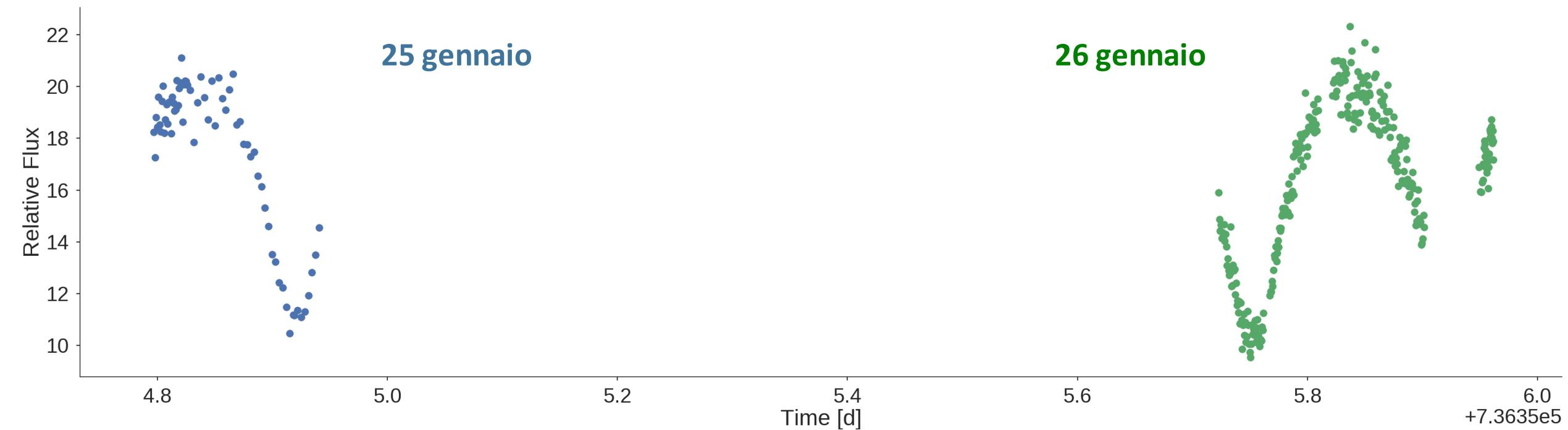
Per etichettare le sorgenti in ogni frame, si è sviluppato un algoritmo che, calcolando le distanze tra i diversi baricentri, riconoscesse **W UMa** e i due riferimenti.

Si è usato Ref 1 anche come **riferimento fotometrico**, avendo verificato che fosse una **stella standard**.

Segnali fotometrici

Flusso relativo di W UMa rispetto a TYC 3810-1196-1

$$s[t] = \frac{W[t]}{R_1[t]}$$

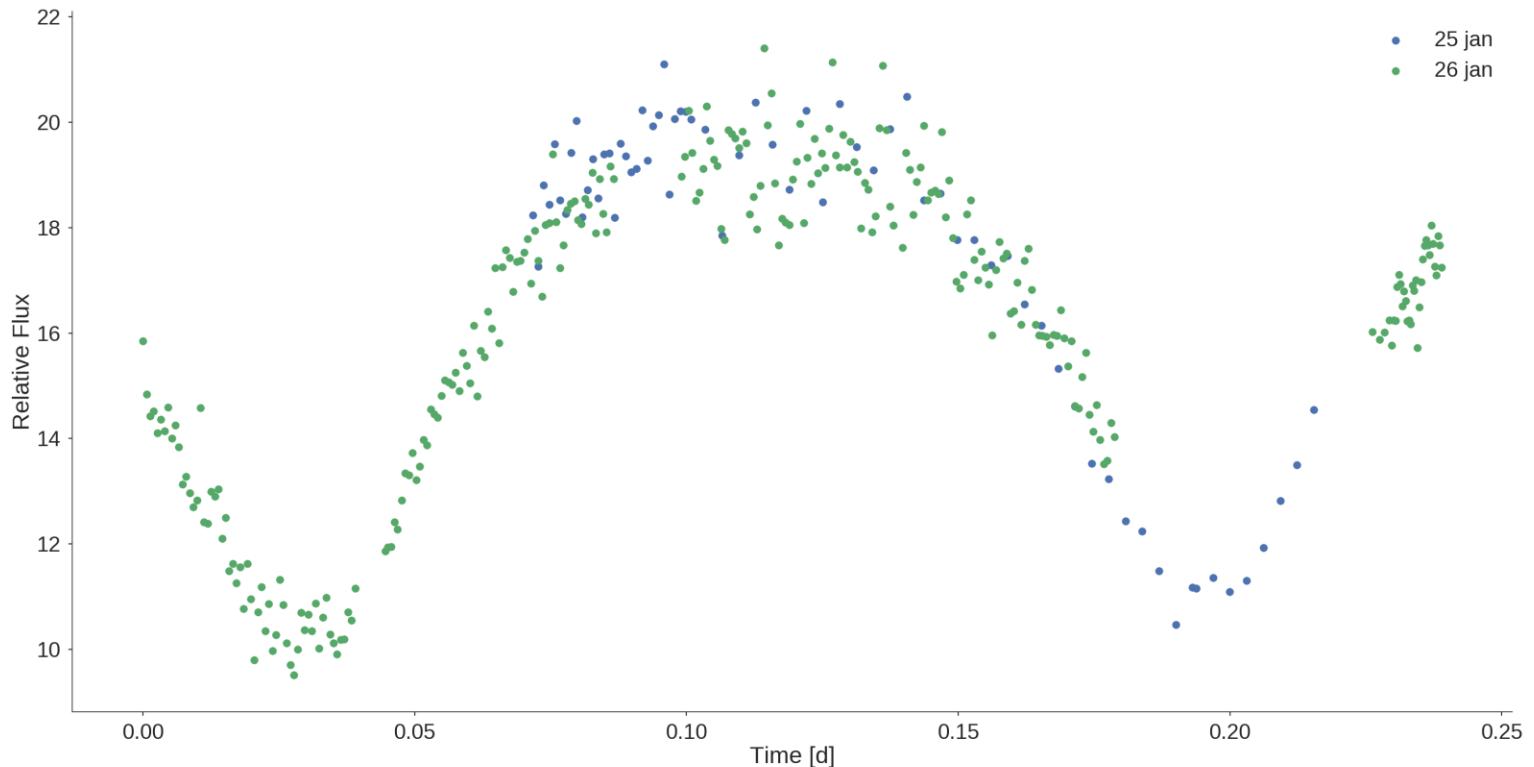


Ricostruire la curva di luce

Si è utilizzato il metodo della cross correlazione, essa è un indice di sovrapposizione dei segnali.

$$c_i[\tau] = \sum_t r[t + \tau]s_i[t]$$

Si è ottenuto il parametro di traslazione τ che massimizza c_i .



Stima degli errori

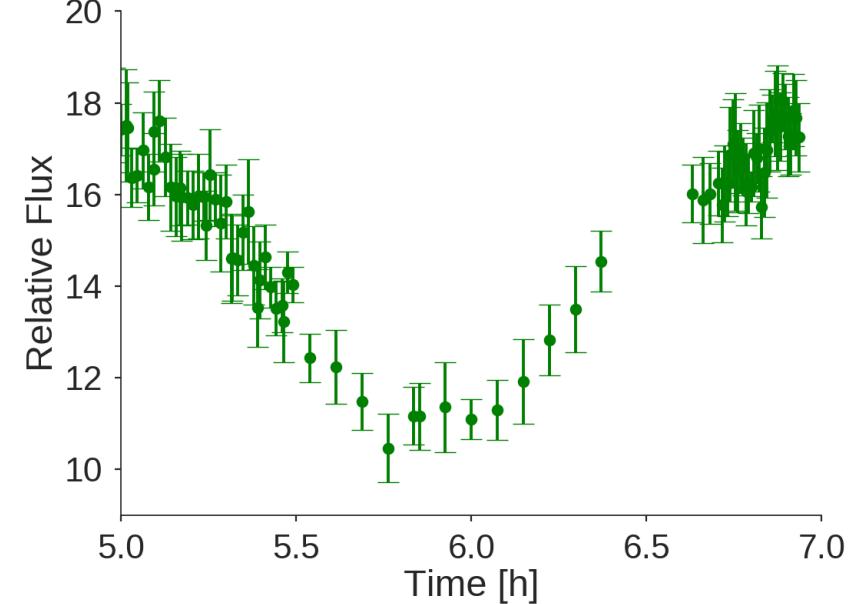
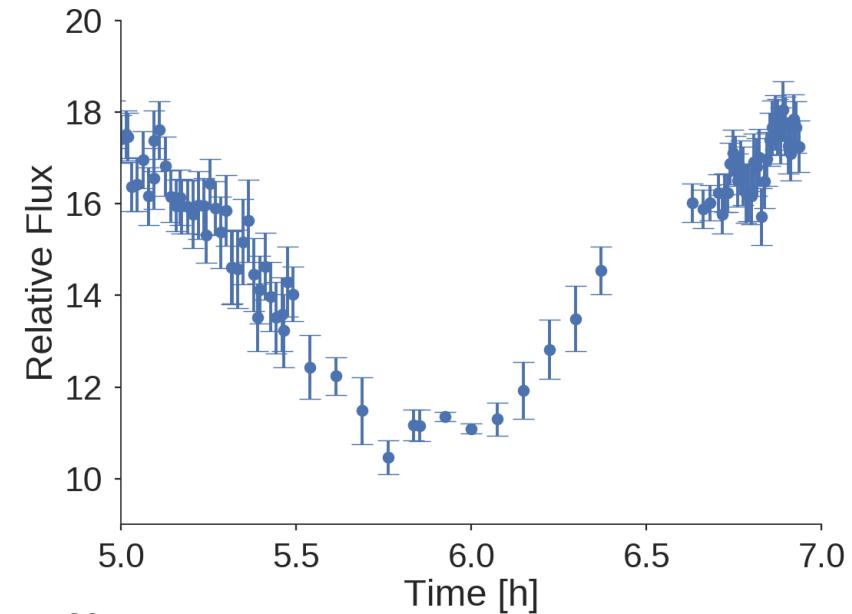
Metodo della varianza mobile:

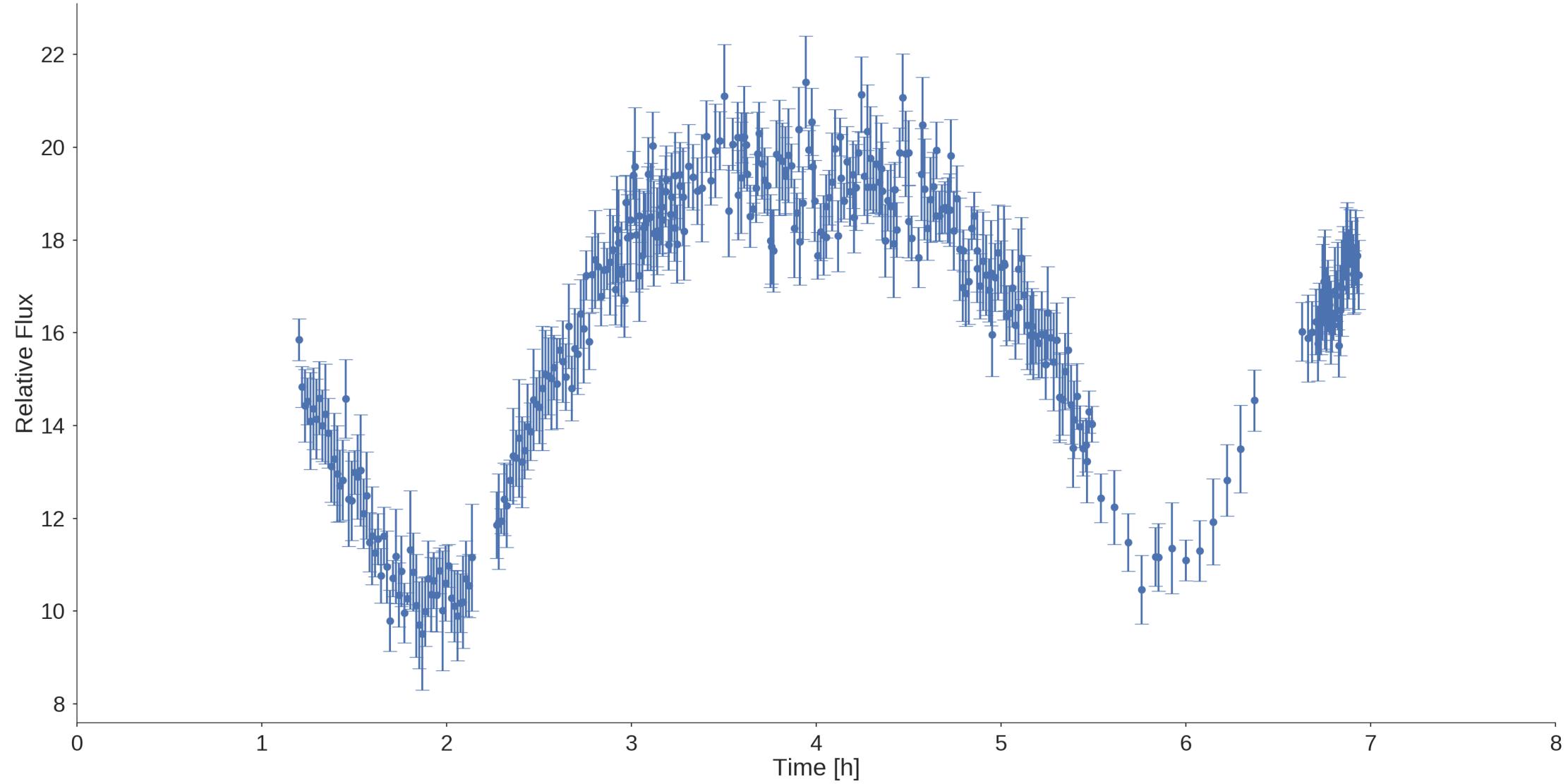
Attorno a ciascun punto, si scelgono brevi intervalli temporali; in essi si suppongono fluttuazioni statistiche e ad ogni punto si associa come errore la varianza calcolata nell'intervallo.

Problema per la prima notte. Il campionamento risulta piuttosto rado → sottostima degli errori

Propagazione degli errori. Due principali fonti di errore, quello sui conteggi, Poissoniano, e quello del Background, Gaussiano.

$$\sigma = \sqrt{S + n_{px}\sigma_{bg}^2}$$





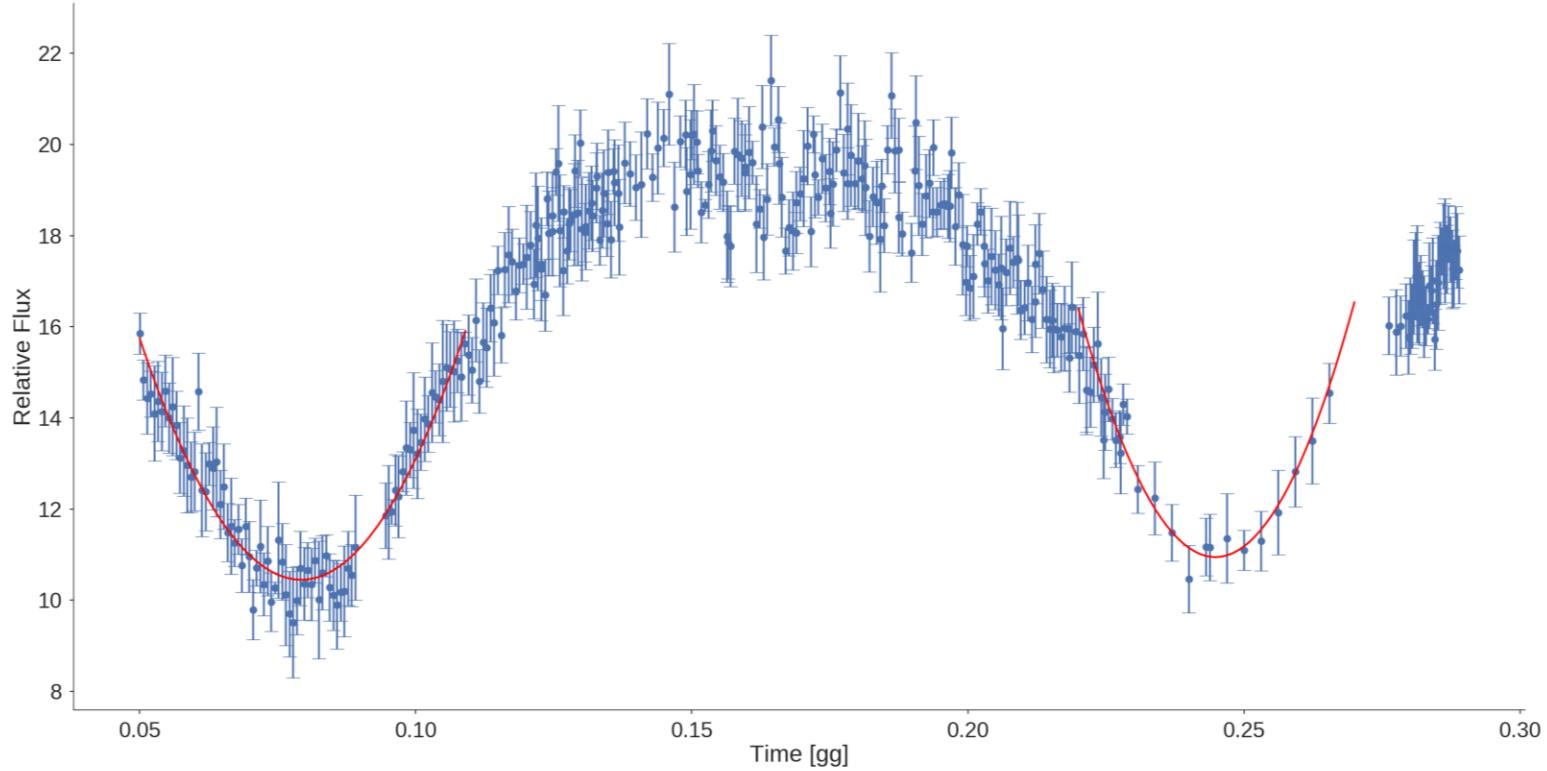
Prima stima del periodo

L'obiettivo è ottenere una prima **grossolana stima** del periodo per poi raffinarla utilizzando lo shift della cross correlazione

In ipotesi di **orbita circolare**, la distanza tra i minimi risulta uguale al semiperiodo

Effettuando un **fit polinomiale**, per derivazione si è ottenuta la posizione dei due minimi.

$$T = 0.33 \pm 0.02 \text{ d}$$



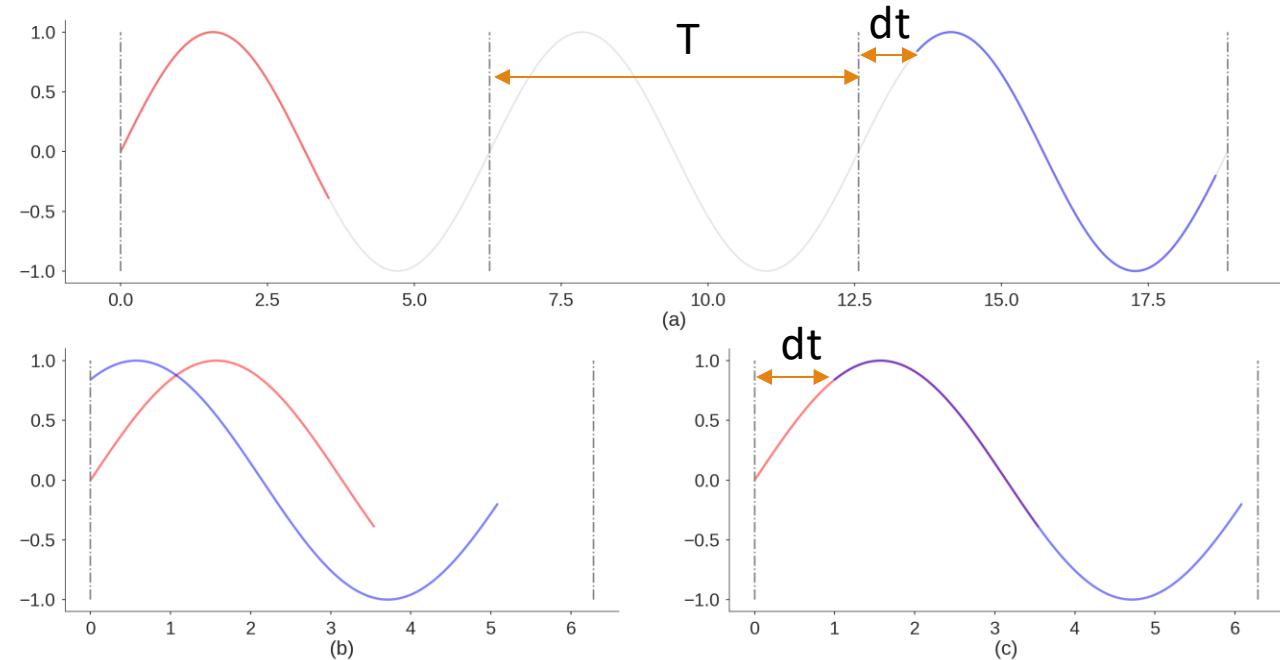
Seconda stima del periodo

Dalla cross correlazione è possibile ottenere una misura del periodo attraverso la seguente relazione

$$t_1 - t_0 = NT + dt$$

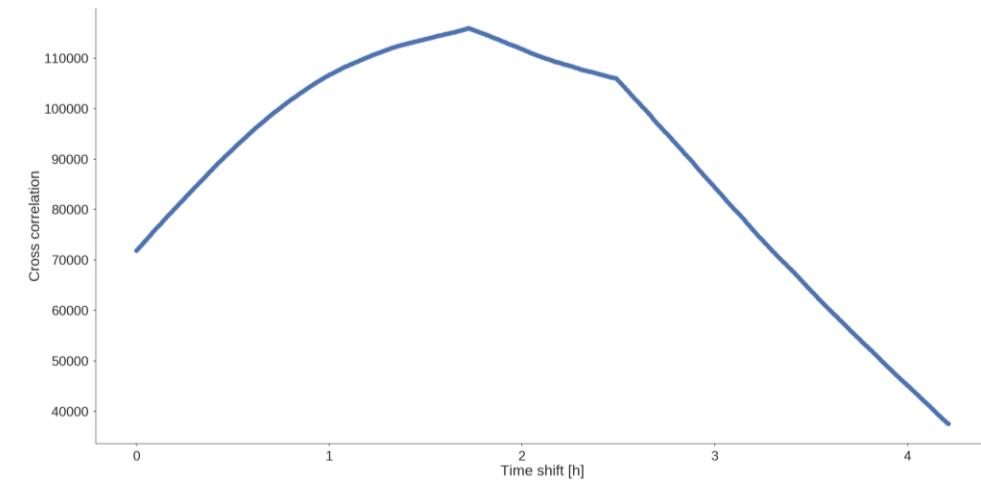
Tra le due notti di osservazione è trascorso circa un giorno, avendo ottenuto come stima del periodo circa 8h, si ottiene $N = 3$, e dunque

$$dt = 0.072$$



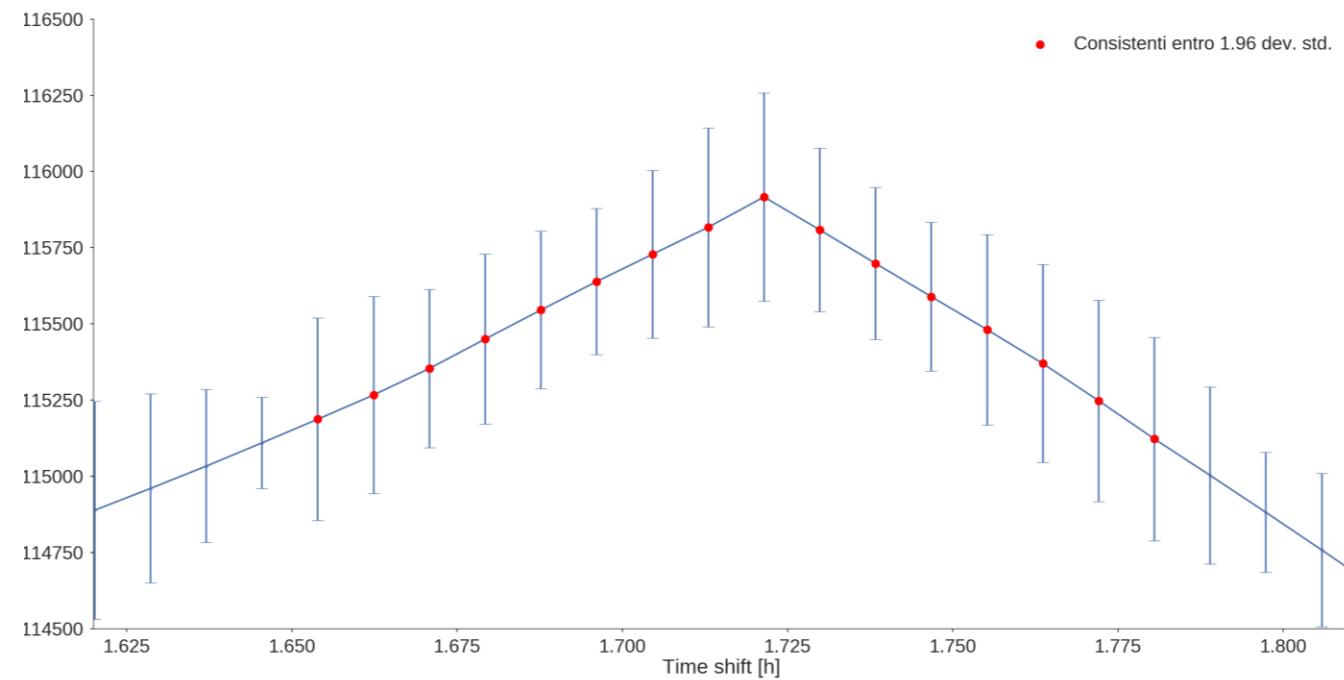
Stima dell'errore

Abbiamo verificato quanti punti fossero consistenti col massimo entro 1.96σ



L'errore sullo shift dt è stato identificato con la larghezza dell'*intervallo di consistenza*.

Il campionamento è discreto, dunque 8 bin corrispondono a $\sigma_{dt} = 0.003 d$, circa 4 min.



Risultati

Abbiamo verificato la compatibilità del valore ottenuto in questa esperienza di laboratorio per il periodo con uno dei valori presenti in letteratura effettuando un test di Student.

Il valore del periodo presente nel catalogo GCVS [*] è

$$\bar{T} = 0.33363749 \text{ d}$$

Il valore da noi misurato, col relativo errore, è

$$T = 0.3325 \pm 0.0010 \text{ d}$$

Risultato test di Student

$$t = \frac{|T - \bar{T}|}{\sigma_T} = 1.14 < 1.96$$

[*] NN Samus, EV Kazarovets e OV Durlevich. "General catalogue of variable stars". In: Odessa Astronomical Publications 14 (2017), pp. 266–269.

Grazie per l'attenzione!