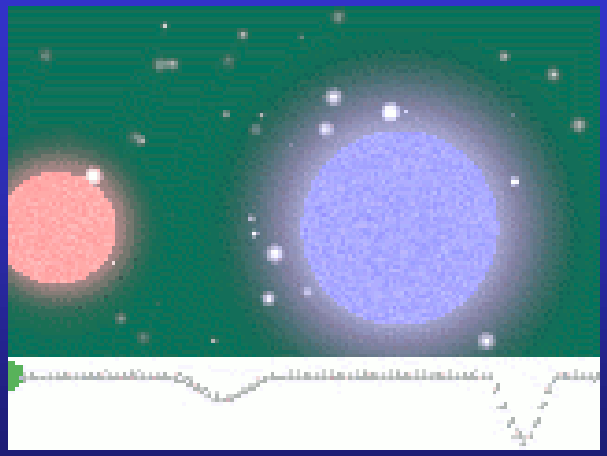
Stelle

Primo Levi 2018
Roberto Bedogni
http://www.bo.astro.it/~bedogni/primolevi
Email :roberto.bedogni@oabo.inaf.it

Sistemi Binari

Sistemi binari



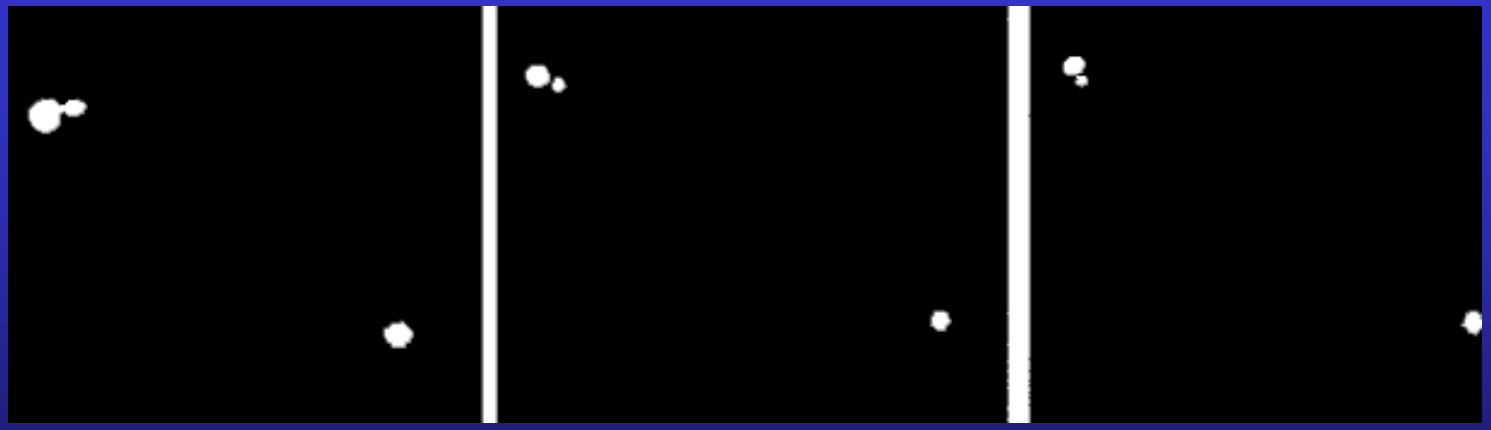
Un primo livello di aggregazione, nel quale si trova circa il 70% delle stelle, è costituito sistemi dai binari o stelle doppie.

Si tratta di stelle che all'occhio nudo appaiono singole, ma che con l'ingrandimento di un telescopio (binarie visuali) o con l'osservazione fotoelettrica (binarie fotometriche o ad eclisse) o spettroscopica (binarie spettroscopiche), appaiono formate da due componenti stellari vicine, a pochi secondi d'arco l'una dall'altra.

Un sistema binario è costituito da due stelle che percorrono ciascuna un'orbita ellittica intorno al comune baricentro, per effetto della mutua attrazione gravitazionale, secondo le leggi della meccanica Newtoniana.

Il periodo di rivoluzione è tanto maggiore quanto maggiore è la distanza tra le due componenti e viceversa, come risulta dalla terza legge di Keplero.

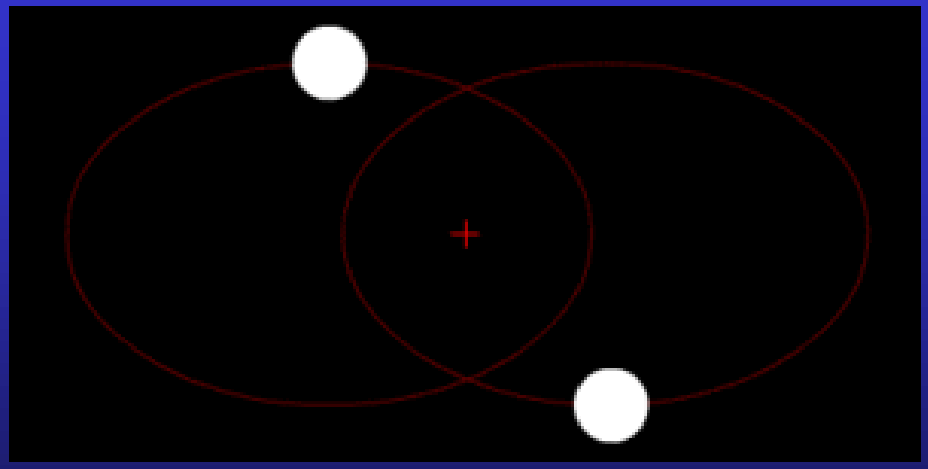
Binarie Visuali



Il Sistema della Kruger 60 (distanza 13 a.l.) Periodo orbitale=44,6 anni-Semiasse 9,5 U.A.

L'orbita di una delle stelle di un sistema binario visuale rispetto all'altra si determina con successive osservazioni fotografiche. Nella figura sono mostrate tre fotografie della stella Kruger 60, ottenute nel 1908, 1915 e 1920. Si notano le diverse posizioni delle componenti A e B durante un intervallo di tempo di 12 anni.

Binarie Visuali



I sistemi binari visuali con le componenti meno separate tra di loro hanno periodi di rivoluzione dell'ordine di un centinaio di giorni, mentre quelli con le componenti più separate hanno periodi sino a decine d'anni o più.

Sono note circa 60000 doppie visuali. Lo studio del moto orbitale delle due componenti di un sistema binario permette di determinare la massa delle due stelle.

Elementi orbitali di un sistema binario

Gli elementi orbitali, necessari a definire un'orbita di una binaria, sono:

- Periodo orbitale P
- Istante T del passaggio al periastro

- L'inclinazione i rispetto al piano del cielo
- L'angolo di posizione della linea dei nodi Ω

- Il semiasse maggiore a (in U.A.) NB $a=a_1 + a_2$ semiassi delle orbite delle due stelle rispetto al baricentro
- L'eccentricità e
- La longitudine del periastro ω

Solo P a ed e sono intrinseci al sistema gli altri dipendono dalla posizione dell'orbita rispetto all'osservatore

NB a (in U.A.) = a"/ parallasse

Binarie Visuali -parametri

Dalla terza legge di Keplero per un sistema binario di masse M_A ed M_B

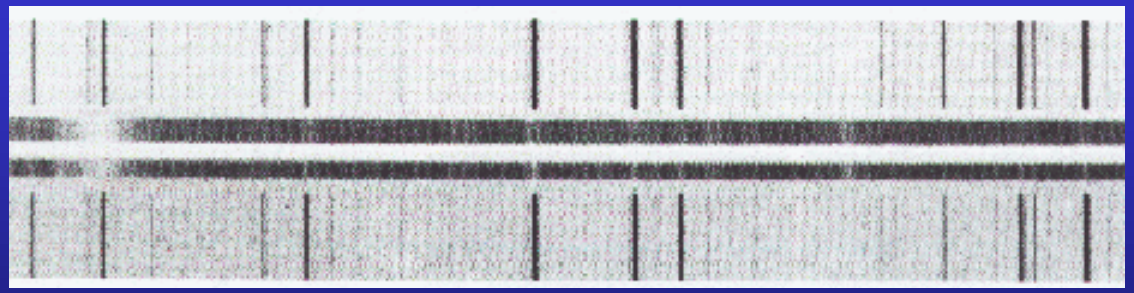
Si ha:

$$M_A + M_B = 4 \pi^2 a^3 /(G \cdot P^2)$$

con $G=6{,}670 \cdot 10^{-8}$ gr cm^3 s^{-2}

Se **a** (semiasse maggiore) è misurato in cm e **P** (periodo orbitale) in secondi

Binarie Spettroscopiche

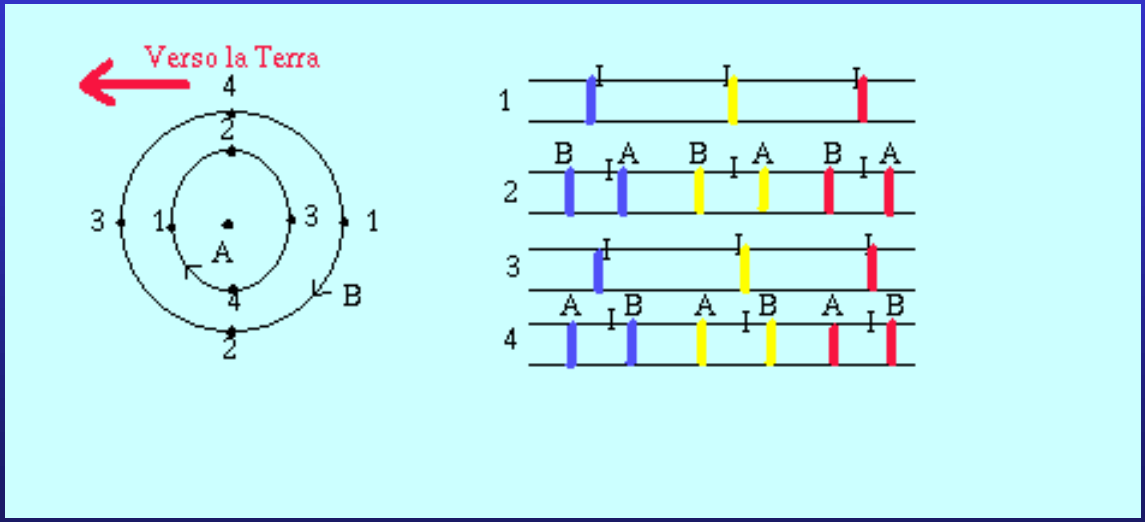


La figura mostra lo spettro di una binaria spettroscopica (strisce scure orizzontali) con le componenti in posizioni diverse l'una rispetto all'altra. Si noti, nello spettro superiore, la presenza di righe doppie, che nello spettro inferiore sono singole.
Le righe doppie sono dovute al diverso moto lungo la direzione di vista (velocità radiale) delle due stelle rispetto alla Terra.

Quando appare una sola riga, significa che le due stelle sono sovrapposte e non c'è differenza di moto relativo tra le due componenti (e quindi non c'è spostamento per effetto Doppler).

Le componenti di una binaria spettroscopica sono molto vicine tra loro e sono osservate contemporaneamente nella fenditura dello spettroscopio: per questo gli spettri delle due stelle vengono visti insieme.
Le righe scure verticali, su uno sfondo grigio, rappresentano lo spettro di riferimento, usato per confronto.

Binarie Spettroscopiche



Nella figura viene mostrato lo schema delle posizioni delle stelle come viste dalla Terra e il relativo aspetto delle righe spettrali.

Nelle posizioni (3,1) ed (1,3) le due componenti sono allineate lungo la direzione di vista e si registra un unico spettro con la presenza di una sola riga. Invece nelle posizioni (2,4) e (4,2) le componenti sono entrambe visibili, pertanto si vedono due spettri.

La posizione delle righe appare diversa perché le due componenti hanno velocità radiale diversa rispetto alla Terra: una appare in avvicinamento e l'altra in allontanamento.

Sono riportate una riga della zona blu dello spettro, una riga gialla e una rossa.

Binarie Spettroscopiche effetti della rotazione stellare

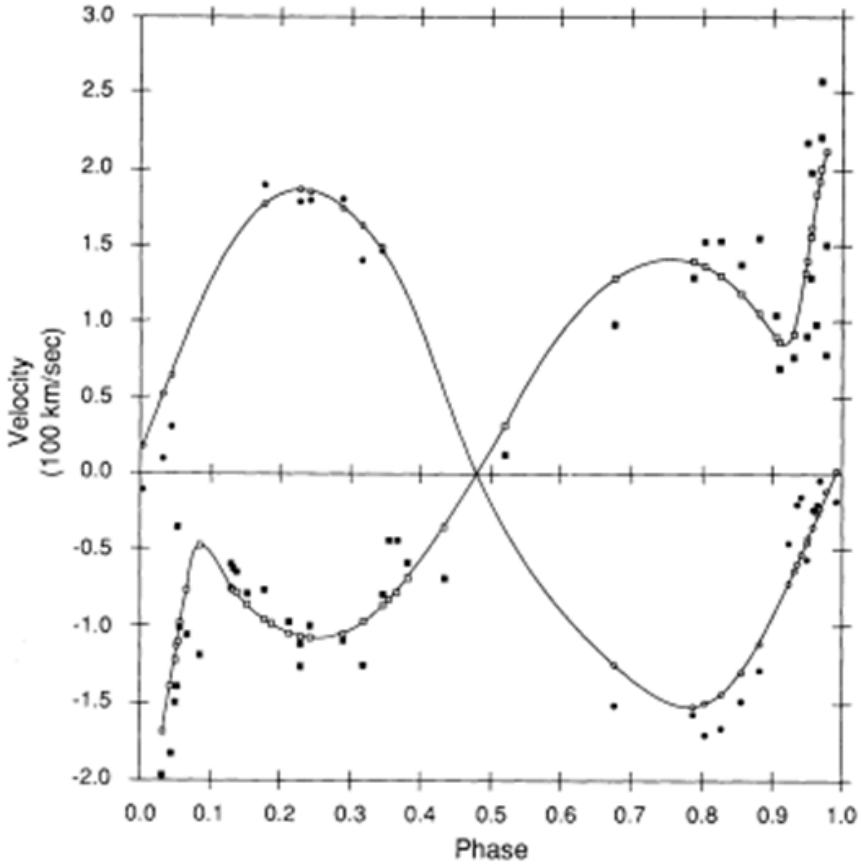
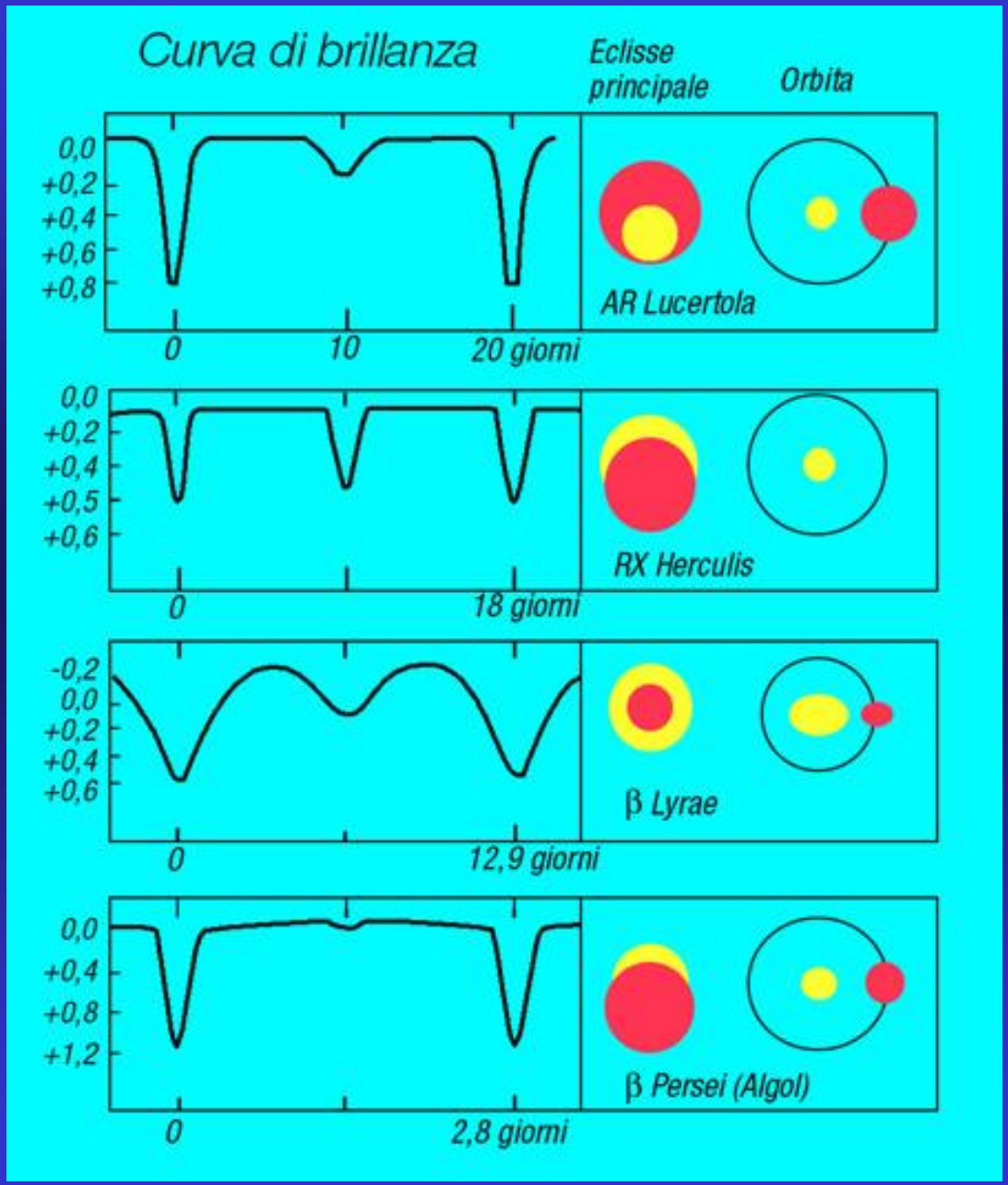


FIG. 2.—Our simultaneous fit (solution 2, mode 5) to the radial velocity data of Batten (1974). Filled squares and circles are the data for primary and secondary, respectively, while open symbols are the theoretical values at that phase.

Nella figura viene mostrata la curva di velocità della binaria spettroscopica U Cephei che mostra l'effetto della rotazione stellare nella sua curva di velocità radiale.

Binarie ad eclisse-Transiti e fotometria



Binarie ad eclisse-Transiti e fotometria

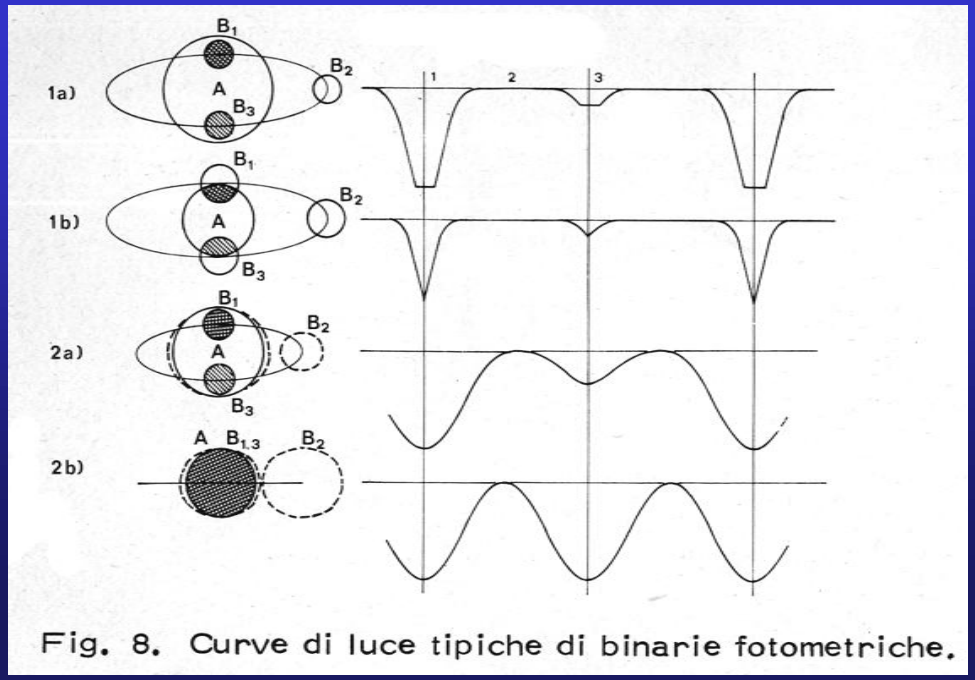
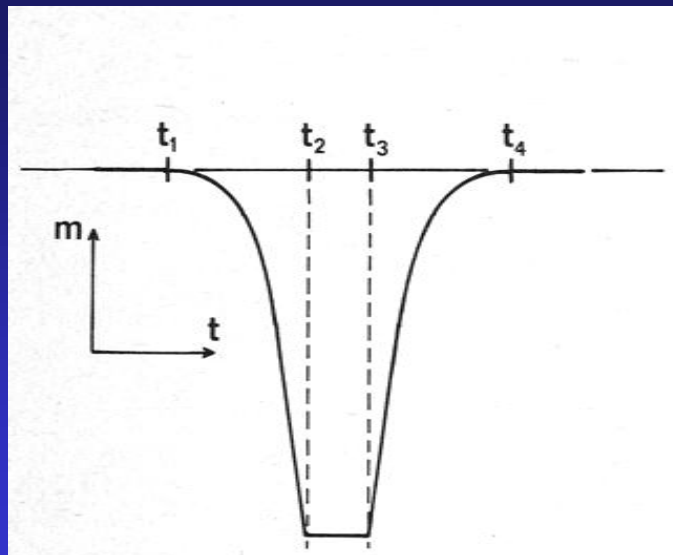
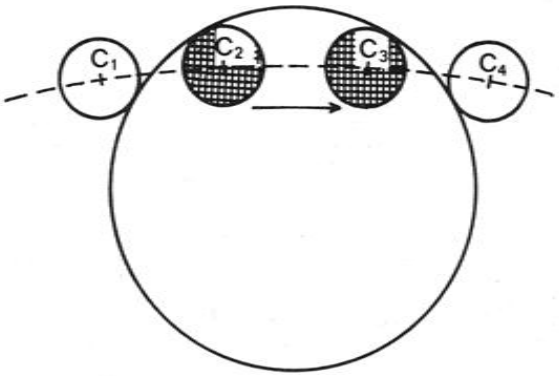


Fig. 8. Curve di luce tipiche di binarie fotometriche.





Binarie Spettro-Fotometriche (ad eclisse) parametri

La binarie fotometriche che sono anche spettroscopiche permettono di determinare il massimo dei parametri fisici del sistema di stelle !

1) Nota l'orbita "spettroscopica" si determinano i valori $a_1$seni ed a_2 seni (dove a_1 ed a_2 sono i semiassi ed i l'inclinazione)

2) dall'orbita "fotometrica" si ricava l'inclinazione i e abbiamo quindi i valori assoluti dei semiassi a_1 ed a_2

3) Dalla somma $a=a_1+a_2$ ricaviamo i raggi stellari R_1 ed R_2 (ad es in km)

4) In modo analogo si ricavano le masse stellari M_1 ed M_2

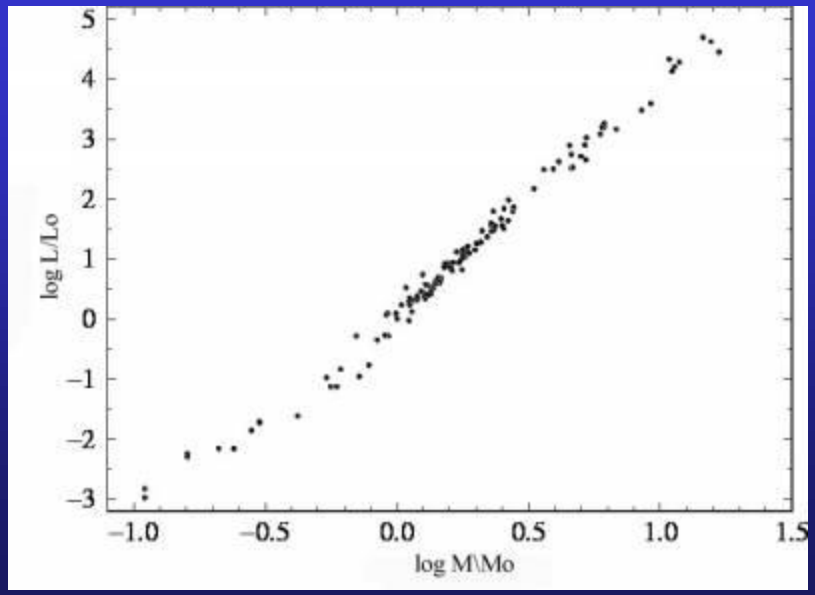
5) Noti i raggi e, dall'analisi spettrale, i tipi spettrali delle componenti si può ricavare la temperatura effettiva e quindi le magnitudini bolometriche

6) Correggendo le magnitudini bolometriche si ricavano le magnitudini assolute visuali

7) Dal confronto con le magnitudini apparenti si hanno facilmente la distanza e la parallasse che può essere confrontata con la parallasse osservata

In questo modo otteniamo valori certi dei principali parametri stellari

Relazione massa luminosità e stelle binarie



Utilizzando le stelle binarie, che fortunatamente sono numerose, e la terza legge di Keplero gli astronomi hanno determinato empiricamente una relazione che lega la massa e luminosità di una stella.

Se L ed M rappresentano rispettivamente la massa e la luminosità di una stella, espresse in unità solari, valgono le seguenti relazioni:

1. per le stelle di piccola massa, $M \leq 0{,}5$ $L = M^{2.5}$
2. per le stelle di massa intermedia, $0{,}5 < M \leq 3$ $L = M^{3}$
3. per le stelle di grande massa, $M > 3$ $L = M^{4}$

In media si può assumere $L = M^3$.

Le relazioni forniscono unicamente una stima della massa e sono valide per la sequenza principale

Binarie ad eclisse-tabella

	Sp_1	Sp_2	$M_1/M_\odot$	$M_2/M_\odot$	$R_1/R_\odot$	$R_2/R_\odot$	$Mbol_2$	$Mbol_1$
WW Aur	A5-7	A7	1,81	1,75	1,9	1,9	+1,6	+1,8
AR Aur	B8	B9,5	2,55	2,30	1,8	1,8	-0,2	+0,4
Y Cyg	O9,5	O9,5	17,4	17,2	5,9	5,9	-6,5	-6,5
VY Gem	M1e	M1e	0,64	0,64	0,62	0,62	+7,7	+7,7
Z Her	F4 IV	K0 IV	1,22	1,10	1,6	2,6	+3,0	+3,3
RX Her	B9,5	A1	2,75	2,33	2,4	2,0	-0,2	+0,7
TX Her	A5	F0	2,1	1,8	1,8	1,5	+1,7	+2,8
AR Lac	G2	K0	1,32	1,31	1,54	2,86	+3,8	+3,1
UV Leo	G0	G2	0,9	0,9	1,10	0,99	+4,4	+4,7
U Oph	B5	B6	5,20	4,65	3,4	3,1	-2,5	-2,0
WZ Oph	G0	G0	1,11	1,11	1,37	1,35	+3,9	+3,9
ξ Phe	B6V	A0V	6,1	3,0	3,4	2,0	-2,2	+0,5

Binarie ad eclisse-Giganti e supergiganti

	Sp_1	Sp_2	$M_1/M_\odot$	$M_2/M_\odot$	$R_1/R_\odot$	$R_2/R_\odot$	$Mbol_2$	$Mbol_1$
V365 Sgr	A							-3,9
ζAur	K							...
31 Cyg	K							-3,8
32 Cyg								-3,4

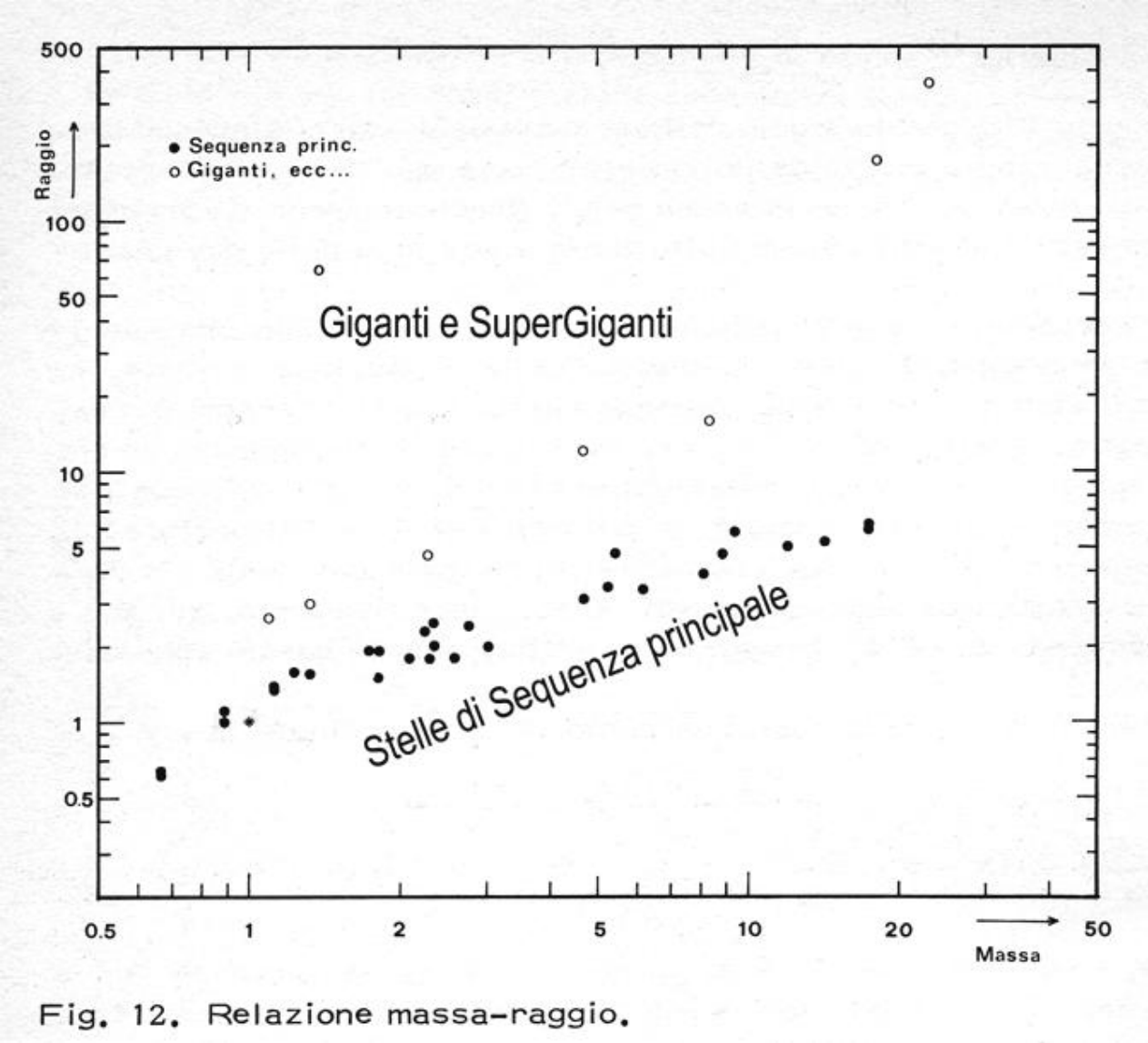
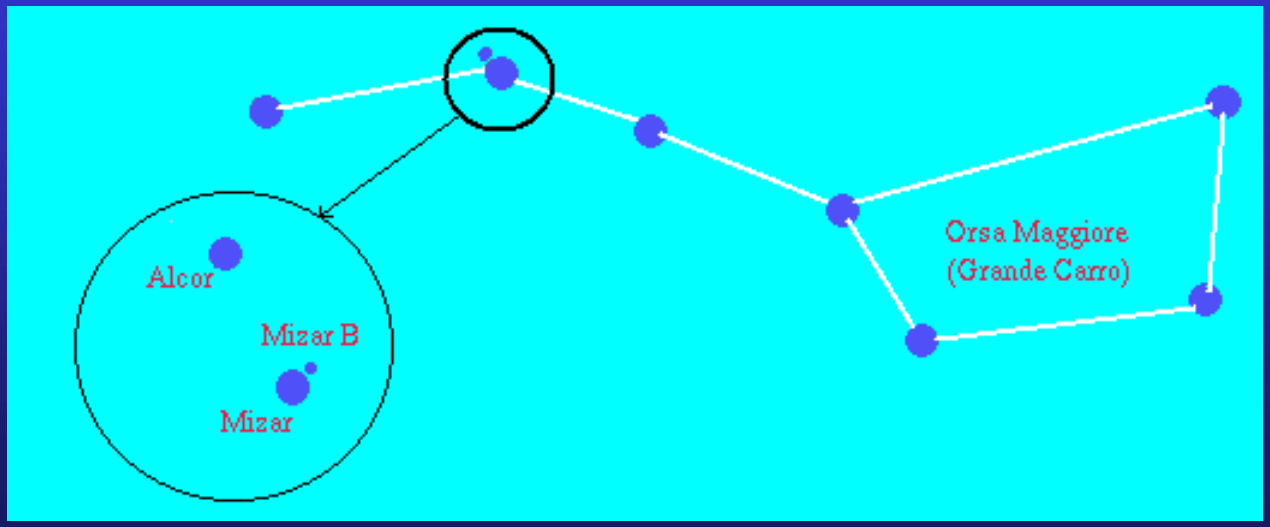


Fig. 12. Relazione massa-raggio.

Sistemi stellari multipli

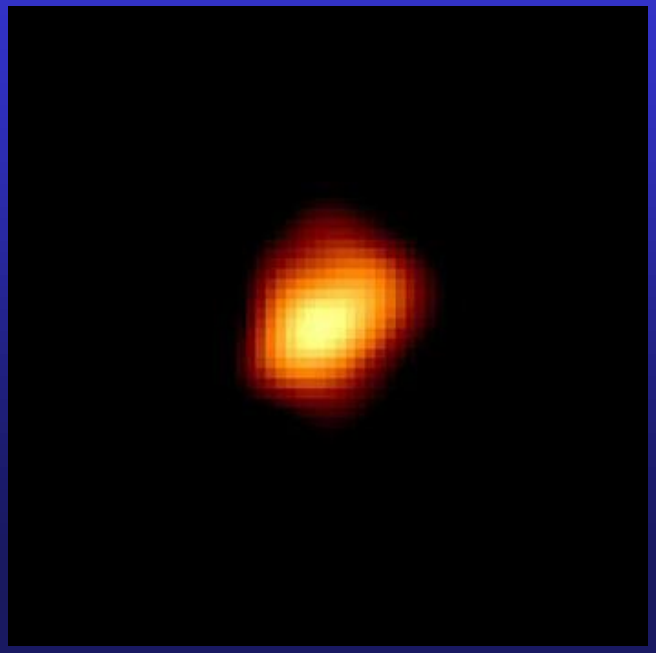


Con il telescopio si scoprono sistemi multipli di stelle, ossia un sistema binario in cui ogni membro appartiene a sua volta ad un sistema binario. Uno di questi sistemi, e sicuramente il più famoso, è quello di Alcor e del sistema doppio Mizar.

Mizar e Alcor formano un sistema doppio ottico (cioè non legato gravitazionalmente), separato di 12 minuti d'arco; Mizar, come si vede dall'ingrandimento, è un sistema doppio visuale, con separazione 12.2 secondi d'arco (facilmente osservabile con un buon binocolo). Ognuna delle due componenti di quest'ultimo sistema è a sua volta una binaria spettroscopica. È possibile che Mizar B sia un sistema triplo.

Stelle variabili

Stelle variabili introduzione



La stella variabile Mira osservata da HST

Le stelle variabili mostrano variazioni di luminosità fino ad una decina di magnitudini stimato dalla loro variabilità fotometrica

con cambiamenti nello spettro e variazioni di velocità radiali

Le variazioni di luminosità presentano variazioni da qualche ora a qualche anno

Alcune hanno lunghi intervalli di quiescenza e poi riprendono a variare

La prima variabile fu osservata da Fabricius nel 1596 ed la stella o Cet da lui denominata "Mira" (meravigliosa straordinaria)

Stelle variabili

I nomi delle stelle variabili sono stati fissati da Argeklander verso la metà del XIX secolo

Il nome è costituito da una lettera maiuscola da R a Z o da una coppia di lettere maiuscole seguito dal nome (abbreviato) della costellazione.

Quando il numero delle lettere, sia singole che doppie, è finito si impiega un numero da 335 in poi (es: R Lyr, DQ Her, V 335 Aql ….)

Vanno ovviamente distinte dalle variabili propriamente dette le binarie ad eclisse di cui bisogna riconoscere il carattere di sistema binario o come binarie visuali o come binarie spettro-fotometriche

Le variabili mostrano delle curve di luce che possono essere sovrapposte mostrando, oppure no, il carattere di periodicità delle stesse.

Stelle variabili-Tipologia

Le variabili sono stelle la cui luminosità varia effettivamente, cioè la stella stessa diventa più o meno luminosa.
Alcune (NB solo alcune) di queste si raggruppano nei seguenti tipi:

Variabili di tipo Mira
Variabili Cefeidi
Variabili RR Lyrae
Variabili Alpha Cygni
Variabili Delta Scuti
Variabili S Doradus
Varabili eruttive
Variabili cataclismatiche
Etc…

Stelle Novae
Supernovae

Stelle variabili intrinseche proprie

	Prototipo	Tipo spettrale	Tipo di variabilità	Periodo (giorni)	note
Cefeidi classiche Pop I	δ Cep, η Aql	F5-G supergiganti	Periodiche	1-50	Pulsazioni radiali
Cefeidi Pop II	W Vir	G-K Supergiganti	Periodiche	1-50	Pulsazioni radiali
RR Lyrae Pop II	RR Lyr	A-F Giganti POP II	Periodiche	0,2-1	Pulsazioni radiali
Cefeidi nane	δ Sct	A0-F5 Giganti (?)	Multi-periodiche	1	Pulsazioni multiple
β **Cephei**	β Cep	B0-B2 Giganti	Periodiche	1	Pulsazioni non radiali
Intermedie	RV tau	K Supergiganti	Periodiche	50-100	Pulsazioni radiali atipiche
Mira	o Cet	M Supergiganti	Periodiche	100-400	Pulsazioni radiali atipiche
Semiregolari	α Her	M Supergiganti	Aperiodiche		Fenomeni atmosferici

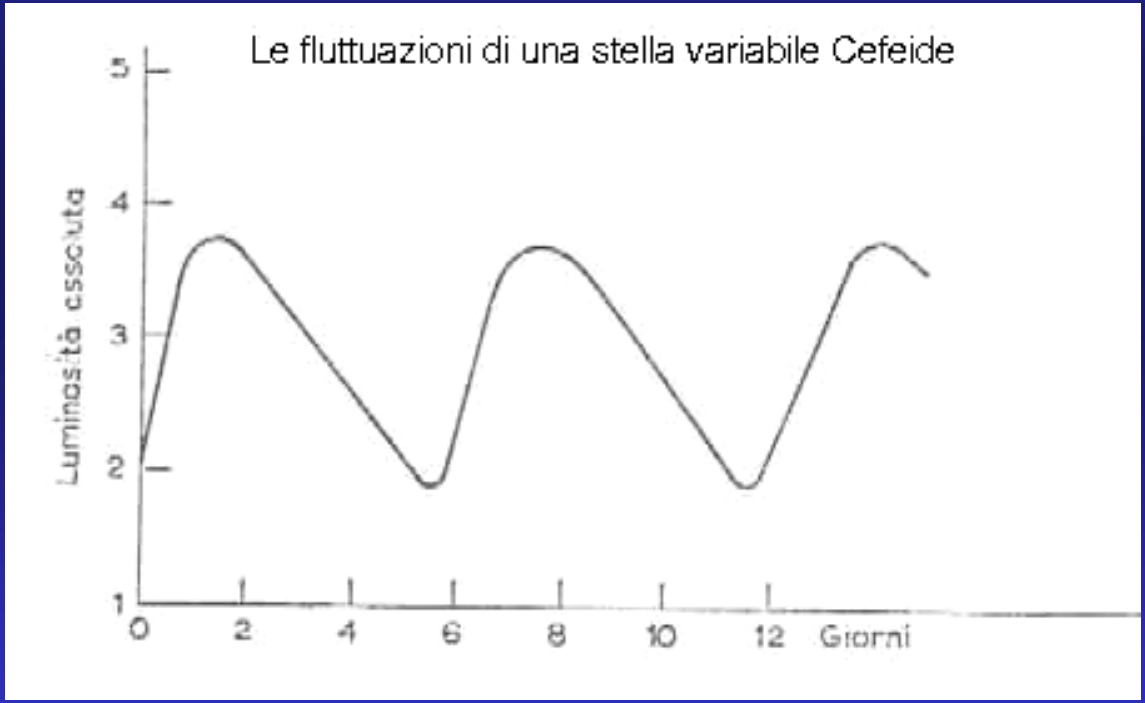
Stelle variabili atipiche

	nome	Tipo spettrale	Tipo di variabilità	Periodo	note
Novae	DQ Her V603 Aql	Pec. Subluminose	Acicliche	100 ?	Esplosioni in binarie
Novae ricorrenti	T CrB, RS Oph	Pec. Subluminose	Cicliche	30	Esplosioni in binarie
Stelle simbiotiche	Z And	M + em Subluminose?	Irregolari		Binarie ?
U Geminorum	U Gem	Pec, G Subluminose	Cicliche	100	Esplosioni in binarie
R Coronae Borealis	R CrB	G Giganti ?	Irregolari		
T Tauri	T Tau, RW Aur	Pec. Superluminose	Irregolari		Protostelle- variabili eruttive
P Cygni	P Cyg	A e B Supergiganti	Irregolari		Prime fasi stelle Massicce
Carinae	η Car	Pec. Superluminose	Irregolari		Prime fasi stelle Massicce

Cefeidi classiche-curva di luce

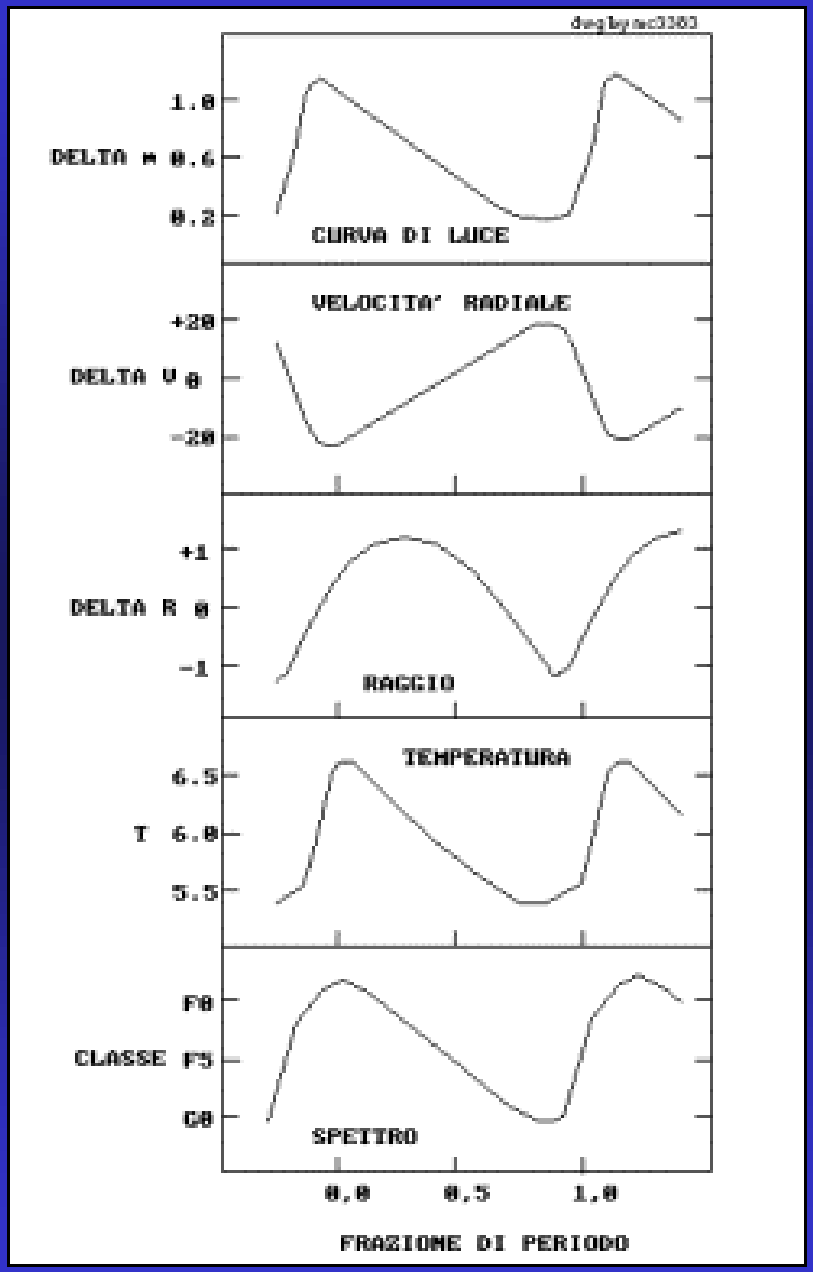
Le cefeidi sono stelle supergiganti di Popolazione I (stelle di disco) con tipi spettrali F-K

Hanno una curva di luce regolare con un rapido incremento di luminosità seguito da un lento declino

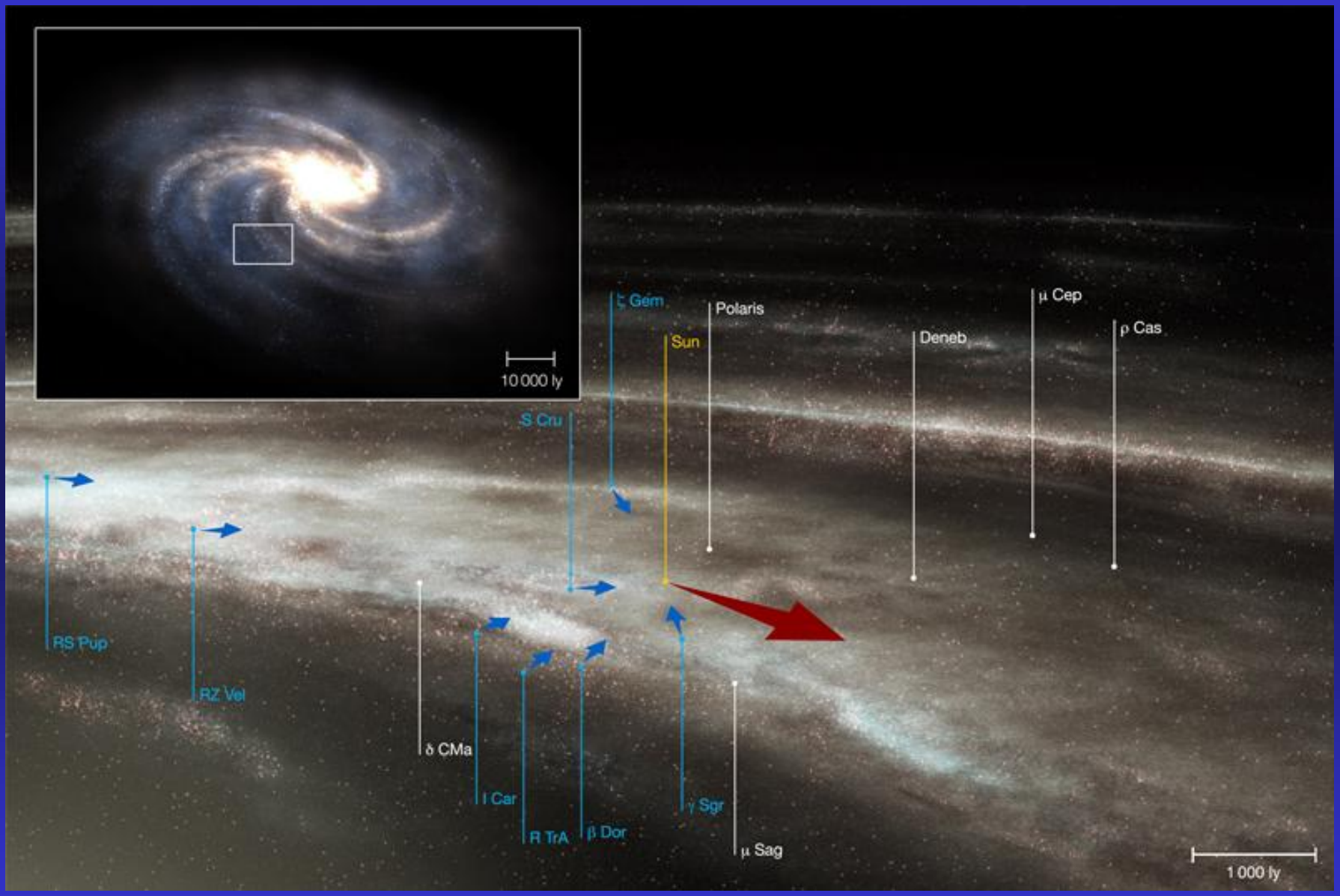


La variazione di luminosità è interpretata come una sequenza di pulsazioni radiali che interessa la materia compresa tra 0,8 ed 1 raggio stellare

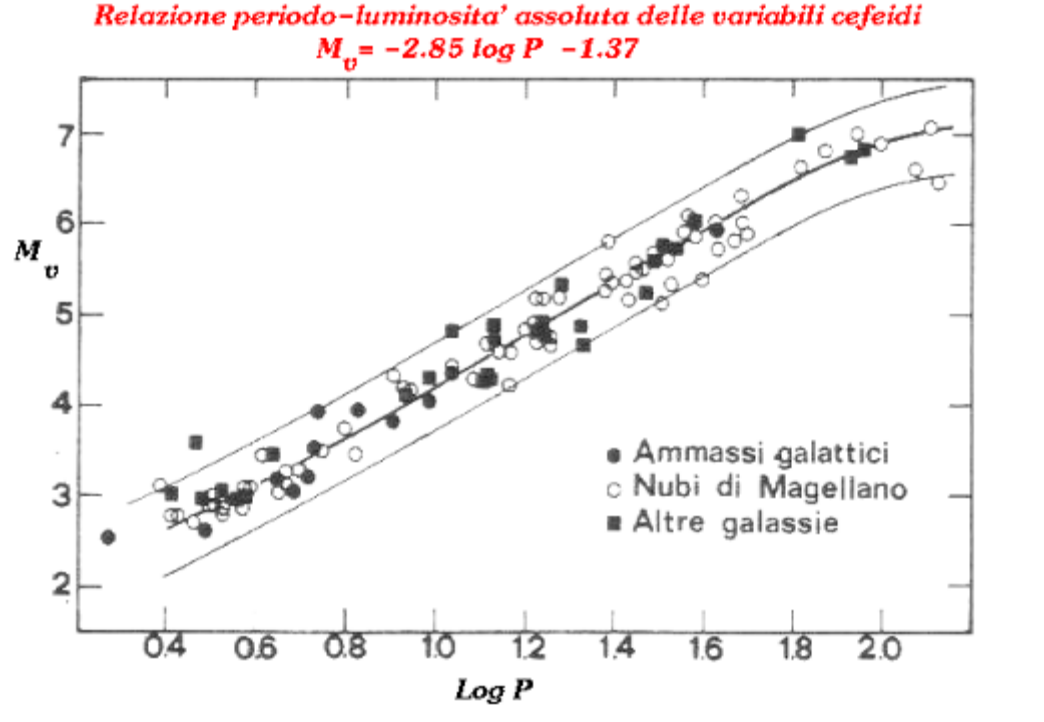
Cefeidi classiche-curva di luce



Le Cefeidi nei dintorni del Sole



Relazione periodo luminosità

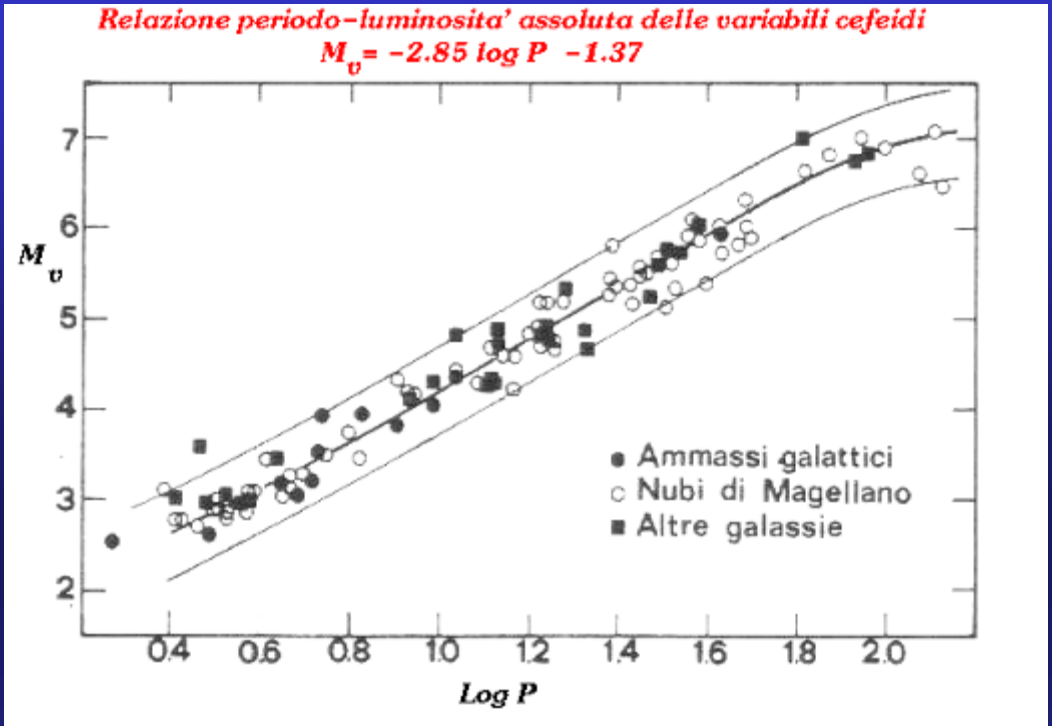


Le variabili Cefeidi sono stelle pulsanti con periodi che vanno da 2 a 40 giorni. La signora Leavitt nel 1912 trovò, dopo avere effettuato centinaia di misure delle variabili Cefeidi nelle nubi di Magellano, una relazione tra il periodo P e la magnitudine assoluta M_v.

$$M_V=-20.5 \log P -1,37$$

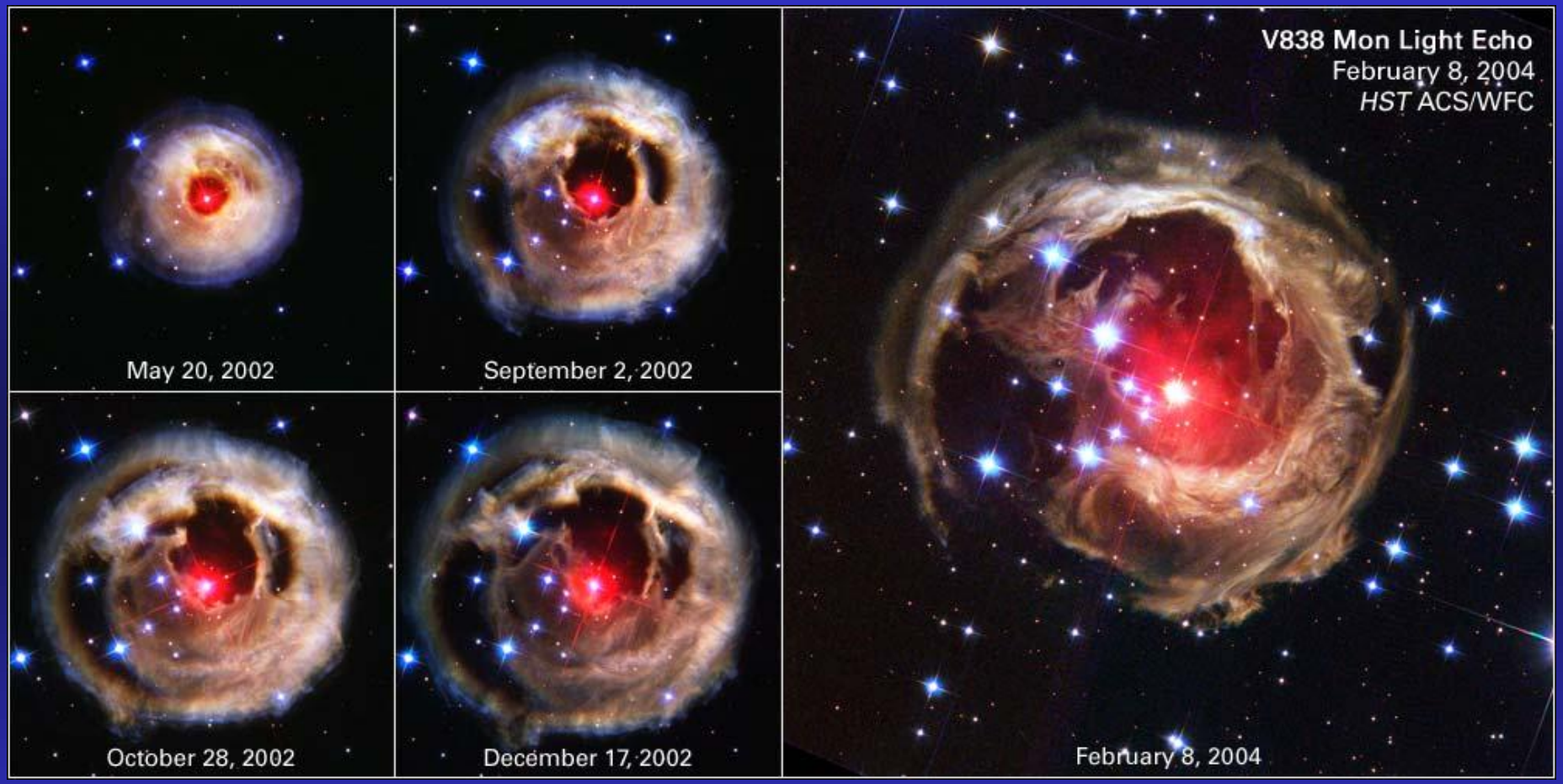
Da notare che le Cefeidi classiche sono stelle di Pop I mentre le Cefeidi W Virginis in tutto identiche alle altre salvo la variazione di luminosità (1,5 magnitudini più deboli delle "classiche") sono stelle di Pop II

Cefeidi come candele standard



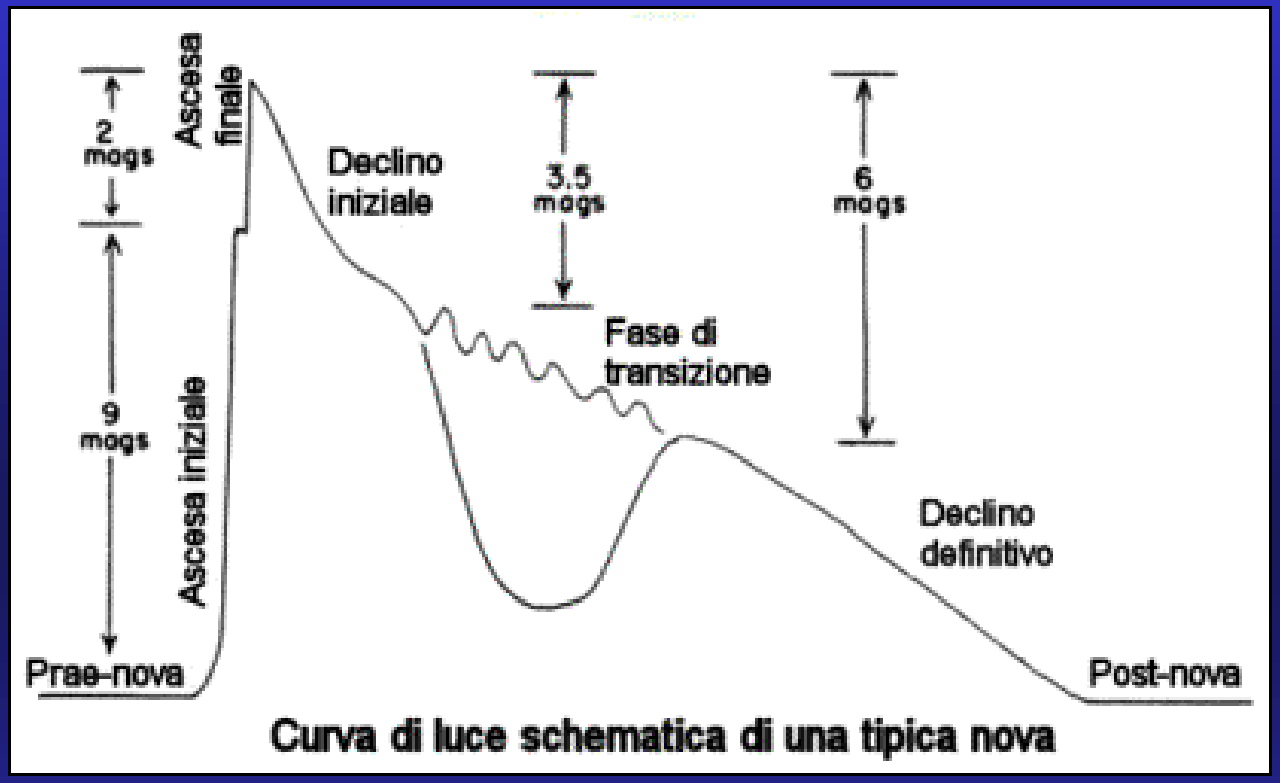
In altri termini le Cefeidi più brillanti variano di luminosità più di quelle meno brillanti e quindi è possibile risalire dal periodo di variabilità alla magnitudine assoluta. Dal momento che la magnitudine apparente è sempre disponibile viene ad essere noto immediatamente il modulo di distanza e quindi la distanza stessa. Per questo motivo le Cefeidi sono dette indicatori di distanza o candele standard.

Variabili eruttive



Espansione della stella variabile V838 Monocerotis ad una distanza di 20000 a.l. è diventata 600000 volte più luminosa del Sole

Novae



Curva di luce schematica di una tipica nova

Le Novae sono stelle variabili, non periodiche, che dopo fasi di quiescienza variano di luminosità impulsivamente con rilascio di una gran quantità di energia pari a circa 10^{46} erg