

Esperienza n°2

Soli irrequieti: il fantastico mondo delle stelle variabili

Associazione Astrofili di Piombino

LINEARIS (Laboratorio Interdisciplinare per l'Educazione all'Astronomia ed alla Ricerca Scientifica)

29 gennaio 2010

«l' mi volsi a man destra, e puosi mente
a l'altro polo, e vidi quattro stelle
non viste mai fuor ch'a la prima gente.
Goder pareva 'l ciel di lor fiammelle:
oh settentrional vedovo sito,
poi che privato se' di mirar quelle!»

(Dante Alighieri, Purgatorio, canto I)

Descrizione generale.

L'esperienza propone di monitorare una stella variabile pulsante di corto periodo durante uno o più cicli, alla scoperta delle singolari variazioni di luminosità e delle loro ricorrenze; sarà estrapolata la curva di luce utile alla sua classificazione, servendosi di strumenti digitali e con il supporto di software specifici.

La strumentazione utilizzata è costituita dal telescopio rifrattore apocromatico 130 mm f/6.7 su montatura alla tedesca, presente nella specola secondaria, pilotato da computer a puntamento passivo e rilevatore digitale CCD posto al fuoco primario.

Cosa sono le stelle variabili

Le stelle variabili sono stelle che variano la propria luminosità nel tempo. Spesso le stelle variano in luminosità se sono molto giovani o molto vecchie. Le cause della loro variabilità possono essere **intrinseche** (espansione, contrazione, eruzione) o **estrinseche** (dovute cioè a cause esterne alla stella come ad esempio una compagna che causa delle eclissi). Nel cielo sono state catalogate circa 30.000 stelle variabili e altre 14.000 sono sospettate di esserlo. Perfino il nostro Sole è variabile se osservato accuratamente.

Le stelle variabili sono state catalogate in sei gruppi distinti:

- * VARIABILI ERUTTIVE
- * VARIABILI PULSANTI
- * VARIABILI DI ROTAZIONE
- * VARIABILI CATACLISMATICHE
- * VARIABILI AD ECLISSE
- * SORGENTI DI RAGGI X VARIABILI

Studiare le stelle variabili è molto importante perché possono rivelarci molto in merito alla natura, proprietà ed evoluzione delle stelle. Distanza, massa, raggio, struttura interna ed esterna, composizione, temperatura e luminosità possono essere determinate grazie allo studio delle stelle variabili.

Gli astronomi professionisti hanno poco tempo a disposizione per osservare le stelle variabili per molteplici cause (condizioni meteorologiche, pianificazione di programmi diversificati ecc..) e quindi è lasciato agli astrofili il compito di osservarle.

Nasce così l'esigenza di avere una sinergia tra astronomi professionisti e non professionisti nello studio delle stelle variabili. Determinarne il periodo di variazione o i comportamenti è compito dell'astrofilo, mentre l'astronomo ha il compito di creare modelli ed eventualmente osservare le stelle di maggior interesse con strumenti professionali, anche a diverse lunghezze d'onda.

VARIABILI PULSANTI

Sono denominate variabili pulsanti quelle stelle variabili che mostrano un'alternanza periodica di espansione e contrazione degli strati superficiali. Le pulsazioni possono essere radiali (cioè nella direzione della visuale) o non radiali.

Una stella variabile pulsante radiale mantiene la sua forma sferica. In caso di pulsazioni non radiali la stella si allontana periodicamente dalla forma sferica (si ovalizza) e zone vicine alla superficie possono avere fasi di pulsazioni opposte.

A seconda del periodo, della massa e lo stadio di evoluzione della stella, o in riferimento

ad altri fenomeni, si possono distinguere le seguenti categorie:

ALPHA CYGNI
BETA CEPHEI
CEFEIDE
DELTA SCUTI
L

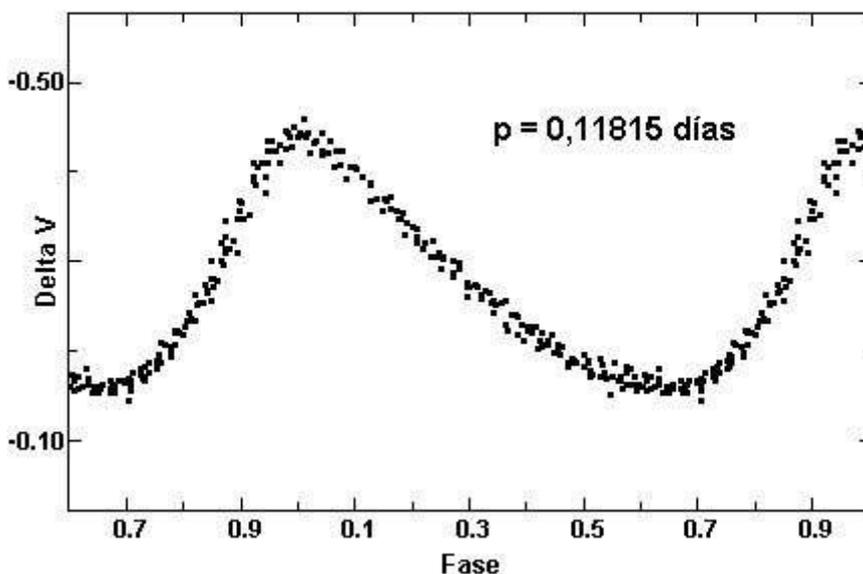
MIRA CETI
PV TELESCOPII
RR LYRAE
RV TAURI
SR

SX PHOENICIS
ZZ CETI
GAMMA DORADUS
53 PER

Tra esse poniamo in evidenza le seguenti tre classi, in quanto la stella presa in considerazione per l'esperienza osservativa può essere classificata all'interno di una di tali classi.

TIPO SX PHOENICIS

Le variabili del tipo SX Phoenicis (anche indicate con SX Phe) si comportano come le stelle del tipo Delta Scuti e infatti ci sono astronomi che pensano che non si dovrebbero trattare in maniera indipendente. Esse sono delle nane pulsanti appartenenti all'alone sferico intorno alla nostra Galassia, con tipo spettrale compreso tra A2 e F5 (colore bianco-verde). Possono mostrare simultaneamente diversi periodi di oscillazione, in generale di 0.04 - 0.08 giorni, con una variazione luminosa che può raggiungere le 0.7 magnitudini. Solitamente queste variabili si trovano negli ammassi globulari.



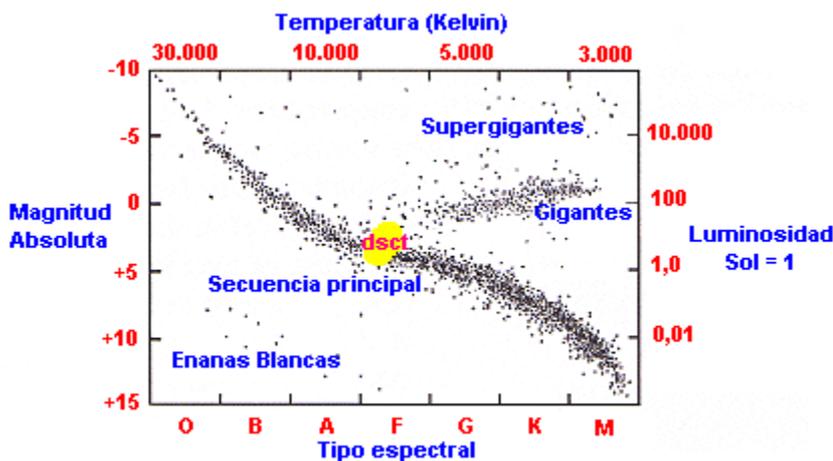
Questa curva di luce è un esempio di una variabile del tipo SX Phe la cui natura fu scoperta dal GEA nel 1997. Le SX Phe sono in realtà delle Delta Scuti di popolazione II che possiedono una bassa metallicità.

TIPO DELTA SCUTI

Le Delta Scuti sono stelle variabili di tipo spettrale A0 e F5 (colore bianco-verde) con ampiezze di variazione luminosa comprese tra 0.003 e 0.9 magnitudini (in generale alcuni centesimi di magnitudine) e un periodo compreso tra 0.01 giorni e 0.3 giorni (massimo).

La forma della curva di luce, il periodo e l'ampiezza di variazione variano molto da stella a stella. In questo tipo di stelle si osservano variazioni tanto radiali quanto non radiali.

La variabilità di certe componenti di questo gruppo appare solo sporadicamente. La curva di luce è un calco quasi esatto della variazione di velocità radiale. La massima velocità radiale non si discosta di oltre 0.1 giorni dalla variazione luminosa.



Posizione delle variabili Delta Scuti nel diagramma H-R. Esse si collocano nella banda di instabilità appena sotto le RR Lyrae.

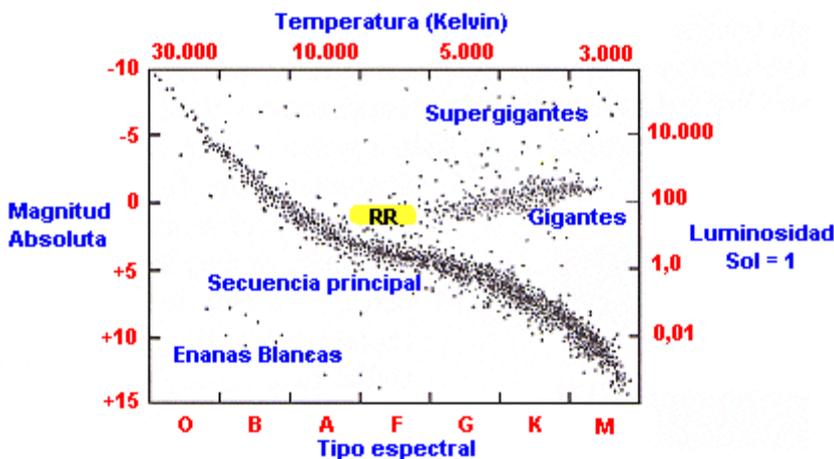
Anche il GCVS (General Catalogue of Variable Stars, vedi il sito internet <http://www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs>) mantiene la denominazione di Delta Scuti per quelle variabili che si trovano nel disco della galassia e negli ammassi aperti, mentre classifica come del tipo SX Phe quelle variabili che si trovano nell'alone e negli ammassi globulari, indicando che sono variabili apparentemente molto simili.

Secondo M.W. Feast (1996) esiste una grande confusione in merito alla nomenclatura di queste variabili e infatti si trovano Delta Scuti classificate come Cefeidi nane (Rrs), Cefeidi ultracorte, stelle tipo AI Velorum e SX Phe, sicché non esiste una ragione fisica precisa per classificare queste variabili in un gruppo o nell'altro.

TIPO RR LYRAE

Le variabili del tipo RR Lyrae sono stelle aventi una classe spettrale A o F (ancora colore bianco-verde) che mostrano pulsazioni radiali con periodi che variano tra i 0.2 e 1.2 giorni e un'ampiezza compresa tra 0.2 e 2 magnitudini.

Si sono osservati casi in cui la curva di luce è cambiata così come il periodo di variazione. Se questi cambi sono periodici sono denominati "effetto Blazhko".



Tradizionalmente si denominano RR Lyrae anche le Cefeidi a corto periodo e le stelle variabili degli ammassi. La maggior parte di queste variabili appartengono all'alone sferico della nostra Galassia.

Sono presenti anche negli ammassi globulari. Come per le Cefeidi, la velocità massima di espansione degli strati superficiali corrisponde alla massima luminosità della stella.

Circa 3 o 4 magnitudini meno brillanti delle Cefeidi, le RR Lyrae sono state osservate in molte delle galassie del Gruppo Locale, la Grande Nube di Magellano in particolare, dove ne sono state identificate più di 9000.

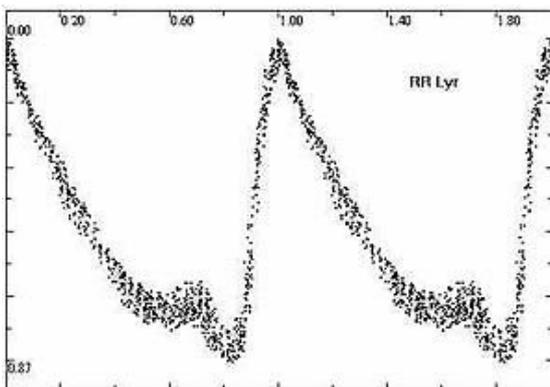
La teoria dell'evoluzione stellare le descrive come stelle di circa una massa solare nella fase di bruciamento dell'elio nel nucleo stellare e dell'idrogeno in un sottile guscio intorno al nucleo.

In base alla loro luminosità media nel diagramma colore-magnitudine si posizionano in una regione a luminosità costante chiamata "braccio orizzontale". Il fatto di avere luminosità media pressoché costante le rende degli ottimi indicatori di distanza per gli oggetti stellari in cui vengono osservate, purché ne sia stata determinata la magnitudine assoluta.

RRAB

Si tratta di variabili del tipo RR Lyrae aventi una curva di luce asimmetrica, un ramo ascendente rapido, con periodi compresi tra i 0.3 e 1.2 giorni e un'ampiezza compresa tra le 0.5 e le 2 magnitudini.

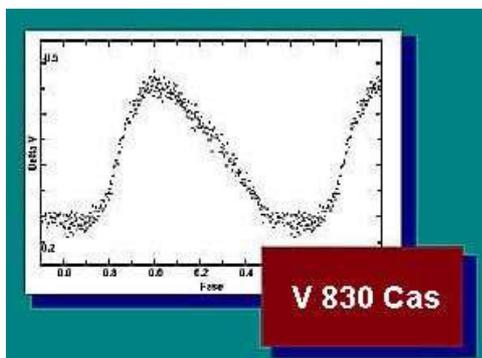
Proprio la stella RR Lyrae è il prototipo delle variabili di questo sottogruppo, la quale mostra una curva di luce asimmetrica caratterizzata da una rapida salita di magnitudine e una lenta discesa. Mostra un periodo di 0.5668 giorni modulato a causa del fenomeno detto effetto Blazhko, che consiste in una specie di onda che ricorre ogni 40.8 giorni facendo cambiare l'ampiezza di variazione della variabile. Si ignora la causa che provoca questo fenomeno che è presente anche in altre RR Lyrae, anche se in numero limitato.



*Curva di luce di RR Lyrae ottenuta
con un fotometro
dal GEA nel 1984 (Grup d'Estudis
Astronomic, Barcellona
<http://www.astrogea.org/>)*

RRC

Le variabili del tipo RRC sono caratterizzate da una curva di luce quasi simmetrica, spesso sinusoidale con periodi compresi tra i 0.2 e i 0.5 giorni e ampiezze che non superano le 0.8 magnitudini (come SX Uma).



V830 Cas una tipica RRC

Procedura osservativa.

L'esperienza osservativa della variabilità del flusso luminoso stellare è tradizionalmente articolata in **quattro** distinte fasi:

- Individuazione della stella variabile e delle stelle di confronto
- Registrazione digitale di sequenze di immagini a cadenza costante
- Elaborazione digitale nelle sequenze e prima lettura dei flussi luminosi
- Elaborazione di secondo livello normalizzazione della curva di luce

Individuazione della variabile e delle stelle di confronto

La prima cosa da fare è individuare la stella all'interno di un software planetario (SkyMap o The Sky) e nella banca dati dell'AAVSO (American Association of Variable Star Observers; <http://www.aavso.org>).



In particolare vanno create delle mappe con ampiezze del campo inquadrato (FOV: field of view) progressivamente più strette, fino a coincidere con il FOV atteso per il sistema CCD-telescopio utilizzato.

Quest'ultimo valore è così calcolato:

$$\text{FOV (arcsec)} = \frac{206265 \text{ L (mm)}}{\text{F (mm)}}$$

Dove:

FOV (arcsec) è il campo inquadrato in secondi d'arco

L (mm) è la dimensione del lato del CCD

F (mm) è la lunghezza focale del telescopio

L'immagine telescopica verrà confrontata con tali mappe in modo da identificare gli astri oggetto di misurazione, avendo cura di porli il più possibile centrati nel campo inquadrato. Questo aiuta nel riconoscimento delle stelle, che, talvolta, per il grande numero di astri presenti nella immagine, può essere difficoltoso.

The image shows the AAVSO Variable Star Plotter interface on the left and the resulting star chart for SS Cyg on the right.

AAVSO Variable Star Plotter Interface:

- Name:** SS Cyg
- Location:** RA and Dec fields (separated by spaces or colons).
- Title:** Title to be displayed top center of chart.
- Comment:** Custom chart by M. Templeton, AAVSO
- Plot a chart of this scale:** Choose (dropdown menu)
- FOV:** 20 (Field of view size, expressed in arc minutes)
- Resolution:** 100 (Print resolution of image, expressed in dots per inch)
- Mag. Limit:** (Limiting magnitude for stars)
- North:** Up (selected)
- East:** Right (selected)
- Image:** Use DSS Image (checked)
- Field Photometry:** Do not plot a chart, just give me a table of photometry (unchecked)
- Other Variables:** Mark all variables in the field of view (selected)
- Chart ID:** (The Chart ID of a previously created chart)
- Buttons:** Reset Fields, Plot Chart

Star Chart for SS Cyg:

- Chart Title:** SS Cyg
- Coordinates:** (2000) 21:42:42.80 +43:35:10.0
- AAVSO Chart ID:** 1519bf
- Star Data:** Magn: 7.7 - 12.4V, Period: 0.27513, Type: UGSS, Spec: K5V+pec(UG)
- Other Stars:** VSX 1214244.9+434028, NSV 25754, Domes SS Cyg, 119, 114, 128, 134, 121, 109, 98.
- FOV:** 20"
- Footer:** Custom chart by M. Templeton, AAVSO Please use the photometry table for CCD observations. Copyright © 2009 AAVSO

Registrazione digitale di sequenze di immagini a cadenza costante

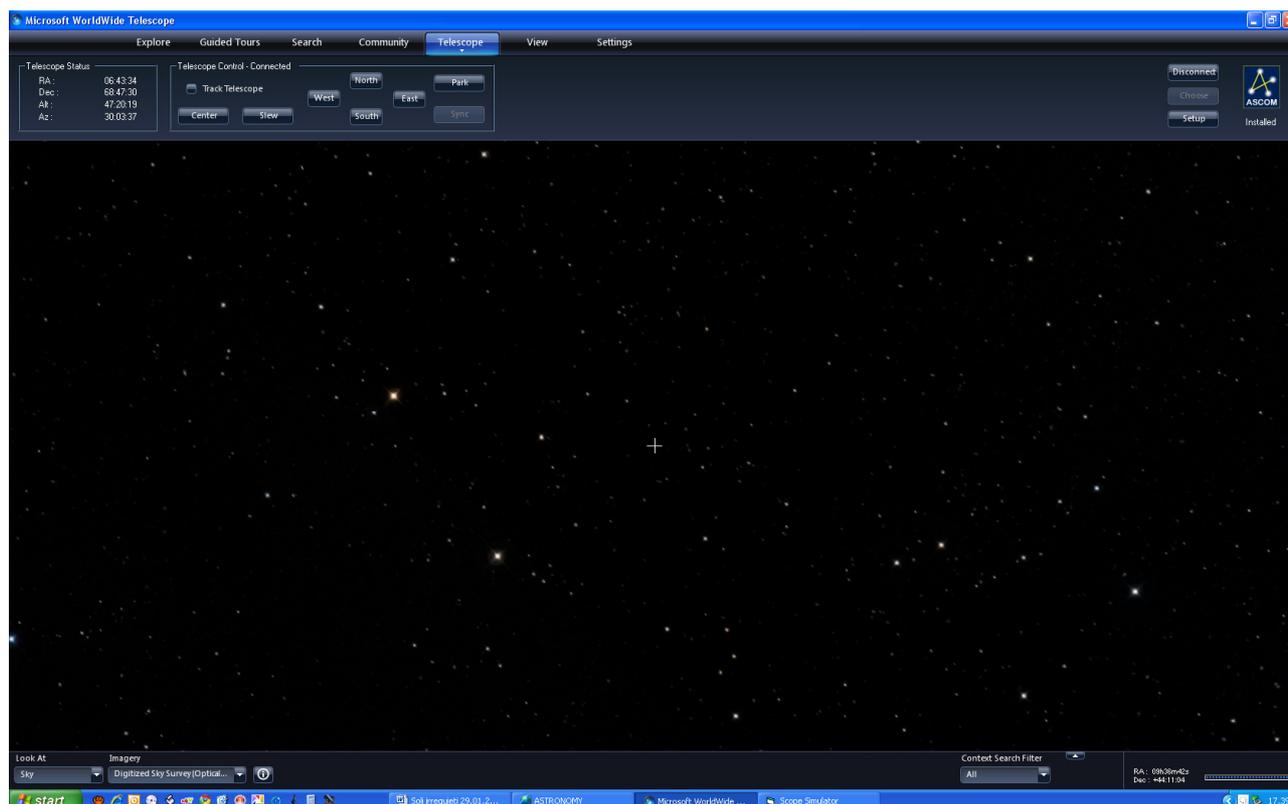
Si procede quindi alla realizzazione della sequenza di immagini necessarie alla corretta registrazione della variazione luminosa della stella AE Uma, nella costellazione dell'Orsa Maggiore.

Poiché la stella è una variabile di corto periodo (0.086 giorni, pari a circa 2 ore) la sequenza dovrà essere assai cadenzata, in modo da coprire nel modo più omogeneo possibile l'intera ampiezza della variazione luminosa.

A tal scopo è utile affermare che per ottenere una attendibile curva di luce sarà necessario poter contare su una sessantina di punti misurati per ogni ciclo.

Se immaginiamo di suddividere l'intero ciclo di variazione in, diciamo, 10 tratti di 12 minuti ciascuno, avremo 6 misurazioni per tratto (una ogni due minuti), che rappresentano un numero significativo di punti in grado di minimizzare l'errore della misura.

Di ogni immagine vengono rilevati il dato temporale (giorno e ora in cui è stata effettuata la stima, in tempo medio locale) e le condizioni generali (altezza sull'orizzonte, agitazione atmosferica, inquinamento luminoso, etc.).



Tempo di esposizione e problema scintillazione

A causa dell'agitazione atmosferica, l'immagine della stella appare vibrare irregolarmente intorno ad un centro, che rappresenta il punto nel quale vedremmo la stella in assenza di agitazione.

Avendo come obiettivo la massima riduzione possibile dell'errore della stima fotometrica, dobbiamo fare in modo che la scintillazione atmosferica abbia il minor effetto possibile. Mentre il diametro del telescopio non si può variare, è utile fare fotometria nelle condizioni di minimo angolo zenitale della stella (massima altezza sull'orizzonte) e con tempi di integrazione il più lunghi possibile (10-20 secondi), naturalmente trovando un

compromesso con la durata dell'evento stesso, con il rischio di saturazione del sensore CCD e con la precisione dell'inseguimento del telescopio.

Allungare il tempo di esposizione permette di ottenere immagini nelle quali l'oscillazione istantanea della stella viene mediata, migliorando conseguentemente la qualità dell'informazione contenuta nell'immagine digitale (miglior rapporto segnale/rumore, minore errore statistico).

Elaborazione digitale nelle sequenze e prima lettura dei flussi luminosi

I dati rilevati durante l'osservazione vengono elaborati immediatamente, estrapolando dalle immagini i valori dei flussi luminosi, al fine di ottenere grandezze coerenti per la costruzione della curva di luce.

Generalmente la stima grezza del flusso luminoso viene elaborata in ADU (unità analogico-digitali fornite dalla lettura del CCD) ed il tempo viene registrato in TMEC (tempo medio del fuso orario Italiano), il tutto per ogni singola sessione osservativa.

La procedura utilizzata è quella della fotometria differenziale.

Il concetto alla base di questa procedura è questo: in ogni posa, oltre a ricavare il flusso luminoso della variabile V, si ricava il flusso di un'altra stella C nelle immediate vicinanze. Si calcola la differenza tra i due valori di illuminamento e si traccia questa variabile nella curva di luce:

$$\text{Delta V} = V_{\text{misurata}} - C_{\text{misurata}}$$

L'estrema vicinanza delle due stelle fa in modo che gli effetti negativi dello strato atmosferico attraversato dalla informazione luminosa siano praticamente gli stessi per le due stelle in ogni momento, per cui l'estinzione atmosferica si comporterà allo stesso modo nei due casi lasciando pressoché inalterato il differenziale.

Anche il problema della copertura nuvolosa è risolto: se in una certa posa una leggera velatura blocca una certa percentuale di flusso di una stella, la stessa cosa farà con l'altra stella e il differenziale ancora una volta rimarrà inalterato.

La fotometria differenziale è utile se la stella di riferimento è il più possibile vicina a quella studiata e se non presenta alcuna rilevabile variabilità. Per questo motivo vanno utilizzate delle stelle di confronto conosciute e solitamente già individuate nelle carte dell'AAVSO.

Alla fine della sessione il TMEC viene trasformato in Tempo Universale (TU) e quindi in Giorni Giuliani (unità di riferimento temporale standard degli eventi astronomici).

Dalla curva di luce ottenuta con valori ADU, conoscendo il valore della magnitudine della stella di riferimento, si ricaverà la magnitudine della stella studiata, utilizzando il software Astroart.

Astroart consente altresì di migliorare sensibilmente la stima della variazione luminosa attraverso il calcolo della cosiddetta “*ensemble photometry*”. In questo metodo vengono usate più di una stella di confronto presente all’interno del campo stellare; il software, una volta effettuata la selezione delle stelle di confronto sulla base di quanto indicato dalle schede AAVSO, computa automaticamente una magnitudine standard per ogni coppia di misurazioni del parametro V-C e ne effettua una media ponderata al fine di ottenere un singolo valore della magnitudine della variabile.

Il beneficio di questa procedura consiste nella riduzione degli errori fotometrici usando un maggior numero di stelle di magnitudine conosciuta.

Elaborazione di secondo livello normalizzazione della curva di luce

Mentre l’elaborazione di primo livello è specifica di ogni osservazione, l’elaborazione di secondo livello si occupa di cumulare insieme le stime di più osservazioni successive (o di più osservatori) al fine di ottenere una attendibile curva di luce. Questa ultima fase è effettuata successivamente, senza l’ausilio del telescopio, ma solo con software specifici dedicati alla elaborazione ed interpretazione dei dati rilevati.

Dal confronto delle curve di luce e dalla loro analisi sarà possibile formulare ipotesi sulla tipologia della fluttuazione luminosa ed in ultima analisi sulla classificazione della stella, la cui verifica sarà possibile confrontando le curve di luce ottenute in osservatorio con le curve di luce di altre stelle variabili dello stesso tipo, pubblicate sul sito della AAVSO.

L’esperienza si concluderà con la redazione di un rapporto da parte degli studenti partecipanti, nel quale verranno inseriti e descritti i risultati delle osservazioni e le ipotesi di classificazione.

L'esperienza proposta dal POF di Linearis concerne le prime tre fasi, mentre la quarta verrà effettuata dai soci della AAP in un successivo momento, le cui conclusioni saranno trascritte in una scheda osservativa che verrà consegnata al docente scolastico ed agli studenti partecipanti per uso didattico, da aggiungere al rapporto effettuato dagli studenti.

Obiettivi formativi: saper impostare una attività sperimentale, imparare a riconoscere le grandezze significative che hanno valore per la descrizione fisica del fenomeno, imparare ad effettuare misurazioni astronomiche, imparare ad analizzare i dati numerici con l'ausilio di software specifici.

Bibliografia e Sitografia

Per la stesura di queste dispense si è fatto pieno riferimento ai seguenti apparati disponibili in rete:

1. Toschi, Santini, Zattera, Peretto, Il Manuale delle Stelle Variabili, GRAV, 2006
2. AA.VV. The AAVSO CCD Observing Manual, AAVSO, Cambridge MA, 2009
3. Fabio Zucconi, Fotometria differenziale della stella GSC 03413-00005 durante un transito del pianeta extrasolare XO-2b, Tesi di laurea, Università di Pavia, 2008
4. William Romanishin, An Introduction to Astronomical Photometry using CCD's, University of Oklahoma, 2001
5. <http://www.grav.it/>
6. <http://www.aavso.org/>
7. <http://www.astrogea.org/>
8. <http://www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs>
9. http://stellevariabili.uai.it/index.php/Pagina_principale

Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento va a Toschi, Santini, Zattera e Peretto, dal cui manuale è stata tratta la sezione dedicata alle variabili pulsanti.