

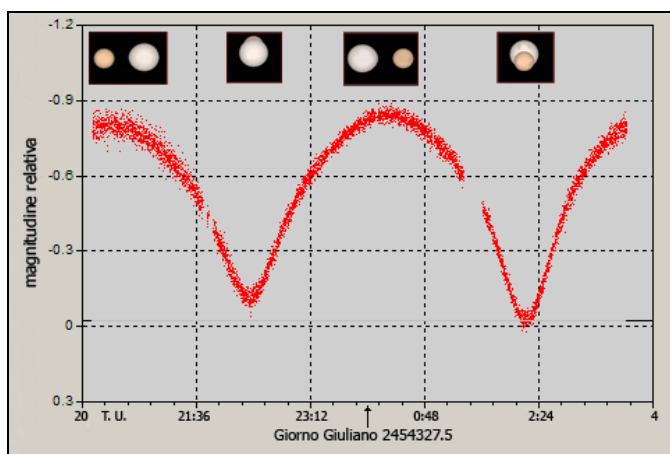
## Variabili al minimo

GIUSEPPE MARINO

*Un campo in cui l'astrofilo può dare il suo contributo alla scienza è lo studio dei sistemi binari a eclisse. Scegliamo il livello più adatto a noi e cominciamo a operare: con una CCD è facile.*

Si parla spesso del potenziale scientifico degli astrofili, soprattutto dei tanti dotati di CCD. Eppure sono frequenti obiezioni del tipo: “Vuoi mettere il fascino di una foto a colori con la freddezza di un grafico?”. Come astrofotografo di vecchia data, so quanto esaltante possa essere la ripresa di un pezzetto di cielo; però posso assicurare che è altrettanto intrigante ottenere la curva di luce di una stella variabile: è un entusiasmo che più volte ho letto negli occhi di chi ha fatto questa esperienza. E che dire della soddisfazione di poter versare la propria piccola goccia nell’oceano del progresso scientifico! Il bello è che ottenere risultati scientifici è più semplice di quanto si creda. Senza considerare che oggi, grazie ai telescopi controllabili via Internet, si può persino fare a meno di strumentazione propria. Vogliamo provare con le binarie a eclisse?

Pensiamo ad Albireo (*beta* Cygni): ad occhio nudo appare come una stellina, ma al telescopio se ne riconosce la natura binaria. Immaginiamo adesso che le due stelline che la compongono siano cento o mille volte più vicine tra loro: potremmo non scoprirne mai la duplice natura con osservazioni visuali o fotografiche. Stelle così vicine che si orbitano reciprocamente, possono occultarsi a vicenda se il piano su cui sviluppano le loro rivoluzioni è favorevolmente inclinato per l’osservatore terrestre; in tal caso, chi le osserva noterà periodiche diminuzioni di luminosità nella curva di luce (i “minimi” di luce), generalmente un minimo principale e un minimo secondario.



*Curva di luce della binaria a eclisse (con stelle a contatto) SW Lacertae (periodo orbitale di circa 8h) ottenuta dall'autore la notte del 14 agosto 2007. Ogni punto rappresenta la magnitudine di SW Lac rispetto a una stella di confronto. Nei riquadri sono riportate le tipiche configurazioni orbitali ai massimi e ai minimi di luce di una binaria.*

L'intervallo di tempo tra due minimi di luce omonimi corrisponde al periodo orbitale e l'analisi approfondita della curva di luce può fornire informazioni sulle dimensioni e sulla separazione delle componenti stellari.

E se le componenti di una binaria fossero così vicine da scambiarsi materia? E se in realtà le stelle fossero tre? E se una delle stelle andasse soggetta a un'attività magnetica come il nostro Sole? In questi casi, piuttosto frequenti, la velocità orbitale subisce delle variazioni su scale temporali che possono andare da qualche settimana ad anni o decenni. Queste variazioni orbitali si possono dedurre rilevando con precisione gli istanti in cui si verificano i minimi di luce. Superfluo, a questo punto, evidenziare l'importanza delle implicazioni astrofisiche.

### **Livello 1 - Il vostro primo minimo.**

Collegiamoci al sito Internet del Rolling Hills Observatory ([www.rollinghillsobs.org:8000/perl/calcEBephem.pl](http://www.rollinghillsobs.org:8000/perl/calcEBephem.pl)): potremo così sapere se nella nottata si prevedono minimi di qualche variabile. Scegliamo la nostra stella e, per sicurezza, verifichiamo l'orario delle previsioni collegandoci anche al sito: [www.as.wsp.krakow.pl/ephem](http://www.as.wsp.krakow.pl/ephem).

Regoleremo con precisione l'orologio interno del nostro computer (si può fare anche via Internet grazie al programma gratuito *Atomic Clock Sync* - <http://www.onlinedown.com/detail/3668.htm>) e, un'oretta prima dell'orario previsto, punteremo il telescopio con la CCD sulla stella prescelta, facendo in modo che nel campo di ripresa compaia almeno un'altra stella di luminosità paragonabile: servirà come stella di confronto (sperando che anch'essa non sia una variabile!). Adesso dovremo riprendere in sequenza il campo per un paio d'ore (fissate la temperatura del sensore CCD, per esempio a  $-10^{\circ}\text{C}$ ). Il nostro *software* di ripresa (per esempio *Maxim DL*) consente certamente di impostare la sequenza di riprese, indicando il numero totale di immagini che vogliamo ottenere, il tempo di posa per ciascuna e l'intervallo tra una posa e l'altra. Per decidere il tempo di posa, dovremo dapprima conoscere il limite "di saturazione" (cioè il massimo valore del segnale elettronico - misurato in ADU) che un singolo *pixel* della nostra CCD è in grado di fornire. Con le CCD più comuni si riprende a 16 bit e quindi il limite di saturazione è  $2^{16} = 65535$  ADU (se abbiamo dei dubbi, faremo una posa lunga su una stella luminosa, leggeremo la luminosità in ADU del *pixel* centrale e conosceremo il nostro limite!). Innanzitutto, riprendiamo qualche immagine di prova e portiamo il cursore sulle stelle che ci interessano per leggere l'intensità del segnale: se rileviamo valori tra 1/10 e 3/4 del nostro limite di saturazione, allora "OK, il tempo è giusto!". A questo punto, potremo lanciare la sequenza (senza intervallo di tempo tra una posa e l'altra) e, se il telescopio ha un moto d'inseguimento preciso, potremo nel frattempo anche andare a guardare la TV. Tutto qui.



L'autore in "assetto da fotometrista". Al fuoco diretto del telescopio è montata la CCD, comandata da un PC portatile attraverso la porta USB. La CCD e il PC, di proprietà del Gruppo Astrofili Catanesi, sono utilizzati dai soci.

A fine serata, ci ritroveremo fra le mani una quantità spaventosa di immagini. Cosa farne? Qualcuno potrebbe anche fermarsi a questo livello e inviarle a chi scrive, che raccoglie questi dati per conto della Sezione Stelle Variabili dell'Unione Astrofili Italiani: entro qualche mese potrebbe vedere pubblicata la sua curva di luce, ed entro un anno l'istante di minimo ricavato dai suoi dati potrebbe trovarsi in una delle circolari professionali *IBVS* (*Information Bulletin on Variable Stars*) dell'IAU (*International Astronomical Union*), usualmente consultate dagli astronomi.

## **Livello 2 - La nostra curva di luce.**

Qualcuno però vorrà provare a estrarre da sé le magnitudini dalla propria sequenza di immagini, per tracciare la curva di luce. Ebbene, molti *software* di elaborazione (*Maxim DL*, *Iris*, *Astroart* e altri ancora) lo consentono.

Chi è pratico di riprese CCD avrete già trattato le immagini per le esposizioni di *dark*; in genere, la fotometria può fare a meno della calibrazione per il *flat field*.

Apriamo una delle immagini con il nostro programma di elaborazione e proviamo a muovere il cursore tra le stelle: in corrispondenza delle più luminose ci verrà segnalato un valore (ADU) più elevato, con un picco nel punto centrale di ogni "dischetto" stellare (in gergo il dischetto è detto "PSF" – *Point Spread Function*). Visivamente si nota solo la diversa dimensione delle stelle. In realtà è l'intensità del picco che cambia, mentre i dischetti stellari hanno praticamente lo stesso diametro su tutta l'immagine: semplicemente succede che per le stelle più deboli la visualizzazione sullo schermo non permette di "staccare" l'evanescente alone più esterno dal "rumore" del fondo. L'estensione della PSF stellare dipende essenzialmente dal *seeing* atmosferico, è viene misurata, in *pixel*, dal valore di FWHM (*Full Width at Half Maximum*): ogni programma per elaborazione di immagini CCD permette di misurarla semplicemente posizionando il cursore sulla stella o selezionandola. Dovremo fare sempre attenzione che le nostre stelle non vadano oltre il limite di saturazione, per colpa di una posa troppo lunga. In fotometria, le "stelle saturate" devono essere

evitate come la peste! Per esse, la CCD non è stata in grado di rendere l'effettiva luminosità, e la PSF si mostrerà malamente dilatata.

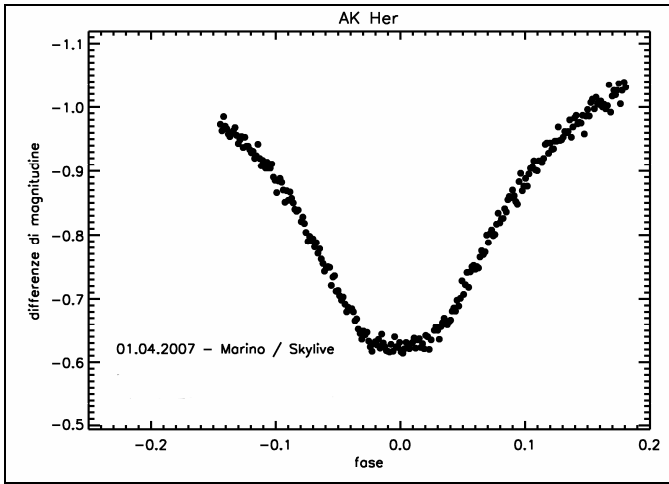
Su ogni immagine della sequenza, le magnitudini della stella variabile e della stella di confronto saranno ricavate, dal nostro *software*, sommando l'entità del segnale elettronico (ADU) di tutti i *pixel* all'interno della PSF delle due stelle. I programmi più comuni estraggono le magnitudini per tutta la sequenza di immagini. Una volta che avremo cliccato sulla stella variabile e sulla stella di confronto, *Maxim DL* ritroverà automaticamente gli stessi oggetti in tutte le immagini. Con *Iris*, invece, bisogna allineare (mettere a registro) tutte le immagini, dopodichè dovremo indicare la posizione occupata dalle stelle su una qualsiasi delle immagini allineate.

Come risultato otterremo un *file* di testo con una tabella a tre colonne: i tempi compariranno nella prima, mentre le altre due conterranno le magnitudini della stella variabile e della stella di confronto. A questo stadio, le magnitudini sono dette *strumentali*: i valori ottenuti dipendono infatti dalla nostra particolare strumentazione e non devono essere confusi con le magnitudini standard che usano gli astronomi. Ma questo a noi non interessa, né ci preoccuperemo se i valori sono troppo elevati o addirittura negativi: a noi serve solo la differenza tra i valori delle due colonne, cioè la variazione di magnitudine della variabile rispetto alla stella di confronto.

E se durante le riprese fosse passato qualche velo di nubi? Niente paura: sia la variabile che la confronto avranno subito un'attenuazione simile, così la differenza non dovrebbe esserne affetta: è questo il bello della fotometria differenziale! Ma siamo sicuri che la stella di confronto non sia, essa stessa, una variabile? Il dubbio è lecito: meglio verificare la stabilità della confronto rispetto a una stella *check* ("di controllo") anch'essa scelta tra quelle presenti nel campo di ripresa.

Ormai ci siamo. Ultimi controlli: il nostro *software* ci darà i tempi espressi in Giorni Giuliani, che vanno benissimo. Assicuriamoci soltanto che corrispondano al Tempo Universale nell'istante medio di ogni singola posa.

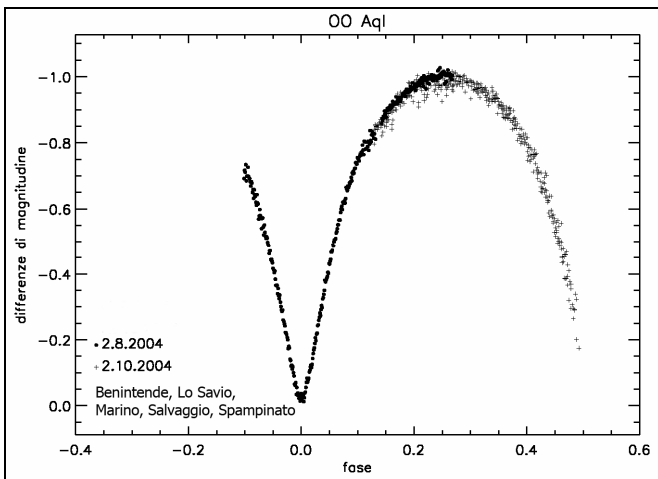
Adesso visualizziamo il grafico con un comune foglio elettronico: avremo la curva di luce del nostro minimo, con i tempi in ascisse e le differenze di magnitudini (rispetto alla stella di confronto) in ordinate. Generalmente, gli astronomi riportano in ascisse le fasi orbitali, indicando con 0 la fase corrispondente ai minimi principali; con questo artificio, è possibile mettere insieme i dati ottenuti anche in più notti. Questo, e molto altro ancora, è possibile farlo grazie all'ottimo programma *AVE*, sviluppato da Rafael Barberá, disponibile gratuitamente all'indirizzo <http://www.astrogea.org/soft/ave/avenint.htm> .



*Minimo principale di AK Herculis ottenuto, via Internet, con uno dei telescopi del Progetto Skylive-GAC-UAI. In ascissa, il tempo è riportato come frazioni della fase orbitale. Quella notte (1° aprile 2007), l'autore lanciò la sequenza e poi andò a potenza delle nuove tecnologie!*

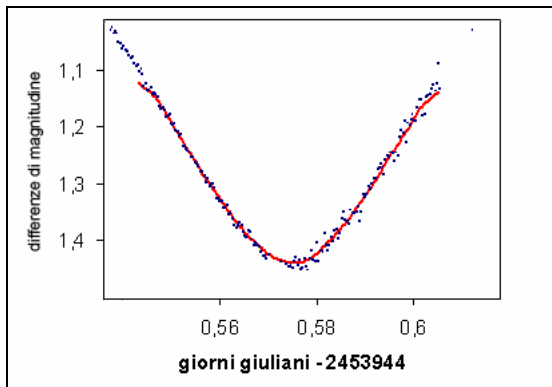
### **Livello 3 - Stima dell'istante centrale dell'eclisse.**

Qui cominciamo davvero a fare gli scienziati. A questo livello non basta saper riprendere e ridurre le immagini CCD: tuttavia, con un programma scaricabile da Internet saremo in grado di ricavare, per la nostra curva di luce, la miglior stima dell'istante di minimo.



*Minimo e massimo di OO Aquilae ottenuti a distanza di due mesi e riportati in grafico in funzione della fase orbitale. La diversa dispersione dei dati dipende dalle differenti condizioni del seeing.*

Proveremo con il programma *Avalon* di Adriano Gaspani, che ci restituisce una buona stima dell'istante centrale di minimo tracciando una curva che interpola (*fit*) i dati. Useremo però i tempi senza includere la parte intera dei Giorni Giuliani; se poi la curva interpolatrice è asimmetrica o assume forme strane, probabilmente c'è troppa dispersione tra i dati (per cattivo *seeing* o perché la stella è troppo debole). In questi casi, è meglio raggruppare i dati a cinque o a dieci e sostituirli con le loro medie (si perderà in "risoluzione temporale" ma si guadagnerà nell'accuratezza del risultato finale).



Il fit (linea rossa) - tracciato grazie al programma Avalon - della parte centrale del minimo principale di *Z Vulpeculae*, osservato dall'autore il 28 luglio 2006. In questo caso, i punti rappresentano i dati mediati a gruppi di cinque, per ridurre la dispersione. Come output, Avalon fornisce anche l'istante del minimo.

Più diffuso è il metodo K-W (Kwee & van Woerden), che analizza matematicamente l'andamento ai lati del minimo. Il succitato programma *AVE* permette di applicare questo metodo con estrema facilità.

L'istante centrale del minimo è il dato più importante ricavabile dalle nostre curve di luce. Chi si occuperà di pubblicarlo dovrà trasformarlo in Giorno Giuliano eliocentrico, cioè riferirlo alla posizione del Sole (anche questo lo potremmo fare noi con semplici programmi scaricabili dalla rete): la differenza con il Tempo Universale ammonta al massimo a circa 8m, pari al tempo impiegato dalla luce per percorrere la distanza Terra-Sole.

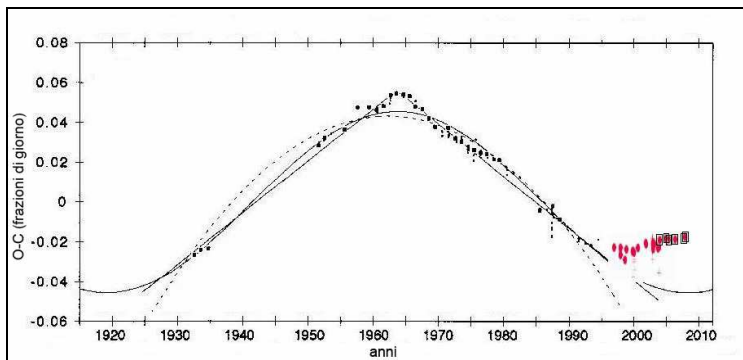
#### **Livello 4 – Orbite stellari**

Arrivati a questo livello, comincia l'analisi critica dei dati. L'astrofilo medio può farlo, al più, per curiosità: spetta agli astronomi professionisti utilizzare i tempi dei minimi, inclusi quelli pubblicati dagli astrofili, per interpretare le eventuali variazioni di periodo orbitale e analizzarle dal punto di vista fisico.

Al Livello 1 ho parlato di previsioni degli istanti di minimo, ma è chiaro che le previsioni per una binaria a eclisse sono possibili se, almeno in un'occasione, è stato rivelato un suo minimo (il minimo di riferimento è detto *Epoca iniziale*) e già se ne conosce il periodo orbitale. Però, il periodo orbitale potrebbe anche cambiare. In effetti, le migliori previsioni sono quelle che possono basarsi anche su osservazioni relativamente recenti, che permettano di stimare l'attuale tendenza della variazione di periodo, nonché di minimizzare la propagazione delle piccole incertezze sul periodo stesso. Quanti più istanti di minimi vengono pubblicati per ogni binaria, tanto più è chiaro il *trend* di eventuali variazioni orbitali, sulla base delle quali si possono ricavare le informazioni astrofisiche cui si accennava all'inizio.

A causa delle variazioni di periodo orbitale, ci può essere uno scarto tra l'istante osservato e quello previsto (calcolato). Tale scarto, detto O-C (Osservato meno Calcolato), sarà pari a se il periodo non ha subito variazioni, per esempio dovute a scambi di materia in sistemi con stelle a contatto o semi-distaccate. Oscillazioni periodiche dell'O-C (e quindi del periodo orbitale) possono

essere dovute alla presenza di un terzo corpo intorno alla binaria, mentre sono ancora da chiarire le complesse relazioni tra rotazione e cicli di attività magnetica (in questo caso possono essere evidenti, sulle curve di luce, gli effetti della presenza di enormi macchie e facole sulle superfici stellari).



*Variazioni degli scarti (O-C) tra minimi osservati e previsti, per OO Aql. Il diagramma è riadattato da quello presentato nel 1996 da Demircan & Gürol sulla rivista professionale Astronomy & Astrophysics Supplements. Sono aggiunti, in rosso, gli (O-C) dei minimi pubblicati dopo il 1996, ed evidenziati i dati acquisiti in ambito UAI (Sezione Stelle Variabili). Si può escludere una variazione periodica?*

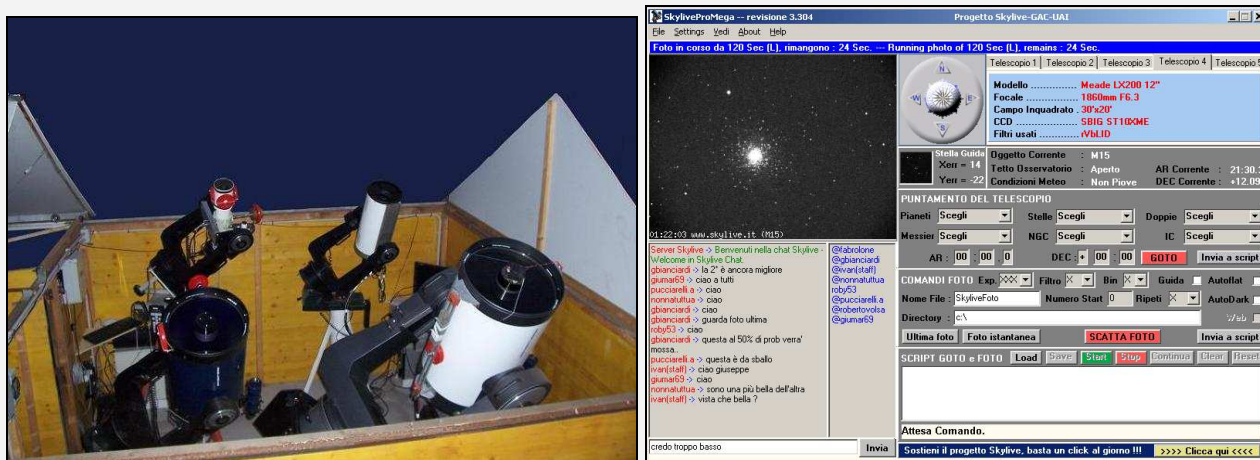
Cosa fare con le proprie osservazioni? Qualunque sia il livello al quale ci fermeremo, il nostro contributo scientifico è assicurato se non lasciamo i nostri dati in un cassetto. Se volete, potete mandarli a chi scrive (giumar69@gmail.com), che provvederà alla loro pubblicazione sull'*IBVS* inserendo i vostri nomi tra gli autori della comunicazione.

## Osservare in Internet grazie a *Skylive*

Non solo immagini di nebulose o galassie, commentando in diretta le riprese con gli altri astrofili collegati: da qualche tempo, gli utenti abilitati ai comandi dei telescopi *Skylive-GAC-UAI* possono prenotare la strumentazione per effettuare fotometria di asteroidi o di stelle variabili, per andare a caccia di supernovae (con una *utility* dedicata) o per svolgere altre ricerche scientifiche. Il tutto, stando comodamente a casa propria, magari dedicandosi ad altro mentre è in corso una sequenza di riprese CCD.

*Skylive* è stato il primo telescopio in Italia manovrabile da qualunque utente di Internet. Sostenuto dal Gruppo Astrofili Catanesi "Guido Ruggieri" e dall'Unione Astrofili Italiani, il *Progetto Skylive-GAC-UAI*, è coordinato dal catanese Ivan Bellia, suo ideatore e realizzatore. Oggi si avvale di quattro telescopi (il maggiore ha un diametro di 40 cm) contemporaneamente attivi, con altrettanti CCD e ruote portafiltri (includenti filtri fotometrici, RGB e H-alfa), situati a Pedara, in provincia di Catania.

Puntare i telescopi da casa propria (pagando una quota irrisoria - necessaria per sostenere il Progetto) o partecipare, gratuitamente, alle riprese degli altri utenti (e comunicare in *chat*) è semplicissimo. Basta scaricare gratuitamente il programmino *Skylive ProMega* dall'indirizzo [www.skylive.it](http://www.skylive.it) per attivare il pannello di controllo sul proprio computer.



A sinistra, i telescopi a controllo remoto via Internet del Progetto Skylive-GAC-UAI.

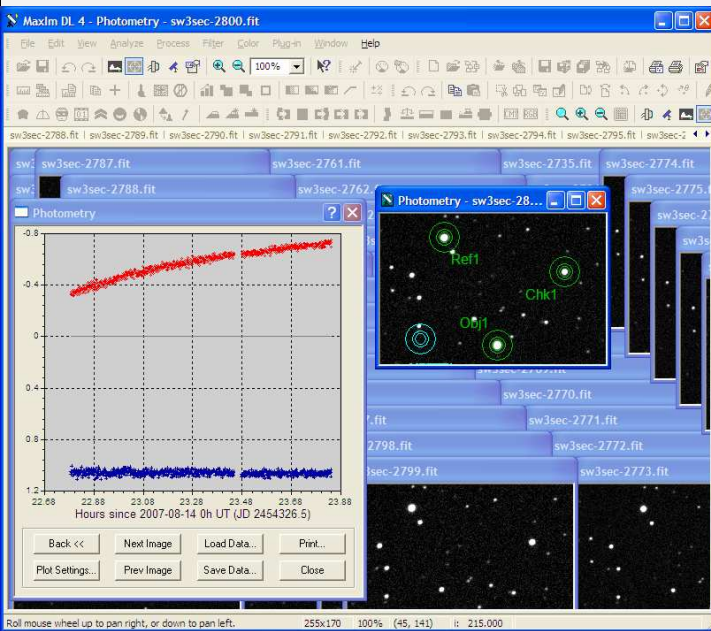
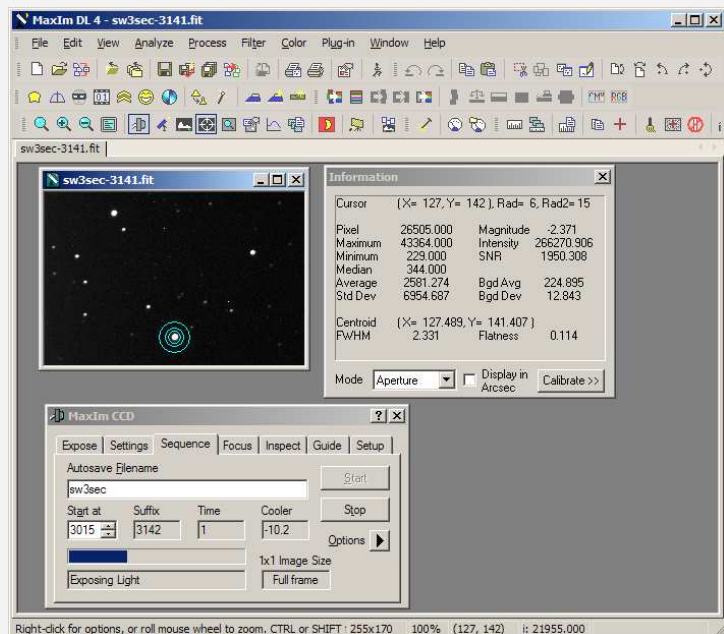
A destra, il pannello di controllo: sotto l'immagine "live" (esposizioni da 1s a ciclo continuo) è visibile l'area per la chat tra gli utenti collegati.



## Maxim DL: riprendere, elaborare e analizzare immagini CCD

Maxim DL è uno dei software più diffusi per la gestione delle immagini CCD, sia in fase di ripresa che in fase di elaborazione.

Nella prima figura di questo riquadro è visibile una schermata del programma durante una sequenza di riprese CCD della binaria a eclisse SW Lac (la stella in basso), su cui poi è stata effettuata la fotometria (la stella in alto a sinistra è stata adottata come stella di confronto). Nella ripresa delle immagini bisogna scegliere *binning* (accorpamento di *pixel* contigui) e il tempo di esposizione in modo tale che il massimo del segnale in corrispondenza delle stelle interessate non sia troppo vicino al limite di saturazione e che la FWHM sia intorno ai 2 *pixel*.



Nella seconda figura è mostrato il risultato della fotometria di una sequenza di riprese della SW Lac: dopo aver aperto le immagini, con *Analysis* → *Photometry* bisogna cliccare sulla stella variabile (*Object*), sulla stella di confronto (*Reference star*) e sulla stella *check*. Cliccando col tasto destro si può stabilire la dimensione dell'apertura circolare entro cui estrarre il segnale (da fissare ad almeno il doppio della FWHM), e l'ampiezza dell'anello circostante, nel

quale verrà stimato il fondo cielo.

Maxim DL è in grado di ritrovare, in tutte le riprese, gli oggetti selezionati; se non vi riuscisse, si può esplorare la sequenza per individuare le immagini su cui il programma ha fallito, ed eventualmente escluderle. Il risultato è mostrato nel grafico: in rosso è visualizzata la differenza tra le magnitudini della stella variabile e della stella di confronto, mentre in blu è la differenza tra la *check* e la confronto (in questo caso si è potuta constatare una stabilità fotometrica entro circa 0,02 magnitudini di deviazione standard – un valore abbastanza tipico con strumentazione amatoriale).

Cliccando su un punto del grafico, viene visualizzata l'immagine corrispondente, che può anche

essere esclusa (operazione che andrebbe fatta solo se l'immagine presenta problemi evidenti). Il grafico è automaticamente aggiornato quando si cambiano le dimensioni dei cerchi fotometrici, oppure si esclude un'immagine o si cambia la stella di confronto.

***L'autore.***

Laureato in fisica, dopo il dottorato di ricerca ha lavorato al TNG (La Palma – Isole Canarie). Ha all'attivo una decina di pubblicazioni professionali. Oggi insegna fisica nelle scuole secondarie. Astrofotografo, socio del Gruppo Astrofili Catanesi, si occupa anche di divulgazione.