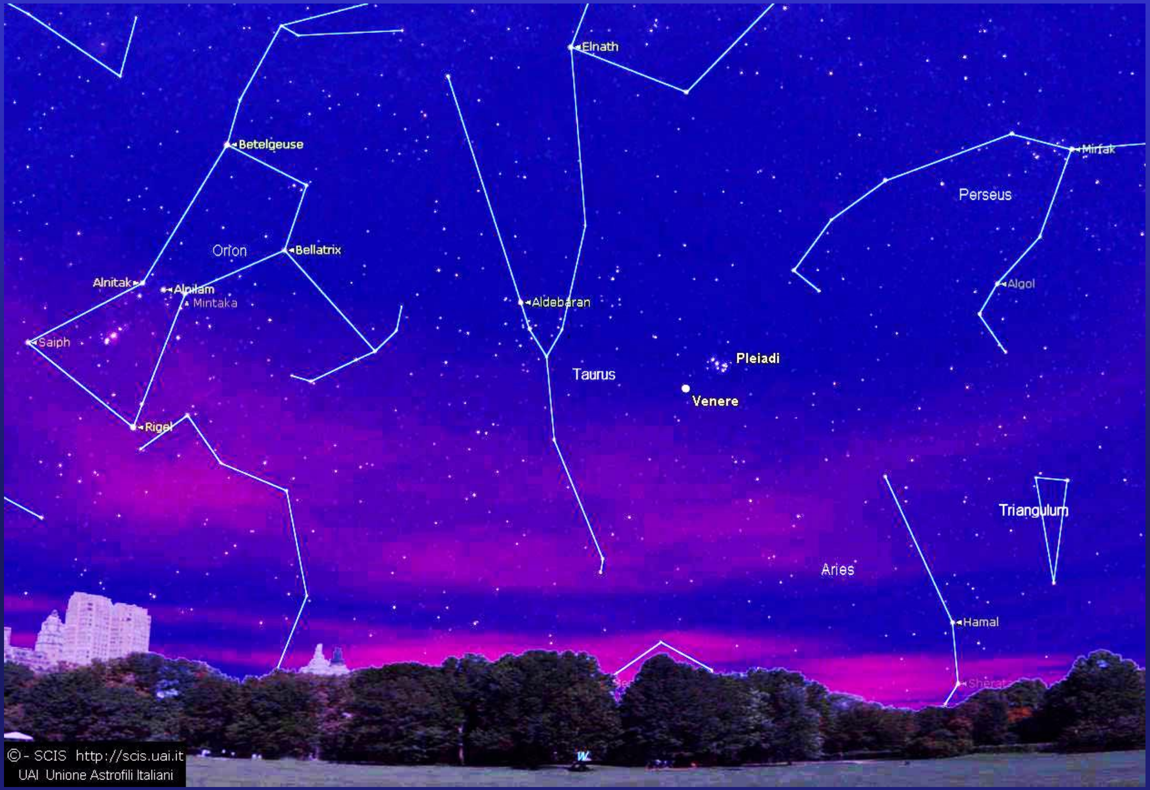
Distanze e magnitudini



Primo Levi 2017

Roberto Bedogni
INAF Osservatorio Astronomico di Bologna
via Ranzani, 1 40127 - Bologna - Italia
Tel, 051-2095721 Fax, 051-2095700
http://www.bo.astro.it/~bedogni/primolevi
Email :roberto.bedogni@oabo.inaf.it

Luminosità e magnitudini

Magnitudini e cielo ad occhio nudo

I primi studi sulla luminosità delle stelle furono fatti da Ipparco già nel II secolo a.C. e successivamente da Tolomeo ~150 a.C.

Osservando il cielo ad occhio nudo riuscirono a suddividere le stelle che erano in grado di osservare in 6 classi di luminosità a cui associarono il concetto di magnitudine.

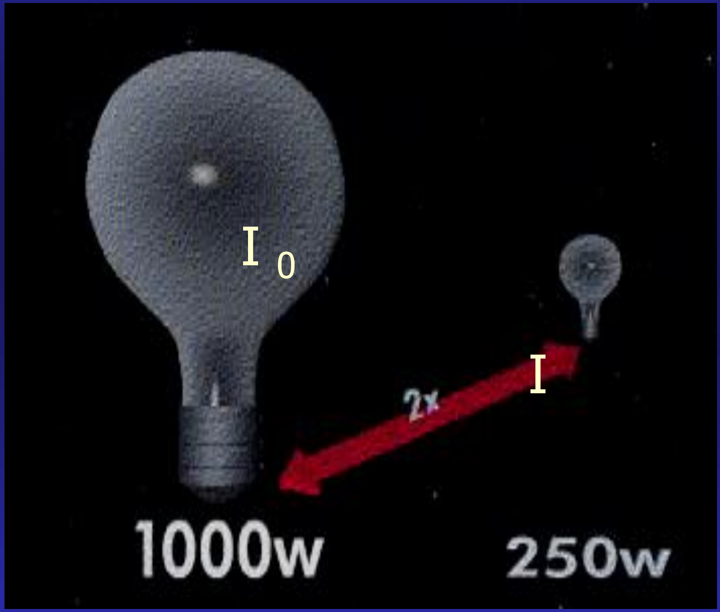
Come possiamo valutare l'intensità luminosa di un oggetto e metterla in relazione con la sua classe di luminosità (magnitudine o anche grandezza) individuate da Ipparco?

Un contributo decisivo viene dalla fisiologia. Si può dimostrare infatti che: l'occhio umano reagisce alla sensazione della luce in modo logaritmico.

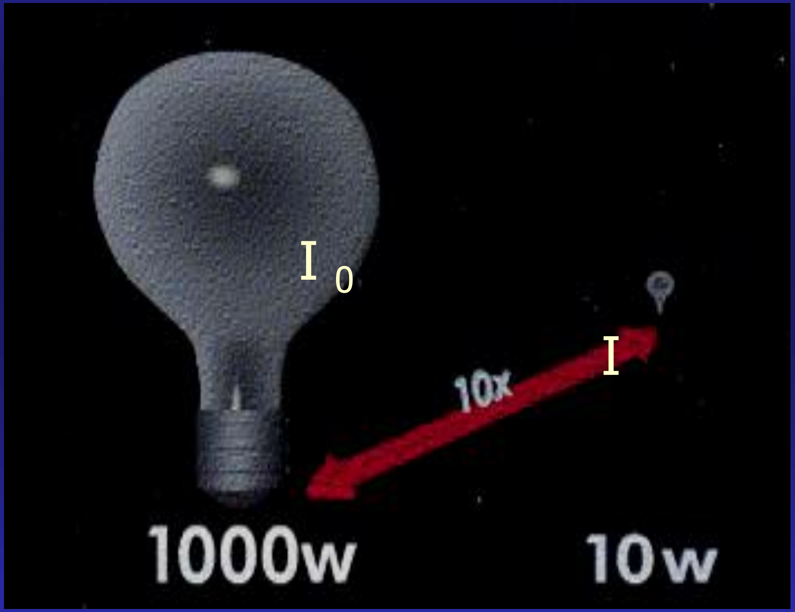
L'intensità luminosa

Attenuazione della luce emessa da una stella al variare della distanza

- La luminosità di un sorgente luminosa) diminuisce all'aumentare della distanza in ragione dell' inverso del quadrato della distanza: $I = I_0/D^2$

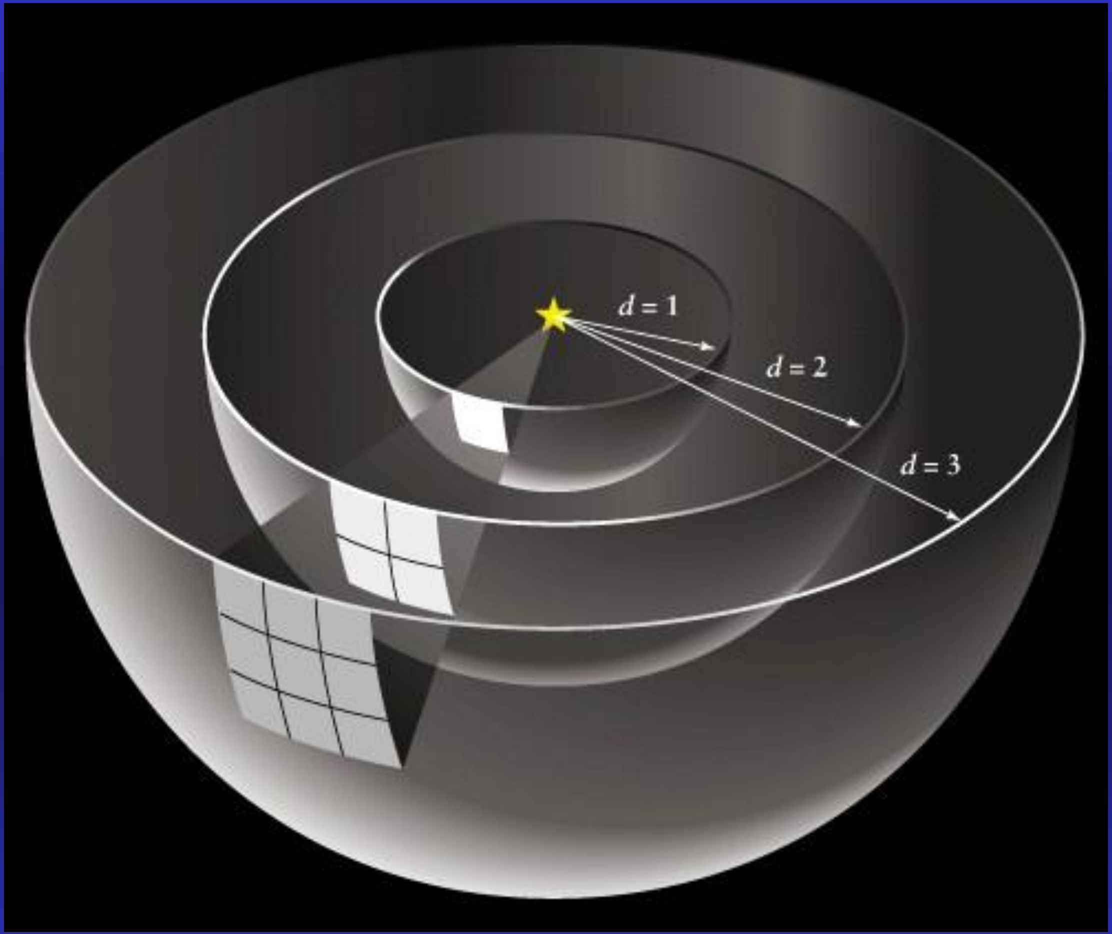


raddoppiando la distanza diminuisce di un fattore 4
$I = I_0/ (2)^2$



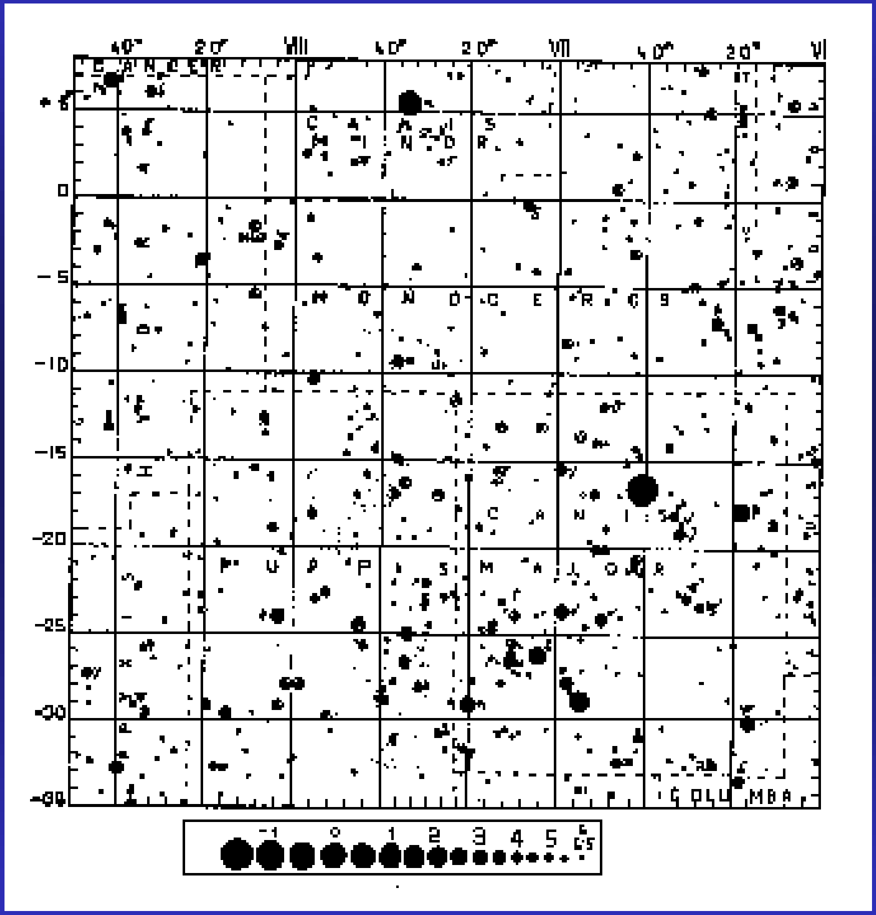
decuplicando la distanza diminuisce di un fattore 100
$I = I_0/ (10)^2$

Le luminosità apparenti



I corpi celesti vengono osservativi sulla sfera celeste, una sfera apparente che deve essere sezionata in gusci sferici per rendere conto della loro distanza

La luminosità apparente delle stelle (magnitudine visuale m_v)



- Già nell'antichità Ipparco definì le più brillanti di 1ª grandezza e quelle appena percepibili ad occhio nudo di 6ª grandezza.
- Una stella di 1ª grandezza è *2,5 volte più brillante* di una di 2ª grandezza
- Una stella di 1ª grandezza è *6,3 volte più brillante* di una di 3ª grandezza
- ……………………
- Una stella di 1ª grandezza è *100 volte più brillante* di una di 6ª grandezza

Relazione di Pogson

$$m_{v2} - m_{v1} = 2{,}5 \log_{10}(F_2/F_1)$$

$$F_2/F_1 = 10^{(m_{v2} - m_{v1})/2{,}5}$$

Differenze di magnitudine e di luminosità

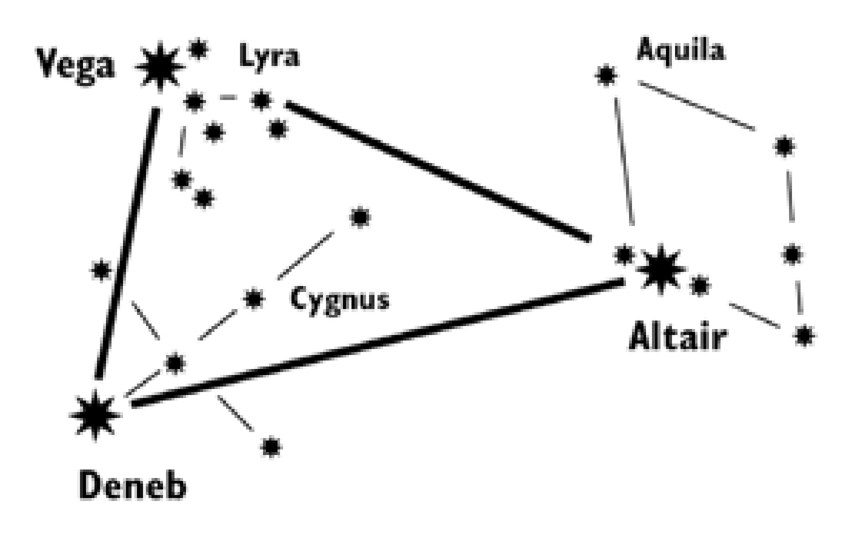
Differenza di magnitudine	Differenza di luminosità
0,5	1,6
1,0	2,5
1,5	4,0
2,0	6,3
2,5	10
3,0	16
3,5	25
4,0	40
5,0	100
6,0	250
10,0	10.000
12,5	100.000
15,0	1.000.000

Così, ad esempio, posto che
- Vega (nella Lyra) è di magnitudine 0,0
- Adhara (nel Canis Maior) è di magnitudine 1,5
-Ras Algethi (nell'Hercules) è di magnitudine 3,5

ciò significa che
- Vega è 4 volte più luminosa di Adhara
- Vega è 25 volte più luminosa di Ras Algethi
- Adhara è 6,3 volte più luminosa di Ras Algethi

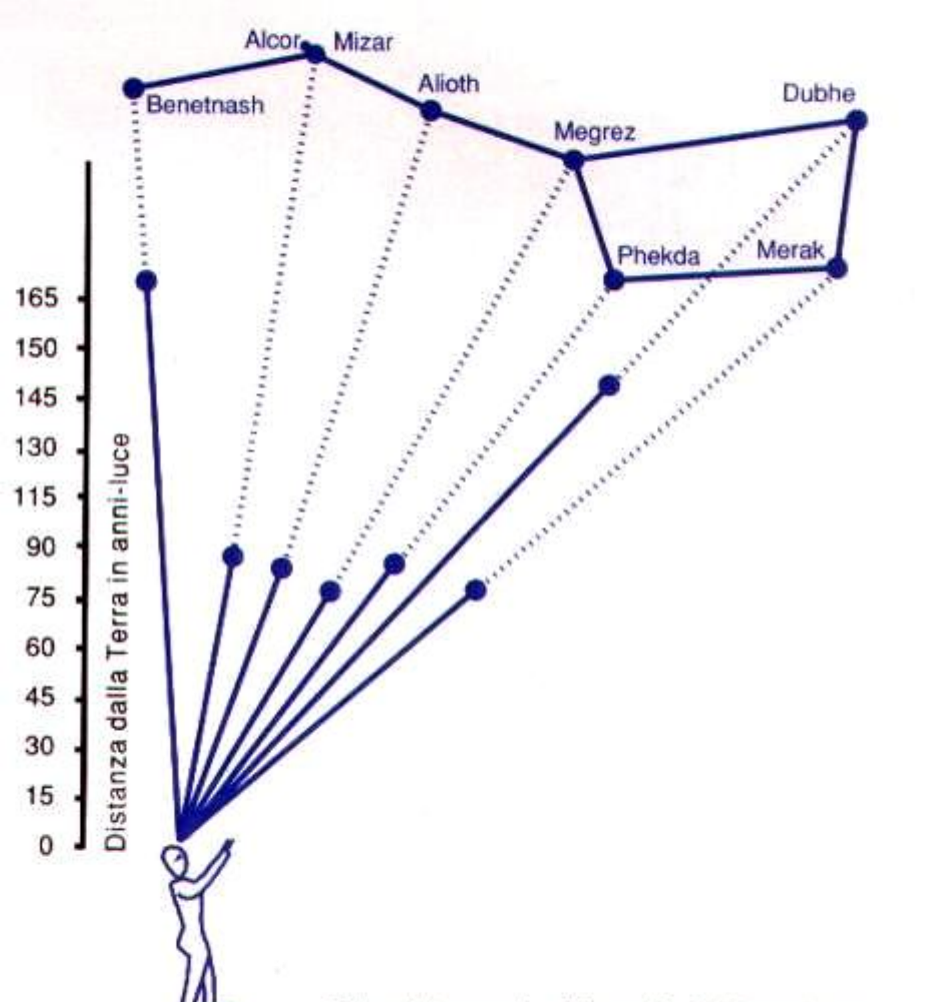
Alcune stelle brillanti dell'emisfero nord
magnitudine apparente

Sirio	(cane maggiore)	= -1,5 m_v
Arturo	(boote)	= 0,0
Vega (lira)		= 0,0
Capella	(auriga)	= 0,1
Rigel	(orione)	= 0,2
Procione	(cane minore)	= 0,4
Achernar	(eridano)	= 0,5
Betelgeuse	(orione)	= 0,5
Altair	(aquila)	= 0,8
Aldebaran	(toro)	= 0,9
Antares	(scorpione)	= 1,0
Polluce	(gemelli)	= 1,1
Deneb	(cigno)	= 1,2
Regolo	(leone)	= 1,3
Adhara	(giraffa)	= 1,5
Castore	(gemelli)	= 1,6
Bellatrix	(orione)	= 1,6
Duhbe	(orsa maggiore)	= 1,8
Polare	(orsa minore)	= 2,0



- *Il triangolo estivo il principale asterismo estivo*

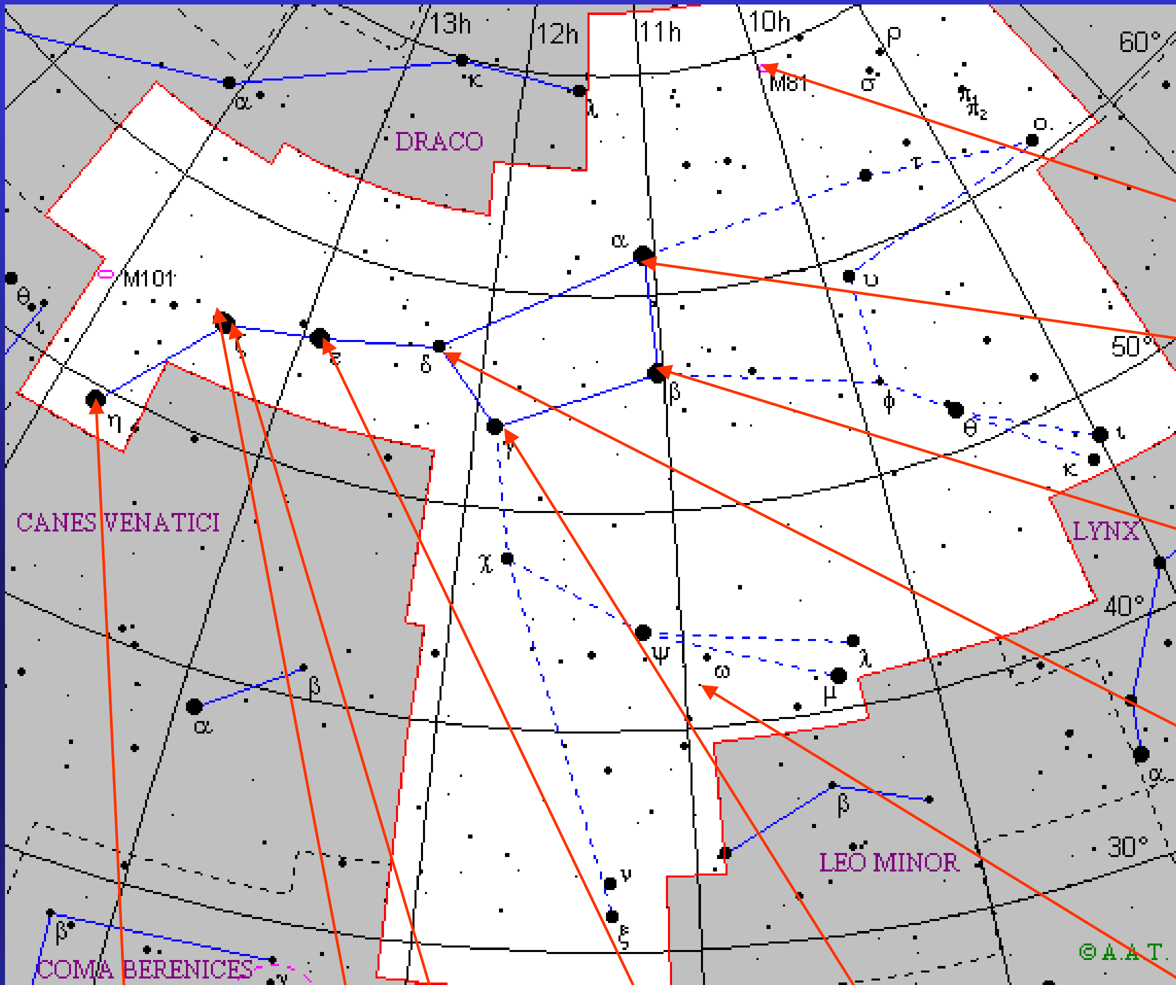
Il grande carro
Le distanze delle stelle che lo compongono



Disposizione reale delle stelle del Gran Carro.

Le costellazioni apparirebbero ben diverse se si considerassero pure le distanze delle singole stelle che le compongono

Ursa Major
Orsa Maggiore



M 81
Galassia
spirale

Dubhe
d=124 a.l.
mv=1,81

Merak
d=79 a.l.
mv=2,34

Megrez
d=65 a.l.
mv=3,4

Alkaid
d=101 a.l.
mv=1,85

Mizar
d=78 a.l.
mv=2,23

Alcor
d=80 a.l.
mv=4,5

Alioth
d=81 a.l.
mv=1,76

Phecda
d=84 a.l.
mv=2,41

47 U. Majoris
d=46 a.l.
mv=5,03
1 pianeta
estrasolare

La luminosità assoluta delle stelle (magnitudine assoluta M_v)

La luminosità assoluta o magnitudine assoluta M_V delle stelle dà una indicazione sulle proprietà luminose intrinseche della stella stessa.

La magnitudine assoluta M_V viene definita come la magnitudine apparente m_V della stella posta ad una distanza fissa di 10 parsec=32,6 a.l. (anni luce)

Magnitudine assoluta - magnitudine apparente e distanza

La relazione che lega le magnitudini assoluta M_V ed apparente m_V e la distanza d (in parsec) è:

$$m_V - M_V = -5 + 5 \log_{10} D$$

La grandezza (m_V - M_V) prende il nome di modulo di distanza.

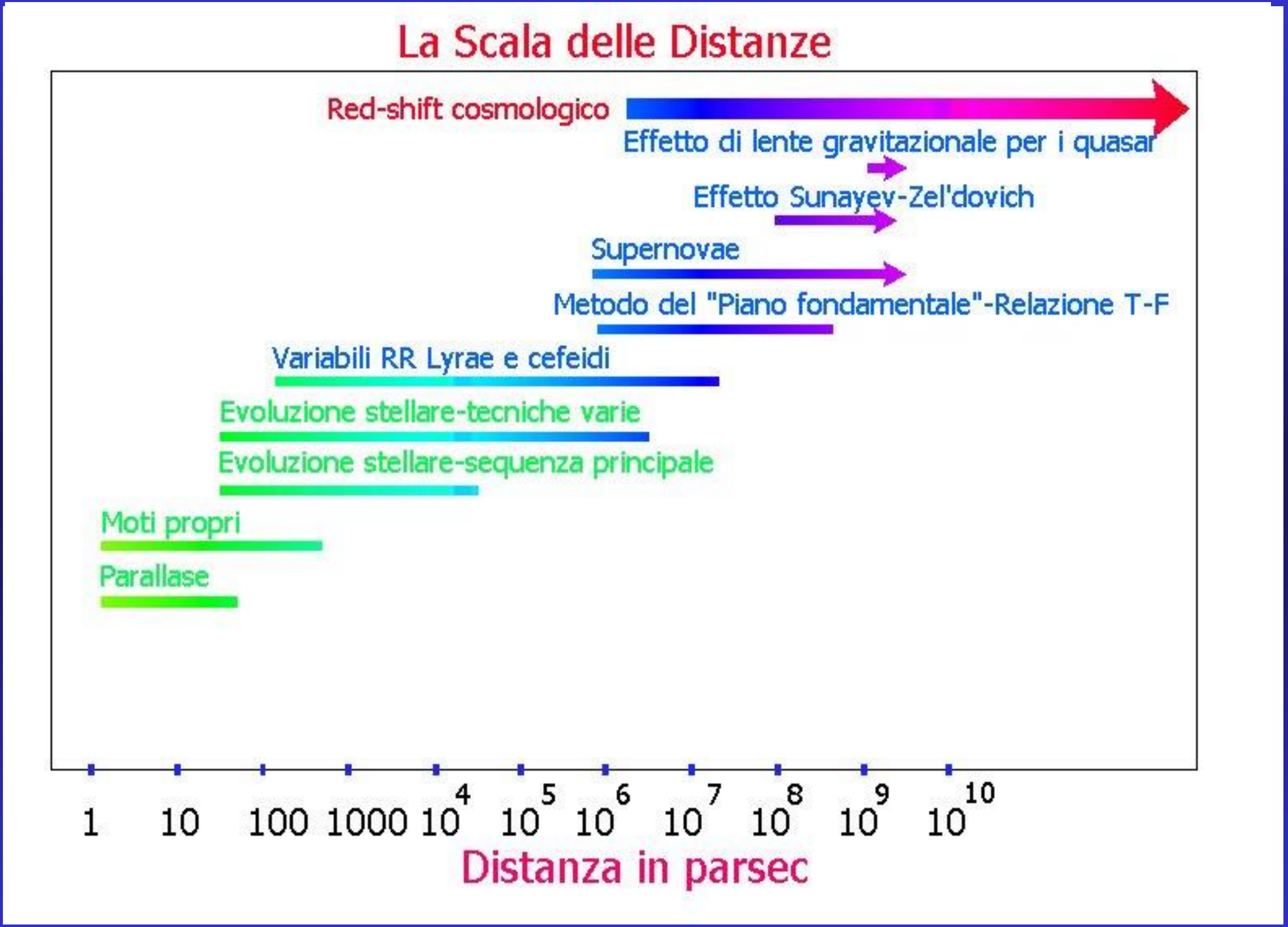
Magnitudini apparenti ed assolute

Nome stella	mv (apparente)	Mv Bolometrica (assoluta)	Luminosità Bolometrica (in unità solari)
Rigel	0,12	−7,3	85000
Antares	0,92	−7,2	66000
Deneb	1,25	−6,95	47000
Canopo	−0,62	−5,53	12900
Achernar	0,46	−4,05	3300
β Lyrae	3,52	−3,91	2900
Polare	1,97	−3,6	2200
Aldebaran	0,85	−0,63	350
Arturo	−0,04	−0,31	210
Rigel	0,12	−7,3	85000
Antares	0,92	−7,2	66000
Deneb	1,25	−6,95	47000
Canopo	−0,62	−5,53	12900
Achernar	0,46	−4,05	3300
Capella	0,08	0,4	78,5
Castore	1,98	0,5	50
Vega	0,00	0,58	37
Sirio	−1,46	1,4	25,4
α Centauri A	−0,01	4,38	1,519
Sole	−26,74	4,75	1,00

Magnitudini colori e filtri (fotometrici)

Filtro	Lunghezza d'onda	Larghezza max	Note	
Ultravioletto NB 1 nm=10 $^{-9}$ m=10 Ångström=10 $^{-5}$ micron				
U	365 nm	66 nm	U	Ultravioletto
Visibile				
B	445 nm	94 nm	B	Blu
V	551 nm	88 nm	V	Visuale
R	658 nm	138 nm	R	Rosso
Vicino infrarosso				
I	806 nm	149 nm	I	
Z			Z	
Y	1020 nm	120 nm	Y	
J	1220 nm	213 nm	J	
H	1630 nm	307 nm	H	
K	2190 nm	390 nm	K	
L	3450 nm	472 nm	L	
Medio infrarosso				
M	4750 nm	460 nm	M	

La scala delle distanze astronomiche



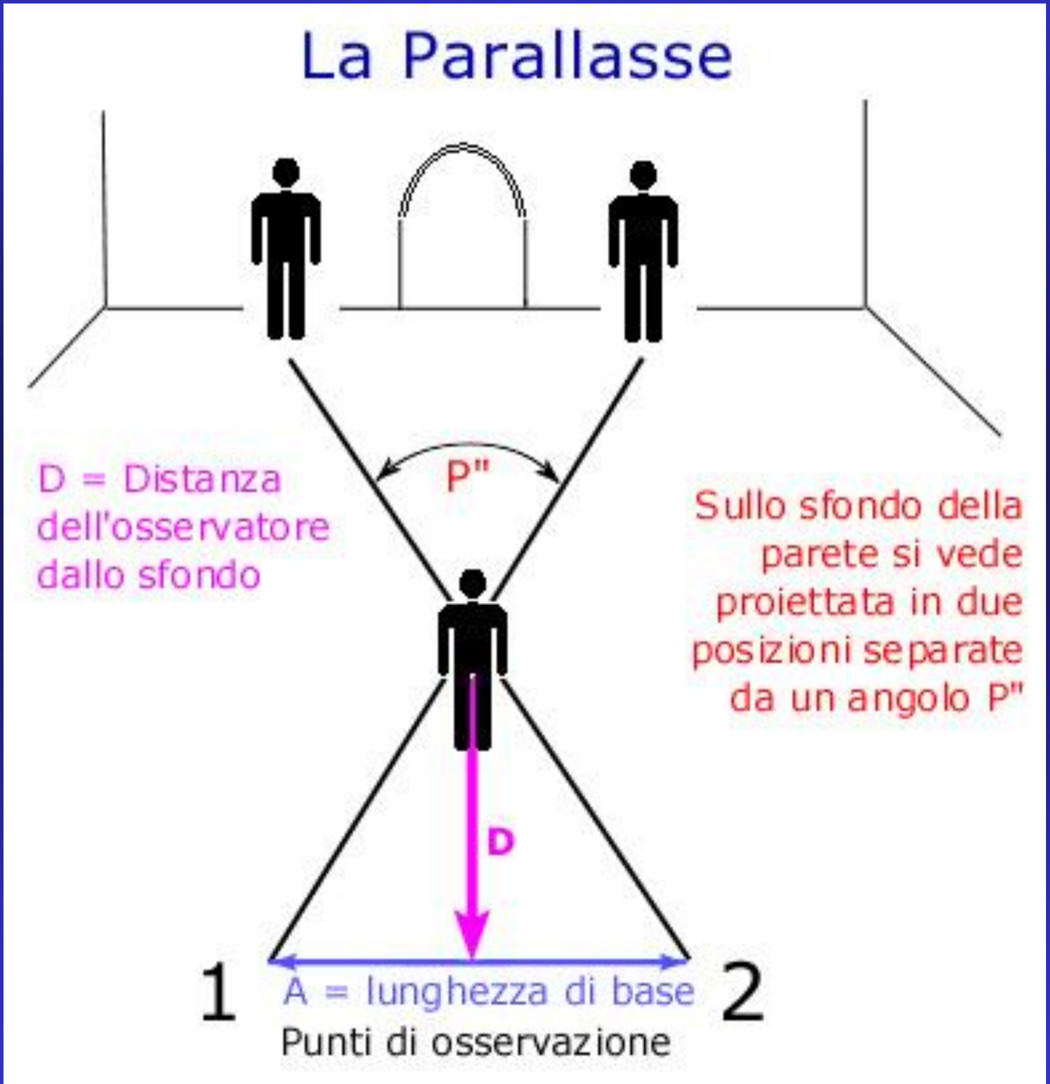
Distanze

La distanza delle stelle

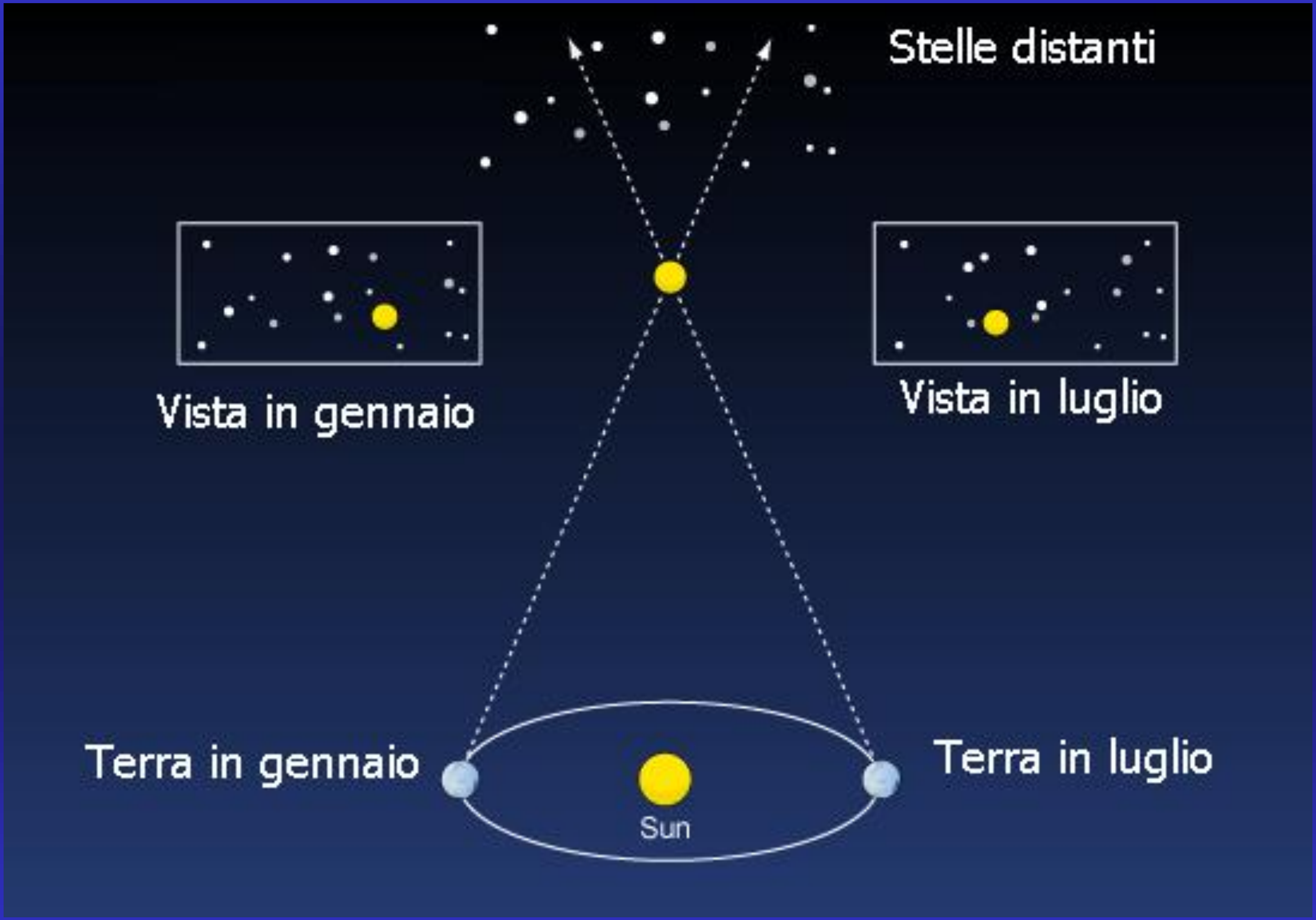
Le stelle appaiono proiettate sulla sfera celeste siano esse vicine o lontane.

La misura della distanza delle stelle non dipende dalla loro posizione apparente

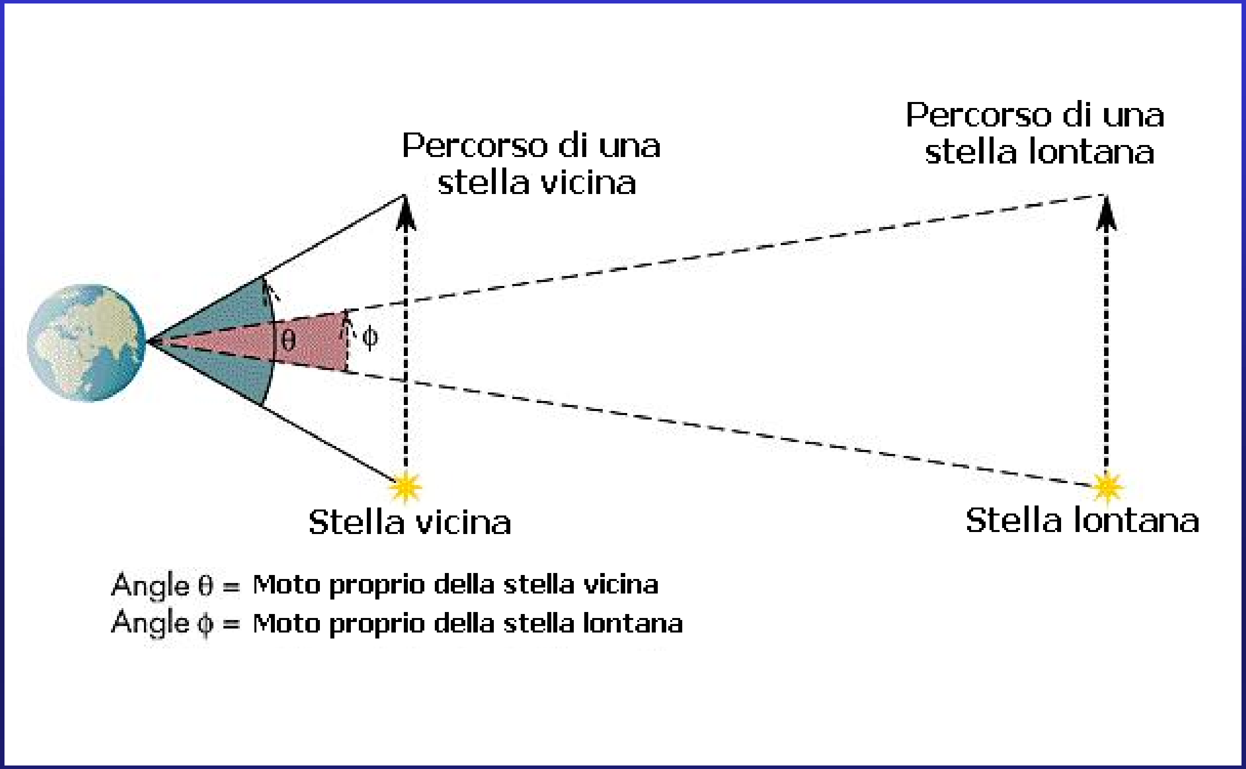
La misura delle distanze delle stelle vicine la parallasse



Parallassi e distanze



La distanza di 61 Cyg



Bessel osservò una stella, la 61 Cyg, molto debole (magnitudine 5,3 quasi al limite delle possibilità dell'occhio umano), ma che presentava un notevole moto proprio.

Nel 1838 fu in grado di annunciare di aver rilevato una parallasse di 0,3", corrispondente ad una distanza di 11,1 anni luce (pari a 702 450 UA)

Unità di misura delle distanze delle stelle
L'anno luce

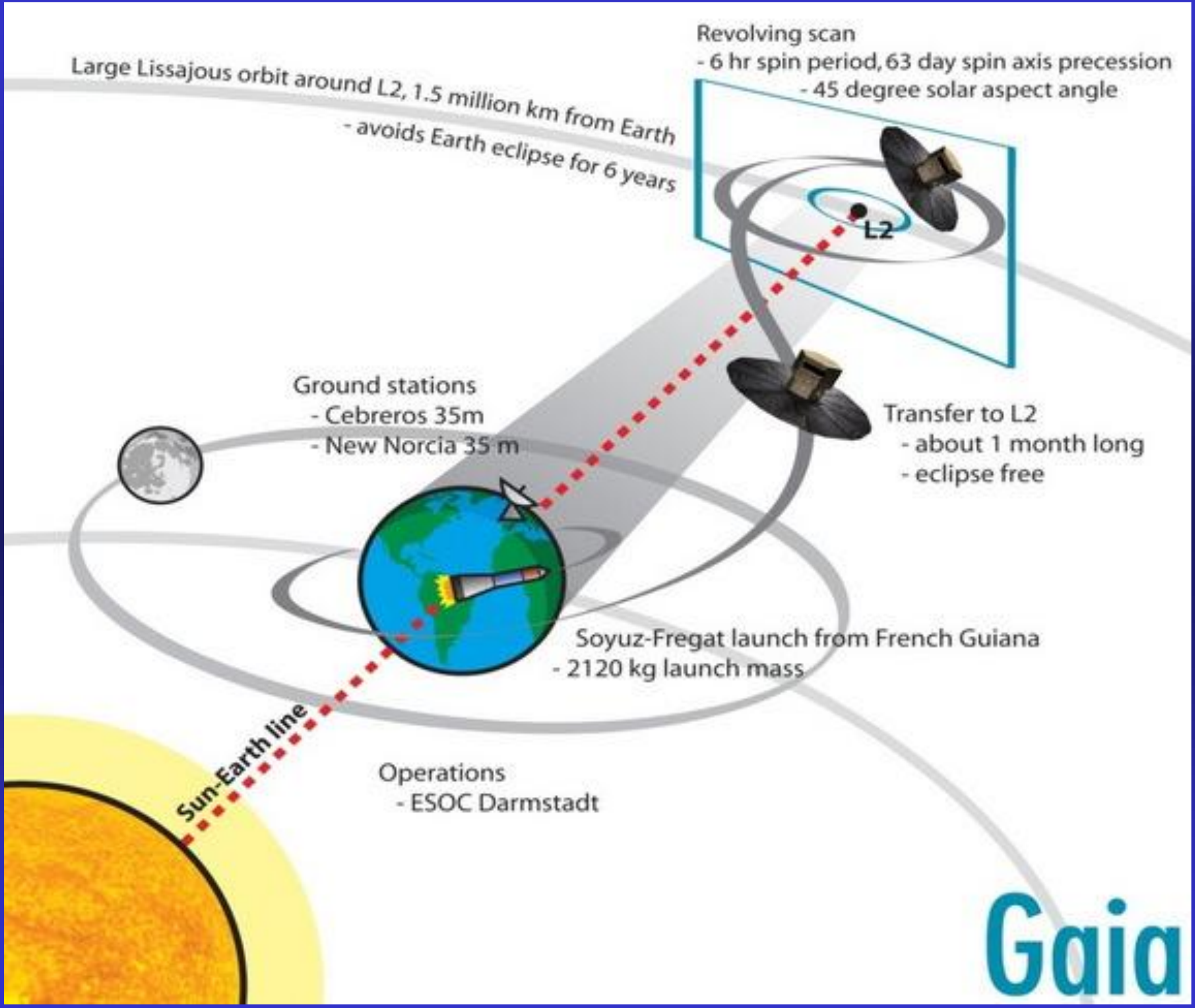
L'anno luce è la distanza che la luce percorre, alla velocità di 299 793 km/sec in un anno

Ne risulta quindi:

1 a.l~299793 x 365,265 x 24 x 3600~9461 x10 ^{12} km

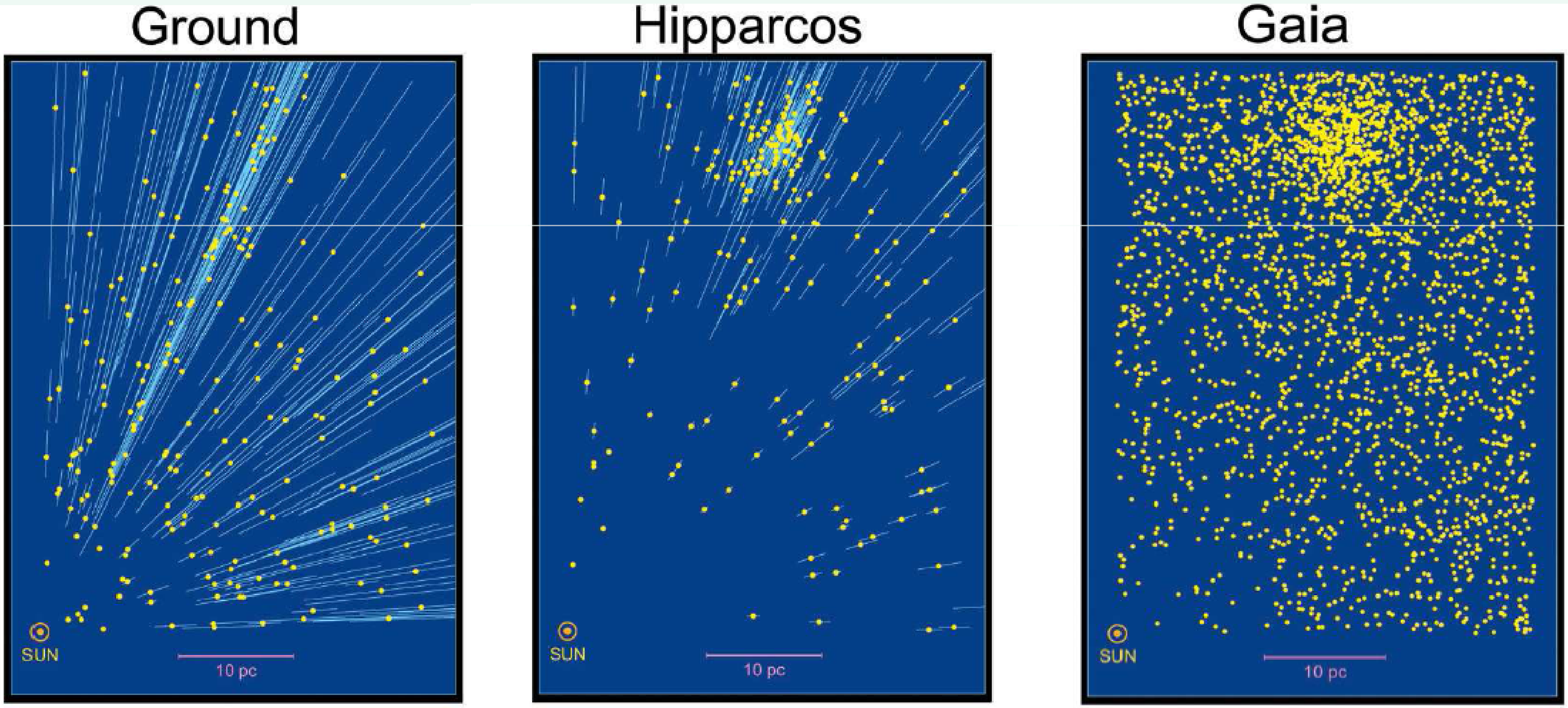
Più precisamente abbiamo
1 a.l. =9 460 730 472 580,8 km = 9460,730472580 miliardi di km
1 a.l. =63 241,077 UA
1 a.l. =0,306 601 394 parsecs

La missione GAIA



La maggiore accuratezza della missione GAIA

Astrometric accuracy: the Pleiades



π = 7.59 ± 0.14 mas - 132 pc, MS fitting (*Pinsonneault et al. 1998*)

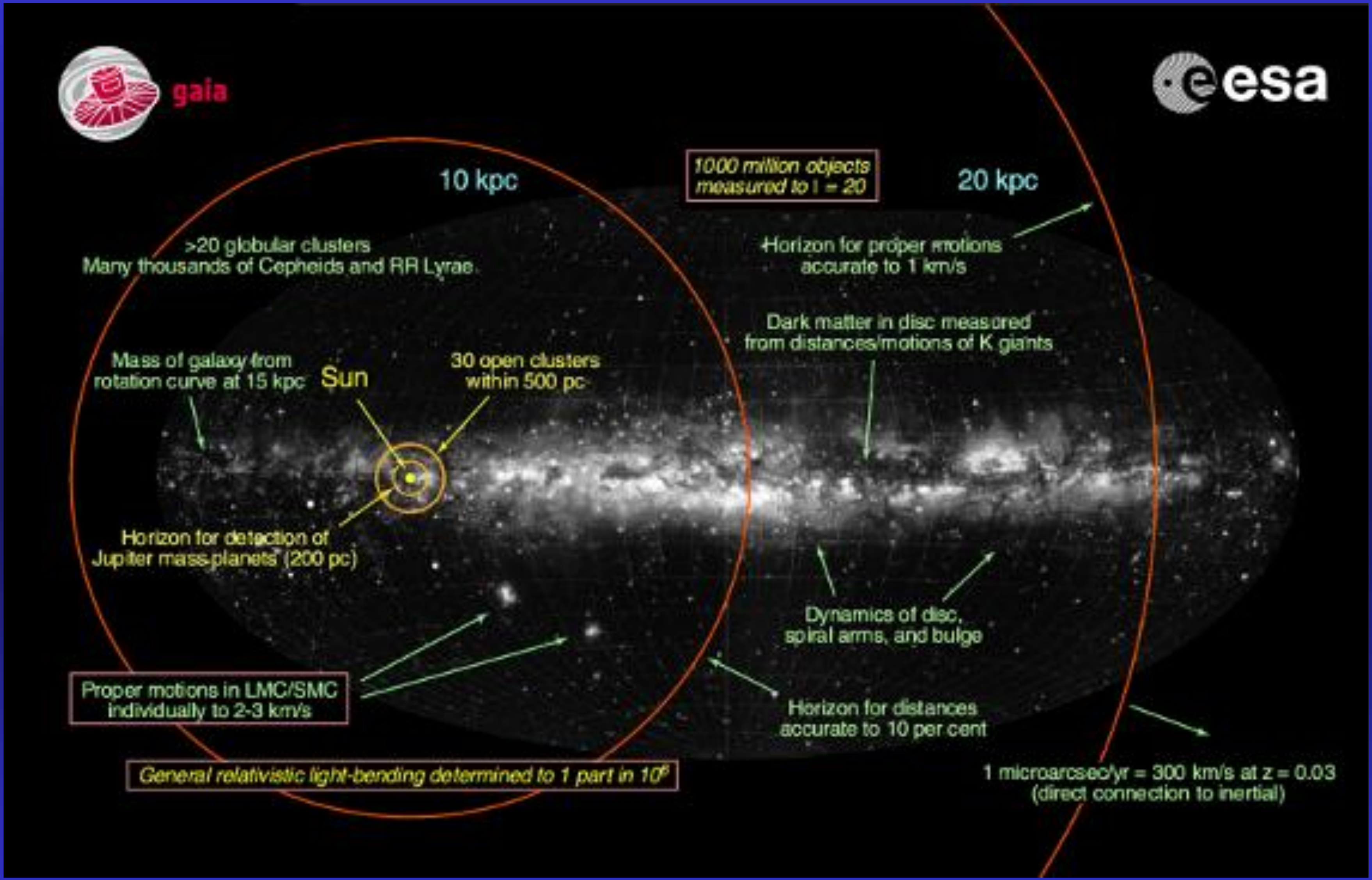
π = 7.69 mas - 130 pc, various methods (*Kharchenko et al. 2005*)

π = 7.49 ± 0.07 mas - 133 pc, from 3 HST-FGS parallaxes in inner halo (*Soderblom et al. 2005)*

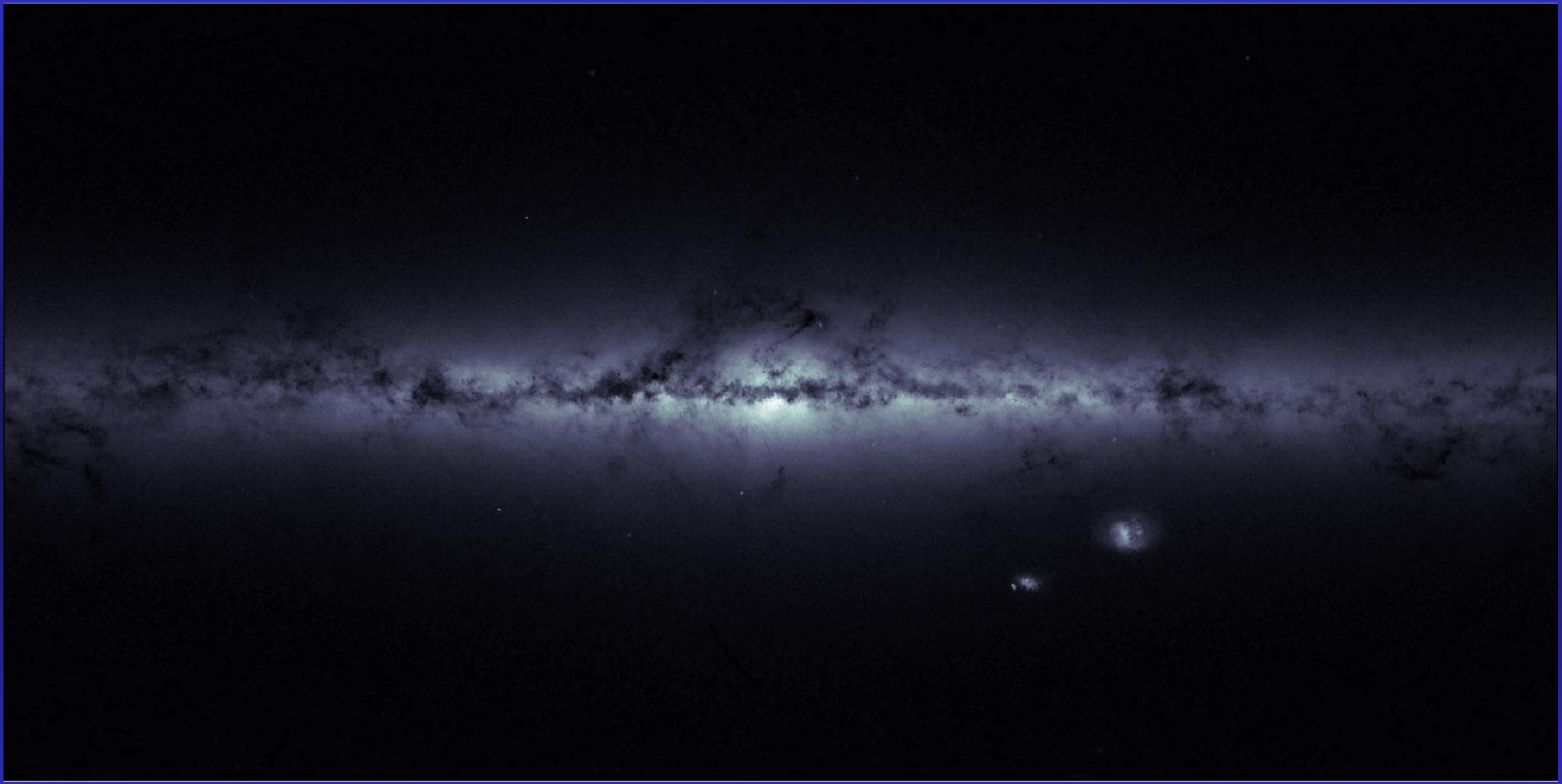
π = 8.18 ± 0.13 mas - 122 pc, new reduction Hipparcos data (*Van Leeuwen 2007*)

faintest MS stars have V < 15 ➔ Gaia individual parallaxes with $\sigma(\pi)/\pi < 0.1$ %

La maggiore accuratezza della missione GAIA

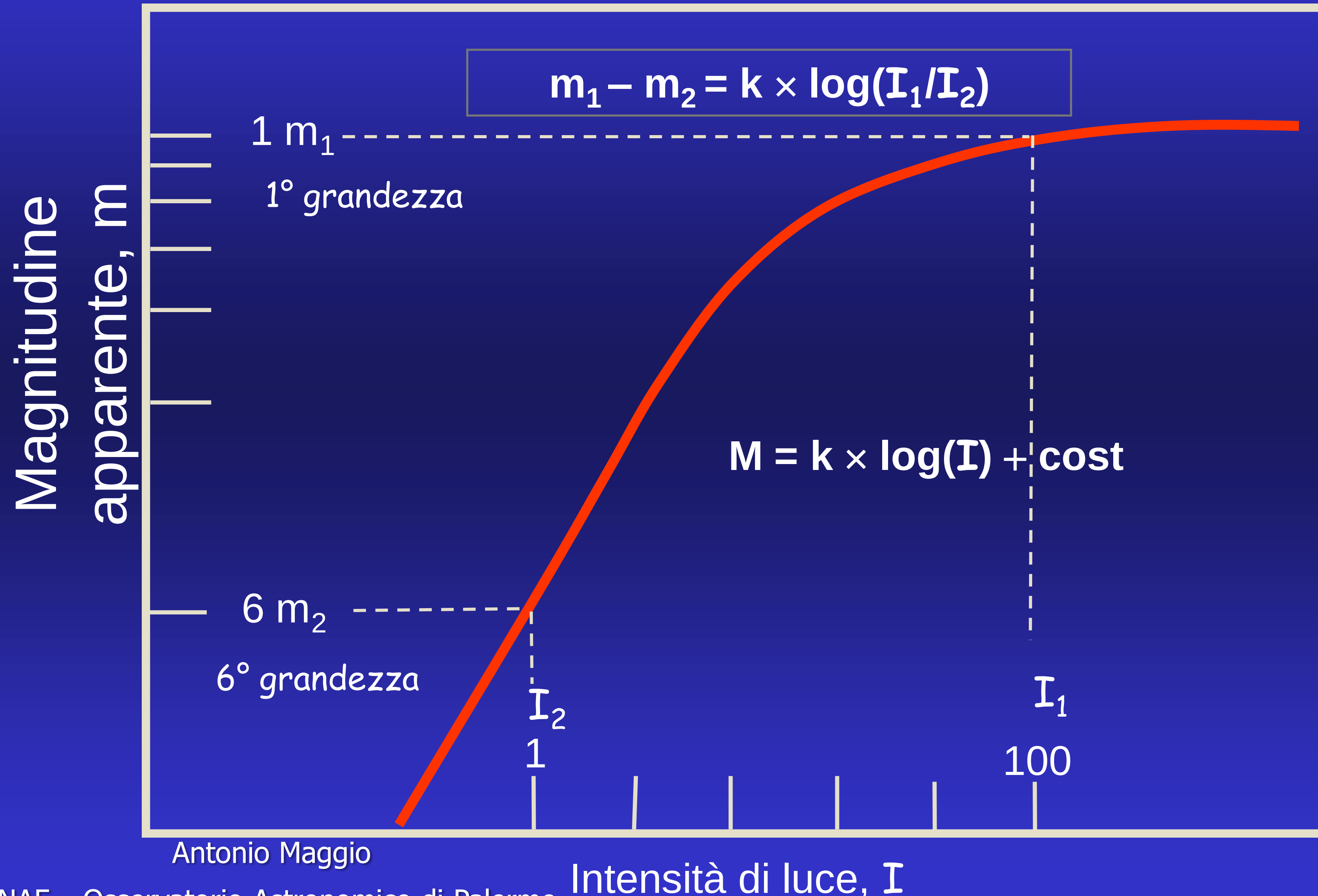


I primi risultati della missione GAIA



Luminosità e magnitudini

La relazione tra Intensità e Magnitudine



Antonio Maggio
INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

Differenza di Magnitudini

Siano m_1 ed m_2 le magnitudini che corrispondono alle intensità I_1 e I_2, osservate per due diverse stelle.

Se la differenza fra le due magnitudini (m_1-m_2) è -5 mentre il rapporto fra le luminosità (I_1/I_2) è 100 allora:

$$m_1 - m_2 = k \times \log(I_1/I_2) \Longrightarrow k = -2,5$$

quindi possiamo scrivere:

$$\boxed{m_1 - m_2 = -2,5 \times \log(I_1/I_2)}$$

Equazione di Pogson

Antonio Maggio

INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

La Magnitudine apparente

$$m = -2{,}5 \times \log(I) + \text{cost}$$

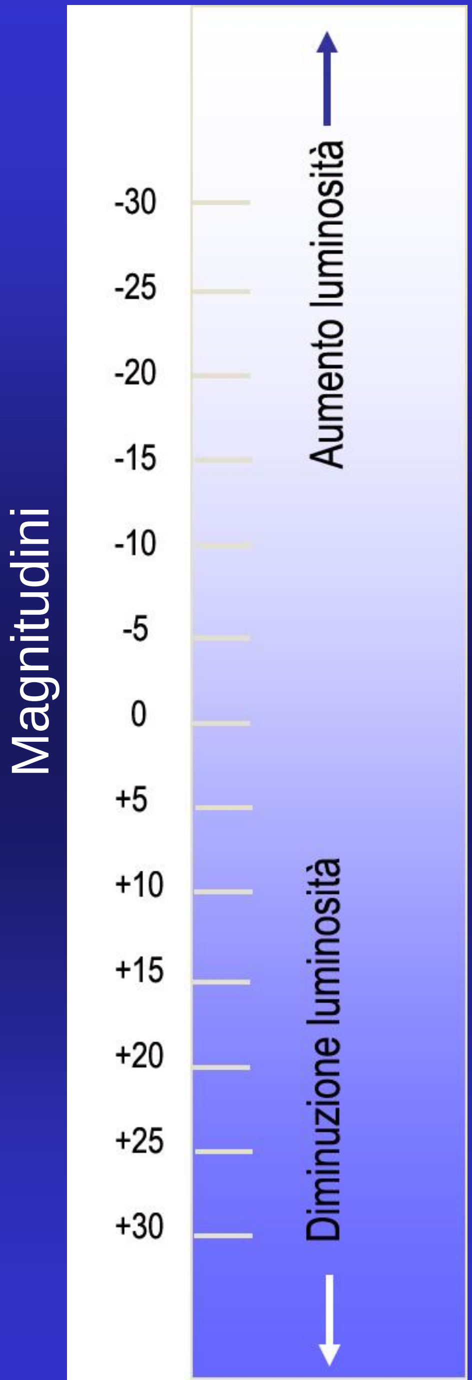
Pogson spiega il perché la magnitudine decresce quando la intensità luminosa cresce. Infatti si parla di oggetti brillanti quando la loro magnitudine apparente è molto piccola e viceversa.

La magnitudine *apparente* del Sole, che è l'oggetto più luminoso che vediamo in cielo, è $\mathbf{m_{\odot} = -26{,}85}$

Antonio Maggio

INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

Valori più grandi delle magnitudini indicano oggetti più DEBOLI



Sole (-26,85)

Luna (-12,6)

Venere (-4,4)

Sirio (-1,4)

Occhio nudo (+6)

Binocolo (+10)

Plutone (+15,1)

Grandi telescopi (+25)

Hubble Space Telescope (+30)

Antonio Maggio

INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

Intensità ⇦⇨ Flusso

Quando si parla di intensità luminosa di una stella in realtà ci si riferisce al *FLUSSO di energia*, f , ovvero alla quantità di energia ricevuta dalla stella che viene intercettata da una superficie di raccolta in un certo intervallo di tempo.

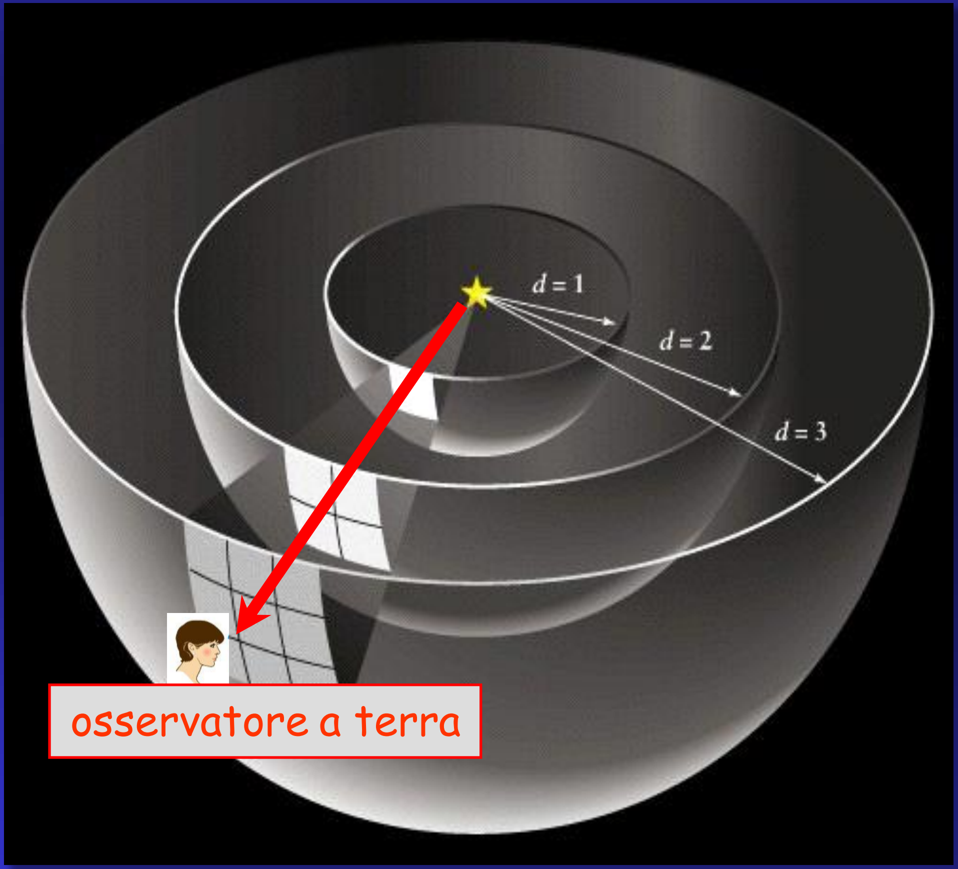
Questa viene misurata con gli strumenti a terra o su satelliti scientifici (ad esempio: l'occhio, i telescopi, etc.).

Antonio Maggio
INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

La Luminosità e il Flusso

Prendiamo una stella e disegniamo intorno ad essa delle sfere concentriche di diverso raggio: d_1, d_2, d_3

La quantità di energia che arriva sulla terra per unità di tempo e unità di superficie dipenderà dalla luminosità intrinseca della stella e dalla sua distanza.



Antonio Maggio
INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

La Luminosità e il Flusso

L = è l’energia emessa dalla stella nell’unità di tempo [erg sec^{-1}]

d = la distanza della stella dall’osservatore

f = il flusso di energia che arriva a terra per una superficie di 1 cm^2 e nell’unità di tempo di 1 sec [erg cm^{-2} sec^{-1}]

$$f = \frac{L}{4\pi d^2}$$

Luminosità della stella

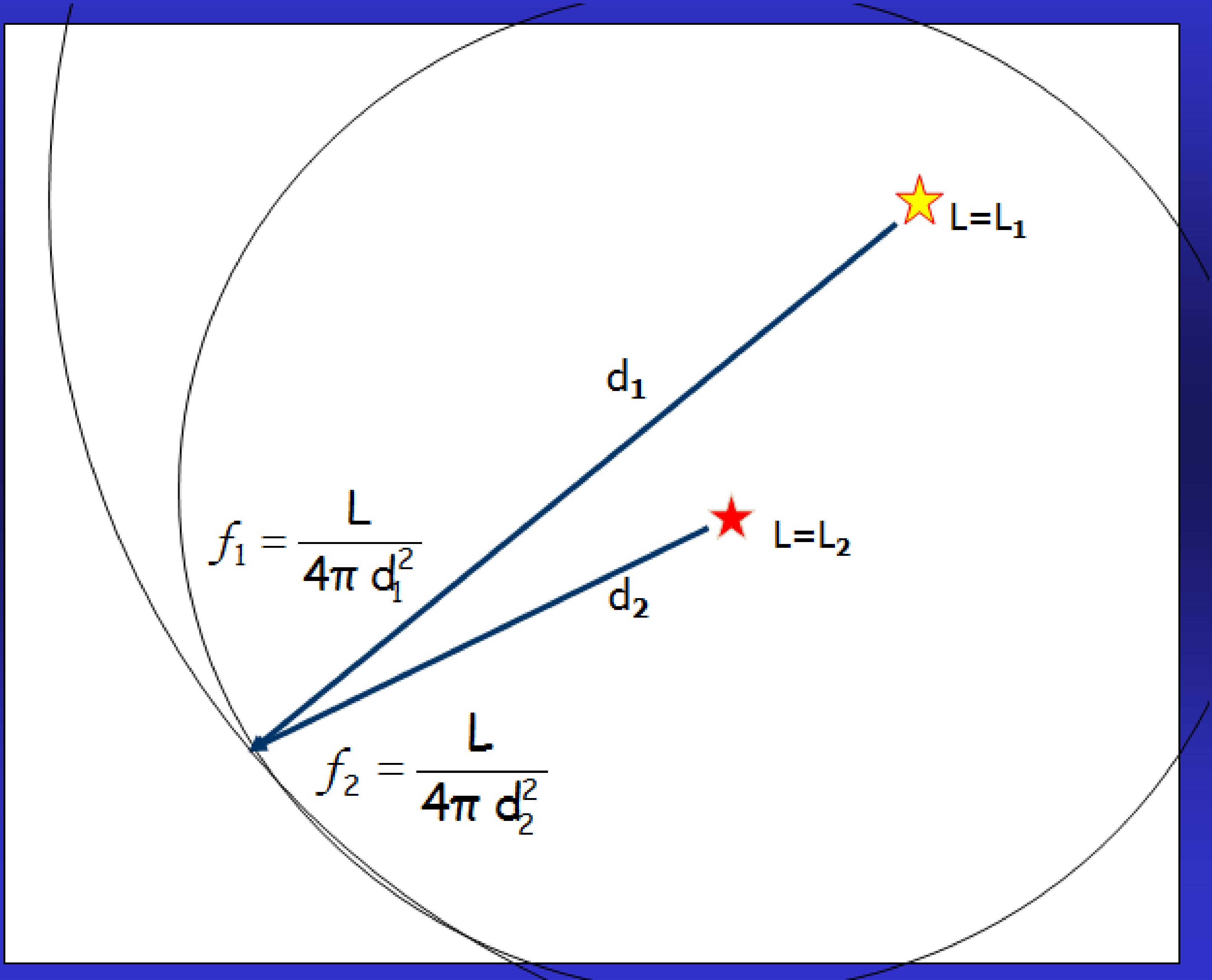
distanza della stella

Antonio Maggio

INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

Dipendenza del Flusso dalla distanza

Antonio Maggio
INAF – Osservatori Astronomi di Palerm



Magnitudine apparente, Flusso, Distanza

Adesso prendiamo due stelle con la stessa luminosità L (cioè $L_1 = L_2$) ma che siano poste a distanze d_1 e d_2 diverse e confrontiamole fra loro.

L'equazione di Pogson ci dice che:

$$m_1 = -2{,}5 \times \log(f_1) + C$$

$$m_2 = -2{,}5 \times \log(f_2) + C$$

Calcoliamo la differenza delle magnitudini *apparenti* usando la formula di Pogson e l'equazione del flusso:

$$m_1 - m_2 = -2{,}5 \times \log(f_1/f_2)$$

$$f = \frac{L}{4\pi\, d^2}$$

$$\Downarrow$$

$$m_1 - m_2 = -5 \times \log(d_2/d_1)$$

Antonio Maggio

INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

Ma allora, qual è la più luminosa?

E se la stella apparentemente più debole fosse in realtà più luminosa ma più lontana?

Diventa necessario introdurre una scala di magnitudini *assoluta*

La Magnitudine Assoluta

Quanto apparirebbe brillante una stella se fosse posta alla distanza di 10 pc (1 pc = $3{,}058 \times 10^{18}$ cm) ?

Applichiamo l'equazione per la differenza di magnitudini: $m_1 - m_2 = -5 \times \log(d_2/d_1)$

M = magnitudine assoluta (stella alla distanza di 10pc)

m = magnitudine apparente

d = distanza della stella in pc

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

L’equazione della distanza

La differenza tra magnitudine assoluta e apparente può essere scritta anche come:

$$M - m = 5 - 5 \times \log(d)$$

ed è detto <u>MODULO DI DISTANZA</u>

Se si conoscono due fra le quantità M, m e d, questa equazione ci consente di trovare la terza.

Esempio notevole

Qual'è la Magnitudine assoluta del Sole?

$$m_{\odot} = -26{,}85$$

$$d_{\odot} = 1\ \mathrm{AU} = 1{,}496 \times 10^{13}\ \mathrm{cm} = 4{,}849 \times 10^{-6}\ \mathrm{pc}$$

$$M_{\odot} = m_{\odot} + 5 - 5 \times \log(d_{\odot}) \longrightarrow M_{\odot} = 4{,}72$$

La *Magnitudine Assoluta* permette di confrontare le luminosità intrinseche delle stelle.

Altri esempi

Luna: $d_{\mathbf{Luna}} = 2{,}57 \times 10^{-3}$ AU $= 1{,}25 \times 10^{-8}$ pc

$m_{\mathbf{Luna}} = -12{,}6$ → $M_{Luna} = +31{,}92$

Sirio (α Canis Majoris): $d_{\mathbf{Sirio}} = 2{,}64$ pc → $M_{Sirio} = +1{,}42$

$m_{\mathbf{Sirio}} = -1.47$

Esercizio inverso: determinazione della distanza

Prendiamo ad esempio Proxima Centauri (α Cen):

$m_{\alpha \mathbf{Cen}} = 0{,}00$

$M_{\alpha \mathbf{Cen}} = +4{,}4$

→ $d_{\alpha Cen} = 1{,}3$pc

Dalla Magnitudine Assoluta alla Luminosità

Se vogliamo confrontare la luminosità di due oggetti <u>dobbiamo</u> considerare la loro magnitudine assoluta.

Prendiamo la magnitudine assoluta del Sole come riferimento:

$$M_\odot = -2{,}5 \log\left(f_\odot\right) + c$$

$$M_\odot = -2{,}5 \log\left(\frac{L_\odot}{4\pi(10\ \mathrm{pc})^2}\right) + c$$

Consideriamo ora la magnitudine assoluta di α Cen:

$$M_{\alpha\mathrm{Cen}} = -2{,}5 \log\left(\frac{L_{\alpha\mathrm{Cen}}}{4\pi(10\ \mathrm{pc})^2}\right) + c$$

per cui:

$$M_{\alpha\mathrm{Cen}} = M_\odot - 2{,}5 \log\left(\frac{L_{\alpha\mathrm{Cen}}}{L_\odot}\right)$$

Calcolo della Luminosità

Quale sarà la luminosità di α Cen rispetto al Sole?

Noi sappiamo che $L_{\odot}$ = 3,83x10^{33} erg/sec e dato che conosciamo le magnitudini assolute di α Cen e del Sole:

$M_{\alpha Cen} = +4.4$ $M_{\odot}=+4,72$

$$\frac{L_{\alpha Cen}}{L_{\odot}} = 10^{-\frac{M_{\alpha Cen} - M_{\odot}}{2,5}}$$

$L_{\alpha Cen} = 5,14 \times 10^{33}$ erg/sec

Magnitudini, luminosità, distanze

Stella	Magnitudine Apparente	Magnitudine Assoluta	Luminosità [erg/sec]	Luminosità $L/L_\odot$	Distanza [pc]	Distanza $d/d_\odot$
Sole	-26,85	4,72	$3{,}83 \times 10^{33}$	1	$4{,}85 \times 10^{-6}$	1
Luna	-12,6	31,92	$5{,}05 \times 10^{22}$	$1{,}3 \times 10^{-11}$	$1{,}25 \times 10^{-8}$	$2{,}6 \times 10^{-3}$
Sirio	-1,47	1,42	$8{,}00 \times 10^{34}$	20,89	2,64	$5{,}4 \times 10^{5}$
a Centauri	0,00	4,40	$5{,}14 \times 10^{33}$	1,34	1,3	$2{,}7 \times 10^{5}$