

Analisi del periodo di AE UMa con dati disomogenei. Invito all'osservazione.

5° MEETING NAZIONALE GRAV/SSV UAI SULLE STELLE VARIABILI

*Osservatorio Astronomico di Marana di Crespadoro (VI)
15-16-17 Maggio 2009*



- *Lorenzo Franco - A81 Balzaretto Observatory, Rome*
- *Alessandro Marchini - Osservatorio Astronomico, Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Siena*

Premessa

L'idea di questo lavoro nacque quasi per caso, quando nell'ottobre 2008 gli autori, scambiandosi dei messaggi sulla mailing list del GRAV, si accorsero che entrambi avevano acquisito delle osservazioni della variabile AE UMa nel corso del 2007-2008.

I dati erano stati acquisiti in condizioni diverse e con diversa strumentazione ed erano frutto di osservazioni filtrate e non filtrate.

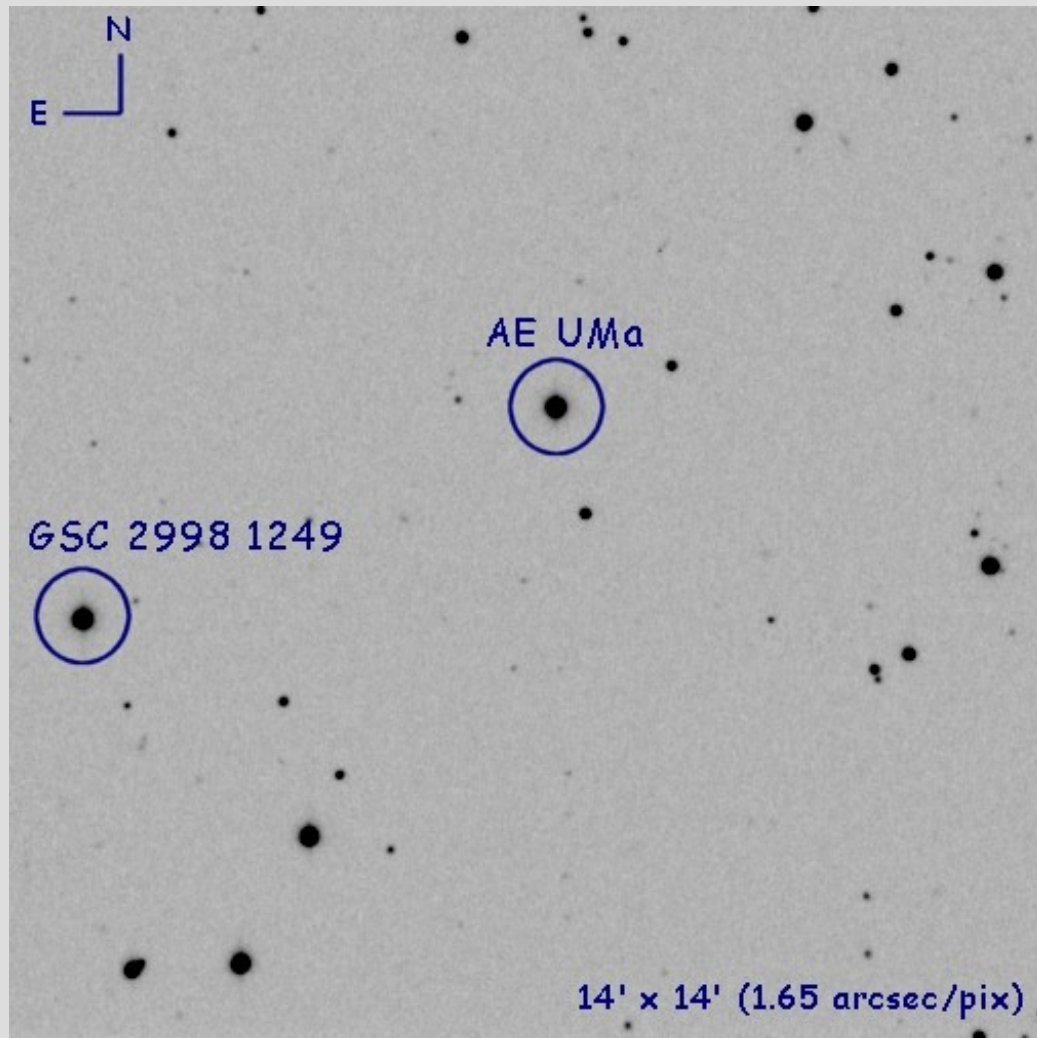
Nonostante tutto provarono a mettere insieme i dati per analizzarli con PERANSO (PERiod ANalysis SOftware).

La variabile AE UMa

La variabile AE UMa appartiene ad un raro gruppo di cefeidi nane, classificate nel catalogo GCVS (General Catalogue of Variable Stars) con il tipo SX Phe. Si tratta di sub-nane con periodo di pulsazione di 1-2 ore che appartengono alla popolazione del vecchio disco galattico, con tipi spettrali A2-F5 che, da un punto di vista fenomenologico, somigliano molto alla variabili DSCT (Delta Scuti). Le variabili appartenenti a questo gruppo mostrano delle variazioni di 0.7mag V, periodi di pulsazione multipli (effetto Blazhko) e sono presenti negli ammassi globulari.

Si tratta quindi di una variabile molto interessante da studiare.

La variabile AE Uma (caratteristiche)



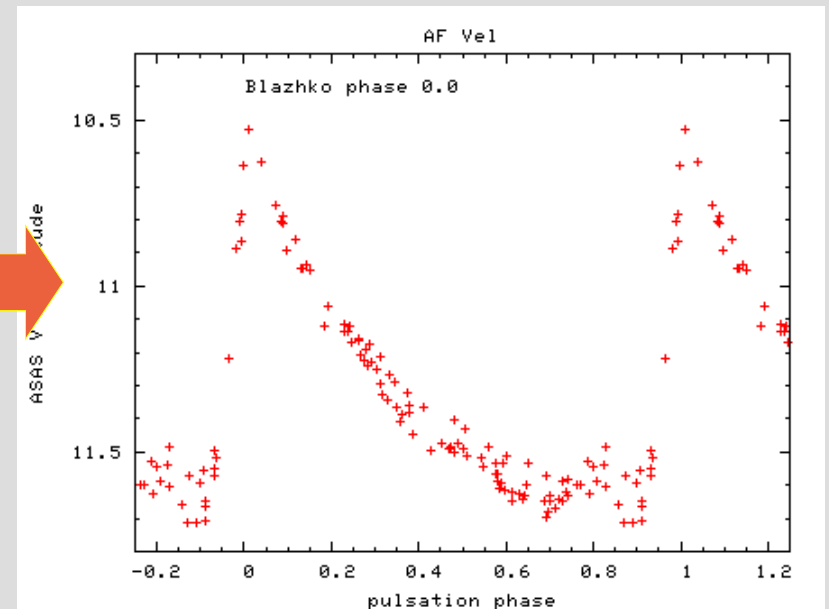
Caratteristiche estratte dal catalogo GCVS (General Catalogue of Variable Stars)

Name	AE UMa
ID	830059
RA (2000.0)	093653.2
Dec (2000.0)	+440400
Type	SXPHE
Mag. Max	10.86
Mag. Min	11.52
Mag. System	V
Epoch (JD)	35604.34
Period (day)	0.09
M-m	16
Spectrum	A9

Effetto Blazhko

L'effetto Blazhko venne scoperto nel 1907 da Sergei Blazhko il quale notò che alcune stelle di tipo RR Lyrae mostravano una variabilità nell'aspetto delle curve di luce, nell'ampiezza e nel periodo dei massimi. Questa è una caratteristica comune a molte stelle di tipo 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.

La figura mostra i moti di pulsazione non radiali della stella con la conseguente modulazione dell'ampiezza dei massimi.



Le osservazioni (strumenti)

Le osservazioni sono state eseguite in modo indipendente dagli autori per un totale di 10 sessioni separate tra marzo 2007 e maggio 2008 (poco più di 423 giorni), con un numero complessivo di 962 singole misurazioni fotometriche.

Strumentazione e metodiche	Osservatorio Università di Siena	A81 Balzaretto Obs di Roma
Telescopio	Meade LX200 25cm, 1600mm, f/6.3	Meade LX200 20cm, ridotto a 1100mm, f/5.4
Camera CCD	Starlight Xpress SX-L8	Starlight Xpress SXVF-M7
Software di calibrazione ed analisi fotometrica	MaxImDL 4.56	AIP4Win 2.2.0
Filtro	V Johnson-Cousins (Schuler)	nessun filtro

Le osservazioni (precisione)

I due set osservativi mostrano una differente precisione fotometrica, misurata attraverso la dispersione (deviazione standard) delle differenze di magnitudine tra la stella di riferimento e la stella di controllo.

Si nota anche una diversa ampiezza delle oscillazioni tra massimi e minimi, riconducibile all'uso di stelle di riferimento diverse e ad osservazioni non filtrate.

	Oss. Univ. Siena	A81 Balzaretto
Media delle deviazioni Standard tra stella Rif-Chk	0.014	0.033

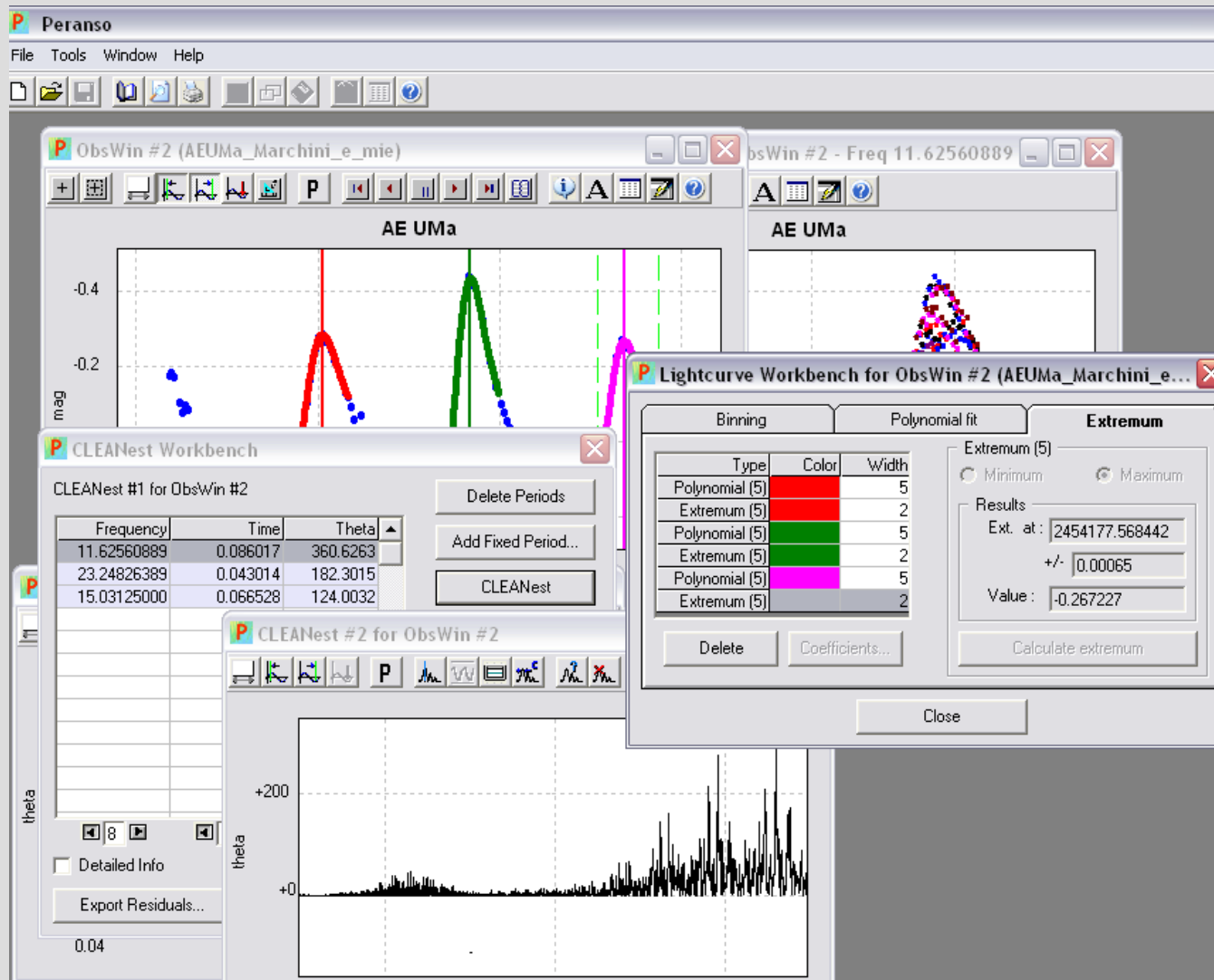
Analisi dei dati (importazione)

Per l'analisi del periodo è stato utilizzato il software PERANSO (PERiod ANalysis SOftware) di CBA Belgium Observatory.

Importazione dei dati

- *Creazione di una nuova sessione di analisi con l'importazione dei dati prodotti dalla riduzione fotometrica nei formati MaximDL e AIP4Win.*
- *Applicazione della correzione eliocentrica e normalizzazione delle magnitudini differenziali (ad ogni singolo valore viene sottratta la magnitudine media delle sessioni osservative).*

Analisi dei dati (sessione PERANSO)



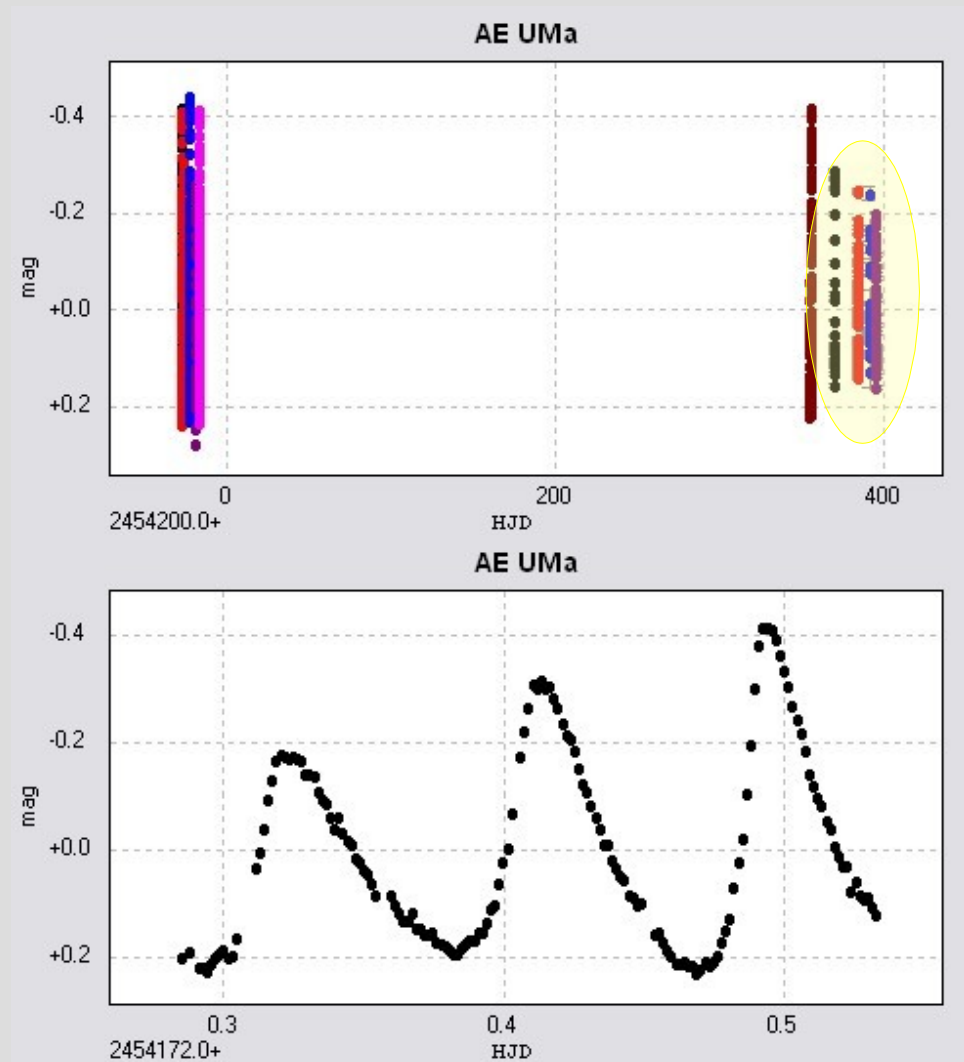
Una sessione di analisi con PERANSO.

Si possono notare gli strumenti Lightcurve Workbench per la determinazione dei punti di massimo e CLEANest Workbench per la determinazione dei periodi di pulsazione.

Analisi dei dati (curva di luce)

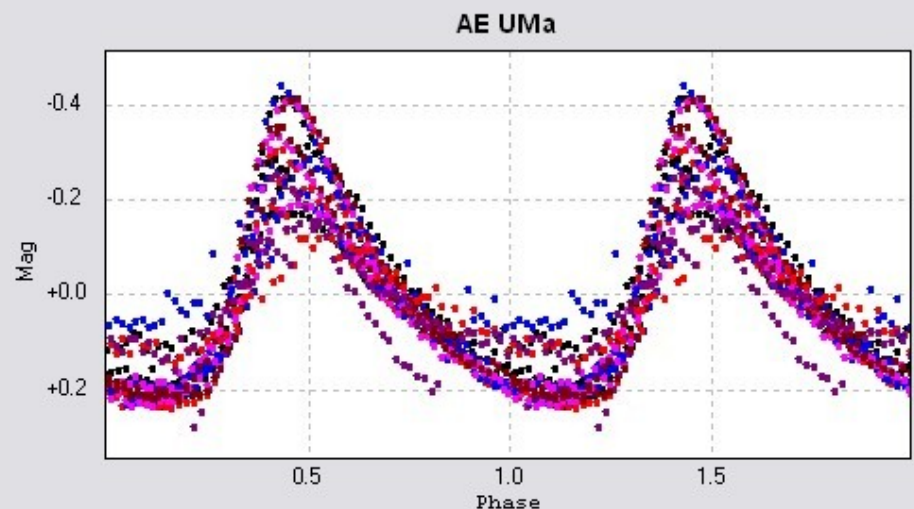
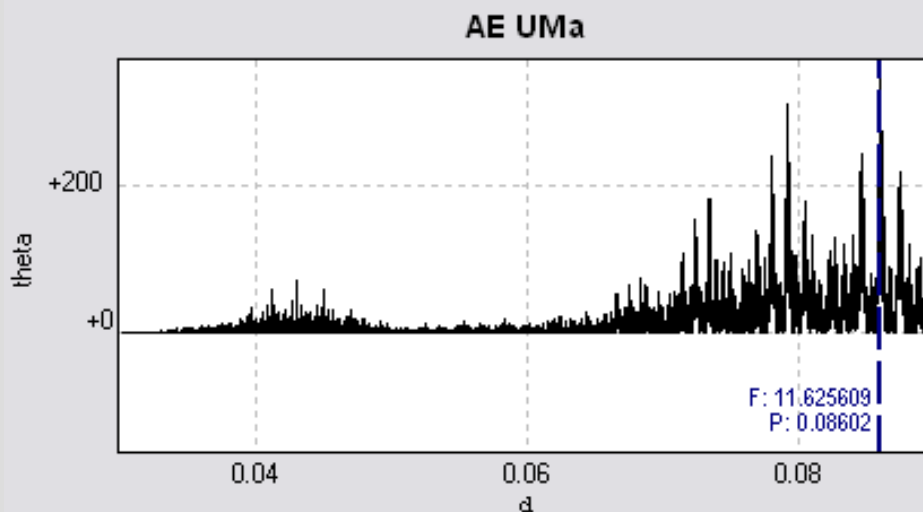
Vista d'insieme delle osservazioni inserite in PERANSO. Da notare la minore ampiezza delle osservazioni di A81.

Curva di Luce della sessione osservativa del 12/3/2007 (Osservatorio Università di Siena).



Analisi del periodo principale

Per l'analisi del periodo è stato utilizzato il metodo CLEANest, basato sull' algoritmo 'Date Compensated Discrete Fourier Transform' (DCDFT) che ben si adatta all'analisi di dati non spazati uniformemente tra di loro, come nel nostro caso. Diverse iterazioni hanno permesso di individuare il periodo principale di 0.08602 giorni dal quale si è potuto ricavare il diagramma di fase.



Analisi del periodo secondario

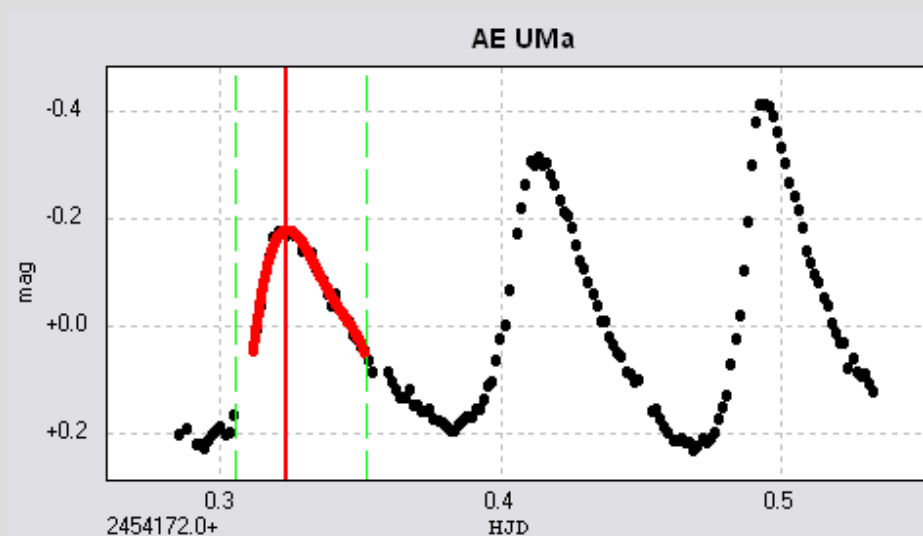
Per determinare il periodo secondario di pulsazione è stato utilizzato il metodo SLICK che sottrae il periodo principale dalla serie temporale dei dati, permettendo così di far emergere ed identificare anche gli altri periodi di pulsazione.

L'applicazione ripetuta dei metodi CLEANest e SLICK di PERANSO ha portato ad identificare le due frequenze di pulsazione maggiormente rilevanti.

F0		F1	
Frequenza (d ⁻¹)	Errore	Frequenza (d ⁻¹)	Errore
11.625609	+/- 0.000034	15.03125	+/- 0.00014

Determinazione dei massimi

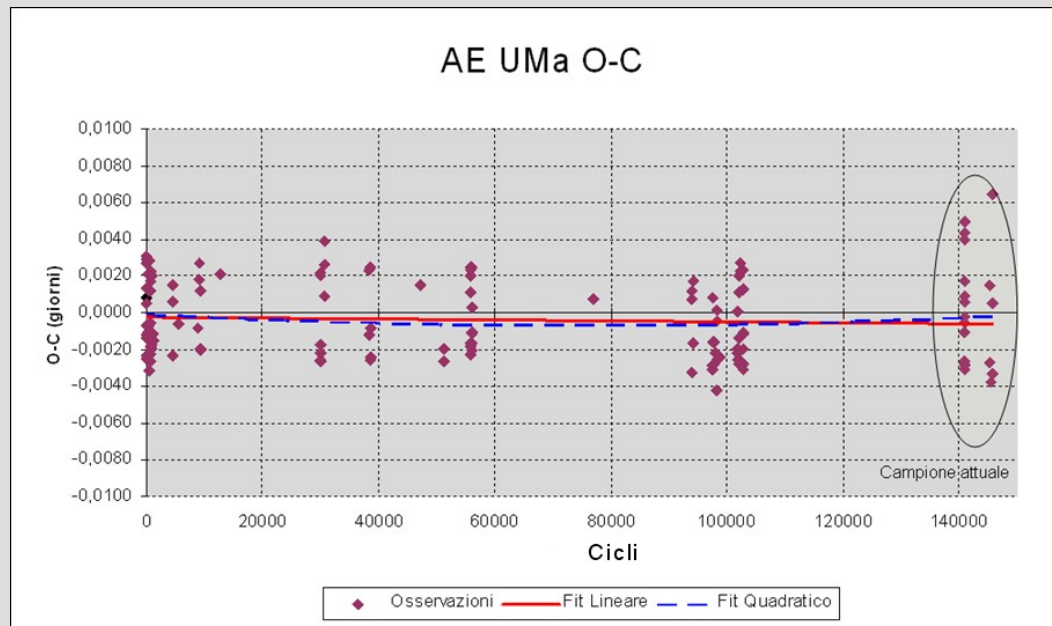
L'analisi si è quindi spostata sulla determinazione dei massimi (TOM - Time of Maximum) allo scopo di individuare la distribuzione delle variazioni tra il massimo previsto, tramite il periodo principale, ed il massimo effettivo osservato. I massimi sono stati calcolati con l'apposita funzione di PERANSO attraverso il fit di un polinomio del quinto grado.



Analisi dei residui O-C

A questo punto è stato possibile calcolare i residui O-C tra i valori di massimo effettivamente osservati e quelli calcolati con l'effemeride riportata nell'articolo di M. D. Pócs and B. Szeidl del 2001.

$$C = 2442062.5824 + 0.08601707 \times E$$

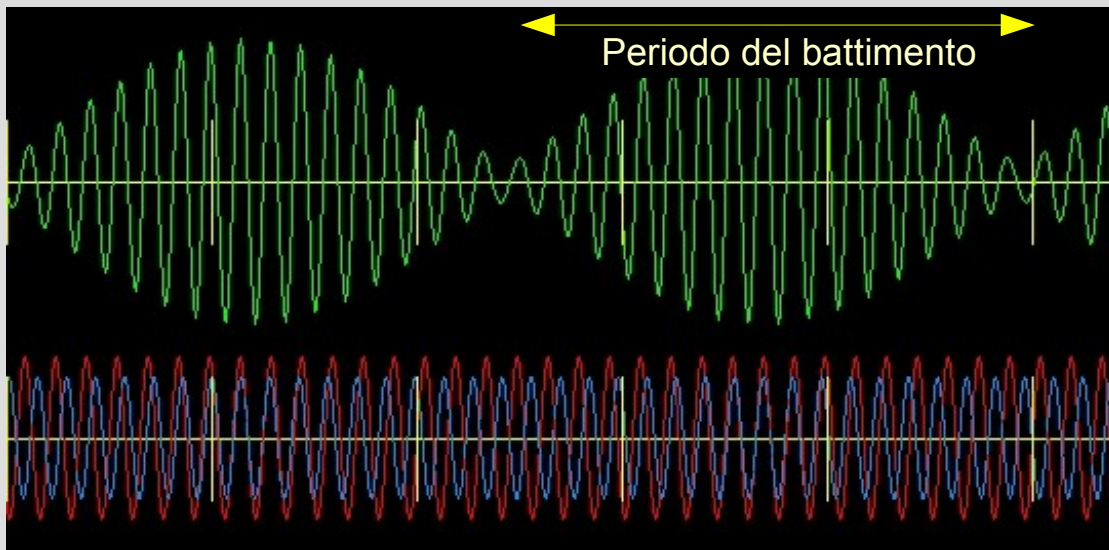


Il grafico mostra l'andamento dei residui O-C caratterizzato da anticipi e da ritardi intorno al periodo medio di pulsazione. Questa è una caratteristica tipica delle variabili multi-periodo di tipo RR Lyrae, denominata effetto Blazhko.

Fenomeno di interferenza (battimenti)

Gli anticipi e i ritardi osservati nei residui O-C sono una conseguenza diretta dei fenomeni di interferenza tra le due frequenze di pulsazione F_0 ed F_1 .

Quando la sorgente è la stessa e le due frequenze di pulsazione hanno dei valori non molto diversi si osservano dei fenomeni di modulazione chiamati battimenti.

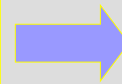


Notare come l'interferenza delle due onde generi un effetto di modulazione (battimento) il cui periodo risulta più alto rispetto a quello delle due onde componenti.

I battimenti (approccio analitico)

Il periodo di interferenza del battimento P_B , ottenuto dalle due pulsazioni di periodo P_0 e P_1 è determinato dalla relazione:

$$P_B = P_0 * P_1 / | (P_0 - P_1) |$$



$$P_B = 0.29363 \text{ d}^{-1}$$

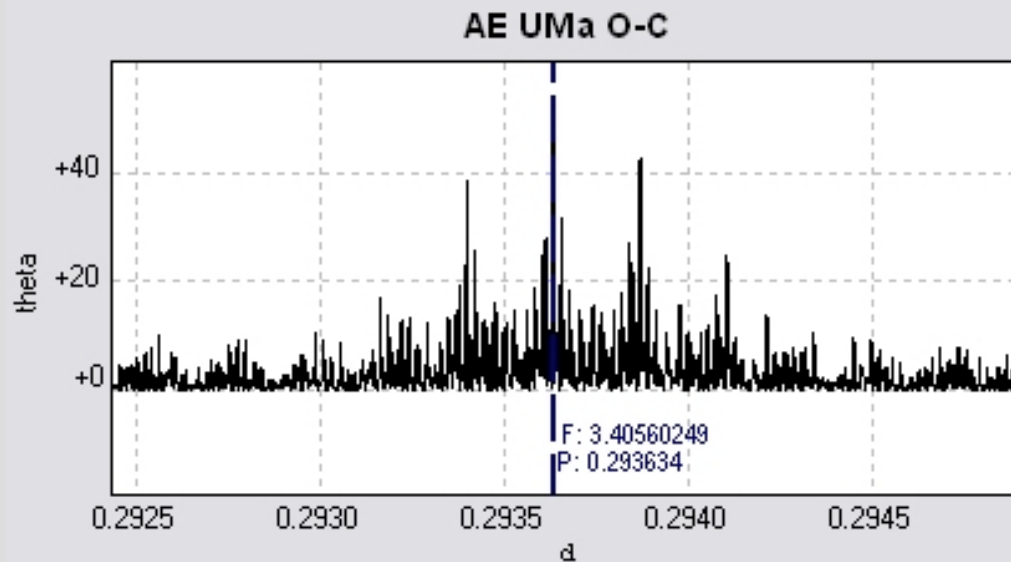
Il periodo di battimento P_B rappresenta quindi la modulazione delle interferenze causate dai due periodi di pulsazione della stella (periodo principale e secondario).

Da un punto di vista intuitivo il fenomeno è del tutto simile agli effetti di modulazione del suono ottenuti da due canne d'organo che suonano contemporaneamente due note diverse.

I battimenti (analisi residui O-C)

Attraverso l'analisi del periodo dei residui O-C è stato possibile ricavare con un metodo alternativo il periodo di battimento precedentemente individuato in modo analitico.

Per l'analisi è stato utilizzato PERANSO inserendo questa volta non i dati di fotometria differenziale bensì i dati dei residui O-C.



$P_B = 0.293634$	d	± 0.00000
$F_B = 3.40560249$	d ⁻¹	± 0.00000395
$A_B = 0.0028$	d	± 0.0002

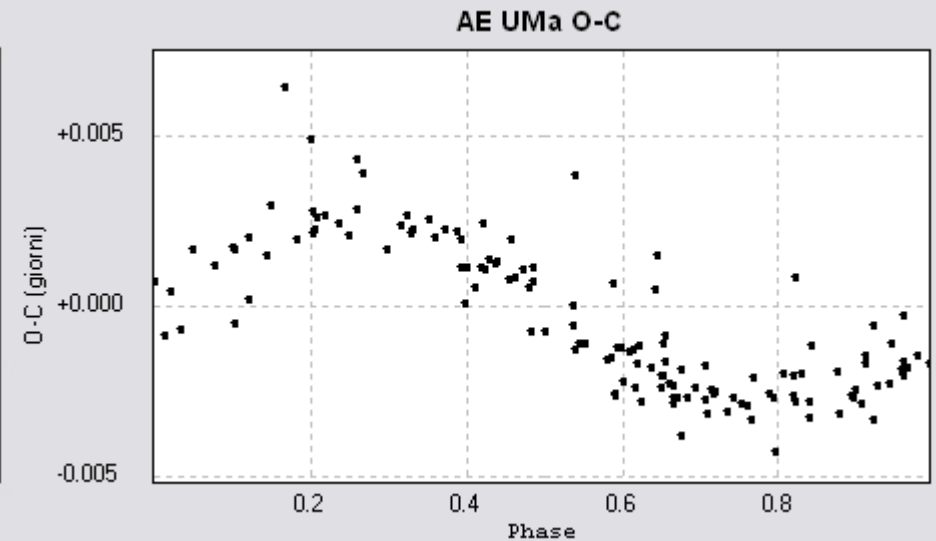


Diagramma di fase che mostra l'andamento sinusoidale dei residui O-C.

Andamento sinusoidale residui

I battimenti determinano quindi gli anticipi ed i ritardi osservati rispetto al periodo medio (residui O-C). Tali scostamenti seguono un andamento sinusoidale i cui valori andranno a sommarsi algebricamente a quelli ottenuti con l'effemeride principale.

$$\Delta t = A_B * \sin (2 \pi * \text{fase})$$

fase = parte frazionaria (NP)

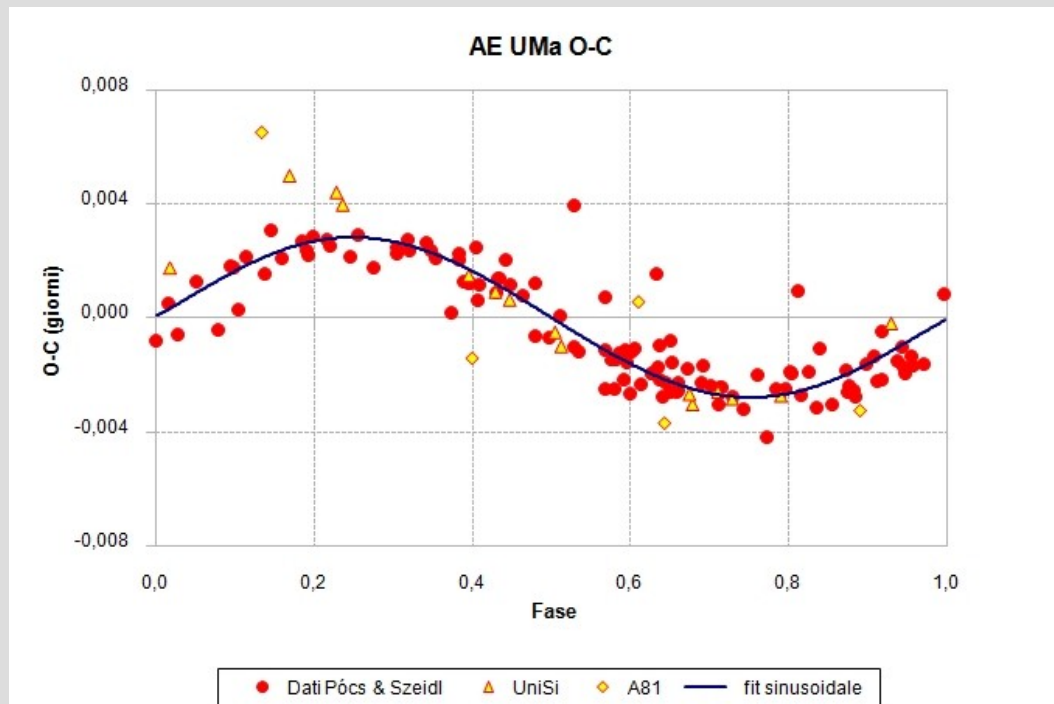
$$NP = (E_1 - E_0) / P_B$$

dove:

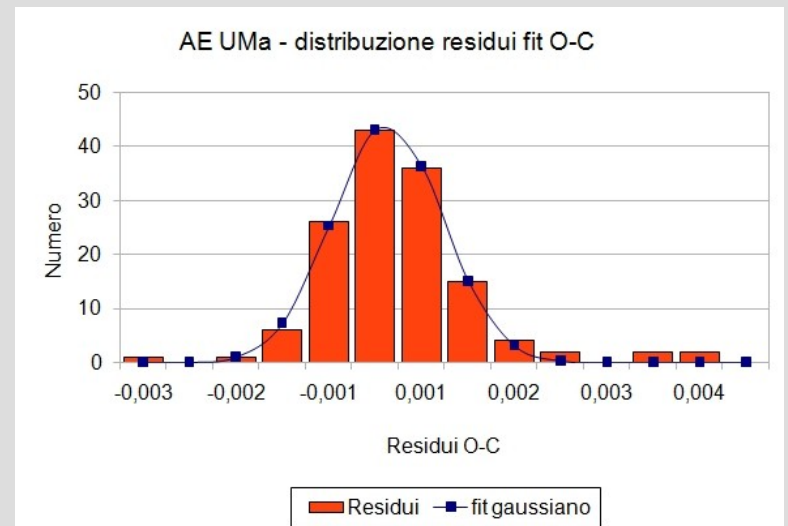
- A_B = ampiezza pulsazione (battimento) residui O-C
- E_1 = epoca del TOM
- E_0 = epoca di riferimento
- P_B = periodo di pulsazione (battimento) residui O-C

Diagramma di fase dei residui

Il grafico mostra il diagramma di fase della distribuzione dei residui O-C rispetto al fit sinusoidale ottenuto con la relazione precedente, che spiega molto bene l'andamento dei massimi osservati (coeff.correlazione $R^2 = 0.996$).



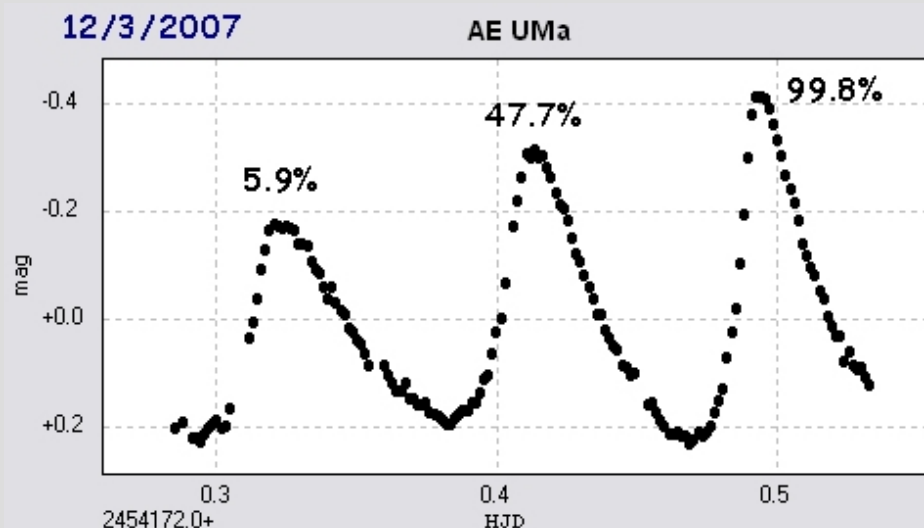
L'andamento gaussiano dei residui conferma il buon accordo con il fit sinusoidale. (dev.st 0.0011).



Ampiezza dei massimi

Il fenomeno dei battimenti, oltre a variare localmente la durata del periodo, come analizzato nel diagramma O-C, modula anche l'ampiezza dei massimi. Si osservano quindi dei massimi ravvicinati di ampiezza diversa l'uno dall'altro. Quest' andamento a "montagne russe" rappresenta una caratteristica tipica e molto appariscente di AE UMa, come si osserva chiaramente nelle curve di luce.

Quest' andamento si spiega attraverso l'interferenza costruttiva e distruttiva delle singole ampiezze A_0 e A_1 delle due frequenze di pulsazione F_0 ed F_1 che modulano l'ampiezza risultante attraverso la relazione:



$$A_{TOM} = \sqrt{(A_0^2 + A_1^2 + 2 A_0 A_1 \cos(2 \pi t))}$$

dove t rappresenta la fase (tra 0 e 1)

La figura mostra l'andamento delle ampiezze dei massimi calcolati con la relazione precedente e normalizzati ad un valore percentuale tra 0 e 100.

Conclusioni 1/2

Le due frequenze di pulsazione ottenute con la nostra analisi sono risultate in ottimo accordo con gli studi di M. D. Pócs and B. Szeidl e di A.-Y. Zhou pubblicati nel 2001.

	F0 (d ⁻¹)	F1 (d ⁻¹)
Franco & Marchini	11.625609 +/- 0.000034	15.031250 +/- 0.00014
M. D. Pócs and B.Szeidl	11.625601 +/- 0.000002	15.031184 +/- 0.000008
A.-Y. Zhou	11.625600 +/- 0.0000002	15.031200 +/- 0.0000010

I valori dei residui O-C delle nostre osservazioni sono in linea con i valori pubblicati in letteratura e confermano la sostanziale stabilità del periodo principale di pulsazione di AE UMa su di un arco temporale di 34 anni.

Questi ultimi inoltre sono risultati ben interpretati dal periodo di battimento $P_B=0.293634$, ottenuto sia analiticamente che attraverso l'analisi della periodicità dei residui, effettuata con PERANSO.

Conclusioni 2/2

Questo lavoro ha potuto dimostrare come sia possibile effettuare un'analisi con sufficiente precisione, partendo da osservazioni disomogenee e non filtrate, provenienti da diversi osservatori, ed ottenendo comunque dei risultati in ottimo accordo con quelli pubblicati in letteratura.

Per concludere si invita ad osservare la variabile AE UMa nelle prossime campagne osservative per ottenere dei dati utili alla verifica della effemeride:

$$C = 2442062.5824 + 0.08601707 * E + A_B * \sin (2 \pi * \text{fase})$$

fase = parte frazionaria (NP)

$$NP = (E_1 - E_0) / P_B$$

dove:

C = epoca prevista del massimo (HJD)

E = numero periodi componente lineare

$A_B = 0.0028$ (ampiezza battimento)

E_1 = epoca osservazione (HJD)

$E_0 = 2442062.584$ (epoca di riferimento)

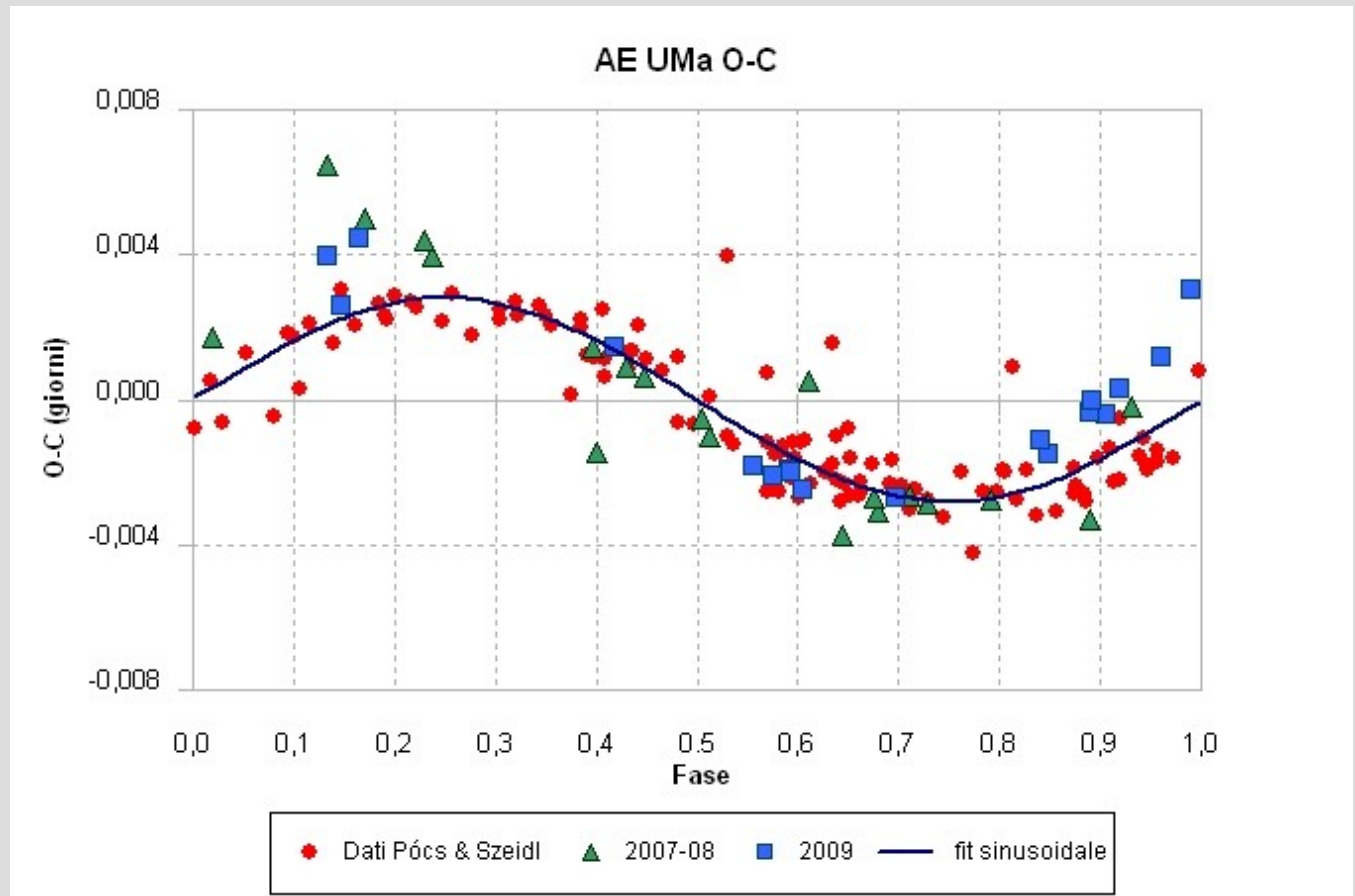
$P_B = 0.293634$ (periodo battimento)

Campagna osservativa 2009

Il grafico riporta il diagramma di fase dei residui O-C per i massimi osservati nel 2009 (quadrati blu) in relazione a quelli degli anni precedenti ed al fit sinusoidale.

Le osservazioni della campagna 2009 sono state eseguite da:

- Oss. Università Siena
- A81 Balzaretto Obs.
- Corfini Giorgio
- Zambelli Roberto



Proviamo ad immaginare... (1/3)

Proviamo adesso ad immaginare cosa succede su AE UMa da un punto di vista fisico. La stella ha una variazione di circa 0.6 magnitudini in poco più di due ore. Quanto sarà grande il guscio di espansione e quale sarà la velocità con la quale si espande ?



Cerchiamo a rispondere a queste domande attraverso alcune semplificazioni che ci potranno comunque permettere di determinare gli ordini di grandezza delle quantità in gioco.

Assumiamo ad esempio che l'aumento di luminosità sia dovuto all'espansione della stella e, conseguentemente, all'aumento della superficie radiante. In realtà non è proprio così, poiché l'aumento di luminosità avviene nella fase di compressione a causa dell'aumento della temperatura e quindi della quantità di energia emessa.

*La luminosità dipende dal quadrato del raggio
(a parità di energia emessa).*

$$L = 4\pi R^2 E$$

$$\text{con: } E = \sigma T^4$$

dove: σ = costante di Stefan Boltzmann 24

Proviamo ad immaginare... (2/3)

La differenza di magnitudine in relazione alla variazione di luminosità è espressa da:

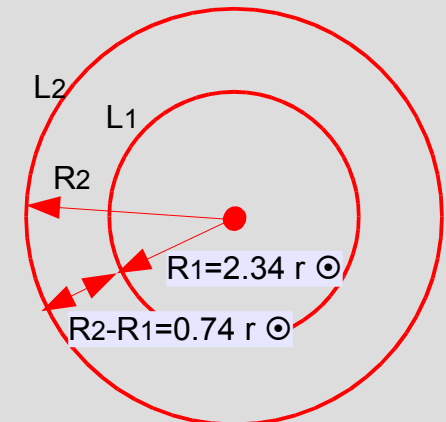
$$m_1 - m_2 = 2.5 \log_{10}(L_2/L_1)$$

Sostituendo le luminosità L_2 ed L_1 e assumendo che le energie E_2 ed E_1 siano uguali (ovvero che non ci siano nella fase di espansione delle significative variazioni di energia emessa) si ottiene, dopo qualche passaggio, il rapporto dei raggi in relazione alla differenza di magnitudine osservata.

$$R_2/R_1 = \sqrt{10^{((m_1 - m_2)/2.5)}} = 1.32$$

dove: $(m_1 - m_2) = 0.6$

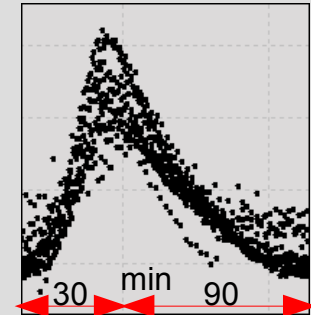
Assumendo per AEUMa un raggio di $2.34 r_{\odot}$ ⁽¹⁾ otteniamo: $R_2 - R_1 = 0.74$ raggi \odot (circa 518 mila km), **quindi il guscio di espansione è un po' più grande della distanza terra-luna.**



(1) Period amplitude variations in the high-amplitude delta Scuti star AE Ursae Majoris di A.Y. Zhou

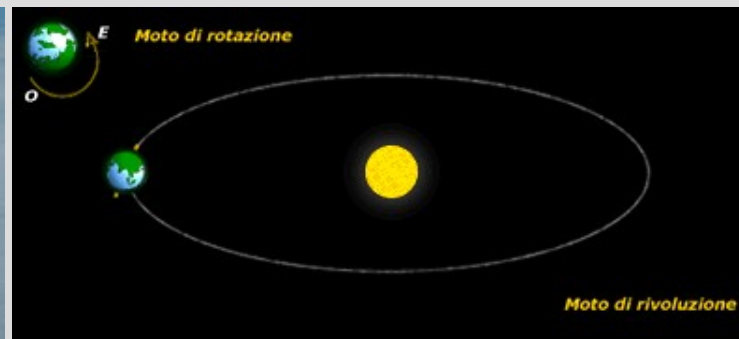
Proviamo ad immaginare... (3/3)

*La velocità d'espansione media, durante la fase di salita rapida (30 min), sarà quindi di circa **288 km/sec**, mentre, durante la fase di discesa più lenta (90 min), sarà di circa **96 km/sec**.*



Al confronto abbiamo

- 11 km/sec – velocità di fuga dalla terra
- 30 km/sec – velocità di rivoluzione della terra intorno al sole
- 200 km/sec – velocità di rotazione del sistema solare intorno al centro della nostra galassia.



Qualche riferimento utile

*Pócs, M. D., Szeidl, B., Astronomy & Astrophysics, **368**, 880-887 (2001)*

*Zhou A.-Y., Astronomy & Astrophysics, **374**, 235-242 (2001)*

*Foster, G., Astronomical Journal, **109**, 1889-1902 (1995) Smith, H.A. 1995, RR Lyrae Stars (Cambridge: Cambridge University Press)*

*Stothers, R.B., The Astrophysical Journal, **652**, 643-649 (2006)*

PERANSO (www.peranso.com)

MaximDL (www.cyanogen.com)

AIP4Win (www.willbell.com/aip/index.htm)

GCSV Catalogue (www.sai.msu.su/groups/cluster/gcvs/gcvs)

CBA Belgium Observatory (d1052380.domain.com)

Astroart (www.msb-astroart.com)

Domande

