

Le variabili pulsanti e la loro importanza

di Daniele Gasparri

Le variabili pulsanti sono stelle che cambiano in modo periodico la loro luminosità. La fase di pulsazione riguarda quasi tutte le stelle che, a seguito della loro età abbandonano la sequenza principale e si trasferiscono nella striscia di instabilità o nel ramo delle giganti. Il loro studio, anche da parte dell'astronomo amatoriale, è fondamentale per determinare con precisione le distanze dell'Universo, poiché molte di esse possono essere usate come candele standard

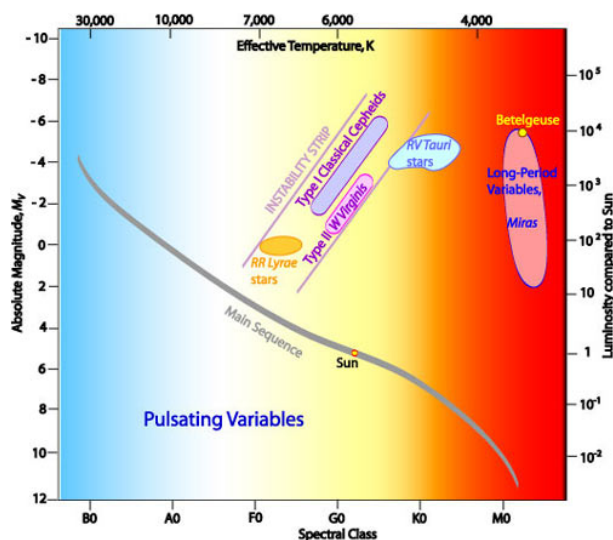
Se avete pensato alle stelle come dei giganteschi oggetti sferici dalla forma fissata e definita, bè, vi sbagliate di grosso: le variabili pulsanti sono stelle che possono cambiare forma e dimensioni anche in pochi minuti.

Si tratta sempre, a prescindere dai tipi, di stelle che variano la loro luminosità a causa di pulsazioni dei loro livelli superficiali, variando quindi le loro dimensioni, ad intervalli generalmente regolari (ma non sempre). Le pulsazioni, cioè le contrazioni e le dilatazioni dei gusci gassosi superficiali, possono essere radiali, cioè avere una simmetria sferica ed espandersi come un palloncino, oppure non radiali, cioè espandersi (o contrarsi) in modo asimmetrico: la forma stellare non avrà più una simmetria sferica (come invece si è portati sempre ad assumere a priori) e risulterà allungata e/o deformata.

I vari tipi si differenziano per:

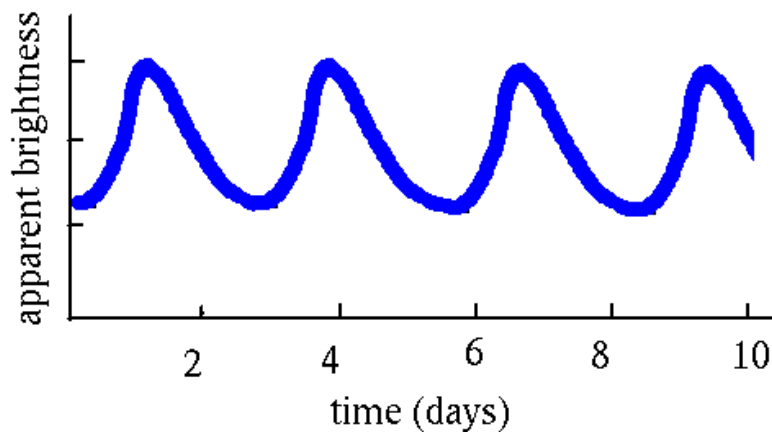
- Regolarità o meno del periodo
- Durata del periodo di pulsazione
- Masse delle stelle
- Età e quindi stato evolutivo
- Tipologie di pulsazioni (radiali o non)

Analizziamone alcuni tipi, con le relative proprietà e curve di luce.



Posizione delle variabili pulsanti nel diagramma HR. Quasi ogni variabile di questo tipo (tranne le Mira e le irregolari) si trova nella cosiddetta striscia di instabilità, una zona di transizione tra la sequenza principale e l'inevitabile morte della stella. Ogni variabile pulsante (tranne le giovani stelle pre-sequenza principale) è una stella che ha ormai esaurito il combustibile principale, l'idrogeno, e sta per terminare la sua vita.

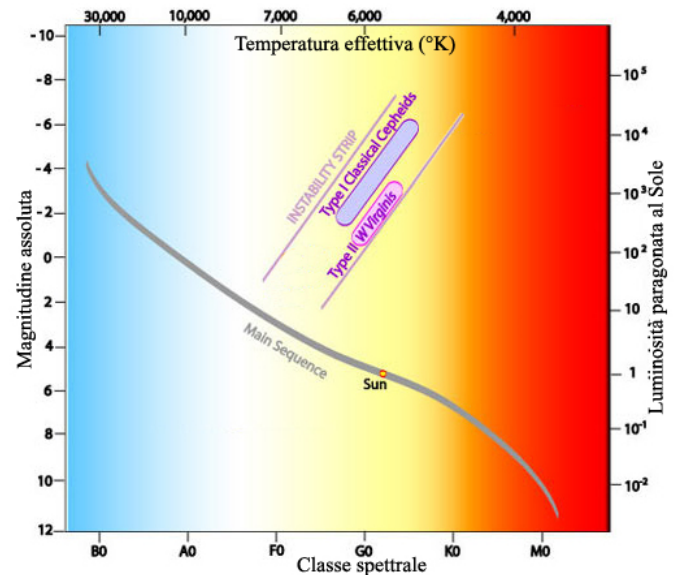
Le Cefeidi



Tipico andamento di una variabile Cefeide, classe importantissima per la determinazione delle distanze galattiche e cosmologiche. Il periodo di pulsazione è funzione della luminosità assoluta. In realtà esistono due tipi di Cefeidi, che differiscono per il contenuto di metalli (diversa popolazione stellare).

Sono sicuramente le stelle variabili più importanti, quelle che hanno permesso di allargare a dismisura i confini dell'Universo conosciuto negli anni 30, rivelando la natura extragalattica di alcune nebulose, in realtà delle galassie del tutto simili alla Via Lattea. Le variabili Cefeidi sono stelle evolute con massa compresa tra 3 e 20 volte quella del nostro Sole e luminosità tra 300 e 40000 volte maggiore. Sono stelle che hanno appena lasciato la sequenza principale e si trovano in una regione del diagramma H-R detta striscia di instabilità. Nel loro nucleo, dove avvengono le reazioni nucleari, l'idrogeno, che è stato il combustibile per centinaia di milioni di anni, è ormai quasi esaurito e si sta innescando la combustione dell'elio che le porterà alla successiva fase di gigante rossa. Si tratta di stelle pulsanti (radialmente) cioè che variano la loro forma e quindi anche temperatura, colore e luminosità, da un minimo di 1 decimo di magnitudine fino a 2 magnitudini, in un periodo compreso tra 1 e 100 giorni.

La loro classe spettrale al massimo della luminosità è F, mentre al minimo possono arrivare sino alla G-K; un "salto" di temperatura di oltre 1000°K. Il motivo delle pulsazioni regolari risiede nel gigantesco involucro gassoso che circonda le regioni nucleari nelle quali avviene la produzione di energia. In parole semplici, quando la stella è contratta, l'involucro diventa piuttosto opaco alla radiazione prodotta al suo interno. L'accumulo di energia riscalda il gas che si ionizza ed espande, diventando trasparente: i fotoni riescono a scappare, e il gas comincia a raffreddarsi, anche a causa dell'espansione; la sua pressione diminuisce e la stella si contrae di nuovo a causa della forza di gravità, ricominciando il ciclo fino a quando, dopo qualche milione di anni, uscirà da questa fase instabile e smetterà di essere una Cefeide.



Posizione delle Cefeidi nel diagramma HR

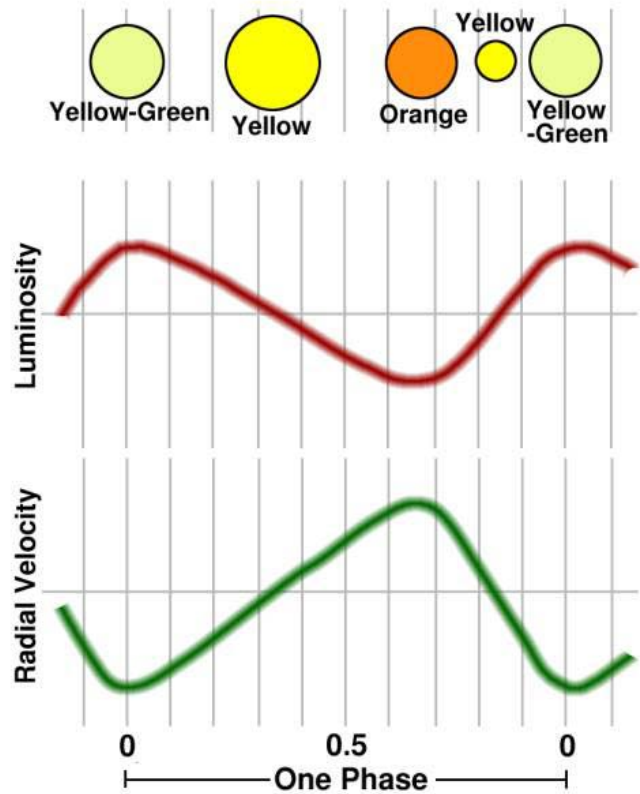
Posizione delle Cefeidi nel diagramma HR

Quando la stella è compressa, è più calda e più luminosa, quando invece si espande, diventa più fredda, meno luminosa e di un colore tendente al rosso.

Nel 1912 Henrietta Leavitt, studiando questo tipo di stelle nella grande Nube di Magellano, scoprì che il periodo di pulsazione è direttamente legato alla luminosità assoluta della stella: maggiore è il periodo, maggiore è la luminosità.

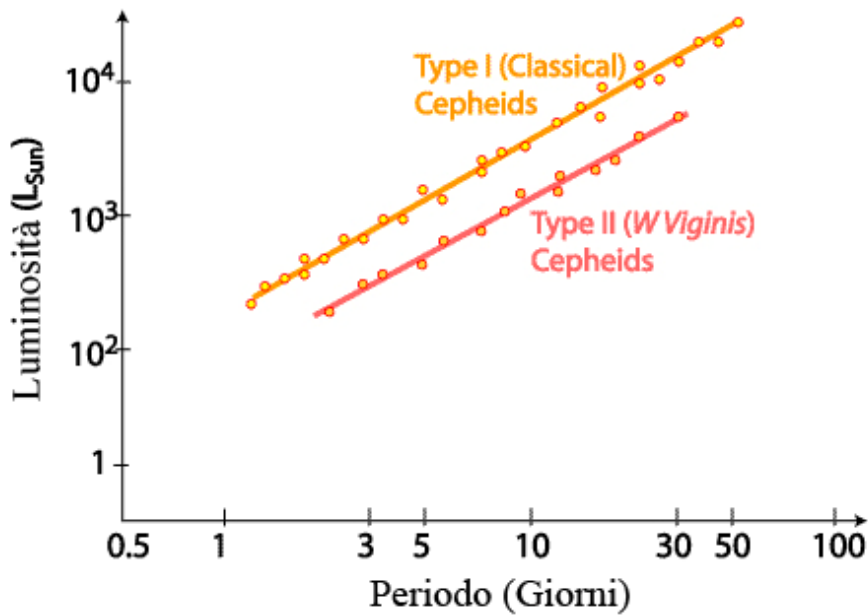
Misurando quindi il periodo di pulsazione delle Cefeidi possiamo ricavare la sua magnitudine assoluta, e dalla conoscenza di quella apparente, direttamente la distanza. Il metodo funziona piuttosto bene, ma ci sono dei problemi, uno di natura osservativa, l'altro fisica. Innanzitutto esso va calibrato, cioè dobbiamo conoscere almeno una distanza di queste variabili attraverso altri metodi, altrimenti non potremmo mai conoscere la loro luminosità assoluta. Quello che si è fatto, e lo vedremo meglio nella sezione dedicata alle distanze astronomiche, è osservare molte cefeidi poste a distanze simili, ad esempio confinate nella Grande Nube di Magellano: in questo caso le stelle possono essere assunte (con buona approssimazione) alla stessa distanza dalla Terra e quindi le diverse magnitudini apparenti rappresentano diverse luminosità assolute. Si trova in questo modo la relazione periodo-luminosità apparente. Se riusciamo a conoscere con altri metodi la distanza di alcune di esse possiamo trasformare le luminosità apparenti in assolute e calibrare la relazione per poterla utilizzare per tutte le Cefeidi dell'Universo.

Il problema di natura fisica è dovuto all'esistenza di due diverse classi di Cefeidi, appartenenti a due differenti popolazioni stellari; una, più giovane e ricca di metalli, (popolazione I), alla quale appartengono le Cefeidi classiche (Tipo I) il cui prototipo è la stella delta nella costellazione del Cefeo. A questo gruppo appartengono anche altre stelle "blasonate", tra cui la Polare. Il secondo gruppo è invece costituito da stelle vecchie e quindi povere di metalli, come se ne trovano in abbondanza negli ammassi globulari e nell'alone galattico, il cui prototipo è una stella nella costellazione della Vergine, chiamata W Virginis. Sebbene il meccanismo di pulsazione sia del tutto simile, la differente abbondanza di elementi pesanti (metalli) provoca una lieve differenza nella relazione periodo-luminosità.



Il processo di pulsazione cambia la temperatura e quindi il colore delle stelle, oltre a, naturalmente, la luminosità assoluta. Con le moderne tecniche spettroscopiche è possibile misurare anche la velocità di espansione e contrazione degli strati superficiali.

RELAZIONE PERIODO-LUMINOSITA'

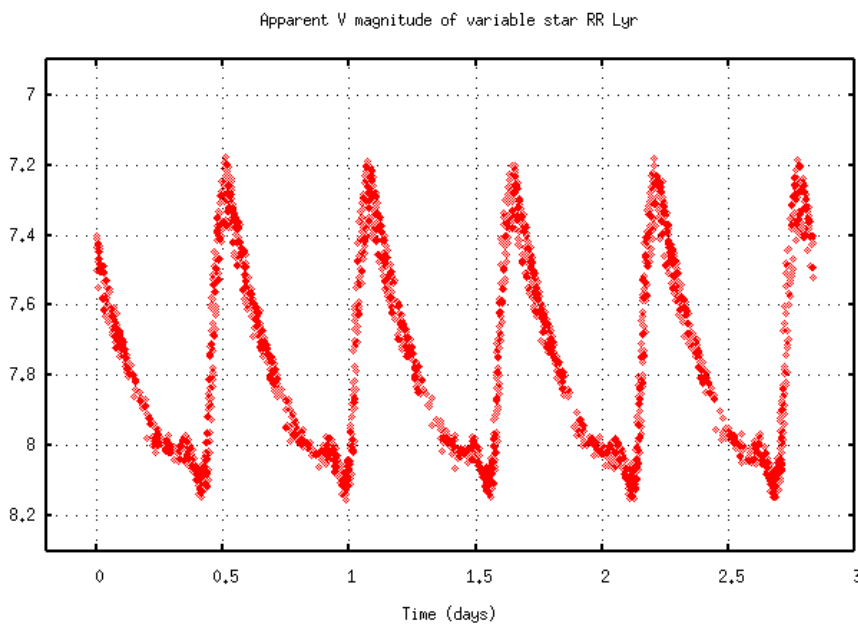


Relazione periodo-luminosità per i due tipi di variabili Cefeidi. Quelle di tipo II sono più vecchie ed appartengono alla popolazione II. Quelle di tipo I appartengono alla classe delle giovani (relativamente) componenti di popolazione I. Una descrizione analitica dell'andamento, per le Cefeidi di tipo I, è data in 5.14.6

Si pensa che tutte le stelle con massa superiore alle 3 volte quella solare passino attraverso questo stadio nelle fasi finali della loro vita. Questa fase è transitoria e relativamente breve (qualche decina di milione di anni), quindi non è facile trovare variabili di questo tipo; fortunatamente abbiamo a disposizione un gran numero di stelle tra cui scegliere. Negli ammassi globulari ad esempio, se ne trovano in generale qualche decina (tra le centinaia di migliaia di stelle totali).

Fortunatamente sono piuttosto luminose e questo consente loro di essere rilevabili anche nelle galassie a noi più vicine (entro un centinaio di milioni di anni luce).

RR Lyrae



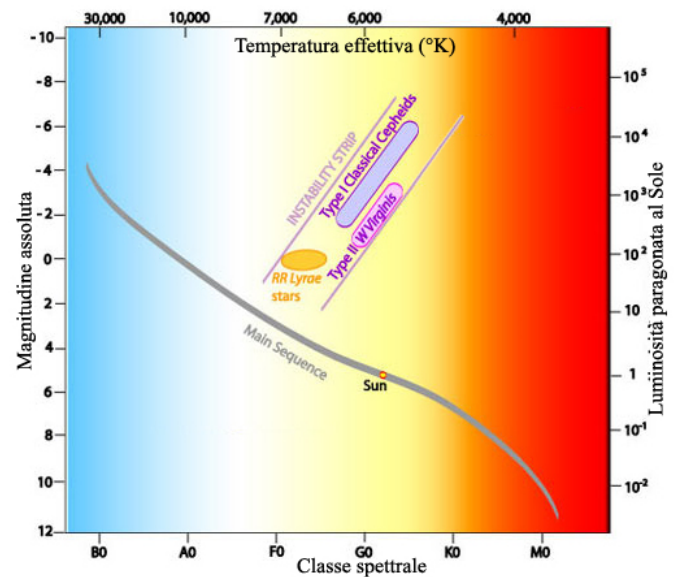
Curva di luce tipica di una variabile di tipo RR-Lyrae. L'andamento è meno simmetrico rispetto alle Cefeidi, con un aumento di luminosità piuttosto rapido, seguito da una discesa lenta. Il processo fisico alla base delle pulsazioni è lo stesso. Le differenze sono da imputare alle diverse masse tra questi due tipi di stelle pulsanti.

Le variabili di tipo RR-Lyrae sono stelle pulsanti (radialmente) simili alle Cefeidi ma profondamente diverse in massa, luminosità e stadio evolutivo. Questa classe di stelle, il cui prototipo è la stella RR nella costellazione della Lyra, hanno generalmente masse simili o di poco inferiori al Sole e si trovano in una regione, nel diagramma H-R, detta braccio orizzontale, all'interno della striscia di instabilità. Si tratta di giganti bianche prossime alla fine della loro vita, dopo aver già attraversato la fase di giganti rosse. Nel loro nucleo il combustibile nucleare è l'elio, mentre l'idrogeno viene bruciato in gusci superiori. La loro età è sempre superiore a quella delle Cefeidi, poiché si tratta di stelle meno massicce che quindi vivono molto più a lungo, per questo motivo sono anche più abbondanti.

Appartengono sempre alla vecchia Popolazione II e si trovano quindi maggiormente concentrate nell'alone galattico e negli ammassi globulari; per questo motivo una vecchia classificazione le individuava come Cefeidi degli ammassi. Il periodo di pulsazione è piuttosto breve e compreso tra qualche ora e 2 giorni, con oscillazioni comprese tra 0,3 e 2 magnitudini e luminosità circa 50 volte maggiori della nostra stella.

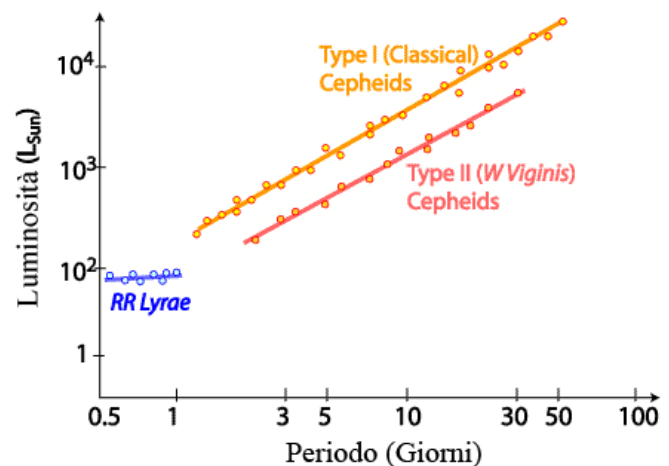
Studiando diverse curve di luce si è capito che il meccanismo di pulsazione può avvenire in due modi diversi; l'uno (RRab) del tutto simile a quello delle Cefeidi produce curve di luce simmetriche e regolari, l'altro (RRc) produce delle curve di luce asimmetriche caratterizzate da un rapido aumento della luminosità e un calo più graduale.

Anche le variabili RR-Lyrae possono essere utilizzate come candele standard, cioè come indicatori delle distanze cosmiche. Si è scoperto infatti che tutte le stelle di questo tipo possiedono la stessa luminosità assoluta, a prescindere dal colore e dalla loro temperatura; se ne ricava quindi una relazione molto più semplice di quella trovata per le Cefeidi: ogni variabile identificata come RR-Lyrae ha una luminosità assoluta fissata e quindi, misurando la luminosità apparente, ricaviamo subito la sua distanza. Sfortunatamente sono stelle piuttosto deboli, soprattutto se paragonate alle Cefeidi e possono essere utilizzate solo per la stima delle distanze galattiche.



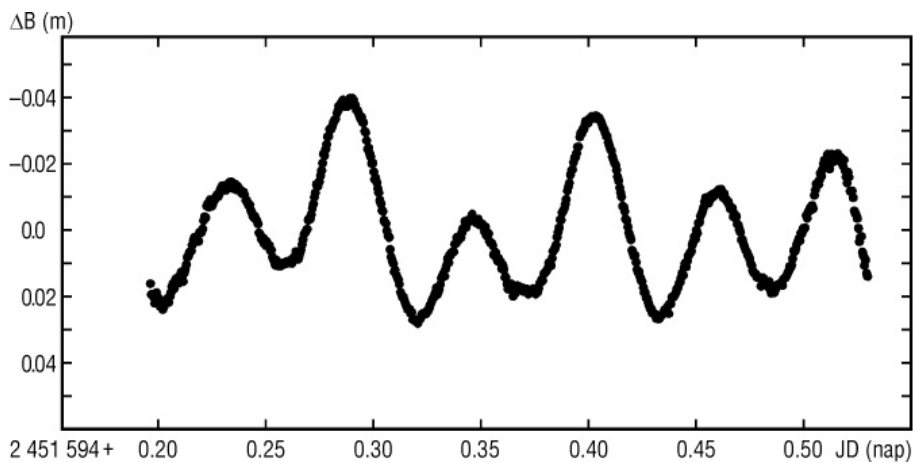
Posizione delle variabili RR-Lyrae nel diagramma HR.

RELAZIONE PERIODO-LUMINOSITA'



Relazione periodo-luminosità per le variabili RR-Lyrae. Tutte le stelle appartenenti a questa classe hanno all'incirca la stessa luminosità assoluta.

Delta scuti

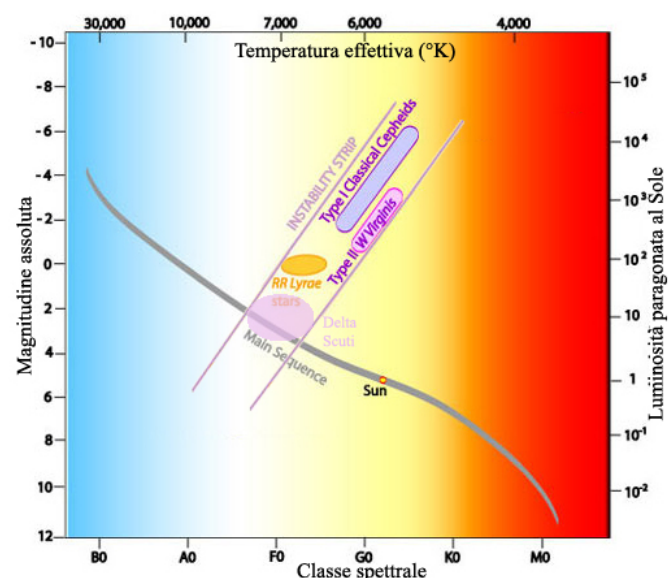


Curva tipica di una variabile di tipo Delta Scuti. Generalmente hanno periodi di qualche ora e ampiezze ridotte. Il meccanismo di pulsazione è lo stesso delle Cefeidi. Non a caso vengono anche definite cefeidi nane.

Altro tipo molto interessante di variabili pulsanti, spesso classificate anche come cefeidi nane per la forma di alcune curve di luce. Le delta Scuti, dal nome della stella delta della costellazione dello Scutum che ne rappresenta il prototipo, sono molto interessanti e presentano forti differenze nelle loro curve di luce con le Cefeidi e le RR Lyrae.

Il loro posto nel diagramma HR si colloca nella linea di instabilità e interseca la sequenza principale; questo significa che c'è una grande varietà di stelle che può appartenere a questa classe: stelle evolute, come le subgiganti, altre appena nate, dette pre-sequenza principale, e anche alcune di sequenza principale di classe spettrale tra la A2 ed F8. Le masse delle stelle sono comprese tra 1 e 2,5 masse solari e dipendono anche dal contenuto di metalli (le delta scuti con minore contenuto di metalli sono meno massicce, tra 1 e 2 masse solari, mentre quelle di popolazione I con contenuto metallico simile al nostro sole hanno masse comprese tra 1,5 e 2,5 masse solari). Il periodo di pulsazione varia tipicamente tra qualche decina di minuti fino a 10-12 ore; una tipica stella di questo tipo presenta pulsazioni (a volte con più di un periodo) ad intervalli di qualche ora, con oscillazioni comprese tra qualche centesimo e una magnitudine. La particolarità di queste stelle è che possono avere pulsazioni sia radiali che non radiali; il loro studio può dare molte informazioni sulla struttura e sull'interno delle stelle (astrosismologia) in modo analogo a come lo studio dei terremoti terrestri ci dà informazioni sulla struttura interna del nostro pianeta. Spesso la loro curva di luce non è simmetrica o comunque altamente periodica come tutte le altre stelle pulsanti finora viste: la combinazione di diversi modi di pulsazioni sia radiali che non provoca delle curve di luce con diversi andamenti con periodi multipli che si sovrappongono gli uni agli altri. La scoperta di queste variabili è quindi molto importante per conoscere a fondo la struttura e il comportamento stellare, e non ultimo, per stimare la loro distanza, poiché, quelle più regolari e con oscillazioni maggiori possono essere utilizzate come candele standard.

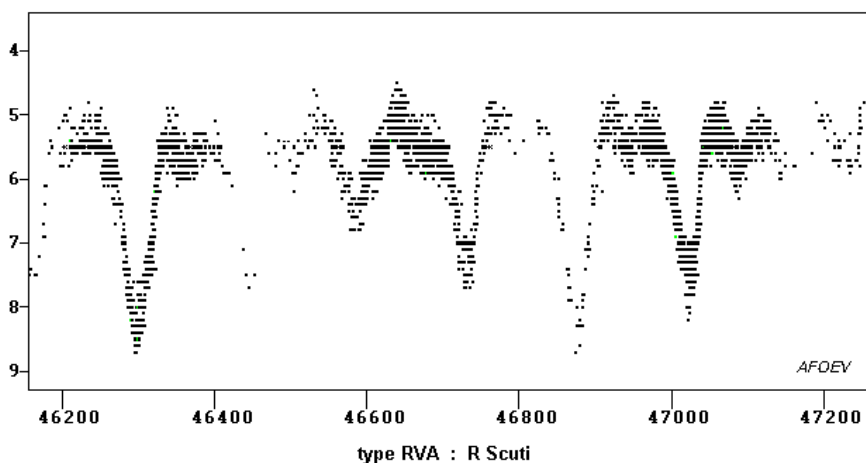
Come le RR-Lyrae anche le delta scuti possono essere suddivise in diversi sotto-tipi, in base al contenuto di metalli (metallicità) e all'ampiezza delle oscillazioni di luminosità.



Posizione delle Delta Scuti nel diagramma HR.

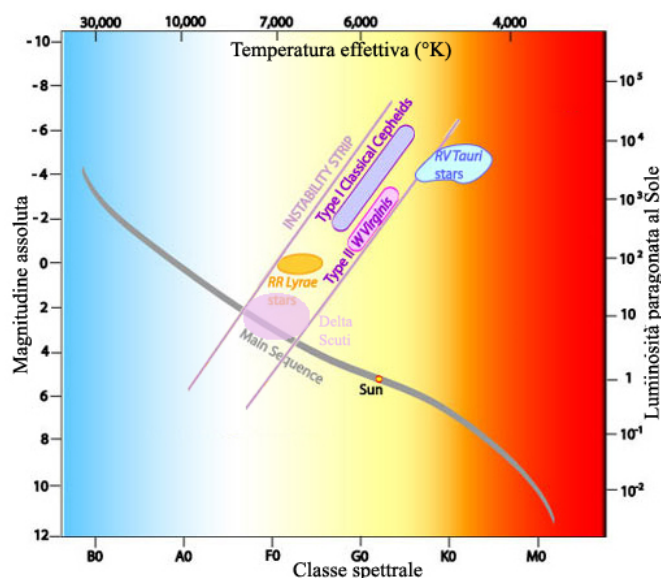
Il tipo con oscillazioni elevate (HADS) presenta variazioni superiori a 0,1 magnitudini, mentre il tipo con oscillazioni ridotte (LADS) ha variazioni anche di 1-2 centesimi di magnitudine. Sebbene il confine tra i due tipi non sia rigoroso, alla base della classificazione ci sono elementi fisici. Le HADS sono più simili alle Cefeidi o RR-Lyrae, hanno generalmente un solo modo di pulsazione che avviene in maniera radiale e per le quali esiste una relazione periodo-luminosità come nei casi precedenti. Sono generalmente stelle evolute fuori dalla sequenza principale, nel braccio delle sub-giganti. Le LADS contrariamente, presentano diversi modi di pulsazione, sia radiale che non e sono principalmente stelle di pre-sequenza principale e sequenza principale; queste sono le più interessanti da studiare per scoprire la loro struttura interna e i modi con cui variano la loro forma. Un'altra classificazione, come fatto per le Cefeidi è quella che prende in esame il contenuto di metalli e quindi l'appartenenza ad una delle due popolazioni stellari. Le delta scuti classiche sono stelle di popolazione I, relativamente giovani, simili, per composizione chimica, al nostro Sole, mentre quelle vecchie di popolazione II sono classificate come SX Phoenicis, del tutto simili alle classiche.

RV Tauri



Curva di luce tipica di una RV Tauri, stelle pulsanti minori di 8 volte la massa del Sole, che sono prossime allo stadio finale della loro vita: la perdita degli strati esterni, che formeranno una nebulosa planetaria, e la trasformazione del nucleo in nana bianca.

Sono stelle supergiganti gialle situate, nel diagramma HR, tra le Cefeidi e le variabili di tipo Mira (che analizzeremo nelle prossime pagine) e sembrano rappresentare l'anello di congiunzione tra questi due importanti (e molto diversi) tipi di variabili pulsanti. Si pensa che le RV tauri siano stelle giunte al termine della loro vita, in quello stadio, della durata di appena qualche migliaio di anni, nel quale una stella non troppo massiccia si accinge ad abbandonare lo stadio di supergigante e a diventare una nana bianca, espellendo i suoi gusci esterni e trasformandosi in una nebulosa planetaria. Non a caso, nel diagramma HR la loro posizione, vicino al braccio delle giganti, indica proprio che esse sono in uno stadio evolutivo successivo, il cui ultimo fine è la creazione di una nana bianca ed eventualmente una nebulosa planetaria. Non



Posizione delle RV Tauri nel diagramma HR, al confine con la striscia di instabilità.

tutte le stelle post giganti che sono destinate a diventare nane bianche sono variabili RV tauri; si pensa infatti che la massa e la metallicità giochino un ruolo fondamentale. La breve durata di questa fase è confermata anche dal fatto che le RV tauri sono il tipo di variabili meno abbondante nella nostra galassia; molte di esse sono stelle vecchie di popolazione II e vengono scoperte nell'alone galattico.

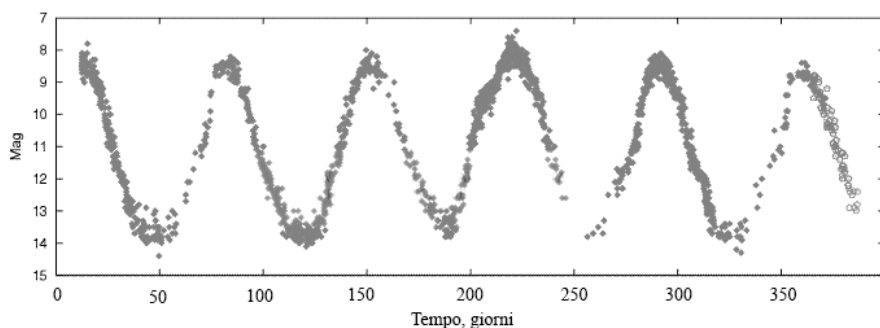
La loro importanza è legata al fatto che la loro scoperta e il loro studio possono fornire dati sulle ultime fasi evolutive delle stelle di massa medio-grande, poiché il passaggio tra gigante-supergigante e nana bianca non è ancora stato ben compreso dalla comunità astronomica.

Le loro pulsazioni sono radiali ma non sempre regolari. Ci sono anche in questo caso periodi multipli che si sovrappongono compresi tra 30 e 150 giorni e ampiezze fino a 4 magnitudini. Le curve di luce presentano più massimi e minimi e possono differire notevolmente le une dalle altre, per questo sono stati definiti diversi sottotipi:

- Tipo RVa: nelle quali la luminosità media resta costante
- Tipo RVb: nelle quali la luminosità media varia con un periodo compreso tra 600 e 1500 giorni

In realtà alcuni studi recenti lasciano pensare che la differenza tra questi due tipi non sia di tipo fisico: sono stati infatti osservati attorno a queste stelle dei gusci di polvere e si pensa che il tipo RVb sia in una fase attiva, in cui il guscio di polveri venga disperso dalle pulsazioni ma continuamente alimentato. Se non c'è un fenomeno di auto alimentazione della polvere, il guscio tende ad essere spazzato via, o in alternativa, se posto a grandi distanze, a rimanere sostanzialmente invariato: in ogni caso la stella mantiene una luminosità media costante e si trasforma nel tipo RVa.

Variabili di lungo periodo: Mira e semiregolari



Curva di luce tipica di una variabile mira. L'andamento è simile a quello delle Cefeidi, benché si sviluppi su tempi scala nettamente maggiori (dell'ordine dei mesi). Il prototipo di questa classe è la stella Omicron Ceti, detta Mira.

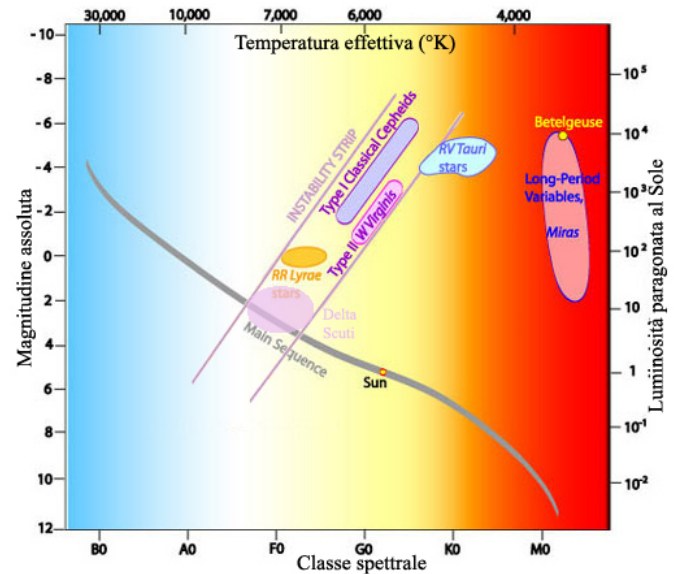
Le variabili mira prendono il nome dalla stella Omicron Ceti, nella costellazione della Balena, chiamata anche Mira per il comportamento che la porta a variare di svariate magnitudini in qualche mese, rendendola facilmente visibile ad occhio nudo o completamente invisibile.

Si tratta di stelle giganti rosse, di massa inferiore a 2 masse solari, estremamente estese, tanto da poter occupare facilmente l'orbita di Giove se si trovassero al posto della nostra stella e decine di migliaia di volte più luminose.

La classe delle variabili di tipo Mira appartiene a quello che viene definito braccio asintotico delle giganti, una regione del diagramma HR che raccoglie le stelle non troppo massicce che sono evolute in giganti rosse, estremamente luminose ma con temperature superficiali molto basse (comprese tra 2000 e 3000 K). Il loro periodo di pulsazione è compreso tra 100 e 1000 giorni, con ampiezze elevate, superiori a 2,5 magnitudini che possono arrivare fino a 10; sono variabili molto appariscenti, facilissimi da seguire anche visualmente o addirittura ad occhio nudo (il caso di Mira). Le variabili Mira hanno una vita media di solo qualche milione di anni, durante i quali parte della loro massa, a causa di un fortissimo vento solare, viene letteralmente espulsa e probabilmente, nei successivi stadi evolutivi andrà a formare gli anelli esterni di quella che sarà presto una nebulosa planetaria con al centro una nana bianca molto compatta e calda. Il tasso di perdita di massa delle variabili Mira è elevato, perdendo fino ad 1 milionesimo di massa solare ogni anno; poiché si tratta di stelle dell'ordine del nostro Sole, si capisce come con questo tasso di perdita di massa non possano avere una vita superiore al milione di anni. D'altra parte, le stelle più massicce di 1,44 masse solari, in questo modo evitano di esplodere come supernovae, trasformandosi invece in nebulose planetarie. Il nostro stesso Sole, tra circa 5 miliardi di anni, attraverserà questa fase turbolenta ed instabile.

Le variabili semiregolari si trovano nella parte alta del braccio asintotico delle giganti; si tratta quindi di stelle più luminose, in generale di supergiganti, ma anche giganti, molto simili alle variabili Mira, ma con una curva di luce che non mostra una periodicità netta e costante. Spesso nella comunità astronomica questa classe di variabili, insieme alle Mira e alle RV Tauri sono trattate insieme poiché il loro comportamento è simile e questo fa pensare a meccanismi fisici analoghi (si pensa che la fase RT Tauri rappresenti l'evoluzione delle variabili Mira). Come ogni classe che raccoglie stelle dal comportamento non perfettamente definito, le variabili semi regolari presentano caratteristiche diverse le une dalle altre, e possono essere suddivise in 4 sotto-tipi:

- **SRa:** sono le più regolari, con un periodo superiore ai 35 giorni e ampiezze inferiori a 2,5 magnitudini, molto simili alle Mira
- **SRb:** periodi superiori ai 20 giorni e ampiezze inferiori alle 2,5 magnitudini. Sono piuttosto irregolari e spesso nelle curve di luce appaiono zone costanti o con variazioni di luminosità imprevedibili
- **SRc:** stelle supergiganti che occasionalmente variano la loro luminosità in modo irregolare e con ampiezze generalmente ridotte. La stella più famosa di questo tipo è Betelgeuse, nella costellazione di Orione
- **SRd:** giganti e supergiganti gialle, di tipo spettrale tipicamente compreso tra F e K, sono piuttosto diverse dalle Mira e dalle altre semiregolari e presentano solo occasionalmente delle variazioni di luminosità, generalmente superiori ad una magnitudine (fino a 4 magnitudini)



Posizione delle variabili Mira e semiregolari all'interno del diagramma HR. Contrariamente agli altri tipi di stelle pulsanti, esse fanno parte del ramo delle giganti e supergiganti rosse.

Le variabili pulsanti come candele standard

Alcune tra le stelle pulsanti che abbiamo visto nella sezione dedicata alla ricerca astronomica (4.2), possono essere utilizzate per stimare distanze galattiche ed extra-galattiche.

Il periodo di pulsazione di alcune stelle dipende dalla loro luminosità assoluta, cioè dall'energia che emettono nell'unità di tempo; in altre parole, conoscendo il periodo di pulsazione, possiamo ricavarci la magnitudine assoluta. Misurando quella apparente ricaviamo il cosiddetto modulo di distanza (vedi 5.7.2), che ci fornisce direttamente la distanza dell'oggetto.

Alcune di queste stelle pulsanti, sono così luminose che possono essere studiate anche in altre galassie, fino a distanze di qualche centinaio di milioni di anni luce, e costituiscono degli strumenti fondamentali anche per la calibrazione di altri indicatori di distanza, prima fra tutte la legge di Hubble (5.9.2).

Non tutti i tipi di variabili pulsanti possono essere utilizzate come candele standard, ma solamente le Cefeidi (tipo I e II), le RR Lyrae, le RV Tauri e il sottotipo ad elevata ampiezza delle Delta Scuti. Per ogni tipo esiste una relazione, più o meno semplice, detta relazione periodo luminosità, la quale lega il periodo di pulsazione alla loro luminosità assoluta, previa un'opportuna calibrazione.

E' molto importante capire questo punto: il periodo di pulsazione dipende dalla magnitudine assoluta della stella, che è una sua proprietà intrinseca, non da quella apparente, che dipende da vari fattori, come la distanza e l'assorbimento causato dalle polveri e gas posti nel cammino della radiazione che giunge fino alla Terra. Come ben sappiamo, per conoscere la luminosità intrinseca di ogni stella occorre conoscere la sua distanza, altrimenti, l'unico dato che possiamo ricavare è la luminosità apparente. Sembra che siamo caduti in un pozzo senza fondo: come è possibile utilizzare le candele standard per misurare le distanze, quando occorre conoscere la distanza per sapere la loro luminosità assoluta?

Può sembrare paradossale tutto ciò ma non lo è; se riusciamo a calibrare la relazione, cioè a conoscere la legge che lega il periodo di pulsazione alla magnitudine assoluta, per qualche stella di cui possiamo conoscere la distanza con altri metodi, possiamo utilizzarla per calcolare poi le distanze per tutte le stelle dell'Universo, appartenenti alla stessa famiglia. Il procedimento di calibrazione va fatto (nel caso ideale) solo una volta, su degli oggetti che già conosciamo.

Una volta eseguita, abbiamo una legge universale: il guadagno netto è senza dubbio notevole!

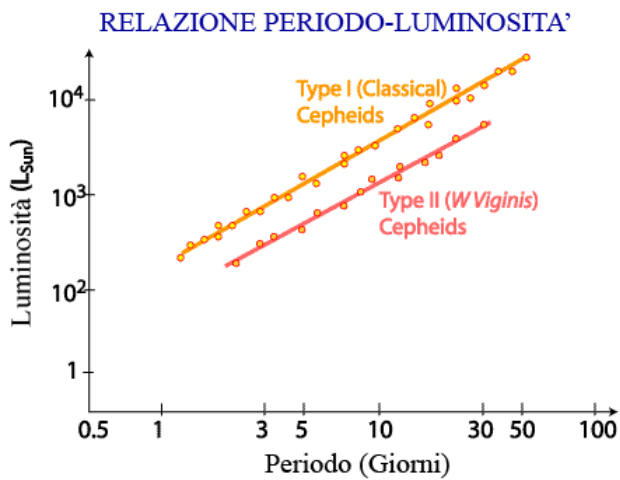
Il procedimento, che si attua con tutti i metodi di natura fotometrica, è quindi il seguente:

- 1) Individuo delle regioni ricche di stelle, che posso assumere tutte poste alla stessa distanza dalla Terra (con approssimazione), come ad esempio quelle negli ammassi aperti, globulari o in galassie a noi vicine e di piccole dimensioni, come ad esempio le Nubi di Magellano. Poiché tutte le stelle che osservo le assumo alla stessa distanza, le loro variazioni di luminosità apparente corrisponderanno a variazioni di luminosità assoluta: in questo modo posso scoprire alcune proprietà importanti. Nel nostro caso specifico, scopro che variazioni del periodo di pulsazione corrispondono a variazioni di luminosità apparente, e quindi, per la scelta del campione di stelle, a variazioni di luminosità assoluta: ho scoperto che esiste un legame tra luminosità intrinseca della stella e periodo di pulsazione.
- 2) Ora dobbiamo cercare di capire quale è, in termini matematici, il legame: dobbiamo cioè trasformare la magnitudine apparente in quella assoluta. Per fare questo mi basta conoscere la distanza di almeno una di esse e/o della galassia/ammasso nelle quali si trovano. Questo è il passo più delicato; se la distanza non è elevata, posso tentare di utilizzare qualche metodo geometrico, come la parallasse trigonometrica o quella di gruppo, altrimenti, altri ancora, come la distanza dell'eco luminosa o il metodo di Baade-Wesselink; spesso si utilizzano più metodi insieme per ridurre al minimo gli inevitabili errori. Conosciuta la distanza, e conoscendo la magnitudine apparente, posso ricavare facilmente la magnitudine assoluta e sostituire tali valori nel grafico che riporta la luminosità apparente in funzione del periodo di pulsazione: ho finalmente calibrato il mio grafico. Ora oltre alle differenze di luminosità, ho anche le luminosità intrinseche e posso applicare il metodo ad ogni stella di quel tipo, poiché non ho più la dipendenza critica dalla distanza.

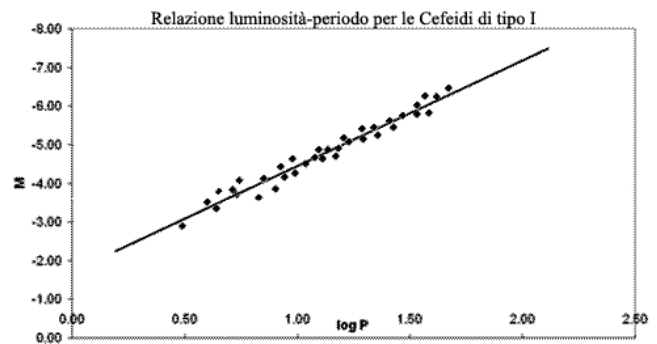
Il metodo appena descritto è quello utilizzato nei primi anni del 900 da Herrietta Leavit, astronoma americana che per prima trovò la relazione periodo-luminosità per le variabili Cefeidi, osservando quelle all'interno della grande Nube di Magellano: esso è valido per ogni candela standard.

Vediamo ora, brevemente, le relazioni-periodo luminosità più importanti, per le Cefeidi classiche e le RR Lyrae.

Cefeidi: Sono le variabili pulsanti di gran lunga più studiate, poiché la loro grande luminosità le rende visibili anche a grandi distanze e quelle in cui è stata scoperta per prima la relazione periodo luminosità. La procedura di calibrazione è particolarmente delicata e solo negli ultimi anni si sono ridotti gli errori, grazie all'impiego di telescopi di ultima generazione e tecniche (digitali) avanzate. L'esistenza di due tipi di Cefeidi ha portato in passato ad errori grossolani nella stima delle distanze, poiché ogni tipo ha una propria relazione periodo-luminosità. Una volta calibrato, il grafico ha il seguente andamento:



Relazione periodo-luminosità per i due tipi di variabili Cefeidi.



Relazione periodo luminosità, con la magnitudine assoluta al posto dell'energia luminosa, per le Cefeidi di tipo I. Notate la scala della magnitudini. Per confronto, il Sole ha una magnitudine assoluta pari a +4,8. Data la loro grande luminosità, le Cefeidi possono essere avvistate anche in molte galassie relativamente vicine, fino a qualche centinaio di milioni di anni luce.

Le funzioni matematiche che descrivono i due andamenti sono identiche ma differiscono solo per il valore delle costanti. Per le Cefeidi di tipo I, si ha $M_V = -2,78 \log(P) - (1,35 \pm 0,1)$: studiando quindi una qualunque Cefeide di questo tipo e misurando il suo periodo di pulsazione, possiamo ricavarci subito la sua magnitudine assoluta (media). Ricordando ora l'espressione del modulo di distanza (vedi 5.7.2): $m - M = -5 + 5 \log d$, ci ricaviamo direttamente la distanza (in parsec):

$$m - M + 5$$

$$d = 10^{\frac{m - M + 5}{5}}$$

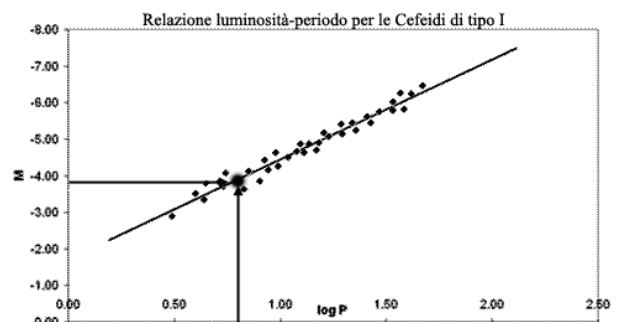
Vediamo una semplice applicazione.

La stella W Nella costellazione dei Gemelli è una variabile Cefeide del tipo I.

Effettuando osservazioni di natura fotometrica (costruendo una curva di luce) ricaviamo un periodo di pulsazione di 7,915 giorni, con picchi di magnitudine apparente di $m_{V,Max} = 6,72$ e

$m_{V,Min} = 7,58$, e un valore medio $m_{V,Mean} = 7,15$.

Possiamo calcolarci facilmente la luminosità assoluta e quindi la distanza dalla relazione $M_V = -2,78 \log(P) - 1,35$, trovando



Conoscendo il periodo di pulsazione di una stella Cefeide qualsiasi, possiamo, attraverso un grafico calibrato, come questo, risalire istantaneamente alla sua magnitudine assoluta e, dal modulo di distanza, alla sua distanza dalla Terra.

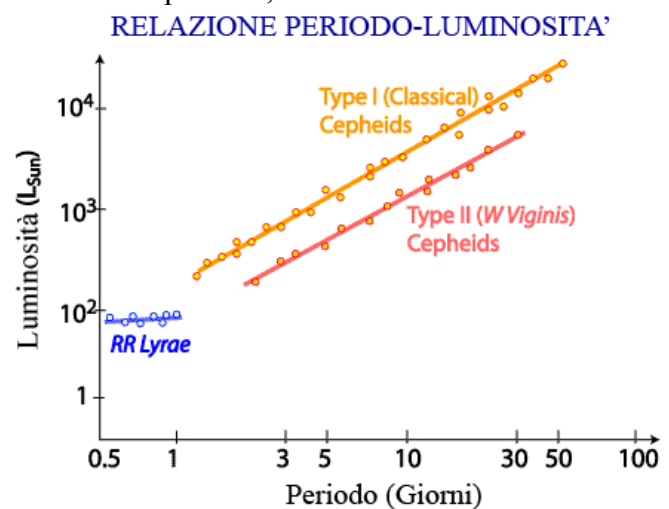
$M_{V,Mean} = -3,85$ e quindi, da $d = 10^{\frac{m - M + 5}{5}}$ si ricava una distanza di 1590 parsec: semplice e veloce!

Il metodo nella sua forma generica è applicabile a qualunque altra stella pulsante: si individua il tipo, si cercano delle relazioni periodo-luminosità apparente di stelle poste alla stessa distanza e poi si determina la distanza attraverso altri metodi per tarare la scala e passare dalle luminosità apparenti a quelle assolute. In alternativa, se si conosce già l'esistenza di una relazione periodo-luminosità e si vuole una maggiore precisione, si può saltare il primo punto che ha l'unico scopo di mettere in luce le eventuali proprietà. In questo caso si va alla ricerca di stelle del tipo considerato per le quali possiamo determinare con la migliore precisione possibile la distanza e quindi la magnitudine assoluta.

RR-Lyrae: La relazione di luminosità per queste variabili pulsanti, di massa e luminosità assoluta minori delle Cefeidi, è molto semplice, poiché si è scoperto che tutte hanno circa la stessa magnitudine assoluta; non occorre quindi applicare una relazione più o meno laboriosa, ma soltanto tenere in mente che la luminosità assoluta media è $0,6 < M_V < 0,7$; il valore, variabile di 1/10 di magnitudine, è dovuto sia ad una leggera dipendenza dal periodo di pulsazione, che dal contenuto di metalli. Per affinare ulteriormente le stime di distanza, occorre tenere conto di queste due variabili.

È importante notare come queste stelle, benché oltre 50 volte più luminose del Sole, siano molto più deboli delle Cefeidi e non possono essere osservate in altre galassie (tranne rarissime eccezioni), limitando il loro utilizzo agli ambienti della Via Lattea.

Le RR-Lyrae sono molto importanti nella stima delle distanze degli ammassi globulari, all'interno dei quali se ne possono osservare qualche decina, molte alla portata di strumentazione amatoriale.



Relazione periodo luminosità per le RR-Lyrae. La relazione è piuttosto semplice, poiché tutte le variabili di questo tipo hanno luminosità assoluta fissata.