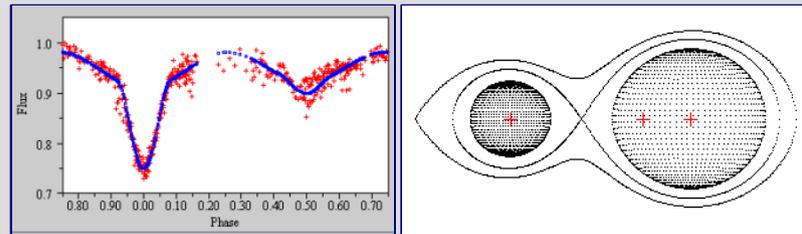


Quattro Nuove Variabili in Ofiuco



7° MEETING SULLE STELLE VARIABILI SSV-UAI-GRAB

La Spezia, 14-15 Maggio 2011



- *Lorenzo Franco - A81 Balzaretto Observatory, Rome*
- *Alessandro Marchini – Osservatorio Astronomico, Dipartimento di Fisica, Università di Siena*
- *Riccardo Papini – Osservatorio Astronomico Carpione, San Casciano Val di Pesa (Firenze)*

Premessa

*L'analisi delle **sequenze temporali di immagini** (Time-Series Analysis) rappresenta un **potente** strumento di indagine, poiché permette di ottenere una visione tridimensionale del campo inquadrato con due coordinate spaziali ed una temporale.*

*E' così possibile analizzare le **variazioni di luminosità** e di **posizione** degli oggetti presenti nel campo al **variare del tempo**.*

*Si può applicare questa metodologia in diversi campi d'indagine, come ad esempio la ricerca di **asteroidi** e **comete**, la ricerca e lo studio di **stelle variabili** e la ricerca del **periodo di rotazione** degli asteroidi.*

Vedremo adesso la mia esperienza che parte proprio da quest'ultimo caso ...

Il target - NEO 1988 PA

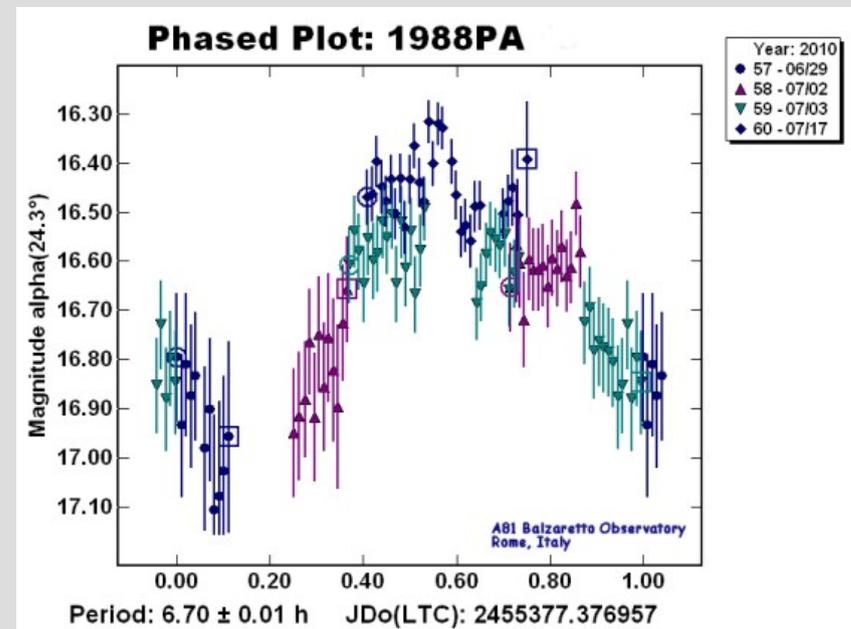
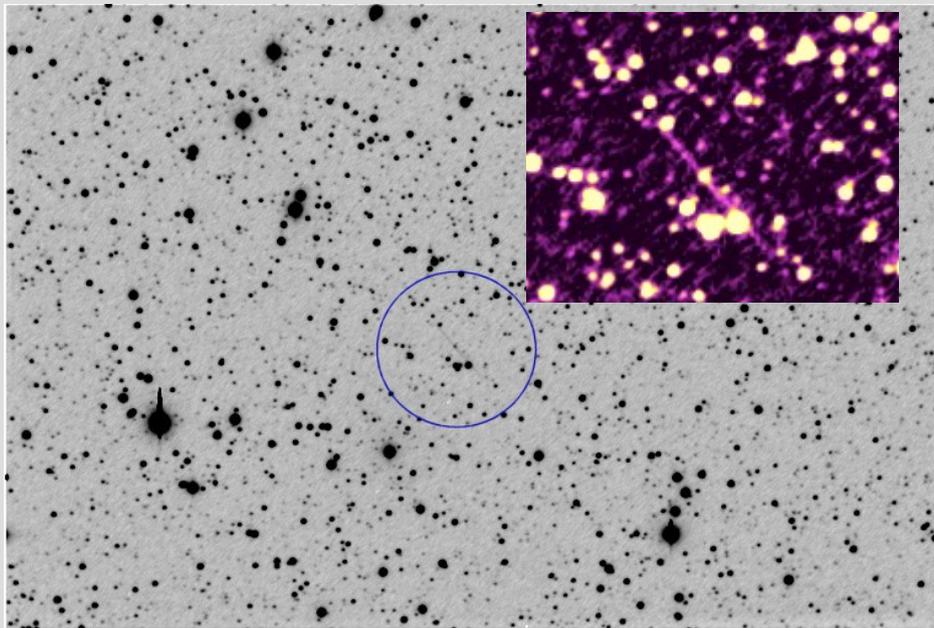
Per l'intera notte del 3 luglio 2010 seguii l'oggetto Near Earth Asteroid 1988 PA nel tentativo di determinarne il periodo di rotazione, attraverso l'analisi fotometrica. Gli asteroidi infatti presentano delle caratteristiche curve di luce bimodali, caratterizzate da due massimi e due minimi, come effetto della rotazione e del loro aspetto oblungo.

Si trattava di una osservazione al limite della mia strumentazione (ma ho osato comunque), infatti l'asteroide era di 16a magnitudine. Per questo motivo, ed anche grazie alla bassa velocità di movimento, è stato possibile eseguire delle pose da 4 minuti (senza alcun filtro), arrivando così fino alla 18a magnitudine limite.

Il campo era centrato nella costellazione dell' Ofiuco, caratterizzata dalla presenza di una moltitudine di stelle, essendo attraversata dalla Via Lattea.

La traccia lasciata dall'asteroide

L'immagine di sinistra mostra la somma dei frame acquisiti durante la sessione del 3 luglio (notare la *debole traccia* lasciata dall'asteroide durante il suo movimento). A destra invece la *curva di luce* (non completa) dell'asteroide, ottenuta da quattro sessioni osservative.



Chi avesse voglia di approfondire la fotometria degli asteroidi può leggersi l'articolo "A Guide to Minor Planet Photometry".

(<http://www.minorplanet.info/ObsGuides/Misc/photometryguide.htm>)

Cercare variabili

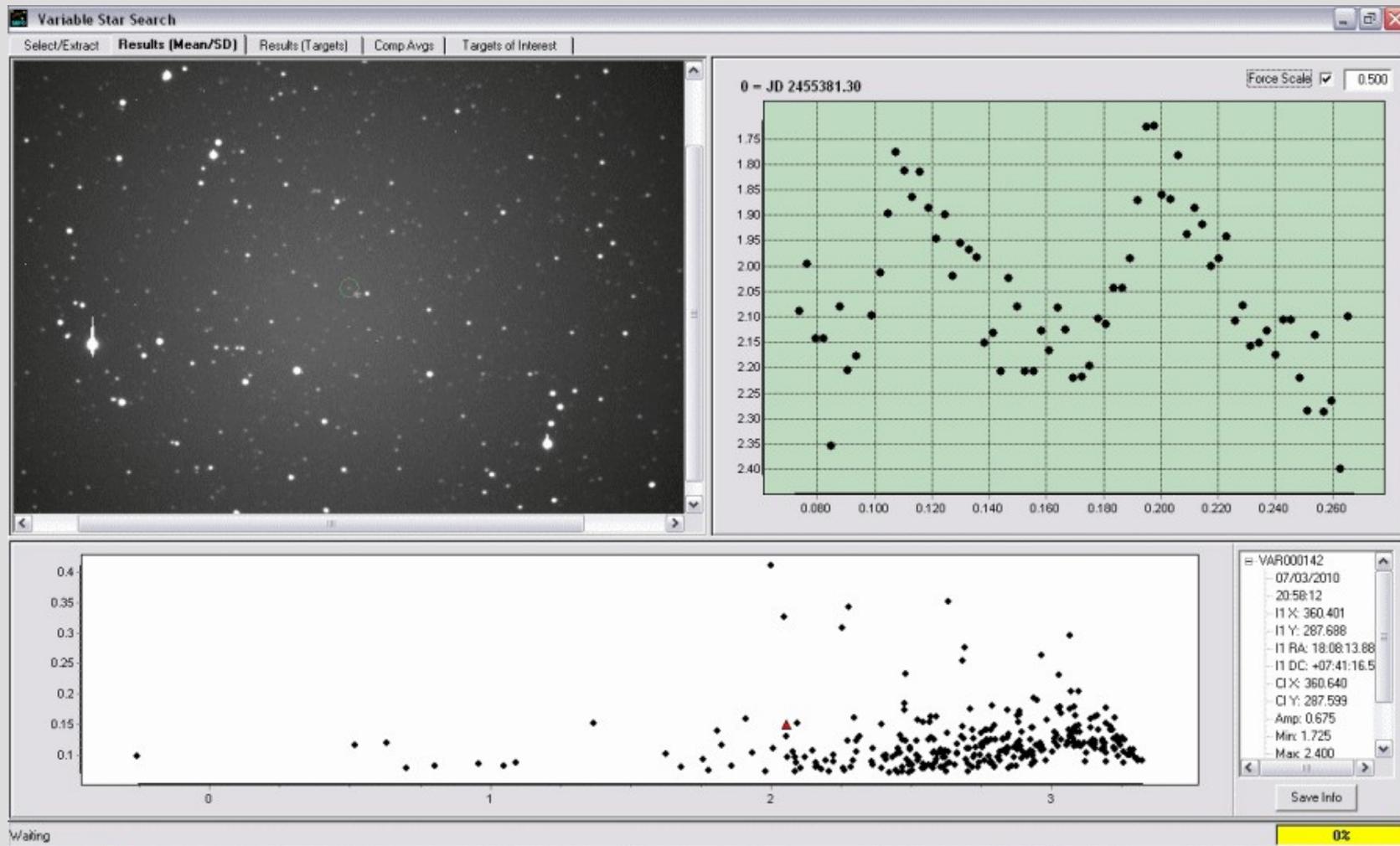
Proprio grazie alla grande quantità di stelle ed al buon numero di frame acquisiti (70) c'era una possibilità, non trascurabile, di trovare qualche “flicchettio”.

*Per analizzare le potenziali variazioni luminose ho utilizzato il tool **Variable Star Search** di MPO Canopus, ma avrei potuto utilizzare, con altrettanta efficacia, anche **MuniWin** di (C-MUNIPACK) o qualsiasi altro software analogo.*

*L'analisi ha permesso di individuare dapprima **tre** candidati che poi sono diventati **quattro**, attraverso una un'analisi più attenta.*

Individuate quattro sospette variabili

Ecco come si presentavano le quattro sospette variabili attraverso il tool VSS di MPO Canopus. L'immagine animata mostra le posizioni e le curve di luce.



La verifica sui cataloghi

Una volta individuate le **quattro sospette variabili**, il passo successivo è stato quello di determinarne le **posizioni astrometriche** e le rispettive **curve di luce**.

La prima sospetta variabile (**var66**) mostrava un andamento a “**V**”, tipico delle variabili ad eclisse di tipo **Algol**, mentre le altre mostravano un andamento periodico e sinusoidale, che faceva pensare a delle **variabili pulsanti**.

Il servizio **VizieR** ha permesso di verificare se le quattro variabili fossero già state censite in precedenza. *Nulla ... non c'era nulla.* Si trattava quindi proprio di **quattro nuove stelle variabili**.

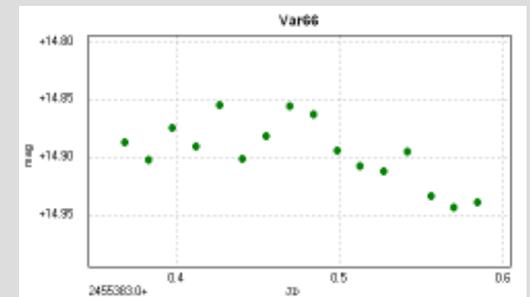
A questo punto era chiaro che per poterle **censire** e classificare sarebbero state necessarie **ulteriori osservazioni fotometriche**.

Osservazione di conferma ed Indice di colore

La notte successiva (4 luglio) osservai nuovamente il *campo in Ofiuco*, questa volta utilizzando i filtri fotometrici (*V* ed *R*) allo scopo di determinare l'*indice di colore* delle variabili, passo necessario per poter *selezionare* nel modo più opportuno le *stelle di riferimento* per la calibrazione fotometrica.

Questa osservazione, pur avendo permesso di calcolare l'indice di colore, non era riuscita a registrare un altro minimo per la sospetta variabile ad eclisse (var66), infatti la curva di luce si presentava *piuttosto piatta*.

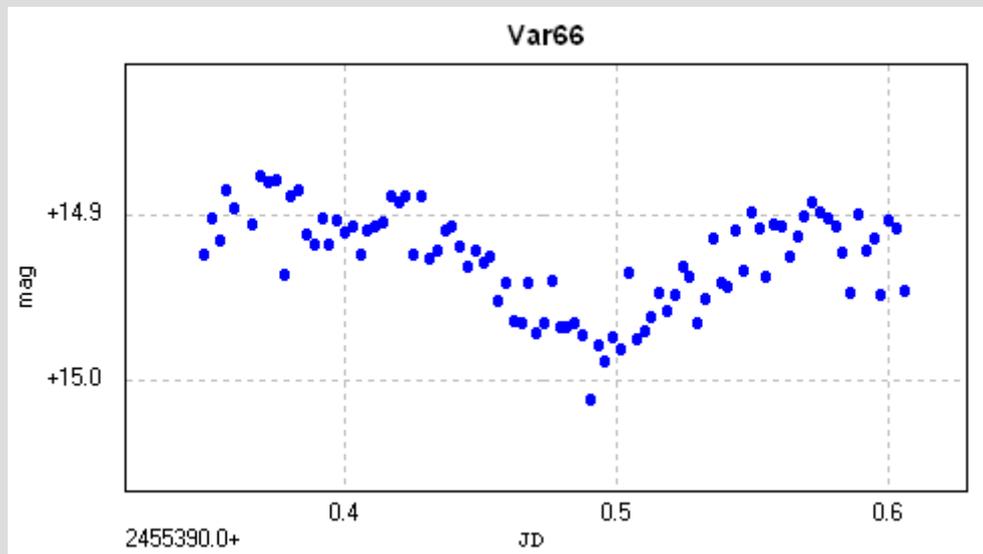
Solo una più attenta analisi della curva di luce permise di intravedere un *andamento leggermente decrescente*, compatibile con l'avvicinarsi di un *minimo secondario*.



Sulla base di questo indizio fu possibile ipotizzare dei periodi compatibili con i dati osservativi e produrre le relative effemeridi.

Servono ancora altre osservazioni

*Il periodo della sospetta variabile ad eclisse (var66) sarebbe potuto essere anche più lungo di un giorno e per questo motivo chiesi aiuto ad altri osservatori. In particolare a A. **Marchini** e R. **Papini**.*



*Nei giorni successivi, in base ai periodi ipotizzati, venne finalmente registrato un **minimo secondario** con una profondità di **0.07 mag** (quasi da transito ... ma con una stella di 15a mag).*

*Questa sessione fissò il periodo su di un valore di circa **0.86d** (poco più di 20 ore).*

*Altre sessioni osservative permisero di definire con maggiore precisione i **periodi di tutte e quattro le variabili**, coprendo anche buona parte del loro ciclo di variazione.*

Calibrazione e stelle di riferimento – come fare ?

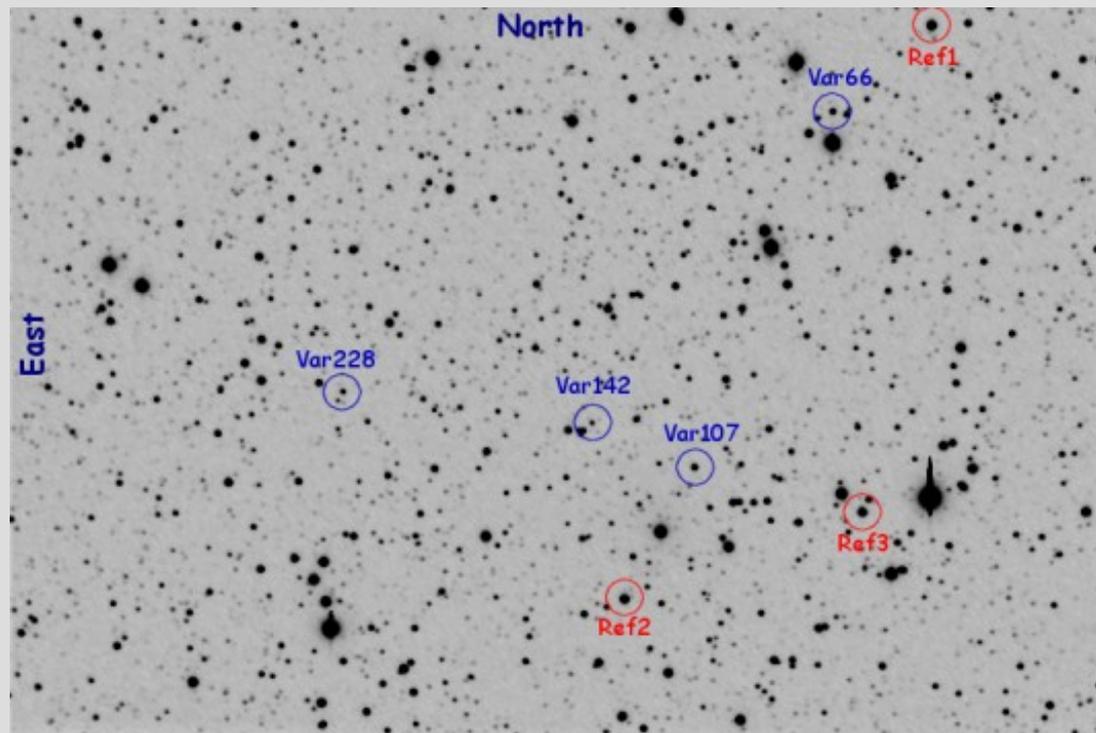
Come calibrare le magnitudini al sistema standard e come trovare delle stelle di riferimento ?

Per rispondere a questo dilemma, certo non banale, si pensò di adoperare la medesima tecnica usata per gli asteroidi, basata sull'articolo “[A method for determining the V magnitude of asteroids from CCD images](#)” di Miles e Dymock per la calibrazione al sistema standard attraverso stelle del catalogo [CMC14](#).

Vennero quindi selezionate delle stelle del catalogo [CMC14](#) con [indice di colore vicino](#) a quello delle quattro variabili, utilizzando il servizio on-line di [VizieR](#).

La cartina di riferimento

Finalmente ecco la cartina di riferimento con le quattro variabili e le stelle di riferimento del catalogo CMC14.



*Tutte le analisi fotometriche sono state ripetute applicando il metodo della **fotometria differenziale standardizzata** ed usando i **coefficienti di trasformazione**, precedentemente determinati qualche mese prima.*

*Al termine di questo processo è stato possibile ottenere curve di luce **calibrate** al sistema fotometrico **V** e quindi... **dati pubblicabili**.*

ID	RA DEC J2000	CMC14	V	R	(V-R)
Ref1	18 07 48.214 +07 48 50.28	180748.2+074850	12.902	12.542	0.360
Ref2	18 08 11.211 +07 37 56.96	180811.2+073756	13.169	12.782	0.387
Ref3	18 07 53.114 +07 39 38.29	180753.1+073938	13.257	12.873	0.384

Strumentazione e Sessioni

La strumentazione utilizzata

Observer	Telescope	CCD	Field of view and plate scale	Filters
L.Franco	Meade LX200 0.20-m f/5.5	SBIG ST7-XME	20.9 x 13.9 arcmin (1.64 arcsec/pixel)	Custom Scientific (Johnson V, Cousins R)
A. Marchini	Meade LX200 0.25-m, f/6.3	SBIG ST7-ME	14.6 x 9.8 arcmin (2.30 arcsec/pixel) Binning x2	No filter

... e ... le otto sessioni osservative

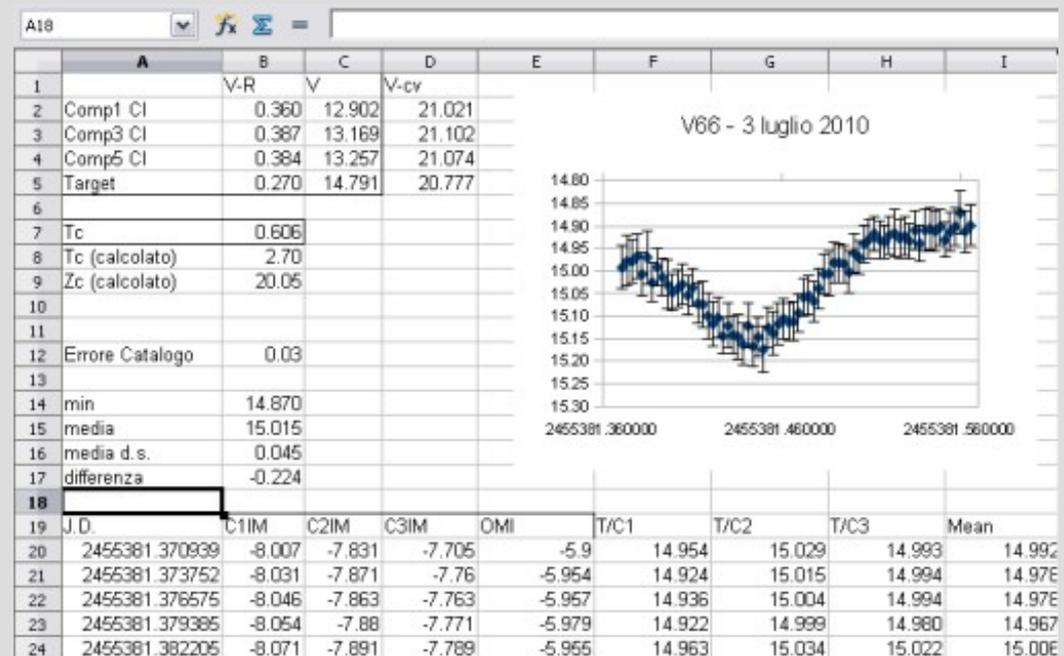
#	Date July 2010	Observer	N. CCD frames collected	Exp. Time (min)	Filter used
1	3	L. Franco	70	4	C
2	5	L. Franco	32	10	V, Rc
3	8	A. Marchini	105	3	C
4	9	L. Franco	90	4	C
5	10	A. Marchini	51	3	C
6	12	L. Franco	91	4	C
7	13	A. Marchini	74	3	C
8	16	L. Franco	17	10	V, Rc

L' Analisi dei dati

(1/2)

Per la fotometria d'apertura si è utilizzato **MPO Canopus**, mentre per l'analisi del periodo e delle curve di luce sono stati utilizzati **Peranso** e **Period04**.

Per **controllare meglio** il processo di trasformazione al sistema standard delle curve di luce si è preferito usare un foglio **Excel** che applicava il metodo descritto da Warner (2006) nel libro “*Lightcurve Photometry and Analysis*” e implementato in **MPO Canopus**.



L' Analisi dei dati

(2/2)

Ecco i principali passi seguiti nel processo di analisi dei dati:

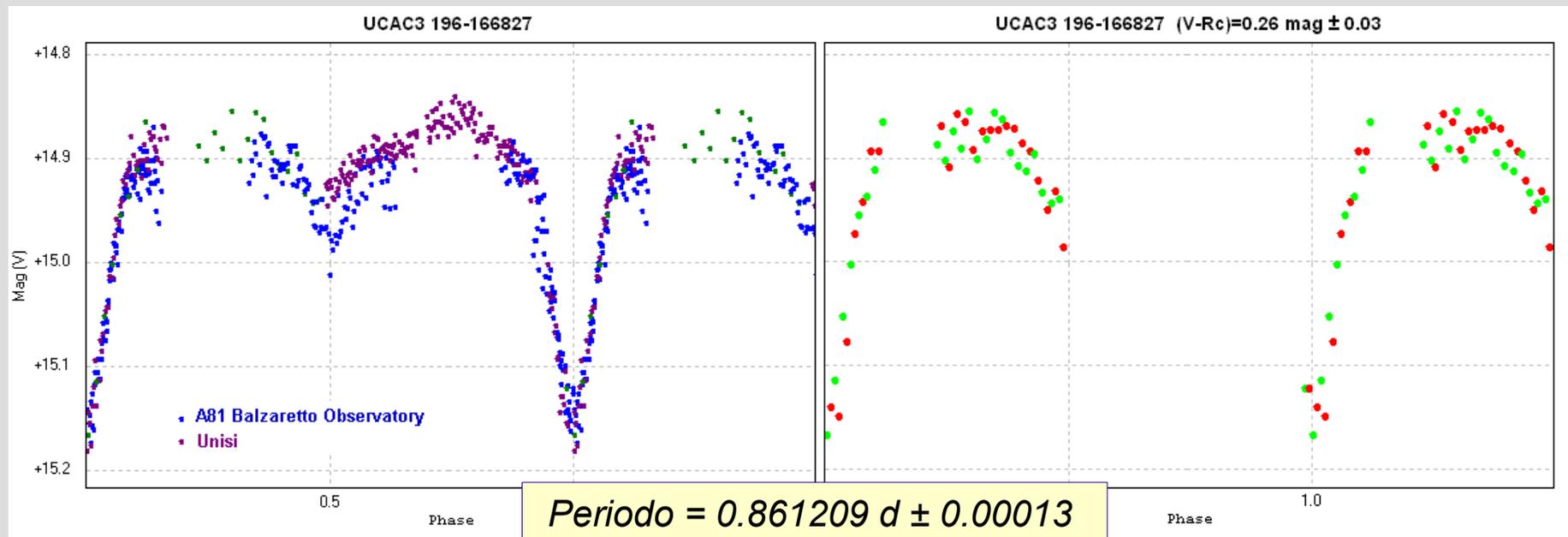
- *Fotometria d'apertura in **magnitudini strumentali** con MPO Canopus*
- *Trasformazione delle curve di luce in **magnitudini standard** con **Excel***
- *Analisi preliminare del periodo e calcolo dei punti di **max** e di **min** con **Peranso** (fit polinomiale).*

Per una maggiore precisione nel calcolo del periodo e dell'epoca di riferimento si è usato il metodo della regressione lineare (numero dei periodi ed epoca dei minimi), attraverso un foglio di calcolo.

Attenzione ad Excel: sulla variabile var66 il coefficiente di determinazione R^2 veniva maggiore di 1 (un assurdo). In aggiunta ad Excel sono stati usati anche GnuPlot ed Extrema (software liberi di analisi dei dati).

La prima variabile (var66)

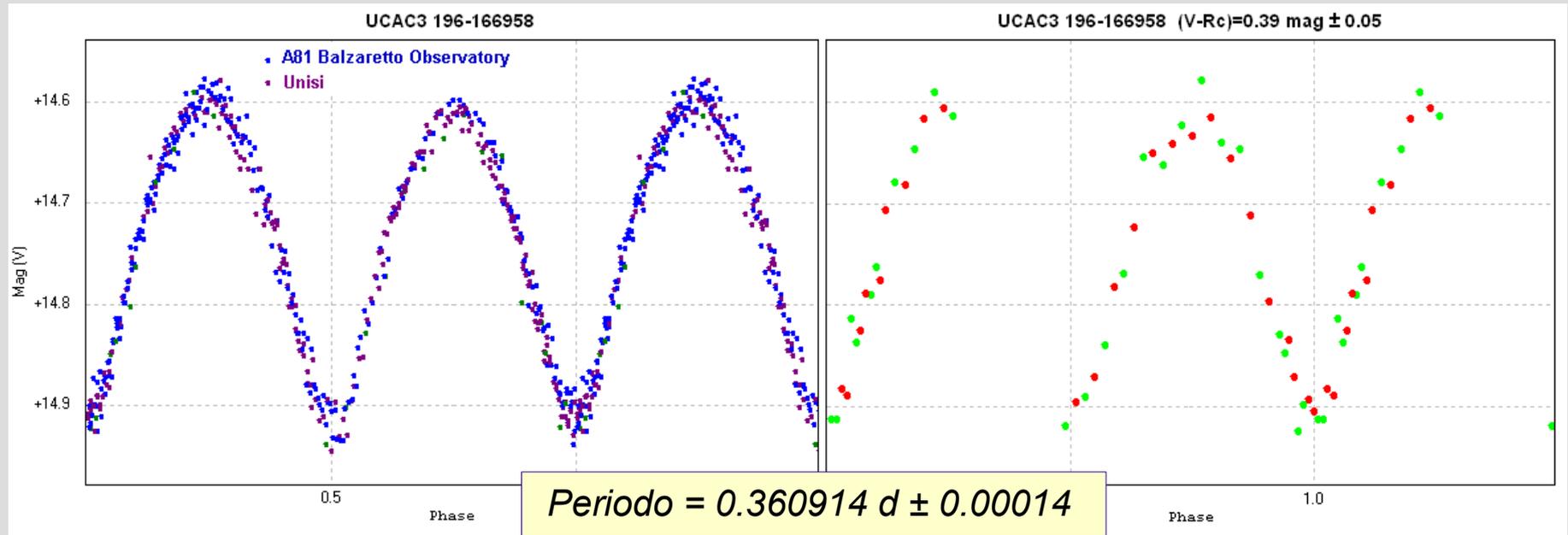
L'andamento tipico della curva di luce fa proprio pensare ad una variabile ad eclisse di tipo EA.



Però nella **medesima posizione** (entro i margini di errore) il servizio **VizieR** riporta una **emittente X** (1RXS J180755.7+074717). Possiamo quindi identificare **var66** come la **controparte ottica** della **emittente X**. Inoltre la presenza di uno “sballo” della curva di luce, vicino al minimo secondario, rafforzerebbe l'ipotesi di un'**attività cromosferica**. Per questo motivo la classificazione della variabile resta dubbia, poiché potrebbe essere classificata anche come una **RS CVn** di corto periodo.

La seconda variabile (var107)

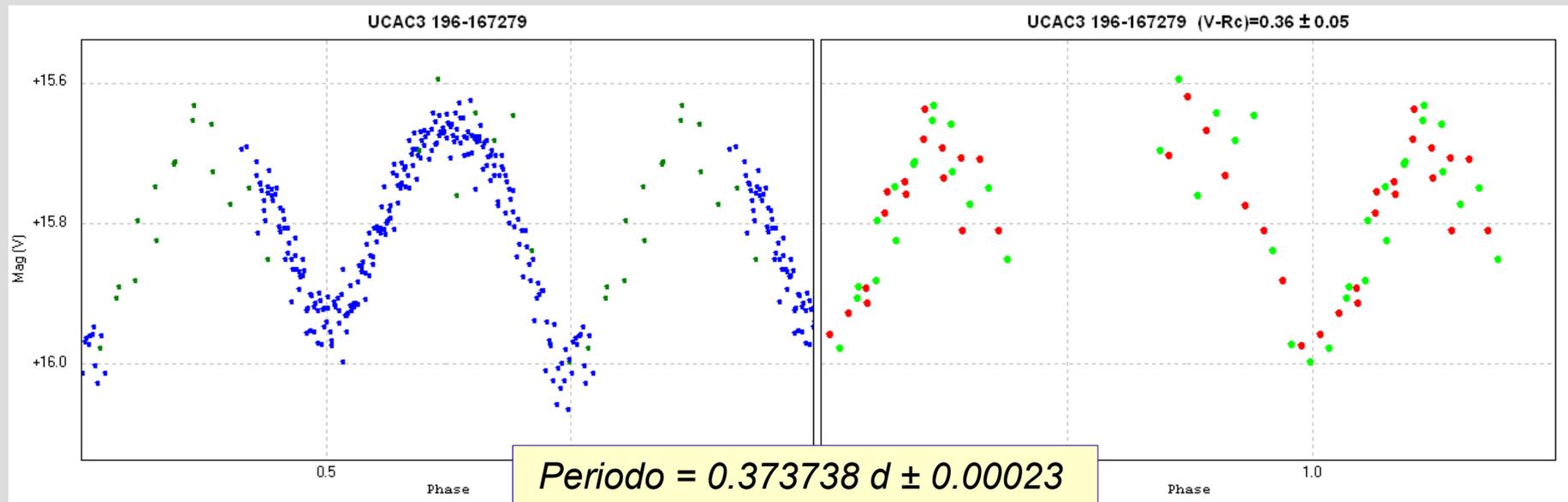
L'andamento tipico della curva di luce ci porta a classificarla come una variabile ad eclisse di tipo *W UMa* (EW).



I minimi hanno la *stessa profondità* e questo indica una *medesima temperatura superficiale* delle due componenti del sistema binario. Notare che l'ampiezza del massimo di fase 0.75 è leggermente più bassa rispetto al massimo di fase 0.25 (effetto O'Connell).

La terza variabile (var228)

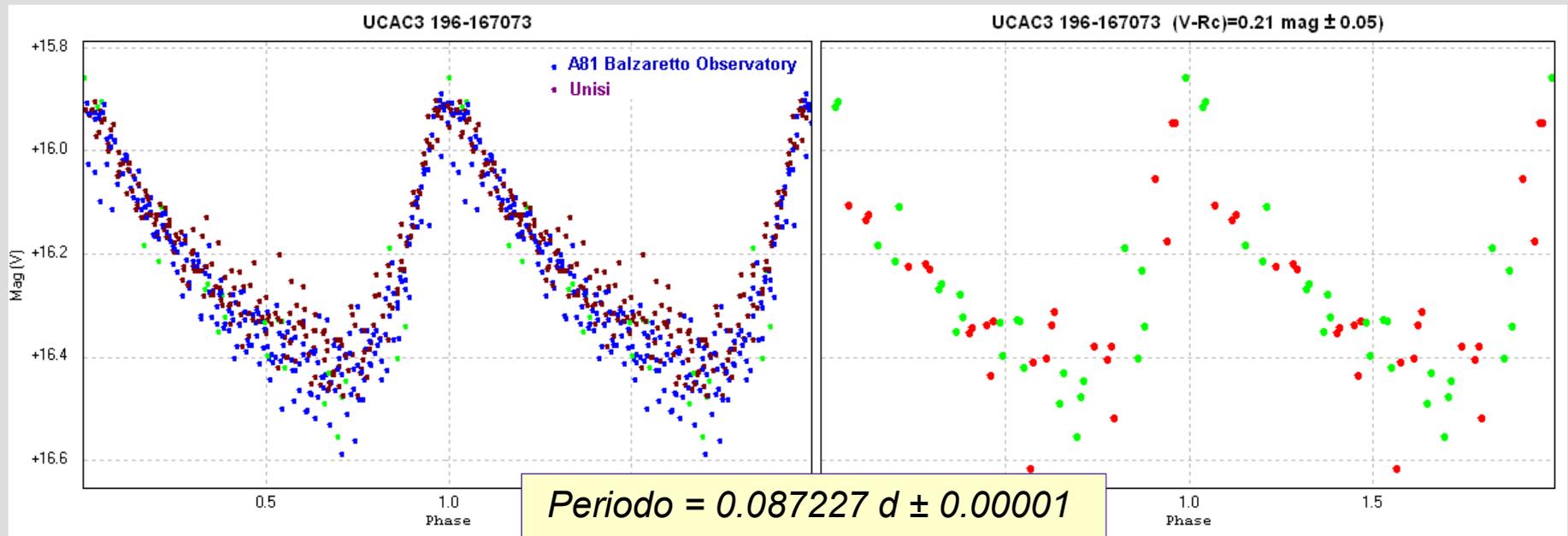
Anche questa variabile mostra un andamento tipico della curva di luce che ci porta a classificarla come una variabile ad eclisse di tipo W UMa (EW).



I minimi hanno una *diversa profondità* e questo indica una *differente temperatura superficiale* delle due componenti del sistema binario.

La quarta variabile (var142)

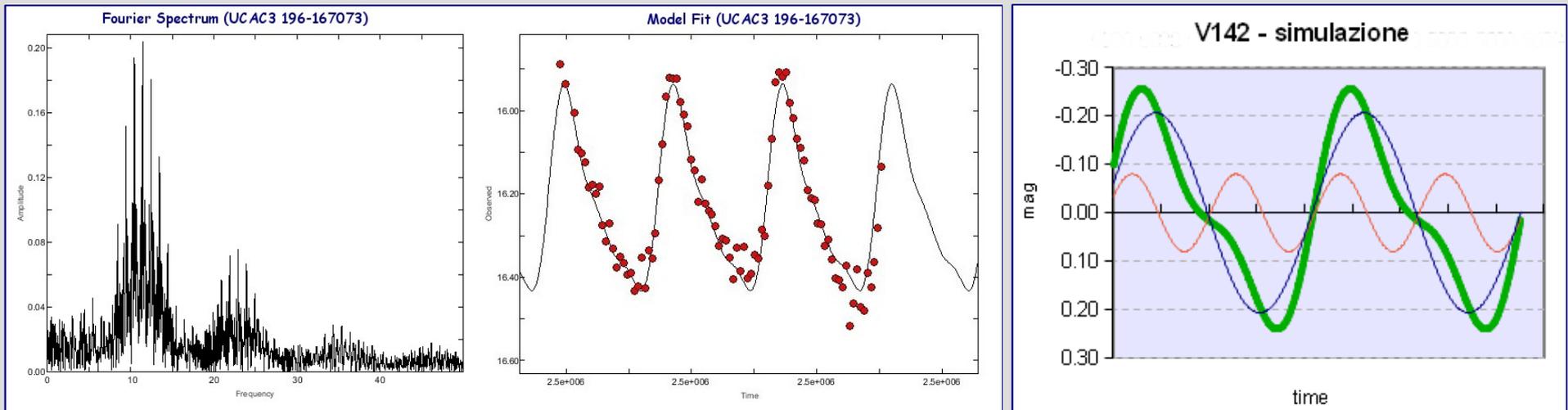
Questa variabile invece, a differenza delle precedenti, mostra un andamento della curva di luce tipico delle variabili pulsanti (rapida salita e discesa graduale). Notare anche le variazioni di indice di colore al variare della fase.



La classificazione della variabile resta incerta con la sola analisi fotometrica; potrebbe trattarsi una δ Scuti (HADS) o di una SX Phe di popolazione II, poiché entrambe le tipologie hanno diverse caratteristiche in comune.

La quarta variabile (var142) (l'analisi delle frequenze)

L'analisi nel *dominio delle frequenze* è stata condotta con *Period04*. L'asimmetria della curva di luce implica anche la presenza nello spettro delle *armoniche superperiodi* ($2f$, $3f$, ..), queste ultime evidenziate anche nella nostra analisi.



La relazione **periodo-luminosità** per una variabile pulsante di tipo δ scuti è data dalla seguente relazione (Poretti 2008), da cui possiamo ricavare una **stima della distanza** (circa **14000 anni luce**), dopo aver **de-arrossato** (V_0) la magnitudine max apparente V .

$$M_V = -3.65(\pm 0.07) \cdot \log P - 1.83(\pm 0.08) \quad \rightarrow \quad d(\text{pc}) = 10^{((V_0 - M_V) + 5)/5} \quad \rightarrow \quad d(\text{pc}) = 4300 \pm 300$$

Il censimento su VSX – AAVSO

(1/2)

*Una volta raccolti i principali dati sulle variabili è stato possibile censirle sul sito **VSX** (*Variabile Star Index*) dell' AAVSO.*

I dati richiesti dal censimento via web sono:

- *Coordinate dell' oggetto (RA e DEC) J2000*
- *Nomi oggetto nei vari cataloghi (es: GSC, 2MASS, UCAC3)*
- *Tipologia della variabile (classificazione preliminare)*
- *Tipo spettrale (se si dispone di questa informazione)*
- *Range di variazione in magnitudini min-max o delta*
- *Periodo in giorni*
- *Epoca di riferimento*
- *Immagini e dati a supporto (es: almeno il grafico di fase)*

Attenzione: *la richiesta inserita sul sito VSX viene sottomessa all'approvazione di un “moderatore”, esperto di stelle variabili che potrà approvarla (entro 1-2 giorni) o chiedere ulteriori informazioni. I dati del sito VSX sono indicizzati da SIMBAD e VizieR.*

Il censimento su VSX – AAVSO

(2/2)

Due schermate del sito VSX. Dalla prima è possibile attivare il wizard per il censimento. La seconda contiene i dati riepilogativi.

Submission Method

You have the option of using an instructional step-by-step "wizard" for submitting a new variable star to VSX, or a single-page direct entry form. If you have experience submitting to VSX, you may want to use the quicker **New Star Form**. If, instead, you are new to this process and feel you would be more comfortable with some help along the way, the **New Star Wizard** may be more suitable.

Please select the method you wish to use for this session. If you would like your choice to be stored in your personal profile and remembered for next time, be sure to check the **Remember my choice** box.

NOTE **VSX SUBMISSION GUIDELINES**

If you are not completely familiar with the general guidelines that the AAVSO have published regarding the submission of variable stars to VSX, please take some time now to review the online document **"Submitting Variables to VSX"**. It is important that you fully understand what is required when submitting a new variable star to the VSX moderators for consideration.



Detail Sheet ?

Inclusion of aliases from SIMBAD may be set from Preferences.

Name	V VSX J180755.6+074711		
AAVSO UID	000-BJV-953		
Const.	Ophiuchus		
J2000.0	18 07 55.69 +07 47 11.8 (271.98204 +7.78661)	» Search nearby	
B1950.0	18 05 31.09 +07 46 42.4		
Other names (Internal only)	2MASS J18075569+0747117	CMC14 180755.6+074711	GSC2.2 N020023339630
			» Add name
Var. type	EA		
Spec. type	F0		
Mag. range	14.87 - 15.15 V		
Discoverer	Franco Lorenzo (A81 Balzaretto Observatory)		
Epoch	03 Jul 2010 (HJD 2455381.4487)		
Outburst	--		
Period	0.861209		
Rise dur.	25%:		

La modellazione dei tre sistemi ad eclisse (1/2)

*La voglia di immaginare e di capire **come fossero fatti fisicamente** questi tre sistemi ad eclisse ha portato ad approfondire queste tematiche, attraverso la lettura di libri ed articoli sull'argomento.*

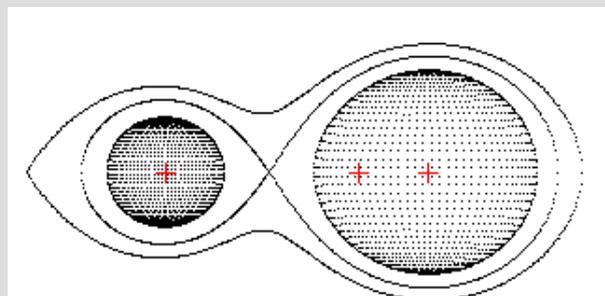
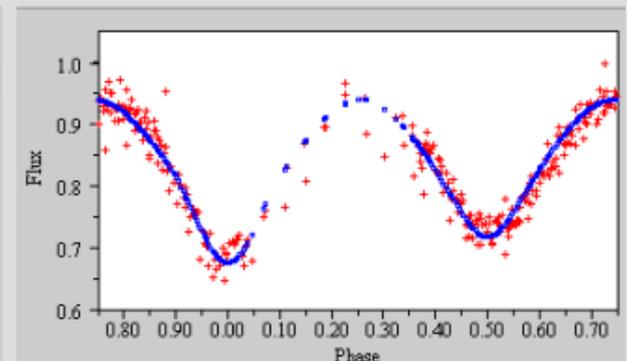
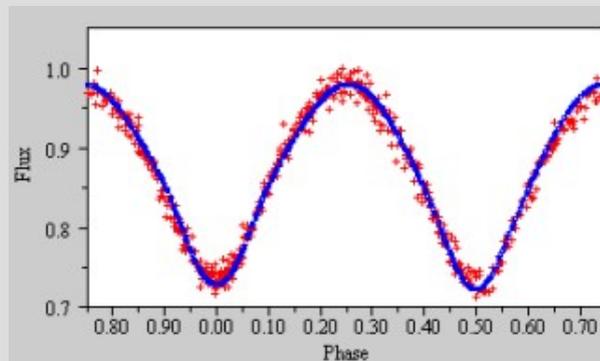
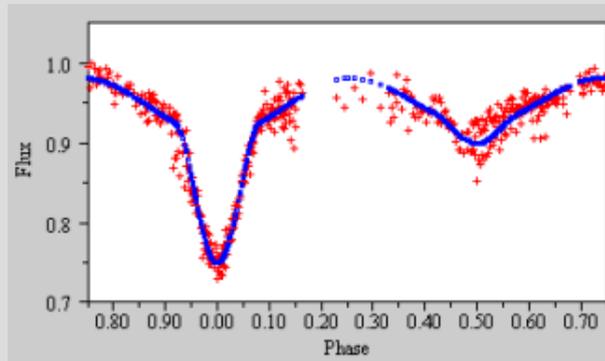
*Un primo tentativo è stato quello di utilizzare un foglio excel, qualche considerazione geometrica e **StarLightPro** per la modellazione “semplificata”.*

*Simulazione artistica
su YouTube*

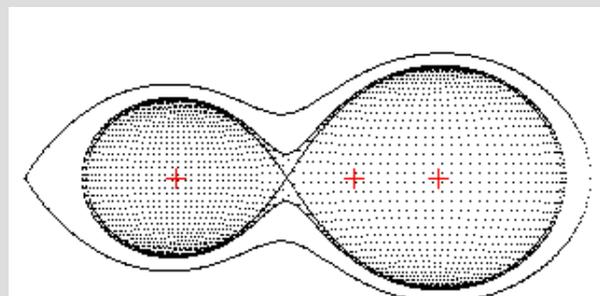
http://www.youtube.com/watch?v=_xjrqwJr2zA

La modellazione dei tre sistemi ad eclisse (2/2)

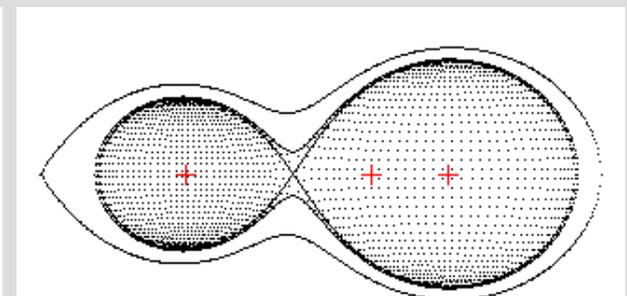
Considerazioni più *raffinate*, basate su articoli in letteratura e l'uso di un software di modellazione più sofisticato, come **Binary Maker 3**, hanno permesso di ottenere dei modelli più *realistici*.



Var66 – detached binary system



Var107 – over contact binary



Var228 – over contact binary

Conclusioni

*In definitiva, l'analisi fotometrica di un asteroide ha portato, **come sottoprodotto**, alla scoperta di **quattro stelle variabili**. Gli asteroidi si muovono in porzioni di cielo a volte non sufficientemente esplorate e l'analisi delle sequenze temporali di immagini rappresenta il migliore strumento per questo tipo di scoperte.*

*Il catalogo **CMC14** è un ottimo strumento per la calibrazione fotometrica al sistema standard, permettendo di raggiungere una buona accuratezza anche in assenza di stelle di riferimento AAVSO.*

*Il campo delle quattro variabili in **Ofiuco** potrebbe essere **oggetto di ulteriori osservazioni** al fine di evidenziare meglio le eventuali **fluttuazioni nella curva di luce** della potenziale variabile **RS CVn**, come conseguenza della sua **attività cromosferica**.*

Sintesi dei dati raccolti

MyRef	V86
VSX name	VSX J180755.6+074711
AAVSO – AUID	000-BJV-953
GSC2.2	N020023339630
UCAC3	196-166827
CMC14	180755.6+074711
2MASS	J18075569+0747117
1RXS	J180755.7+074717
RA J2000	18 07 55.691
DEC J2000	+07 47 11.82
Var Type	EA – RS CVn
Spectral Type	F5/F8V
Period (d)	0.861209 ± 0.00013 d
Epoch (HJD)	2455381.448739 ± 0.00125
Maximum (V)	14.87 mag ± 0.01
Primary minima (V)	15.15 mag ± 0.01
Secondary minima (V)	14.97 mag ± 0.02
MaxAmplitude (V)	0.28 mag ± 0.01
Color Index avg (V-Rc)	0.28 mag ± 0.05

MyRef	V107
VSX name	VSX J180805.9+074027
AAVSO – AUID	000-BJV-954
GSC2.2	N020023335570
UCAC3	196-166958
CMC14	180805.9+074027
2MASS	J18080597+0740273
RA J2000	18 08 05.974
DEC J2000	+07 40 27.35
Var Type	EW
Spectral Type	G5/G8V
Period (d)	0.360914 ± 0.00014 d
Epoch (HJD)	2455383.549361 ± 0.00224
Maximum (V)	14.60 mag ± 0.01
Minima I - II (V)	14.91 mag ± 0.01
MaxAmplitude (V)	0.31 mag ± 0.01
Color Index avg (V-Rc)	0.39 mag ± 0.05

MyRef	V228
VSX name	VSX J180832.9+074148
AAVSO – AUID	000-BJV-955
GSC2.2	N020023336427
UCAC3	196-167279
CMC14	180832.9+074148
2MASS	J18083292+0741486
RA J2000	18 08 32.925
DEC J2000	+07 41 48.61
Var Type	EW
Spectral Type	G0/G8V
Period (d)	0.373738 ± 0.00023 d
Epoch (HJD)	2455381.432426 ± 0.00393
Maximum (V)	15.66 mag ± 0.01
Primary minima (V)	16.01 mag ± 0.02
Secondary minima (V)	15.94 mag ± 0.01
MaxAmplitude (V)	0.35 mag ± 0.02
Color Index avg (V-Rc)	0.36 ± 0.05

MyRef	V142
VSX name	VSX J180813.9+074116
AAVSO – AUID	000-BJV-505
GSC2.2	N020023336093
UCAC3	196-167073
CMC14	180813.8+074116
2MASS	J18081384+0741164
RA J2000	18 08 13.855
DEC J2000	+07 41 16.41
Var Type	SXPHE – HADS
Spectral Type	F0/F5V
Period (d)	0.087227 ± 0.00001d
Epoch (HJD)	2455381.416076 ± 0.00043
Maximum (V)	15.92 mag ± 0.02
Minima (V)	16.42 mag ± 0.04
MaxAmplitude (V)	0.50 mag ± 0.05
Color Index avg (V-Rc)	0.21 mag ± 0.05

In questa pagina sono stati raccolti tutti i principali dati ottenuti dalle osservazioni delle quattro variabili in Ofiuco.

Qualche riferimento utile

- *MPO Canopus*
(<http://www.minorplanetobserver.com/MPOSoftware/MPOCanopus.htm>)
- *PERANSO* (www.peranso.com)
- *Period04* (<http://www.univie.ac.at/tops/Period04>)
- *Dymock R., Miles R., 2009, A method for determining the V magnitude of asteroids from CCD images, (JBAA, 119,3),*
(<http://articles.adsabs.harvard.edu/full/2009JBAA..119..149D>).
- *VizieR Service* (<http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>)
- *A Practical Guide to Lightcurve Photometry and Analysis*
(<http://www.minorplanetobserver.com/pgbook/PracticalGuide.htm>)
- *Percy, J.R., 2007, Understanding Variable Stars, Cambridge University Press*
- *IRSA NASA/IPAC - Galactic Dust Reddening and Extinction*
(<http://irsa.ipac.caltech.edu/applications/DUST/>)
- *Pickles A. J. 1998 "A Stellar Spectral Flux Library"*
(<http://adsabs.harvard.edu/abs/1998PASP..110..863P>)
- *Variable Star Index – AAVSO* (<http://www.aavso.org/vsx>)
- *Four New Variable Stars in Ophiuchus - OEJV 135*
(<http://var.astro.cz/oejv/comments.php?lang=en&oejv=0135>)

Domande

