

Scuola di Storia della Fisica

**“Sulla Storia dell’Astronomia: il Novecento. Gli strumenti,
le scoperte, le teorie.”**

Asiago 22-26 Febbraio 2016

GLOSSARIO : La scala delle distanze

Biagio Buonaura GdSF & Liceo Scientifico Statale «Albertini» Nola (Na)

A Bruno CACCIN (1944 – 2004)

Professore di Astronomia

Le distanze in Astrofisica

Riassunto dei metodi principali di misura

1. Metodi diretti (trigonometrici)
2. Metodi indiretti:
 - a. Indicatori primari (Validi fino a galassie vicine):
 - Spettroscopici
 - Candele standard: Cefeidi
 - Candele standard: Supernovae di tipo Ia
 - b. Indicatori secondari (Validi su scala intergalattica)
 - Funzioni di Luminosità
 - Relazioni "dinamiche": Tully-Fisher et al.
 - Legge di Hubble

Le distanze in Astrofisica

Non abbiamo un unico “metro” in grado di coprire distanze che si estendono su molti ordini di grandezza...

Proxima Centauri	stella più vicina	1.29 <i>pc</i>
Sirio A	stella più luminosa	2.67 <i>pc</i>
Vega	stella di riferimento	7.36 <i>pc</i>
Pleiadi	ammasso aperto	130 <i>pc</i>
M13	ammasso globulare	6.3 <i>kpc</i>
Orione	Nebulosa	450 <i>pc</i>
Crab	Nebulosa	2 <i>kpc</i>
Centro galattico		8.5 <i>kpc</i>
Diametro Galassia		30 <i>kpc</i>
Nubi di Magellano	Galassie più vicine	50 - 60 <i>kpc</i>
Andromeda	Galassia gigante più vicina	800 <i>kpc</i>
Vergine	Ammasso di galassie	22 <i>Mpc</i>
Coma	Ammasso di galassie	130 <i>Mpc</i>
Cigno A	Quasar	340 <i>Mpc</i>

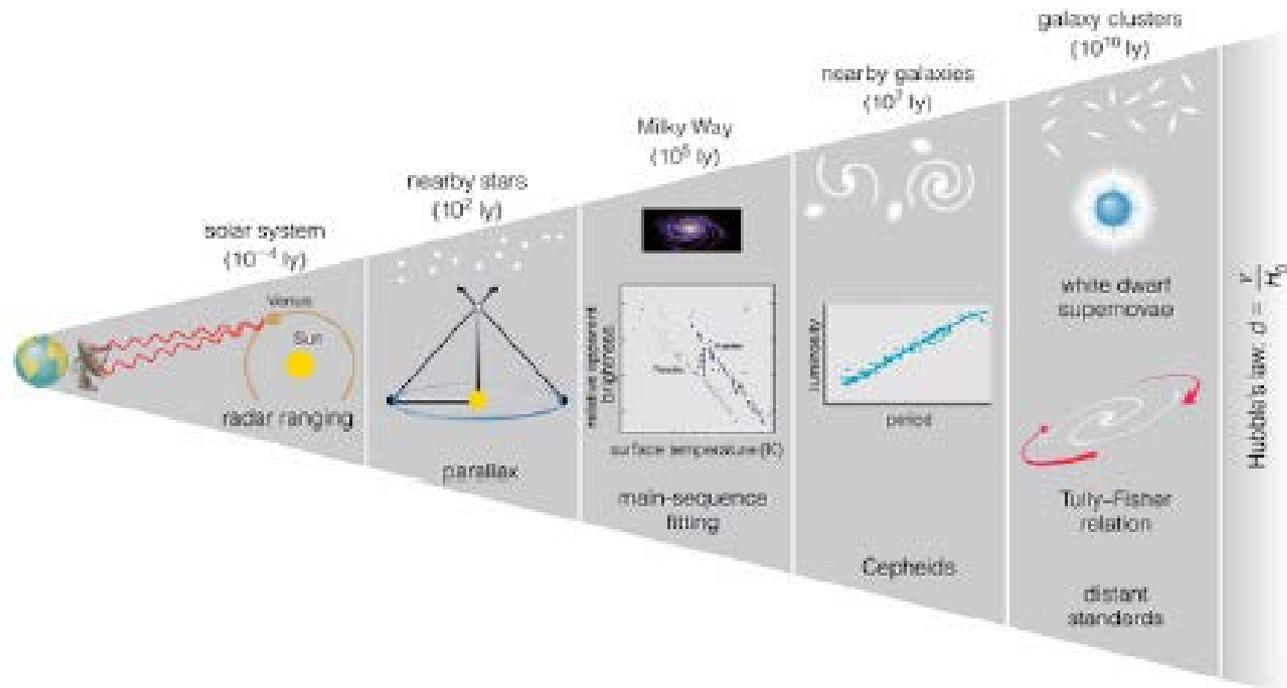


E oltre... (Gpc)

Le distanze in Astrofisica

Ad ogni di distanze corrisponde un insieme di metodi di misura, **la maggior parte indiretti**.

Ogni metodo deve essere calibrato mediante il metodo precedente, quindi vi è una propagazione degli errori, cioè, ogni errore in un metodo si ripercuote nei metodi successivi.



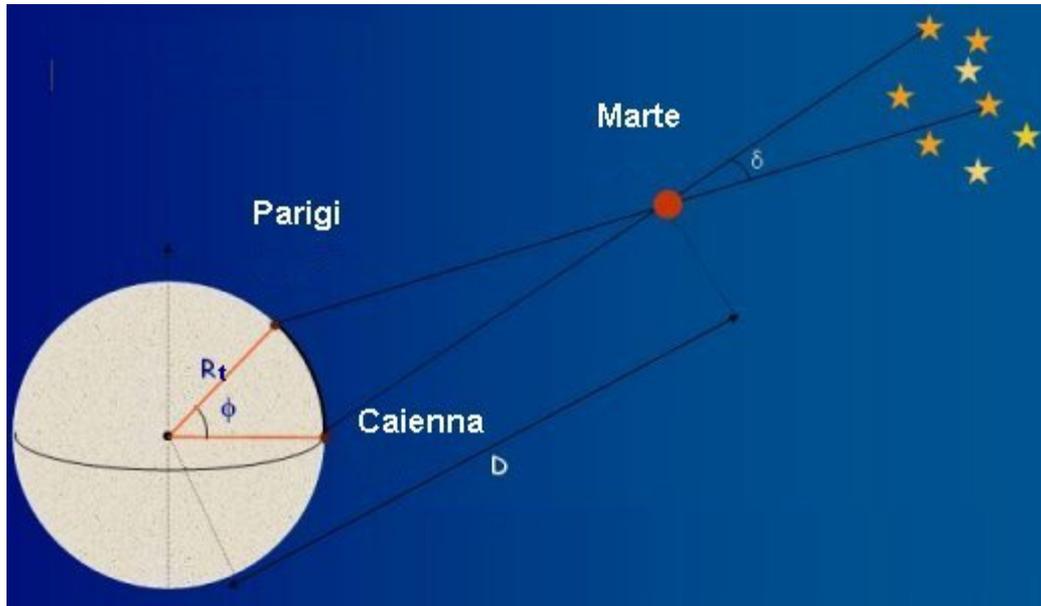
Le distanze in Astrofisica



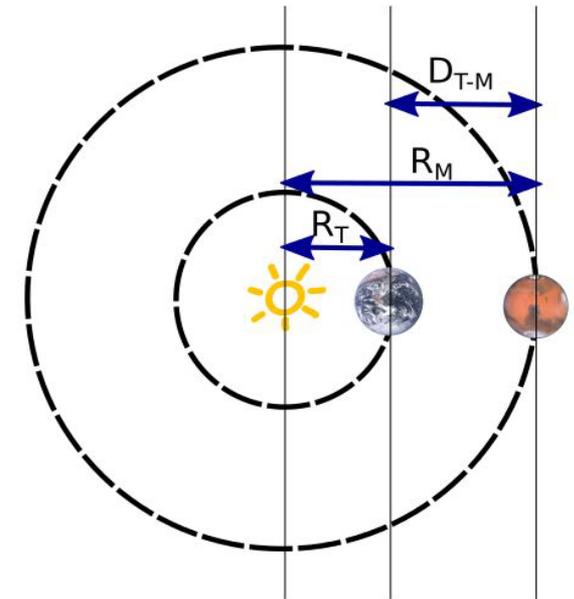
- La base della scala delle distanze astronomiche è l'Unità Astronomica, ovvero la distanza Terra-Sole
- Misurata per la prima volta da Cassini nel XVII secolo con un'accuratezza del 6%
- Utilizzò il metodo della parallasse per misurare la distanza di due pianeti vicini, e la terza legge di Keplero per risalire al raggio dell'orbita terrestre

Le distanze in Astrofisica

Cassini, nel 1672 misurò la parallasse di Marte in opposizione al Sole.



$$\pi_{Marte} (parallax) = \frac{1}{2} \delta = \frac{R_t}{D \sin(\phi/2)} = 15''$$



Il raggio dell'orbita di Marte è:

$$R_M = R_T + D_{T-M}$$

Utilizzando la III legge di Keplero si ottiene la distanza Terra–Sole R_T :

$$\frac{T_T^2}{T_M^2} = \frac{R_T^3}{R_M^3} \Rightarrow R_T^3 = R_M^3 \frac{T_T^2}{T_M^2}$$

Le distanze in Astrofisica

Negli anni '60 la distanza fra la terra e i pianeti più vicini (Marte, Mercurio, Venere) è stata determinata mediante segnali radar. Con queste misure e la terza legge di Keplero è possibile determinare la distanza Terra-Sole

Nel 1976 la IAU (International Astronomy Union) ha ridefinito l'unità astronomica come la distanza che avrebbe una particella dal Sole orbitante con un periodo di un anno.

La nuova definizione presenta alcune difficoltà, come l'utilizzo della definizione nella relatività generale e il fatto che la definizione dipende dalla massa del Sole e questa massa varia nel tempo.

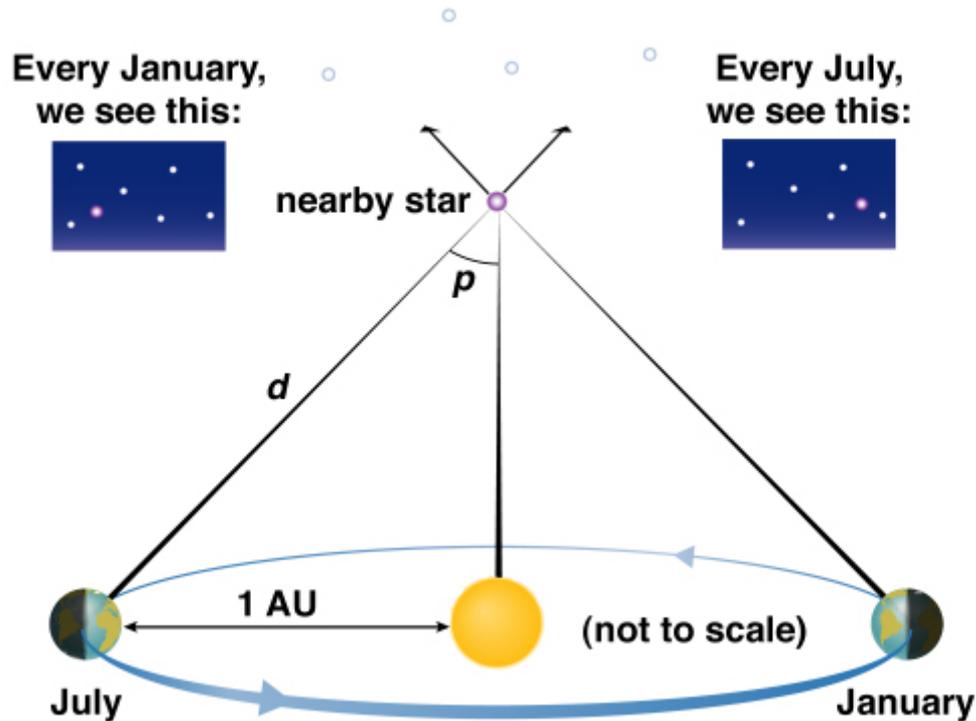
Nel 2012 è stata abbandonata una definizione dell'unità astronomica basata sulle proprietà fisiche degli oggetti celesti e il suo valore è stato fissato a

$$1 \text{ AU} = 149,597,870.7 \text{ km}$$

Le distanze in Astrofisica

Metodo Diretto: Parallasse trigonometrica

Le stelle vicine hanno un moto apparente causato dalla rotazione attorno al Sole.



Parsec (Parallasse Secondo): la distanza a cui il raggio dell'orbita terrestre (1AU) sottende un angolo di 1 secondo d'arco = $3.0857 \times 10^{16} \text{ m} = 3.2615 \text{ al}$

La misura dell'angolo di parallasse (in secondi d'arco) fornisce immediatamente la distanza in pc.

Le distanze in Astrofisica

$$d = \frac{1U.A.}{\pi}$$

Tutte le stelle hanno una parallasse **inferiore** a 1'' .

La prima misura della parallasse di una stella fu compiuta nel 1838 da Bessel:

$$61 \text{ Cygni: } \pi = 0,292''$$

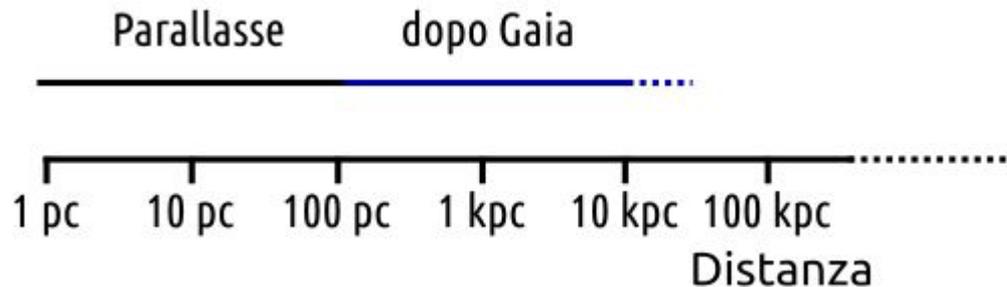
Il **satellite Hipparcos**, lanciato dall'Agencia Spaziale Europea nel 1989, il quale ha effettuato misure con **l'accuratezza del miliardosecondo** è arrivato a misurare parallassi fino a ≈ 300 pc.

Le distanze in Astrofisica

Nel 2013 è stata lanciata nello spazio la missione europea GAIA



Obiettivo principale di Gaia è uno studio dettagliato della Via Lattea che rivelerà il contenuto, le dinamiche, stato attuale e la formazione storia della nostra galassia. Osservazioni di corpi celesti fino a magnitudine 20 ($\approx 10^9$ stelle) e precisione astrometrica di $\approx 10 \mu\text{arcsec}$ e distanze con parallasse di $\approx 10 \text{kpc}$.



Le distanze in Astrofisica

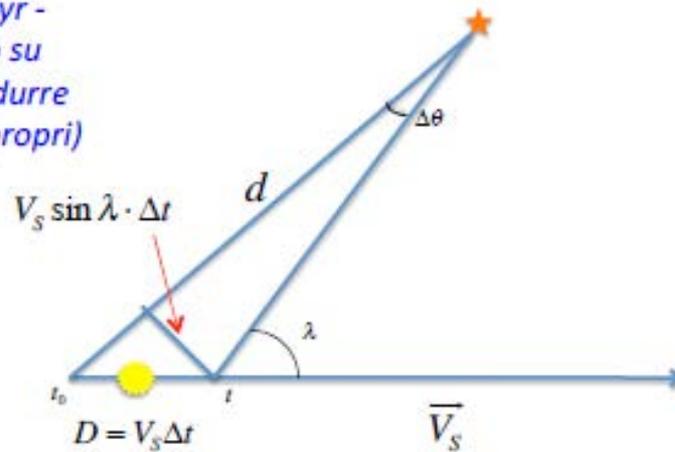
Metodo Diretto: Parallasse secolare

Si parla di parallasse secolare quando si misura l'angolo parallattico di una stella utilizzando come base un tratto (di solito corrispondente a un anno) del moto proprio del Sole nella Galassia e non più l'orbita terrestre.

Utilizza il fatto che il Sole si muove (con una velocità di $\approx 4.1 \text{ UA/a} \approx 19 \text{ km/s}$).

Si misurano le velocità angolari in arcs/a (mediando su molte stelle per ridurre l'effetto dei moti propri). Più la base è grande, più si è in grado di riconoscere gli angoli parallattici formati da oggetti sempre più lontani

*Si misurano le velocità
angolari – arcsec/yr -
(meglio mediando su
molte stelle per ridurre
l'effetto dei moti propri)*



$$\Delta\theta = \frac{V_s \sin \lambda \Delta t}{d} \Rightarrow \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{V_s \sin \lambda}{d} \Rightarrow d = \frac{V_s \sin \lambda}{\dot{\theta}}$$

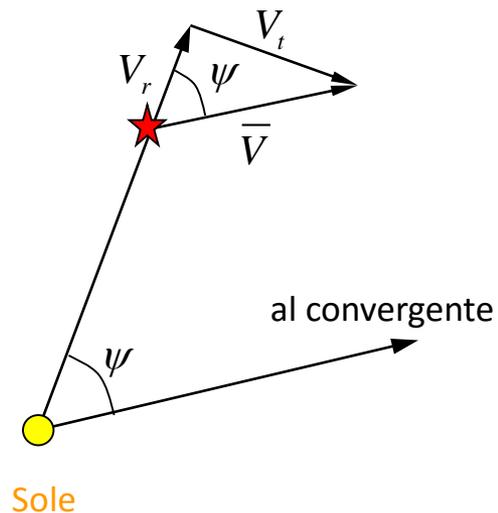
Le distanze in Astrofisica

Metodo Diretto: Parallasse secolare

Le stelle vicine hanno anche un loro moto proprio, che si manifesta con uno spostamento progressivo rispetto ad un sistema fisso o rispetto a corpi celesti molto lontani, supposti fissi sulla sfera celeste. Il riconoscimento di stelle dotate di un moto proprio osservabile avviene mediante la sovrapposizione di immagini di campi stellari prese ad una adeguata distanza di tempo. Il moto proprio di una stella essendo inversamente proporzionale alla distanza, può essere utilizzato per stimare la distanza di stelle per cui il raggio dell'orbita terrestre è troppo piccolo come linea di base per misurare la parallasse trigonometrica. Ciò presuppone la conoscenza a priori della velocità relativa V della stella rispetto al Sole (V_t è la velocità nella direzione perpendicolare alla linea di vista).

Se si fa l'ipotesi che V sia la stessa per tutte le stelle vicine, e quindi uguale, a meno del segno, alla velocità del Sole, si ottiene:

$$d(pc) = \frac{V_r \tan \psi}{4.74} \frac{1}{\mu(arc\ sec/a)}$$



Le distanze in Astrofisica

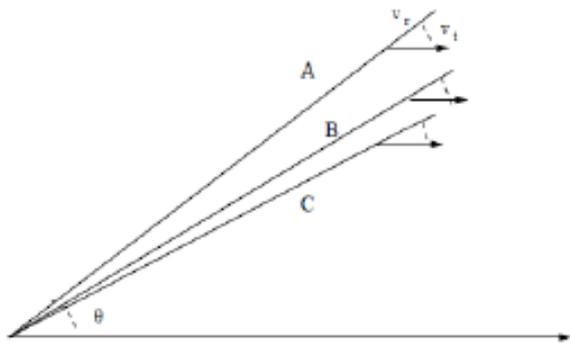
Metodo Diretto: Parallasse di gruppo (o di ammasso)

Se le stelle fanno parte di una associazione fisica, come nel caso di un ammasso stellare, si può fare l'ipotesi che abbiano tutte la stessa velocità rispetto al Sole; essa può essere scomposta in una componente radiale V_r osservabile mediante l'effetto Doppler ed in una trasversale legata al moto proprio; si potrà definire allora la **parallasse di gruppo**.

La velocità può essere scomposta in una componente radiale V_r osservabile mediante l'effetto Doppler ed in una trasversale legata al moto proprio; si potrà definire allora la parallasse di gruppo:

$$d(pc) = \frac{V_r \tan \theta}{4.74} \frac{1}{\mu(arc\ sec/a)}$$

dove θ è la distanza angolare di una data stella rispetto al punto di convergenza del moto del gruppo.

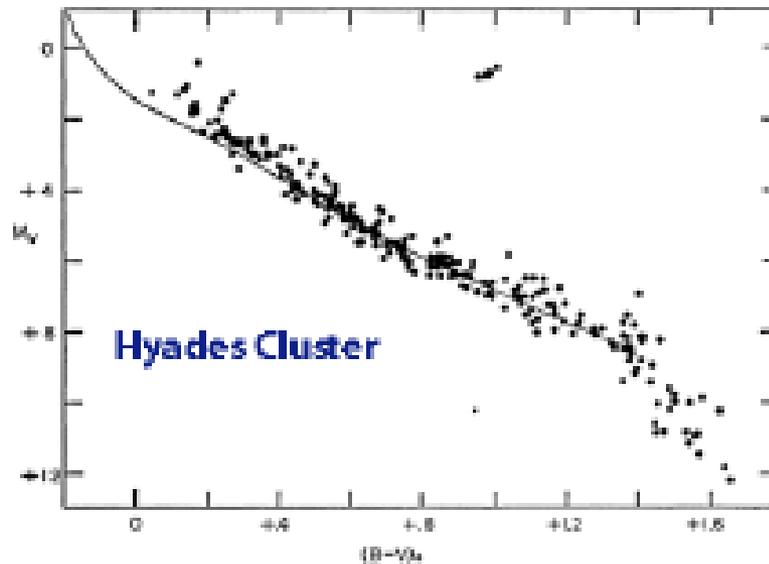


A,B,C appartengono allo stesso gruppo fisico e si muovono con velocità V scomponibile in una componente radiale V_r ed in una tangenziale V_t proporzionale al moto proprio.

Le distanze in Astrofisica

Metodo Diretto: Parallasse di gruppo (o di ammasso)

Storicamente ha permesso la calibrazione di una sequenza principale standard (ammasso delle Iadi)



Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Fit di Sequenza principale

All'inizio del 1900 Enjar Hertzsprung e Henry Russel danno origine alla ricerca di una correlazione tra Temperatura (tipo spettrale) e Luminosità delle stelle.

Essi trovano che:

- Le stelle si distribuiscono preferenzialmente in alcune zone!
- La maggior parte delle stelle con una data temperatura ha la stessa luminosità "Sequenza principale" ("**Main Sequence**", MS)



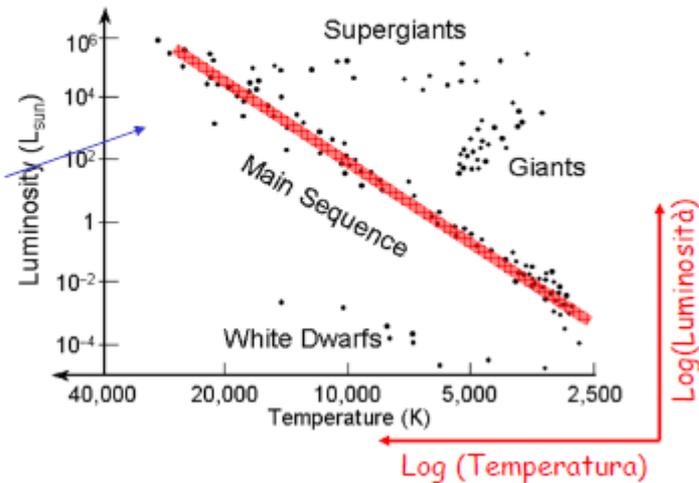
Ejnar Hertzsprung (DK)



Henry Russel (USA)

Le stelle della
"Sequenza
Principale",
per una certa T,
hanno (circa)
la stessa luminosità
e le stesse
dimensioni

Diagramma HR



Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Fit di Sequenza principale

L'approssimazione di corpo nero vale (al 1° ordine per tutte le stelle) quindi da:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_e^4 \Rightarrow R = \sqrt{\frac{L}{4\pi\sigma T_e^4}}$$

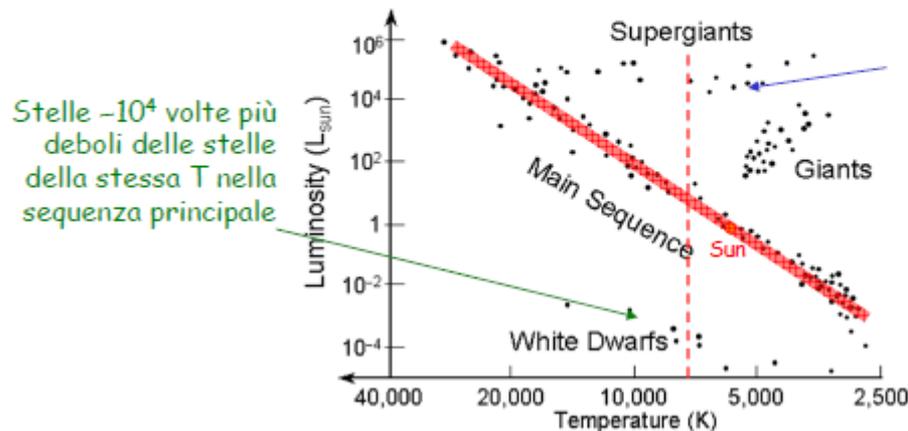
Fissati L e T risulta determinato anche R

Stelle della stessa T, con luminosità molto diverse dalla MS:

- Quelle più luminose hanno R maggiore (“**Giganti**”, “**Supergiganti**”)
- Quelle più deboli hanno R minore (“**Nane Bianche**”)

Diagramma HR

Non tutte le stelle sono sulla sequenza principale



Stelle $\sim 10^4$ volte più deboli delle stelle della stessa T nella sequenza principale

Stelle $\sim 10^4 - 10^6$ volte più luminose delle stelle della stessa T nella sequenza principale

Relazione empirica per la MS:

$$\frac{L}{L_{\odot}} \approx \left(\frac{T}{T_{\odot}} \right)^{\alpha}$$

$$\alpha \approx 7$$

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Fit di Sequenza principale

Esempio:

Stimare il raggio di una stella di tipo A5V : $T=8100\text{K}$; $L=20L_{\odot}$:

$$R = \sqrt{\frac{L}{4\pi\sigma T_e^4}} \Rightarrow \frac{R}{R_{\odot}} = \sqrt{\frac{L}{L_{\odot}} \left(\frac{T_e}{T_{e\odot}}\right)^{-2}} = \sqrt{20} \left(\frac{8100}{5800}\right)^{-2} \cong 2.3$$

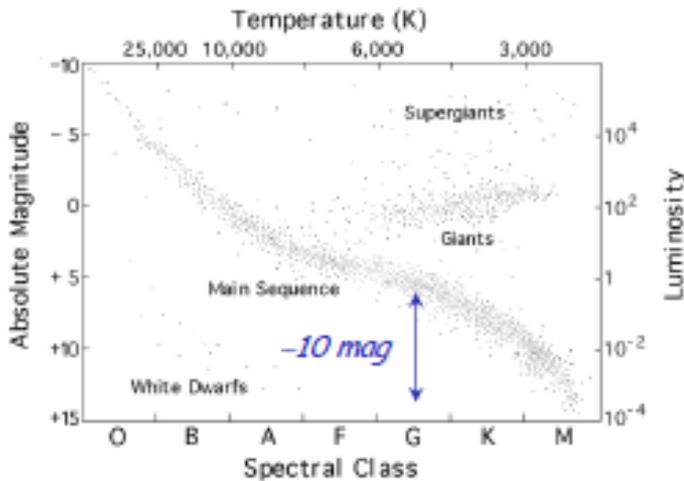
Esempio:

Dimensioni approssimative di una nana bianca di tipo G:

$$\frac{L_{WD}}{L_{\odot}} = 10^{(M_{\odot} - M_{WD})/2.5} = 10^{-10/5.5} = 10^{-4}$$

Quindi:

$$\frac{R_{WD}}{R_{\odot}} = \sqrt{\frac{L_{WD}}{L_{\odot}}} = 10^{-5} \Rightarrow R_{WD} = 7000\text{km} \cong R_{\oplus}$$



Caratteristiche delle stelle

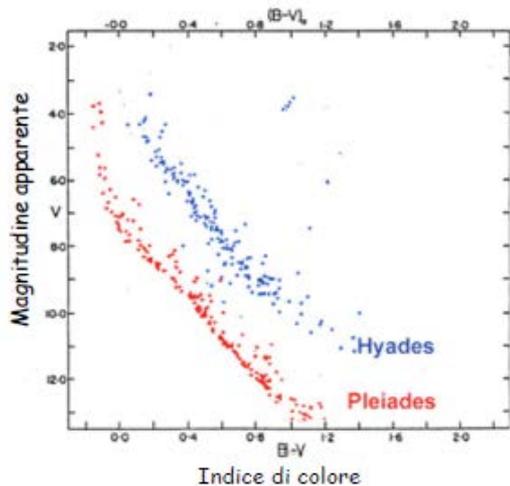
Sequenza principale

Tipo spettrale	M_V	B-V	M_{Bol}	T(K)	L/L_S	M/M_S	R/R_S
O5	-6	-0.45	-10.6	35,000	3.2×10^5	39.8	17.8
B0	-3.7	-0.31	-6.7	21,000	1.3×10^4	17.0	7.6
B5	-0.9	-0.17	-2.5	13,500	6.3×10^2	7.1	4.0
A0	+0.7	0.0	0.0	9,700	7.9×10^1	3.6	2.6
A5	+2.0	+0.16	+1.7	8,100	2.0×10^1	2.2	1.8
F0	+2.8	+0.30	+2.7	7,200	6.3	1.8	1.4
F5	+3.8	+0.45	+3.8	6,500	2.5	1.4	1.2
G0	+4.6	+0.57	+4.6	6,000	1.3	1.1	1.05
G5	+5.2	+0.70	+5.1	5,400	7.9×10^{-1}	0.9	0.93
K0	+6.0	+0.94	+5.8	4,700	4.0×10^{-1}	0.8	0.85
K5	+7.4	+1.11	+6.8	4,000	1.6×10^{-1}	0.7	0.74
M0	+8.9	+1.39	+7.6	3,300	6.3×10^{-2}	0.5	0.63
M5	+12.0	+1.61	+9.8	2,600	7.9×10^{-3}	0.2	0.32

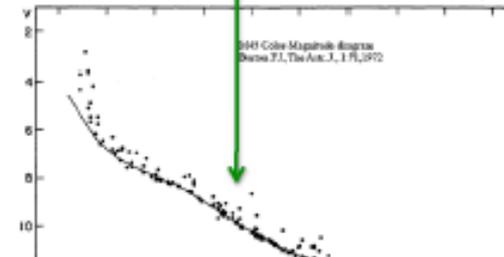
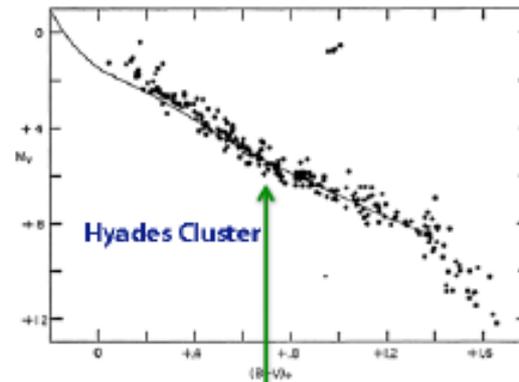
Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Fit di Sequenza principale

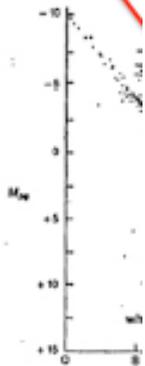
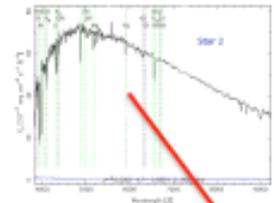
Per stimare la distanza di ammassi stellari più lontani delle Iadi, si usa il metodo del **fit della sequenza principale**: Utilizzando il colore per stimare la temperatura, e la magnitudine apparente come misura della luminosità, in ogni ammasso stellare si può facilmente riconoscere la sequenza principale. Riscaldando in verticale la sequenza principale, in modo da riprodurre quella dell'ammasso delle Iadi (la cui distanza è nota), si otterrà quindi la distanza dell'ammasso stellare.



$D = 46\text{pc}$
 $D = 135\text{pc}$



$$m - M = 5 \log d - 5$$

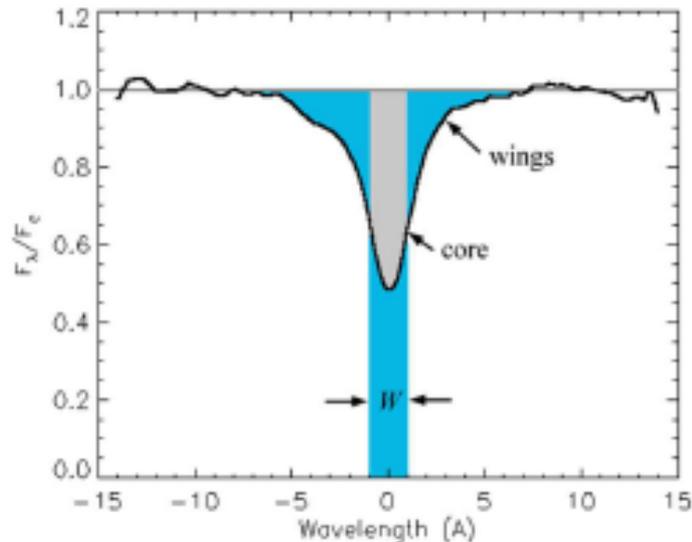


Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Parallassi spettroscopiche

Un'altra importante utilizzazione del diagramma HR è rappresentata dalla possibilità di ricavare attraverso l'analisi spettroscopica la distanza di stelle troppo lontane per permetterne una misura della parallasse trigonometrica.

In particolare, l'aspetto di alcune righe è sensibile all'effetto di temperatura o a quello di gravità. La conoscenza di questi due parametri permette di **localizzare una stella sul diagramma HR** e quindi di ricavarne la magnitudine assoluta; dalla differenza tra questa e la magnitudine apparente si ricava il valore della distanza.



Allargamento per pressione (collisione):

$$\Gamma = \gamma + 2\nu_{\text{collision}} \quad \phi(\nu) = \frac{\Gamma / 4\pi^2}{(\nu - \nu_0)^2 + (\Gamma / 4\pi)^2}$$

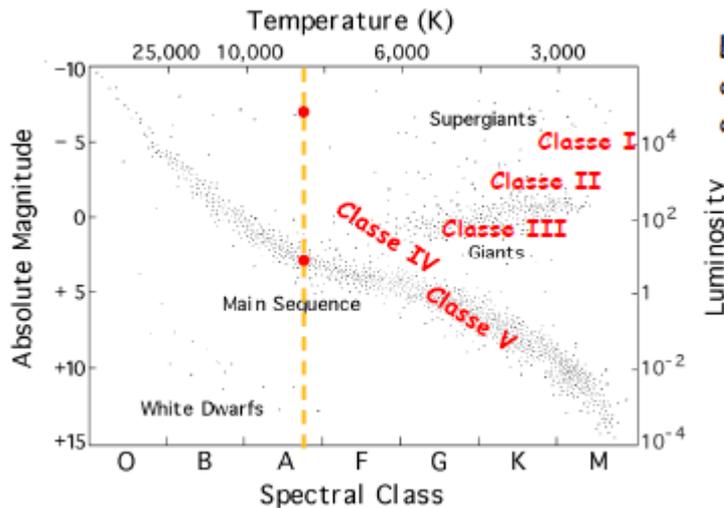
Pressione \propto rate di collisione
 \propto allargamento righe

La pressione negli strati esterni delle stelle produce allargamento delle righe di assorbimento.

Le distanze in Astrofisica

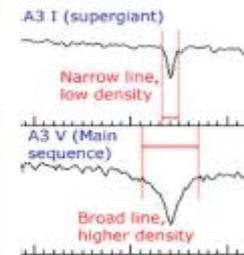
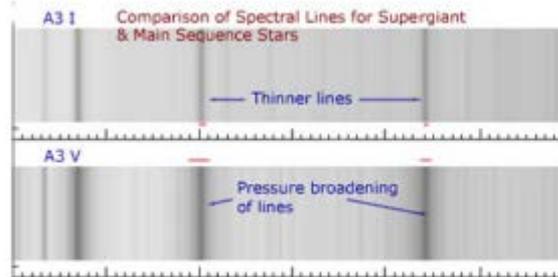
Metodo indiretto: Parallassi spettroscopiche

Tale metodo della determinazione delle distanze stellari trova larga applicazione: la misura che così si ottiene prende il nome di parallasse spettroscopica. Anche per le stelle isolate è quindi possibile stimare la distanza, se sappiamo che queste sono di sequenza principale. Gli errori sono al max del 60% nelle stime della distanza). Tale metodo è utile per avere almeno un'idea della distanza di stelle che non appartengono ad ammassi



Giganti: grandi dimensioni
Bassa pressione superficiale
Righe sottili

MS: piccole dimensioni
Alta pressione superficiale
Righe allargate



Le distanze in Astrofisica

Parallasse spettroscopica



Limite: misurabilità dello spettro della singola stella, sufficiente per determinare con precisione il tipo spettrale: $\max d \sim 10 \text{ kpc}$

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Parallassi spettroscopiche

Esempio.

Una stella di tipo B0 e osservata con magnitudine apparente $m = 8$.

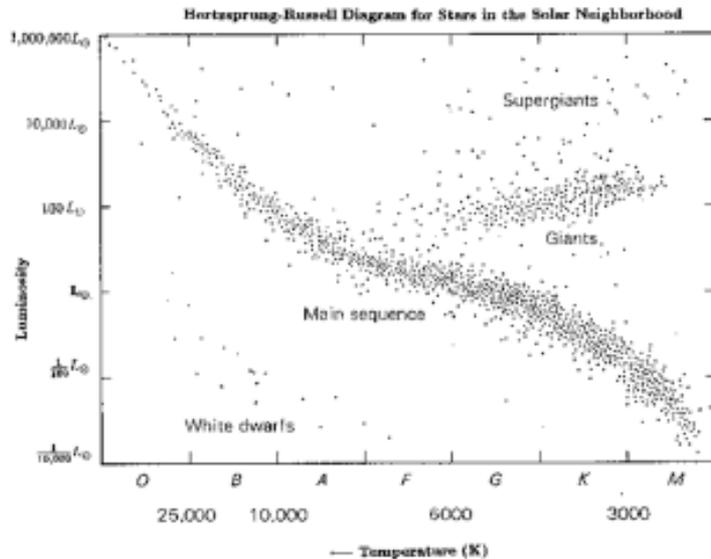
La larghezza delle righe esclude che si tratti di una nana bianca.

A che distanza si trova?

Bisogna far uso della relazione:

$$m - M = 5 \log_{10} (d / 10 \text{ pc})$$

Dal diagramma HR si nota che il tipo spettrale B0 ha una $L = 10^4 L_{\odot}$



Quindi la magnitudine assoluta M sarà:

$$M - M_{\odot} = -2.5 \log_{10} \frac{L}{L_{\odot}} \Rightarrow M = 5 - 2.5 \log_{10} (10^4) = -5$$

Pertanto la distanza sarà:

$$m - M = 8 - (-5) = 13 \Rightarrow 5 \log_{10} \left(\frac{d}{10 \text{ pc}} \right) = 13 \Rightarrow d \cong 4 \text{ kpc}$$

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi

Alcune stelle hanno l'involuppo esterno instabile, e di conseguenza **pulsano** in modo molto regolare.

Tra queste stelle variabili troviamo le cosiddette **RR-Lyrae** e le **Cefeidi**.

Queste sono note per mostrare una stretta correlazione tra il periodo di pulsazione e la luminosità; questa relazione permette di utilizzarle come indicatori di distanza.

Le Cefeidi in particolare sono molto importanti perché, essendo molto luminose, sono osservabili nelle galassie più vicine (distanze dell'ordine dell'ammasso della Vergine $d \approx 18 \times 10^6 \text{ pc} = 60 \times 10^6 \text{ al}$). Sono quindi il principale scalino di congiunzione tra le distanze galattiche e quelle extragalattiche.

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi



Henrietta Swan Leavitt

Stabilisce una relazione periodo magnitudine per circa 1800 variabili cefeidi. Di queste 25 erano Cefeidi della Piccola Nube di Magellano (SMC). H. Leavitt tabulò le Cefeidi della SMC in ordine di periodo crescente.

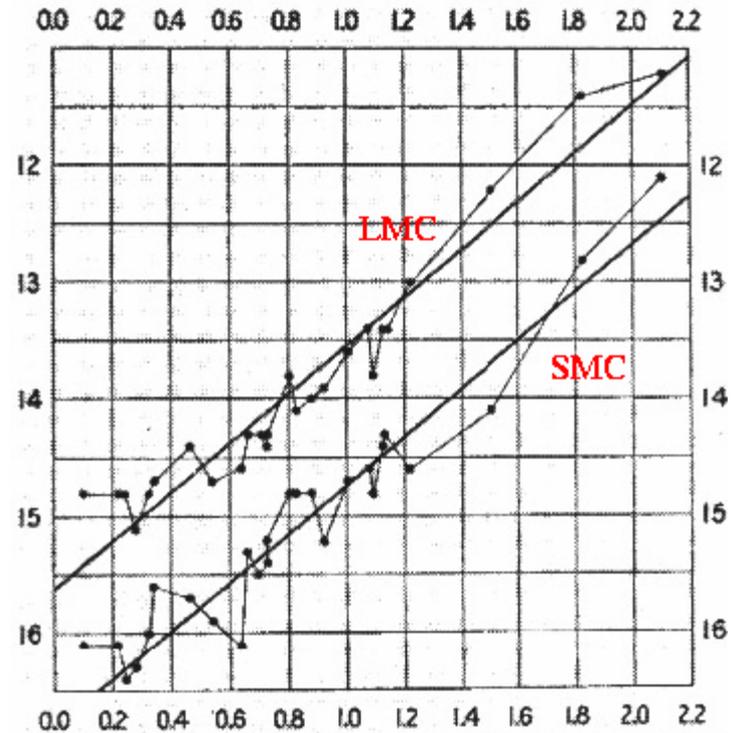
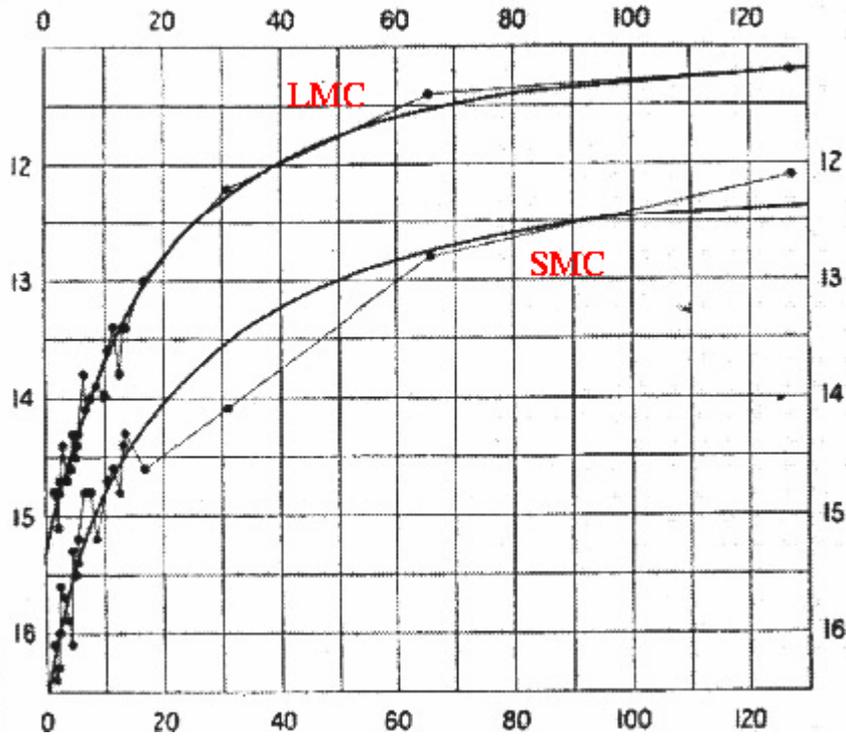
TABLE I. PERIODS OF VARIABLE STARS IN THE SMALL MAGELLANIC CLOUD.

mag							period						
H.	Max.	Min.	Epoch.	Period.	Res. M.	Res. m.	H.	Max.	Min.	Epoch.	Period.	Res. M.	Res. m.
1505	14.8	16.1	0.02	1.25336	-0.6	-0.5	1400	14.1	14.8	4.0	6.650	+0.2	-0.3
1436	14.8	16.4	0.02	1.6037	-0.3	+0.1	1355	14.0	14.8	4.8	7.483	+0.2	-0.2
1446	14.8	16.4	1.38	1.7620	-0.3	+0.1	1374	13.9	15.2	6.0	8.397	+0.2	-0.3
1506	15.1	16.3	1.08	1.87502	+0.1	+0.1	818	13.6	14.7	4.0	10.336	0.0	0.0
1413	14.7	15.6	0.35	2.17352	-0.2	-0.5	1610	13.4	14.6	11.0	11.645	0.0	0.0
1460	14.4	15.7	0.00	2.913	-0.3	-0.1	1365	13.8	14.8	9.6	12.417	+0.4	+0.2
1422	14.7	15.9	0.6	3.501	+0.2	+0.2	1351	13.4	14.4	4.0	13.08	+0.1	-0.1
842	14.6	16.1	2.61	4.2897	+0.3	+0.6	827	13.4	14.3	11.6	13.47	+0.1	-0.2
1425	14.3	15.3	2.8	4.547	0.0	-0.1	822	13.6	14.6	13.0	16.75	-0.1	+0.3
1742	14.3	15.5	0.95	4.9866	+0.1	+0.2	823	12.2	14.1	2.9	31.94	-0.3	+0.4
1646	14.4	15.4	4.30	5.311	+0.3	+0.1	824	11.4	12.8	4.	65.8	-0.4	-0.2
1649	14.3	15.2	5.05	5.323	+0.2	-0.1	821	11.2	12.1	97.	127.0	-0.1	-0.4
1492	13.8	14.8	0.6	6.2926	-0.2	-0.4							

Erano ordinate anche in magnitudine decrescente! Cefeidi in SMC: praticamente tutte alla stessa distanza. **Le Cefeidi più brillanti hanno periodo più lungo.**

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi



“The two resulting curves, one for maxima and one for minima, are surprisingly smooth, and of remarkable form. In Figure 2 ... a straight line can readily be drawn among each of the two series of points corresponding to maxima and minima, thus showing that there is a simple relation between the brightness of the variables and their periods ... Since the variables are probably at nearly the same distance from the Earth, their periods are apparently associated with their actual emission of light, as determined by their mass, density, and surface brightness.”



Henrietta Swan Leavitt

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi

Hertzsprung riesce a calibrare la scala mediante misure di parallasse secolare.

La relazione periodo-luminosità

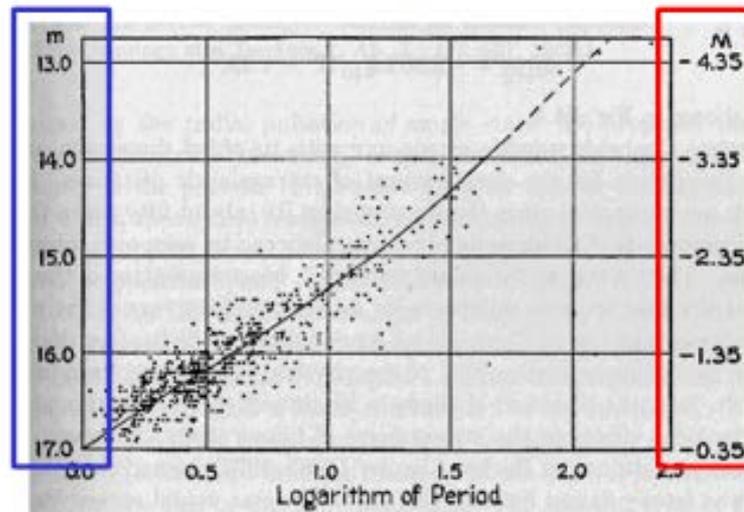
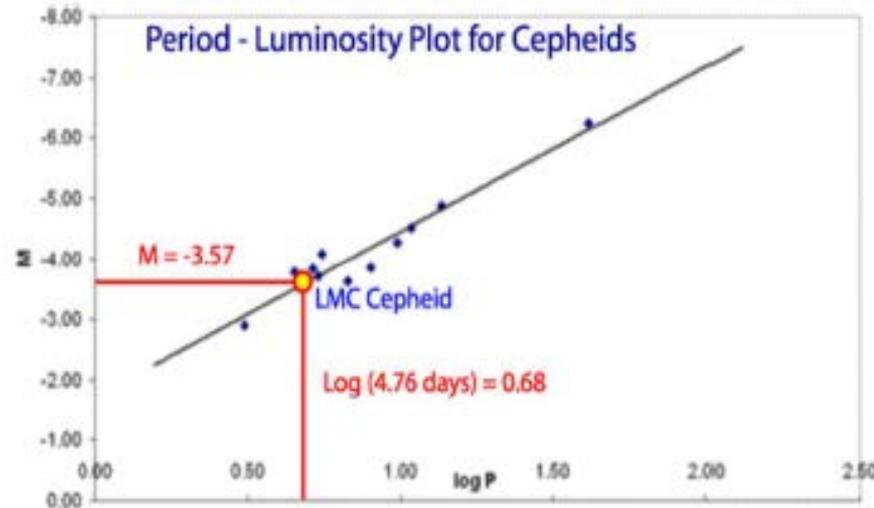


Diagramma calibrato (Mag assoluta) Nubi di Magellano (grande campione di stelle):
distanza nota con Parallasse Spettroscopica

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi

Esempio: Misuro il periodo di una cefeide $P = 4.76$



La relazione Periodo – Magnitudine assoluta è:

$$M_V = -\left[2.76(\log_{10} P - 1.0)\right] - 4.16$$

$P \equiv$ misurato in giorni.

Ovviamente vi sono errori sistematici e la minimizzazione di essi implica la necessità di una buona statistica, buona qualità delle misure astrometriche (Hipparcos e Gaia) e misura della distanza di SMC ed LMC con metodi indipendenti.

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi

Naturalmente bisognerà che:

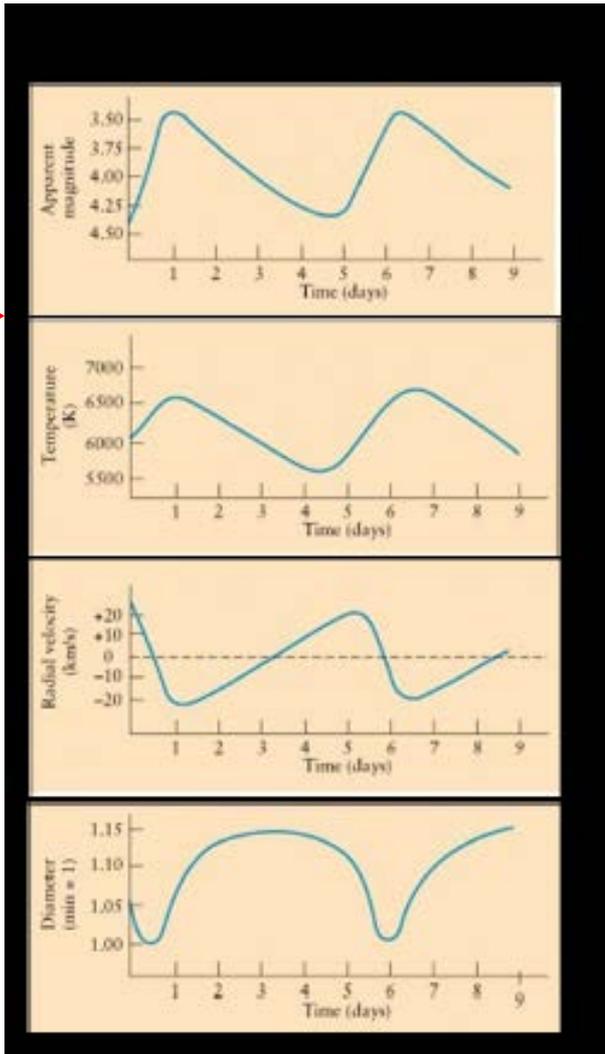
1. la luminosità assoluta sia grande in modo che m resti misurabile a grandi distanze,
2. la magnitudine apparente m sia opportunamente corretta per assorbimento e per eventuali spostamenti intrinseci (termine K) o strumentali della banda d'osservazione,
3. si tenga conto dell'eventuale evoluzione temporale di m , visto che sorgenti a distanze diverse sono osservate a tempi diversi,
4. si tenga presente la eventuale non euclidicità dello spazio.

$$m_{\lambda} - M_{\lambda} = 5 \log d - 5 + A_{\lambda} + K_{\lambda} + \text{evol.}(\lambda)$$

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi

Cefeidi



$$L = 1.2 \times 10^3 L_{\text{Sun}}$$

$$M = 4 M_{\text{Sun}}$$

$$P = 4.2 \text{ days}$$

$$R = 35.7 R_{\text{Sun}}$$

$$\Delta R = 11\% \text{ (amplified)}$$

Variation of Luminosity (R, T)

[~1 mag, fattore 2.5]

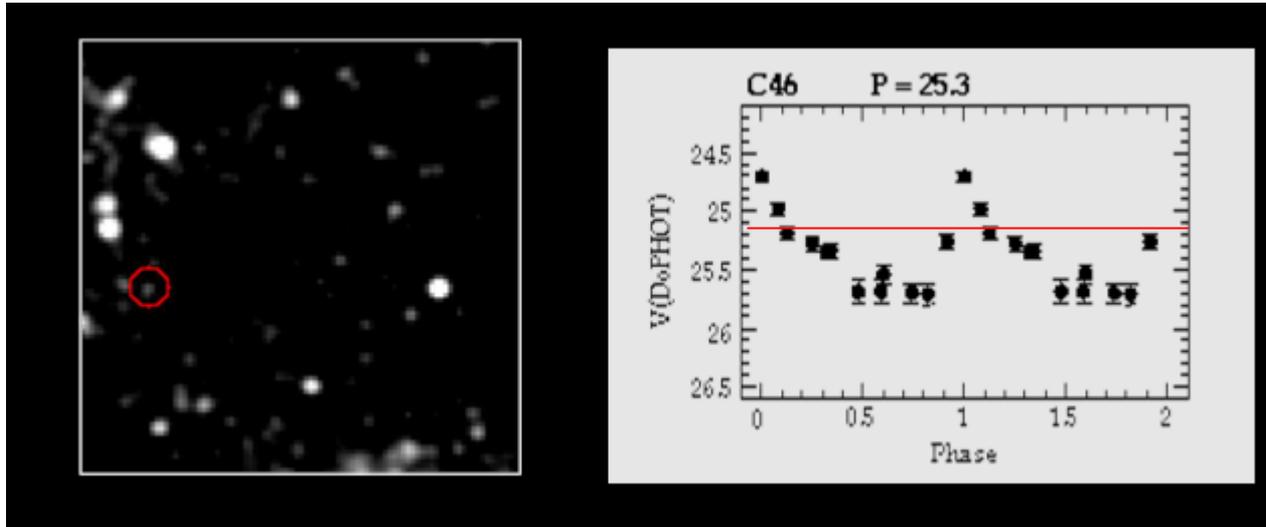
Variation of Temperature (higher towards white)

[T = 4250 to 5380 K]

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi

Esempio



$$M_V = -\left[2.76(\log_{10} P - 1.0)\right] - 4.16$$

$$P = 25.3 \text{ giorni} \Rightarrow M = -5.27; m = 25.4$$

$$M - m = 5 - 5 \log_{10} d_{pc} \Rightarrow d = 10^{1 + \frac{m-M}{5}} \cong 13.8 \times 10^6 pc = 13.8 Mpc$$

Galassia a Spirale M100 (HST key project)
d = 17.12 Mpc

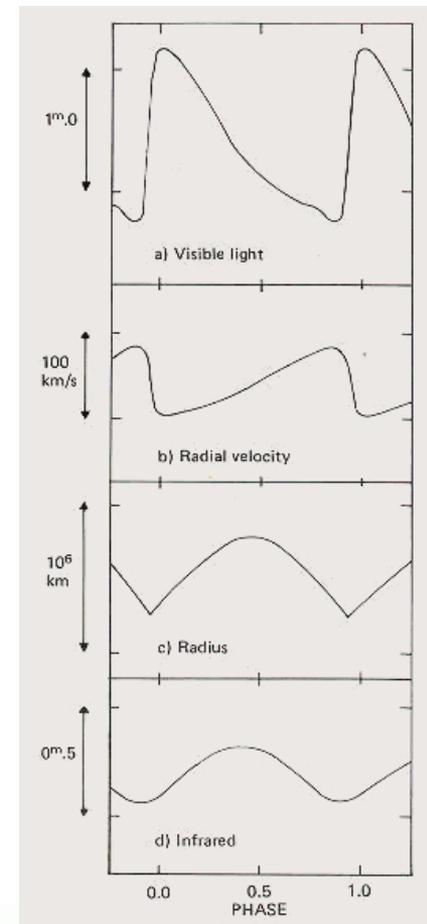
Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi

RR Lyrae Properties

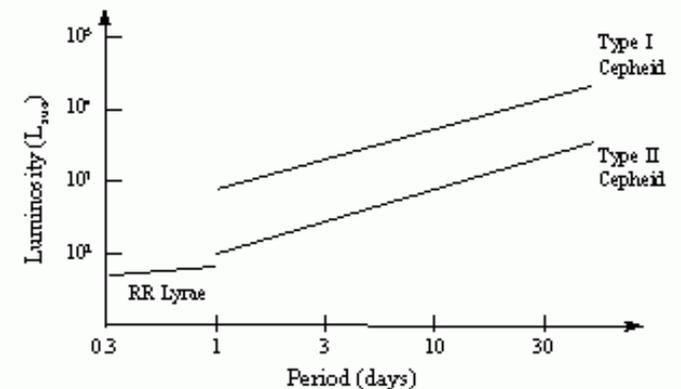


Period	0.2-1.1 days
M_v	0.6 ± 0.2
T_e	7400 K – 6100 K
Log g	2.5-3.0
[Fe/H]	0.0 – -2.5
Mass	~0.7 Solar Masses
Radius	~4-6 Solar Radii



$$D = 10^{\left(\frac{m-M}{5}\right)+1}$$

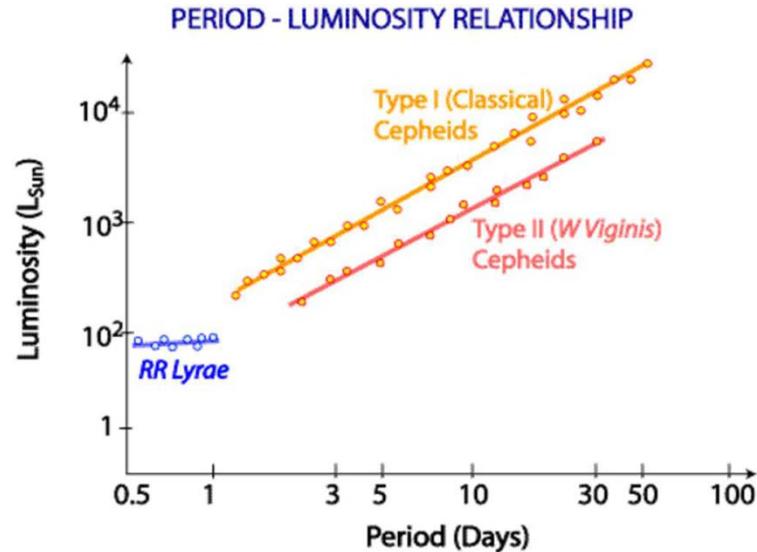
Period-Luminosity Relationship



Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto: Candele standard: Variabili Cefeidi

L'analisi accurata della relazione periodo-luminosità delle Cefeidi mostra la distinzione in diverse classi:



Le Cefeidi si distinguono in 2 categorie:

- I. **Cefeidi Classiche** (δ Cephei) Alta metallicità, nel disco galattico
- II. **W Virginis** Meno luminose (~ 1.5 mag) Più vecchie, nell'alone galattico

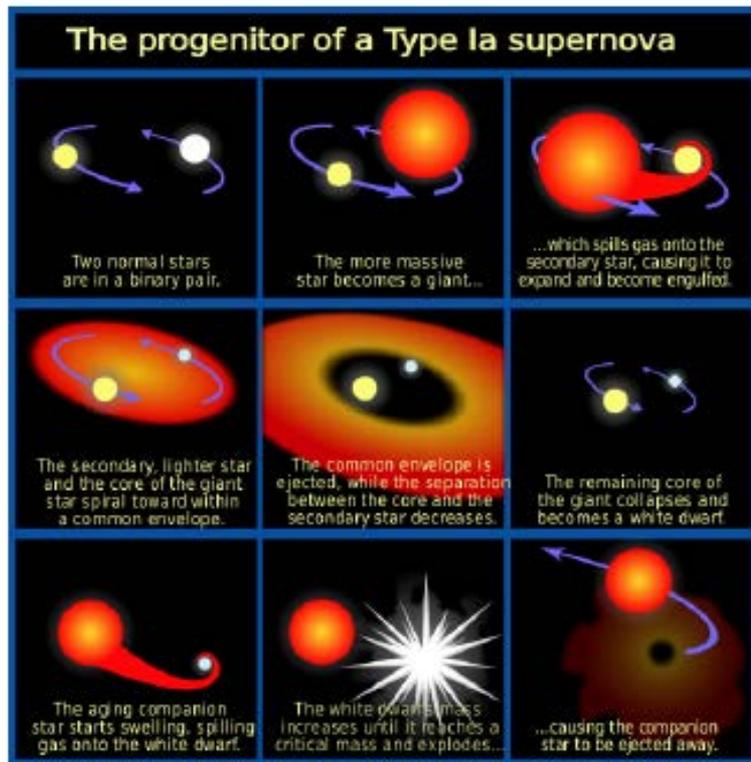
RR Lyrae: in ammassi globulari, $P < 1$ d

Ciascuna classe ha una sua diversa relazione Periodo-Luminosità

Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto -primario: Supernovae di Tipo Ia

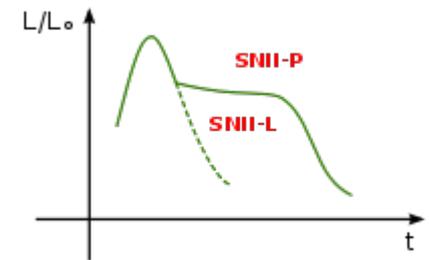
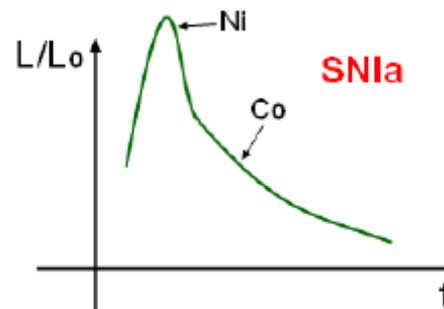
Le cefeidi sono le prime candela utilizzata per determinare le distanze extragalattiche. (Hubble le usa per la prima formulazione della sua legge). Ma per quanto siano luminose (M dell'ordine di -6) oltre una certa distanza occorrono candele più luminose...



Le due stelle sono così vicine che l'involuppo esterno della stella dominante (tipicamente gigante o supergigante) cade nel campo gravitazionale della compagna.

Se la compagna è una **nana bianca**, l'accrescimento di massa può far superare il limite di Chandrasekhar. Il collasso causa bruciamento esplosivo del carbonio nel nucleo degenere.

Esplosione: **Supernova Type Ia**



SN Ia : da sistema binario compatto
SN II : da collasso nucleo stella massiccia → **Distinguibili dallo spettro e dalla curva di luce**

$$M_{\text{vpicco}} \approx -19,3 \Rightarrow d \approx 1000 \text{ Mpc}$$

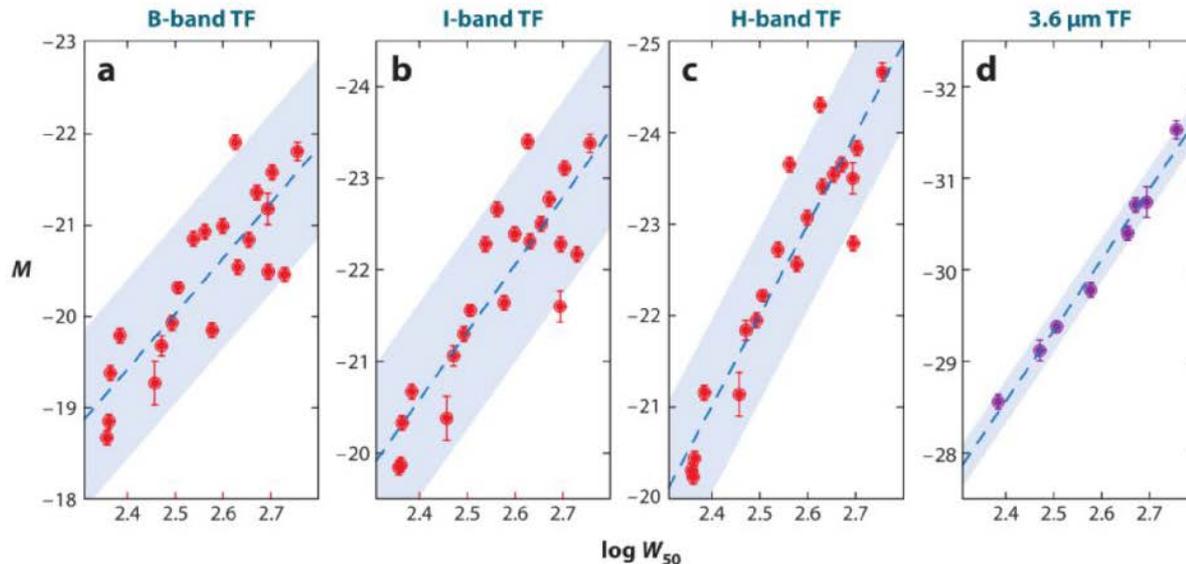
Le distanze in Astrofisica

Metodo indiretto -secondario: metodo di Tully-Fischer (1977)

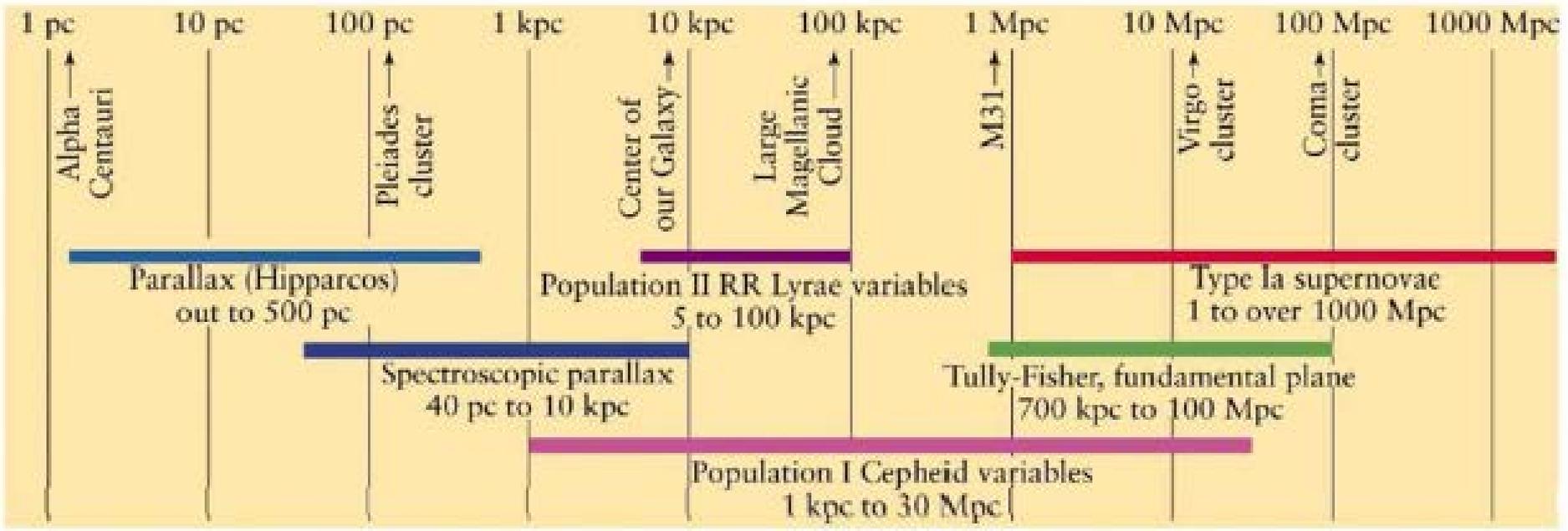
La relazione Tully –Fisher lega la velocità di rotazione delle Galassie a spirale (misurate mediante la riga a 21cm) alla Luminosità.

$$L \propto V^\alpha ; \alpha \cong 4$$

E' un metodo molto utilizzato e potente: recentemente è stato osservato che la dispersione delle misure si riduce molto nell'infrarosso. Tanto che si potrebbe usare la relazione Tully - Fischer per determinare distanze su scale extragalattiche con accuratezza del 5%.



La Scala delle Distanze



Riferimenti

M. Capaccioli **Lezioni di Astrofisica** Università Federico II -Napoli

V. Castellani **Astrofisica Stellare** Zanichelli - Bologna

A. Bersanelli **Lezioni di Astronomia** Università di Milano

A. Marconi **Lezioni di Astrofisica** Università di Firenze

G. Giuliani e I. Bonizzoni **Lineamenti di Elettromagnetismo** – La Goliardica Pavese

F. Selleri **Lezioni di Istituzioni di fisica teorica** Università di Bari