

TESINA DI MATURITA' SCIENTIFICA

STUDIO DELLE VARIABILI PULSANTI

Analisi di una variabile pulsante di tipo RR Lyrae e indagine epistemologica con riferimenti alla filosofia della scienza.

L'interesse crescente in questi ultimi anni verso l'astronomia mi ha indotto ad avvicinarmi allo studio dei corpi celesti ed in particolare all'analisi sperimentale delle stelle variabili. Ciò che caratterizza questa classe di stelle è la loro capacità di modificare la luminosità nel tempo che in genere deriva o dallo stadio di vita della stella o a causa di qualche influenza esterna. L'indagine che condurrò si soffermerà sulla natura di un tipo di stella variabile, la RR Lirae, e nello specifico, sulla variabile CY AQUARII, osservata direttamente al telescopio presso l'osservatorio di Seveso. L'interesse rivolto verso queste stelle non è affatto casuale poiché la loro conoscenza è stata di fondamentale importanza non solo in capo astronomico ma più in generale scientifico e umano. Tale importanza deriva da una scoperta fatta nel 1911 dall'astronoma Henrietta S. Leavitt che comprese di poter misurare le distanze all'interno dell'universo tramite lo studio delle variabili pulsanti di tipo Cefeide. Questo permise di rendersi conto delle distanze che vi sono nell'universo, allargando lo sguardo umano verso uno spazio enormemente grande. Penso che questa sia una delle cose più affascinanti dell'astronomia: la possibilità dell'uomo di guardare e quasi intuire l'infinito che lo sovrasta e che gli mostra la sua limitatezza.

*“L'uomo contempi, dunque, la natura tutt'intera nella sua alta e piena maestà, allontanando lo sguardo dagli oggetti meschini che lo circondano. Miri quella luce sfolgorante, collocata come una lampada eterna a illuminare l'universo; la terra gli appaia come un punto di confronto dell'immenso giro che quell'astro descrive, e lo riempia di stupore il fatto che questo stesso vasto giro è soltanto un tratto minutissimo in confronto di quello descritto dagli astri roteanti nel firmamento(...)L'uomo, ritornato a sé, consideri quel che è in confronto a quel che esiste. Si veda come sperduto in questo remoto angolo della natura; e da quest'angusta prigione dove si trova, intendo dire l'universo, impari a stimare al giusto valore la terra, i reami, le città e se stesso(...)Perché, insomma, che cos'è l'uomo nella natura? Un nulla rispetto all'infinito, un tutto rispetto al nulla, qualcosa di mezzo tra il tutto e il nulla. Infinitamente lontano dalla comprensione di questi estremi, il termine delle cose e il loro principio restano per lui invincibilmente celati in un segno imperscrutabile: egualmente incapaci d'intendere il nulla donde è tratto e l'infinito che lo inghiotte.” (Blaise Pascal)*

Il percorso che mi sono preposto non è soltanto di carattere scientifico-sperimentale ma anche filosofico. Per compiere una corretta indagine scientifica non si può prescindere da un metodo rigoroso e definito. Per questo mi sembra opportuno analizzare le modalità con cui la scienza formula le sue teorie, il loro significato, i criteri utilizzati, la scoperta e la giustificazione delle ipotesi. Farò pertanto riferimento alla filosofia della scienza citando alcuni dei principali esponenti tra cui Carnap, Popper, Duhem, Lakatos, Kuhn, Bachelard.

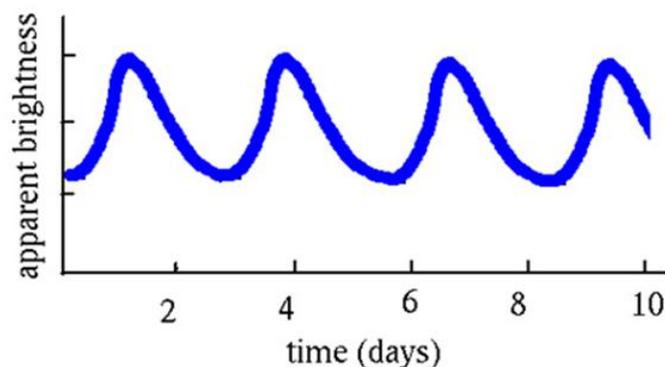
Esporrò l'argomento cercando di far confluire insieme la dimensione scientifica ed epistemologica, presentando l'argomento su due livelli: l'indagine sperimentale e l'analisi filosofica del suo fondamento.

## STELLE VARIABILI PULSANTI

Le **stelle variabili** sono stelle la cui luminosità non è costante, ma cambia nel tempo. Possiamo identificarne diverse classi che, a livello macroscopico, possono essere ricondotte a due categorie: variabili intrinseche o variabili vere e variabili estrinseche o variabili ottiche.

Le prime sono stelle la cui luminosità varia effettivamente cioè la stella stessa diventa più o meno luminosa, come conseguenza della fase di vita che attraversa. Le altre invece appaiono di luminosità variabile a causa di qualche influenza esterna e, nel caso più frequente, dalla presenza di un'altra stella che determina un sistema binario in cui le due stelle possono passare una di fronte all'altra e causare un'eclissi.

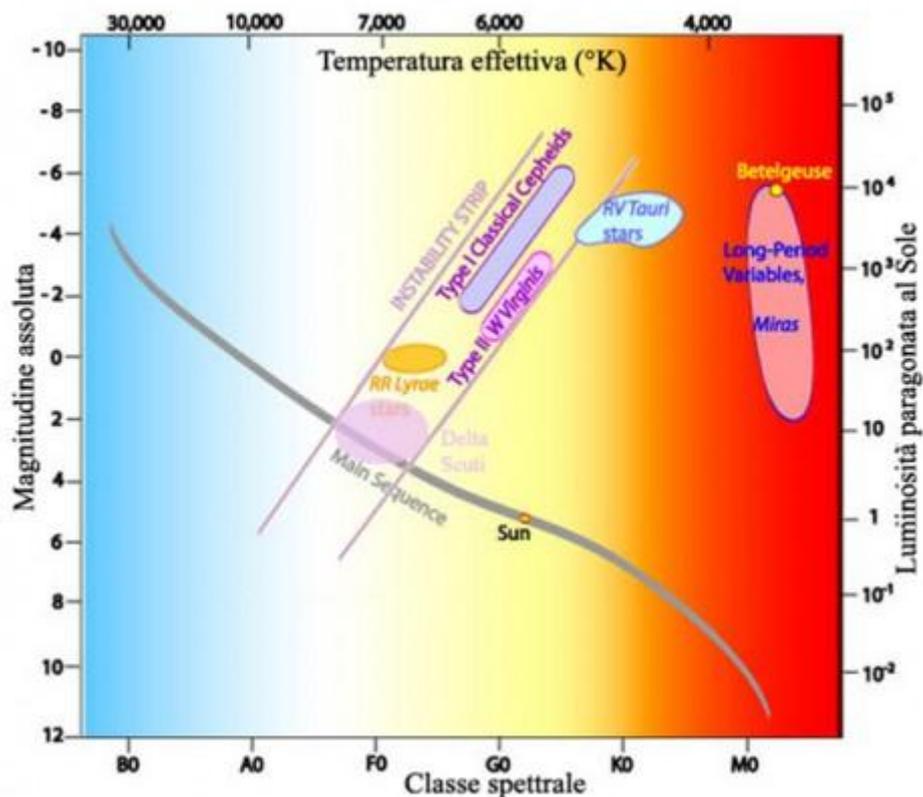
La variabilità luminosa è descritta dalla curva di luce, grafico che riporta, in funzione del tempo, i valori della magnitudine apparente o di altra quantità equivalente. Di tale grafico si studiano in particolare i punti di massimo e di minimo, l'ampiezza della variazione indicata dalla differenza tra il valore massimo e il valore minimo raggiunto dalla curva e il periodo, quando esiste, con cui tali variazioni si ripetono



Esempio della curva di luce di una Cefeide: sull'asse delle ascisse è posto il tempo mentre sulle ordinate la magnitudine apparente

Quando le variabili intrinseche presentano una variazione regolare della luminosità parliamo di **variabili pulsanti** la cui fase di pulsazione riguarda quasi tutte le stelle che a seguito della loro età abbandonano la sequenza principale e si trasferiscono nella striscia di instabilità o nel ramo delle giganti. Per comprendere ciò da cui deriva la stabilità o meno di una stella è necessario far riferimento all'azione di due forze: la forza gravitazionale che la spinge a comprimersi su se stessa e la pressione di radiazione (che deriva

dall'energia cinetica delle particelle) che tende a farla espandere. Fino a quando queste due forze si uguagliano (la stella è in grado di produrre tramite i processi di fusione nucleare energia sufficiente da contrastare il collasso gravitazionale) la stella è stabile e si colloca nella sequenza principale ma, nel caso in cui l'energia prodotta non è in grado di contrastare la forza gravitazionale, la stella inizierà a contrarsi ed espandersi in modo regolare, diventando una variabile pulsante. Si alternano pertanto fasi in cui la pressione di radiazione è inferiore alla forza di gravità (la stella si comprime) e fasi in cui è maggiore (a seguito della compressione aumenta l'energia cinetica: la stella si espande). Quando la stella è compressa, è più calda e più luminosa; quando invece si espande diventa più fredda, meno luminosa e di un colore tendente al rosso.



Posizione delle variabili pulsanti nel diagramma HR. Quasi ogni variabile di questo tipo (tranne le Mira e le irregolari) si trova nella cosiddetta striscia di instabilità, una zona di transizione tra la sequenza principale e l'inevitabile morte della stella. Ogni variabile pulsante (tranne le giovani stelle pre-sequenza principale) è una stella che ha ormai esaurito il combustibile principale, l'idrogeno, è sta per terminare la sua vita.

Le pulsazioni possono essere radiali a simmetria sferica, del tutto simile all'espansione di un palloncino, oppure non radiali, con espansione (o contrazione) asimmetrica e con una forma che risulterà allungata e/o deformata. I vari tipi si differenziano per :

- Regolarità o meno del periodo
- Durata del periodo di pulsazione
- Masse delle stelle variabili
- Età e quindi stato evolutivo
- Tipologie di pulsazioni (radiali o non)

Sulla base di queste differenze possiamo identificare cinque sottoclassi di variabili pulsanti: **Cefeidi**, **RR Lyrae**, **Delta Scuti**, **RV- Tauri**, **Mira e semiregolari**, i cui nomi derivano dalle stelle caratteristiche e dalla costellazione a cui appartengono. La più importante, non per il numero di oggetti che ne fanno parte, ma piuttosto per l'importanza che rivestono come indicatori di distanza delle galassie esterne, è costituita dalle Cefeidi, giganti gialle che prendono il nome dalla stella  $\delta$  Cephei, la prima di questo gruppo ad essere stata scoperta e studiata alla fine del XVIII secolo. Come Henrietta Leavitt scoprì agli inizi del XX secolo, esiste una relazione diretta fra i loro periodi e la loro magnitudine assoluta (1). Misurando solamente il loro periodo e la loro magnitudine relativa, si può calcolare la distanza di ogni Cefeide (2). Gli astronomi possono perciò usare le Cefeidi per misurare la distanza delle galassie vicine, che a loro volta consentono di calibrare gli indicatori di distanza secondari che possono essere utilizzati per stimare la distanza di galassie lontane dove le Cefeidi sono troppo deboli per poter essere osservate. Indicatori di distanza ancora più preziosi delle Cefeidi si sono rivelate le stelle del tipo RR Lyrae (a cui appartiene CY Aqr)

(1)

$$\underline{M_V = -2.87 \log P - 1.40}$$

Dove  $M_V$  rappresenta la magnitudine assoluta, e  $P$  il periodo della variazione. Questa relazione rese le Cefeidi degli importantissimi indicatori di distanza nell'universo, perché noto il periodo, si può ricavare facilmente la distanza, avendo la magnitudine apparente, dalla relazione:

(2)

$$\underline{M_V = m - 5 \log d + 5}$$

dove  $d$  rappresenta la distanza in parsec e  $m$  la magnitudine apparente

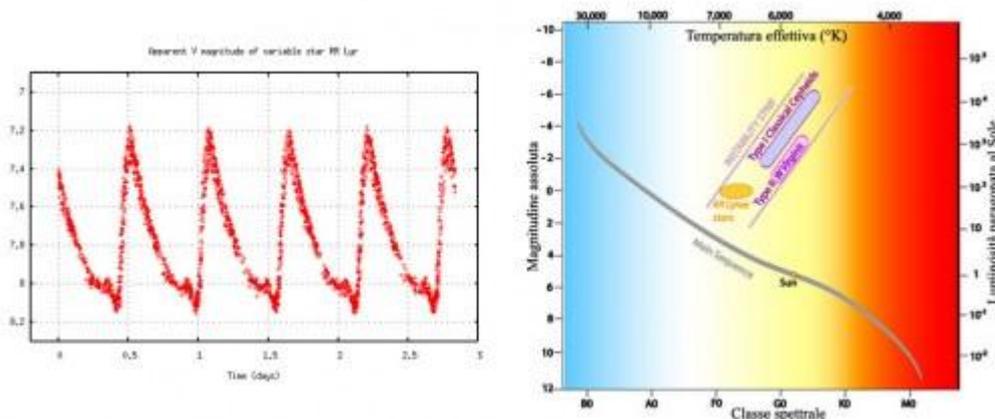
## SIGNIFICATO DI TALE ENUNCIATO

Possiamo leggere tale equazione (1) in diversi modi. Secondo una prospettiva neoempirista tale enunciato sarebbe significativo (dotato di significato) in quanto empiricamente verificabile tramite l'osservazione al telescopio. **Carnap** direbbe a proposito che il significato di tale proposizione è il metodo della sua verifica, concependo la sensatezza o meno di una proposizione in base alla sua possibilità di essere verificata (criterio verificazionista di significato). A una tale affermazione **Karl Popper** risponderebbe sottolineando l'impossibilità di verificare una tale legge: dire che per tutte le stelle variabili di tipo Cefeide vale la seguente relazione significa postulare un'ipotesi universale che, in quanto tale, non può essere verificata sulla base dell'evidenza osservativa in quanto dovrei compiere infinite misure per affermare la sua validità. Popper introdurrebbe a proposito il criterio di demarcazione, identificando tale enunciato come scientifico sulla base della sua possibilità di essere falsificato. Tale ipotesi è allora secondo Popper impossibile da verificare in modo esaustivo e pertanto deve essere sottoposta a continui tentativi di confutazione: se il risultato dei controlli porta alla sua falsificazione, deve essere eliminata, ma, se riesce a resistere, allora può venire considerata "ben corroborata", cioè come un'ipotesi almeno *provvisoriamente accettabile* nel corpo delle nostre conoscenze. La verità va allora considerata come un ideale regolativo, al quale possiamo progressivamente avvicinarci, sostituendo le nostre vecchie teorie con altre che corrispondono meglio ai fatti. La (1) si presenta allora come la nostra attuale migliore approssimazione alla verità, la teoria con miglior grado di verosimilitudine. Estremamente significativo sarebbe lo sguardo di **Duhem** che affermerebbe a proposito l'impossibilità di sottoporre a controllo sperimentale soltanto la (1), ma un insieme di enunciati compresa la (2) e le leggi che regolano quanto avviene nell'universo. In questa prospettiva allora quando i controlli sperimentali non sono in accordo con le previsioni derivate dal sistema, ci dicono soltanto che almeno una delle ipotesi del sistema è inaccettabile, senza dirci esattamente quale. Nel caso specifico se tale enunciato, in una particolare circostanza, non sarà valido non è detto che sia sbagliato in quanto tale ma potrebbe dare un risultato diverso per colpa di un'altra ipotesi non corretta (l'ipotesi che sulla stella agiscano solo determinate forze, che abbiano luogo solo alcune reazioni, che le misure compiute dai telescopi non producano grandi distorsioni, etc.). Nel momento in cui il risultato delle osservazioni è in disaccordo con tale legge, l'unica conclusione certa che possiamo trarre, applicando MTT (*modus tollendo tollens*) è che qualche parte del sistema va eliminata o modificata (tuttavia senza sapere quali parti sono coinvolte). Tale questione prende infatti il nome di "problema di Duhem". Secondo **Kuhn** invece questa espressione farebbe parte di un "paradigma", ossia una cornice concettuale condivisa, nel cui

ambito i membri della comunità scientifica svolgono le proprie ricerche. Tale paradigma sarebbe quello della scienza contemporanea, nel quale si inseriscono le teorie condivise, i metodi di ricerca e i problemi risolti. Secondo Kuhn però, diversamente da Popper, le anomalie che si possono presentare non conducono all'abbandono della teoria ma rappresentano un aspetto costitutivo della scienza normale. Le anomalie spingono gli scienziati a riformulare e "aggiornare" le precedenti versioni della teoria. La (1) allora non dovrebbe essere falsificata o confermata, come affermavano Popper e i neopositivisti, ma completata, ossia resa più semplice e precisa. I disaccordi tra teoria e osservazione non sono buoni motivi per rifiutare una teoria, ma vanno piuttosto considerati "rompicapo" da risolvere. Nel momento in cui però il numero di rompicapo irrisolti raggiungerà una soglia critica vi sarà una fase rivoluzionaria dove, a seguito di un nuovo paradigma, si tornerà ad una fase di scienza normale. Tale paradigma però non si afferma secondo Kuhn a partire da considerazioni puramente razionali, ma invece da fattori storici e sociali. Purtroppo a volte dei ricercatori prevalgono grazie a particolari capacità persuasive e organizzative o, ancor peggio, per il fatto di essere più vicini a coloro che detengono il potere da un punto di vista politico ed economico. Questo fatto non è puramente contingente: l'eliminazione di certe caratteristiche contingenti (come la dipendenza finanziaria della classe politica) non muterebbe lo stato delle cose poiché considerazioni puramente razionali non potrebbero di per se stesse consentire una scelta autonoma del paradigma prevalente. Questo perché in modo intrinseco condizioni puramente razionali non sarebbero tali da permettere la scelta tra paradigmi differenti: ogni volta che interpretiamo una teoria, o un esperimento, siamo sempre all'interno di un punto di vista, in cui noi presumiamo la validità di determinate teorie, determinati assunti, determinati presupposti, e questa accettazione, inevitabilmente, influenzerà la nostra interpretazione dei dati. Simile a tale prospettiva è quella di **Lakatos**, che riprende l'idea del confronto tra le teorie rivali, dove però è possibile un confronto razionale che si basa su un criterio di progresso per cui le comunità scientifiche dovrebbero abbandonare i programmi da troppo tempo in stagnazione (afflitti da un lungo periodo di insuccessi) per scegliere quelli progressivi (caratterizzati da successi nella spiegazione di nuovi fenomeni). La (1) sarebbe allora il risultato della scelta del contemporaneo "programma di ricerca progressivo".

## RR-LYRAE

Le variabili di tipo RR Lyrae sono stelle pulsanti (radialmente) simili alle Cefeidi, ma profondamente diverse in massa, luminosità e stadio evolutivo. Questa classe di stelle, il cui prototipo è la stella RR nella costellazione della Lyra, hanno generalmente masse simili o di poco inferiori al Sole e si trovano in una regione, nel diagramma HR, detta braccio orizzontale, all'interno della striscia di instabilità.

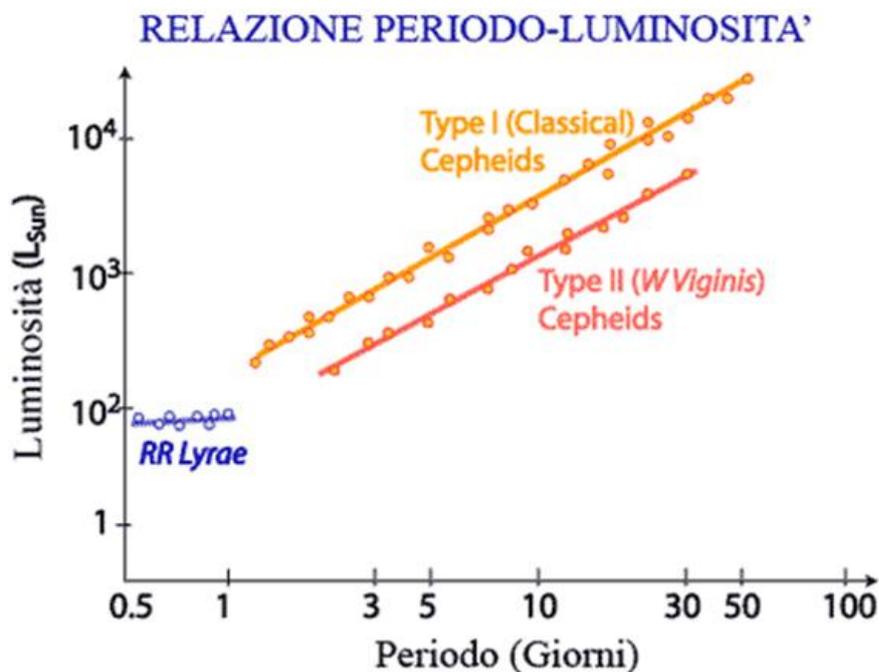


Curva di luce tipica di una variabile di tipo RR Lyrae. L'andamento è meno simmetrico rispetto alle Cefeidi, con un aumento di luminosità piuttosto rapido, seguito da una discesa lenta. Il processo fisico alla base delle pulsazioni è lo stesso, Le differenze sono da imputare alle diverse masse tra questi due tipi di stelle pulsanti. A destra posizione delle variabili RR Lyrae nel diagramma Hertzsprung-Russell

Si tratta di giganti bianche prossime alla fine della loro vita, dopo aver già attraversato la fase di giganti rosse. Nel loro nucleo il combustibile nucleare è l'elio, mentre l'idrogeno viene bruciato in gusci superiori. La loro età è sempre superiore a quella delle Cefeidi, poiché si tratta di stelle meno massicce che quindi vivono molto più a lungo, per questo motivo sono anche più abbondanti. Appartengono sempre alla vecchia popolazione II e si trovano maggiormente concentrate nell'alone galattico e negli ammassi globulari; non a caso una vecchia classificazione le individuava come "Cefeidi degli ammassi". Il periodo di pulsazione è piuttosto breve e compreso tra qualche ora e 2 giorni, con oscillazioni comprese tra 0,3 e 2 magnitudini e luminosità circa 50 volte maggiori della nostra stella.

Studiando diverse curve di luce, si è capito che il meccanismo di pulsazione può avvenire in due modi diversi; l'uno (RRab), del tutto simile a quello delle Cefeidi produce curve di luce simmetriche e regolari, l'altro (RRc), genera curve di luce asimmetriche, caratterizzate da un rapido aumento della luminosità e da un calo più graduale. Elemento caratteristico è il cosiddetto effetto Blazhko, piccole modulazioni periodiche della curva di luce, che nel caso di RR Lyrae, avvengono in 39,1 giorni. L'effetto Blazhko venne scoperto

nel 1907 da Sergei Blazhko, attraverso lo studio di alcune RR Lyrae. I modelli fisici in grado di spiegare questo tipo di pulsazioni sono tuttora in corso di studio e fanno riferimento a dei moti di pulsazione radiali e non radiali degli strati della stella risonanti tra di loro. Queste stelle, così come le Cefeidi, permettono di calcolare le distanze nell'universo: si è scoperto infatti che tutte le stelle di questo tipo possiedono circa la stessa luminosità assoluta, a prescindere dal colore e dalla loro temperatura; se ne ricava quindi una relazione molto più semplice di quella trovata per le Cefeidi.



Relazione periodo-luminosità per le variabili RR-Lyrae. Tutte le stelle appartenenti a questa classe hanno all'incirca la stessa luminosità assoluta.

Sfortunatamente sono stelle piuttosto deboli, soprattutto se paragonate alle Cefeidi, tanto che possono essere utilizzate solo per la stima delle distanze galattiche. È importante notare come queste stelle, benché oltre 50 volte più luminose del Sole, siano molto più deboli delle Cefeidi e non possono essere osservate in altre galassie (tranne rarissime eccezioni), limitando il loro utilizzo agli ambienti della Via Lattea. Le RR-Lyrae sono molto importanti nella stima delle distanze degli ammassi globulari, all'interno dei quali se ne possono osservare qualche decina, molte alla portata della strumentazione amatoriale.

## **L'OSSERVAZIONE AMATORIALE**

Nello studio delle stelle variabili, a livello amatoriale, possiamo distinguere tre fasi.

1. Osservazione, costituita dal rilevamento di tre dati: il dato fotometrico, o stima; il dato temporale, giorno e ora in cui è stata effettuata la stima; condizioni generali, descrizione delle condizioni al contorno.
2. Elaborazione di primo livello: i dati rilevati durante l'osservazione vengono elaborati al fine di ottenere grandezze coerenti per la costruzione della curva di luce. Generalmente la stima grezza viene elaborata in magnitudini, il tempo trasformato in giorni giuliani o in fasi, il tutto per ogni singolo osservatore.
3. Elaborazione di secondo livello: mentre l'elaborazione di primo livello è strettamente personale, cioè specifica di ogni osservatore, l'elaborazione di secondo livello si occupa di cumulare insieme le stime di più osservatori e inizia un'analisi preliminare delle curve ottenute.

Una volta scelta la stella che si vuole studiare e, individuata la sua posizione, si eseguono delle fotografie (con un tempo di esposizione che dipende dalla magnitudine della stella) mediante camera CCD, collegata al telescopio e al computer. L'immagine che andrà ad essere studiata fotometricamente dovrà essere molto ben normalizzata secondo semplici ma indispensabili criteri:

1. Sottraendo l'immagine o la sequenza mediata dei dark-frame.
2. Sottraendo l'immagine di bias ottenuta con esposizione a tempo zero
3. Dividendo per l'immagine o per la sequenza mediata del flat-field.

Bisogna, tuttavia, normalizzare anche l'immagine del flat-field sottraendola di una immagine di dark appositamente preparata in termini di temperatura e tempo.

### **Il dark frame**

Il dark-frame serve per annullarci gli effetti dovuti alla corrente di buio che produce dei pixel caldi localizzati sistematicamente in rapporto alla temperatura. Tale frame deve essere eseguito ad otturatore chiuso; in caso di CCD interline si procederà a chiudere il coperchio dell'apertura del nostro telescopio; il sensore non deve essere esposto ad alcuna fonte di luce. La temperatura deve essere calibrata esattamente per la stessa temperatura e lo stesso tempo di esposizione delle immagini che acquisiremo. La cosa

migliore è di eseguire una serie di immagini di dark per poi mediarle in un unico frame per limitare al minimo il rumore di lettura.

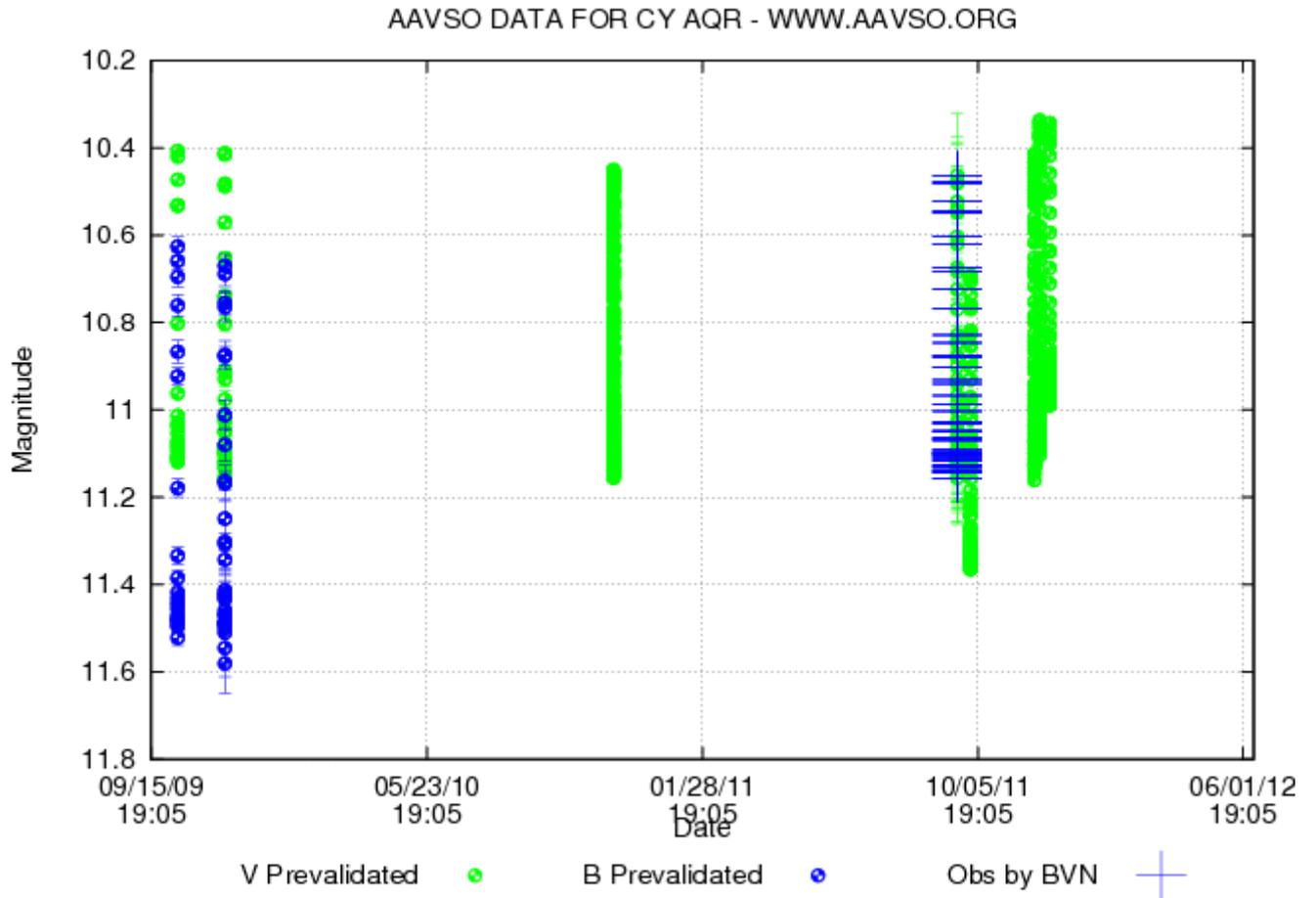
### **Il bias frame**

Il Bias frame ha il semplice scopo di annullare gli effetti dovuti al rumore elettronico della camera CCD, un rumore che per le camere dell'ultima generazione è in genere bassissimo ma comunque mai completamente assente. Questo frame si ottiene eseguendo un frame a tempo zero sottraendo poi la risultante all'immagine.

### **L'immagine di flat field (campo piano)**

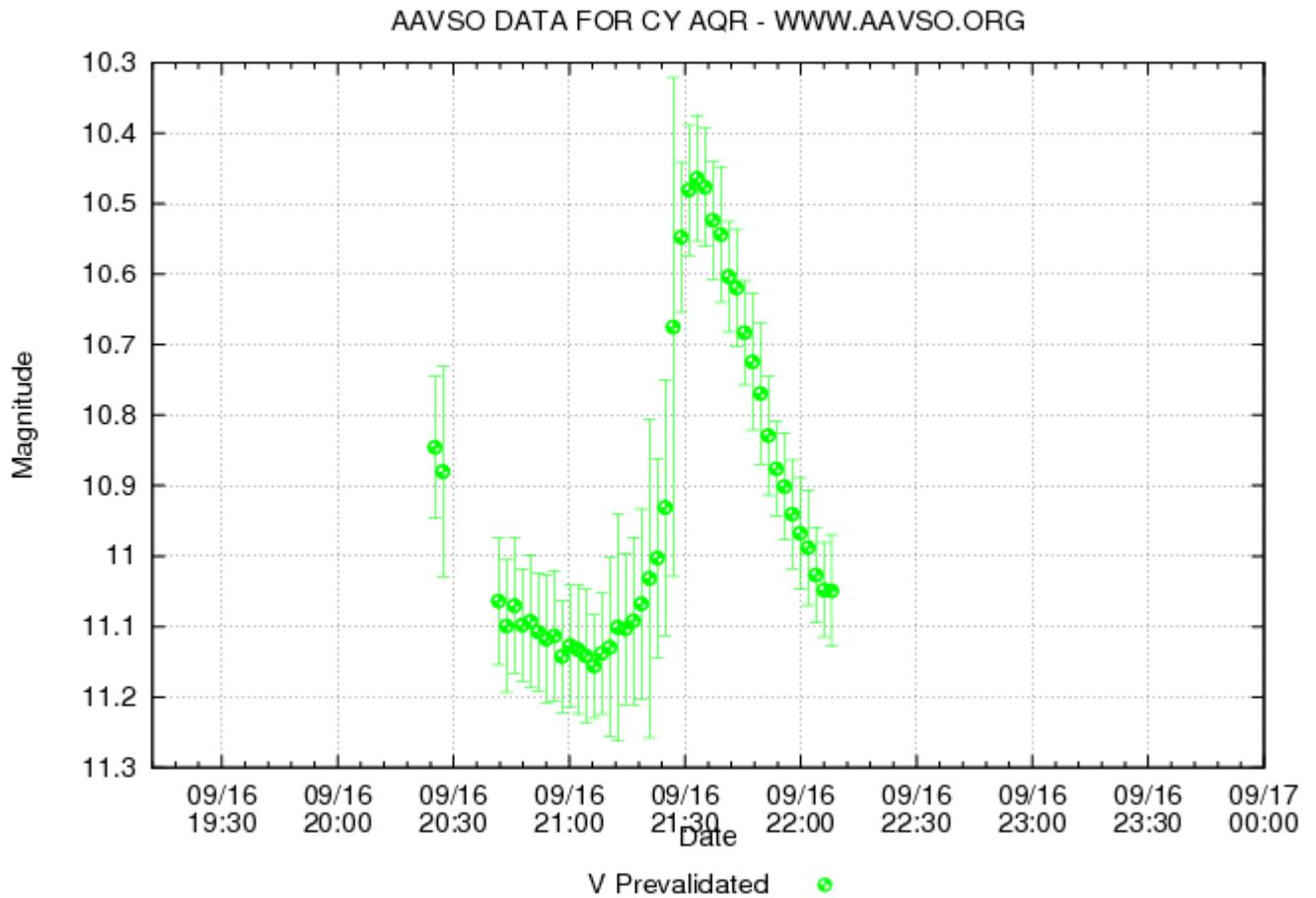
Il flat-field (dall'inglese campo-piano) serve per ottenere una certa uniformità di luce di fondo distribuita su tutto il frame, annullando o limitando al massimo gli effetti dovuti alla polvere depositata nelle ottiche o agli effetti di vignettatura. Vi sono diversi metodi più o meno complessi per eseguire correttamente tale frame. Un metodo particolarmente valido consiste nel porre a contatto con l'apertura del telescopio una lastra di plexiglas bianco opalino per poi direzionare il telescopio verso una parete bianca illuminata a distanza da una semplice lampada a incandescenza. Si esegue l'acquisizione dei frame sfruttando circa il 60 – 65% della dinamica del sensore. Una volta normalizzate le immagini possiamo pensare solamente alla fotometria delle nostre stelle all'interno del campo.

# CY AQUARIII



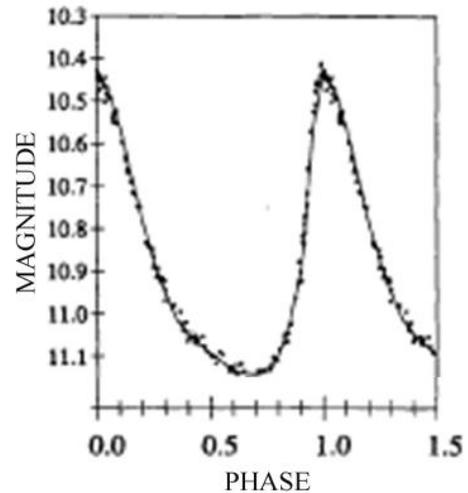
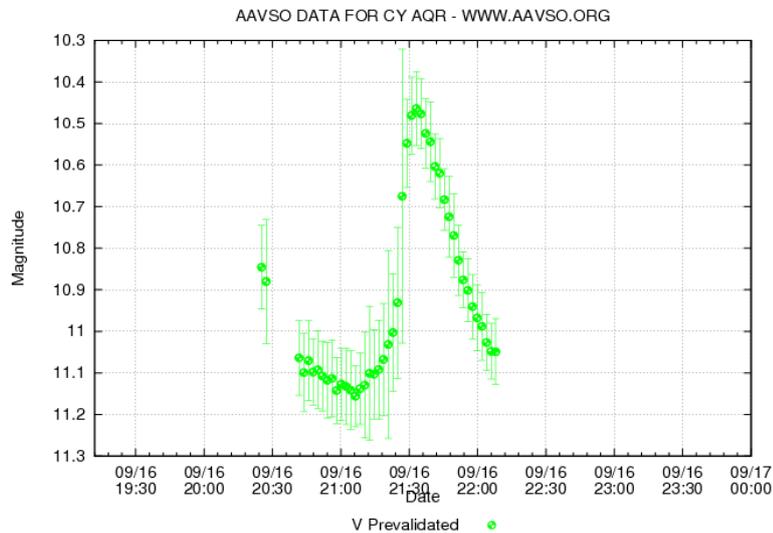
Curva di luce di CY AQR con  $\Delta t = 1000$  giorni ( dal 09/15/09 al 06/01/12) posto sull' asse delle ascisse e magnitudine sulle ordinate

Misura eseguita presso l' osservatorio di Seveso pubblicata presso AAVSO (American Association of Variable Star Observers) che ha confermato la variabilità della LL Lyrae CY AQR.



Stesso grafico di CY AQR relativo alle ore a cavallo dell' osservazione

## CONFRONTO CON LA CURVA DI LUCE DI CY AQR TRATTA DA "Publications of the Astronomical Society of the Pacific" del 30 settembre 1996



## ROTTURE EPISTEMOLOGICHE

Il pensiero moderno è caratterizzato da una profonda discontinuità con la conoscenza comune. **Bachelard** parla a proposito di una "rottura epistemologica" con il senso comune, cioè una rottura con le illusioni dei sensi e dell'immaginazione. Pensiamo a proposito a quanto trattato fino ad ora: lo studio presentato sembrerebbe andar ben oltre al senso comune, aprendo uno sguardo su un mondo per noi uomini invisibile. Comprendiamo allora che un elemento fondamentale per lo sviluppo della scienza moderna consiste nel superamento di svariati "ostacoli epistemologici" che possono essere individuati solo retrospettivamente, alla luce di una rottura epistemologica già avvenuta. Solo tramite una rottura con le illusioni sensibili e valutando il passato sulla base delle conoscenze attuali (distinguendo le parti valide da quelle non valide) è possibile uno sviluppo scientifico. Tali ostacoli vanno individuati, secondo Bachelard, tra i fattori che modellano, condizionano e limitano il nostro pensiero operando a un livello inconscio e, per così dire, precognitivo. Il processo che conduce al superamento di ostacoli epistemologici deve quindi attuarsi ai confini tra la dimensione conscia del pensiero teorico e quella inconscia dell'immaginazione. Un significato importante è svolto dal regno soggettivo e "poetico" dell'immaginazione che rappresenta, secondo Bachelard, un necessario completamento estetico della conoscenza scientifica.

BIBLIOGRAFIA:

*UAI : Unione Astrofili Italiani*

*EAN: "Le variabili pulsanti" di Daniele Gasparri*

*IL MANUALE DELLE STELLE VARIABILI: "Guida all' osservazione e allo studio delle stelle variabili" di Stefano Toschi, Simone Santini, Flavio Zattera e Ivo Peretto*

*FILOSOFIE DELLE SCIENZE di Vassallo*

*COME RAGIONIAMO di M. Frizione*

*FILOSOFIA E CULTURA di Antonello La Vergata e Franco Trabattoni*