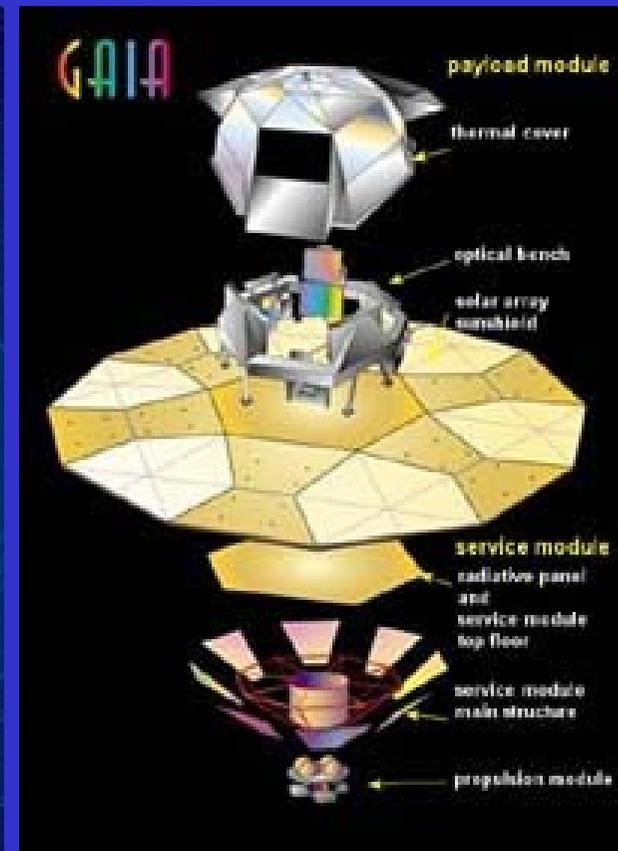
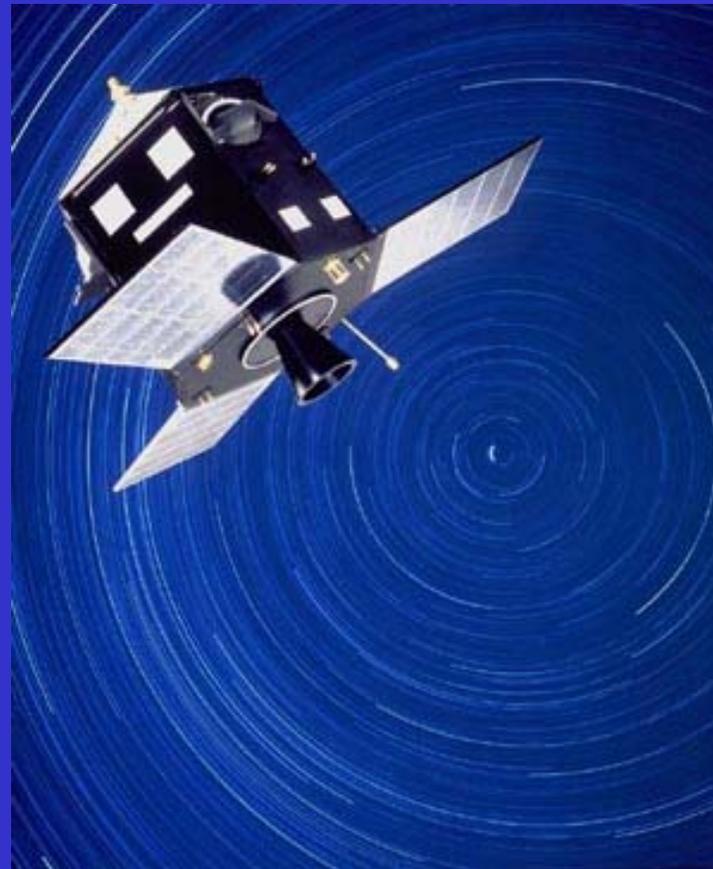
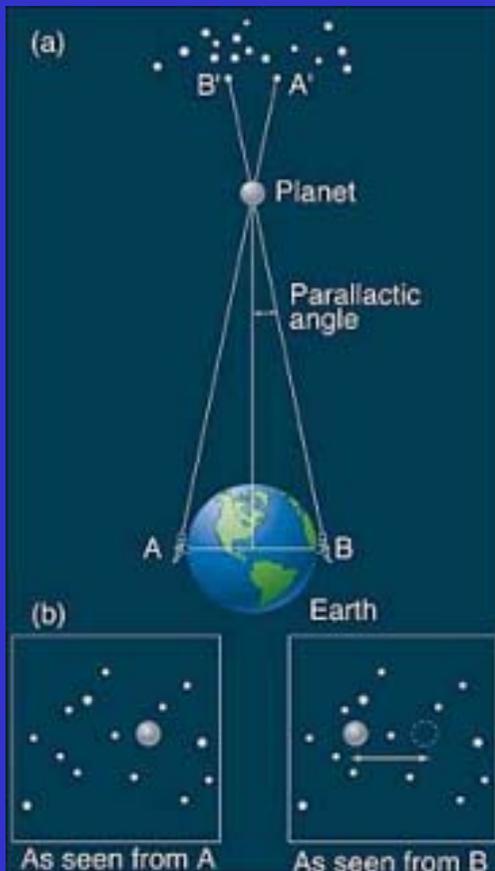
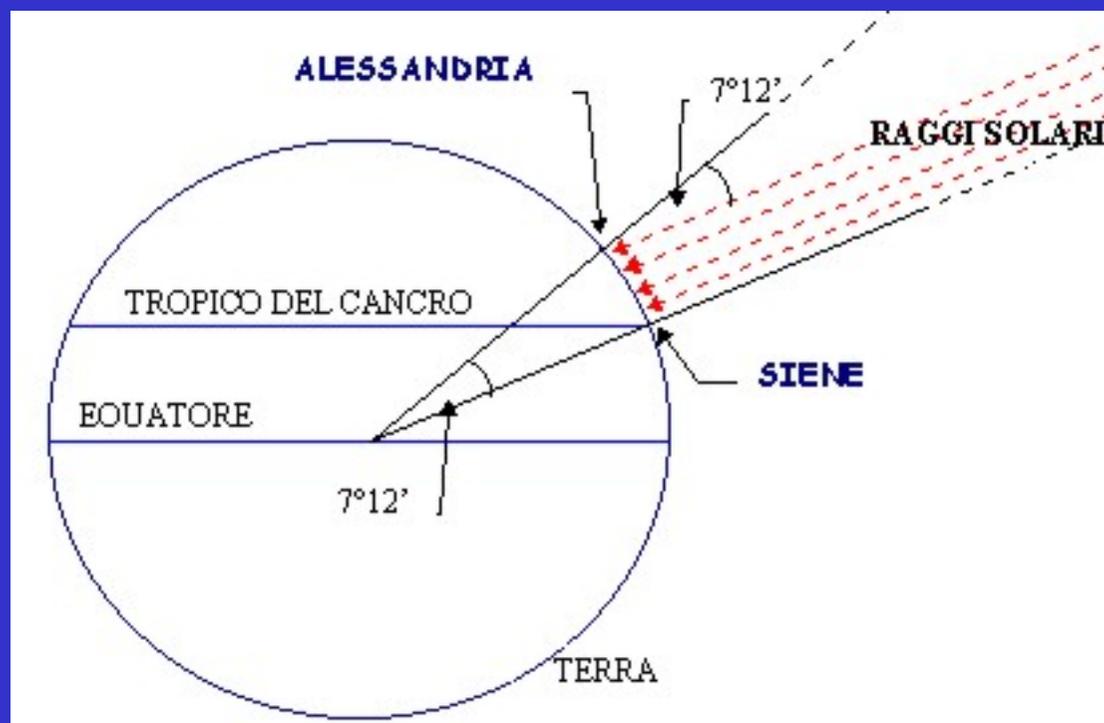


La misura delle distanze stellari



Gisella Clementini
INAF - Osservatorio Astronomico di Bologna

Eratostene di Cirene, 240 a.C. - raggio Terrestre



Ipparco di Nicea, 150 a.C. - distanza Terra-Luna

Giovanni Domenico Cassini 1673 - Parallasse di Marte

Friedrich Bessel 1838 - Parallasse di 61 Cygni

Edwin Hubble 1924 - Cefeidi in M31

Hipparcos 1989-1993- Parallassi di 0,001"

Gaia 2010 - Parallassi di 0,000001"

Distanze tipiche

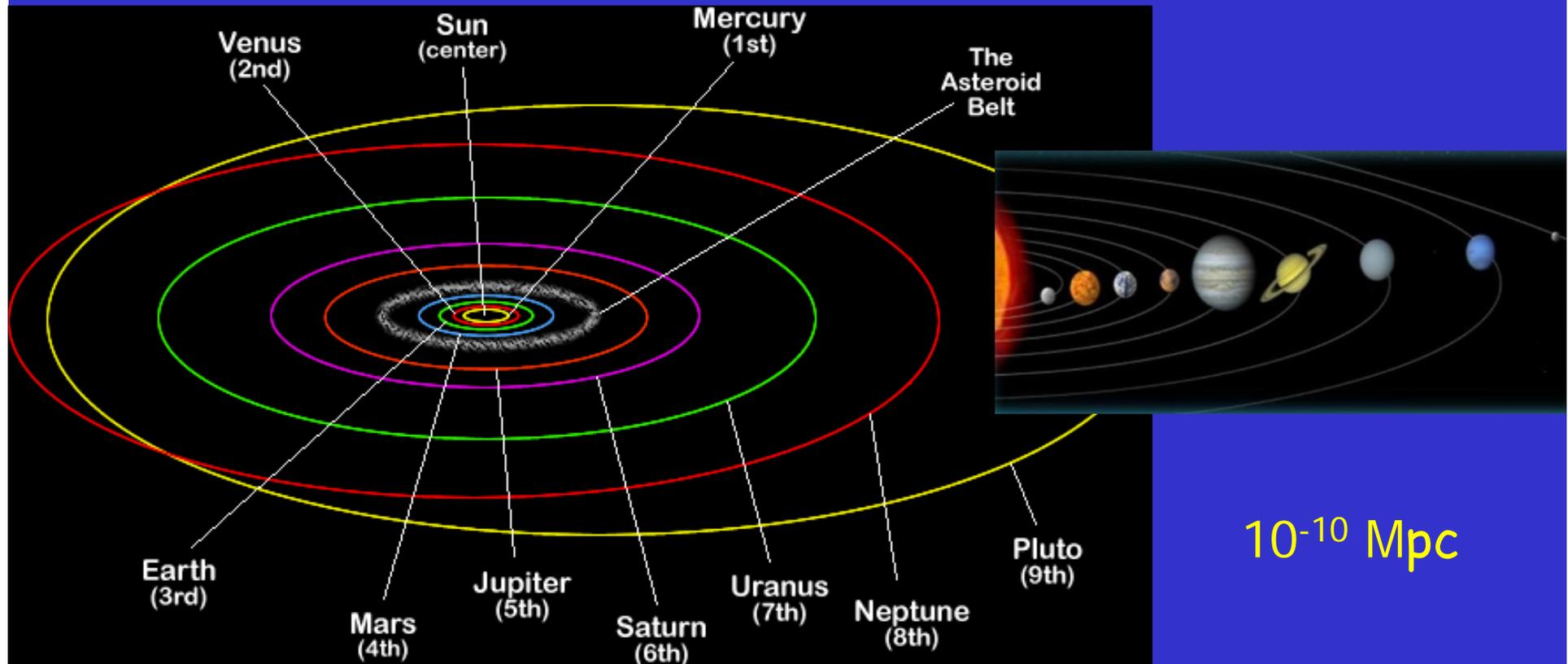
- Il Sistema Solare - 10^{-10} Mpc - 0,0001 pc
- La Galassia - 10^{-2} Mpc - 10.000 pc
- Il Gruppo Locale - 1 Mpc - 1.000.000 pc
- Oltre il Gruppo Locale - $10-10^2$ Mpc - 100.000.000 pc

Il Sistema Solare

Unita' Astronomica = Distanza media Terra-Sole

1 U.A. = 149.600.000 km

Distanza Terra-Plutone = 39,4 U.A.



10^{-10} Mpc

LE STELLE

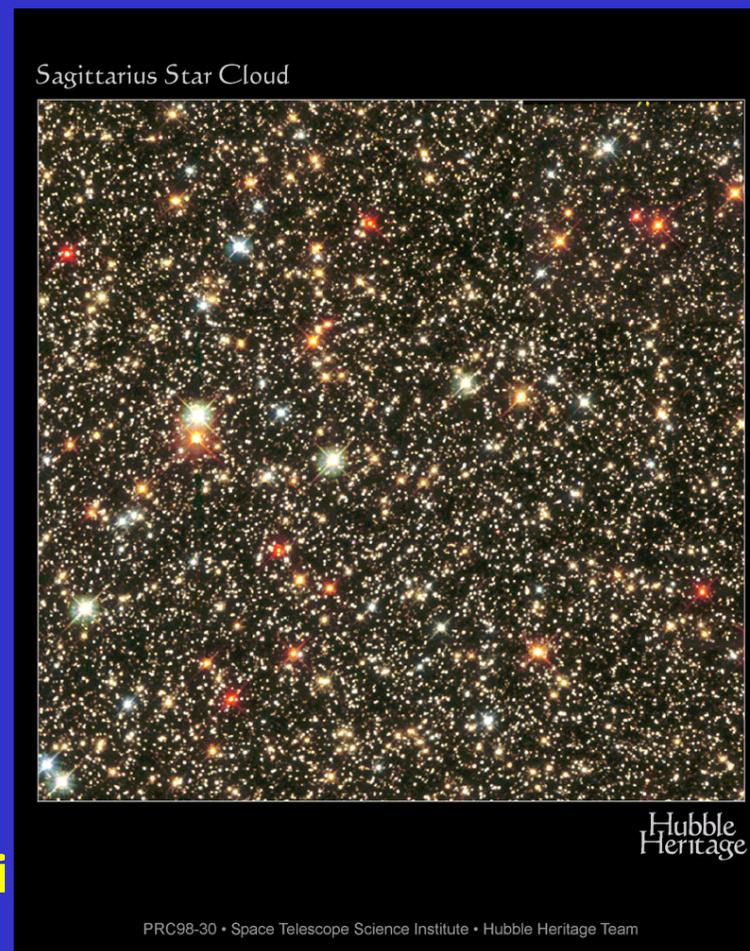
Su tutto il cielo si possono osservare ad occhio nudo circa 6000 stelle.

Le distanze delle stelle si misurano in anni-luce, a.l.

Un anno-luce è la distanza che la luce percorre in un anno.

1 a.l. = 63.240,6 U.A. = 9.500 miliardi di km

La stella più vicina: Centauri è a più di 4 anni-luce di distanza.



Centauri



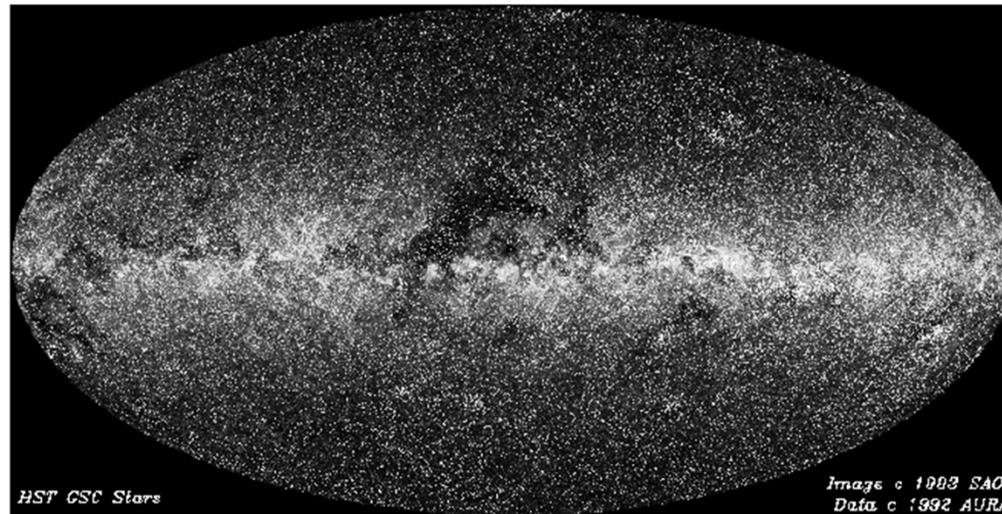
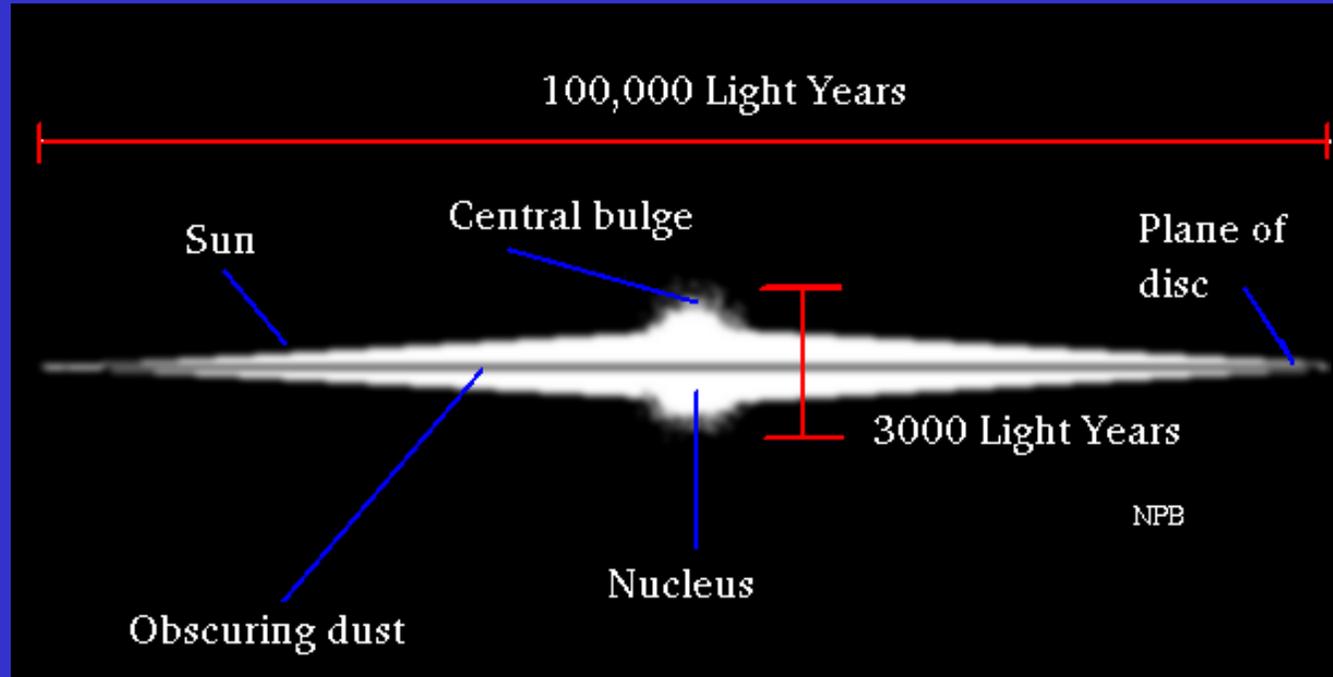
4 anni luce

1999



**Ciampi è il nuovo
Presidente della
Repubblica**

LA NOSTRA GALASSIA

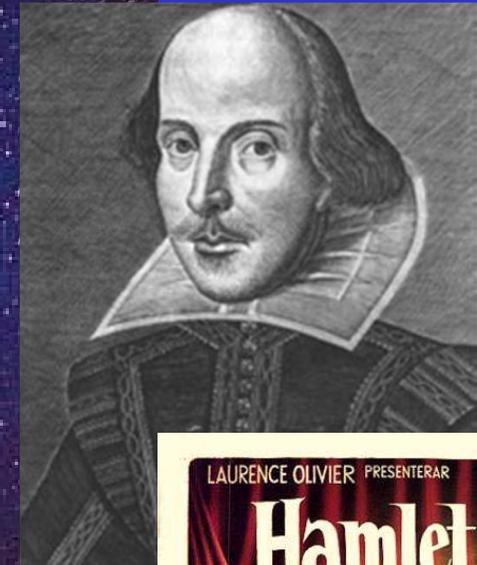


10^{-2} Mpc

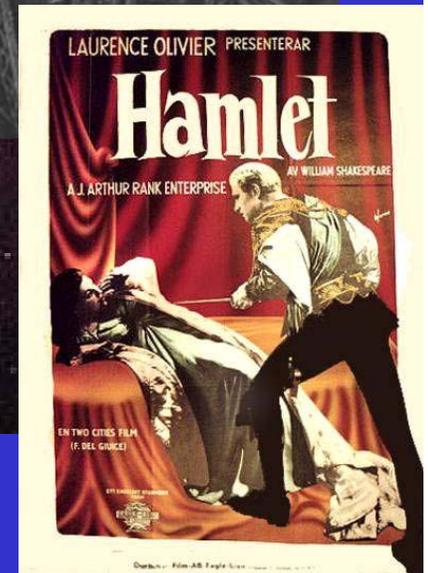
1599 - 1601

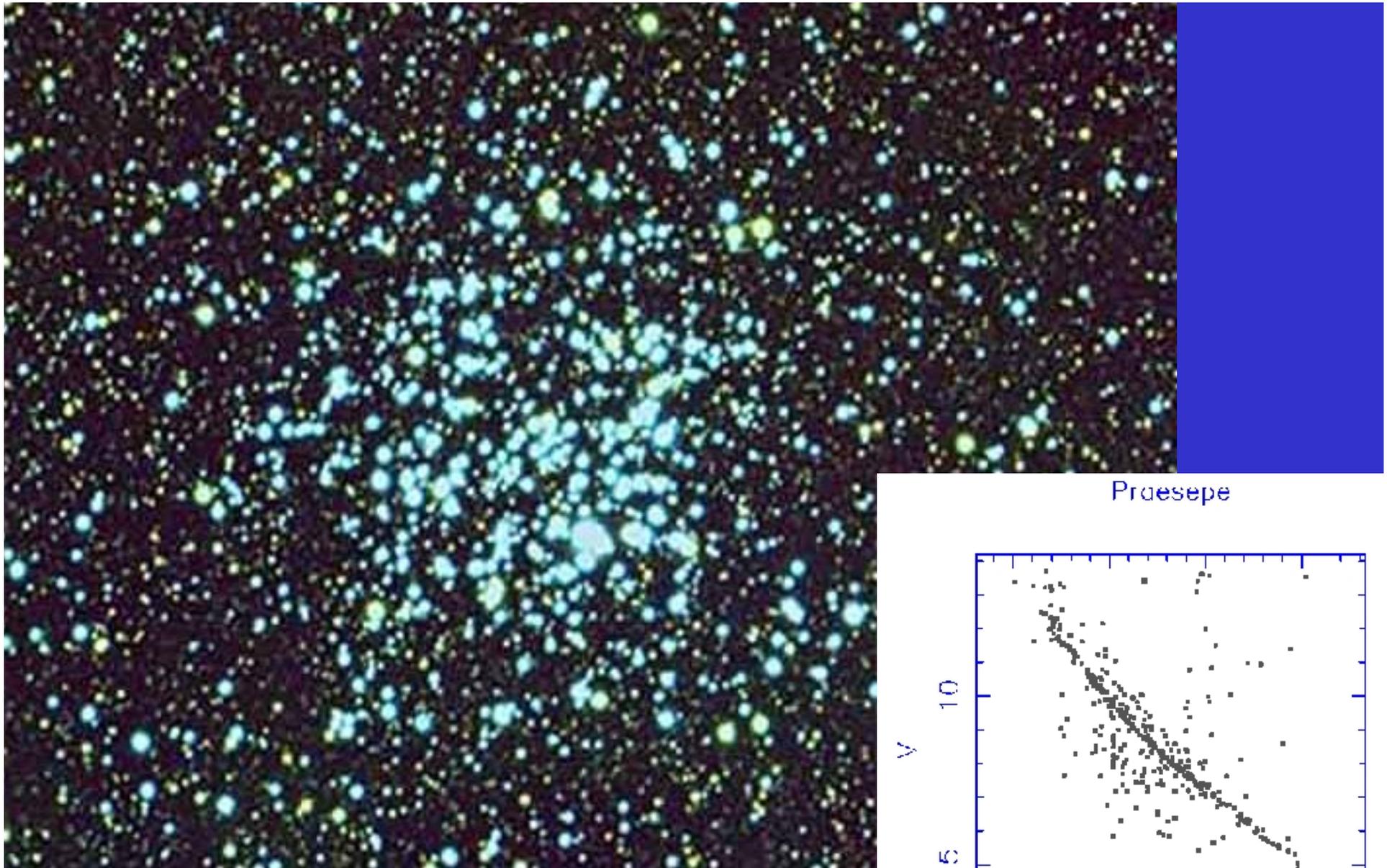
Pleiadi

Shakespeare
scrive
"Amleto"

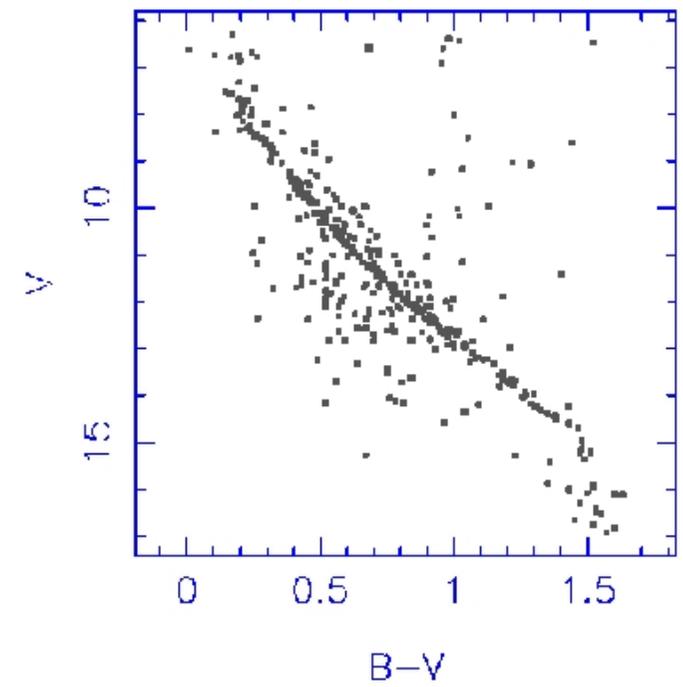


400 anni luce





Praesepe



Ammasso Aperto M11 ~ 3000 a.l.

Crab Nebula

6000 anni luce

4000 a. c.

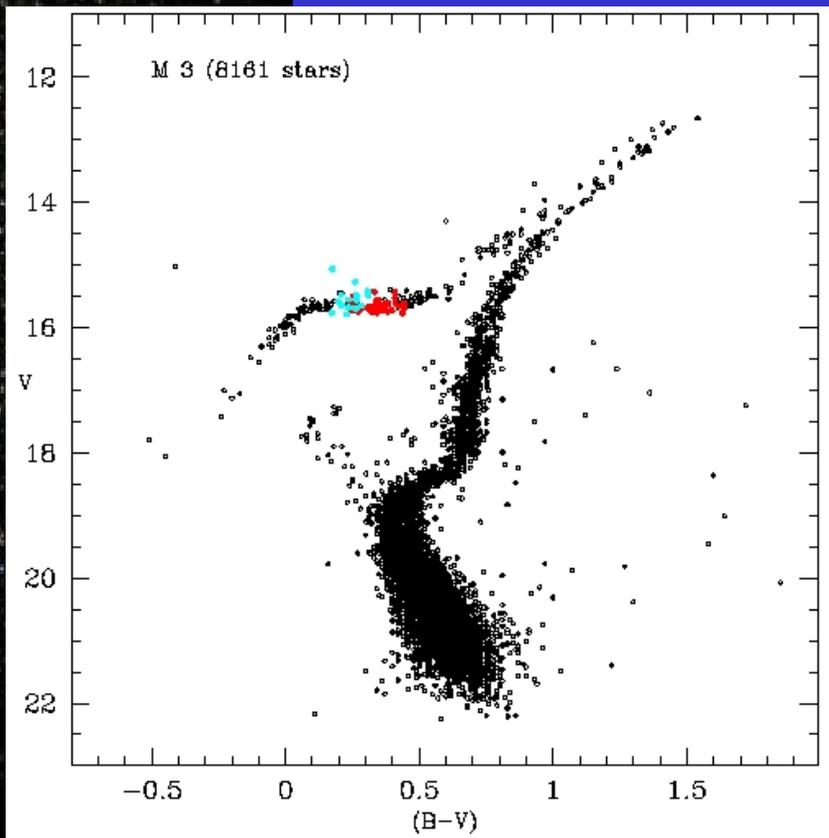
L'uomo usa
i pittogrammi
per comunicare
e ricordare





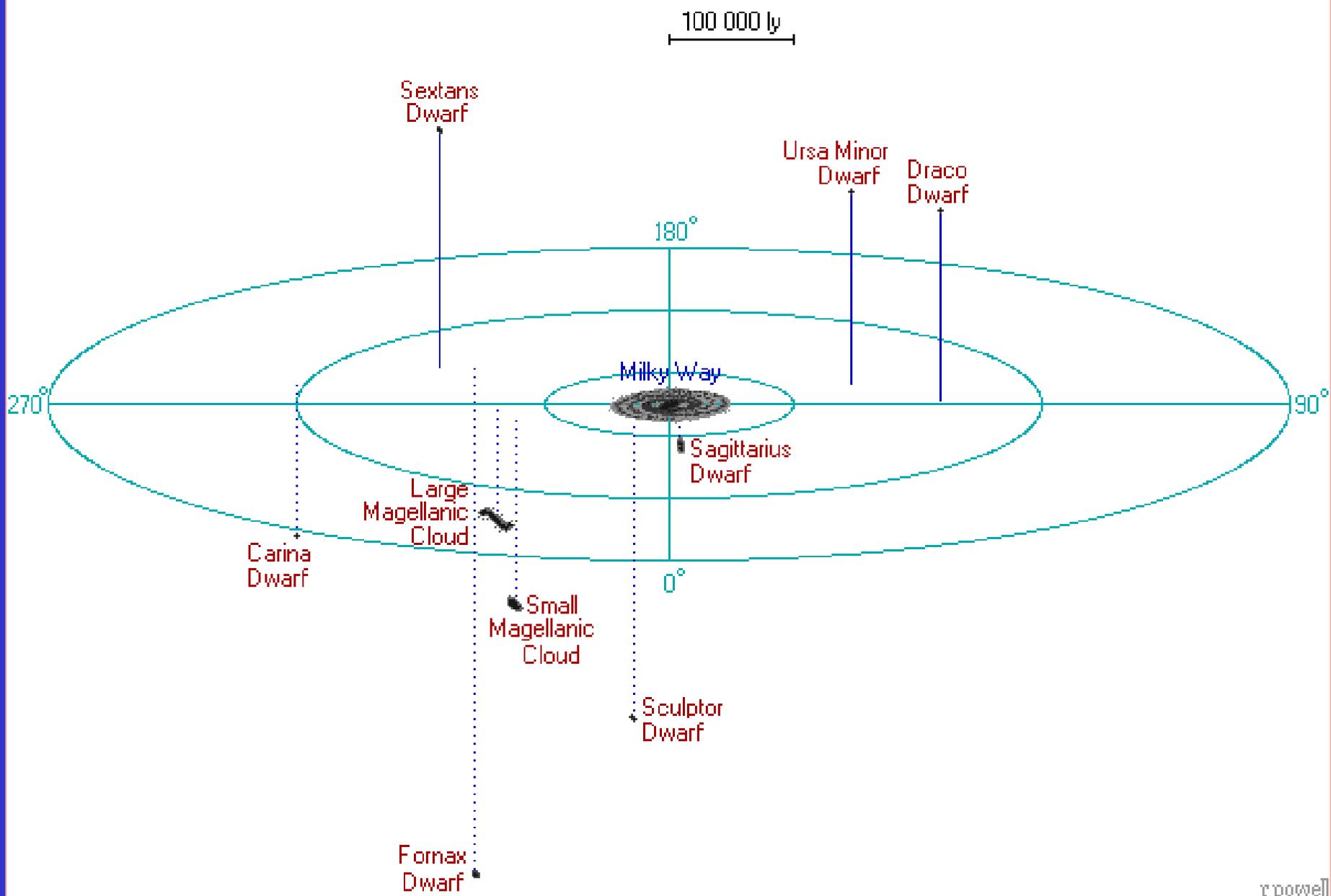
10^{-2} Mpc

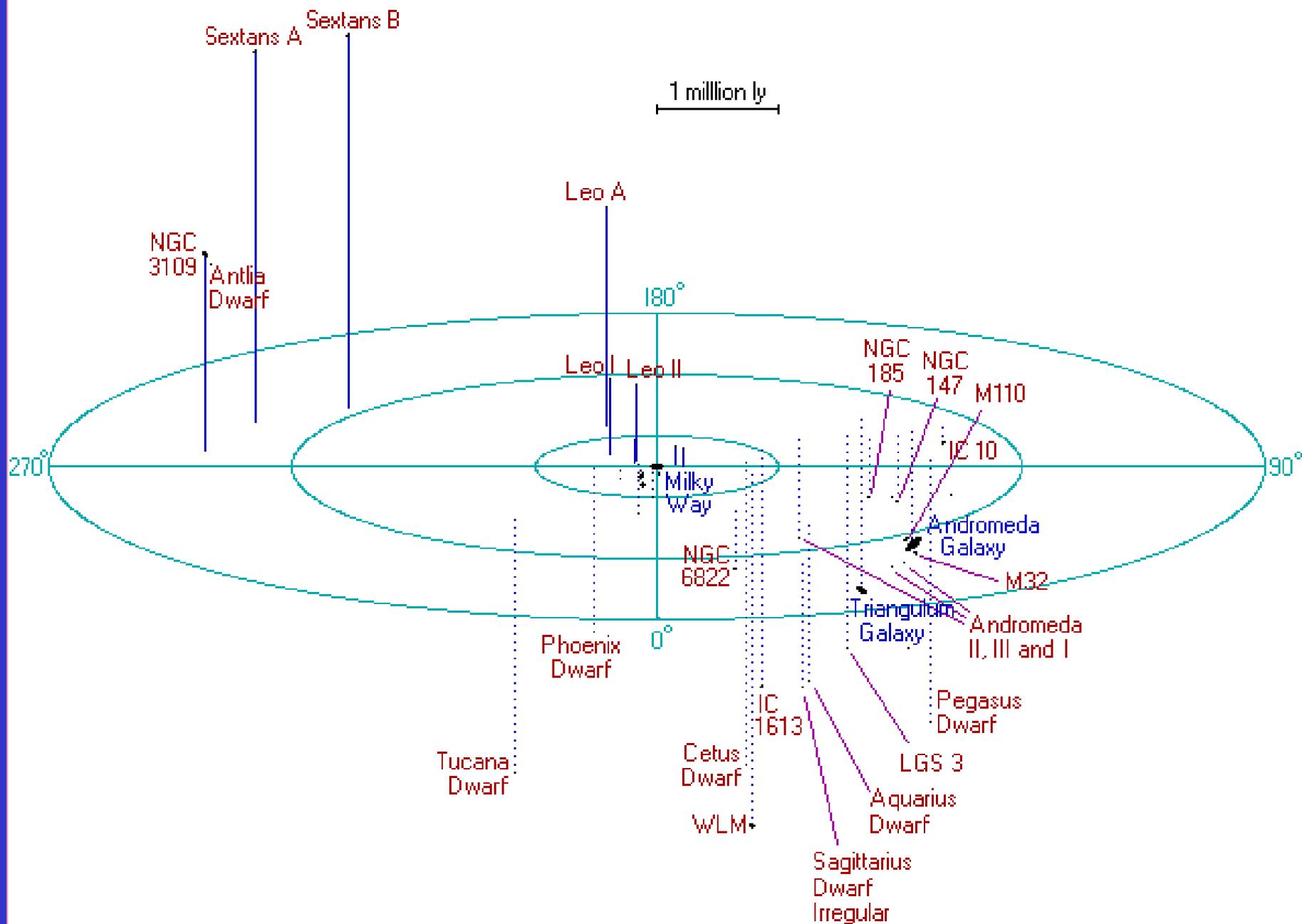
Ammasso globulare M80 ~ 32600 a.l.



La nostra Galassia e i suoi vicini







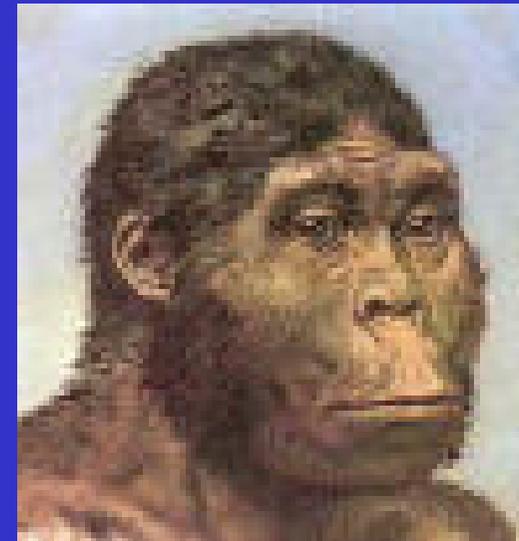
M 31



2,5milioni anni luce

© Caltech/David Malin

2,2 milioni di anni



**L'Homo habilis
compare in
Africa**

Ammasso di Coma

~ 300 milioni di anni luce



Hubble Deep Field

"Andare a distanze via via piu' grandi
equivale a guardare l'Universo ad eta'

via via piu' giovani, perche'
possiamo vedere degli oggetti

lontani solo "come sono" nel

loro stato di miliardi di

anni fa, quando la

luce che ci stanno

inviando inizio'

il suo viaggio

verso di noi."



Unita' di misura astronomiche e loro conversione

1 U.A. = 149.600.000 km

1 a.l. = 63.240,6 U.A. = 9.460.800.000 km

1 pc = 3,26 a.l. = 206.265 U.A. = 30.860 miliardi di km

Alcune relazioni importanti

$$S \propto 1/d^2 \quad S = \text{flusso osservato}$$

$d = \text{distanza della sorgente}$

$$m - M = -5 + 5 \log d_{\text{pc}} \quad \text{modulo di distanza}$$

$m = \text{magnitudine apparente}$

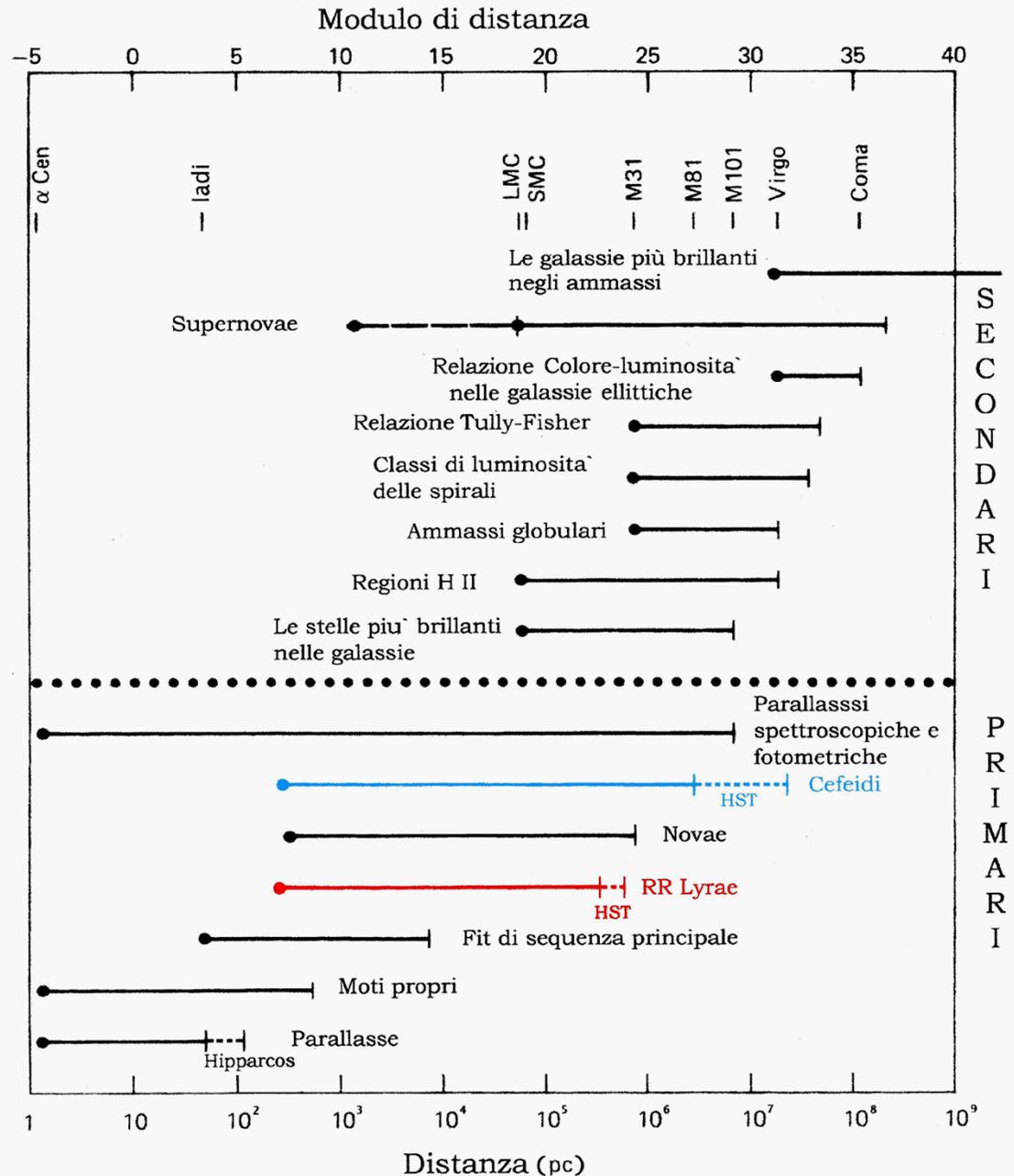
$M = \text{magnitudine assoluta}$

Distanze tipiche in tempo impiegato a percorrerle

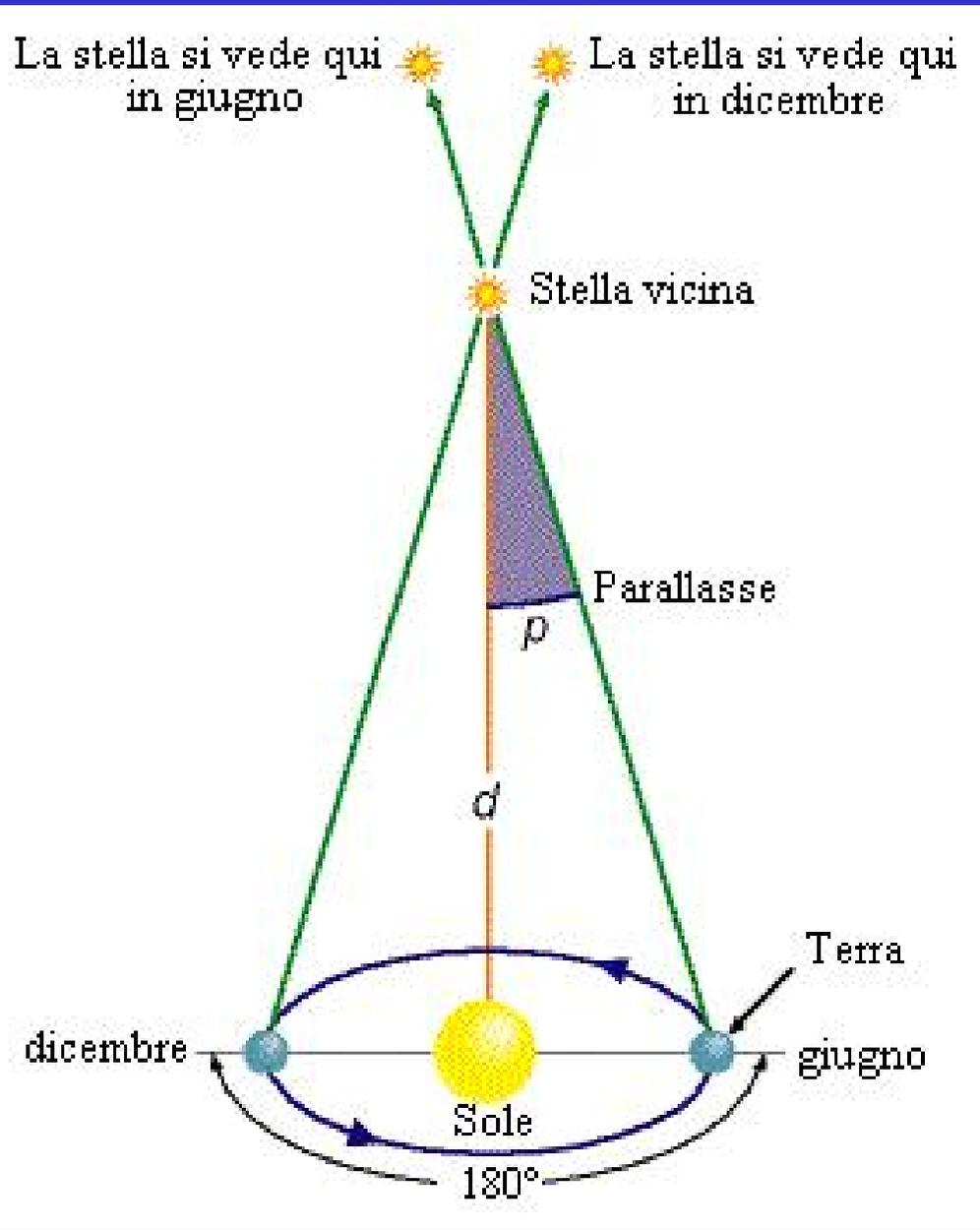
➤ Terra-Sole	~	8m	~	1 U.A.
➤ Terra-Plutone	~	660m	~	39,4 U.A.
➤				
➤ Sole- Alpha Centauri	~	4,2 a.l.	~	1,3 pc
➤ Sole-Iadi	~	150 a.l.	~	50 pc
➤ Sole-Centro Galattico	~	25.000 a.l.	~	8000 pc
➤ Sole-Andromeda	~	2.5 milioni di a.l.	~	770 kpc
➤ Sole-Gruppo Locale	~	3.3 milioni di a.l.	~	1000 kpc
➤ Sole-ammassi di M81 e Sculptor	~	6-10 milioni di a.l.	~	2500 kpc
➤ Sole-ammasso di M101	~	15-20 milioni di a.l.	~	5400 kpc
➤ Sole-ammasso della Vergine	~	40 milioni di a.l.	~	12000 kpc
➤ Sole-ammasso di Coma	~	300 milioni di a.l.	~	92000 kpc
➤ Sole-Universo conosciuto	~	13 miliardi di a.l.		

Scala delle distanze

"Dato il range dinamico delle distanze astronomiche, la scala delle distanze e' fatta di metodi di misura ed indicatori di distanza che si sovrappongono, a partire da quelli che possiamo calibrare direttamente perche' sono vicini"



Il metodo diretto : la parallasse trigonometrica



$$p = \text{tang } \text{U.A./}d \sim \text{U.A./}d$$

$$p = 1'' \quad d = 1 \text{ pc}$$

$$d_{\text{pc}} = 1/p''$$

$$p \ll 1''$$

$$p_{\text{Cen}} = 0.76''$$

$$0 < d \uparrow 100 \text{ pc}$$

HIPPARCOS ... i l presente

Satellite astrometrico
lanciato dall'ESA nel
1989 e operativo fino
al 1993. Ha misurato
la parallasse di 118.000
stelle con magnitudine
apparente V fino alla 9
e precisione di $0.001''$.

**"Come vedere un
astronauta in piedi
sulla Luna"**

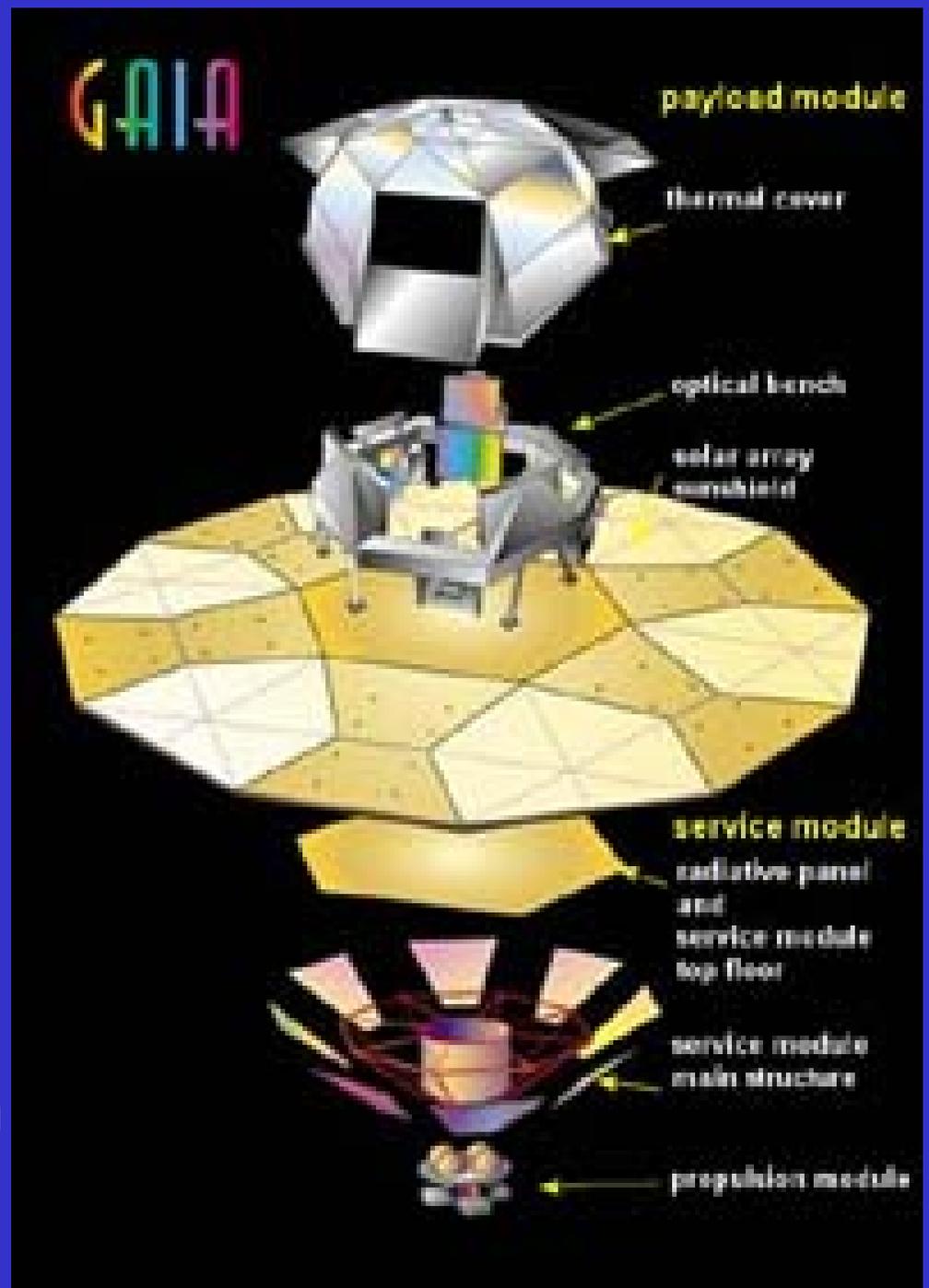


GAIA il futuro

Satellite astrometrico che verra' lanciato dall'ESA nel 2010.

Misurera' le parallassi di 1000 milioni di stelle della nostra Galassia con magnitudine apparente V fino alla 20 e precisione di $0.000001''$ a $V=15$.

"Come vedere l'unghia di un astronauta sulla Luna"



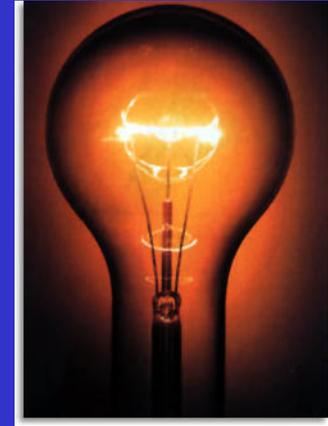
I metodi indiretti: gli indicatori di distanza

La distanza degli oggetti al di fuori della nostra

Galassia viene stimata attraverso "tecniche indirette" che si basano sulla identificazione

di oggetti celesti di luminosita' nota, che costituiscono delle "candele standard".

Queste "candele standard" devono, pero', essere accuratamente "calibrate".



100 Watt

- Indicatori Primari
- Indicatori Secondari
- Indicatori Terziari

Indicatori Primari : le nostre



- Stelle variabili
 - Cefeidi
 - RR Lyrae
 - Mira
 - Binarie ad eclisse
 - Novae e Supernovae
- Stelle e fasi evolutive a luminosita' costante
 - RGB Tip
 - Red Clump
- MS Fitting di ammassi aperti e globulari

Alcuni Indicatori Secondari

- Le stelle piu' brillanti nelle galassie
- Le piu' brillanti regioni di idrogeno ionizzato
- La funzione di luminosita' degli ammassi globulari

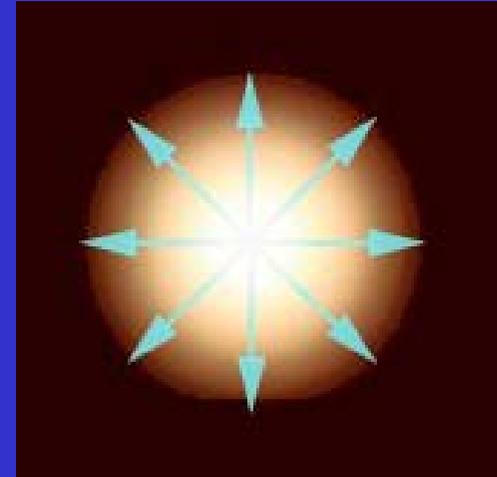
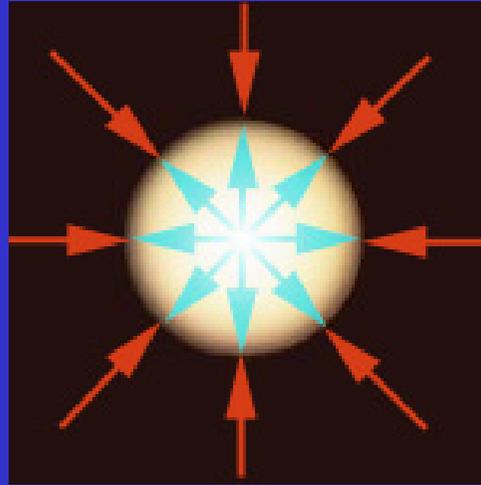
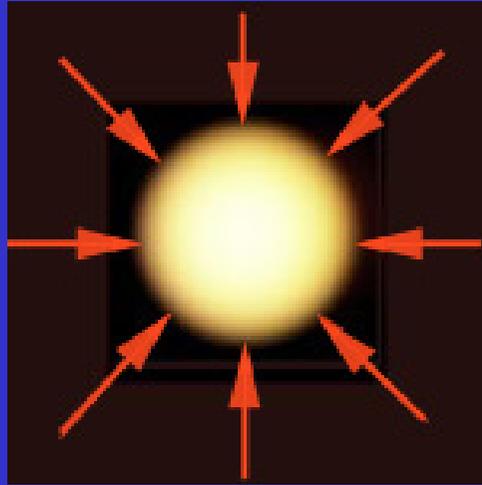
Alcuni Indicatori Terziari

- Le classi di luminosita' delle galassie spirali
- Le dimensioni delle galassie
- La luminosita' totale delle galassie piu' brillanti

Le Variabili Pulsanti



Le Variabili Pulsanti

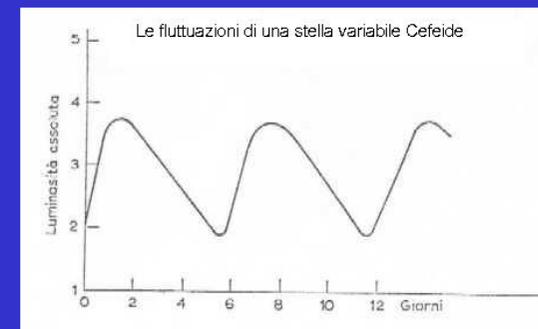
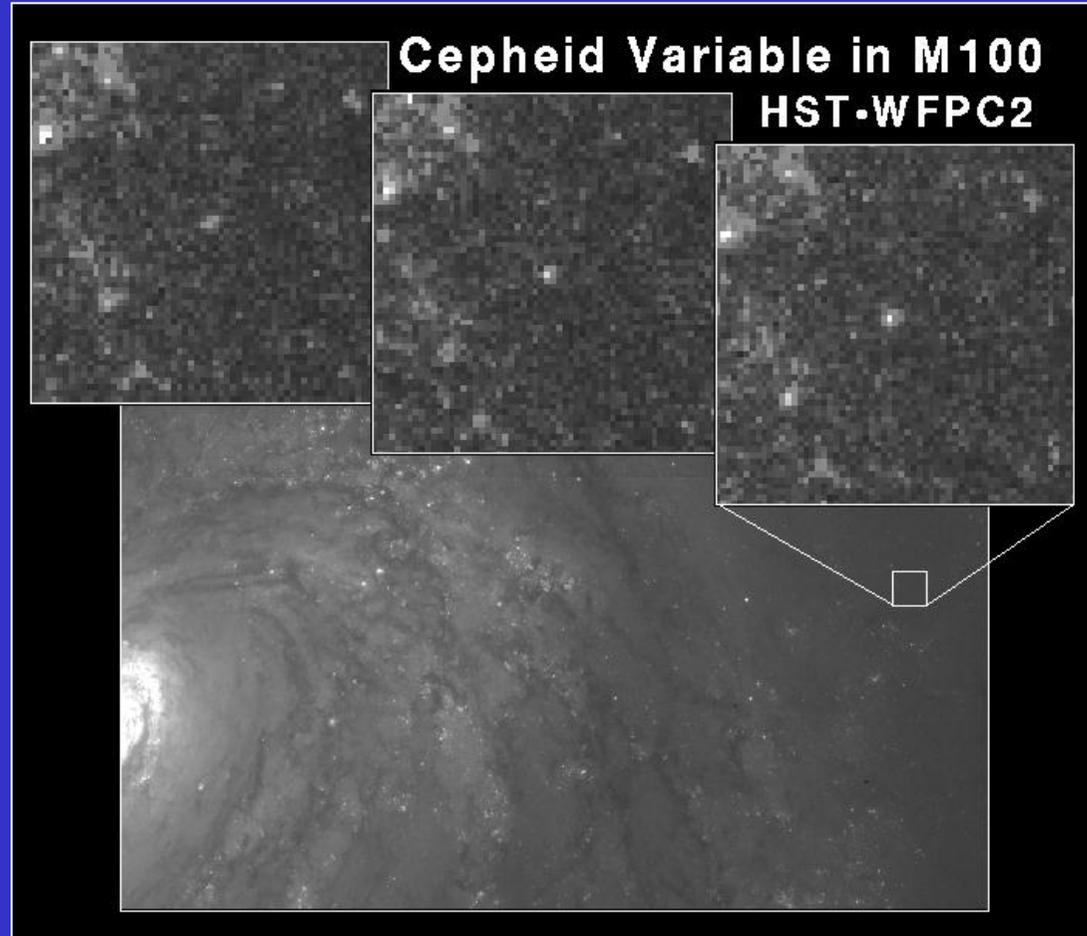


$$L = 4\pi\sigma R^2 T_{\text{eff}}^4$$

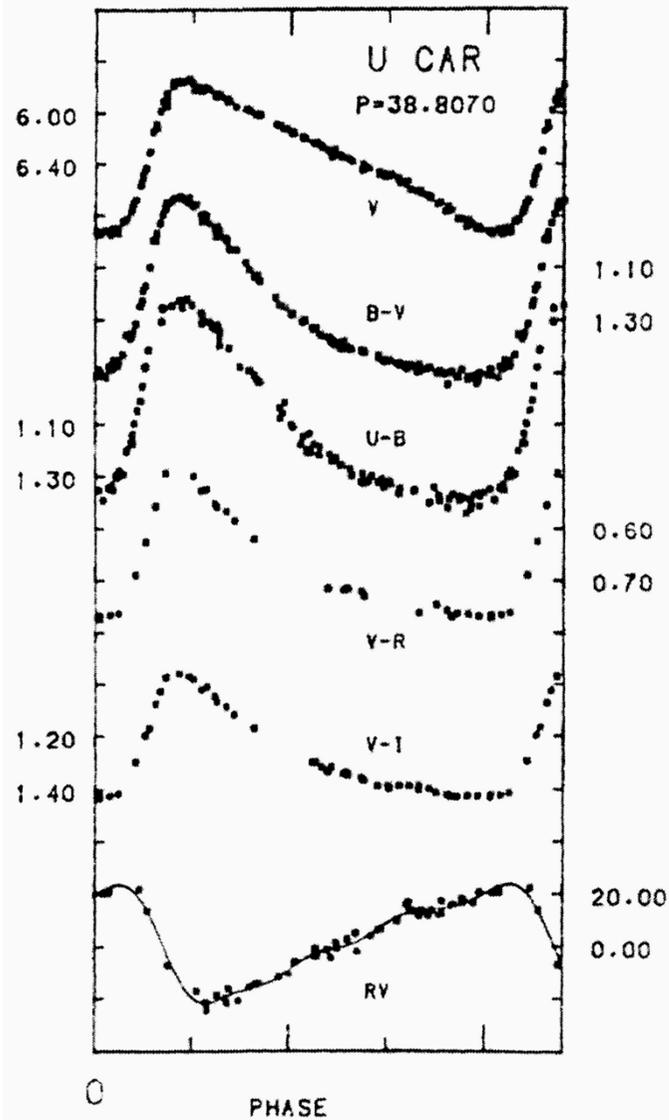
Le Cefeidi

1912. H. Leavitt scopre una correlazione fra magnitudine assoluta e il periodo di variabilità delle stelle variabili Cefeidi, aprendo la strada per il loro impiego come **indicatori di distanze** extragalattiche

$$L = \alpha \log P + \beta$$

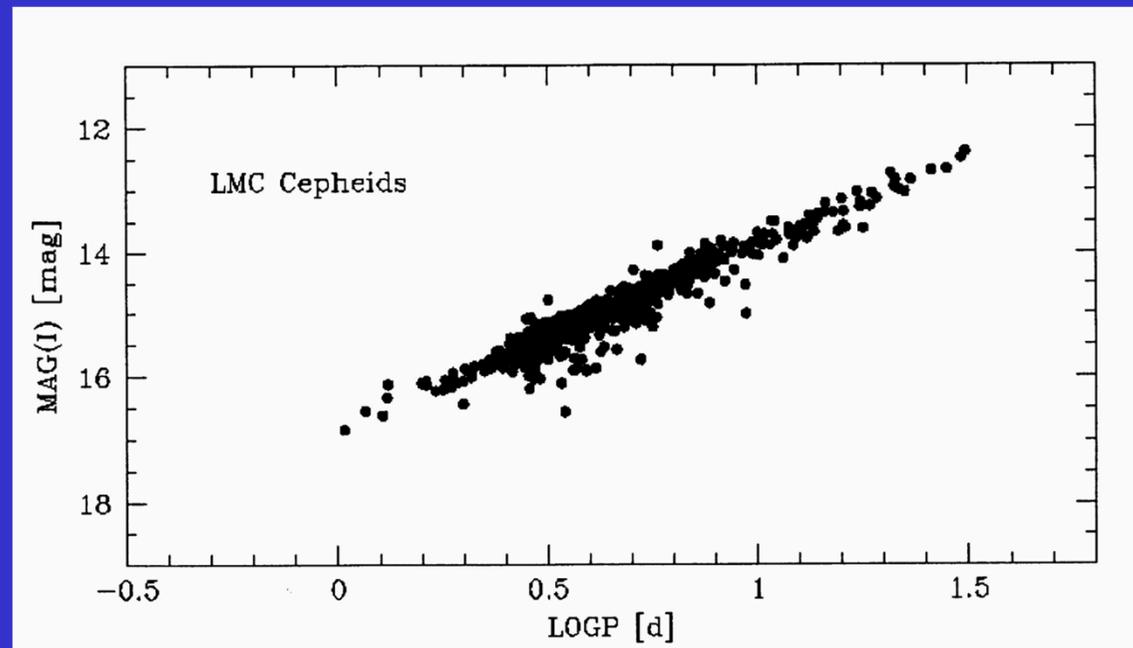


Cefeidi Classiche



$P = 1 - 100$ giorni
 $A_v \leq 1.5$ mag

$$L = \alpha \text{Log } P + \beta$$

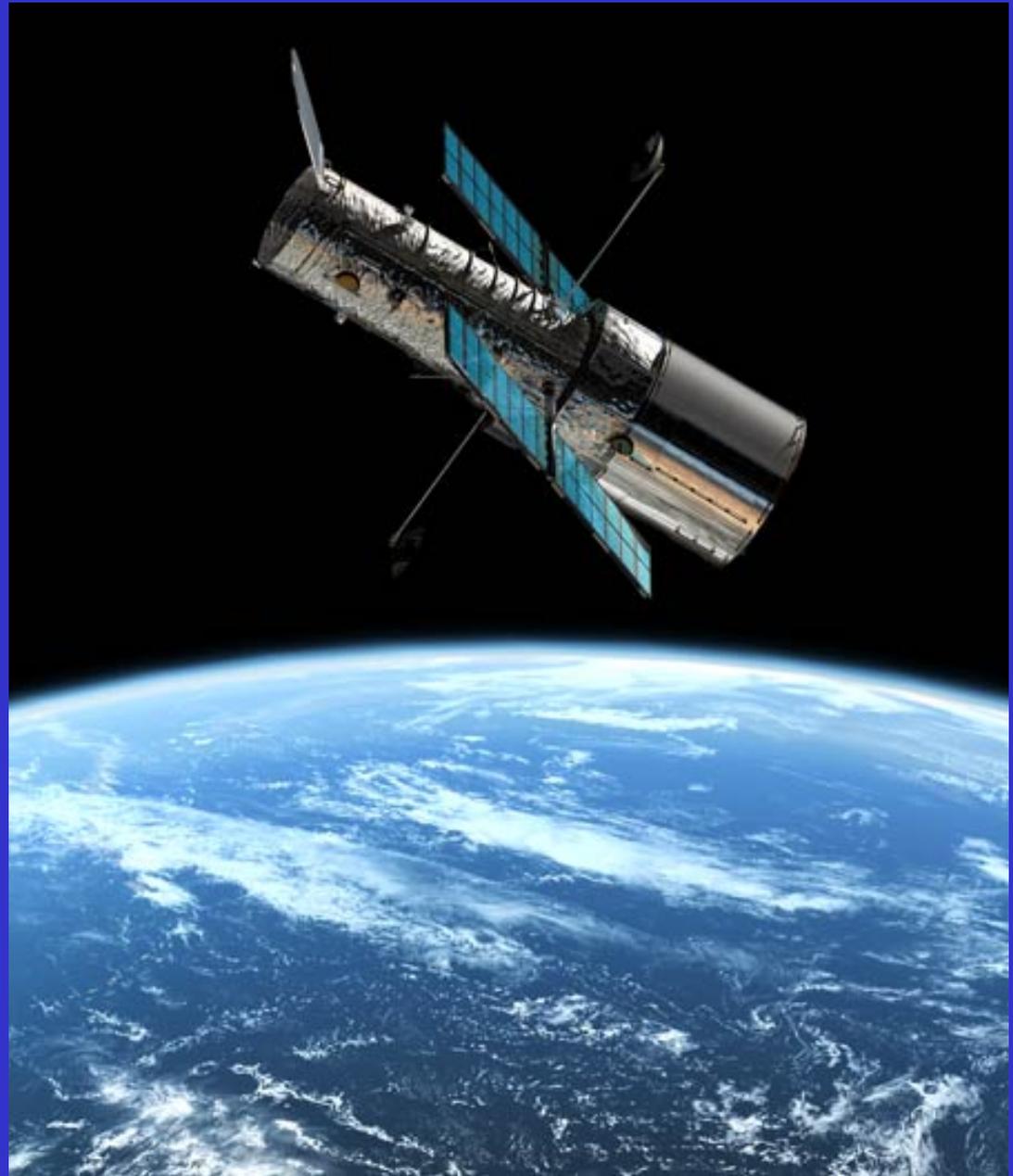


Cefeidi

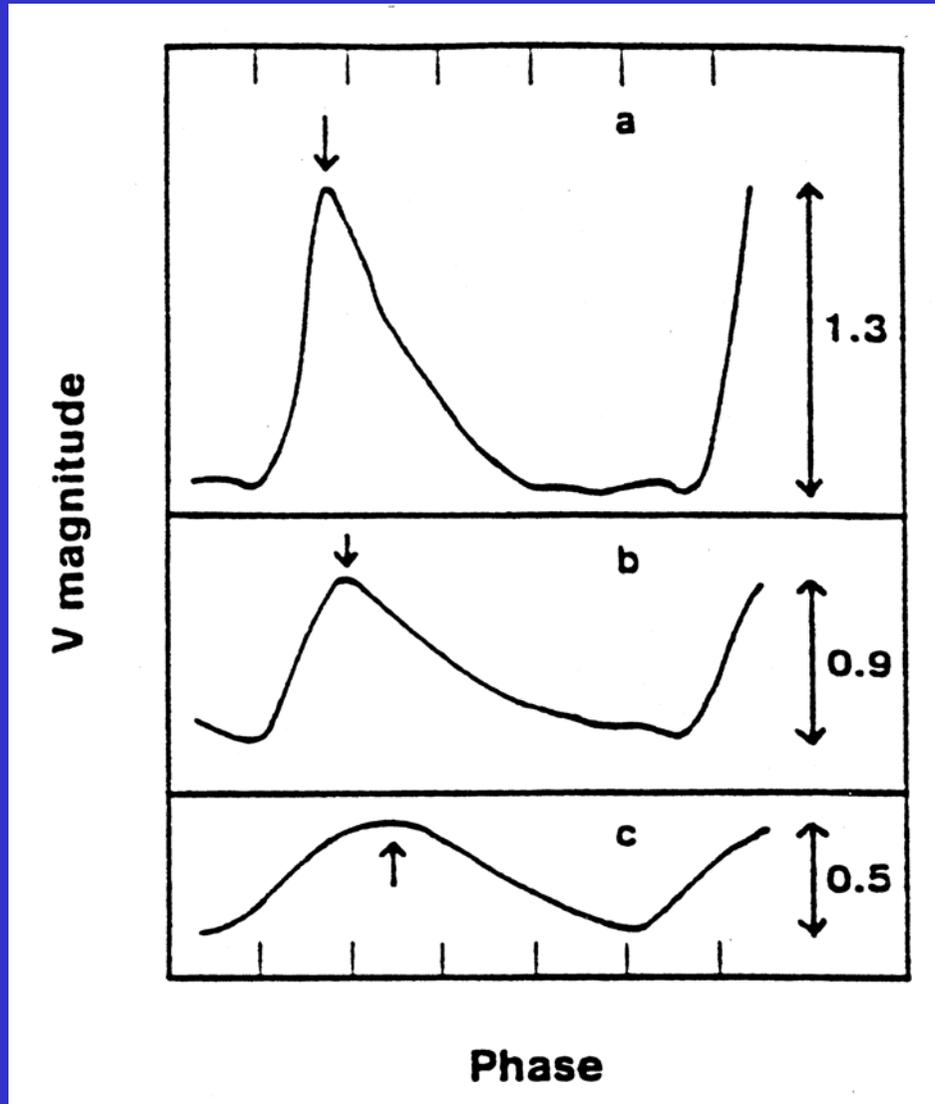
HST Key Project

31 galaxies

$700 \text{ Kpc} < d < 20 \text{ Mpc}$



Variabili RR Lyrae

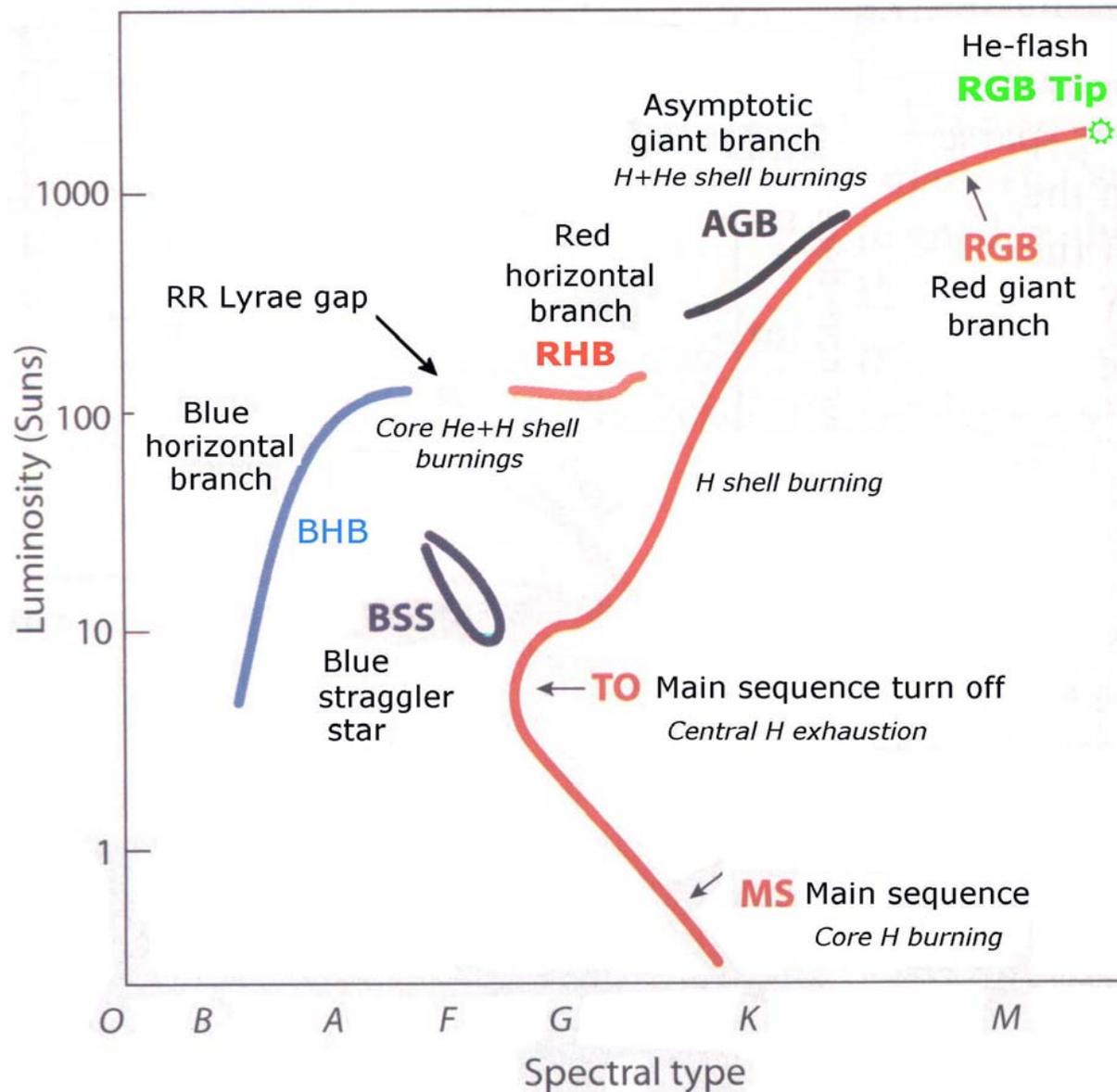


$P = 0.2 - 1.1$ giorni
 $A_v \leq 1.3$ mag

$$M_v (\text{RR}) = \alpha[\text{Fe}/\text{H}] + \beta$$

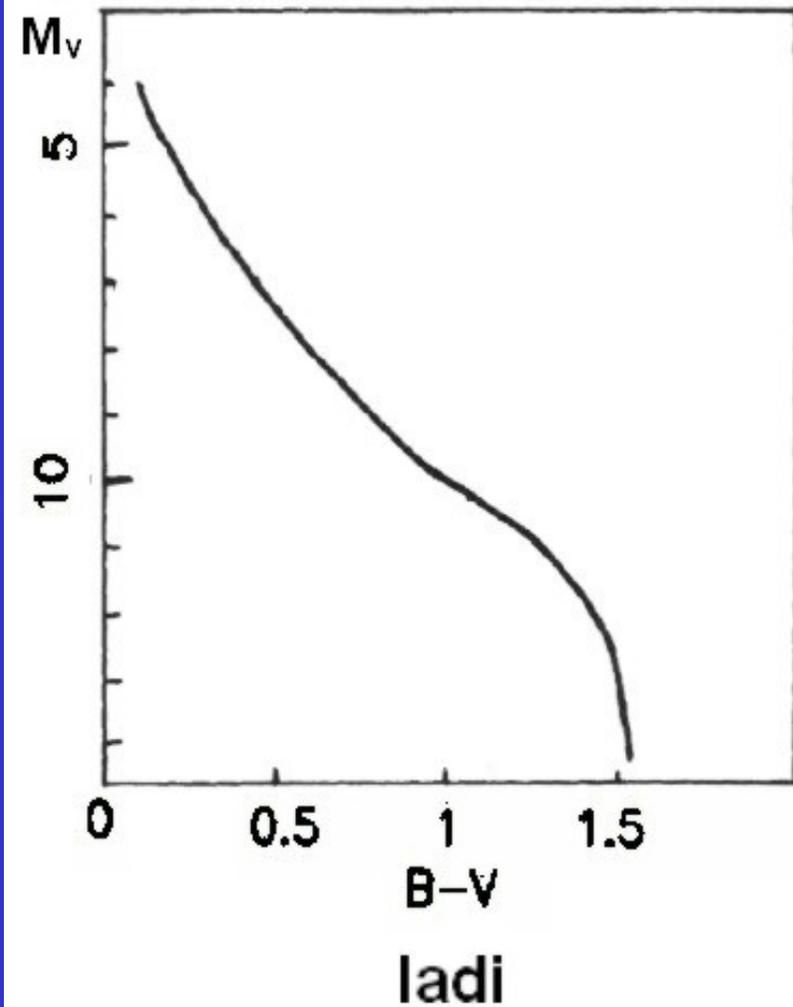
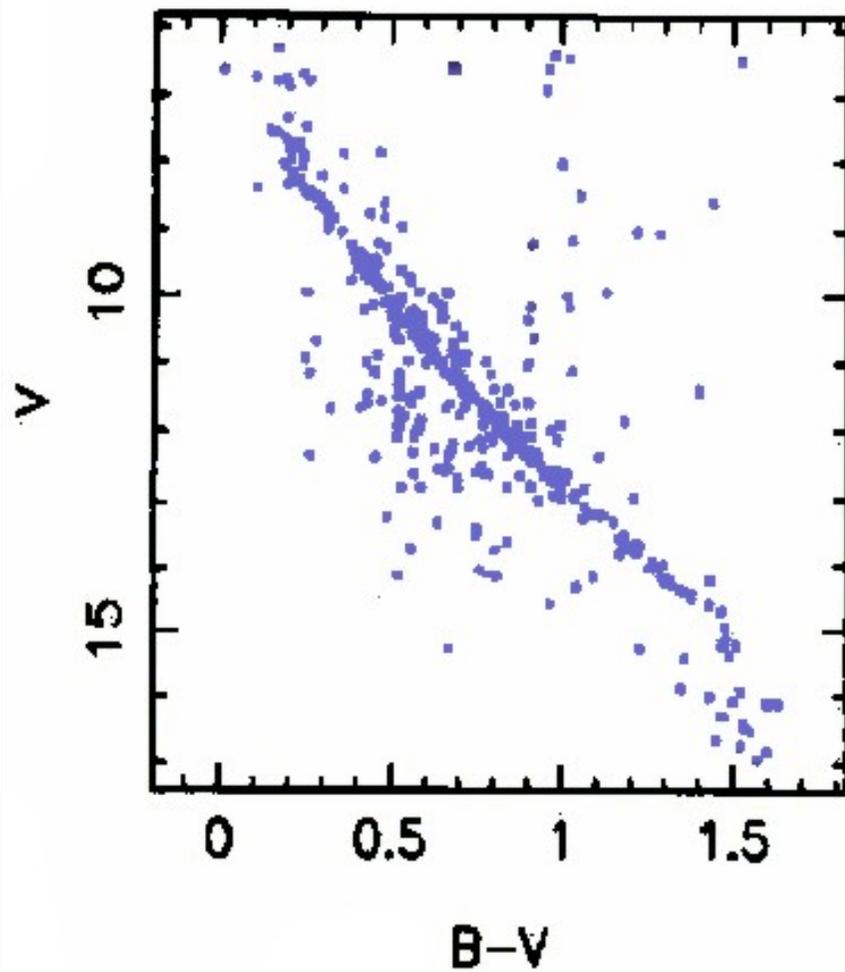
MW \Rightarrow M31

Diagramma HR con le varie fasi evolutive

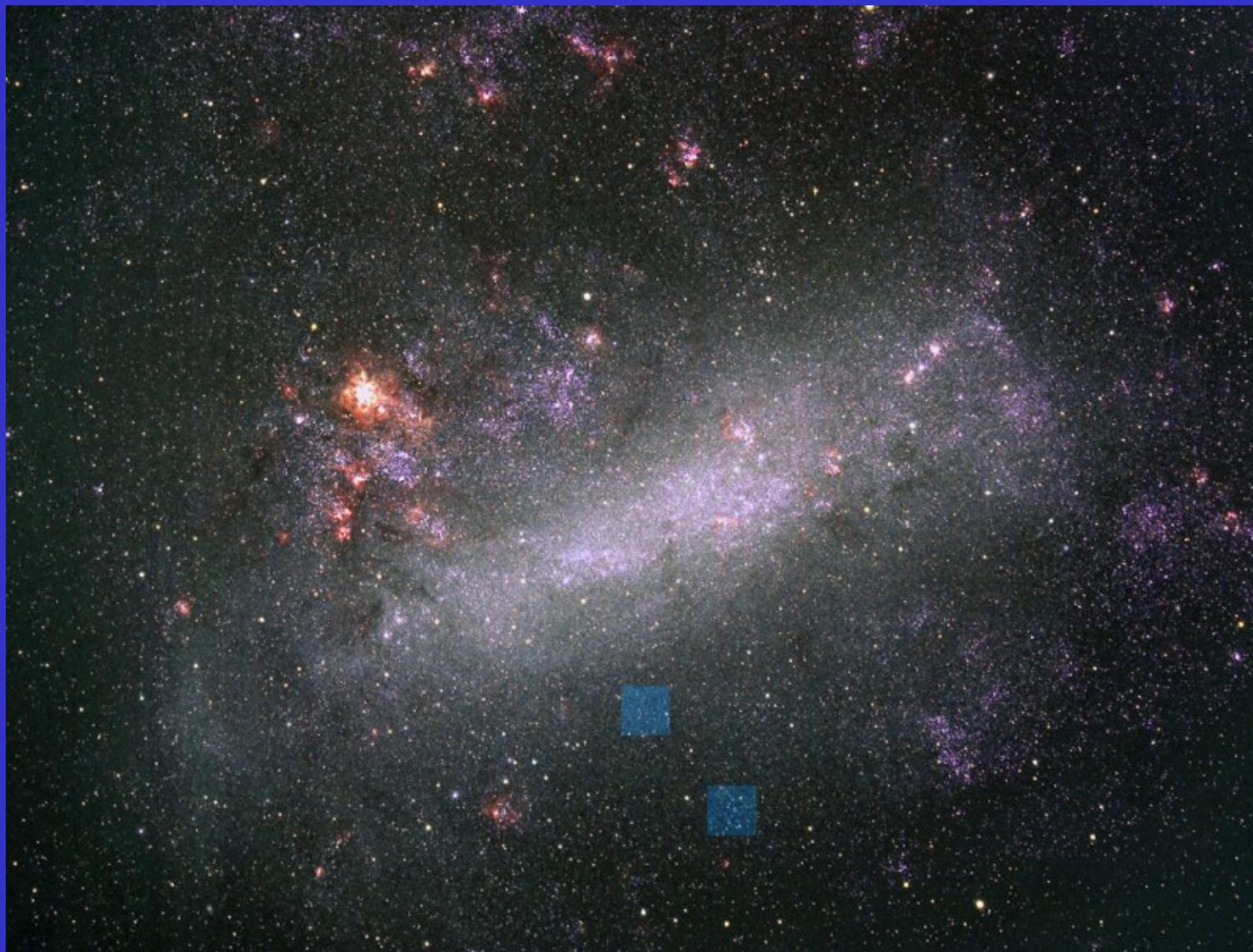


Fit della sequenza principale

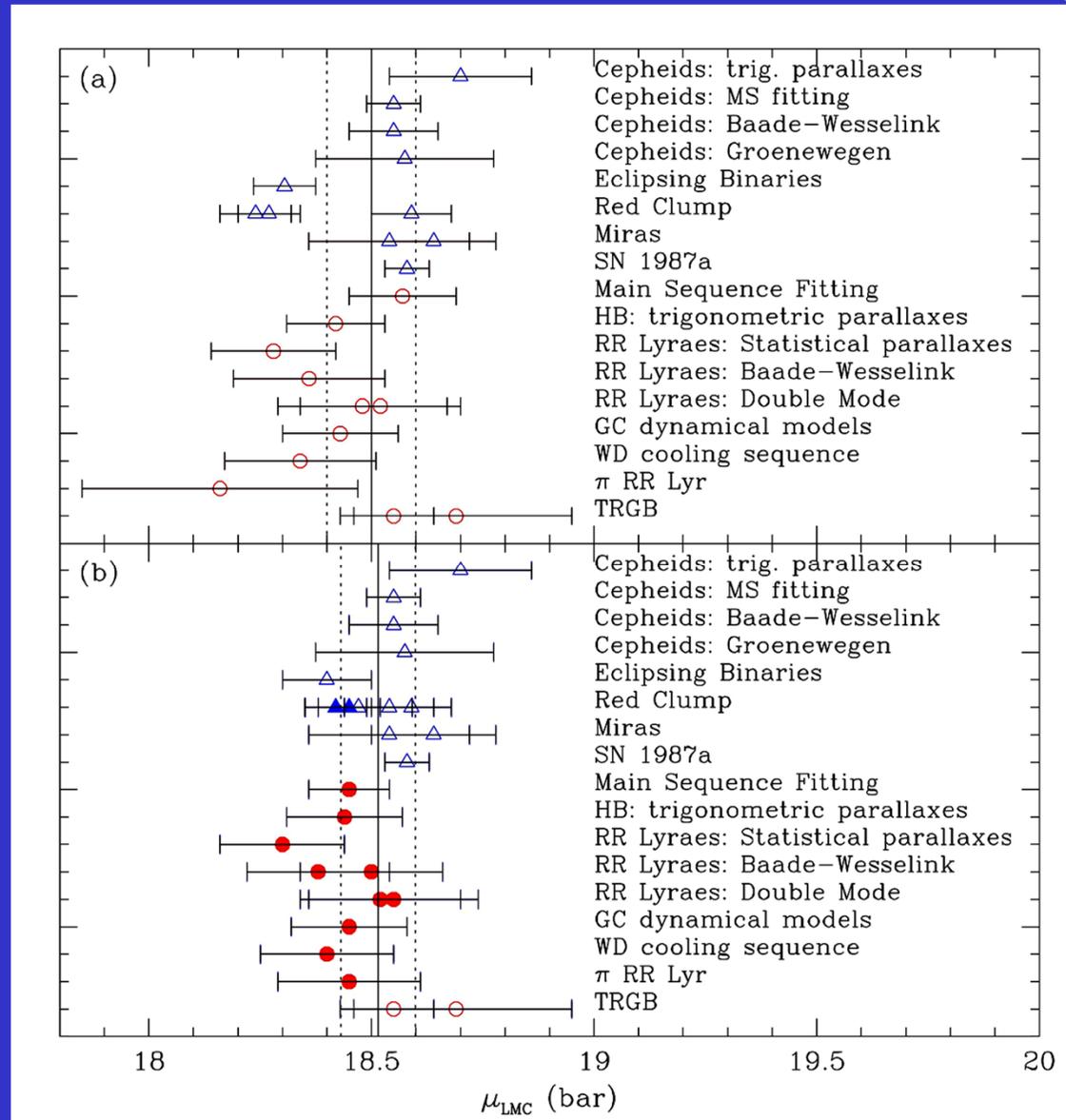
Præsepe



La Grande Nube di Magellano



Distanza della Grande Nube di Magellano



$$d = 50.500 \pm 2.000 \text{ pc}$$

La distanza della Grande Nube di Magellano: Lunga o Corta?

"Sembra che il problema della distanza
'lunga' o 'corta' per la Grande Nube di Magellano
sia ampiamente sparito.

Le distanze stimate dagli indicatori piu'
attendibili sono in accordo entro
le rispettive barre di errore e la distanza:

$$d_{\text{LMC}} = 50.500 \pm 2.000 \text{ pc}$$

sembra ragionevolmente sicura".

Fine presentazione

La Supernova 1987A nella Grande Nube di Magellano



Binaria ad eclisse nella Grande Nube di Magellano

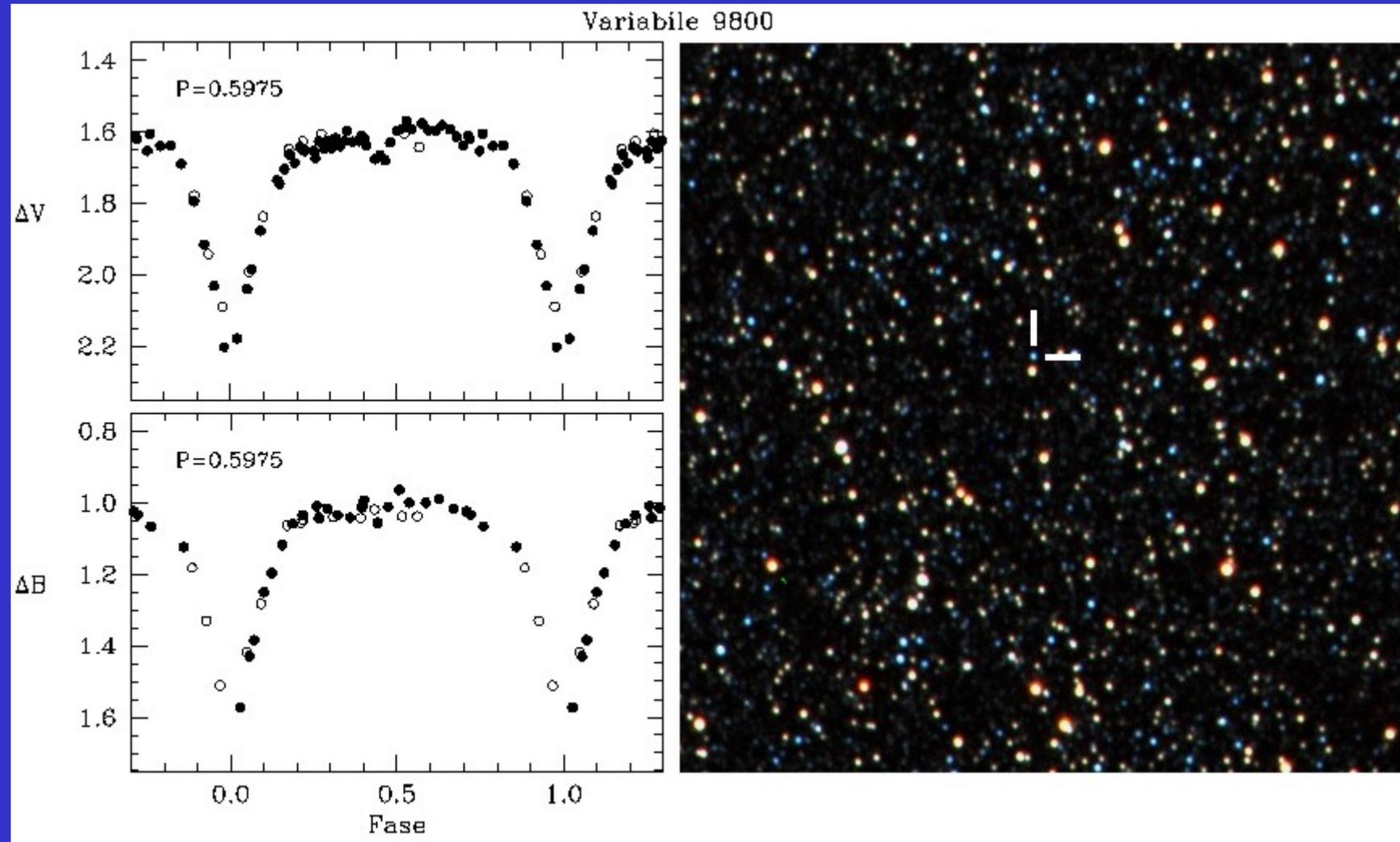
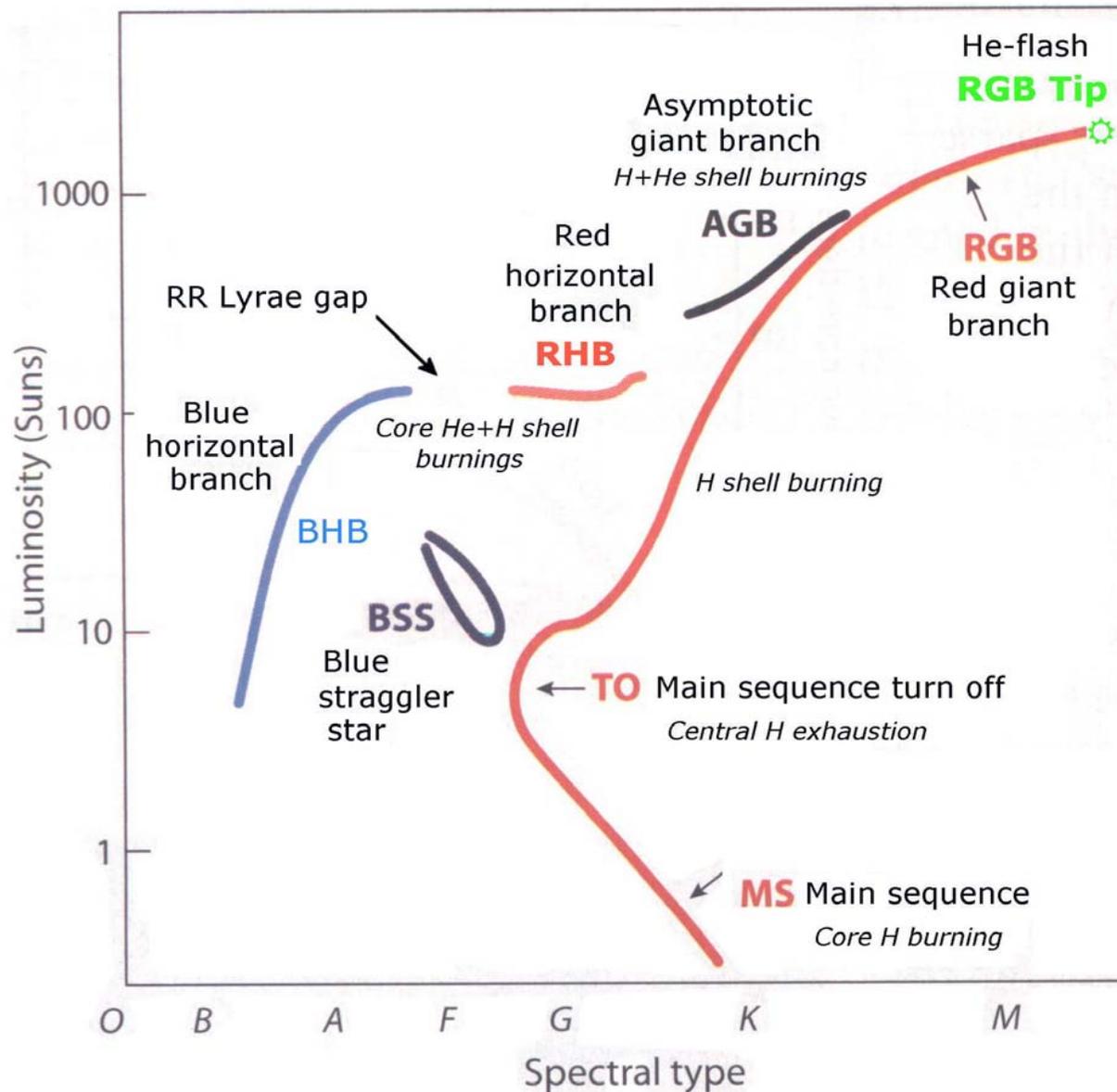
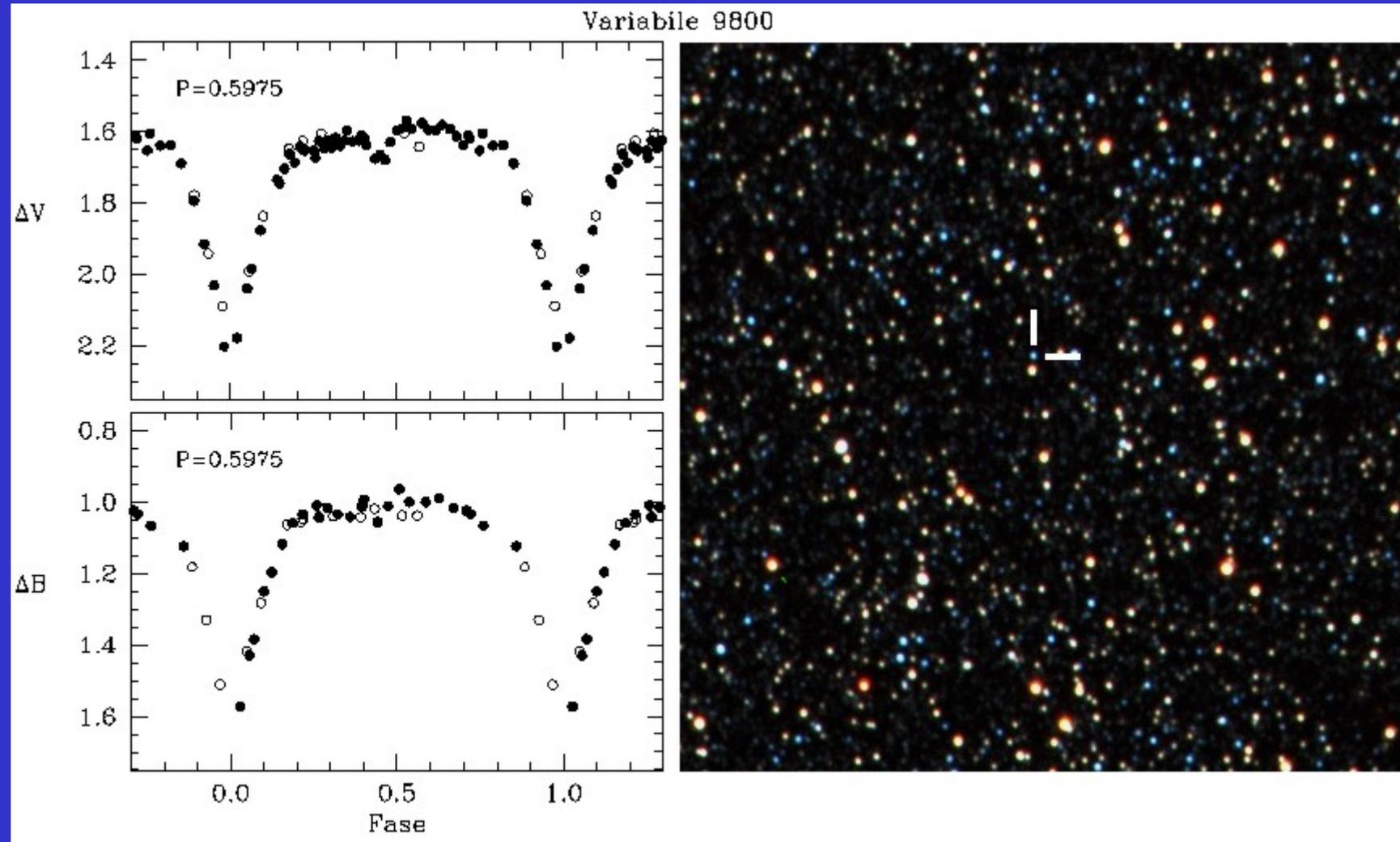
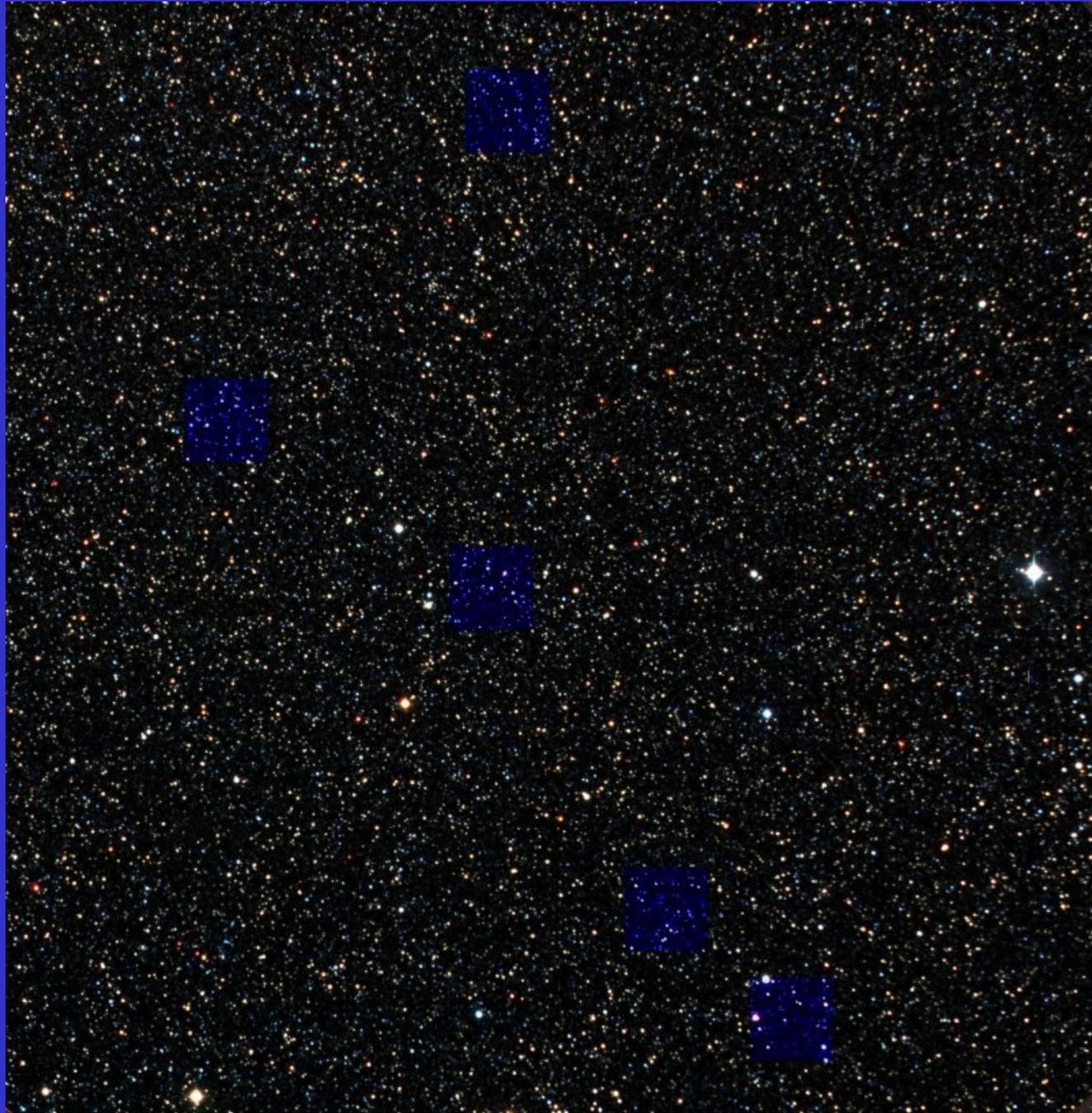


Diagramma HR con le varie fasi evolutive

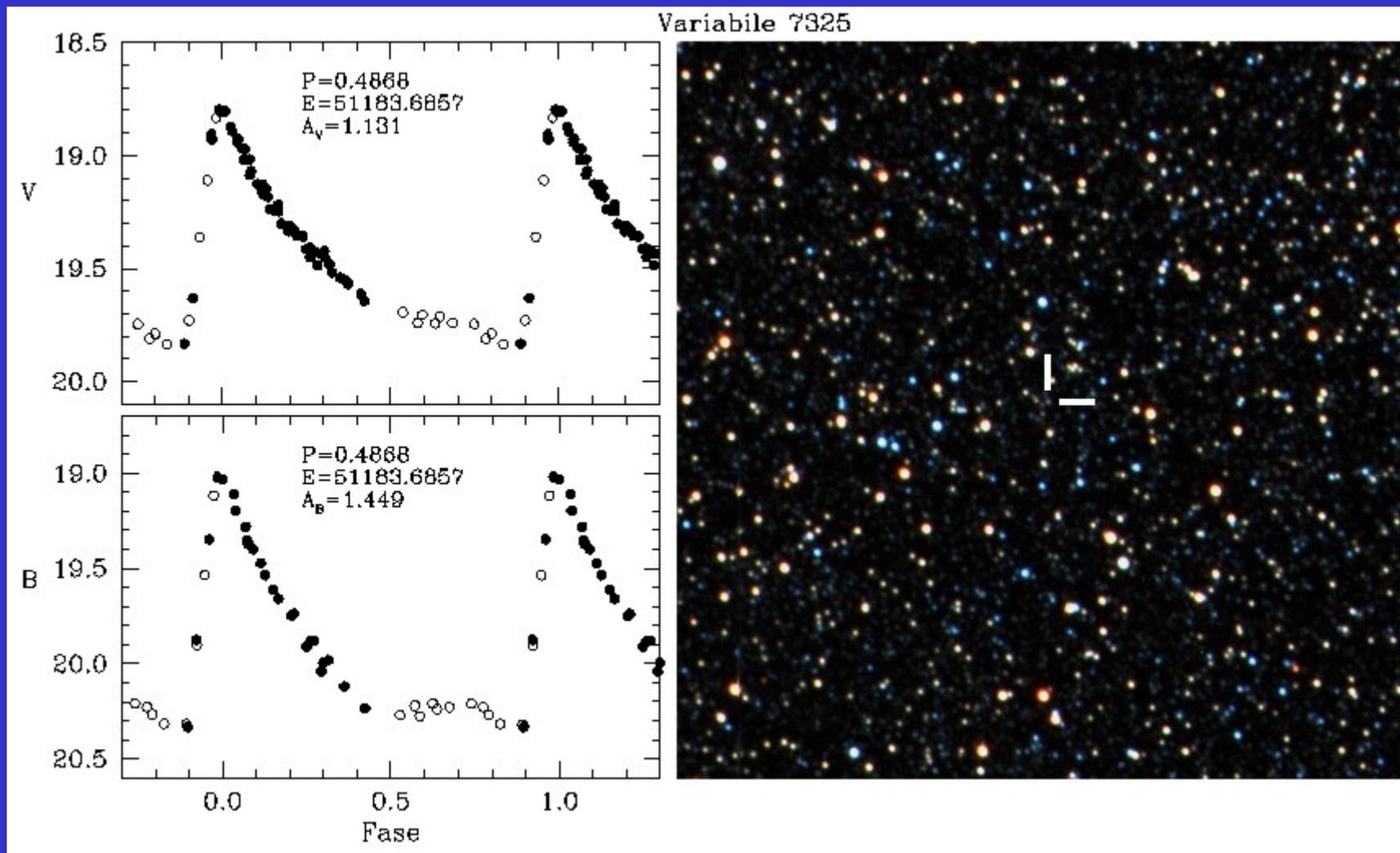


Binaria ad eclisse nella Grande Nube di Magellano

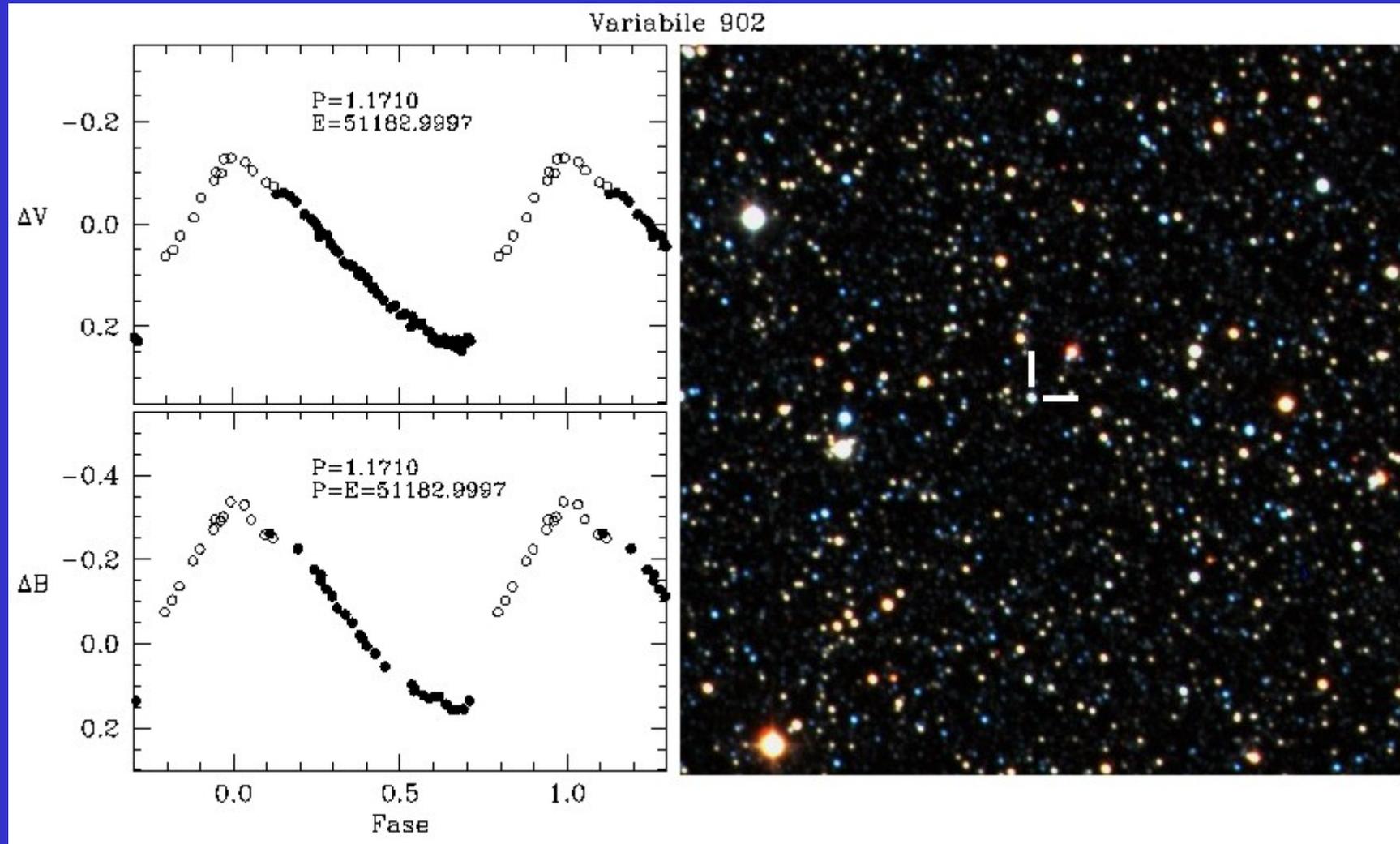




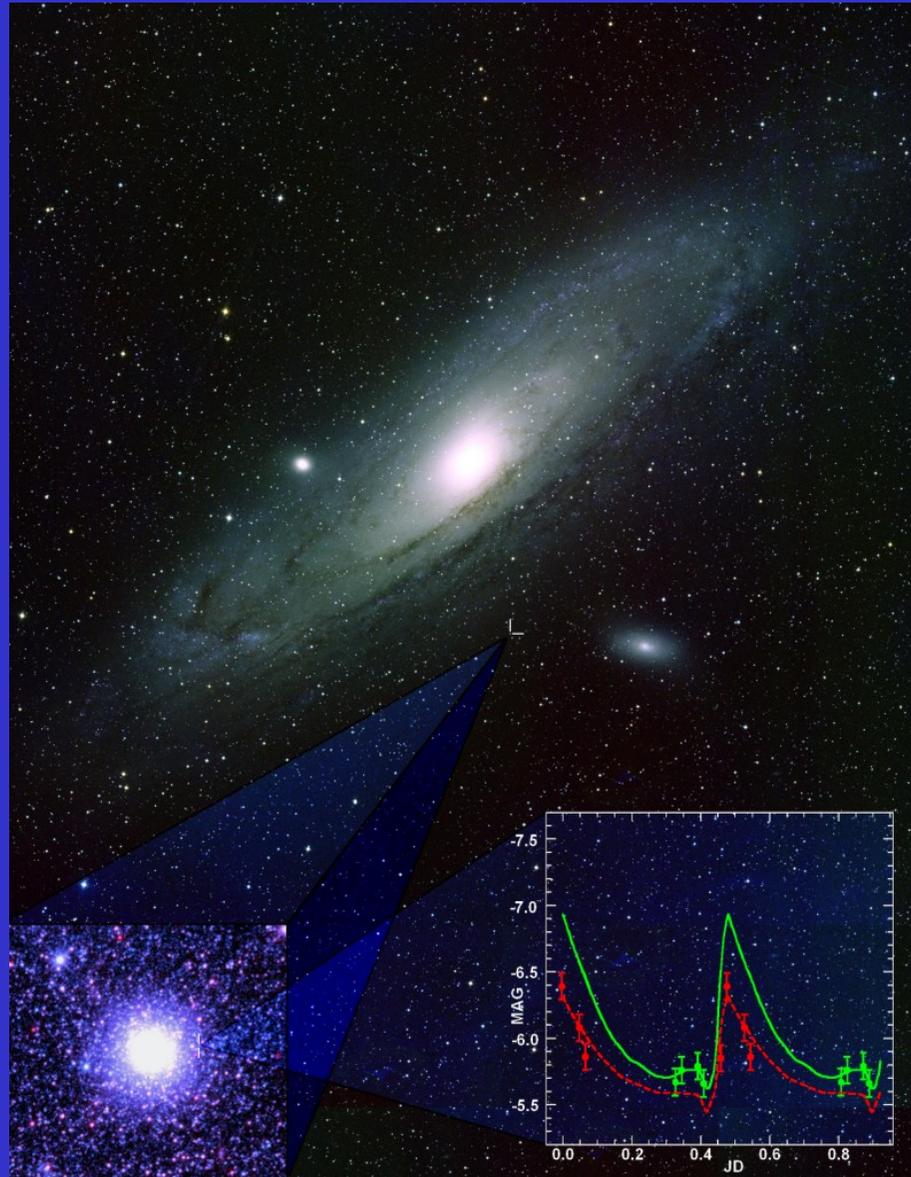
RR Lyrae nella Grande Nube di Magellano



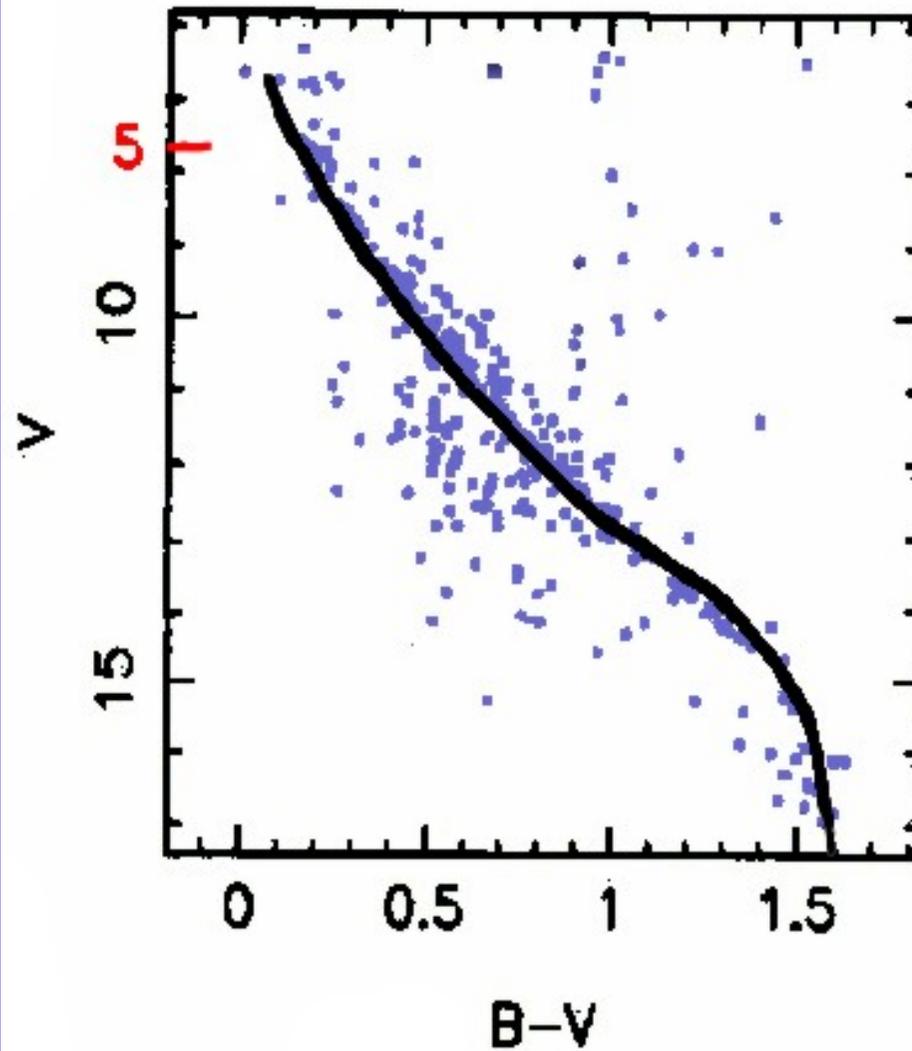
Cefeide nella Grande Nube di Magellano



RR Lyrae negli ammassi globularari di Andromeda



Praesepe



$m - M = 6.3$ $d = 182 \text{ pc}$

Scala delle distanze

"Dato il range dinamico delle distanze astronomiche, la scala delle distanze e' fatta di metodi di misura ed indicatori di distanza che si sovrappongono, a partire da quelli che possiamo calibrare direttamente perche' sono vicini"

