

La Misura del Mondo

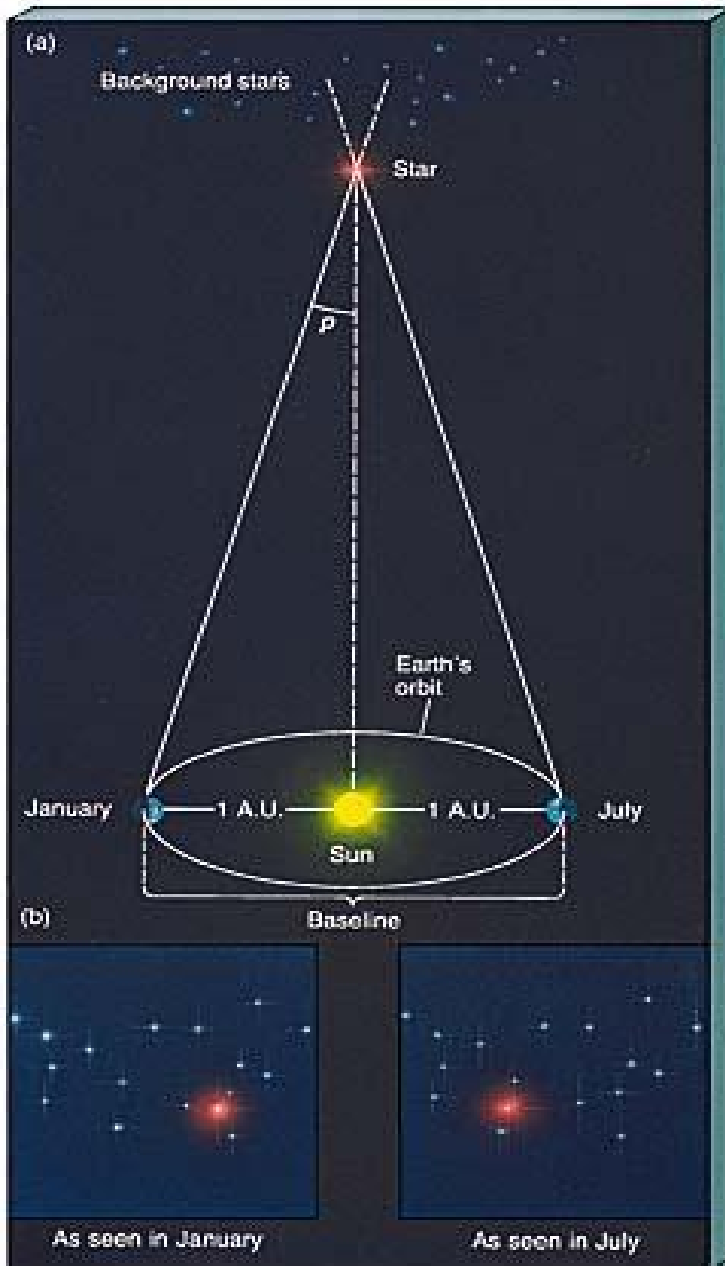
5 - Oltre il sistema solare



Bruno Marano
Dipartimento di Astronomia
Università di Bologna

Bruno Marano
La misura del Mondo 5

Parallassi stellari



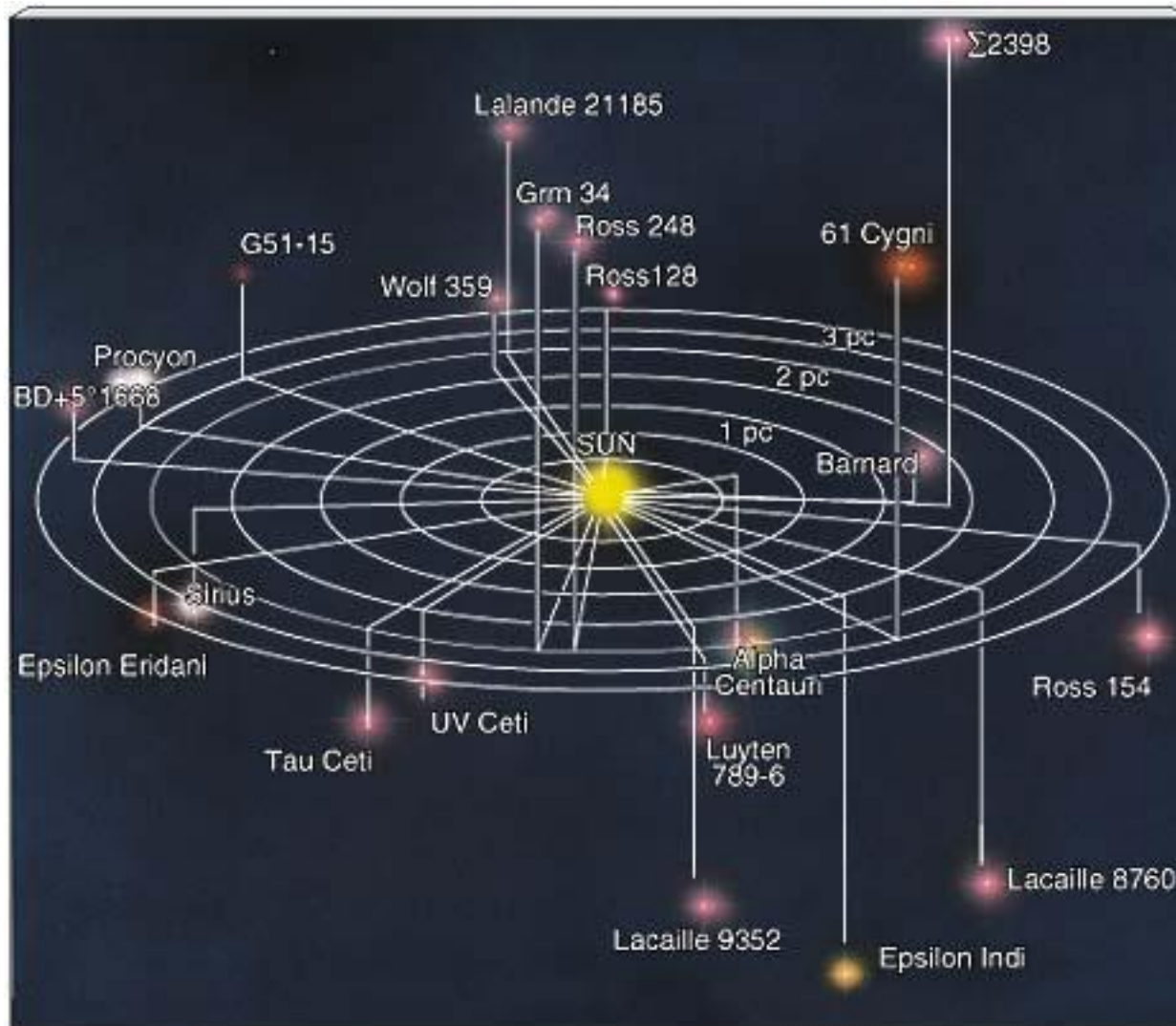
- La base della triangolazione è l'orbita della terra attorno al sole (a = semiasse maggiore)
- Distanza = $a/\text{tang}(p)$
- Misurando p in sec. d'arco (π'') Distanza = $a \times 206000 / \pi''$
- Definizione:
 $\pi'' = 1.''00 \rightarrow$ distanza = 1 Parsec = $a \times 206000$
- Prima parallasse misurata: 1838, Bessel, 61 Cygni, $\pi = 0.''30$
- La stella più vicina, Proxima Centauri, ha parallasse $0.''7$; distanza = $1/0.7 = 1.3$ pc
- Il limite alla misura di angoli è tra $0.''01$ e $0.''001$: possiamo **misurare** la distanza delle stelle in una sfera di raggio 100 parsec o poco più.

Le stelle piu' brillanti e piu' vicine

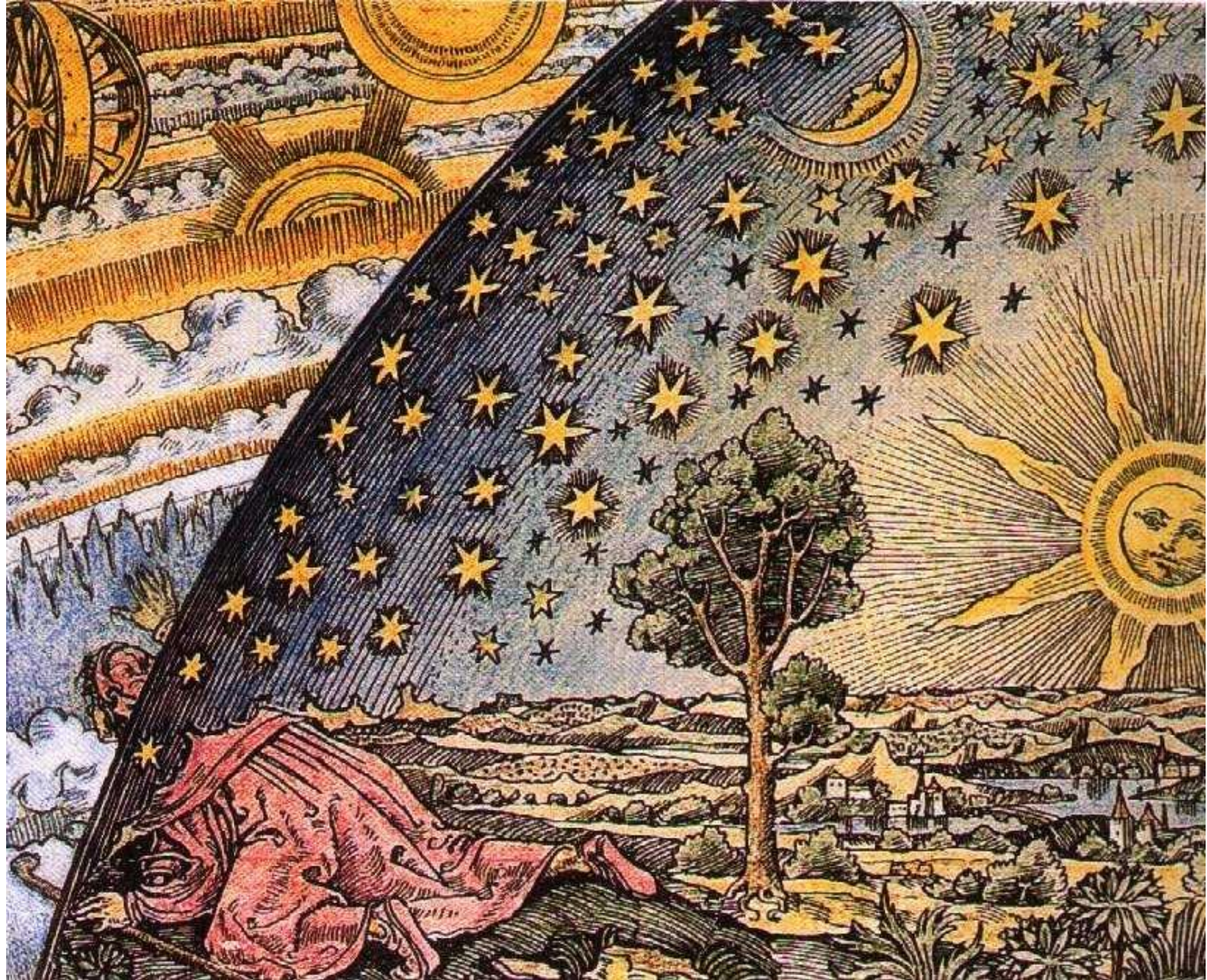
- Sirio.....9 a.l. = 2.7 pc
- Arturo.....34 a.l. = 10.3pc
- Alfa Cen.4 a.l. = 1.3 pc
- Vega.....25 a.l. = 7.5 pc
- Betelgeuse.....1400 a.l. = 430 pc
- Antares.....522 a.l. = 160 pc

a.l. = anno luce; pc = parsec

Le stelle più vicine al sole



Bruno Marano
La misura del Mondo 5



La struttura del sistema di stelle: La natura della Via Lattea (o Galassia)

Galileo, col primo telescopio, osservò che la tenue luminosità della Via Lattea era costituita da tante singole stelle.

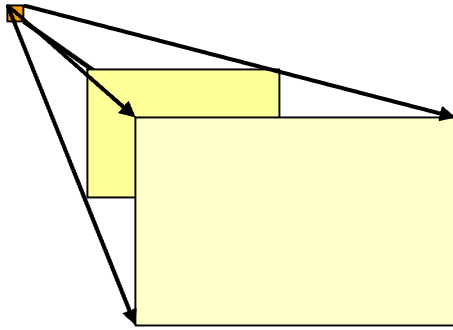


La galassia



Luminosità intrinseca e apparente

L = Luminosità intrinseca = energia totale emessa al secondo dalla stella (watt) (energia totale emessa *là*).



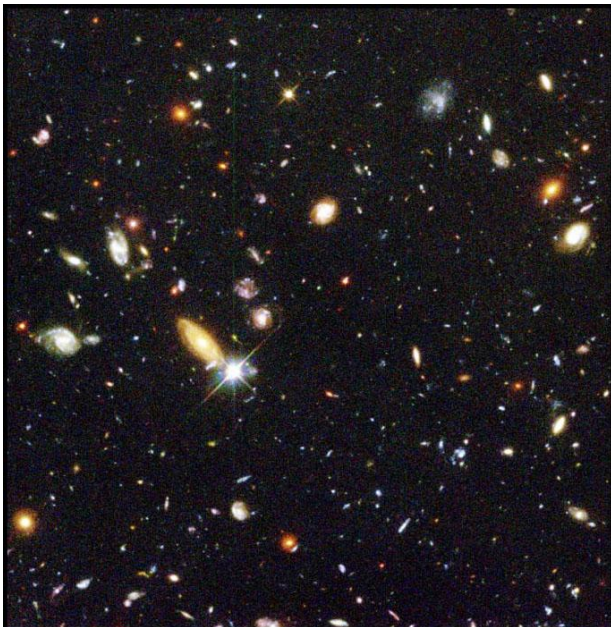
Man mano che la luce si espande nello spazio, una superficie fissata intercetta una frazione di quell'energia che diminuisce al crescere dell'area su cui quell'energia “si spande”, cioè col quadrato della distanza.

La luminosità *apparente* l (watt/m² che osservo *qua*), a distanza R dalla stella sarà data da:

$$l = L / 4\pi R^2 \text{ (“legge del quadrato della distanza”)}$$

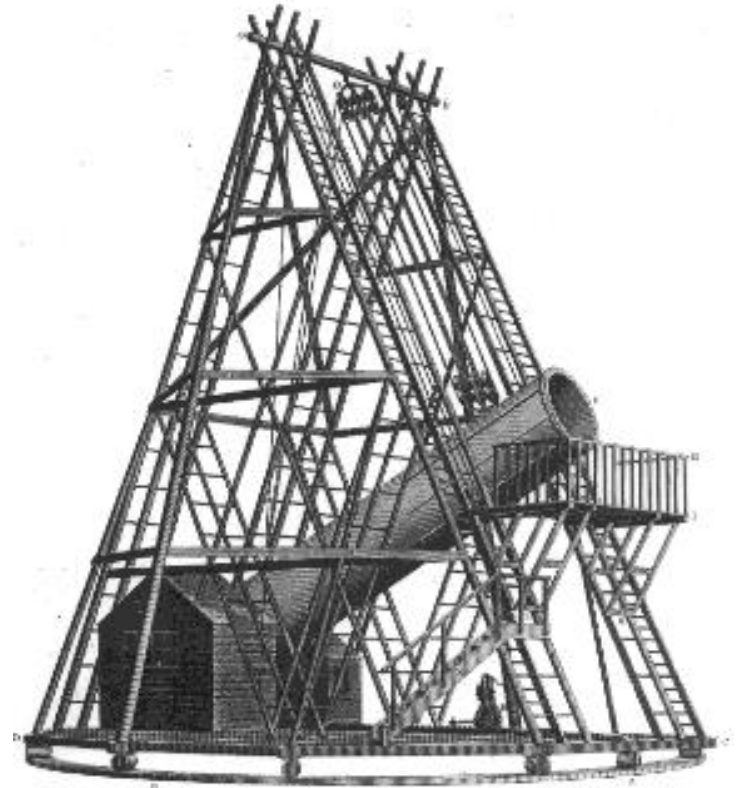
- La luminosità apparente di una sorgente nota può essere usata per misurarne la distanza
- Se l_{lim} è la più debole luminosità apparente che posso osservare, la distanza massima a cui posso osservare una stella di luminosità intrinseca L è:

$$R = (1/4\pi)^{1/2} \cdot (L / l_{\text{lim}})^{1/2}$$

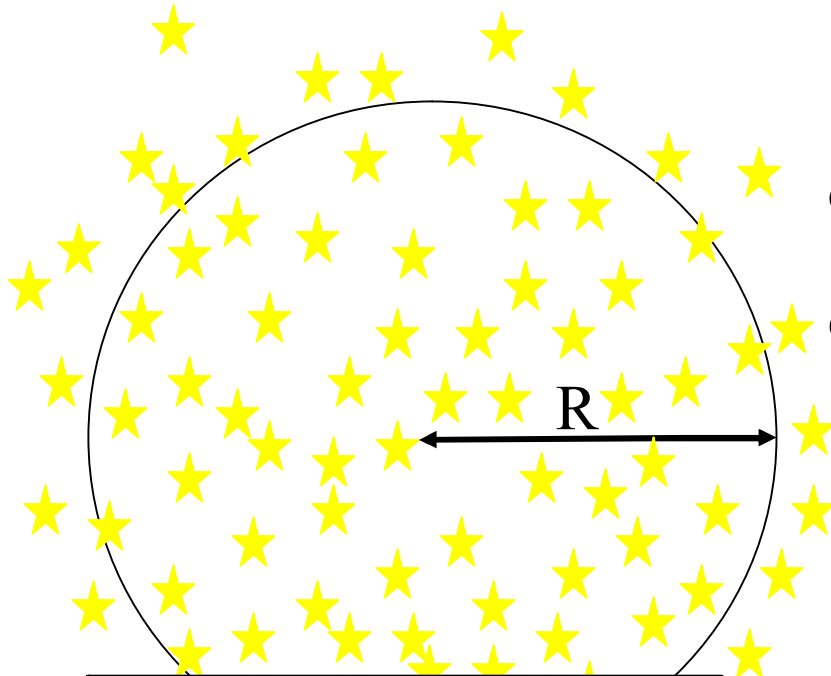


Approccio statistico (Herschel , 1785)

- Costruì il più grande telescopio dell'epoca
- Scopri Urano
- Valutò che era possibile definire la struttura dell'Universo attraverso un approccio statistico, rinunciando a conoscere la distanza delle singole stelle



Un approccio statistico



(Si dimostra, con un poco di matematica, che la relazione funziona anche se le Stelle hanno luminosità diverse, ma la stessa “funzione di luminosità”)

Se tutte le stelle fossero uguali e distribuite in modo uniforme, quante ne vedrei fino ad una luminosità apparente l ?

$$N = n \frac{4\pi R^3}{3}$$

con n = densità di stelle (numero per m^3 !?).

e $R = \sqrt{\frac{L}{4\pi l}}$

Segue $N = (4\pi n L^{3/2}/3) \cdot l^{-3/2}$

Andamento “Euclideo”

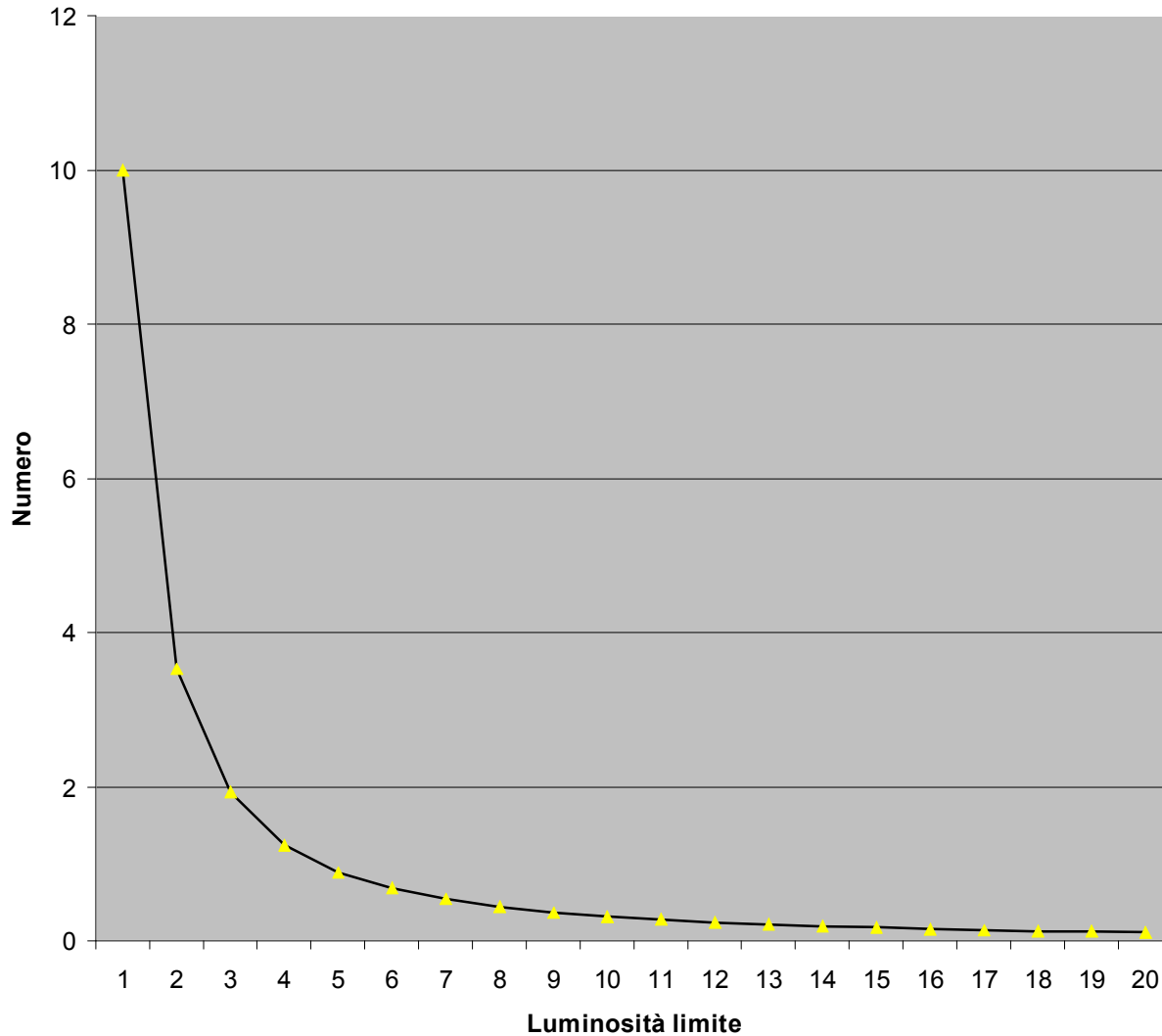
Con n e L costanti

$$N = k \cdot l^{-3/2}$$

ovvero

$$\text{Log } N = \text{Log } k - 1,5 \text{Log } l$$

Conteggi euclidei



$$N = k \cdot l^{-3/2}$$

E' una rappresentazione
“scomoda”, leggibile solo in
un piccolo intervallo!

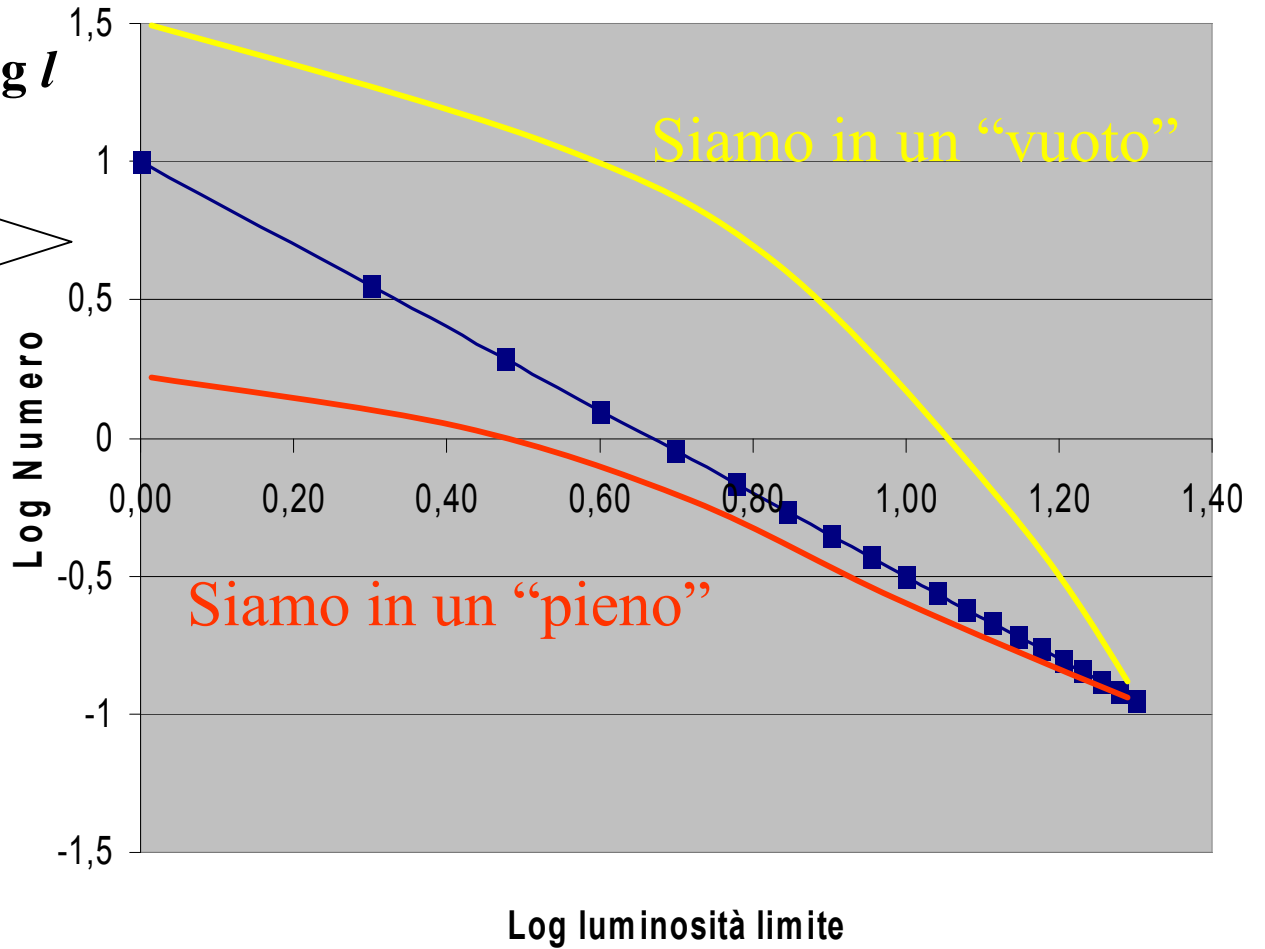
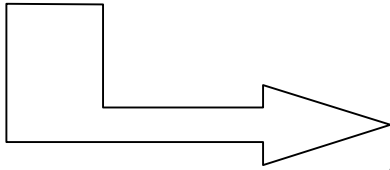
Meglio i logaritmi!

$\text{Log} N = \text{Log} k - 1,5 \text{Log} l$
(è l'equazione di una
retta: **$y = n - mx$**)

Si vede nel prossimo
diagramma

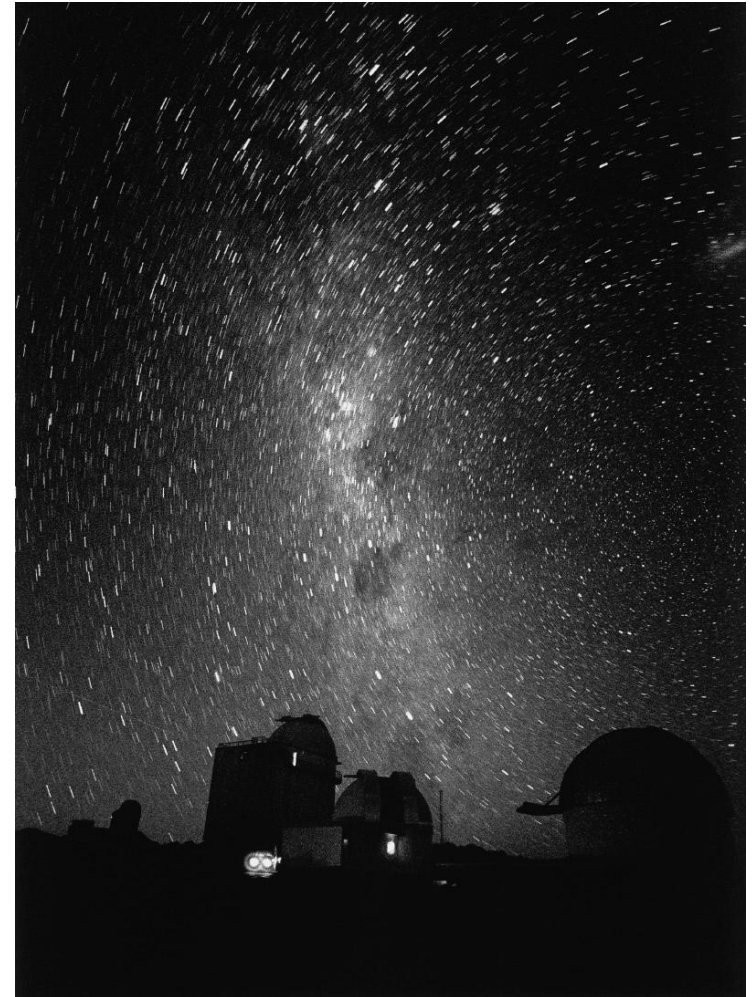
Conteggi euclidei - Diagramma Log-Log

$$\text{Log} N = \text{Log} k - 1,5 \text{Log} l$$

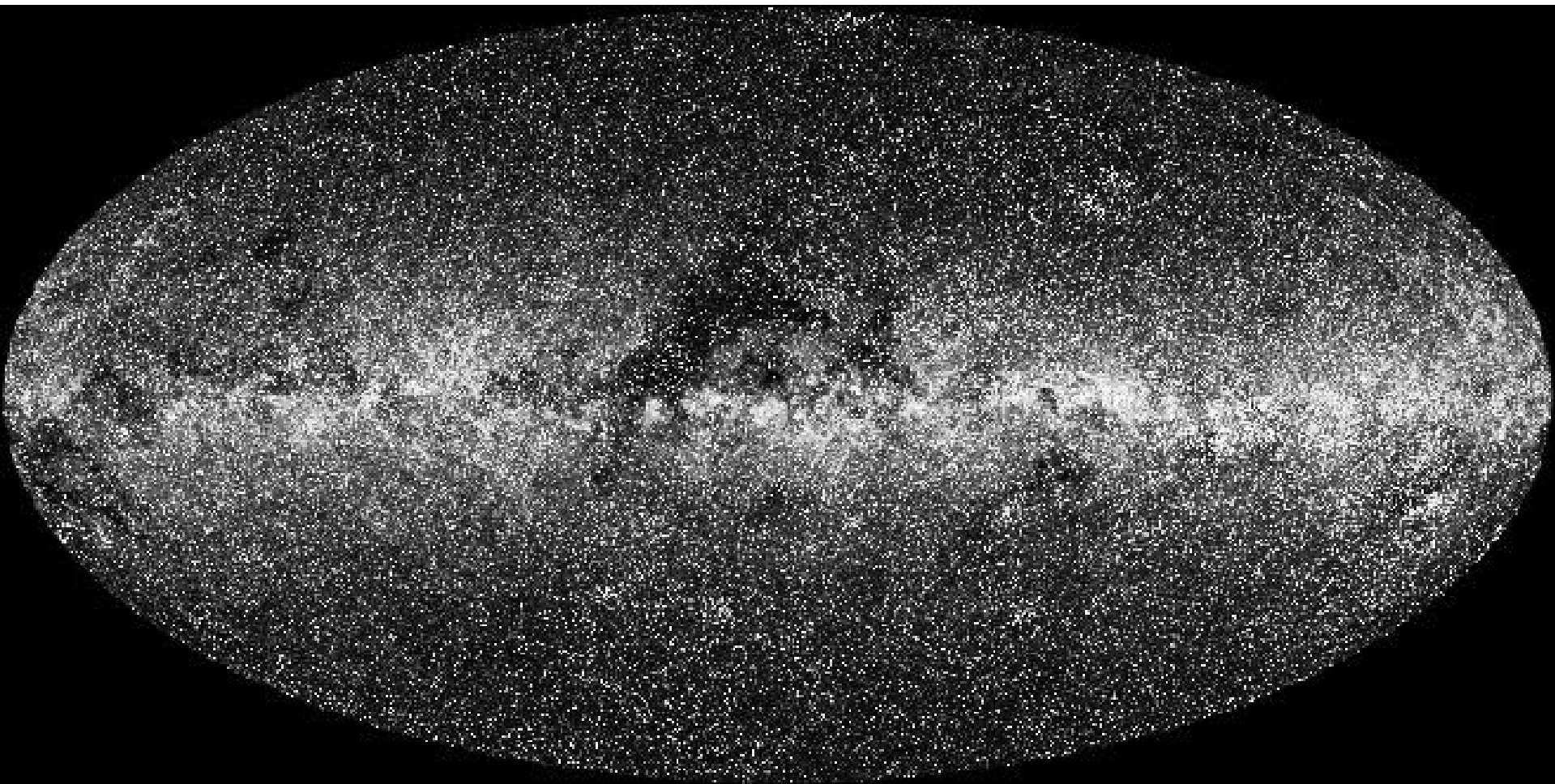


Il cielo non è uniformemente pieno di stelle

- La Via Lattea appare come una “fascia” luminosa che attraversa tutto il cielo
- Galileo scoprì col telescopio che la luminosità diffusa era dovuta a una miriade di stelle inosservabili ad occhio nudo
- Herschel ne studiò la struttura col suo telescopio e delineò la prima immagine dell’”Universo di stelle”



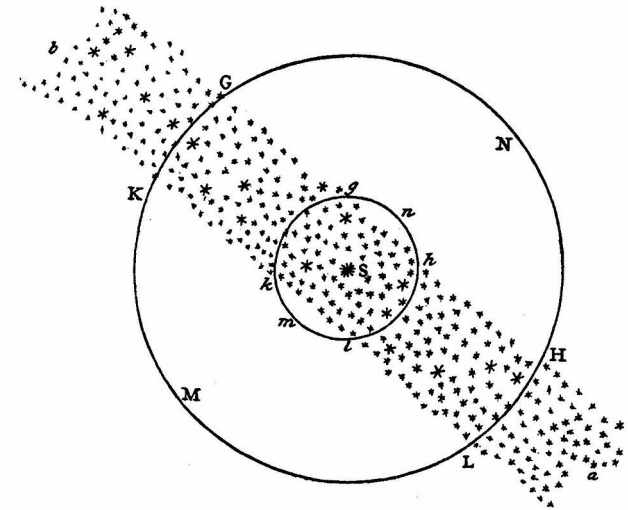
Mappa di tutte le stelle brillanti



Bruno Marano
La misura del Mondo 5

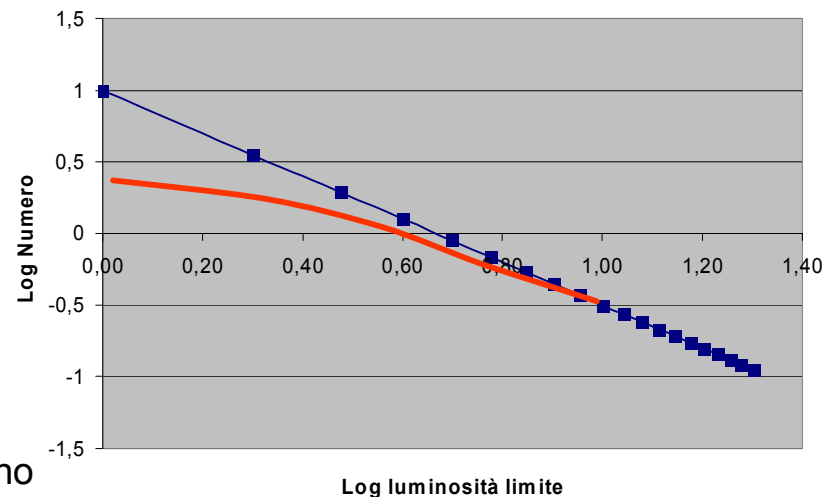
Come è fatto il “sistema delle stelle”? (Herschel, 1785)

La crescente efficacia dei telescopi consente di esplorare la struttura del sistema stellare. Se osservare stelle più deboli vuol dire osservare “più profondo”, allora la struttura della Via Lattea ci rivela un “Universo” asimmetrico. La figura di Herschel indica come questo appaia quando l’osservazione si spinge dalla sfera più interna a quella più esterna.

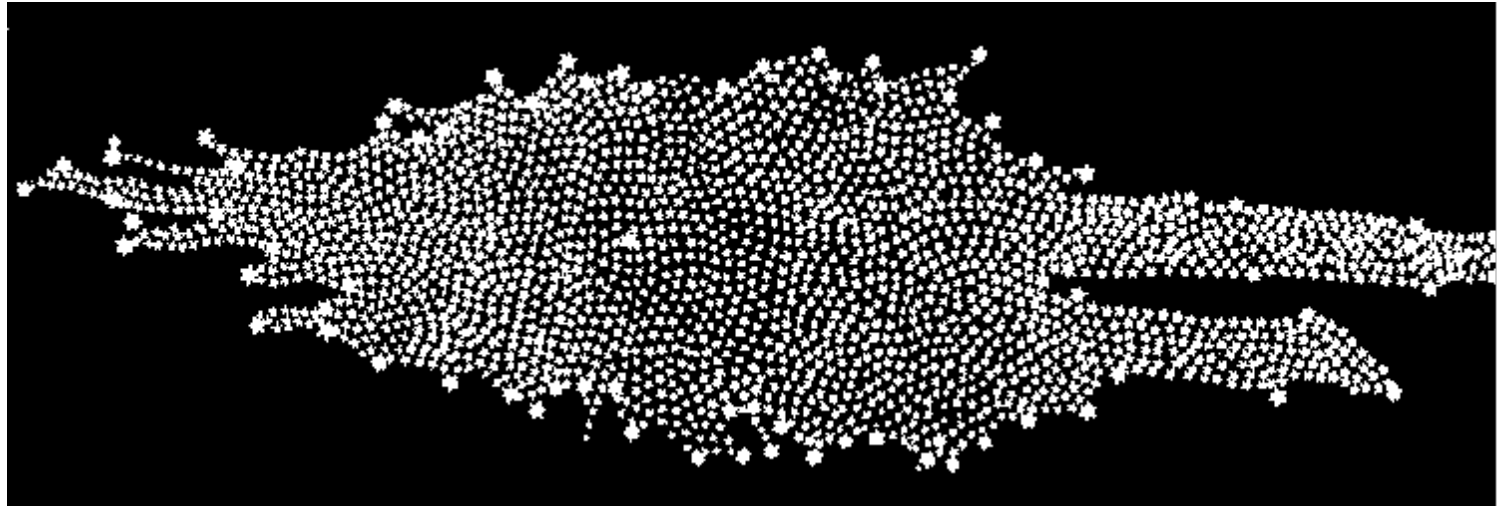


Conteggi euclidei - Diagramma Log-Log

Si riveda l’analisi dei conteggi stellari →

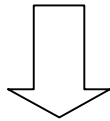


L'Universo di Herschel



Può l'Universo essere finito?

Paradosso di Olbers:
Il cielo di notte è buio



L'universo non può
essere pieno di stelle
all'infinito: il cielo
sarebbe brillante
come il sole



L'uomo nella foresta vede solo alberi



Bruno Marano
La misura del Mondo 5



Anche un uccello nel fitto del
canneto vede solo canne

Solo ai bordi del bosco
si può “vedere fuori”



Bruno Marano
La misura del Mondo 5

Il paradosso di Olbers (un poco più formale)

Quanta luce riceviamo dalle stelle in un “guscio” di raggio R e spessore ΔR ?

La luminosità apparente di una stella è $I = L/4\pi R^2$, con L luminosità assoluta.

Se ci sono n stelle per unità di volume, la luminosità totale che ci arriva dal “guscio” è

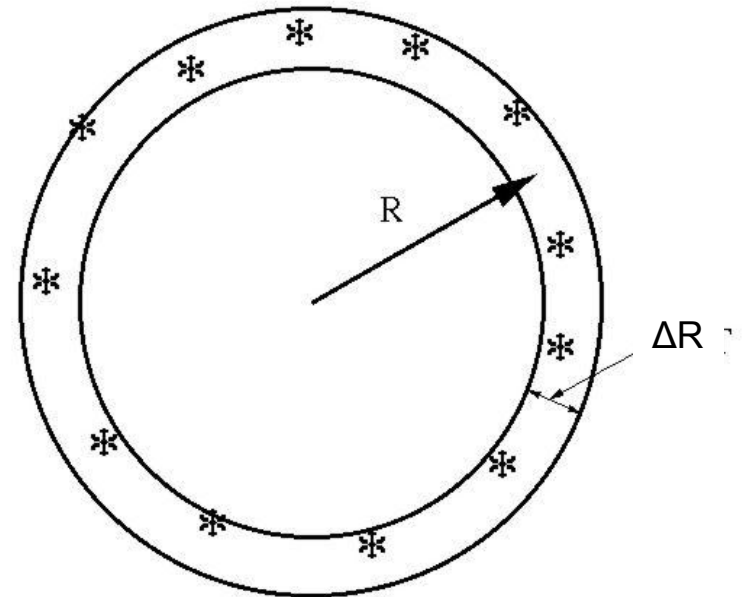
$$F_R = n \times I \times 4\pi R^2 \times \Delta R = n \times L \times \Delta R$$

La luce che ci arriva dalle stelle a distanza R è indipendente da R stesso.

Se ora consideriamo lo spazio da $R=0$ a $R=\infty$, risulta evidente che

$$\Sigma F_R = \infty$$

Vedremmo una luminosità infinita ... ma il cielo è buio, almeno di notte! L'analisi fatta sopra contiene qualche elemento errato.



Come possiamo determinare la distanza delle stelle quando la parallasse “non funziona più”?

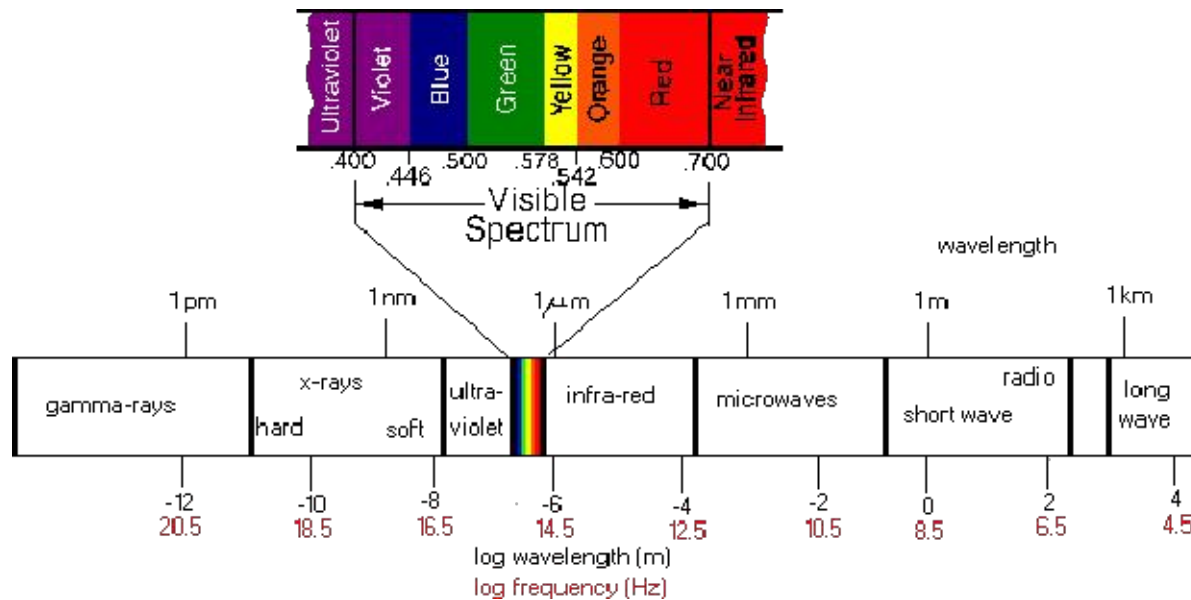
Come determinare L senza conoscere R , sulla base di altre proprietà delle stelle?

- Imparare a “riconoscere” le stelle, cercando proprietà osservabili che indichino la loro luminosità assoluta L tra le stelle di cui si può ottenere la parallasse.
- Usare poi la luminosità apparente I (misurata) e la luminosità assoluta L (desunta da altre proprietà) per determinare R attraverso la

$$I = L / 4\pi R^2$$

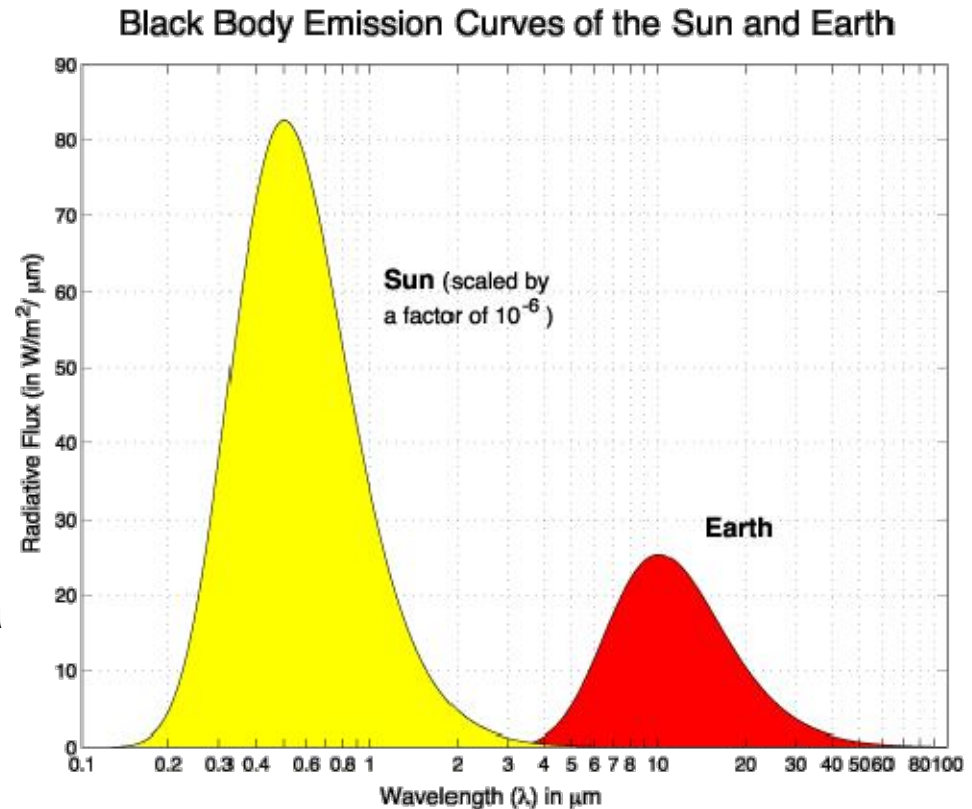
La radiazione elettromagnetica è “segnata” dalla natura del corpo che la ha emessa: può quindi consentire di conoscerla.

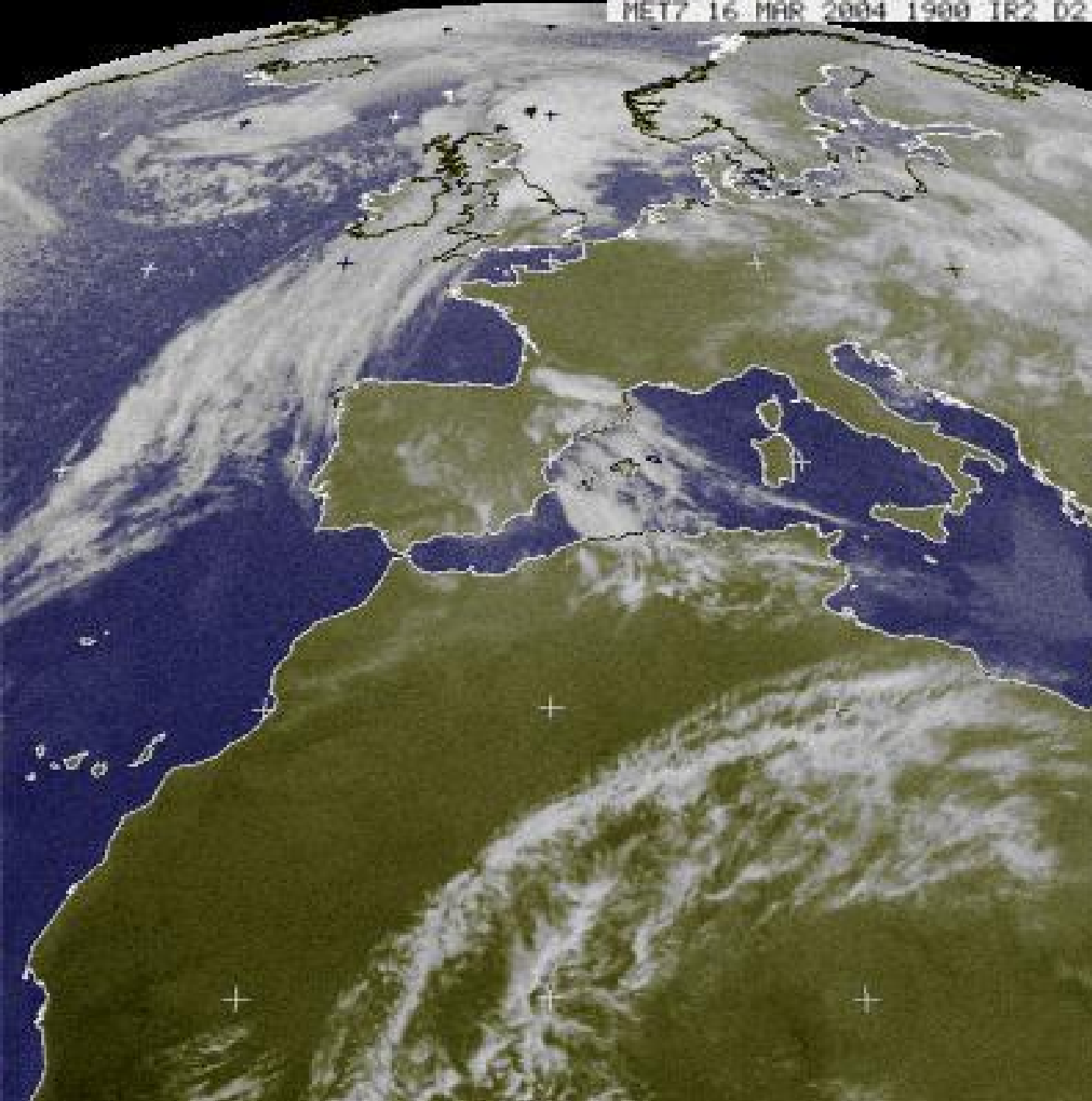
Lo spettro della radiazione elettromagnetica



La radiazione emessa da un corpo ne segnala la temperatura

- La radiazione emessa dal sole è concentrata nella regione visibile
- La terra emette nell'infrarosso, non visibile all'occhio
- Ogni corpo "compatto" emette radiazione caratterizzata dalla sua temperatura
- La superficie del Sole ha una temperatura di $5750\text{ }^{\circ}\text{K}$, quella della Terra di $300\text{ }^{\circ}\text{K}$.

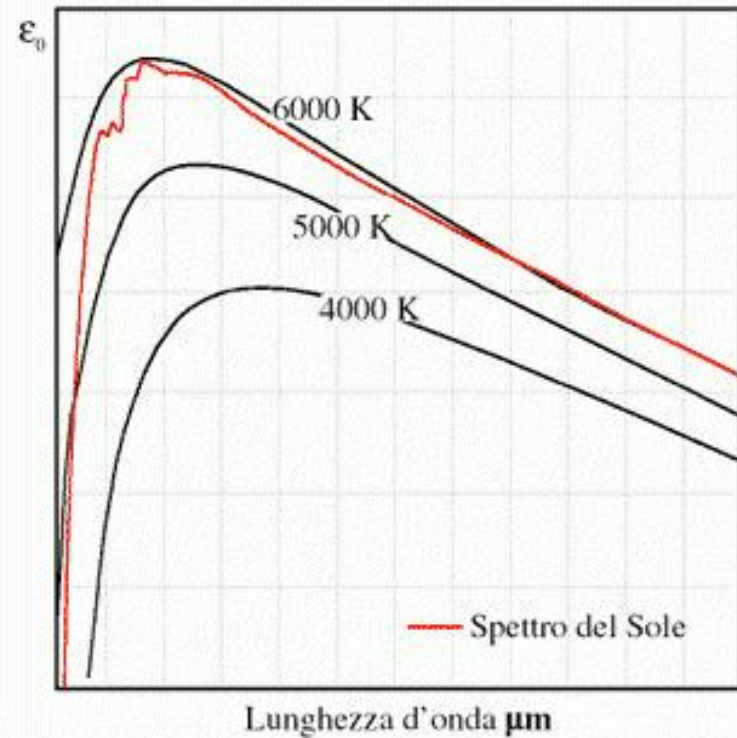
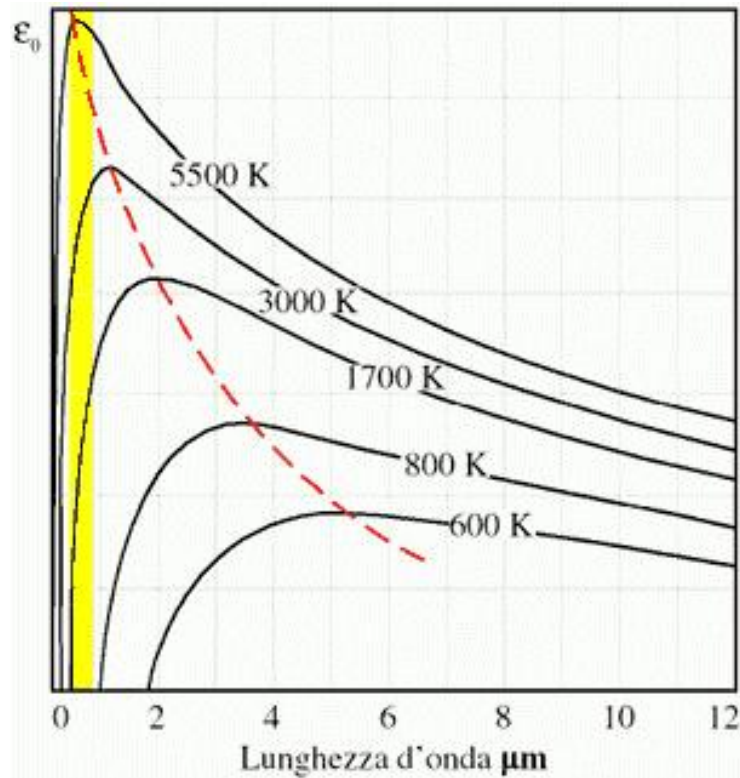




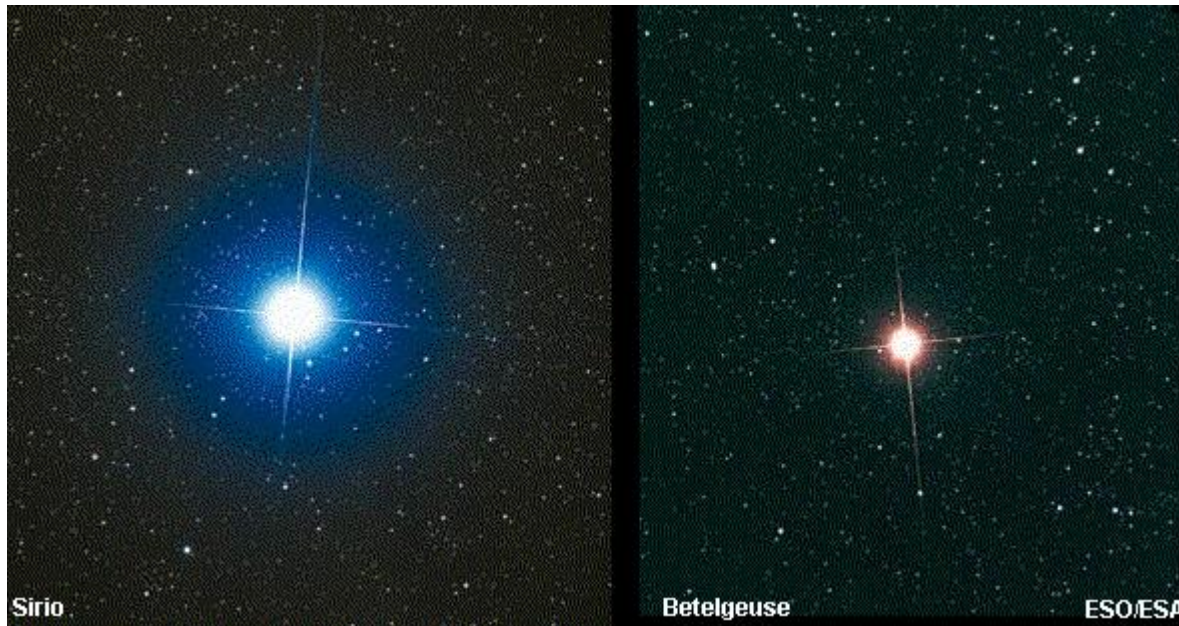
Molte immagini dei satelliti meteorologici sono ottenute nell'infrarosso, emesso dalla Terra, poi rielaborate.

Come potremmo diversamente vedere terra, mare e nubi in una immagine notturna?

La superficie del Sole è a $T = 5750 \text{ K}$



Le stelle manifestano colori diversi = temperature diverse



L'occhio è sensibile al colore solo con luci intense. In condizioni di buio vediamo "in bianco e nero". Ma gli apparati strumentali in uso nell'astronomia possono misurare il "colore" di sorgenti molto deboli.

Lo spettro di stelle di diversa temperatura

- $T = 30000 \text{ K}$
- $T = 10000 \text{ K}$
- $T = 5000 \text{ K}$
- $T = 3000 \text{ K}$

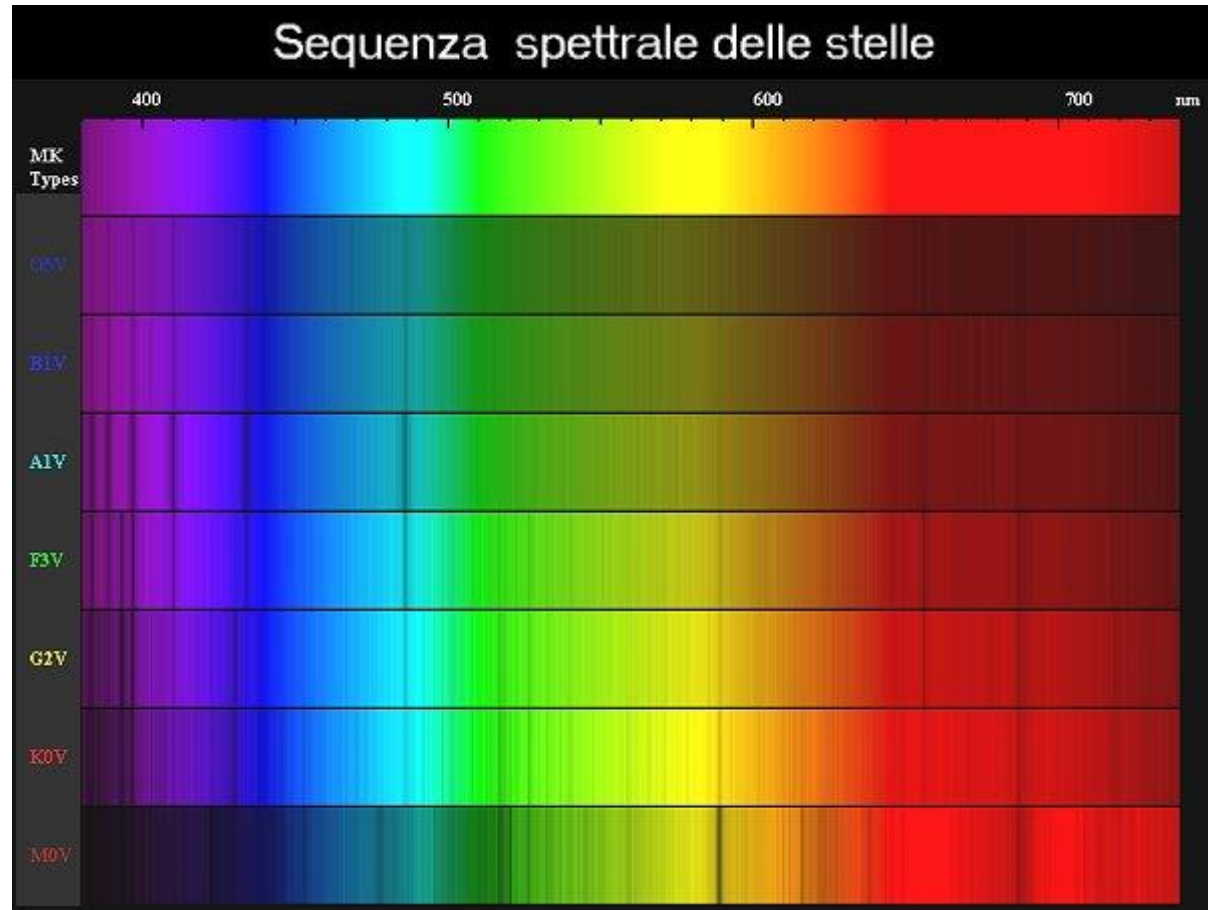
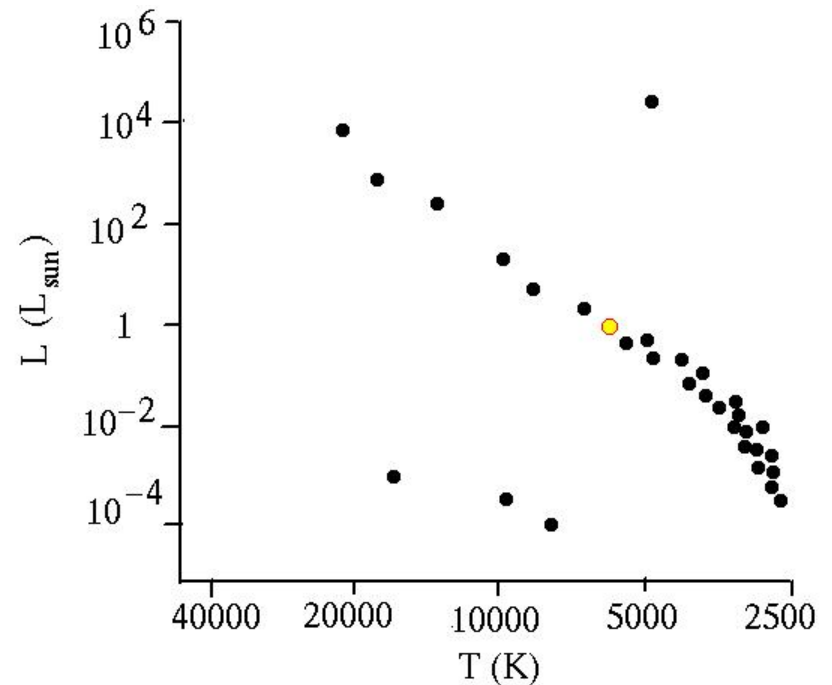
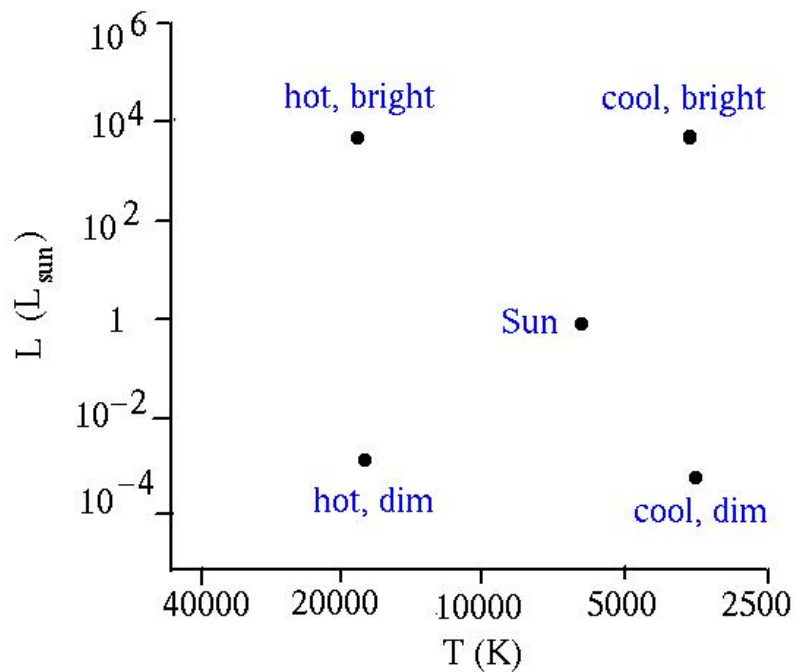


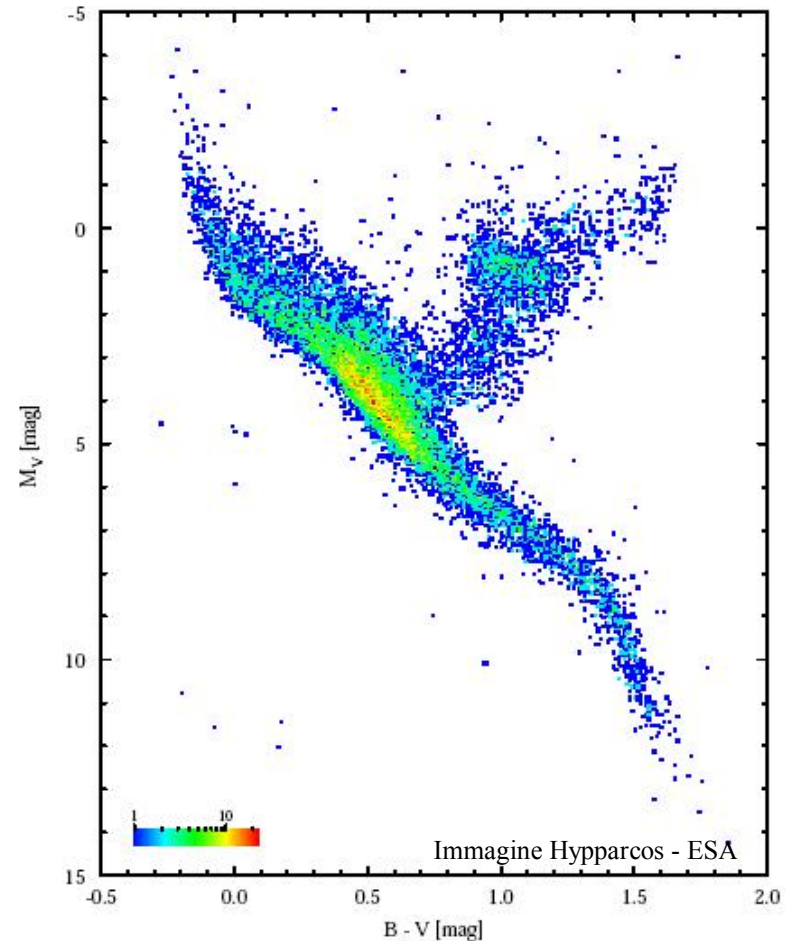
Immagine NOAO/AURA/NSF

Posso costruire un diagramma con luminosità e temperatura delle stelle vicine. Si distribuiscono in modo molto regolare: le stelle sono sistemi strettamente “regolati”



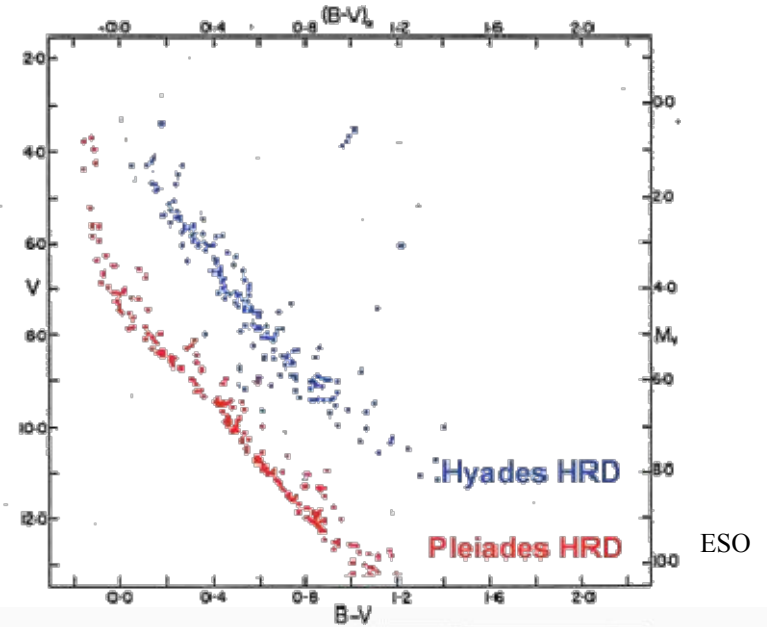
La Temperatura superficiale (T) di una stella ne determina la Luminosità (L) (..con prudenza...)

- La grande maggioranza delle stelle occupano una regione ristretta (la *Sequenza Principale*) del diagramma L-T storicamente detto di Hertzsprung-Russel
- Posso usare T per determinare L... con prudenza, e possibilità di errori, se ho una singola stella: esistono stelle *nane* e *giganti*
- ..ma se ho un ammasso, posso riconoscere l'intera sequenza, e usare efficacemente la Temperatura per determinare la Luminosità, e da questa la Distanza dell'ammasso
- Uso quindi la relazione $I = L / 4\pi R^2$: misuro I, determino L da T, ricavo R.
- Nota Bene: non si tratta più di una misura basata sulla comparazione di lunghezze ed angoli, ma di luminosità. C'è un cambiamento di metodo: la distanza è una "**distanza di luminosità**".

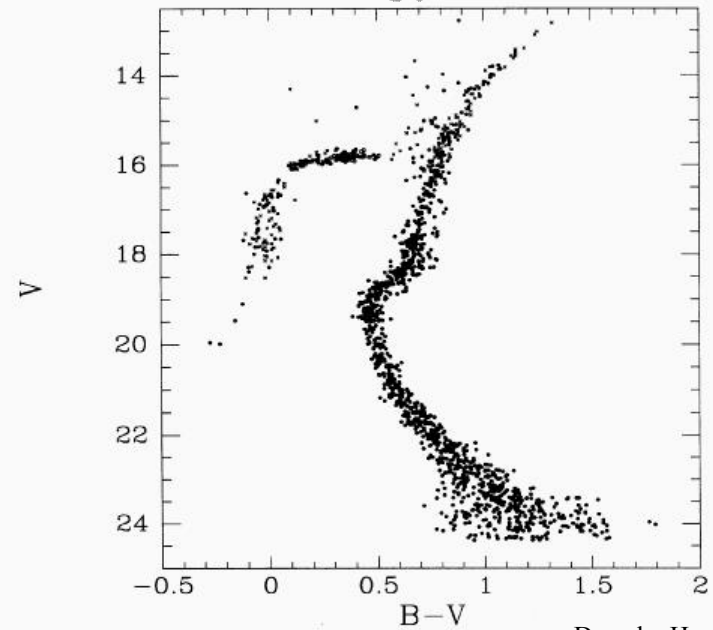


Diagrammi HR di Ammassi di stelle

Pleiadi

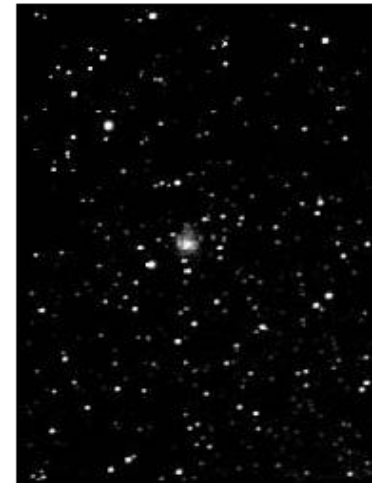
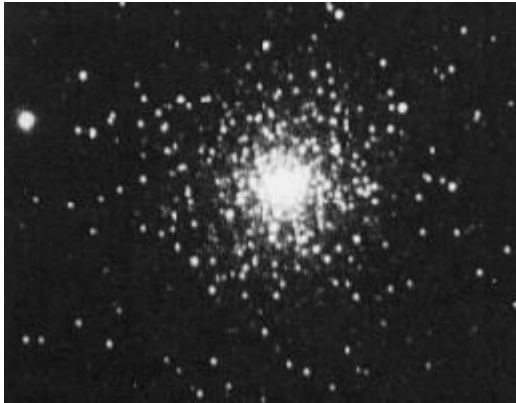


M15



Durrel e Harris, 1993

Le dimensioni della Galassia possono essere determinate tramite lo studio degli ammassi di stelle

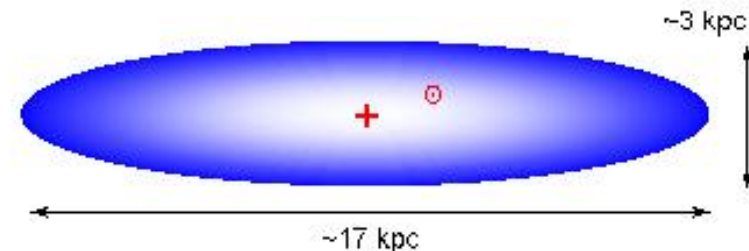


- Il metodo statistico non determina le dimensioni del sistema di stelle
- Le parallassi stellari neppure (la Galassia è più grande del limite del metodo: 100 parsec)
- Occorrono degli indicatori di distanza molto luminosi, calibrati
- Shapley: gli ammassi globulari di stelle: se sono sistemi simili, le loro dimensioni e luminosità sono indicatori di distanza

Le dimensioni della galassia

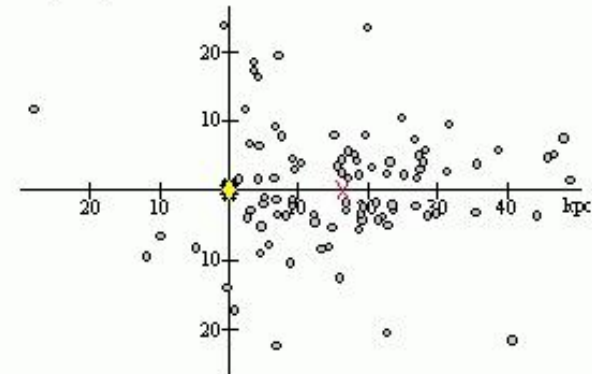
La distribuzione degli ammassi globulari determina le dimensioni della Galassia e la posizione del Sole: è un disco, di raggio 10 Kpc, di spessore 2-3 Kpc. Il Sole si trova a 8 Kpc dal centro (Shapley).

Kapteyn Model (1922)



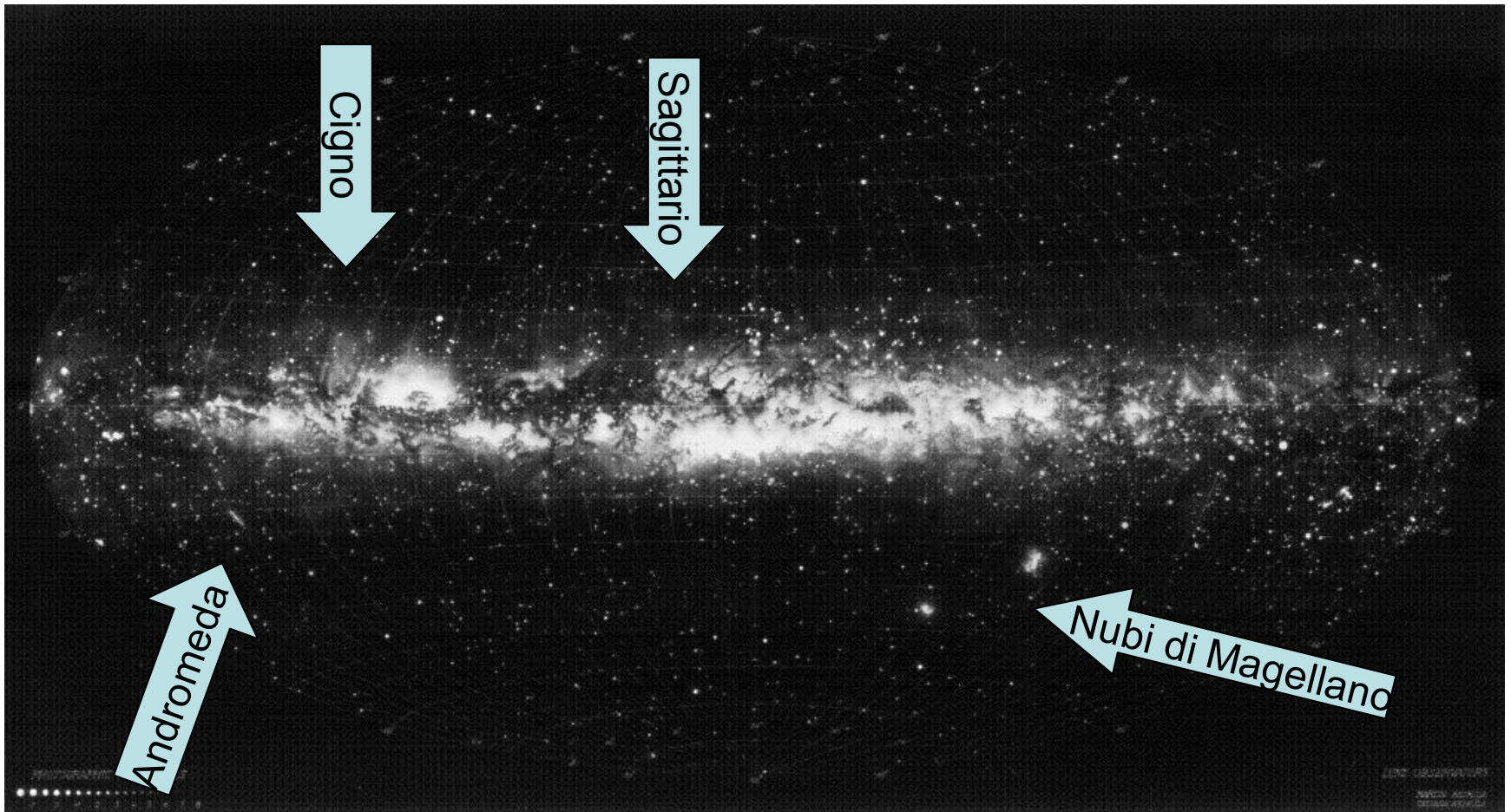
kpc = kiloparsec = 1000 pc

Shapley's Globular Cluster Distribution



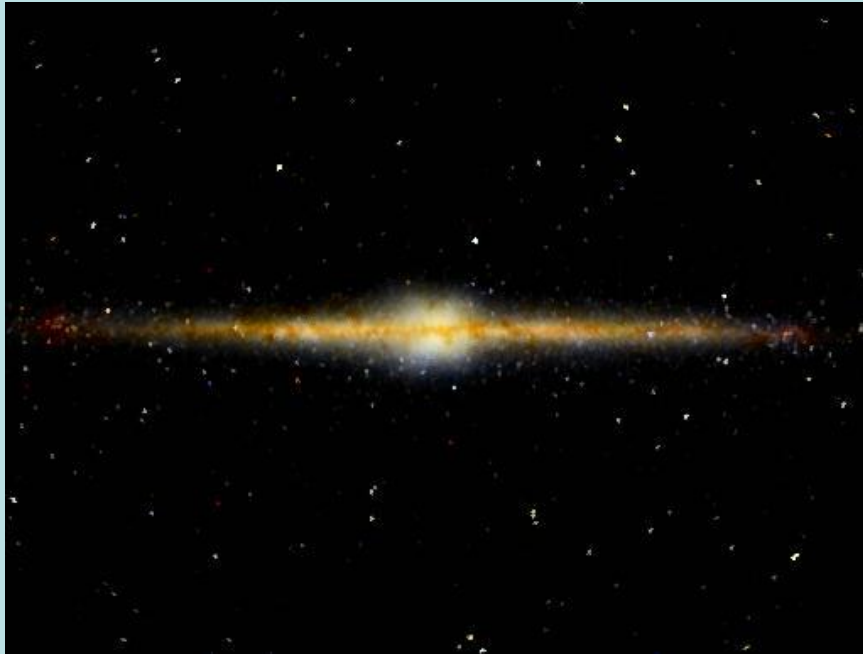
Un “mappamondo” del cielo

(Oss. di Lund)

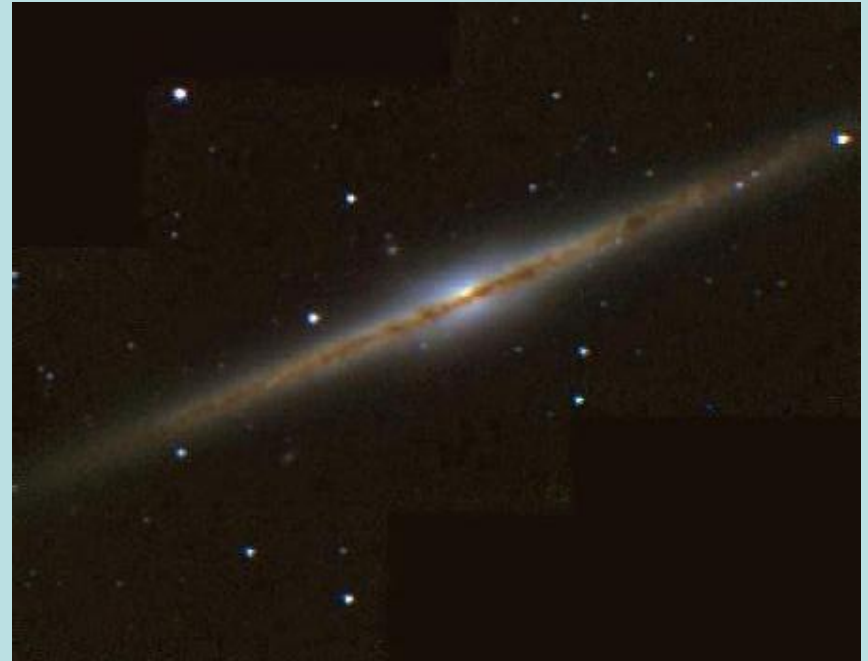


Sono riconoscibili: la struttura della Galassia, le nubi oscuranti visibili anche a occhio nudo dal Sagittario al Cigno, le due nubi di Magellano , la Galassia di Andromeda

La nostra Galassia in un mosaico
di immagini di un satellite IR
(l'immagine rappresenta tutto il cielo)



La Galassia esterna NGC891



Simili, vero?