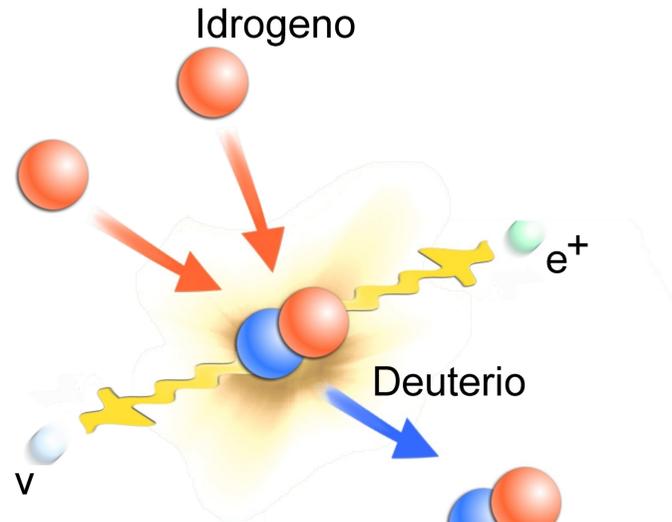
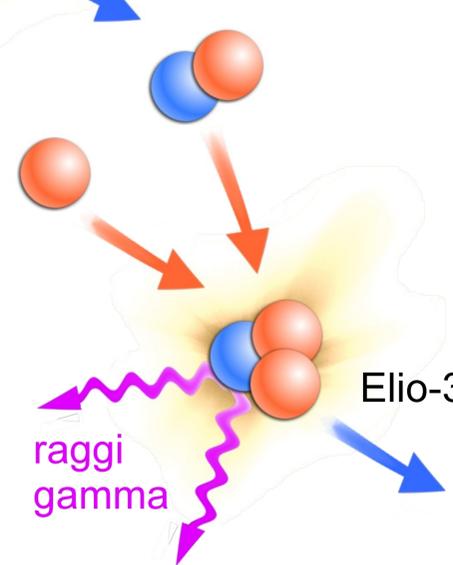


Ciclo di Bethe "protone-protone"

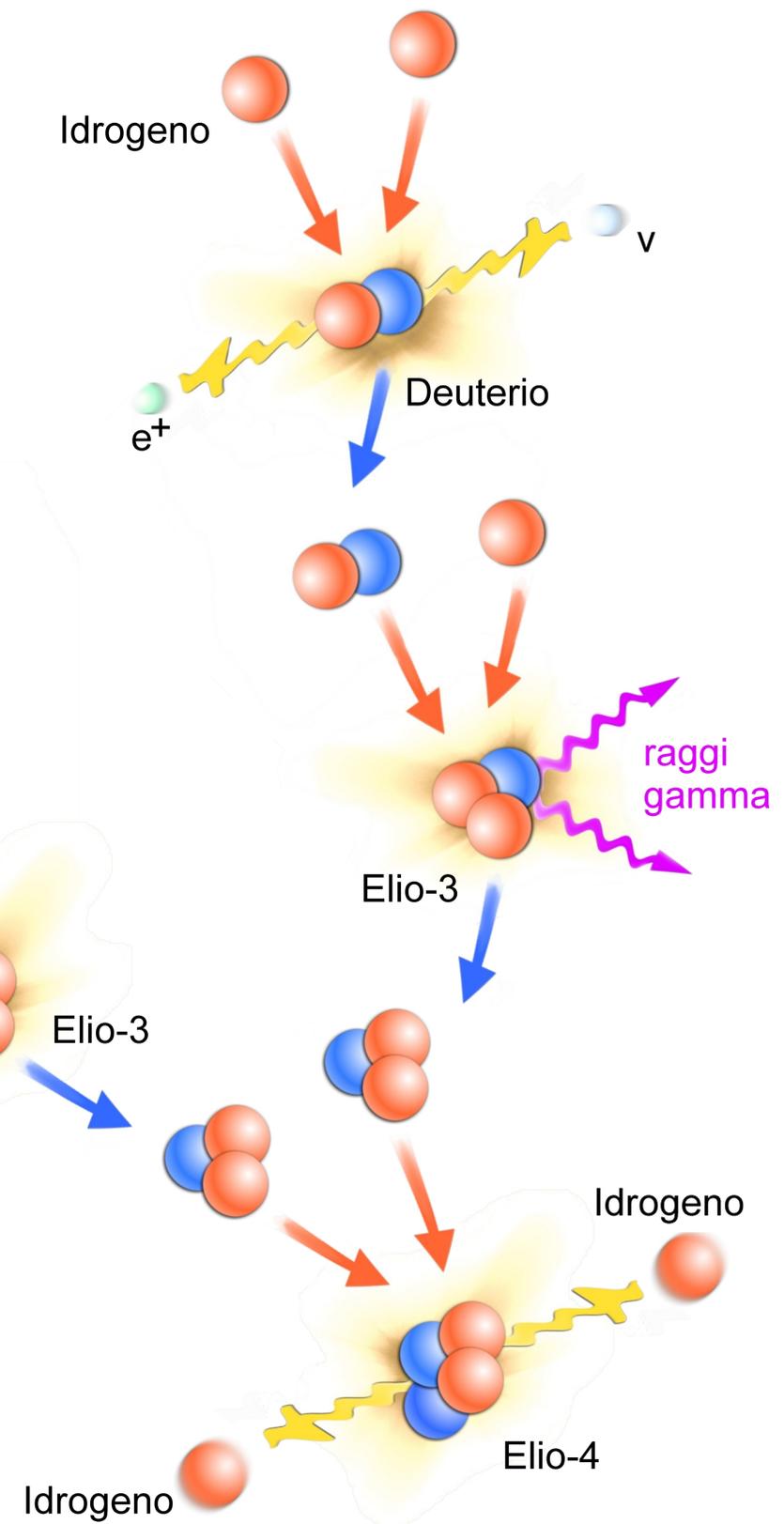
Due nuclei di Idrogeno si fondono originando una molecola di Deuterio liberando energia e particelle secondarie: un positrone ed un neutrino



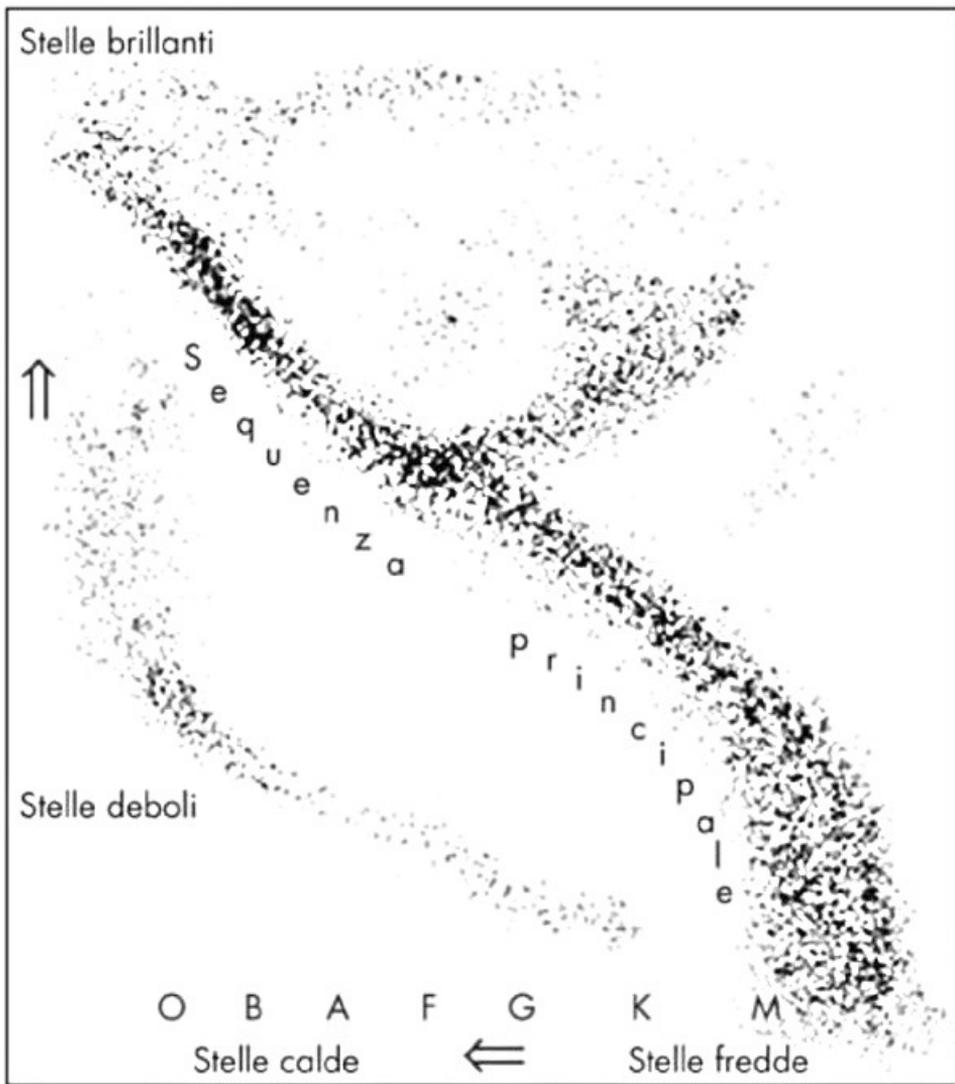
La molecola di Deuterio si combina con un nucleo di Idrogeno per formare una molecola di ^3He con la formazione di energia sotto forma di raggi gamma



Infine due molecole di ^3He si legano producendo una molecola di ^4He dissociando due protoni, ovvero due nuclei di Idrogeno



H
He
C
Ne
O
Si
Fe



Il diagramma di Hertzsprung-Russell, in cui oltre alla Sequenza Principale (sulla quale le stelle di maggiore temperatura sono più brillanti) sono indicati i versi in cui aumentano luminosità e temperatura.

Le *variabili eruttive* sono stelle che mostrano un'improvvisa e intensa emissione di energia, che provoca un aumento di 200 volte o più nella luminosità ottica in pochi giorni. Questi fenomeni sono causati da processi violenti, come i brillamenti (*flare*), che si verificano sulla superficie della stella. In alcuni casi, materiale stellare viene espulso e interagisce con il mezzo interstellare circostante, dando origine a cambiamenti nella luminosità visuale.

Le *variabili pulsanti* mostrano una periodica espansione e contrazione degli strati superficiali, come se respirassero. In alcuni casi l'espansione avviene uniformemente nella stella, in altri casi essa "tremola" a causa delle espansioni disomogenee che avvengono nei vari strati della sfera.

Le *variabili cataclismiche* mostrano esplosioni causate da processi termonucleari in prossimità

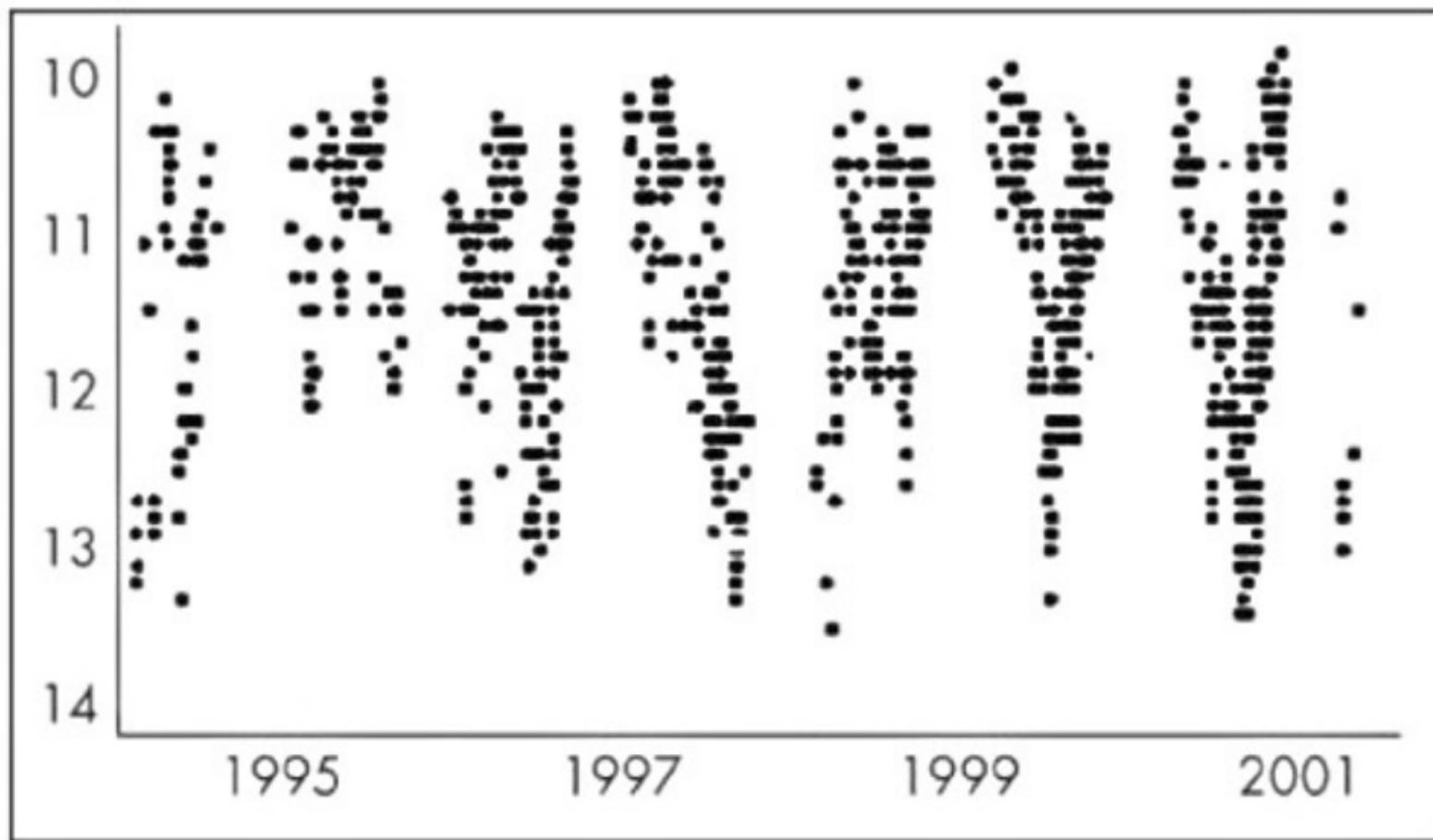
degli strati superficiali oppure profondamente all'interno. Le novae e le novae nane sono membri di questa studiatissima classe di variabili, e una proprietà importante che le accomuna è il fatto che sono tutti sistemi binari molto stretti, con periodi orbitali quasi sempre inferiori a 12h. Anche le supernovae sono classificate come variabili cataclismiche. La prima di esse osservata con tecniche moderne è stata la variabile S Andromedae nella galassia di Andromeda, nota anche come M31. Quando fu vista per la prima volta nel 1885 si ritenne che fosse una comune nova, con una luminosità relativamente modesta. Questo condusse a stime per la distanza di M31 che si rivelarono fuorvianti per gli astronomi nella stima delle dimensioni dell'Universo. Nel 1924 Edwin Hubble scoprì in M31 un tipo di stella variabile noto come Cefeide, e fu in grado di effettuare una stima indipendente della distanza utilizzando la *relazione periodo-luminosità*. Divenne allora evidente che S Andromedae era oltre 10 mila volte più brillante di una nova ordinaria. Le supernovae sono eventi rari: una galassia tipica non ne produce più di 2 o 3 per secolo.

Le *variabili rotanti* possiedono una luminosità superficiale irregolare e/o una forma ellittica. La loro variabilità è causata dalla rotazione assiale rispetto all'osservatore. Le irregolarità nella luminosità superficiale possono essere causate dalla presenza di macchie, o da variazioni termiche o chimiche nell'atmosfera causate dai campi magnetici. Il nostro Sole presenta macchie delle dimensioni della Terra. Immaginate una stella con macchie delle dimensioni del Sole!

Le *binarie a eclisse* sono sistemi stellari binari il cui piano orbitale è orientato approssimativamente lungo la linea di vista dell'osservatore, cosicché periodicamente una stella può passare davanti all'altra intercettandone la radiazione. Lo studio delle curve di luce di questi sistemi non solo rivela la presenza di due oggetti, ma può anche fornire informazioni sui rapporti tra le temperature e tra i raggi delle componenti, in base all'entità della riduzione di luminosità e alla durata dell'eclisse. Recentemente, astronomi dilettanti hanno osservato il possibile transito di pianeti extrasolari su stelle lontane.

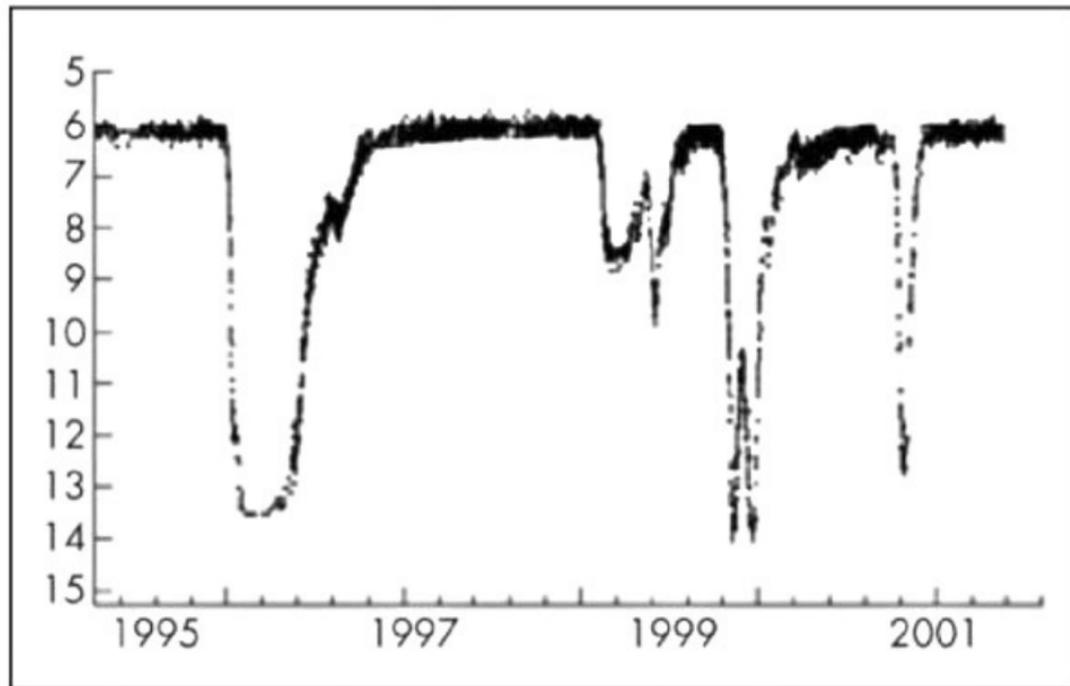
Le sorgenti *X* otticamente variabili sono una categoria di variabili in qualche modo ambigua. Alcuni astronomi considerano le binarie *X* una sorta di binarie strette interagenti in cui è presente un oggetto compatto degenere, quale una nana bianca, una stella di neutroni o un buco nero. Secondo la definizione che utilizzeremo noi, invece, le binarie *X* sono solo quei sistemi binari stretti interagenti che contengono una stella di neutroni o un buco nero. La differenza principale tra le variabili cataclismiche e le binarie *X* è l'intensità dell'emissione *X*. Molte binarie *X* producono fenomeni di variabilità ottica che possono essere osservati dagli astrofili. In un altro tipo di variabili di alta energia rientrano le sorgenti di "lampi gamma" (GRB - *gamma ray burst*). Questi enigmatici oggetti sono giunti solo recentemente all'attenzione degli astrofili. Presumibilmente si tratta di stelle così distanti che non abbiamo trovato traccia della loro esistenza su alcuna immagine profonda acquisita prima della loro esplosione. Esse poi scompaiono, e di nuovo non vediamo nulla nel punto in cui era apparso il GRB. Oggi per gli astrofili è possibile sapere, attraverso un sistema di allarme, quando i satelliti hanno rivelato un GRB, in modo da poter dare un'occhiata, se si è sufficientemente veloci, a questi interessanti oggetti.

Le variabili eruttive sono stelle la cui luminosità cambia in seguito a brillamenti e fenomeni violenti che avvengono nelle loro cromosfere e nelle loro corone. Le variazioni sono solitamente associate a eventi che si verificano nel guscio esterno o a perdite di massa sotto forma di venti stellari di intensità variabile, e/o a interazioni con il mezzo interstellare circostante.



Curva di luce della variabile di tipo INSA RR Tau. Dati forniti da VSNET. Utilizzati dietro autorizzazione.

Curva di luce della R CrB, prototipo delle variabili RCB. Dati forniti da VSNET. Utilizzati dietro autorizzazione.



Le variabili pulsanti sono stelle che vanno soggette a espansioni e contrazioni periodiche degli strati superficiali. Le pulsazioni possono essere radiali o non radiali. Una stella che pulsa radialmente rimane di forma sferica, mentre nel caso di pulsazioni non radiali la forma dell'astro devia periodicamente dalla sfera, e persino zone che sono contigue in superficie possono avere fasi di pulsazione opposte.

Dopo molte riflessioni, Eddington suggerì un'insolita soluzione che coinvolge quello che chiamò *meccanismo a valvola*. A suo avviso, se uno strato interno della stella diventasse più opaco in seguito alla compressione, potrebbe "trattenere" l'energia che fluisce verso la superficie e tale energia spingerebbe quindi verso l'esterno gli strati superiori dell'astro. Questi diverrebbero allora più trasparenti consentendo al calore intrappolato di fuoriuscire, dopodiché si riabbasserebbero per ricominciare il ciclo. Con le parole di Eddington stesso, "affinché il meccanismo funzioni dobbiamo ipotizzare che la stella trattenga maggiormente il calore quando è compressa: l'opacità deve cioè aumentare con la compressione".

Il meccanismo a valvole di Eddington può funzionare bene solo in particolari strati della stella, in cui il gas è parzialmente ionizzato: in queste *regioni a ionizzazione parziale* una frazione del lavoro fatto sul gas quando viene compresso produce un'ulteriore ionizzazione invece di aumentarne la temperatura (la ionizzazione aumenta l'opacità, non la temperatura!). L'energia che fuoriesce viene intrappolata dalle zone di ionizzazione e la densità di queste ultime aumenta.

Quando questi strati di materia vengono spinti verso l'esterno dall'aumentata pressione, la

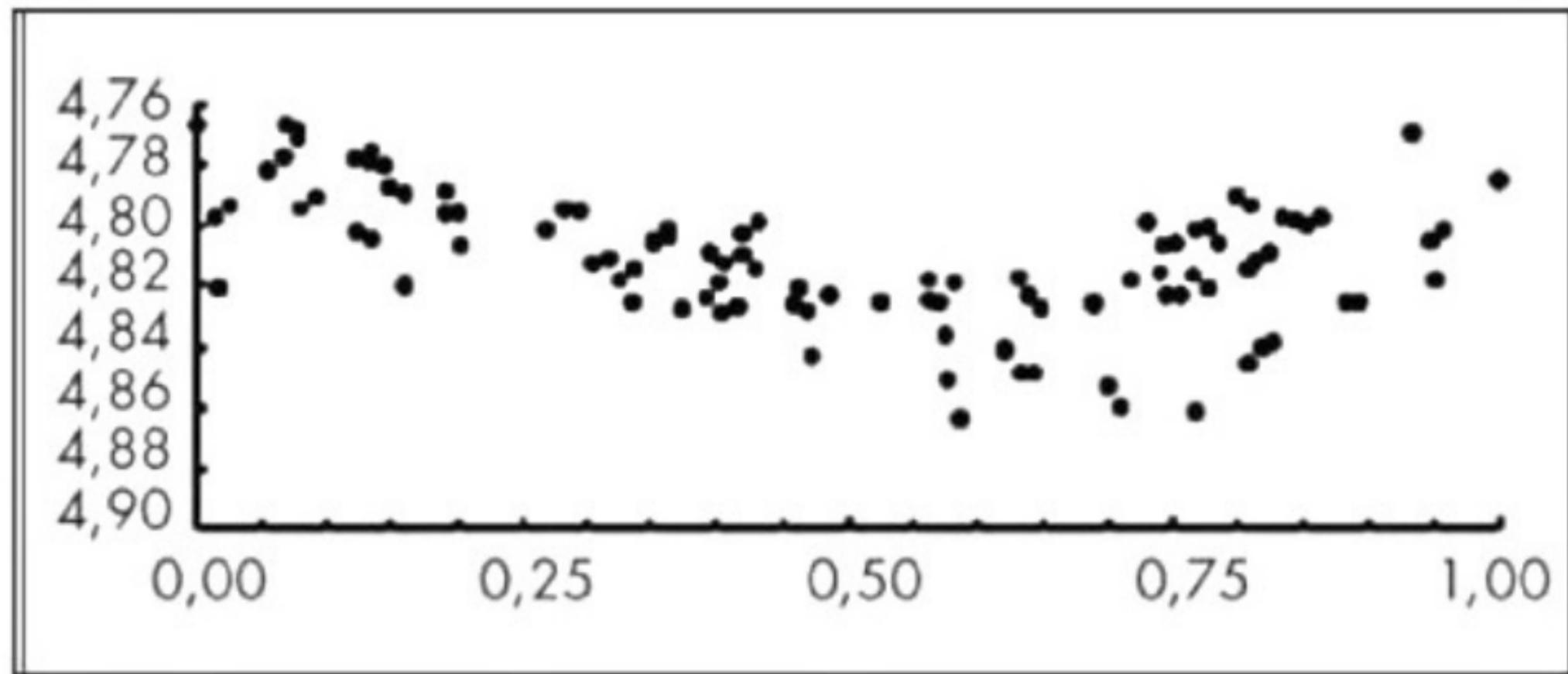
loro densità inizia a diminuire e gli ioni cominciano a ricombinarsi liberando energia; per questo motivo, la temperatura non può calare di molto. L'aspetto importante è che l'opacità del gas diminuisce insieme alla densità durante l'espansione. Questi strati della stella assorbono calore durante la compressione, poi vengono spinti verso l'esterno per rilasciare il calore durante l'espansione e infine ricadono nuovamente in basso per iniziare un altro ciclo. Gli astronomi chiamano *meccanismo kappa* questo processo fondato sull'opacità.

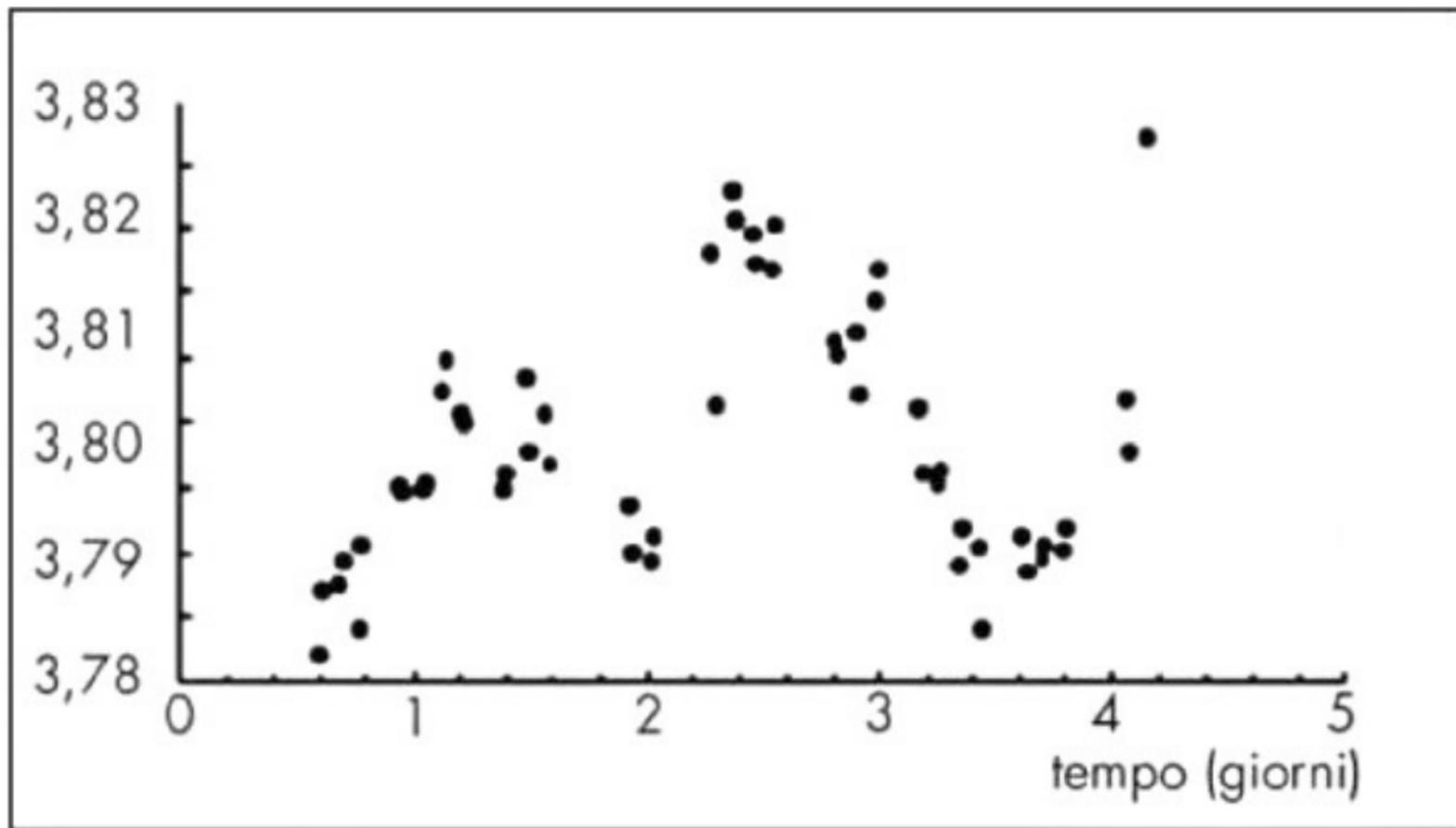
In alcuni casi, gli strati superficiali delle stelle non si muovono uniformemente verso l'interno e l'esterno, e mostrano invece un più complesso tipo di *pulsazione non radiale*, in cui alcune regioni della superficie si espandono mentre altre si contraggono. In questo caso le onde sonore possono propagarsi anche orizzontalmente, e non solo radialmente; esistono cioè onde che viaggiano intorno alla stella. Ci si riferisce a queste particolari oscillazioni non radiali parlando di *modo p*, poiché la pressione è responsabile della compressione e dell'espansione.

Nelle stelle che presentano pulsazioni non radiali, il materiale dell'astro non si muove soltanto verso l'interno e l'esterno, come se la stella stesse respirando, ma è anche scosso avanti e indietro. Questo movimento (che non può avvenire nelle stelle con moti puramente radiali) produce anche un'altra classe di oscillazioni non radiali dette di *modo g* e generate da onde di gravità interne. Ovviamente queste ultime non hanno un analogo radiale, e si trovano solo negli oggetti con pulsazioni non radiali.

Come discusso in precedenza, la maggioranza delle stelle spende una consistente frazione della sua vita sulla Sequenza Principale. Le variabili pulsanti invece occupano in gran parte una stretta *fascia di instabilità*, quasi verticale, nella zona a destra del diagramma HR. Quando le stelle della Sequenza Principale iniziano a evolvere, uscendo verso destra dalla Sequenza, alcune entrano in questa fascia di instabilità e iniziano a pulsare.

Curva
di luce del prototipo
delle stelle 53 Per.
La fase del ciclo è
indicata lungo l'asse
orizzontale. Dati
forniti dalla missione
HIPPARCOS. Utilizzati
dietro autorizzazione.





Curva
di luce della variabile
ACYG LT CMa.
Dati forniti dalla missione
HIPPARCOS.
Utilizzati dietro autorizzazione.

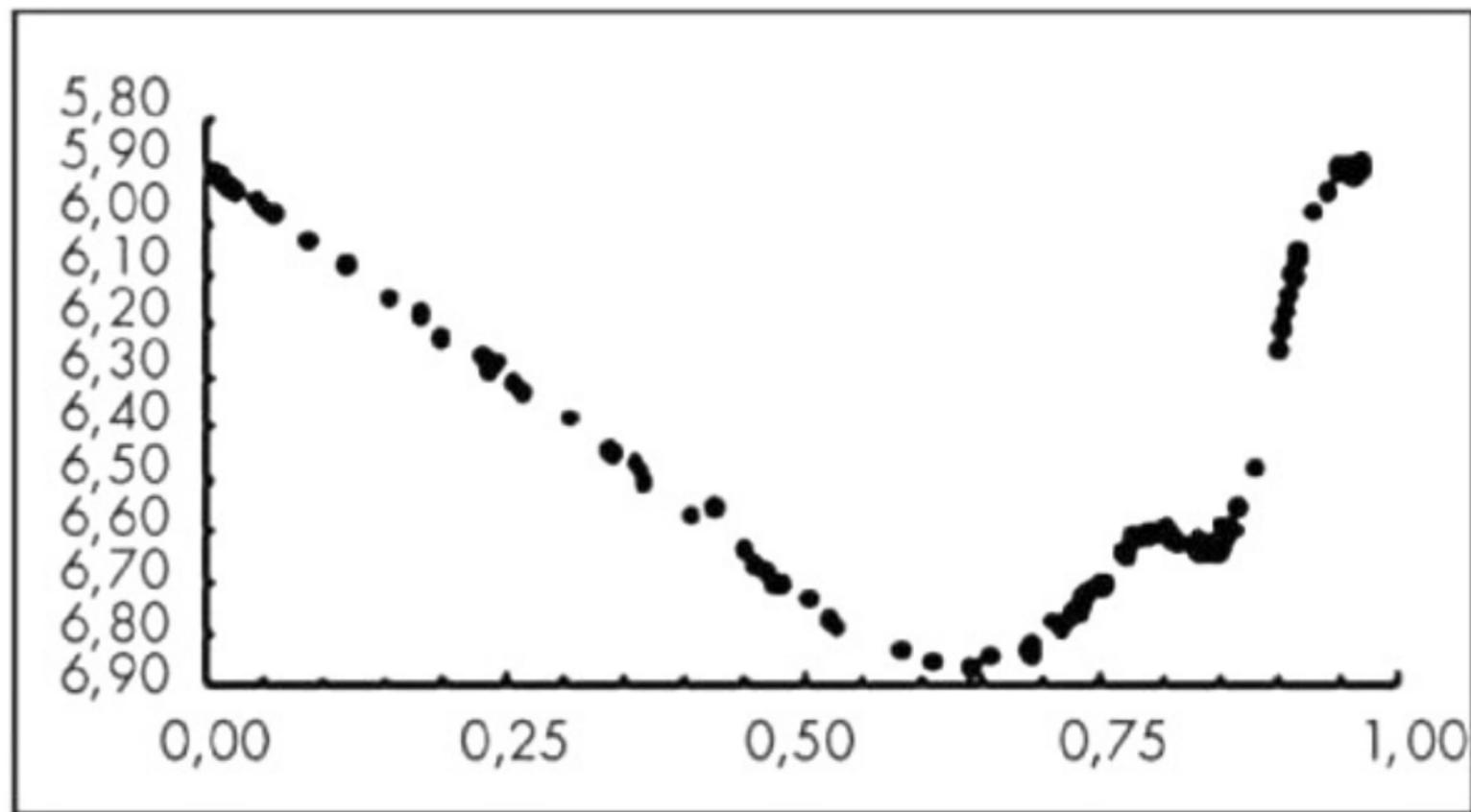
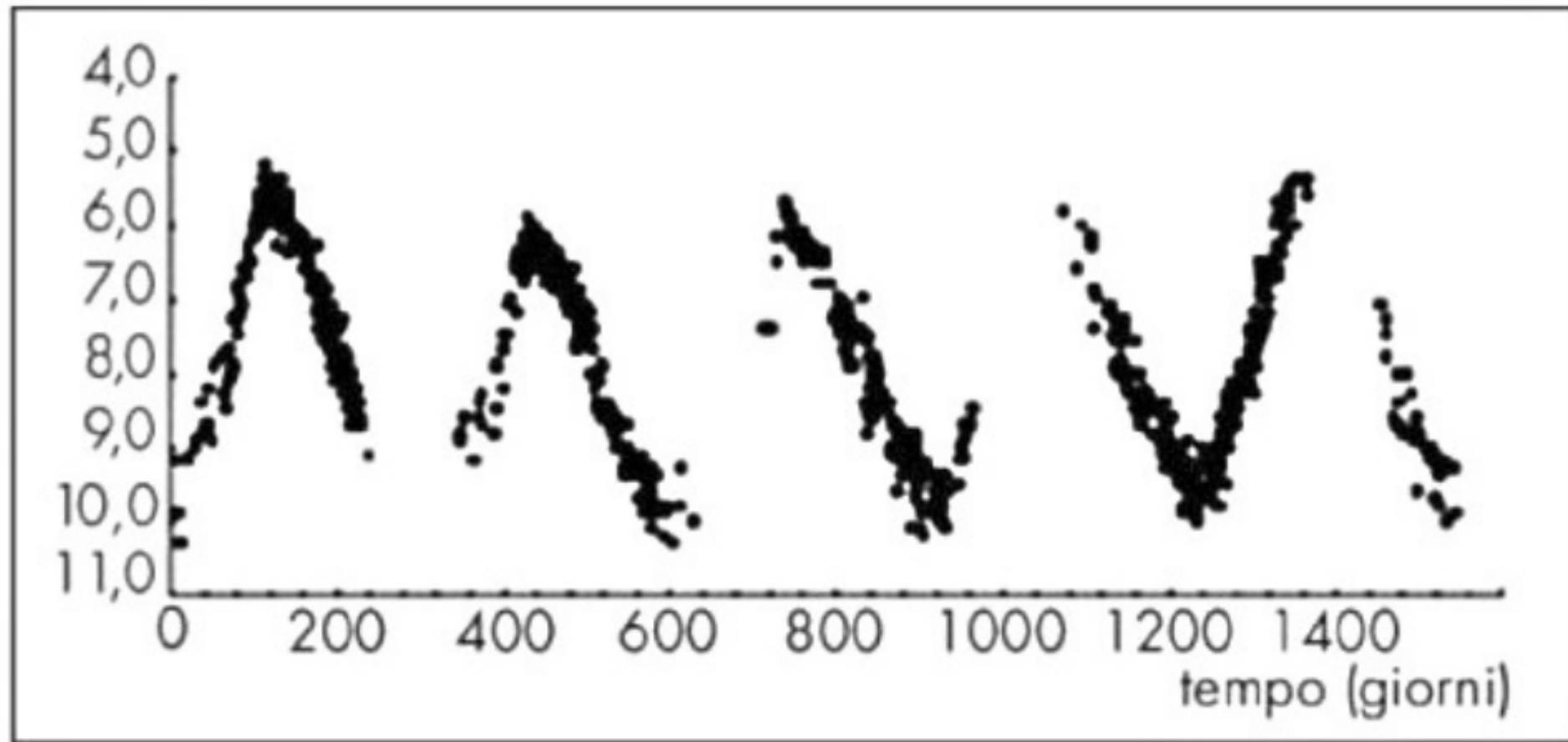
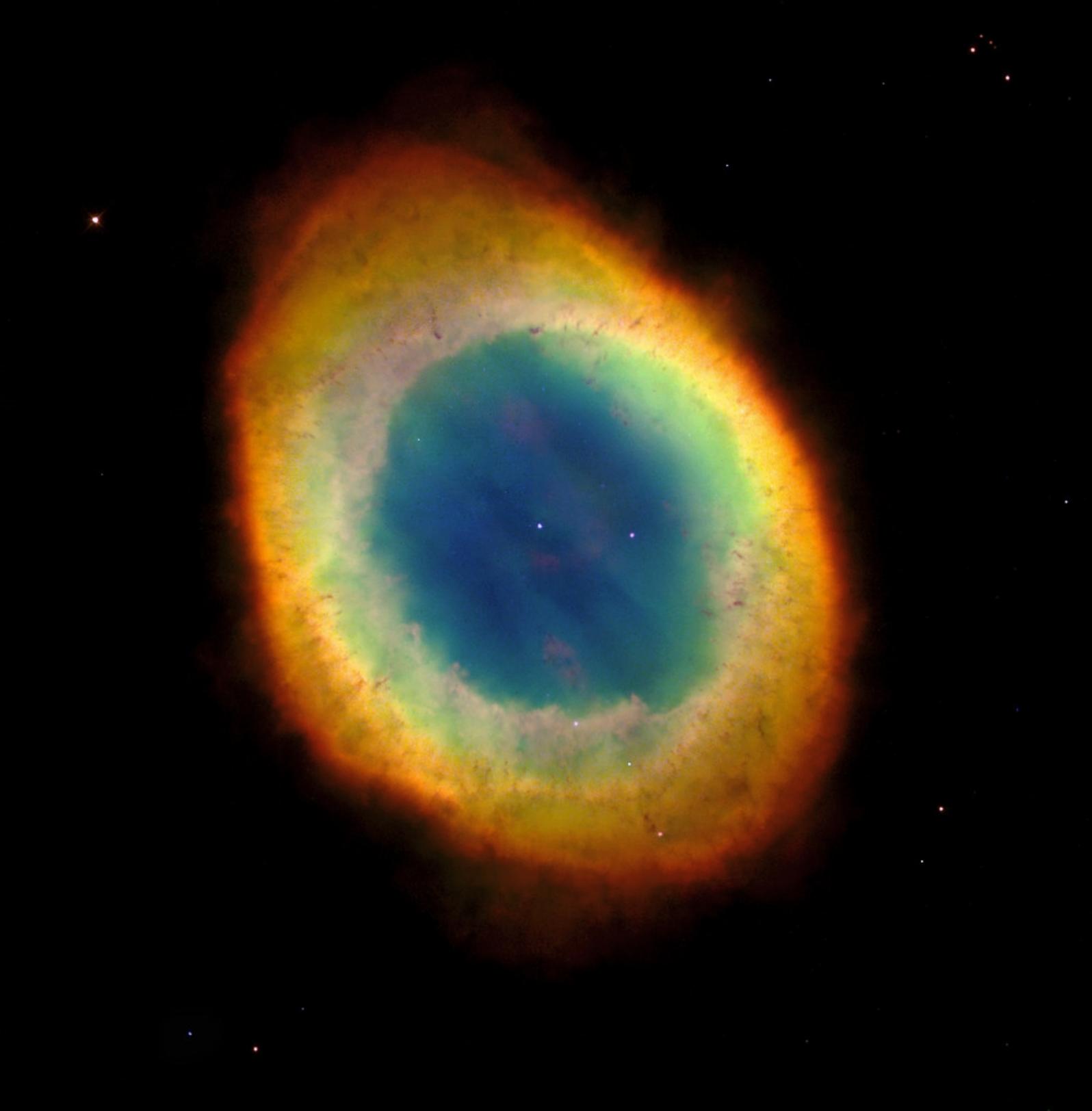


Figura 4.5.

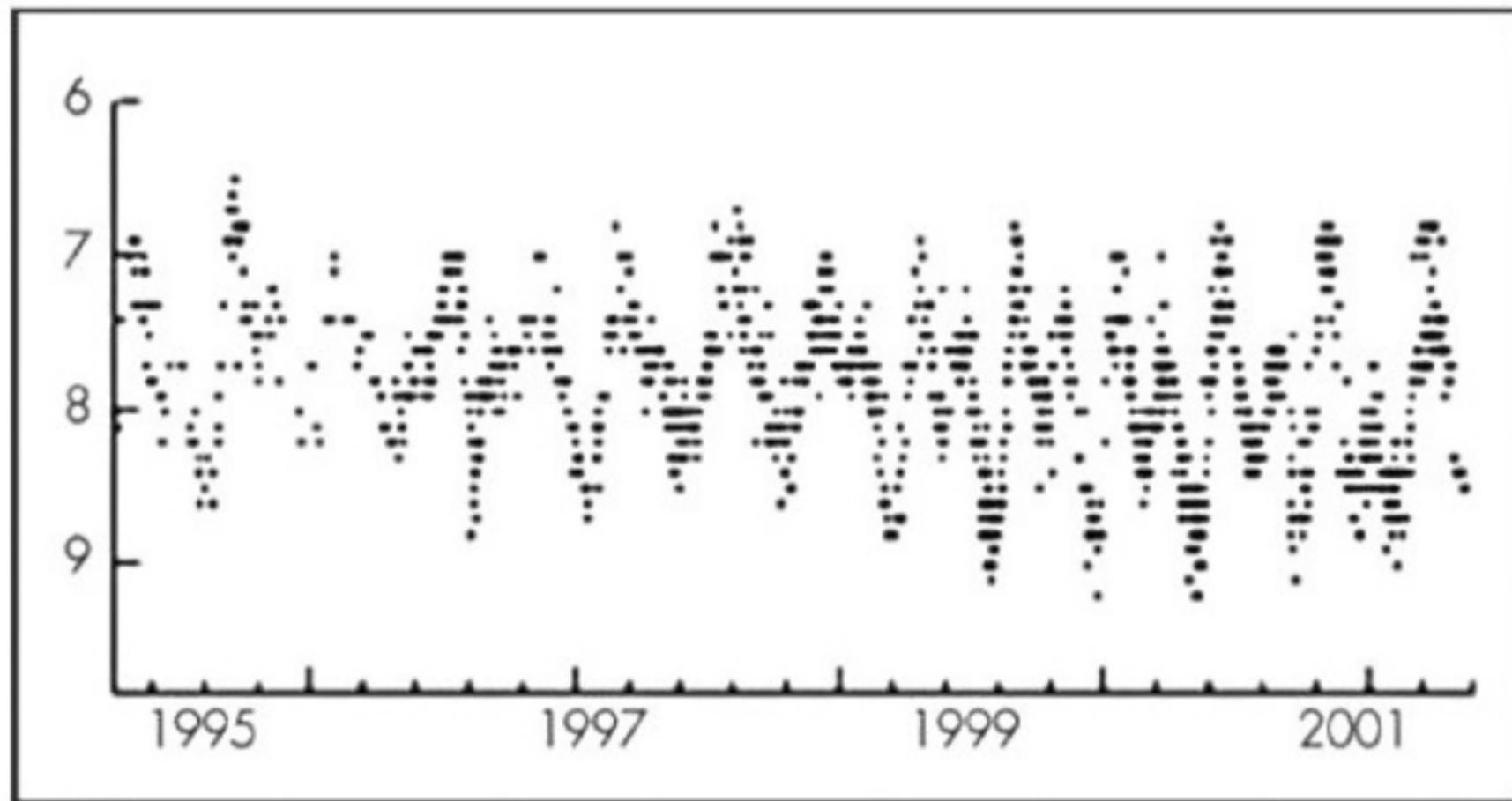
Curva di luce della variabile CEP X Cyg. La fase del ciclo è indicata lungo l'asse orizzontale. Dati forniti dalla missione HIPPARCOS. Utilizzati dietro autorizzazione.



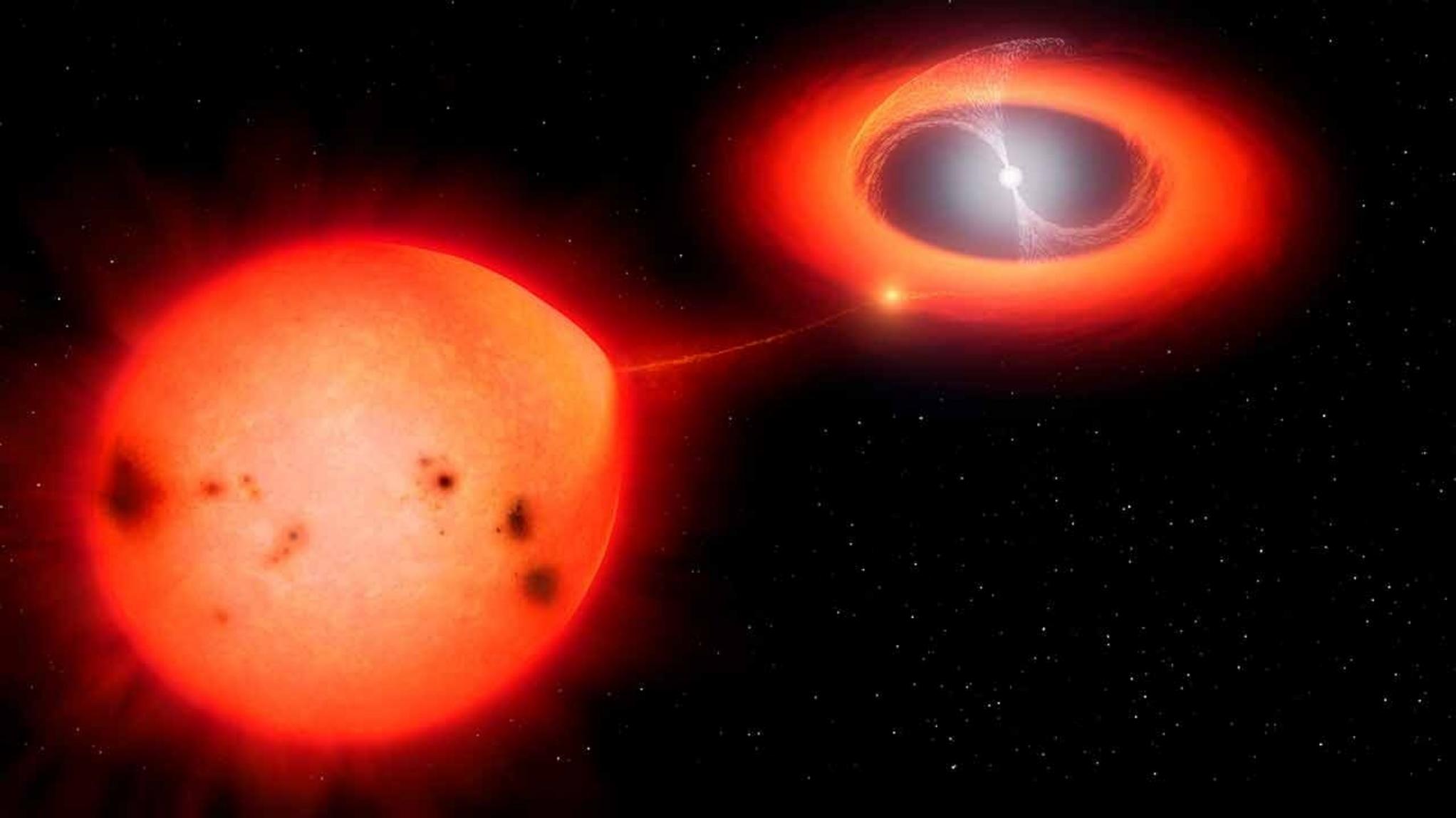
Curva di luce della variabile Mira R Leo. Dati forniti da VSNET. Utilizzati dietro autorizzazione.

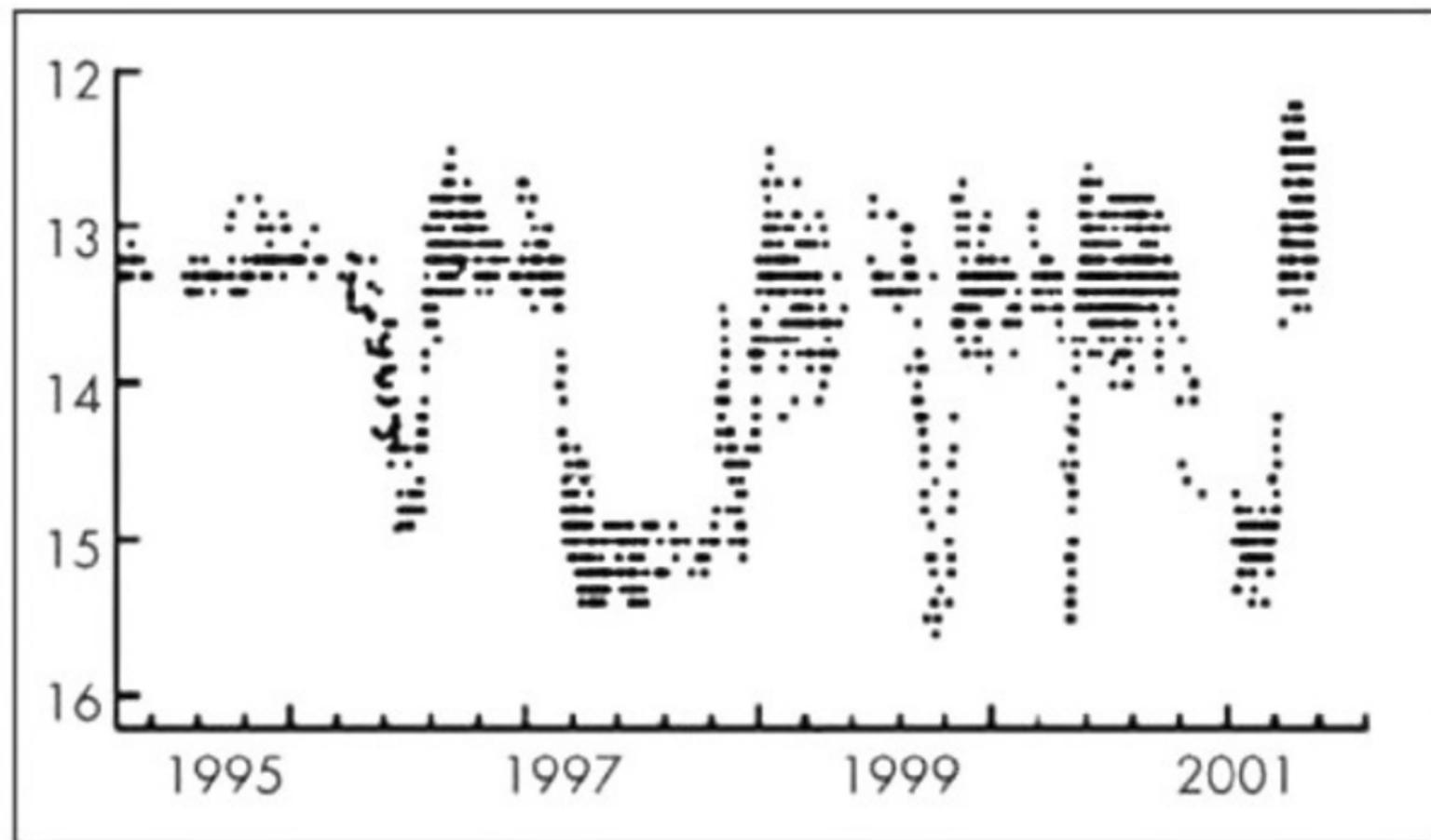


Curva di luce della variabile SRB Z UMa. Lungo l'asse orizzontale è indicato il tempo in anni. Dati forniti da VSNET. Utilizzati dietro autorizzazione.



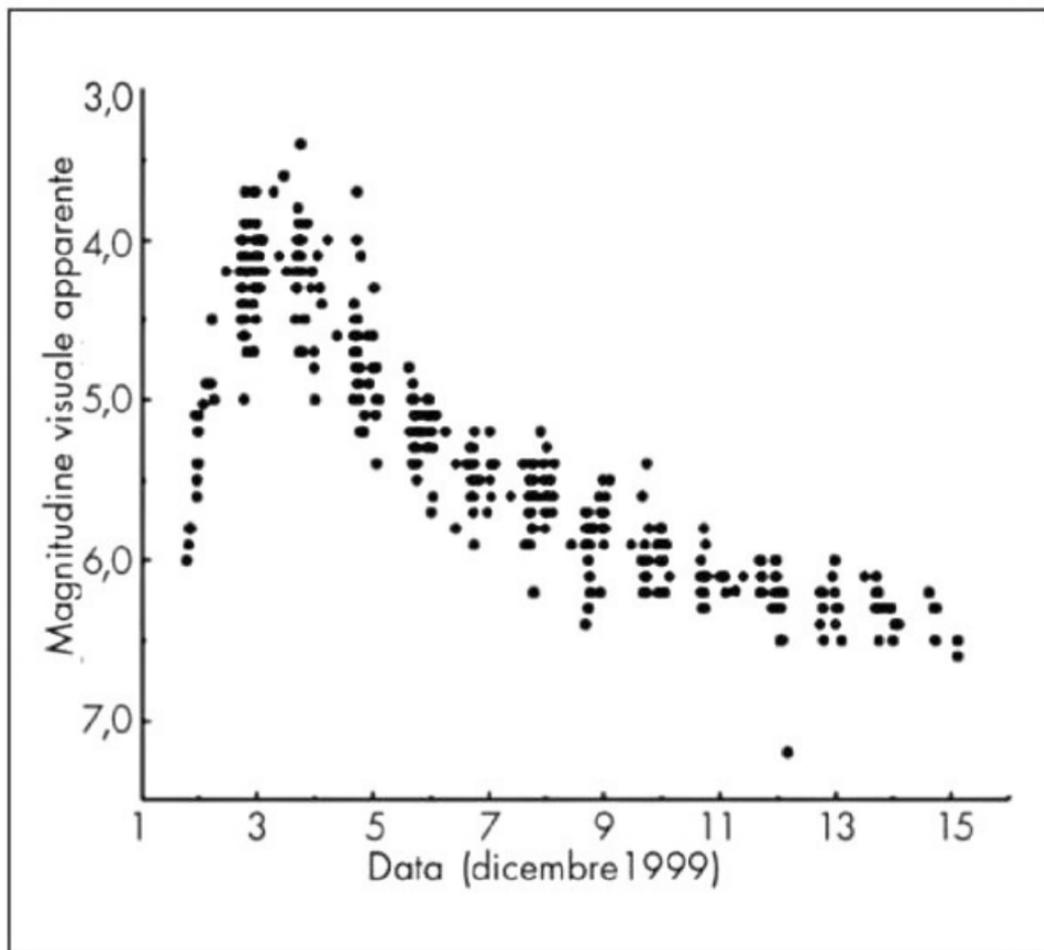
Queste sono stelle variabili che mostrano esplosioni (*outburst*) causate da processi di deflagrazione termonucleare negli strati superficiali (*novae*) o in quelli interni (*supernovae*). Noi utilizziamo il termine *novalike* (simili alle *novae*) per indicare variabili in cui si verificano detonazioni di tipo nova causate dal rapido rilascio di energia nello spazio circostante (stelle di tipo UG), ovvero oggetti che non presentano esplosioni ma somigliano a variabili esplosive al minimo di luminosità per le loro caratteristiche spettrali o di altro genere. La maggioranza delle variabili esplosive e *novalike* è costituita da sistemi binari stretti, le cui componenti hanno un'intensa influenza reciproca sull'evoluzione di ciascuna stella. Si è spesso osservato che la componente nana calda del sistema è circondata da un disco di accrescimento formato dalla materia persa dall'altra componente, più fredda ed estesa.



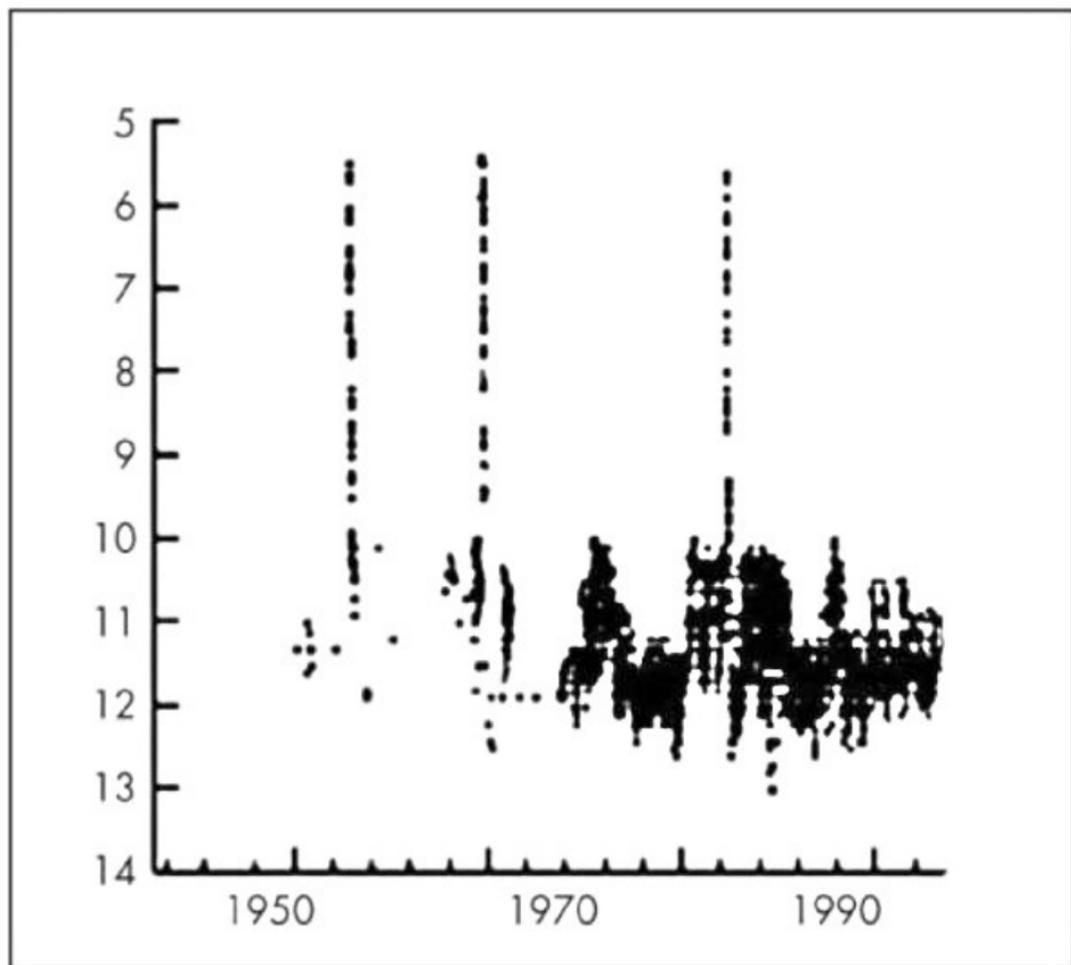


Curva di luce di AM Her. Dati forniti da VSNET. Utilizzati dietro autorizzazione.

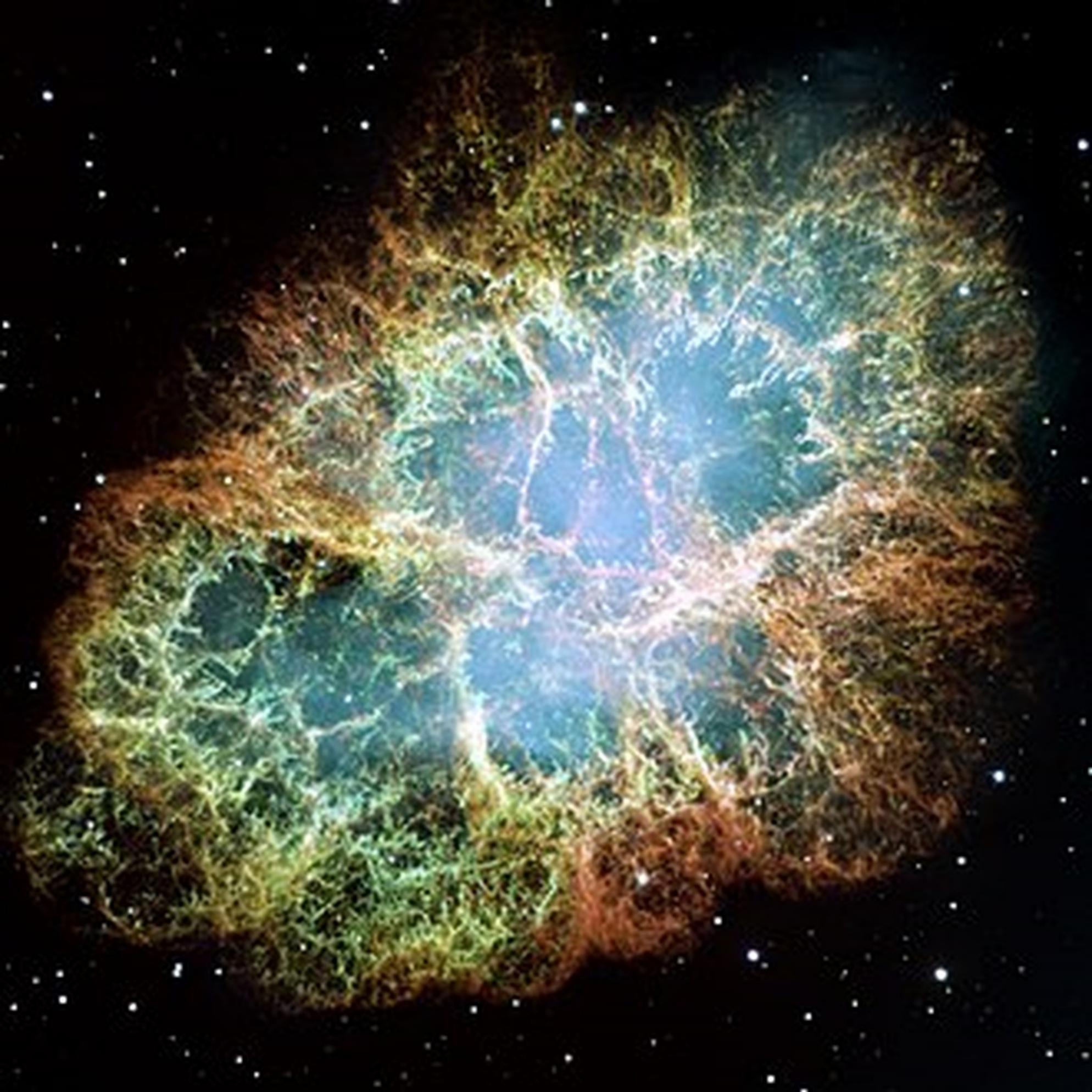
Curva di luce di
V1494 Aql (nova ve-
loce). Dati forniti
dall'AAVSO.
Utilizzati dietro auto-
rizzazione.



Curva di luce di RS Oph (nova ricorrente). Dati forniti da VSNET. Utilizzati dietro autorizzazione.



Una supernova è un raro tipo di esplosione stellare che cambia drammaticamente la struttura di una stella, in modo irreversibile. Grandi quantità di materia vengono espulse a velocità elevate. La curva di luce nella parte decrescente è alimentata da quanti termalizzati, rilasciati dal decadimento radioattivo di elementi prodotti durante il collasso stellare, principalmente ^{56}Co e ^{56}Ni . L'involuppo espulso interagisce con il mezzo interstellare e forma un cosiddetto "resto di supernova" (SNR - *supernova remnant*), che può essere osservato anche molto tempo dopo l'esplosione nelle regioni radio, ottica e X.

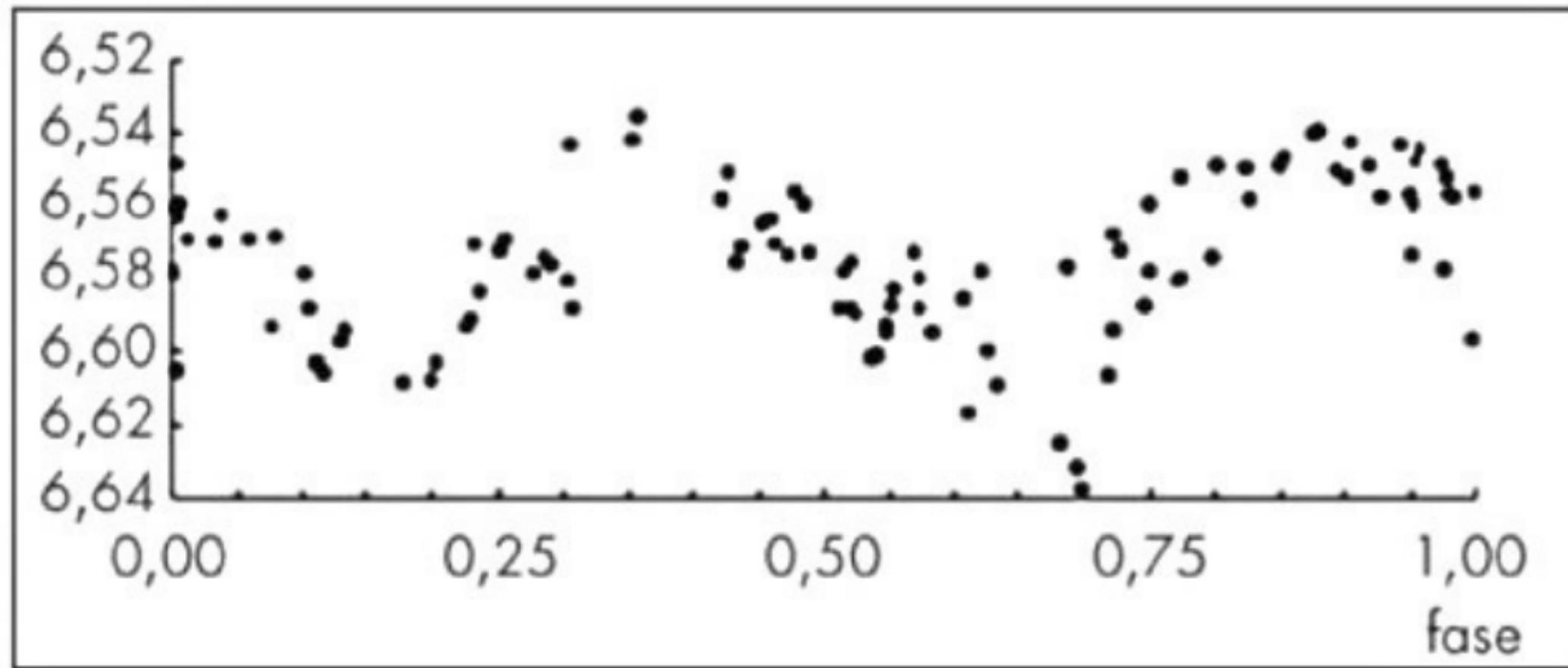


Quando l'onda d'urto raggiunge la superficie della stella, la temperatura arriva a 200.000 gradi e la stella esplode a circa 15.000 km/s. Questo involucro in veloce espansione è associato al rapido aumento iniziale di luminosità: è come un'enorme palla di fuoco che si espande e si assottiglia velocemente, permettendo di vedere la radiazione proveniente da regioni sempre più profonde in direzione del centro della stella originale.

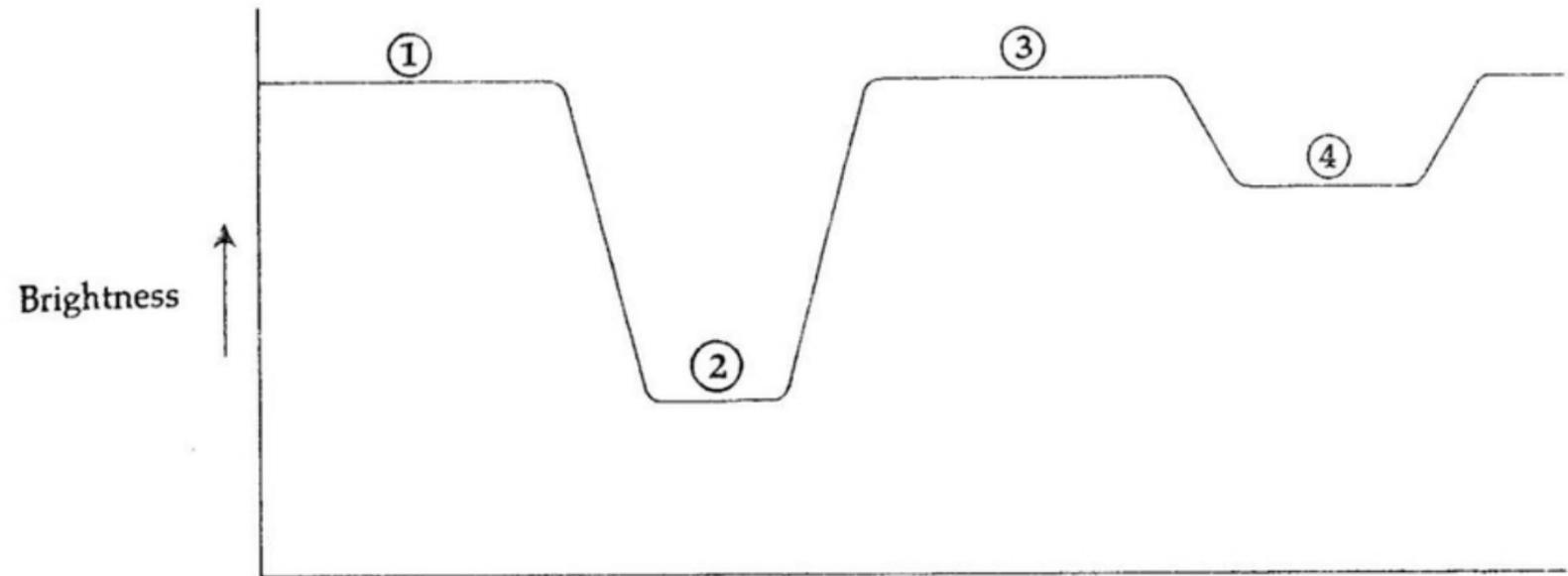
La storia evolutiva delle due tipologie di supernova è differente: quelle di tipo I hanno origine dal trasferimento di massa in un sistema binario costituito da una nana bianca e una gigante in evoluzione; quelle di tipo II sono in generale singole stelle massicce che giungono alla fine della loro vita in modo molto spettacolare.

Sono stelle variabili con luminosità superficiale non uniforme e/o forma ellissoidale, la cui variabilità è causata dalla rotazione assiale rispetto all'osservatore. La non uniformità della distribuzione di luminosità superficiale può essere causata dalla presenza di macchie o da qualche disomogeneità termica o chimica dell'atmosfera, dovuta a un campo magnetico il cui asse non coincide con quello di rotazione.

Curva di luce della variabile V844 Sco, di tipo ELL. Dati forniti dalla missione HIPPARCOS. Utilizzati dietro autorizzazione.



Per classificare i sistemi binari a eclisse viene adottato un triplo criterio, considerando la forma della curva di luce combinata, le proprietà fisiche delle componenti e quelle evolutive. La classificazione basata sulle curve di luce è semplice, tradizionale e adatta agli osservatori; il secondo e il terzo metodo di classificazione prendono in considerazione le posizioni delle componenti del sistema sul diagramma (M_V , B-V) e il grado di riempimento del lobo di Roche interno.

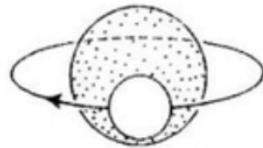
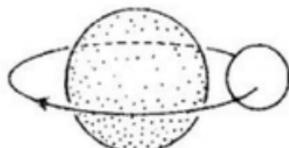
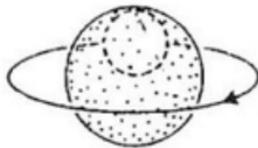
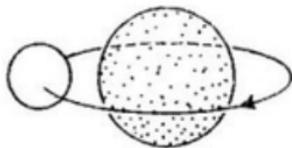


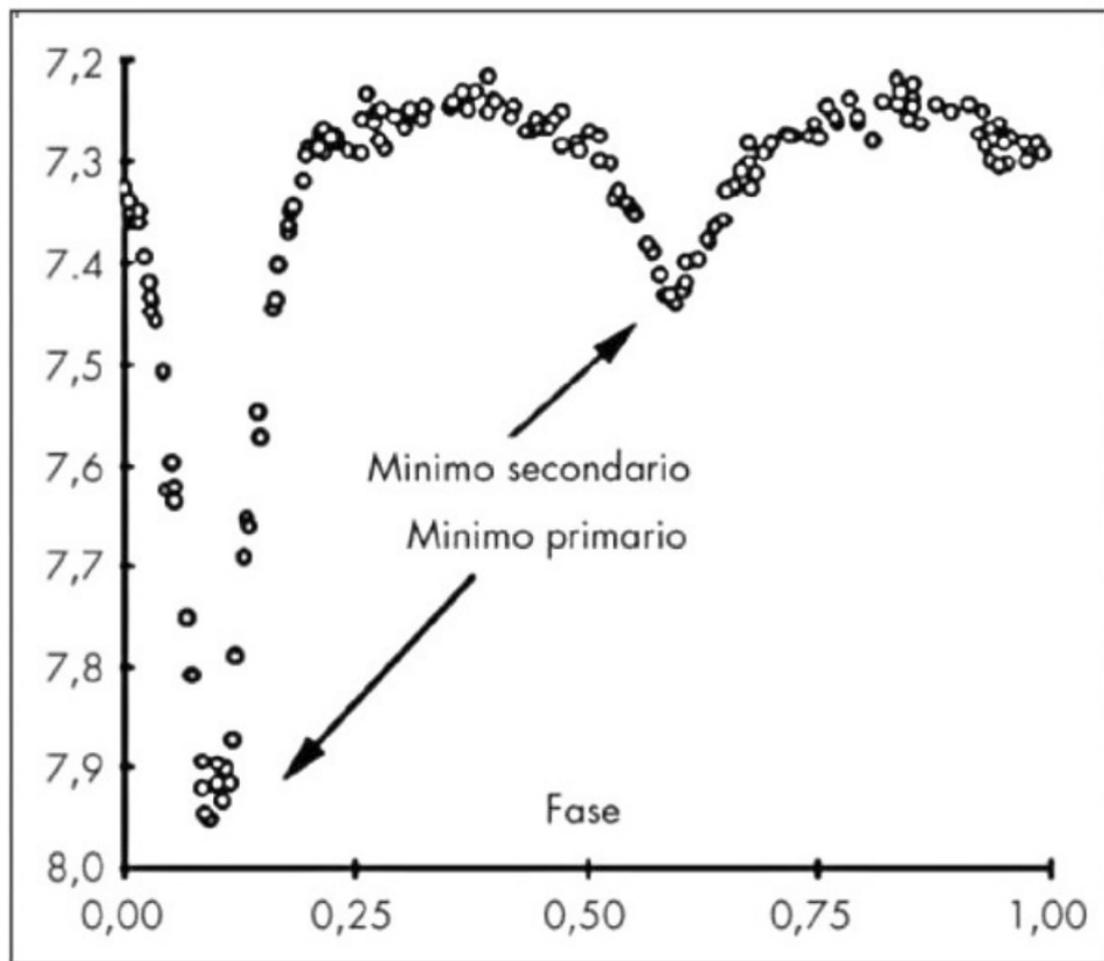
(1) No eclipse:
maximum
brightness

(2) Primary
minimum:
smaller star
eclipsed by
larger one

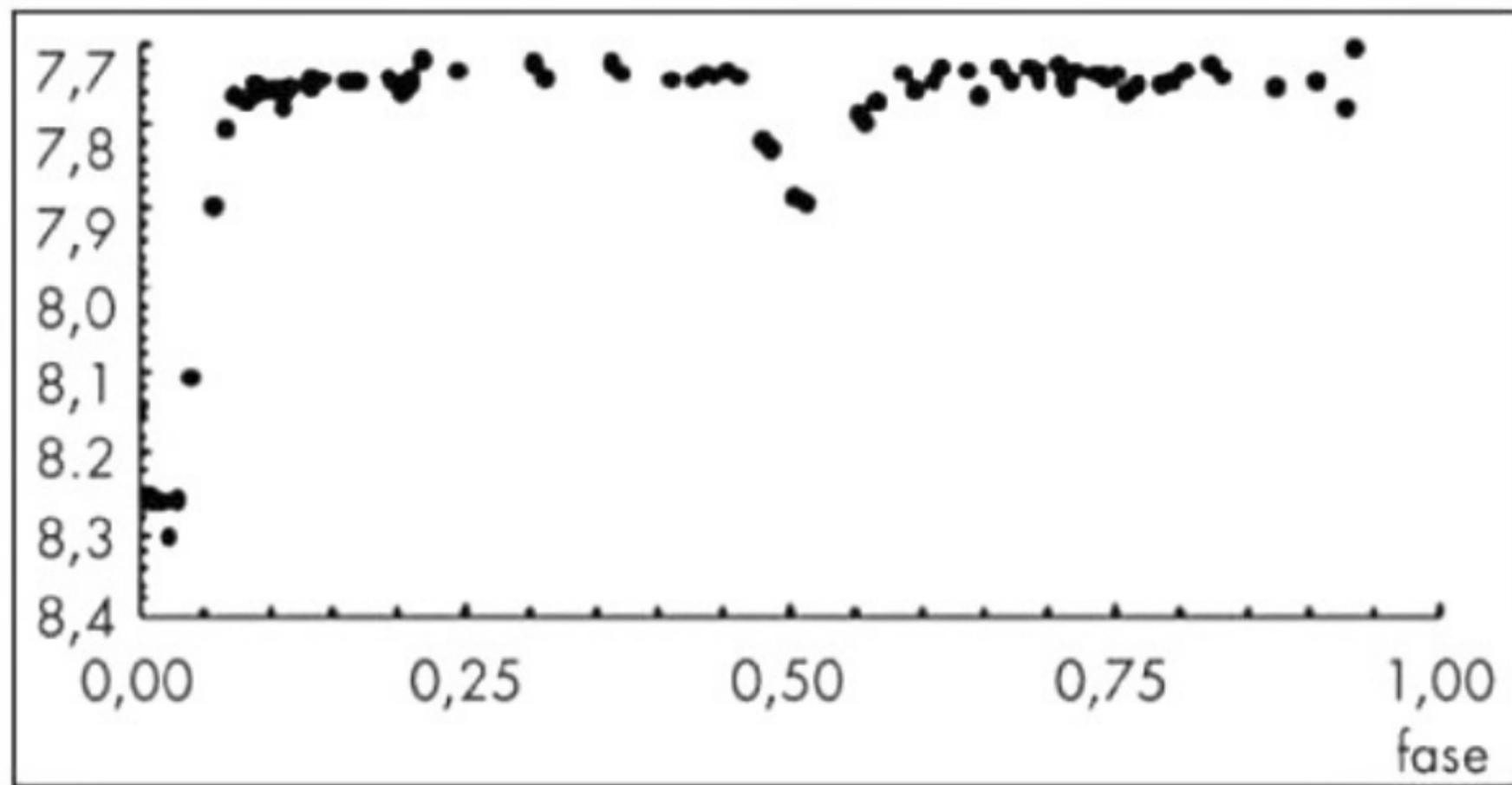
(3) No eclipse:
maximum
brightness

(4) Secondary
minimum:
larger star partially
eclipsed by
smaller one

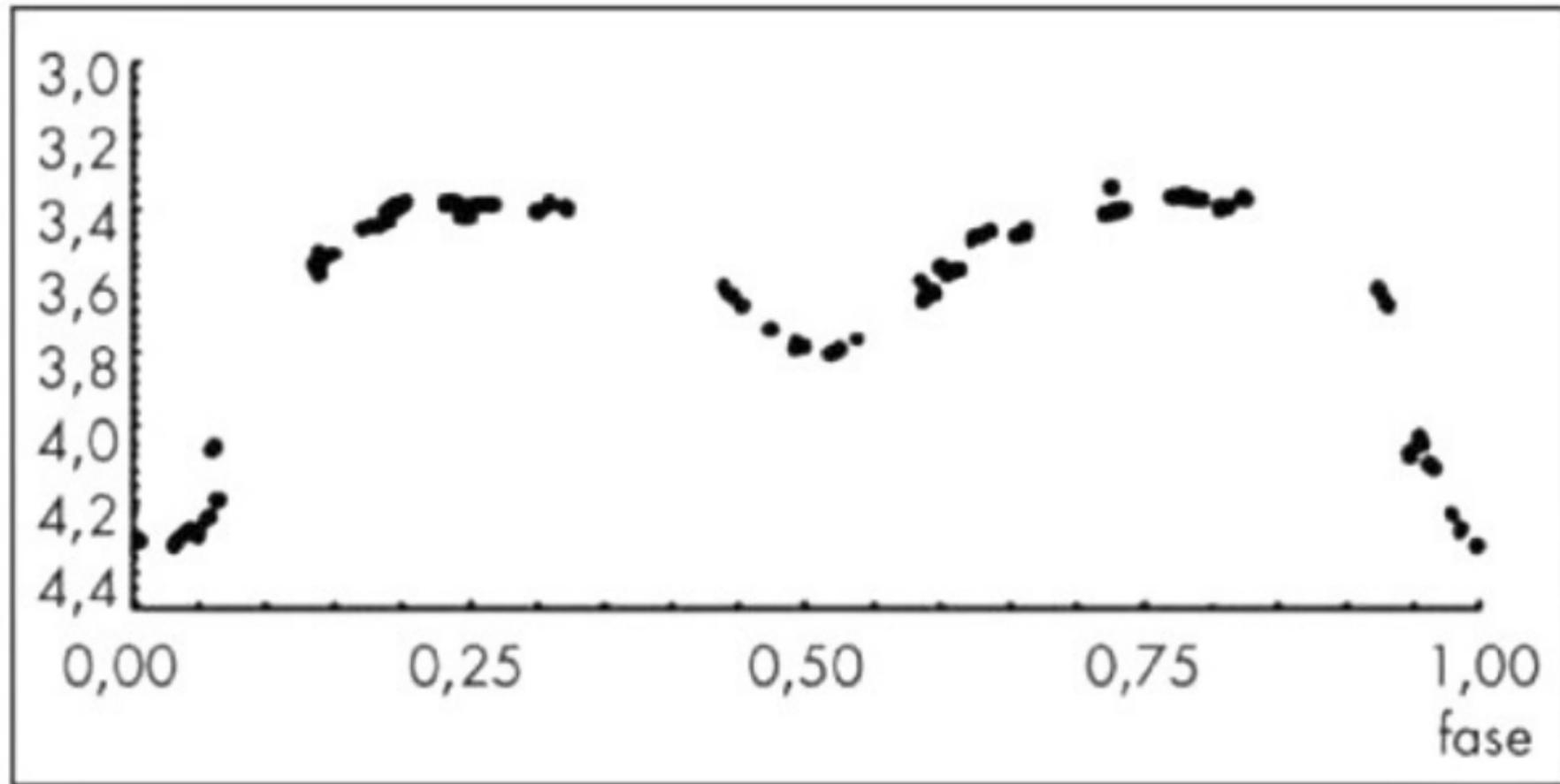




Curva di luce che mostra i due diversi minimi di luminosità per una binaria a eclisse.

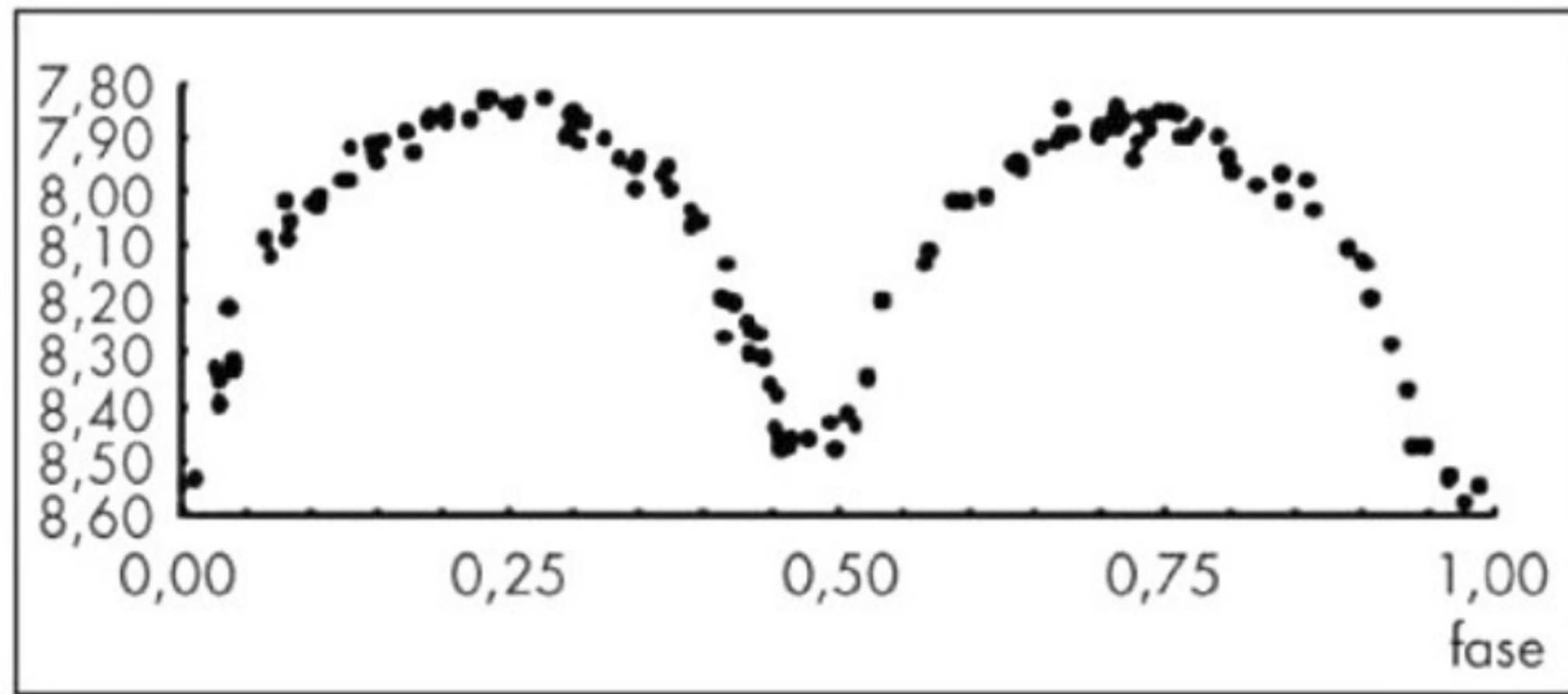


Curva di luce della
variabile di tipo EA
IQ Per. Dati forniti
dalla missione HIP-
PARCOS. Utilizzati
dietro autorizzazione.



Curva di luce della variabile di tipo EB beta Lyr. Dati forniti dalla missione HIP-PARCOs. Utilizzati dietro autorizzazione.

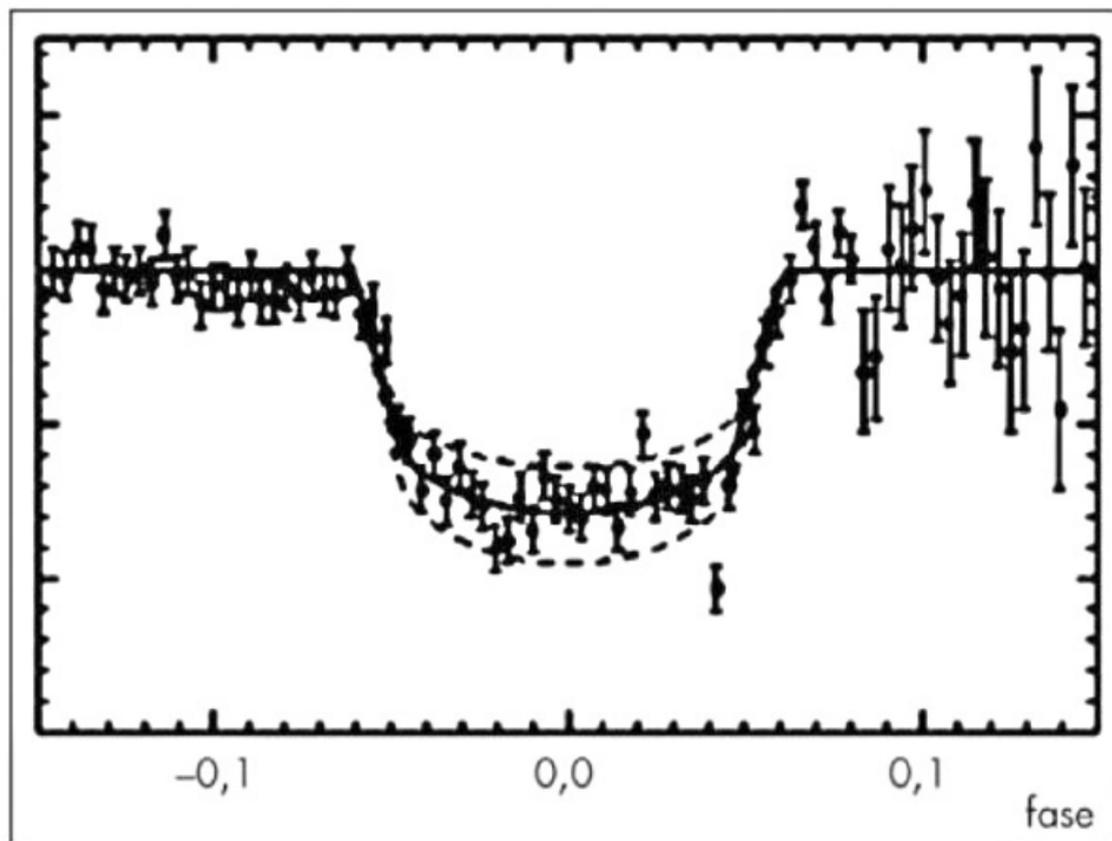
Curva di luce della
variabile di tipo EW
W UMa. Dati forniti
dalla missione HIP-
PARCOS. Utilizzati
dietro autorizzazione.



Per sfruttare tale metodo, le stelle tarde nane di tipo M (dM) sono le migliori candidate a causa della piccola area e della bassa luminosità rispetto a stelle più calde. Un pianeta che passa davanti a una di queste stelle piccole e fredde ne oscurerà una frazione maggiore della luce totale, producendo una variazione maggiore in luminosità rispetto al passaggio davanti a una stella più calda, estesa e brillante. Si può dimostrare che un pianeta di raggio approssimativamente pari a tre volte quello terrestre che passi di fronte a una stella tarda di tipo M produce un calo di 0,01 magnitudini.

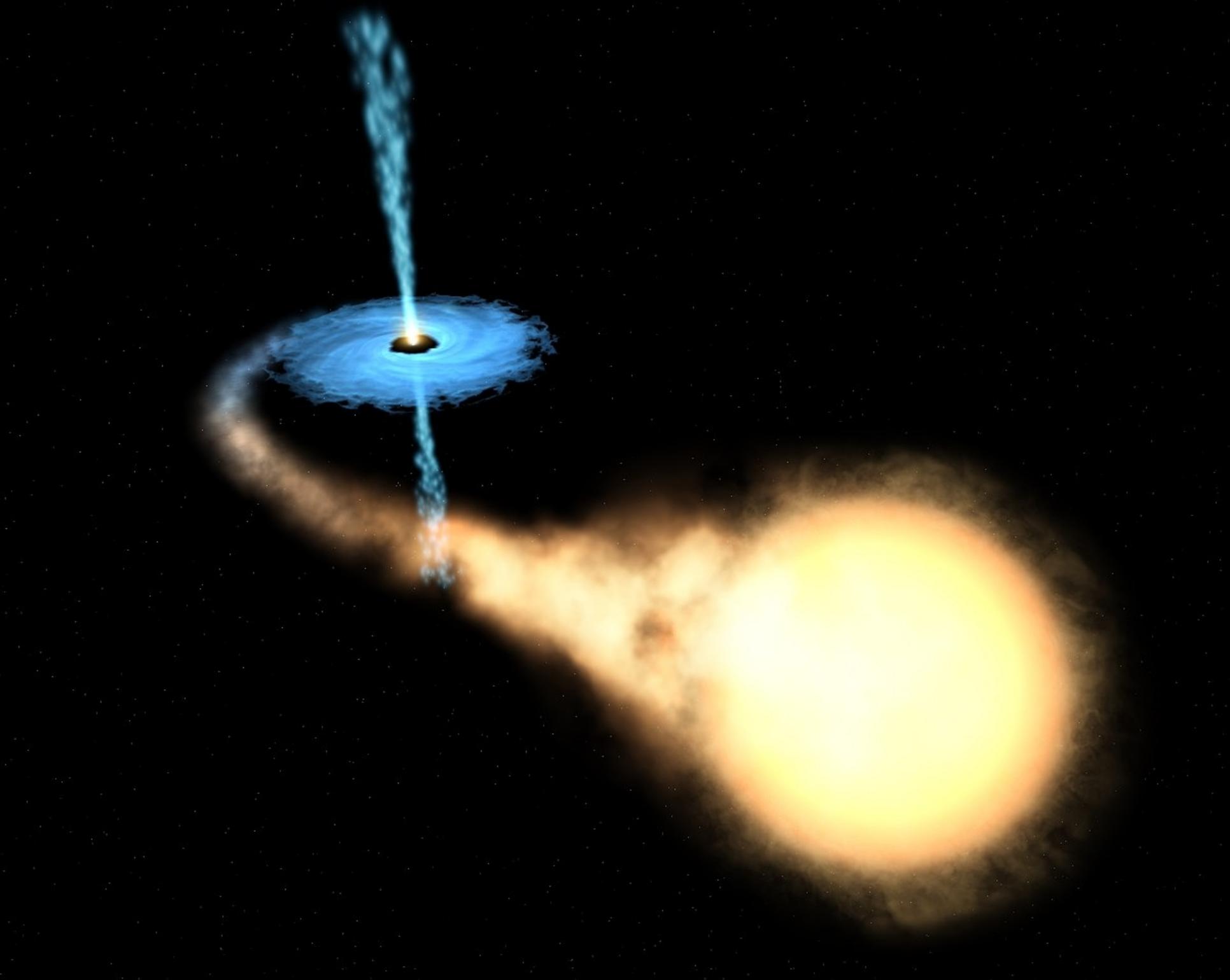
Figura 7.5.

Curva di luce della variabile di tipo EP V376 Peg. Dati forniti dallo High Altitude Observatory/National Center for Atmospheric Research. Utilizzati dietro autorizzazione.



Sistemi binari stretti che sono sorgenti di emissione X intensa e variabile e non appartengono, o non sono stati ancora attribuiti, a nessuna delle altre categorie di stelle variabili. Una delle componenti del sistema è un oggetto compatto caldo (nana bianca, stella di neutroni o forse buco nero). L'emissione X è provocata dalla caduta di materia sull'oggetto compatto o su un disco di accrescimento che lo

circonda. A sua volta, la radiazione X incide sull'atmosfera della compagna più fredda dell'oggetto compatto e viene riemessa sotto forma di radiazione visibile ad alta temperatura (effetto di riflessione), conferendo così a quella regione della superficie della stella fredda le proprietà di un tipo spettrale anteriore. Questi effetti conducono a un tipo di variabilità ottica complesso e piuttosto particolare.



0 GRADINI : Quando le due stelle appaiono uguali anche dopo una osservazione prolungata

1 GRADINO : Quando le due stelle al primo colpo d'occhio sembrano uguali e solo dopo un certo tempo ci si accorge che una è più luminosa dell'altra.

2 GRADINI : Quando le due stelle sembrano uguali al primo colpo d'occhio ma subito dopo si nota un differenza di luminosita'.

3 GRADINI : Quando gia' al primo colpo d'occhio si nota una certa differenza.

4 GRADINI : Quando al primo colpo d'occhio la differenza e' ben evidente.

5 GRADINI : Quando si ha un'evidente sproporzione di luminosita' fra le stelle in esame

Una volta ricavata la stima, che potremo esprimere con la notazione classica $A(x)V(y)B$ (dove A e B sono le magnitudini delle stelle di confronto, x e y sono, rispettivamente, i gradini di differenza tra la stella A e la variabile e tra la stella B e la variabile) si può passare alla fase di calcolo della magnitudine. Questa notazione evidenzia il fatto che la variabile si trova, come magnitudine, compresa tra quella delle due stelle di riferimento.

La magnitudine della variabile si potrà ricavare applicando una semplice formula:

$$V = A + (x/x+y) * (B-A)$$

Questo passaggio può essere ovviamente saltato se una delle due differenze di luminosità è zero (cioè se la variabile appare uguale ad una delle due stelle di confronto, con una differenza quindi di zero gradini).

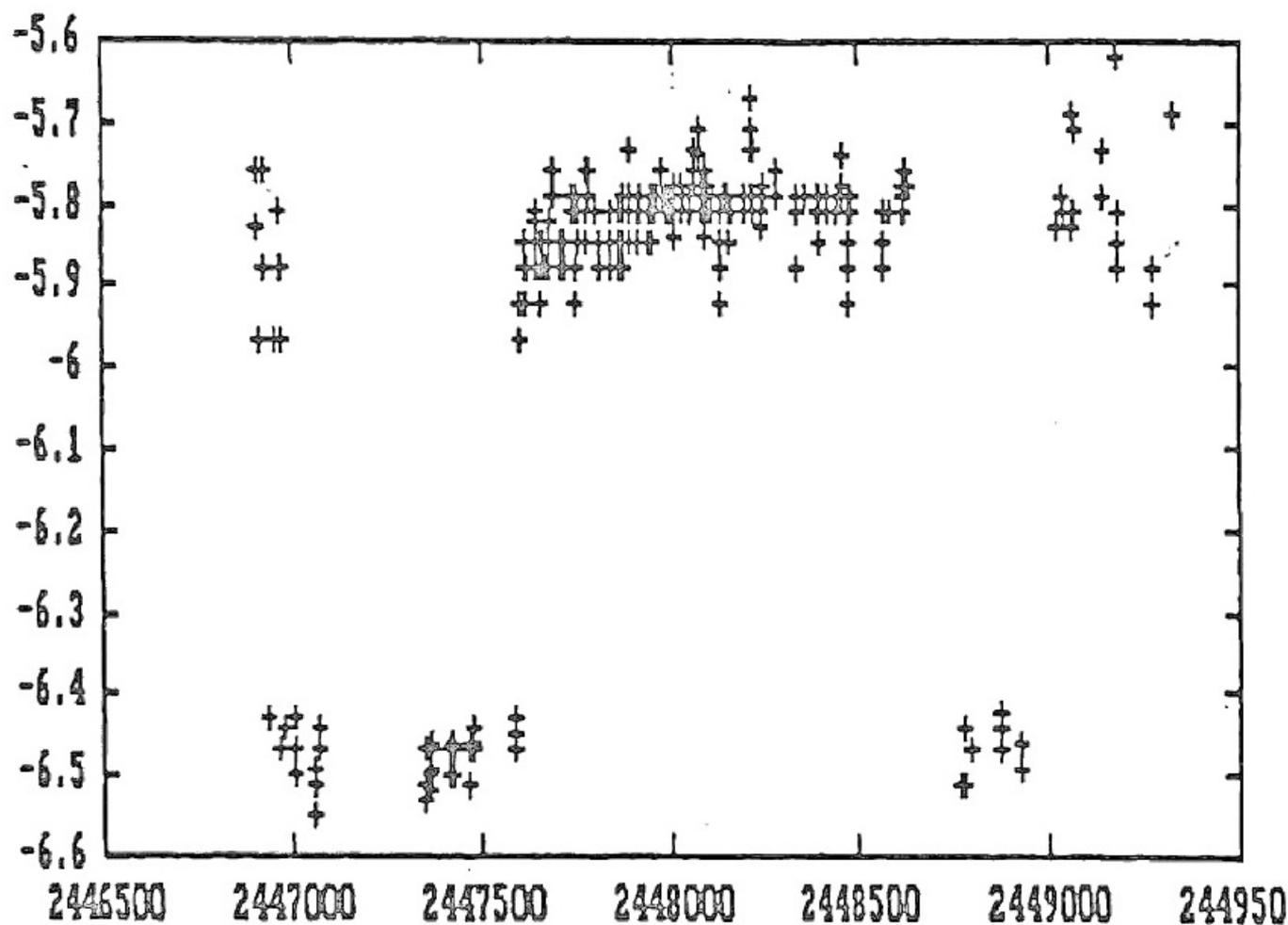
Studio visuale della sospetta variabile NSV 14566

Cristiano Fumagalli e Stefano Spagocci

Presentato al XXVII Congresso U.A.I. - Milano, 9-11/9/94

Osservatorio Astronomico "Presolana" del Gruppo Astrofili di Cinisello Balsamo-GEOS

Abstract. We present the results of our visual study of the star NSV 14566 which was first suspected of variability by Schwarzschild in 1912 (range 6.6-7.1 m_{ph}). In 1984 Metlov, Kusakín et al. proposed a classification as δ Scuti type variable and the star became V377 Cep. Our observations, spanning the interval 1987-1993, gave a visual range 5.9-6.5, which agree with the finding of Schwarzschild if the colour of the star (F0) is accounted for. As we observed two nearby minima, followed by a long standing at maximum, we propose for NSV 14566 a classification as a long period EA eclipsing variable with a highly excentric orbit. The previous classification was probably based on the observation of small magnitude fluctuations during a minimum.



Una possibile incongruenza nel quadro sopra presentato è data dalla presenza di due minimi piatti di uguale intensità. Come segnalatoci da E. Poretti [15], la presenza di minimi piatti implica infatti che i raggi delle due stelle siano tra loro molto diversi; d'altra parte la loro uguale profondità farebbe pensare al contrario, qualora almeno le due stelle fossero in sequenza principale.

Per tutti questi motivi gli autori ritengono NSV 14566 una stella di notevole interesse osservativo, per la vicinanza alla stella Polare (che la rende visibile tutto l'anno) e l'accessibilità a strumenti modesti quali i binocoli. Invitiamo dunque gli astrofili variabilisti a osservarla in futuro. Queste osservazioni potranno contribuire a chiarire la natura della sua variabilità.