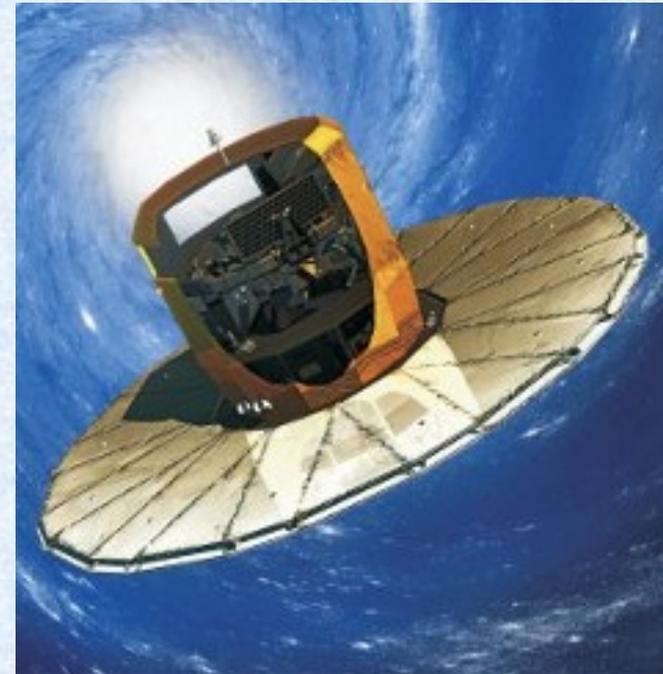


LE DISTANZE COSMICHE: LA MISSIONE GAIA



Marcella Marconi

INAF-Osservatorio Astronomico di Capodimonte



I cieli di Brera – 12 Giugno 2013

Distanze: perché ci interessano tanto ?



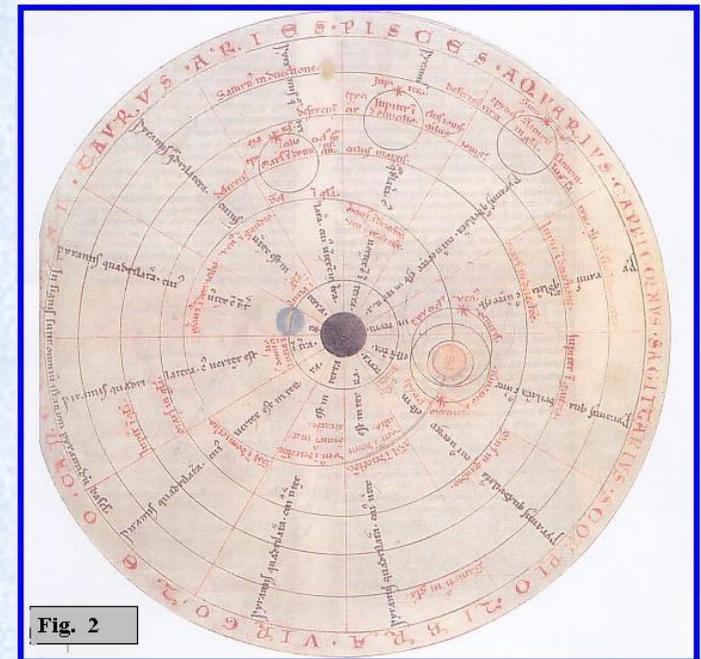
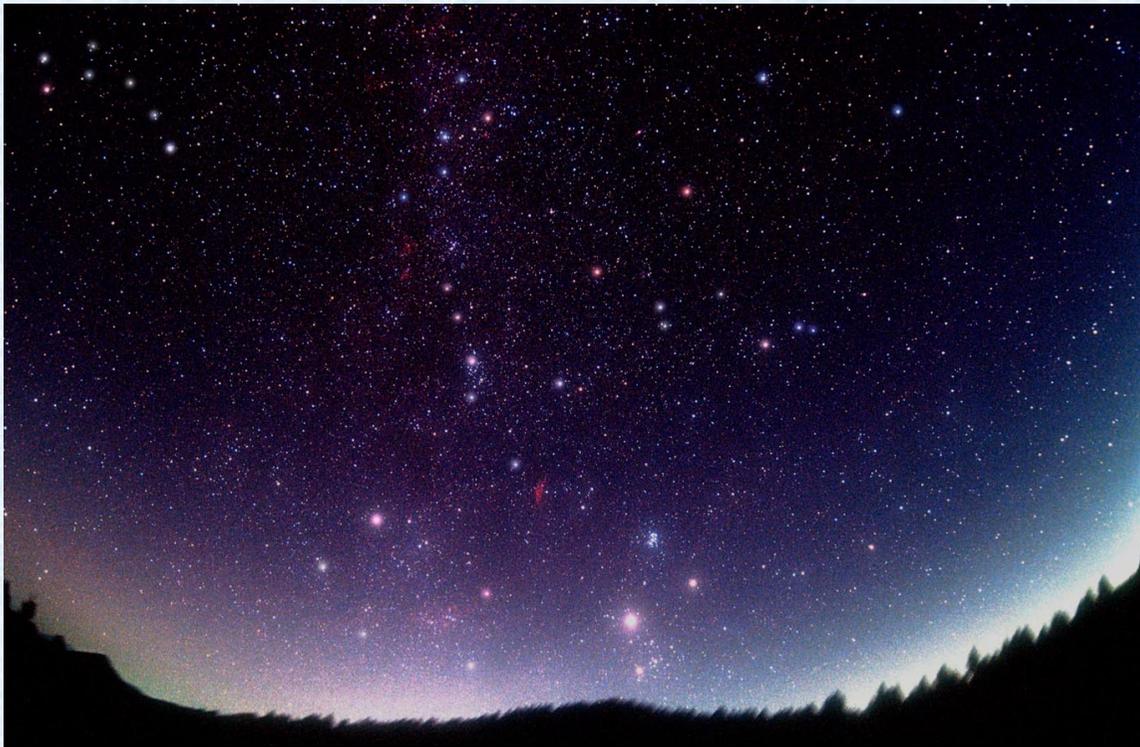
Ci consentono di capire come sono distribuiti gli oggetti celesti nel cosmo

...quanto sono brillanti in realtà

...la storia dell'Universo, il suo destino e la sua età

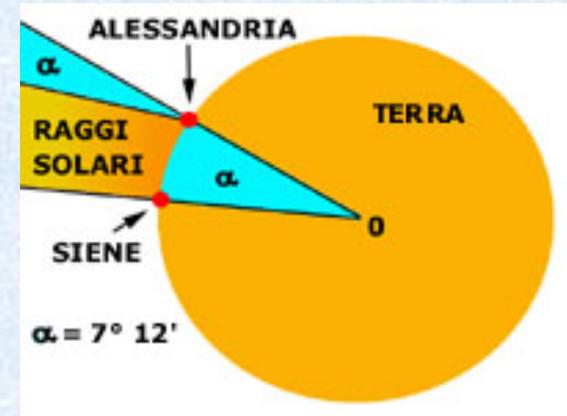
Distanze degli oggetti celesti

Fin dall'antichità un problema affascinante

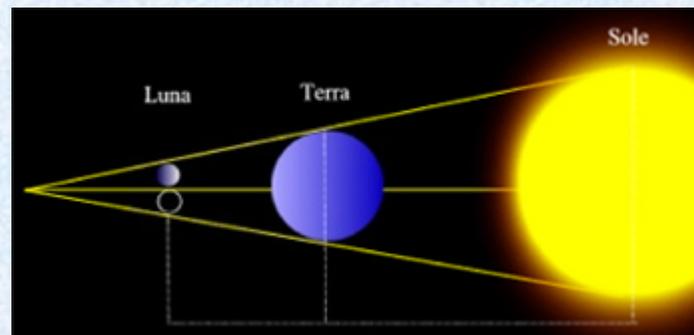


Prima distanza astronomica → la distanza Terra-Luna

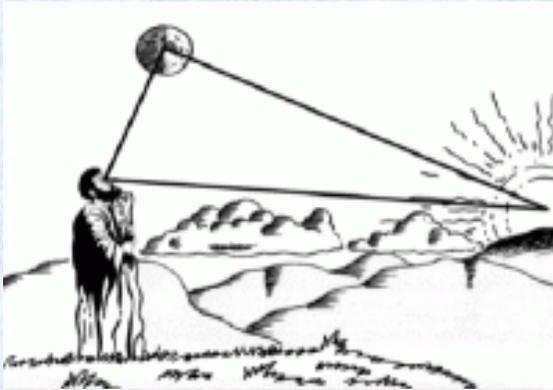
Misura del Raggio terrestre (Eratostene di Cirene, 240 a.C.)



Distanza Terra-Luna (Ipparco di Nicea, 150 a.C su suggerimento di Aristarco di Samo) osservando un' eclisse di Luna.



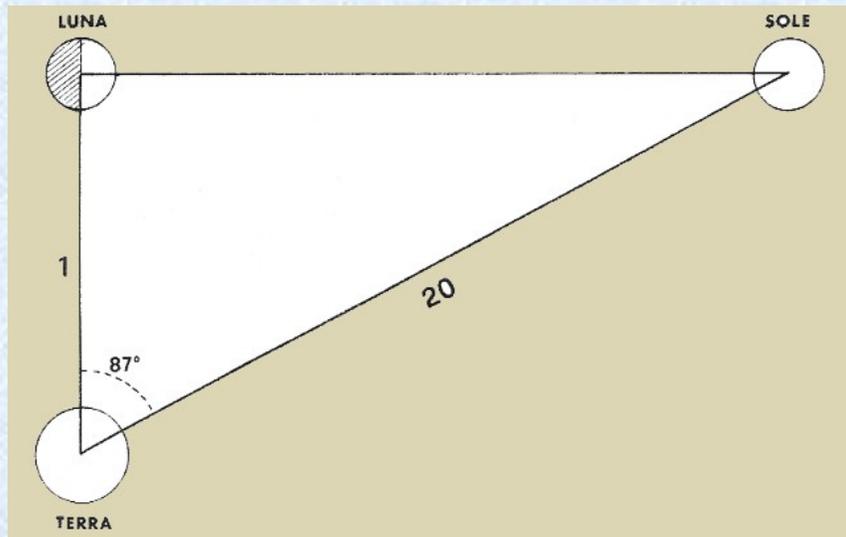
Dalla distanza della Luna alla distanza del Sole



Aristarco di Samo (310-230 a.C.) valutò 87° l'angolo compreso fra le visuali dirette dalla Terra rispettivamente al Sole e alla Luna, quando questa era in quadratura.



Distanza (Terra-Sole) = **20 volte** la Distanza (Terra-Luna)



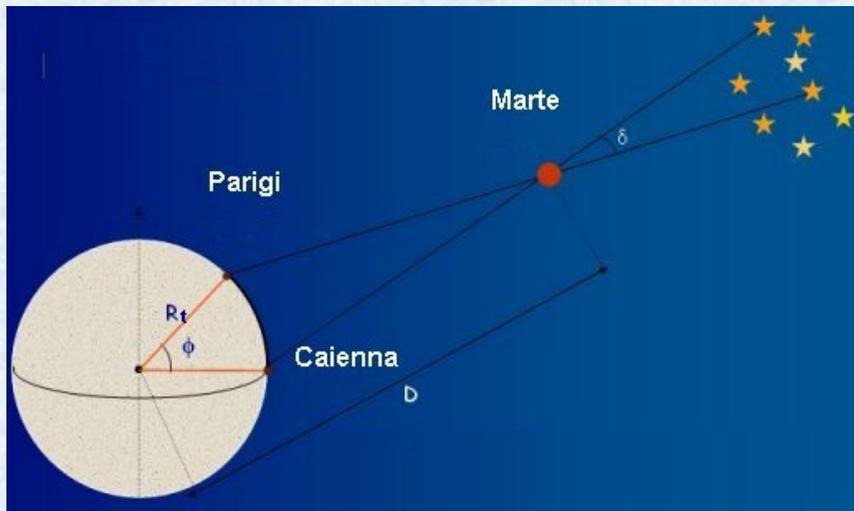
In realtà, il Sole è **400 volte** più lontano della Luna, perché l'angolo compreso fra le direzioni Terra-Luna e Terra-Sole **non è di 87° , ma di $89^\circ 51'$** , una misura impossibile da ottenere con gli strumenti disponibili a quel tempo !

Serviva una misura di PARALLASSE

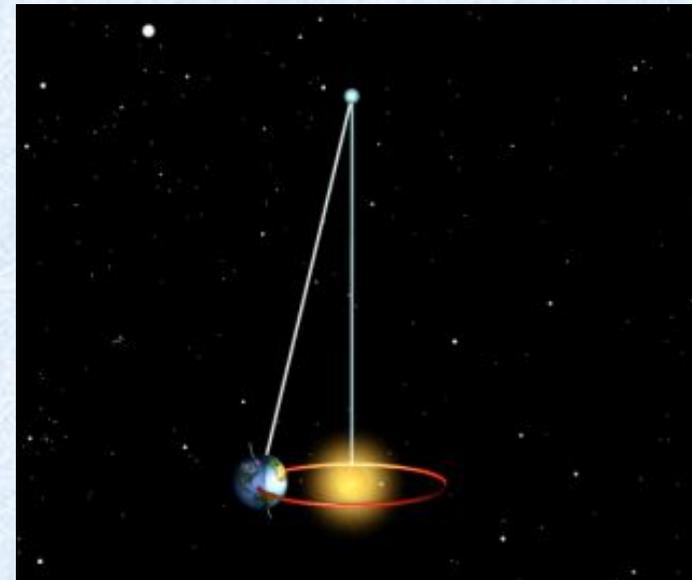
La Parallasse

Fenomeno per cui un oggetto sembra spostarsi rispetto allo sfondo se si cambia il punto di osservazione.

Parallasse diurna



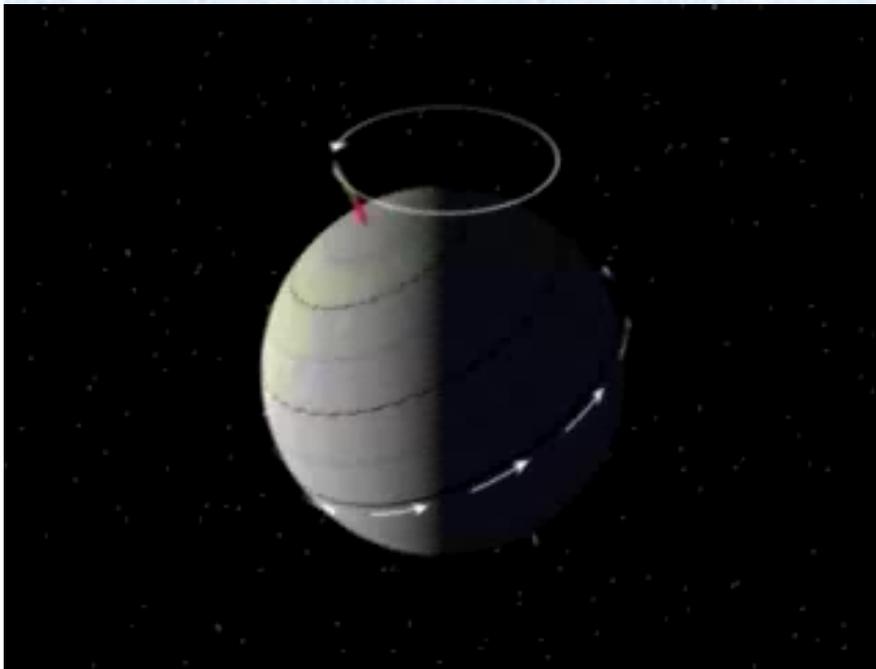
Parallasse annua



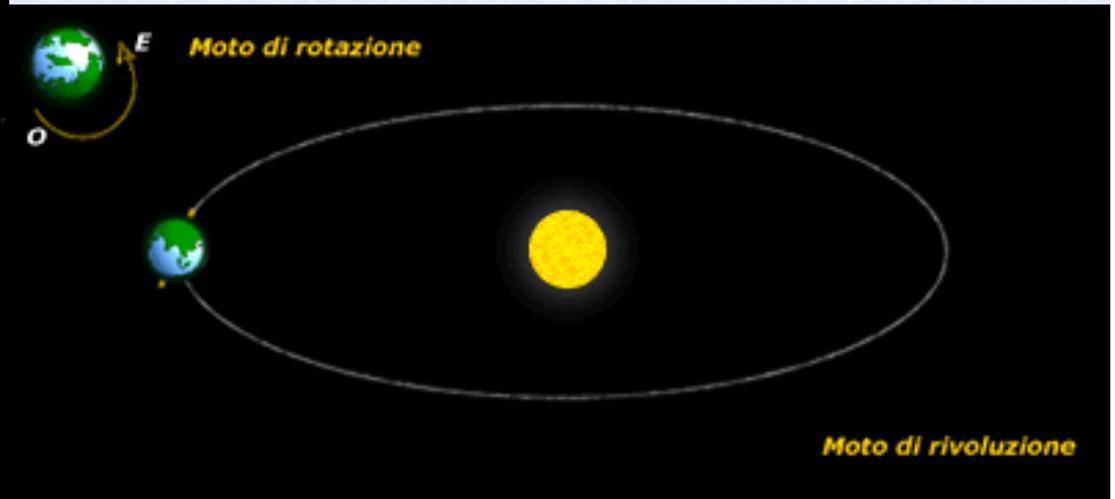
La Parallasse

Fenomeno per cui un oggetto sembra spostarsi rispetto allo sfondo se si cambia il punto di osservazione.

Parallasse diurna



Parallasse annua



La misura precisa della distanza Terra-Sole si ottenne utilizzando un suggerimento dell'astronomo inglese Edmund Halley (1656-1742)



Parallasse di Venere e distanza dalla Terra (1761)



Terza legge di Keplero

Calcolo delle distanze di tutti gli altri pianeti del sistema solare, e anche del Sole.

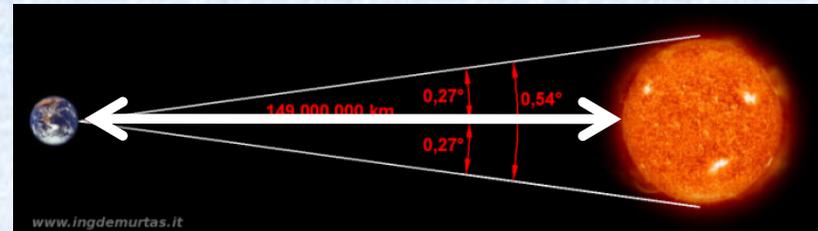
Distanza (Terra-Sole) \approx 150 milioni di km

Questa distanza si chiama

Unità Astronomica (U.A.)

Unità di misura astronomiche e loro conversione:

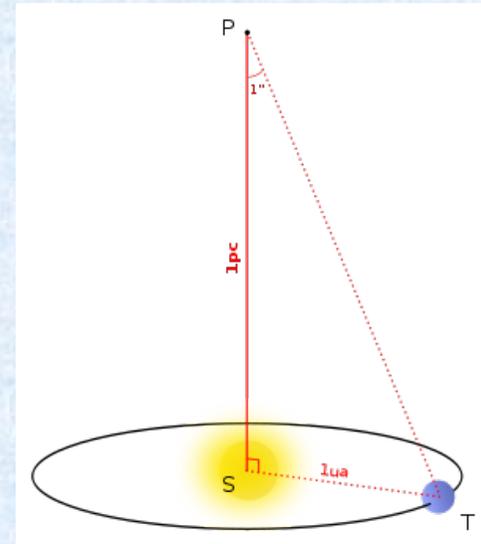
$$1 \text{ U.A.} = 149.600.000 \text{ km}$$



Definizione **anno luce** \longleftrightarrow distanza percorsa dalla luce in un anno
 $1 \text{ a.l.} = 63.240,6 \text{ U.A.} = 9.460.800.000 \text{ km}$

$$1 \text{ pc} = 3,26 \text{ a.l.} = 206.265 \text{ U.A.} = 30.860 \text{ miliardi di km}$$

Distanza di una stella che ha una parallasse annua di 1 secondo d'arco



LE STELLE

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



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

a Centauri

4 anni luce



Vediamo la luce emessa dalla stella nel 2009 !!

*2009 – Barack Obama diventa
Presidente degli Stati Uniti*



I cieli di Brera – 12 Giugno 2013

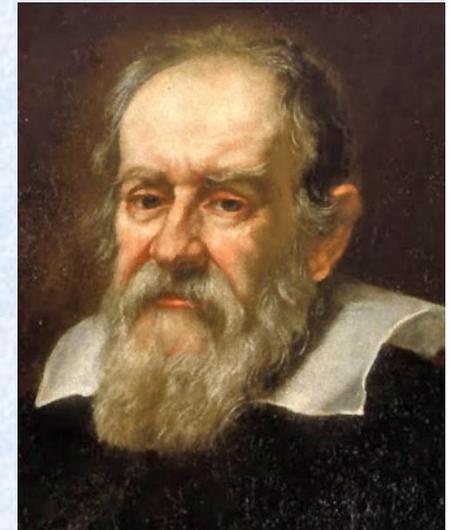
Pleiadi

Pleiadi



400 anni luce

1610
Galileo scopre
i satelliti di
Giove



© Anglo-Australian Observatory



Ammasso Aperto M11 ~ 3000 a.l.

I cieli di Brera – 12 Giugno 2013

Crab Nebula

6000 anni luce

4000 a. c.

**L'uomo usa
i pittogrammi
per comunicare
e ricordare**





30000 anni luce

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

I cieli di Brera – 12 Giugno 2013

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...*

Hubble Deep Field

HST WFC2

ST ScI OPO January 15, 1996 R. Williams and the HDF Team (ST ScI) and NASA

I cieli di Brera – 12 Giugno 2013

Distanze tipiche in tempo impiegato a percorrerle

Terra-Sole	~	8m.l.	~	1 U.A.
Terra-Plutone	~	660m.l.	~	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.		

Alcune relazioni importanti

$$F \propto 1/d^2$$

F = flusso di energia osservato
d = distanza della sorgente

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

m = magnitudine apparente

M = magnitudine assoluta

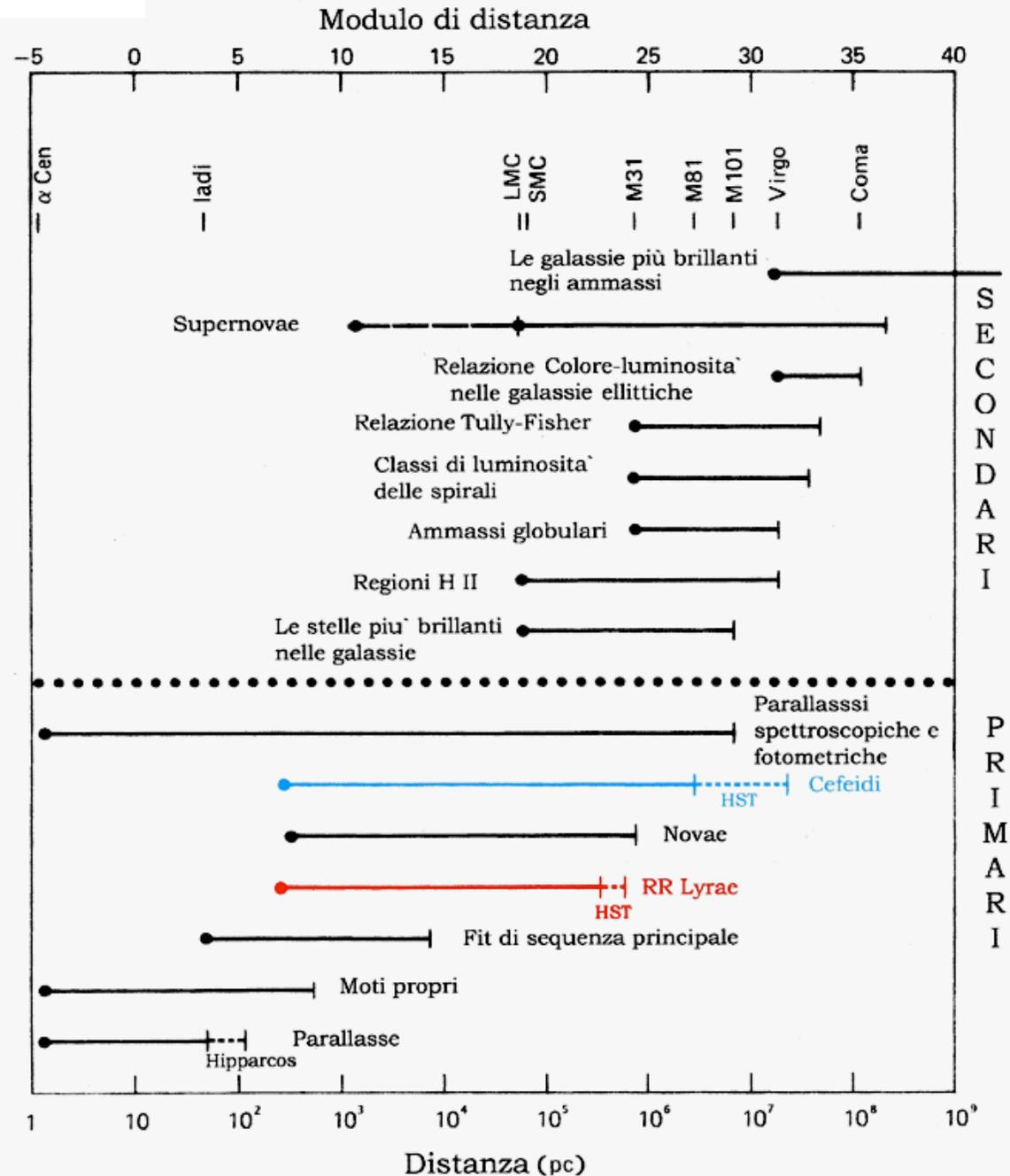
$$m - M = -2.5 \log(F/F_0)$$

Ma come si misurano le distanze?

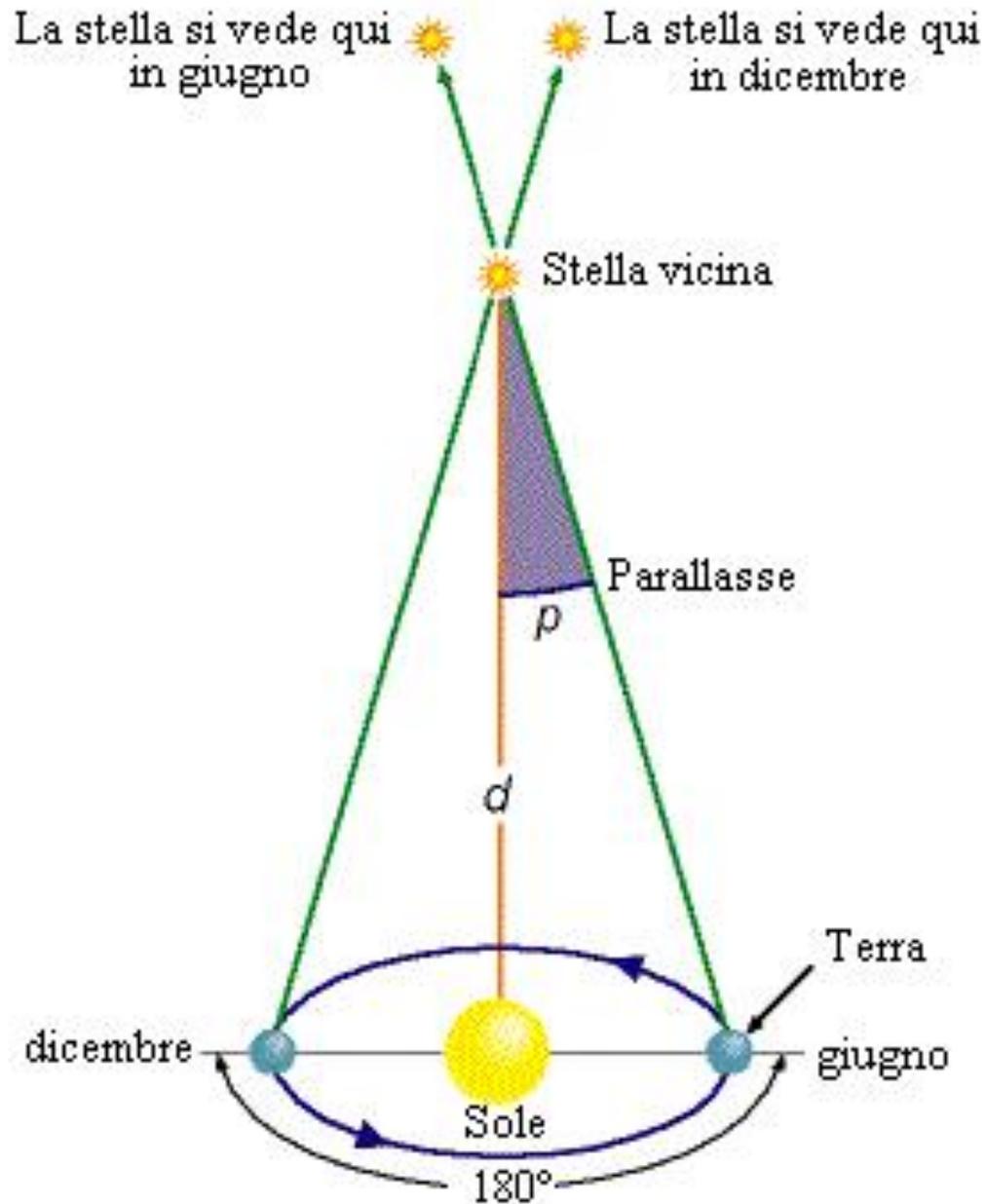
Scala delle distanze

La scala delle distanze è fatta di metodi di misura ed indicatori di distanza che si sovrappongono, a partire da quelli che possiamo calibrare direttamente perchè sono vicini.

- Tecniche radar
- Metodi geometrici
- Indicatori primari
- Indicatori secondari
- Applicabilità Legge di Hubble



Il metodo diretto : la parallasse trigonometrica



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

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

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

$$p \ll 1''$$

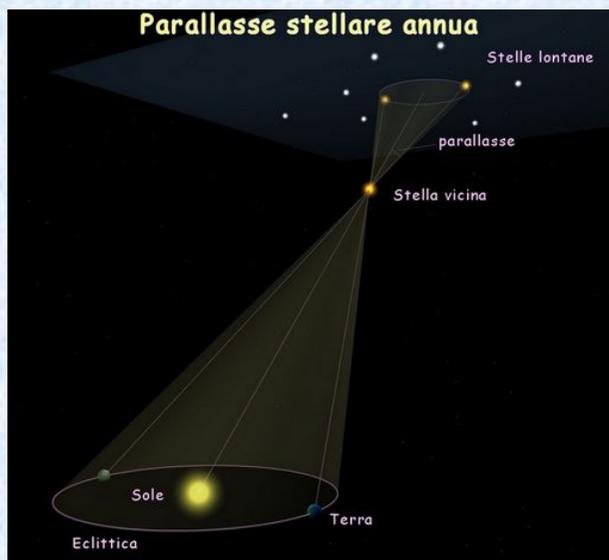
$$p_{\alpha \text{ Cen}} = 0.76''$$

$$0 < d \approx 100 \text{ pc} \\ > 300 \text{ anni luce}$$

Misura di parallasse

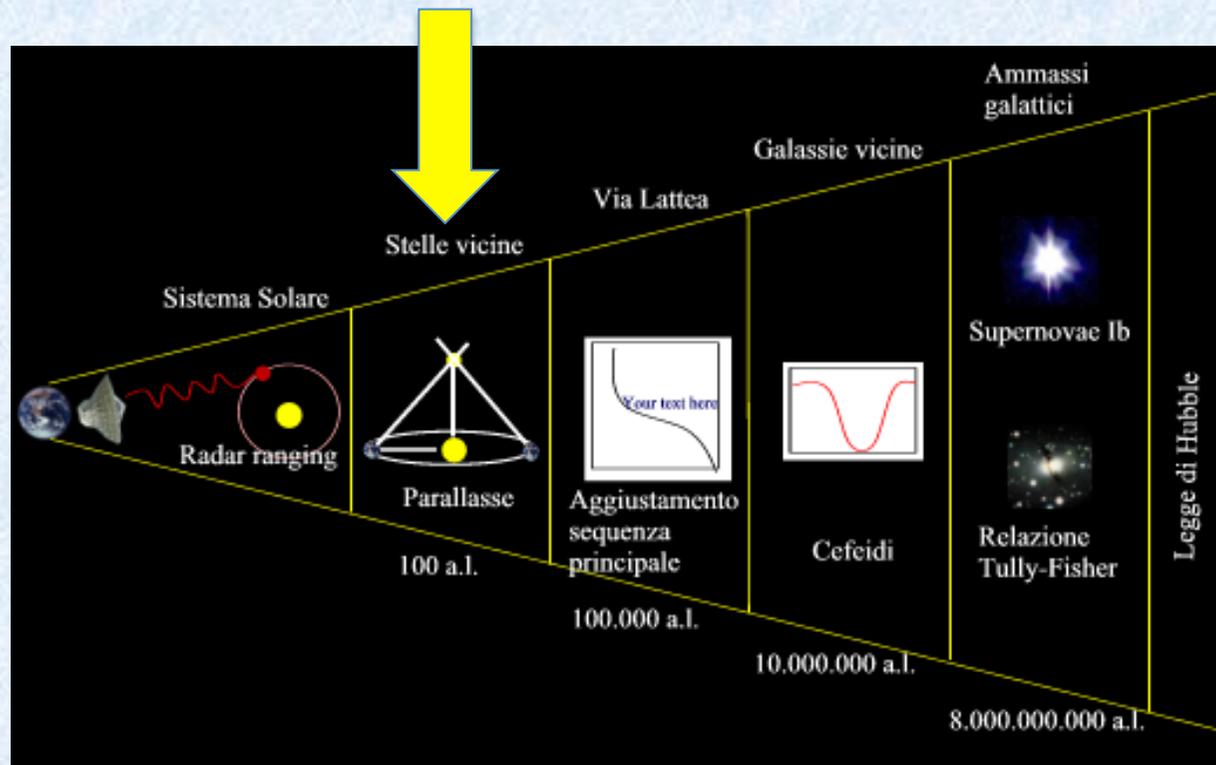


Misura di distanza



Perché è importante misurare parallassi trigonometriche accurate?

Insieme ad altri metodi diretti costituiscono il primo gradino della scala delle distanze astronomiche



Storia delle parallassi...

Friedrich Bessel 1838 - Parallasse di 61 Cygni



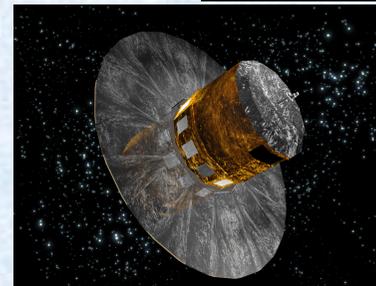
Edwin Hubble 1924 - Cefeidi in M31



Hipparcos 1989-1993- Parallassi di 0,001"



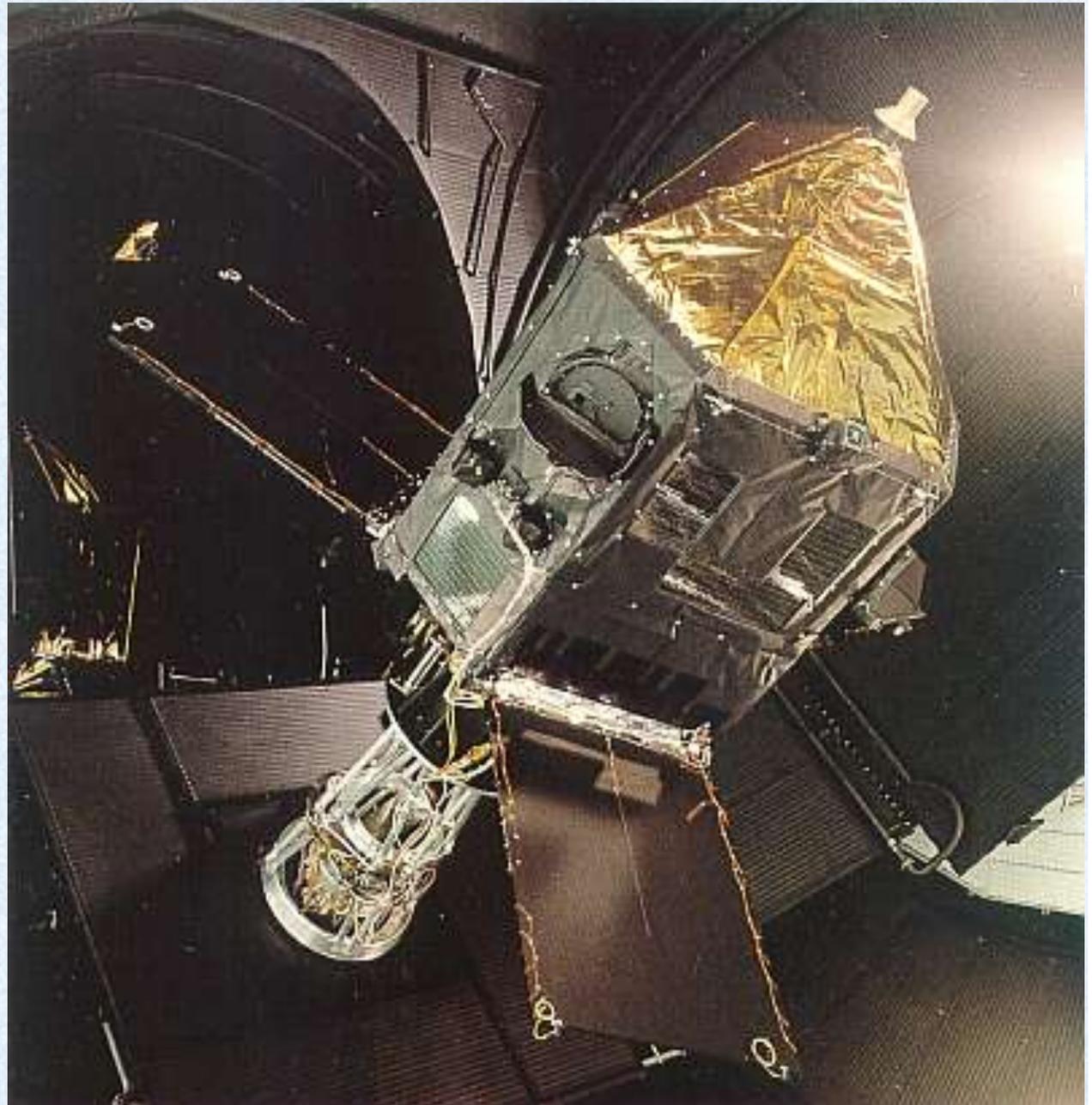
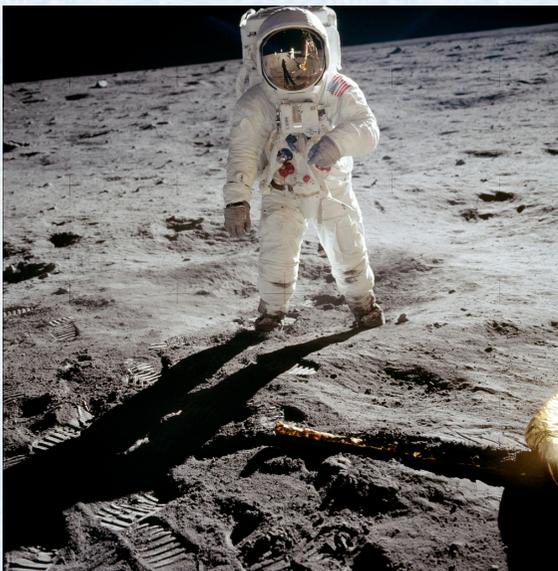
Gaia 2013 - Parallassi di 0,000001"



HIPPARCOS ... il passato recente

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 $0.001''$.

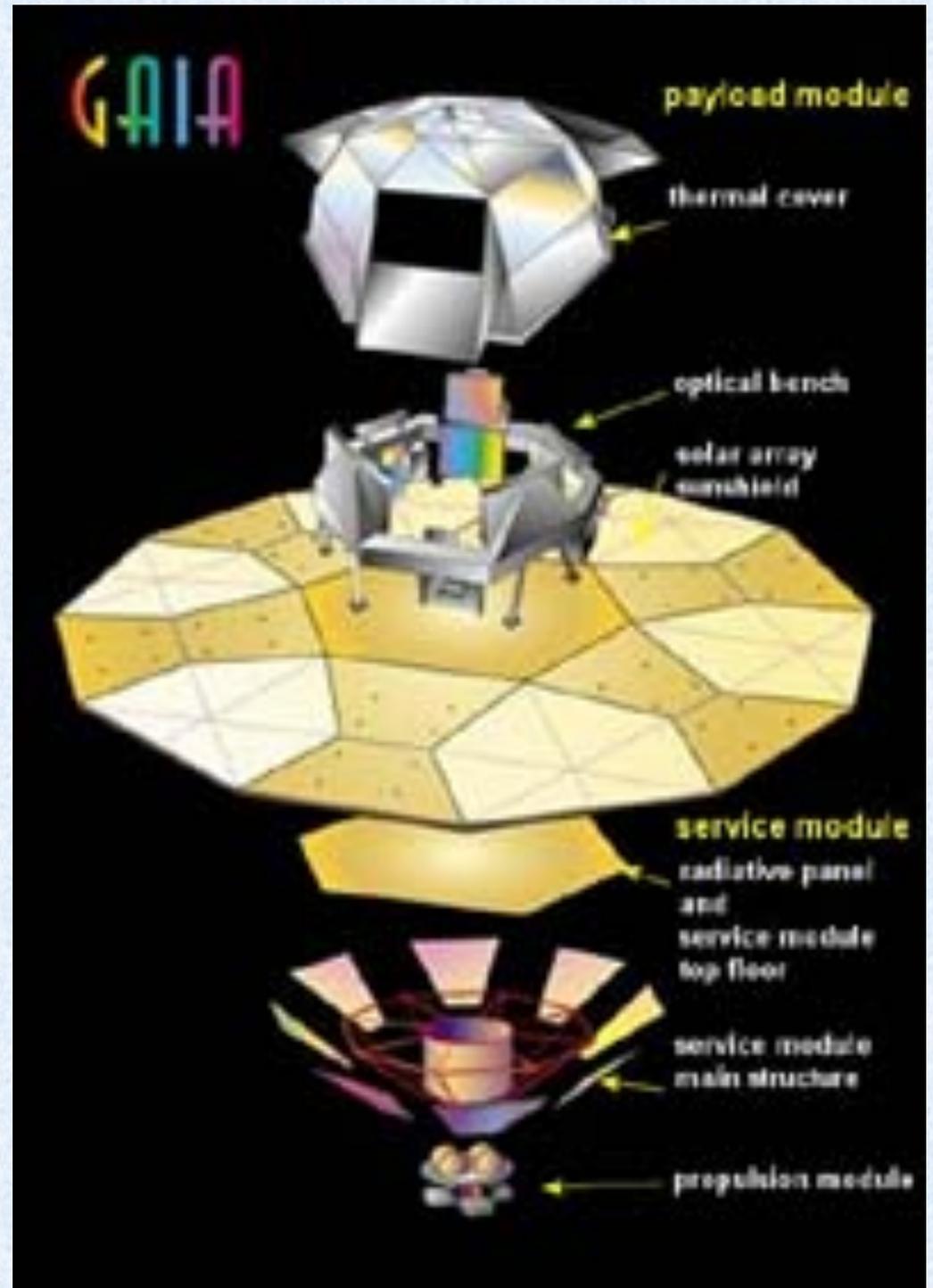
"Come vedere un astronauta in piedi sulla Luna"



GAIAil futuro molto vicino

Satellite astrometrico che verrà lanciato nel prossimo autunno. Misurerà le parallassi di 1 miliardo di stelle della nostra Galassia con magnitudine apparente V fino alla 20 e precisione di $1 \mu\text{arcsec}$ ovvero $0.000001''$ a $V=15$ mag.

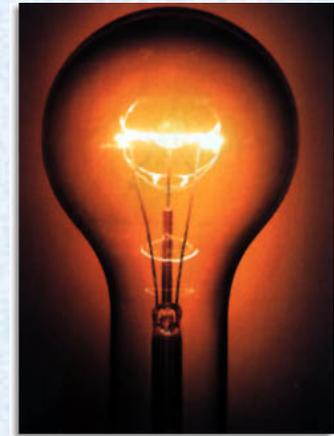
"Come vedere l'unghia di un astronauta sulla Luna"



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 luminosità nota, che costituiscono delle "**candele standard**".

Queste "**candele standard**" devono, però, essere accuratamente "calibrate".



100 Watt



Indicatori Primari

Indicatori Secondari
(calibrati sui primari)

Indicatori Primari



Le stelle variabili

Cefeidi $\sim 3 \times 10^7$ pc

RR Lyrae $< 10^6$ pc

Mira $\sim 10^7$ pc

Binarie ad eclisse

Novae $10^6 - 10^7$ pc

Stelle a luminosità costante

RGB Tip $\sim 10^7$ pc

Red Clump

Sequenza delle stelle in fase di combustione dell'idrogeno in ammassi aperti e globulari

(MS fitting)

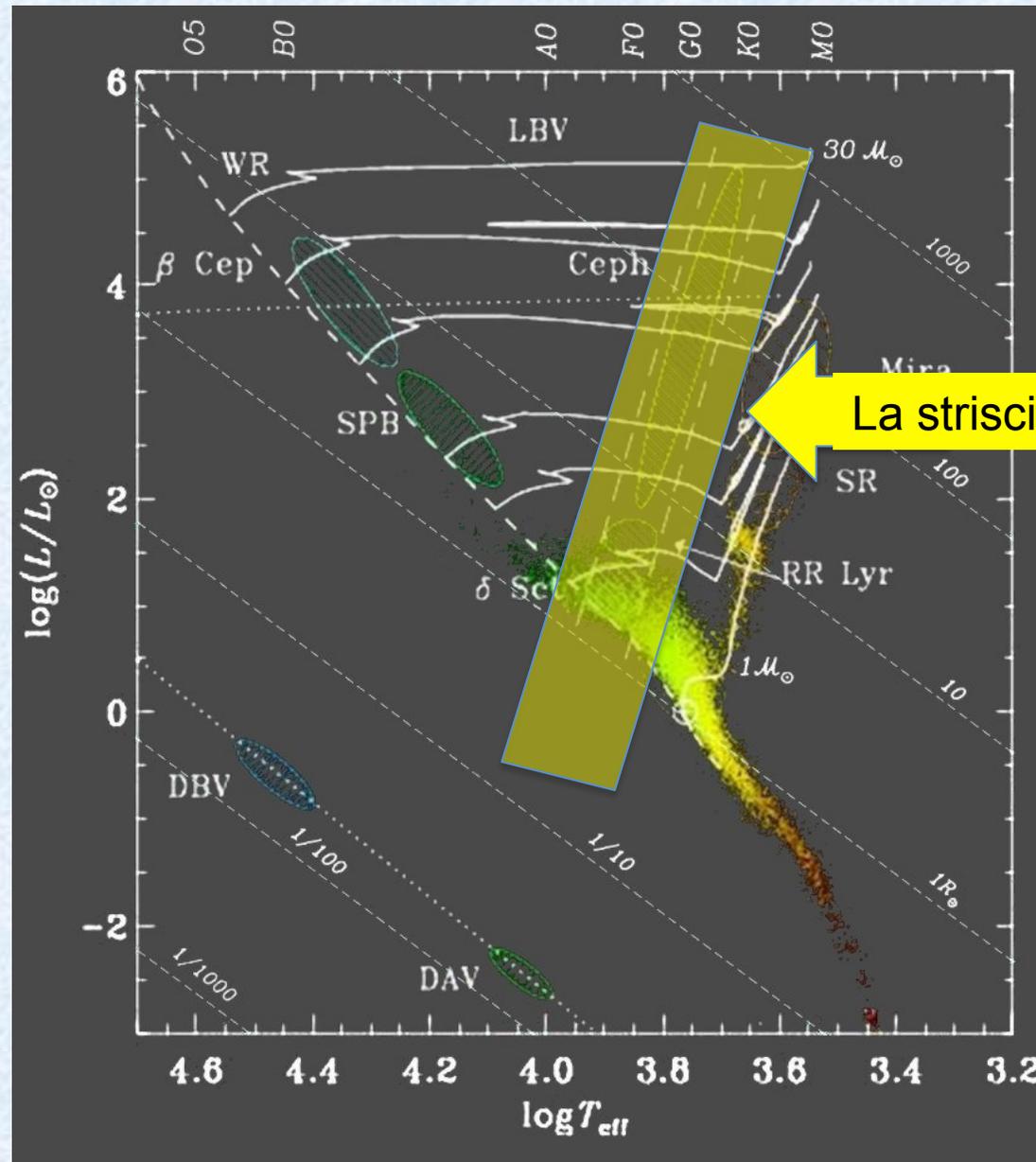
$40 < d < 7000$ pc

$3000 < d < 10000$ pc

Le Variabili Pulsanti



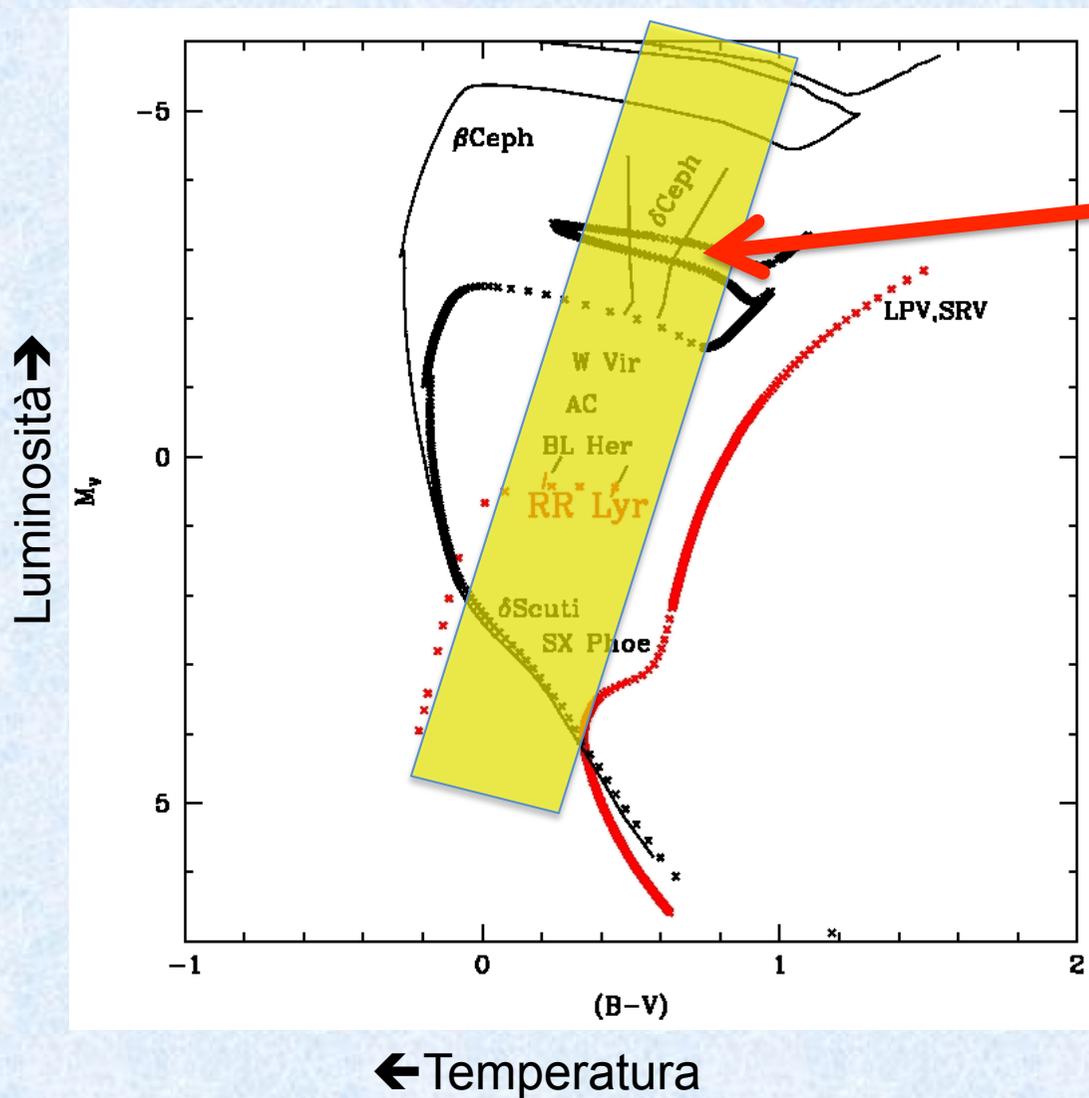
Le stelle variabili pulsanti in un diagramma Magnitudine-Colore o Luminosità-Temperatura



Le varie classi di Stelle Pulsanti

Class	Period (days)	M_V	Pop	Evo. Phase
δ Cephei (CC)	1 - 100(?)	-7(-8) \div -2	I	Blue Loop
δ Scuti (δ Sc)	< 0.5	2 \div 3	I	MS-PMS
β Cephei	< 0.3	-4.5 \div -3.5	I	MS
RV Tauri	30 - 100	-2 \div -1	I, II	post-AGB
Miras	> 100	-2 \div 1	I, II	AGB
Semiregulars (SR)	> 50	-3 \div 1	I, II	AGB
RR Lyrae (RRL)	0.2 - 1	\sim 0.5 \div 0.6	II	HB
W Virginis (Type2C)	10 - 50	-3 \div -1	II	post-HB
BL Herculis (Type2C)	< 10	-1 \div 0	II	post-HB
SX Phoenicis (SXPhe)	< 0.1	2 \div 3	II	MS
ACs	0.3 - 2.5	-2 \div 0	?	HB-turnover
SP Cepheids (SPC)	< 2	\leq 0.0	I	Blue Loop
LL Cepheids (LLC)	0.55 - 0.65	\leq 0.4	?	?

Le Cefeidi



Sono da 3 a 12 volte più
massicce del sole

e da 1000 a oltre 10000 volte
più luminose

Con periodi di oscillazione da 1
a 100 giorni

Le Cefeidi

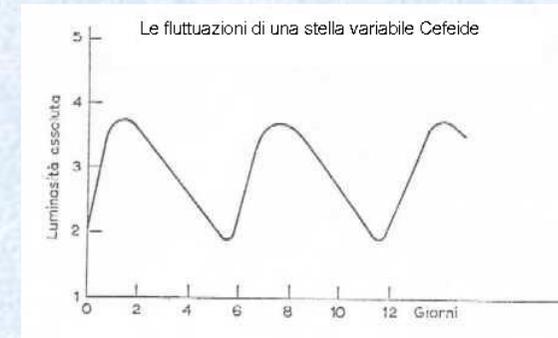
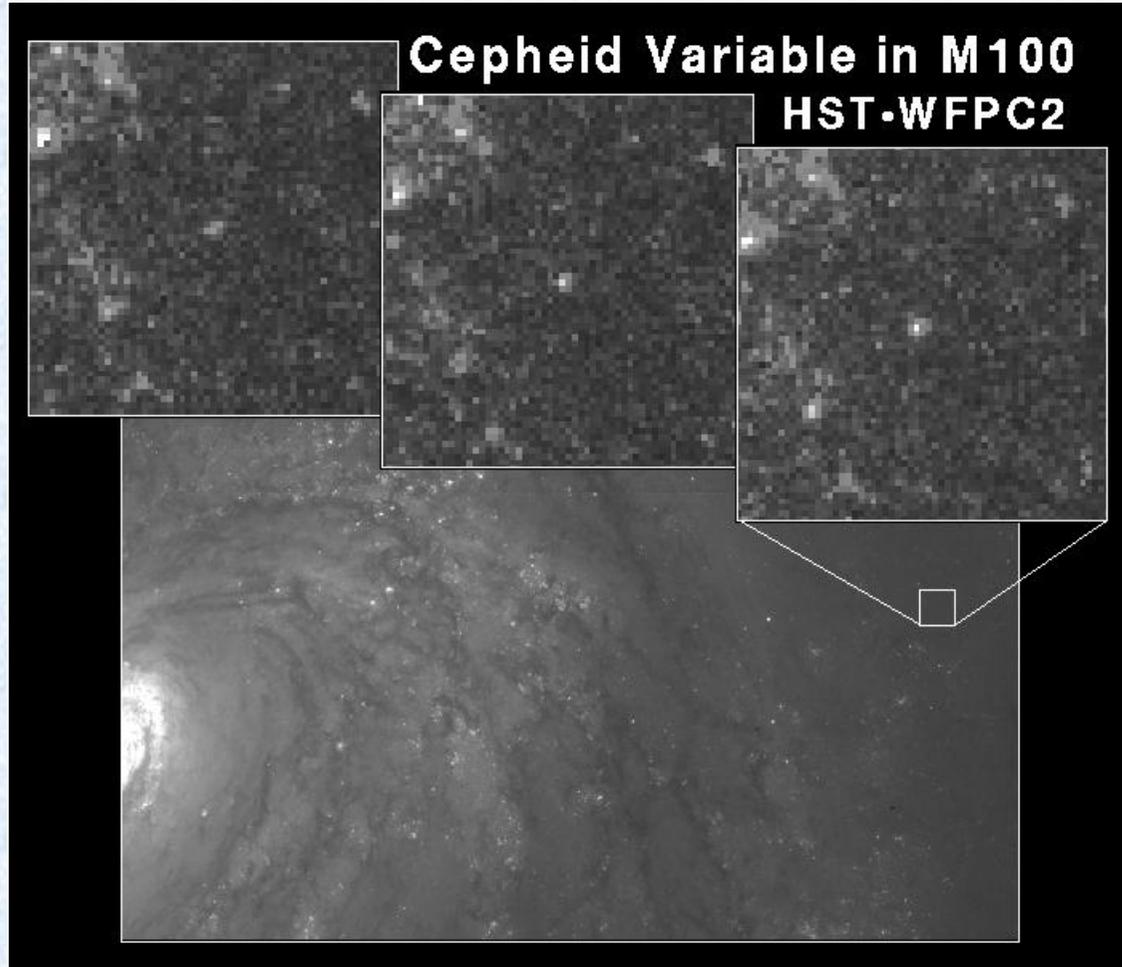
1912. H. Leavitt scopre una correlazione fra magnitudine assoluta e il periodo di variabilità delle stelle variabili Cefeidi, aprendo la strada per il loro impiego come **indicatori di distanze** extragalattiche

↓
Relazione **PL**

Luminosità

Periodo

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



Periodi più lunghi ↔ Variabili più luminose

Cefeidi Classiche

Misuro il periodo di oscillazione

Misuro la magnitudine (luminosità) apparente

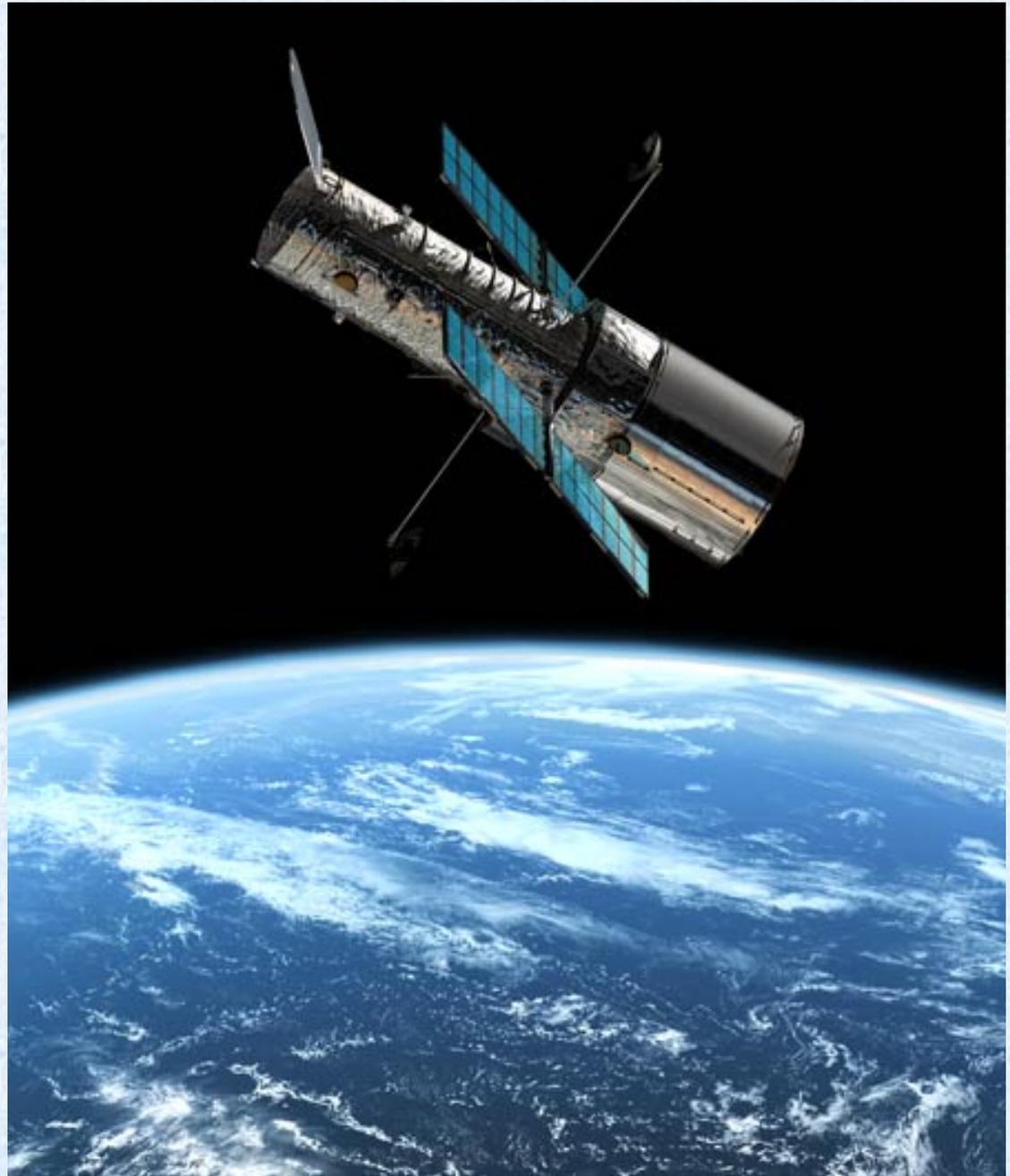
Ricavo la **luminosità vera** cioè la magnitudine assoluta dalla relazione PL

Dalla differenza tra magnitudine apparente e assoluta ricavo la **distanza**

Cefeidi

*L' Hubble Space
Telescope*

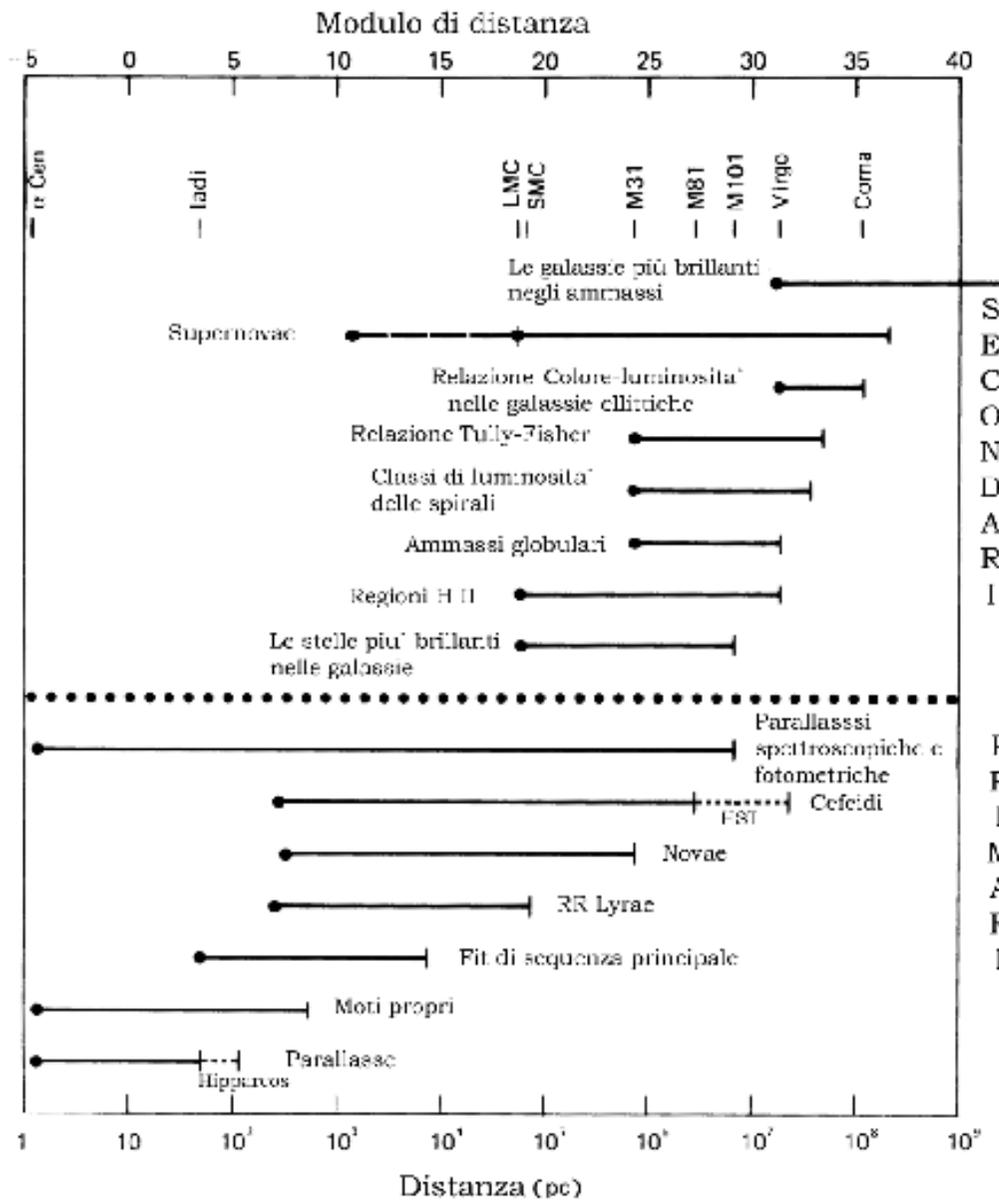
Key Project ha osservato
le Cefeidi in 31 galassie
con distanze:
 $700 \text{ Kpc} < d < 20 \text{ Mpc}$



Gli indicatori di distanza primari sono tipicamente utilizzati per:

- 1) Stimare la distanza della Grande Nube di Magellano
- 2) Calibrare gli indicatori secondari

Distanza della Grande Nube di Magellano



distanza = 50 ± 2 pc

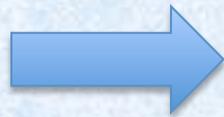
Principali **Indicatori Secondari**

Stelle più brillanti nelle galassie	$\sim 8 \times 10^6$ pc
Le regioni H_{II} più brillanti	$\sim 2 \times 10^7$ pc
La funzione di L degli ammassi globulari	$\sim 10-20 \times 10^6$ pc
Le fluttuazioni di brillantezza superficiale (SBF)	$\sim 7 \times 10^7$ pc
La relazione di Tully-Fischer	$\sim 15 \times 10^7$ pc
La relazione <i>Dn-sigma</i> nelle galassie ellittiche	$\sim 10^8$ pc
Supernovae	$\sim 10^8$ pc



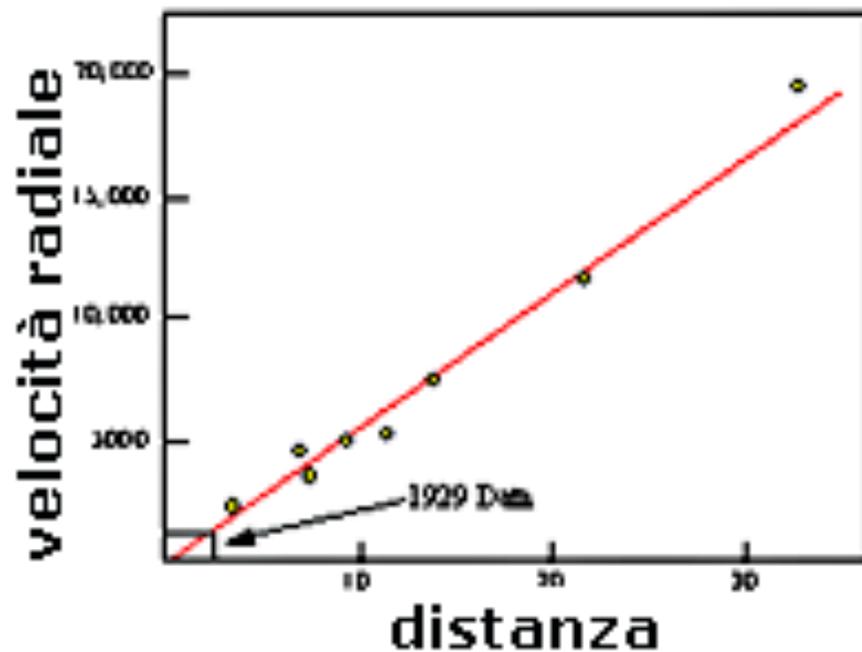
Distanze ≈ 100 Mpc

Principali **Indicatori Secondari**



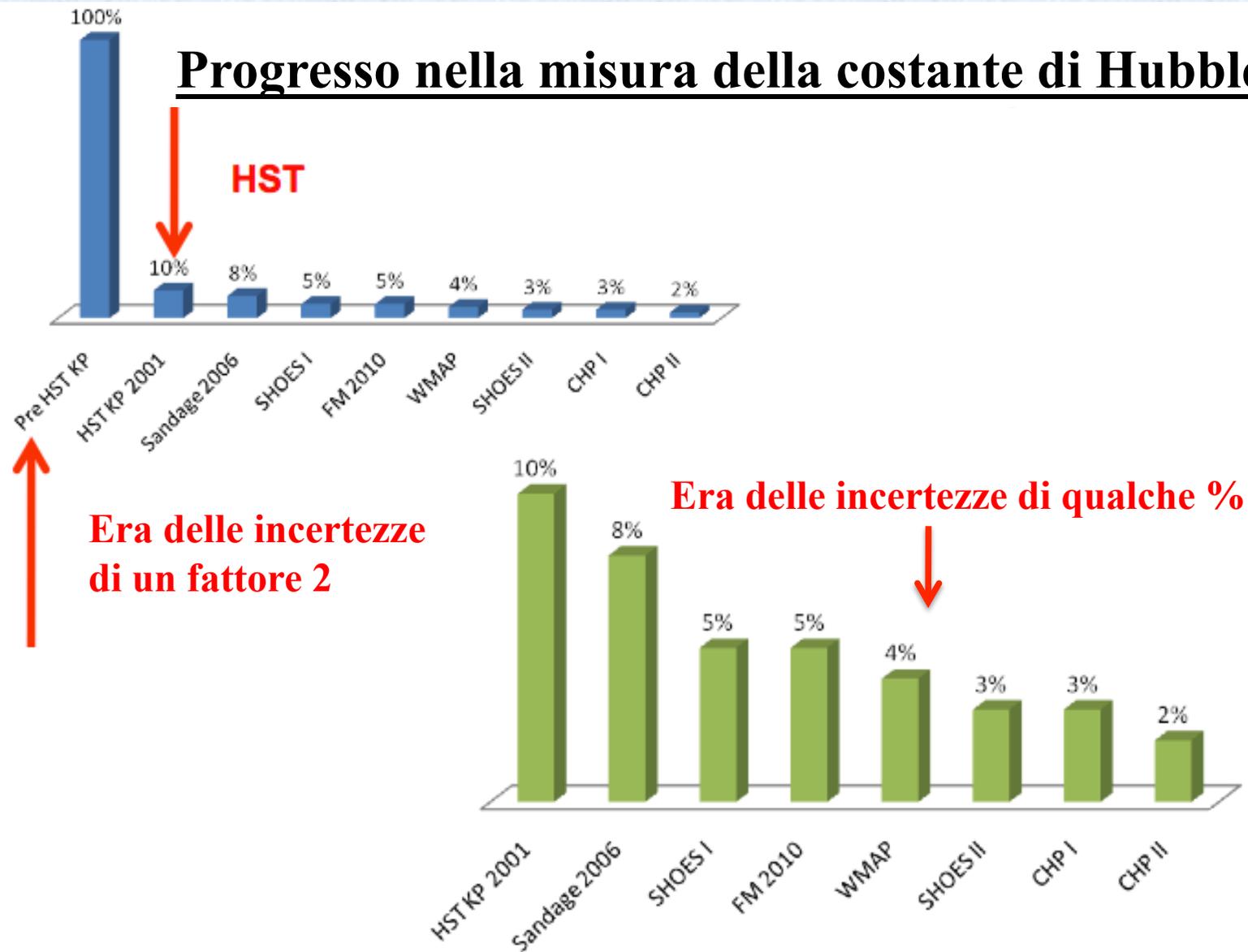
Distanze \approx 100 Mpc

Hubble & Humason (1931)



A queste distanze vale la **Legge di Hubble: $v=H_0 d$** dove **H_0** è la **costante di Hubble**.

Progresso nella misura della costante di Hubble



$$H_0 = 73.8 \pm 2.4 \text{ Km/sec/Mpc (Riess et al. 2011)}$$



Come si inserisce la missione *Gaia*
in questo contesto ?

La missione GAIA



Il Satellite Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics) è un satellite spaziale astrometrico sviluppato dall'Agenzia Spaziale Europea.

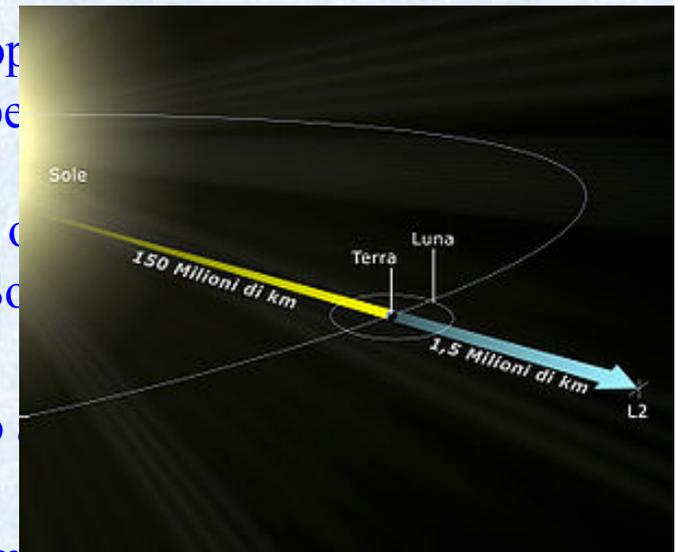
Il lancio è previsto dall'ESA per l'autunno 2013, e il satellite orbita in un'orbita di Lissajous attorno al secondo punto lagrangiano del sistema Sole-Terra.

Gaia compilerà un catalogo di circa un miliardo di stelle fino a una distanza di 130 mila anni luce.

Il satellite determinerà la posizione esatta di ogni stella in tempi diversi durante la durata operativa prevista (cinque anni con una possibile estensione di un ulteriore anno).

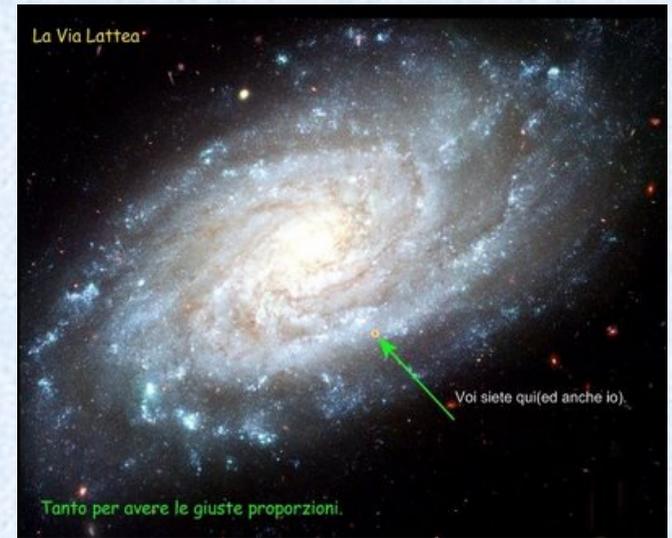
Sfruttando l'effetto della parallasse calcolerà la distanza di ognuna delle stelle, con una precisione maggiore per quelle più vicine e luminose.

Effettuerà anche misure fotometriche a diverse lunghezze d'onda e in diversi periodi temporali degli oggetti, e sarà in grado di determinarne la velocità radiale.

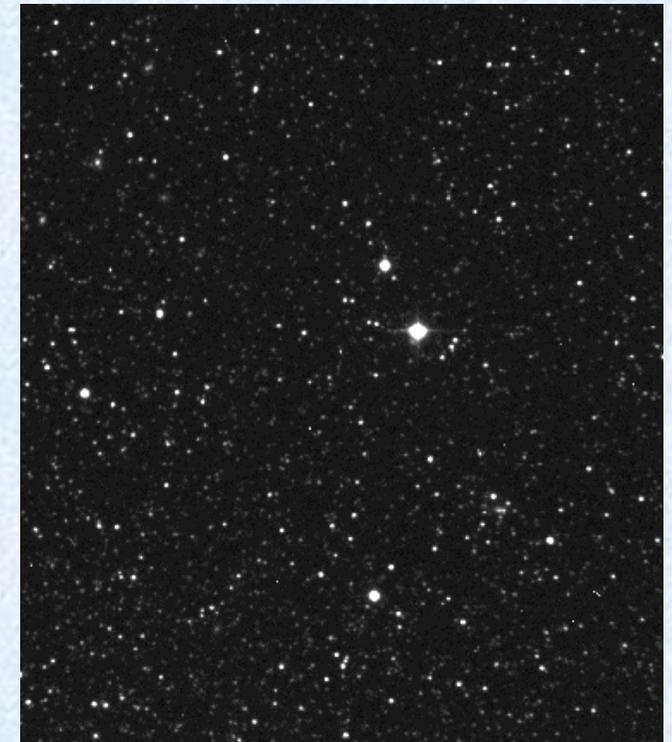




mapa tridimensionale molto precisa della porzione di Galassia vicina a noi.



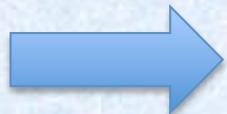
Informazioni sulla composizione e sulle caratteristiche delle stelle osservate.





Identificazione di eventuali pianeti extrasolari

Si stima che entro il termine della missione, previsto per il 2018, sarà possibile individuare circa 8000 pianeti extrasolari e circa 1000 sistemi solari



Alla massima distanza per cui sarà possibile osservarli (200 parsec) pianeti di 2-3 masse gioviane distanti tra 2 e 4 UA dalla loro stella

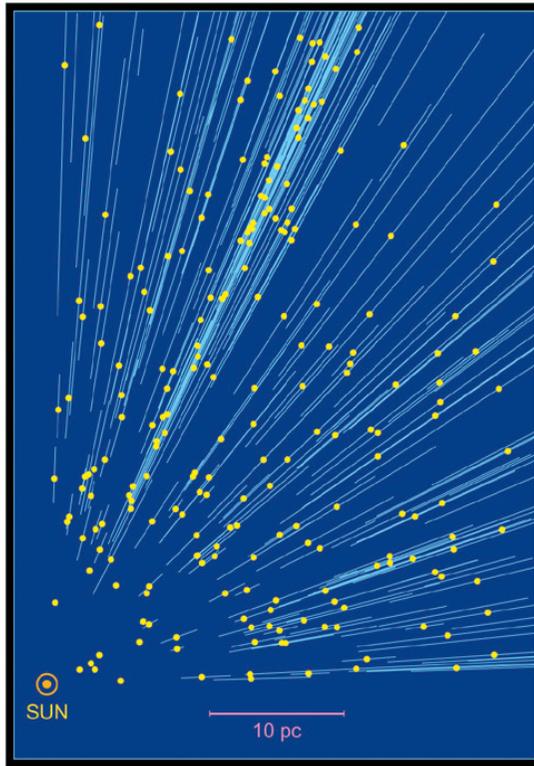


A distanze intorno a 25 pc pianeti di massa simile a Saturno (95 masse terrestri) a distanza compresa tra 1 e 4 UA

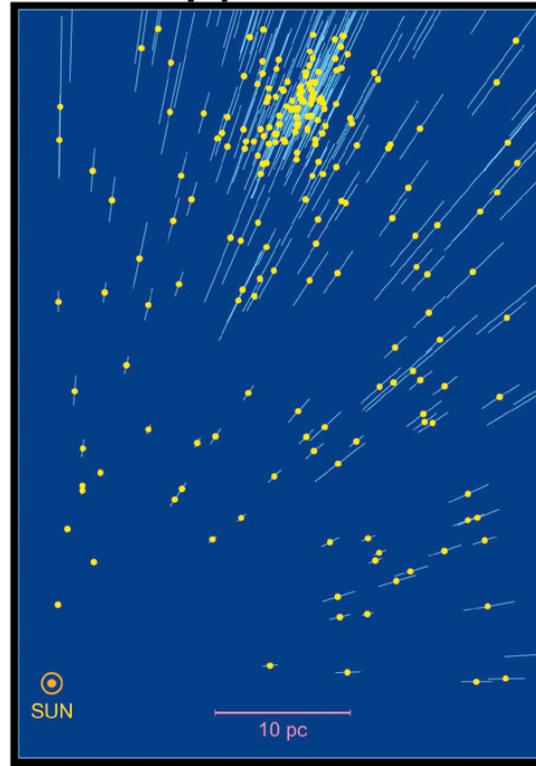


Accuratezza astrometrica

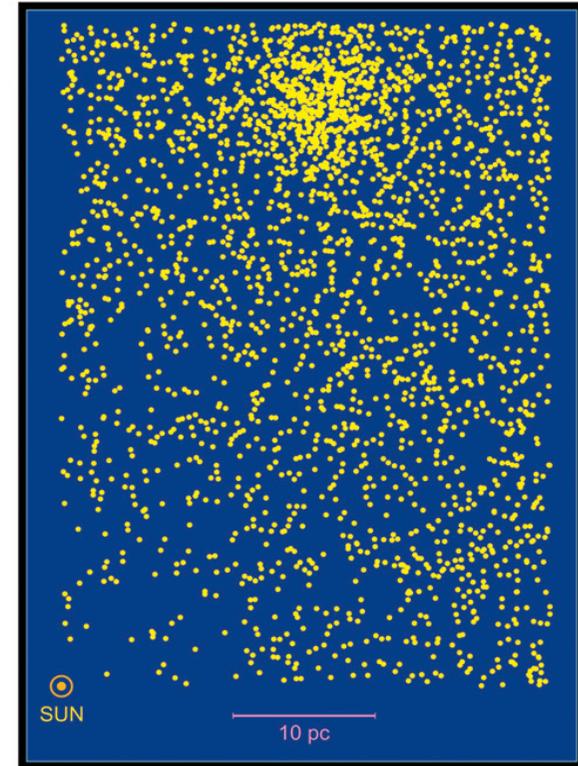
Ground



Hipparcos



Gaia



Nell'ammasso delle Pleiadi Gaia fornirà parallassi accurate allo 0.1 %

Le Cefeidi della Via Lattea e Gaia

~ 800 Cefeidi sono note nella Via Lattea - la maggior parte nelle vicinanze del Sole

fino a ~ 9000 saranno scoperte da Gaia !!

La maggior parte (~ 3/4) delle Cefeidi Galattiche avrà parallassi individuali Gaia con errore < 3%

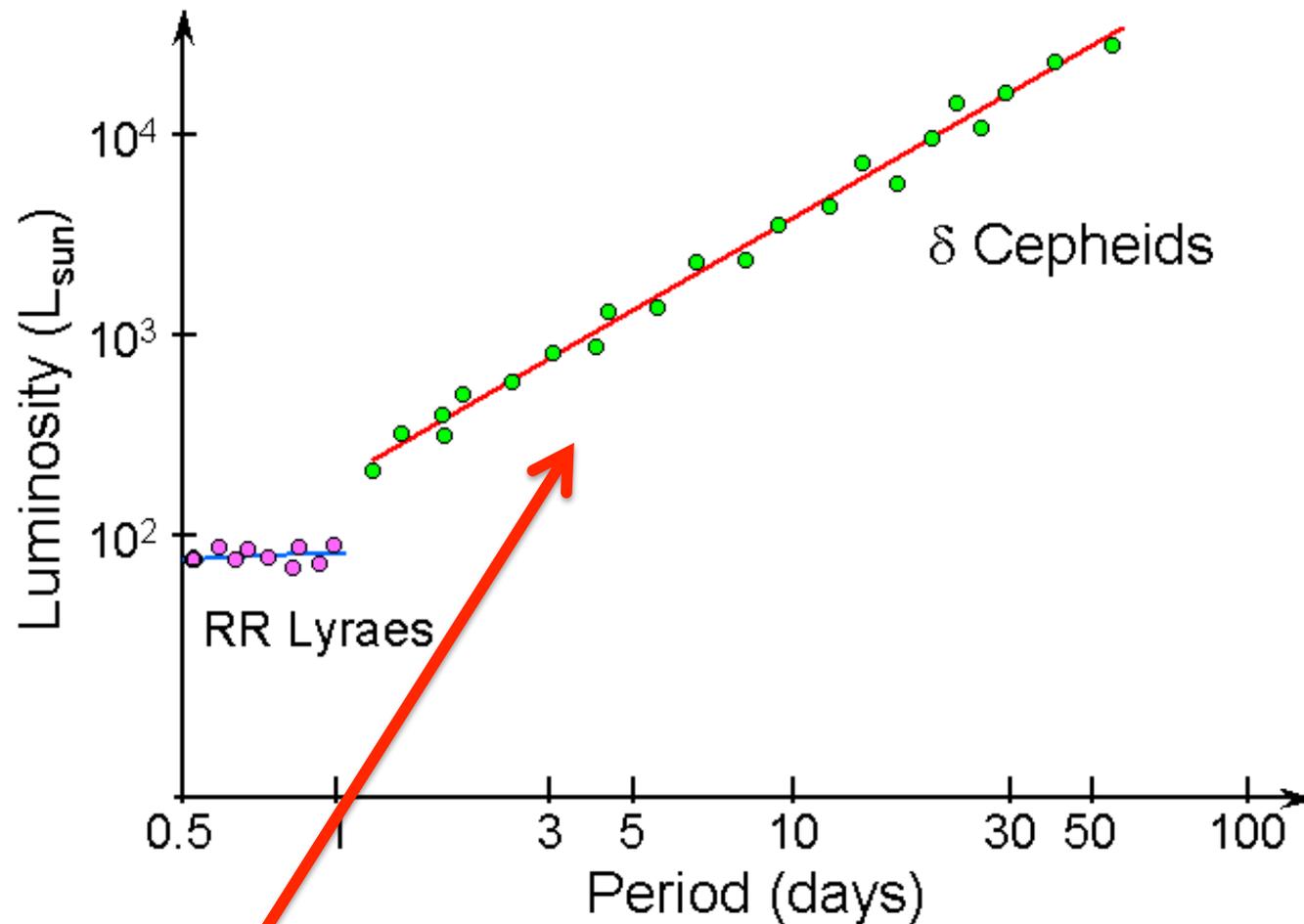
Le Cefeidi delle Nubi di Magellano e Gaia

~ 3300/2100 Cefeidi sono note (e osservabili da Gaia)
nella Grande e nella Piccola Nube di Magellano

-
→ Distanze individuali per la maggioranza delle Cefeidi

-
→ Per 400 Cefeidi le distanze stimate con GAIA avranno
precisione media al 7-8 %

Period-Luminosity Relationship



→ Calibrazione trigonometrica diretta della relazione PL delle Cefeidi e quindi della SCALA DELLE DISTANZE COSMICHE !!

Riassumendo: con la missione Gaia....

Mapa tridimensionale estremamente precisa delle stelle nella Via Lattea e studio accurato dei loro moti → informazioni sull'origine e l'evoluzione successiva della nostra Galassia

La maggior parte delle Cefeidi nella Via Lattea avrà distanze note al 3%

Per 400 Cefeidi nelle Nubi di Magellano distanze note ~ 7-8 %

→ Calibrazione trigonometrica diretta della relazione Periodo-Luminosità e quindi di tutta la **SCALA DELLE DISTANZE COSMICHE !!**

→ Calibrazione della scala delle distanze della popolazione vecchia



Grazie !