



Lezione 2

Le stelle

9
Inner City sky

7
Suburban/urban
transition

5
Suburban sky

3
Rural sky

1
Excellent dark
sky site

Altair

Rasalhague

IC 333

IC 4665
Cebalrai

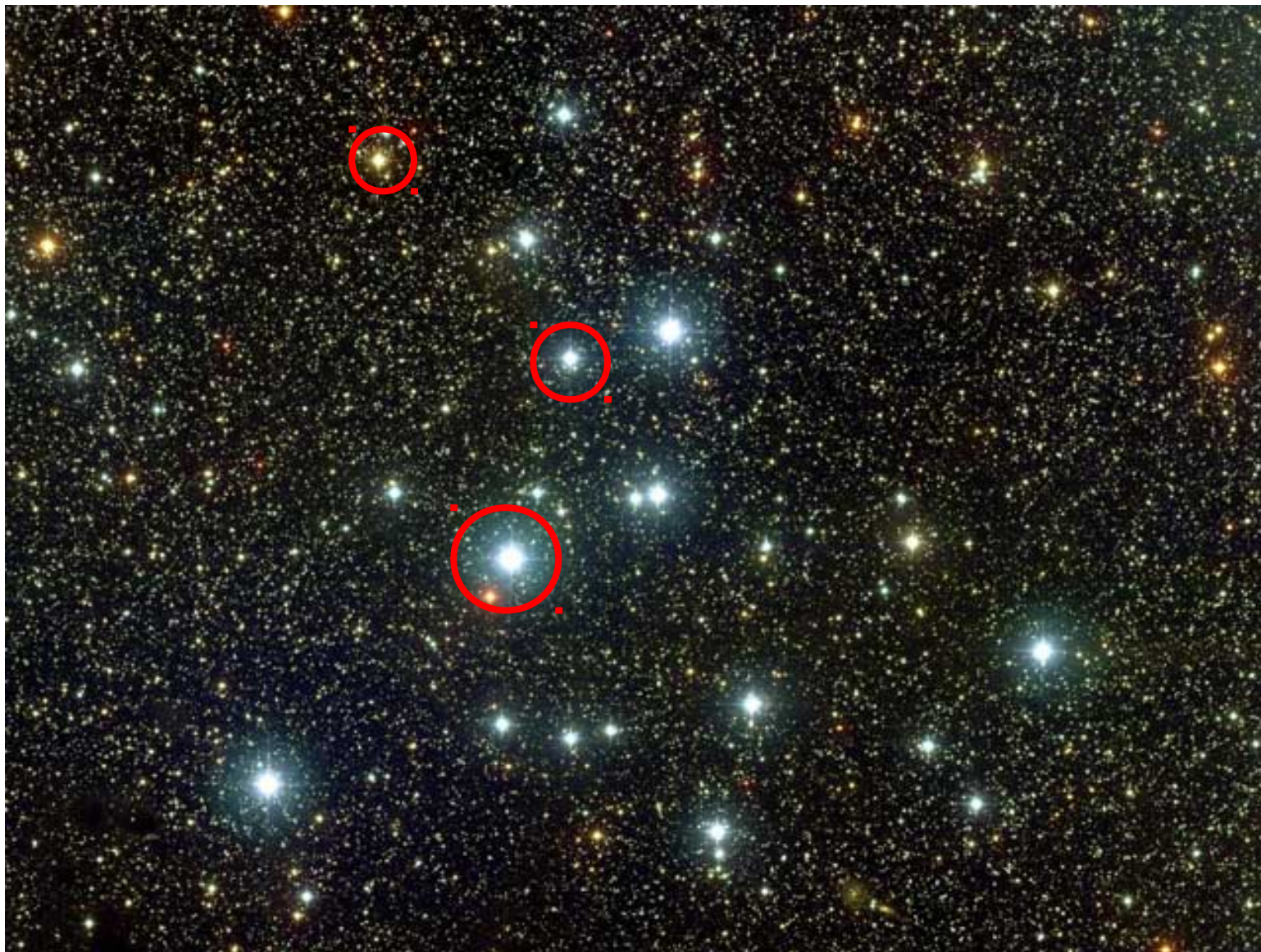
Sabik

Jupiter

Nunki

NGC 6530

Edia





Ipparco di Nicea

I primi studi furono fatti da Ipparco di Nicea (astronomo greco) già nel II secolo a.C., e successivamente da Claudio Tolomeo (circa 150 d.C.).



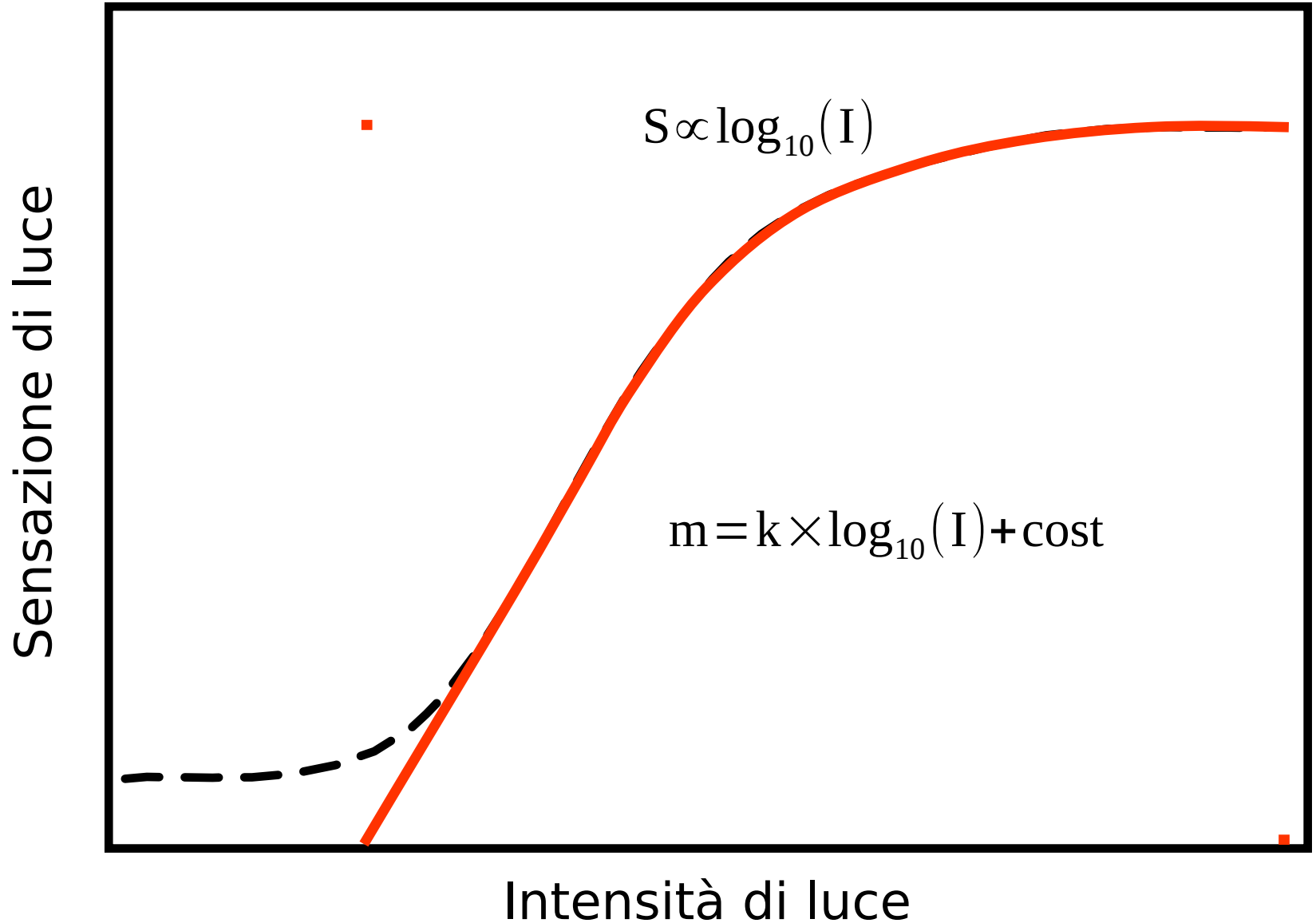
Claudio Tolomeo

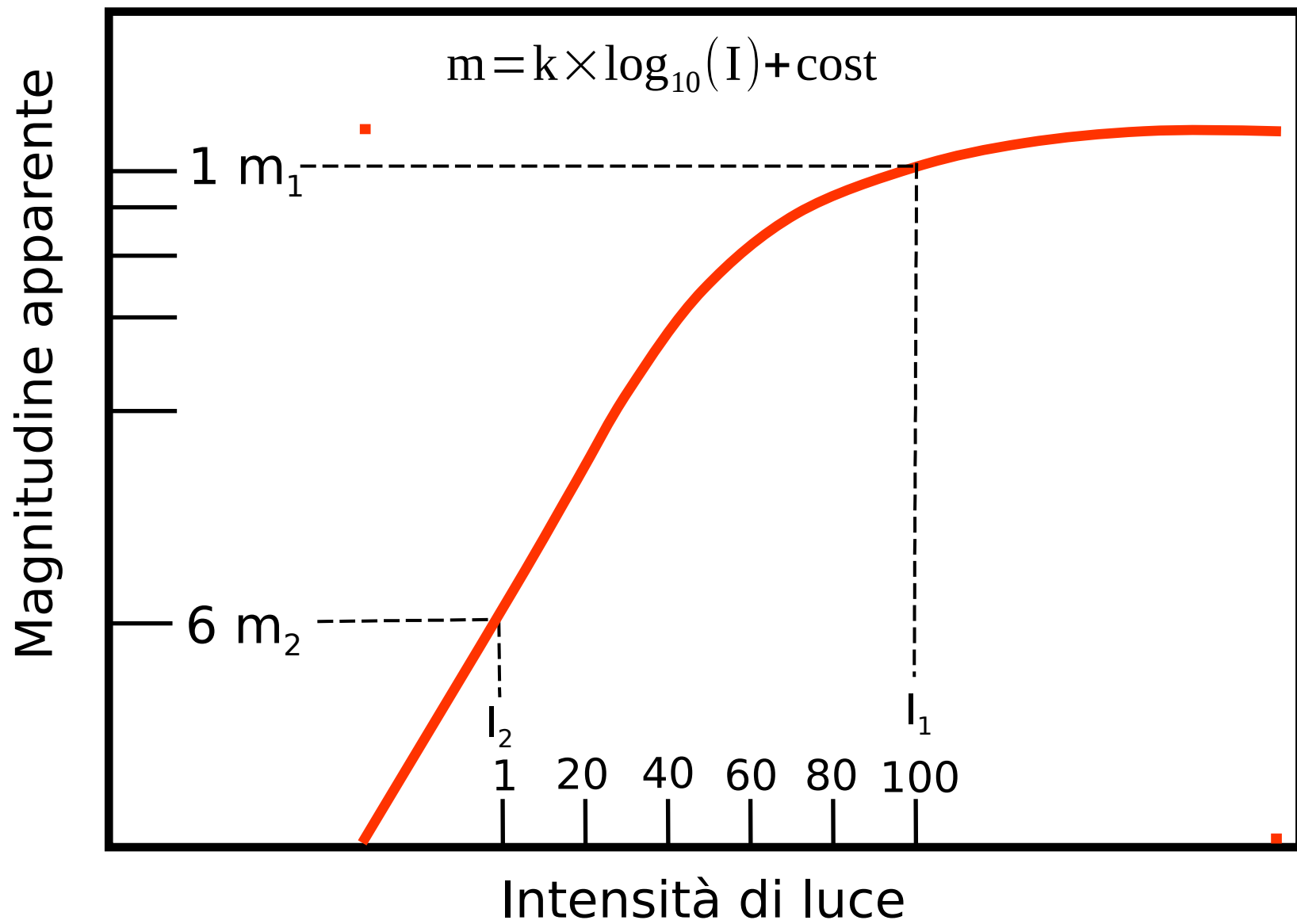
Divisero le stelle osservate in cielo in 6 **classi di luminosità** o **MAGNITUDINI**

Si parla in genere di magnitudine o di grandezza di una stella:

ex.: stella di 1° grandezza = stella di magnitudine 1

La Magnitudine apparente





$$m_1 - m_2 = -5 \quad \Leftrightarrow \quad \frac{f_1}{f_2} = 100$$

$$m_1 - m_2 = k \times \log_{10} \left(\frac{f_1}{f_2} \right) \quad \Rightarrow \quad k = -2.5$$

$$m_1 - m_2 = -2.5 \times \log_{10} \left(\frac{f_1}{f_2} \right)$$

equazione di Pogson

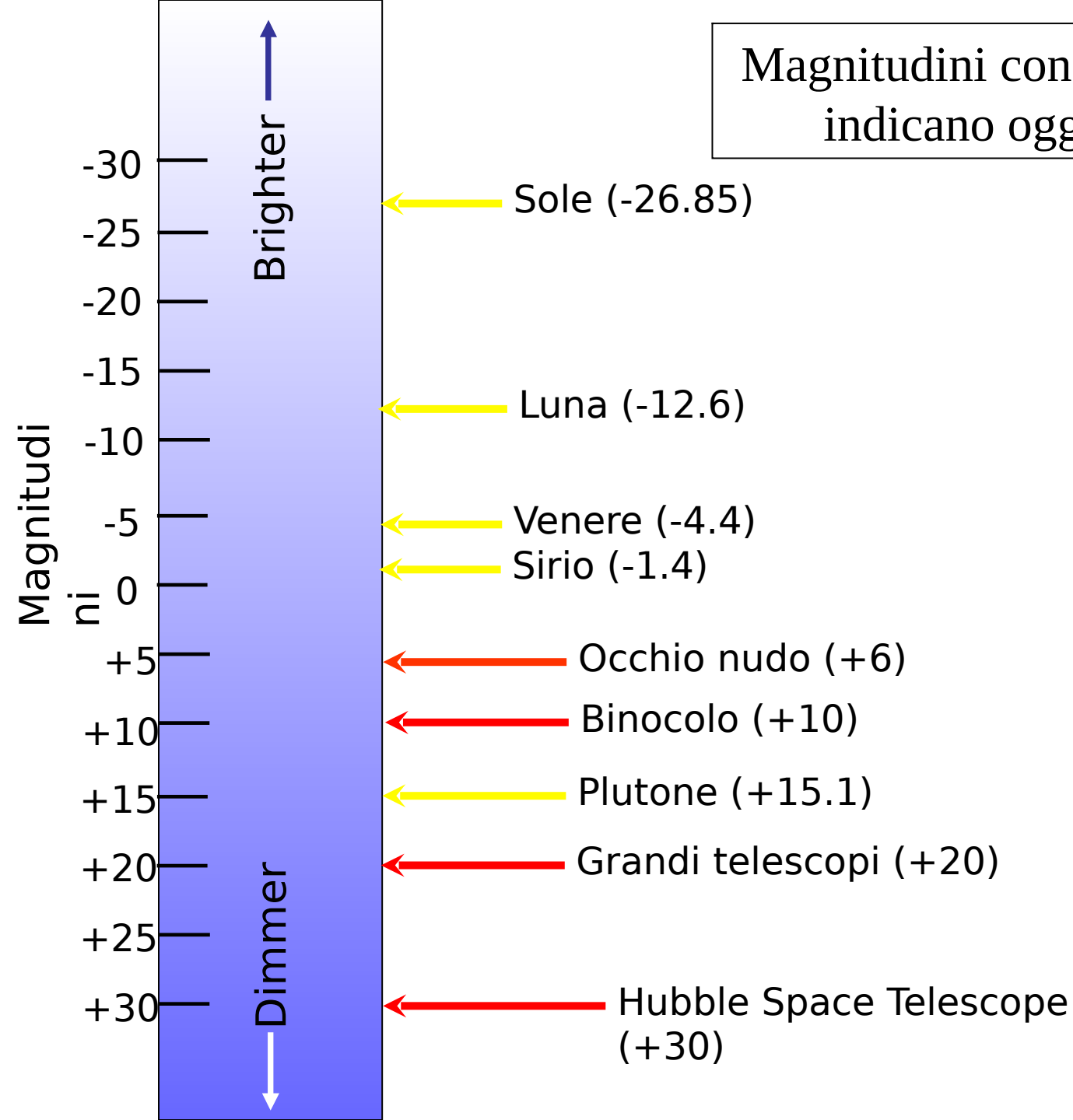
Per una stella:

f_0 è l'intensità di Vega che ha $m = 0.0$

$$m = -2.5 \times \log_{10} \frac{f}{f_0} \quad \Rightarrow \quad m = m_0 - 2.5 \times \log_{10} f$$

Magnitudine **apparente** del Sole: $m_{\odot} = -26.85$

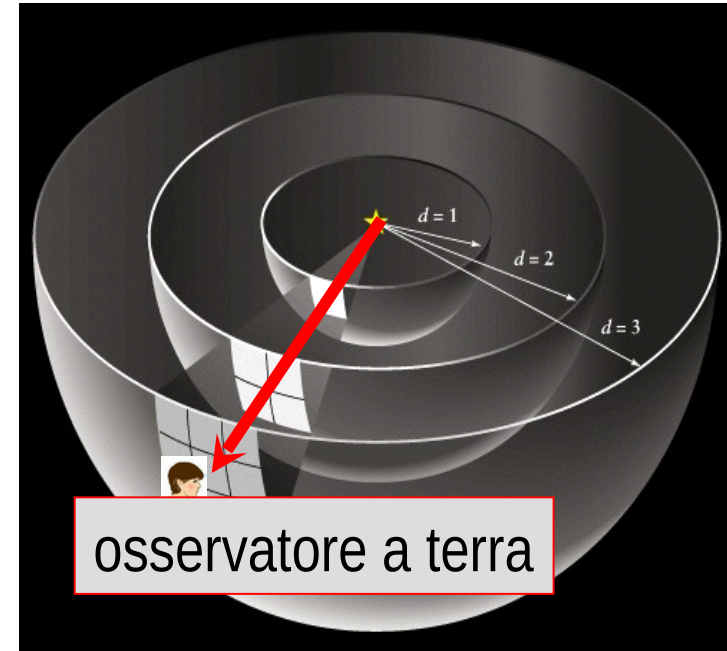
Magnitudini con numeri più grandi
indicano oggetti più deboli



Il Flusso e la Luminosità

$$f_{\text{oss}} = \frac{L}{4\pi d^2}$$

- f_{oss} è il **flusso** di energia ricevuta per unità di superficie e di tempo ($\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- L è la **luminosità**, cioè l'energia emessa dalla stella per unità di tempo (erg s^{-1})
- d è la **distanza** della stella dall'osservatore (cm)



Per due stelle con la stessa luminosità ma poste a distanze diverse:

$$L = L_1 = 4\pi d_1^2 f_1 = L_2 = 4\pi d_2^2 f_2$$

La differenza fra le magnitudini apparenti delle due stelle vale:

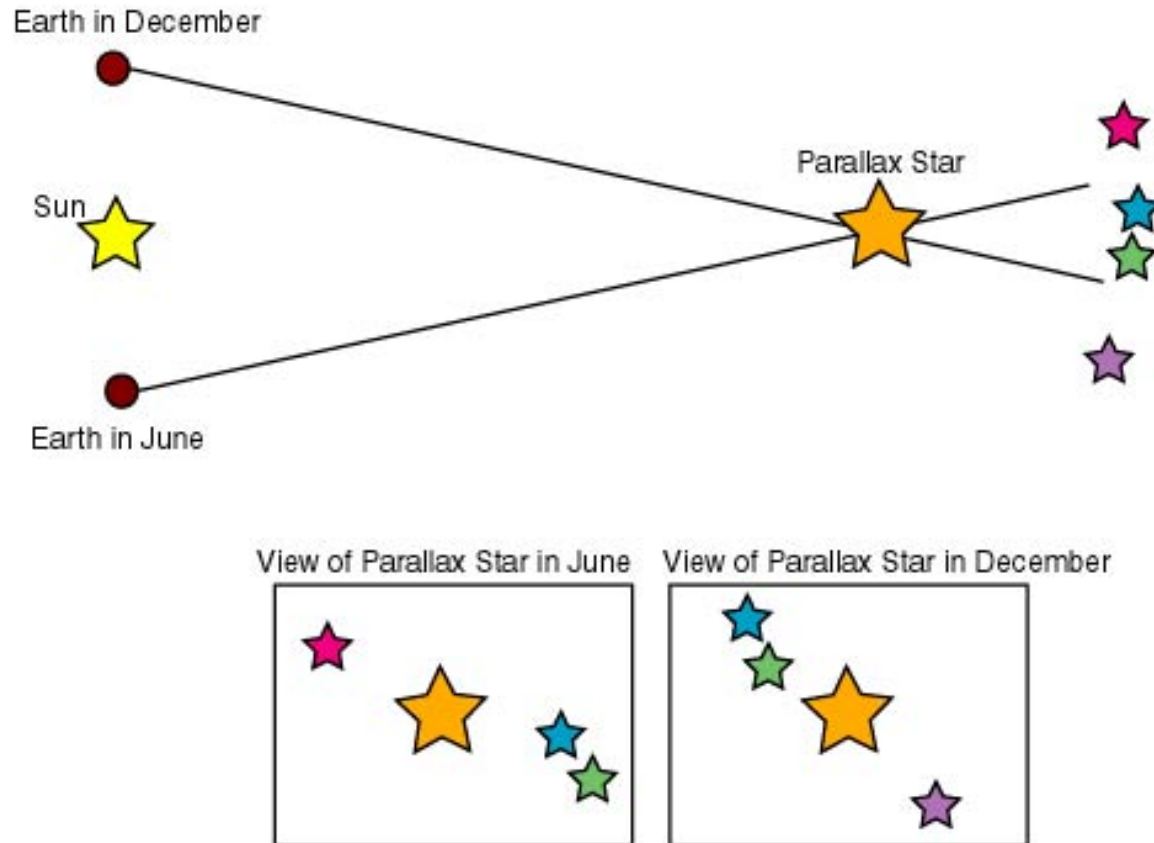
$$m_1 - m_2 = -2.5 \times \log_{10} \left(\frac{f_1}{f_2} \right) = -2.5 \times \log_{10} \left(\frac{L}{4\pi d_1^2} \times \frac{4\pi d_2^2}{L} \right)$$

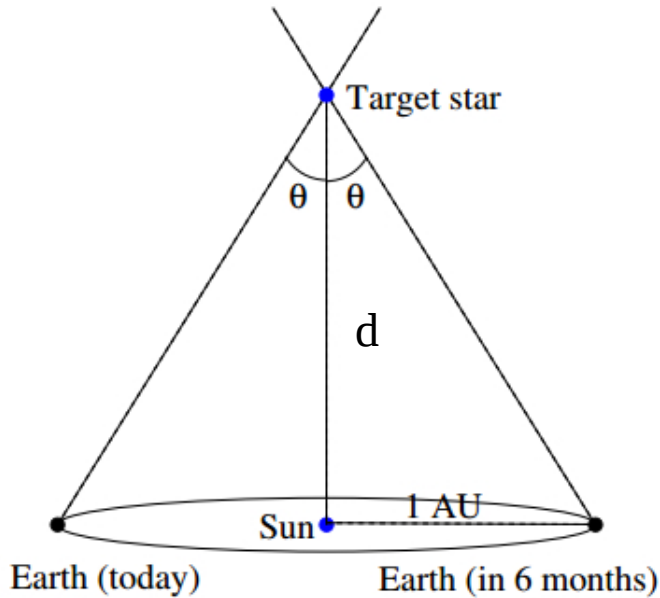
$$m_1 - m_2 = -2.5 \times \log_{10} \left(\frac{d_2^2}{d_1^2} \right)$$

$$m_1 - m_2 = -5 \times \log_{10} \left(\frac{d_2}{d_1} \right)$$

Parallasse e distanza

Diagram of Parallax





$$d = \frac{1 \text{ AU}}{\tan \theta} \approx \frac{1 \text{ AU}}{\theta} \quad \theta \text{ in rad}$$

Il **parsec** è la distanza dal sole di una sorgente che ha una parallasse annua di $1''$.

$$1 \text{ pc} = \frac{1 \text{ AU}}{1''}$$

$$1 \text{ AU} = 1.496 \times 10^{13} \text{ cm}$$

$$1'' = \frac{2\pi}{360 \times 60 \times 60} \text{ rad}$$

$$1 \text{ pc} = \frac{1.496 \times 10^{13} \text{ cm}}{4.848 \times 10^{-6} \text{ rad}} = 3.09 \times 10^{18} \text{ cm} = 3.26 \text{ ly}$$

$$d(\text{pc}) = \frac{1}{\theta('')}$$

α Centauri: $\theta = 0.76''$ $d = 1.32 \text{ pc}$

Angoli piccoli!!

Da Terra: $\theta > 0.01''$ $d < 100 \text{ pc}$

Dallo spazio: $\theta > 0.00001''$ $d < 100 \text{ kpc}$

La Magnitudine Assoluta

Per poter confrontare le stelle, supponiamo di metterle tutte alla stessa distanza di 10 parsec (pc).

La **magnitudine assoluta** (M) è la magnitudine della stella se fosse posta alla distanza di 10 pc.

$$m - M = -5 \times \log_{10} \left(\frac{10}{d} \right)$$

$$M = m + 5 - 5 \times \log_{10} d$$

d in parsec

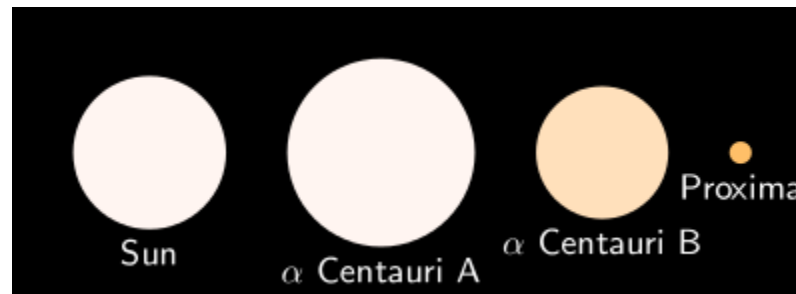
M-m è detto **modulo di distanza**.

Qual è la magnitudine assoluta del Sole?

$$m_{\odot} = -26.85$$

$$d_{\odot} = 1 \text{ UA} = 1.496 \times 10^{13} \text{ cm} = 4.841 \times 10^{-6} \text{ pc}$$

$$M_{\odot} = m_{\odot} + 5 - 5 \times \log(d_{\odot}) \quad \Rightarrow \quad M_{\odot} = +4.73$$



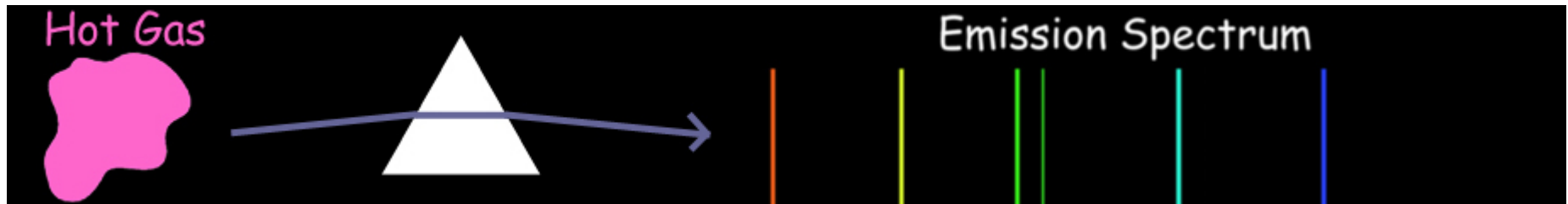
Qual è la magnitudine assoluta di α Cen A?

$$m_{\alpha\text{Cen}} = 0.01$$

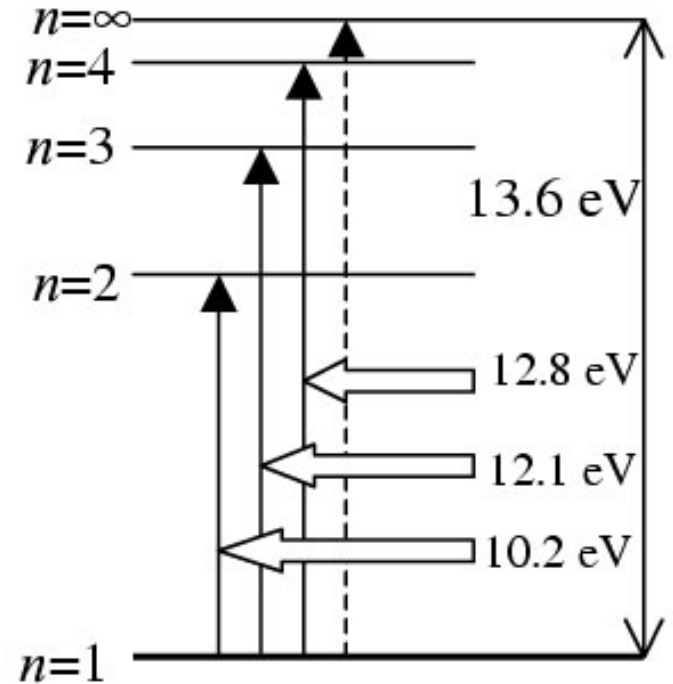
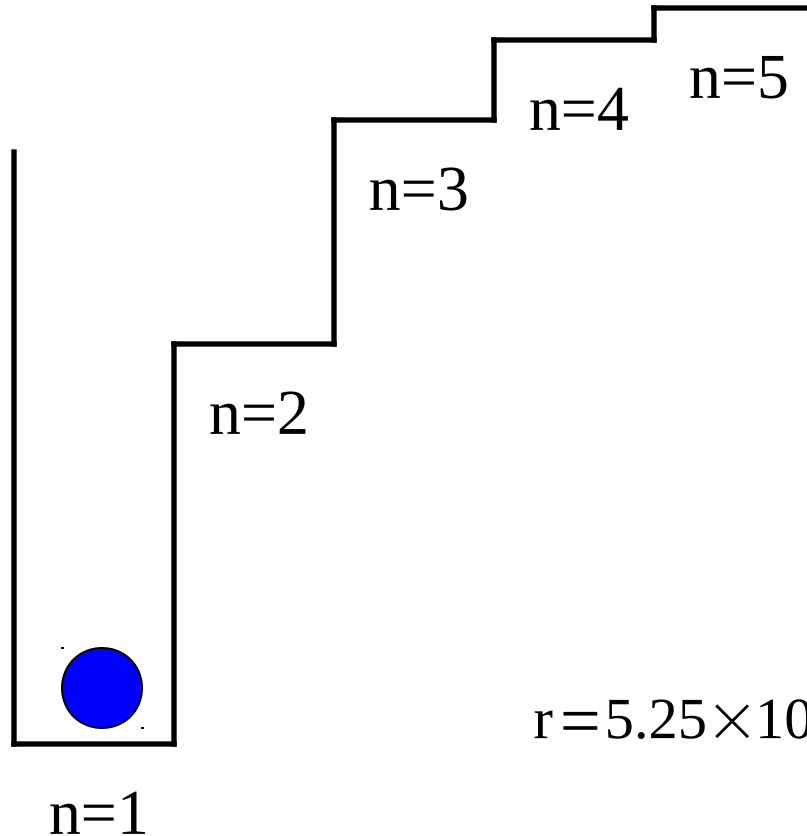
$$d_{\alpha\text{Cen}} = 1.32 \text{ pc}$$

$$M_{\alpha\text{Cen}} = m_{\alpha\text{Cen}} + 5 - 5 \times \log(d_{\alpha\text{Cen}}) \quad \Rightarrow \quad M_{\alpha\text{Cen}} = +4.41$$

Gli Spettri Stellari



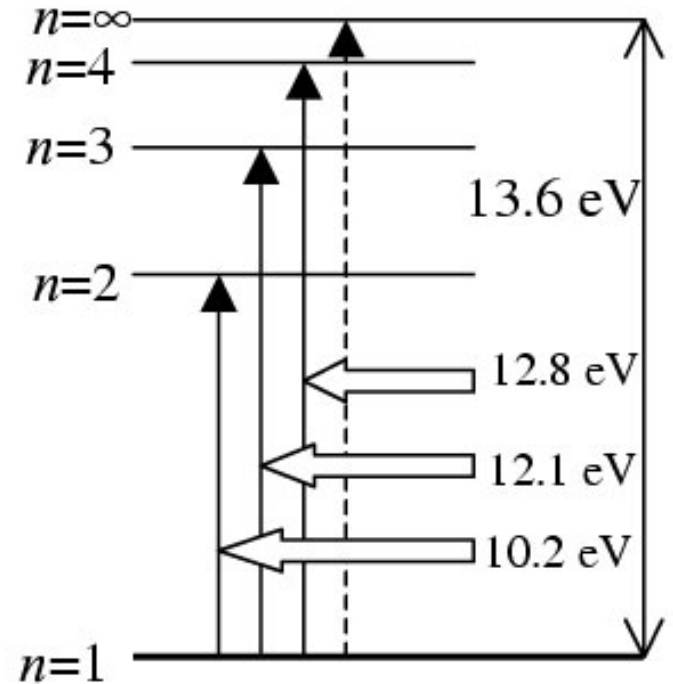
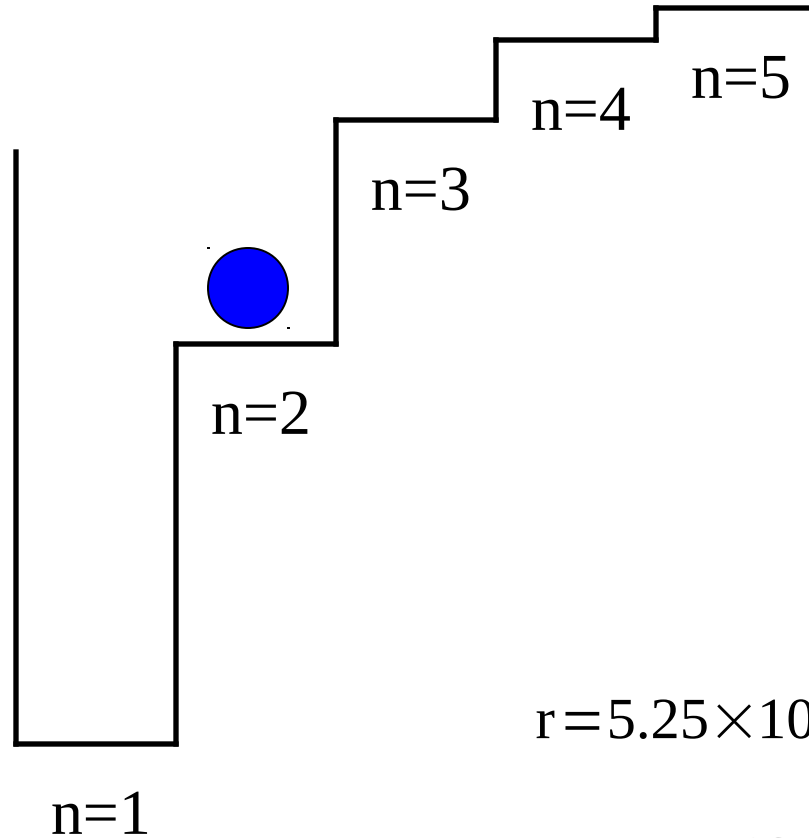
Livelli d'energia nell'atomo di H



$$r = 5.25 \times 10^{-11} n^2 \quad (\text{m})$$

$$E = -\frac{13.6}{n^2} \quad (\text{eV})$$

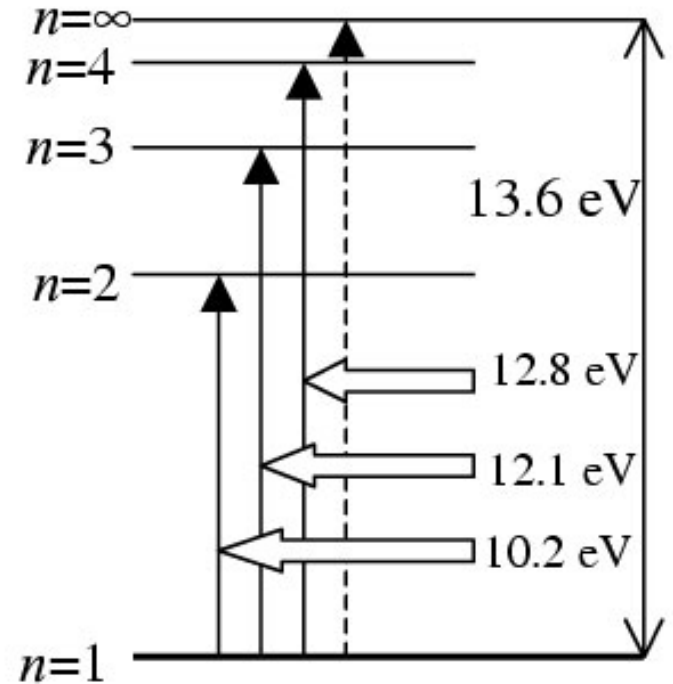
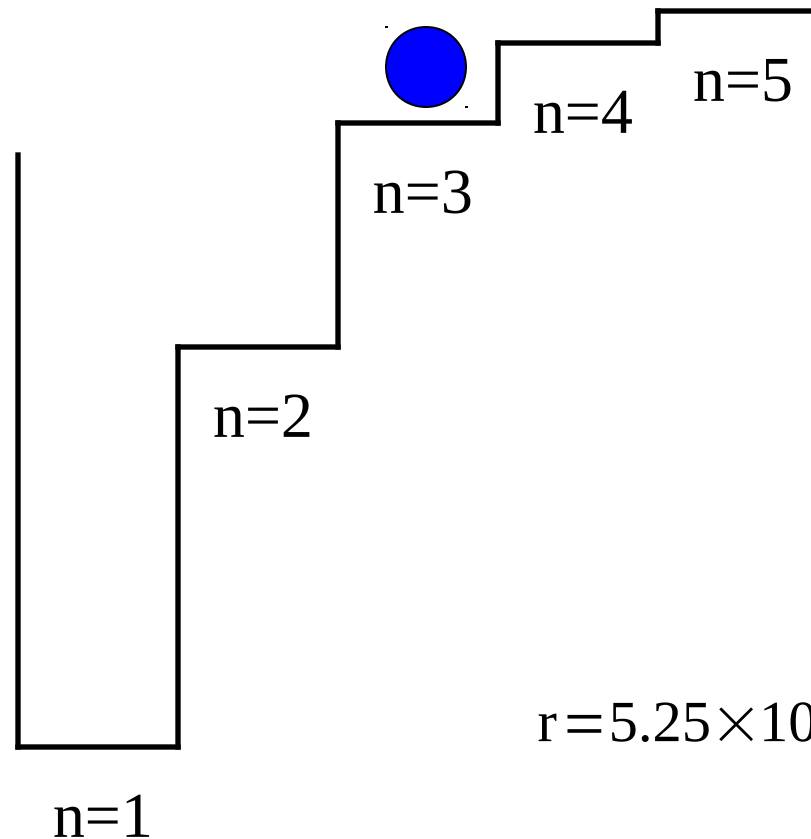
Livelli d'energia nell'atomo di H



$$r = 5.25 \times 10^{-11} n^2 \quad (\text{m})$$

$$E = -\frac{13.6}{n^2} \quad (\text{eV})$$

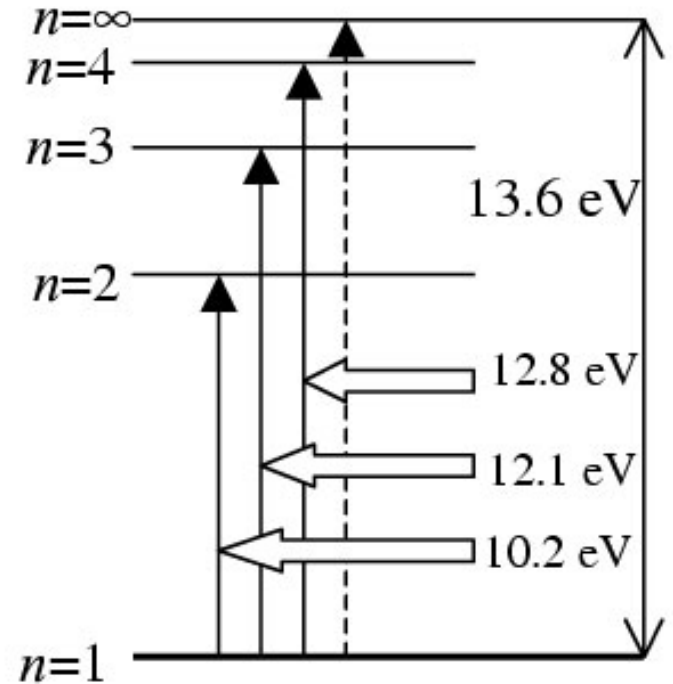
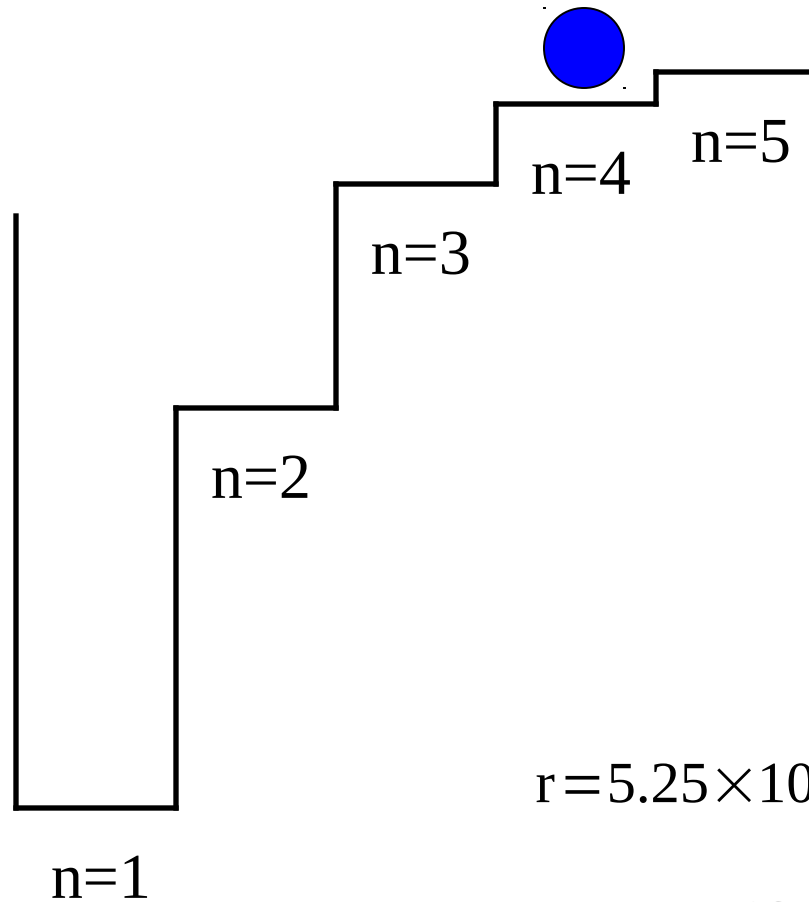
Livelli d'energia nell'atomo di H



$$r = 5.25 \times 10^{-11} n^2 \quad (\text{m})$$

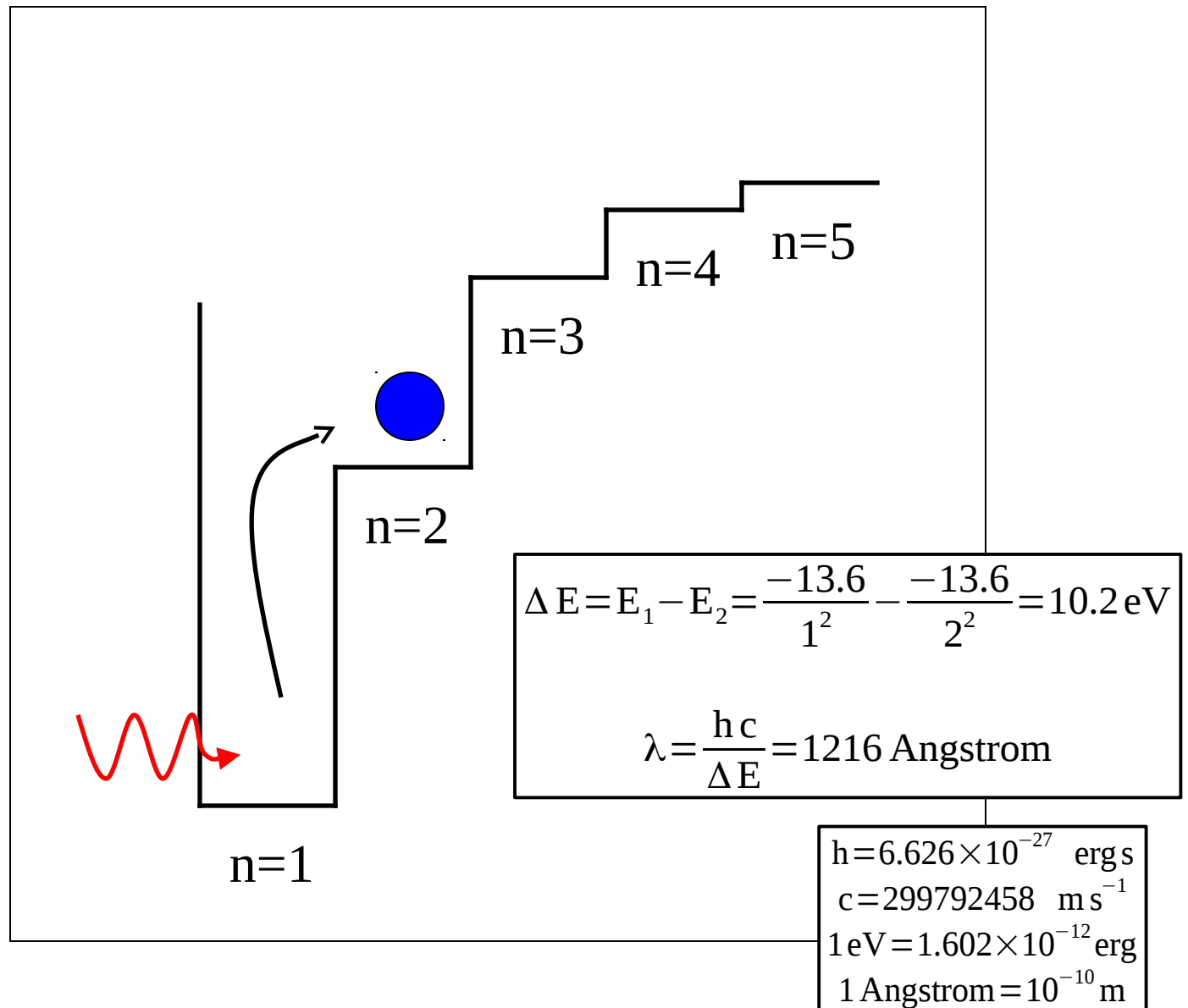
$$E = -\frac{13.6}{n^2} \quad (\text{eV})$$

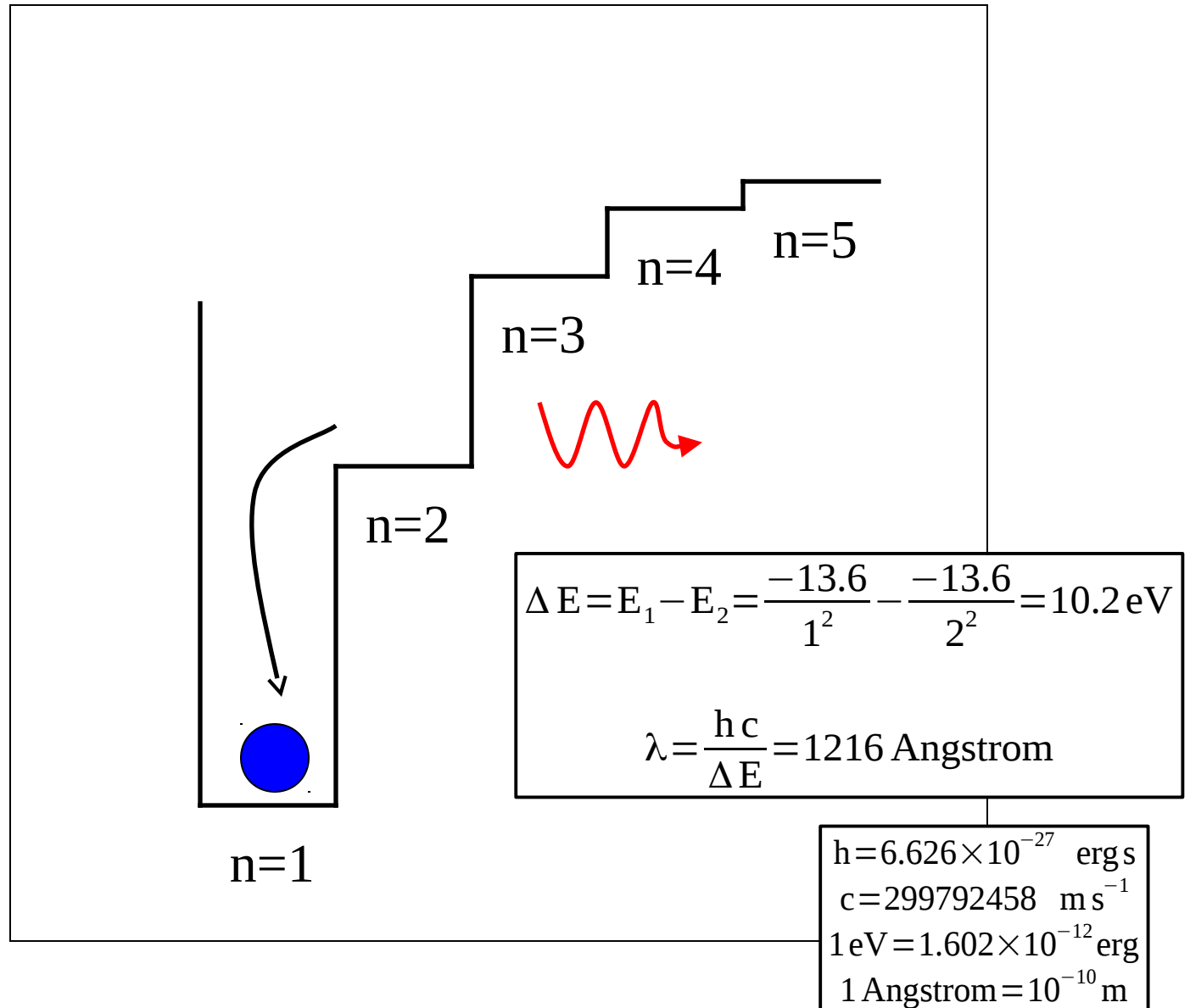
Livelli d'energia nell'atomo di H



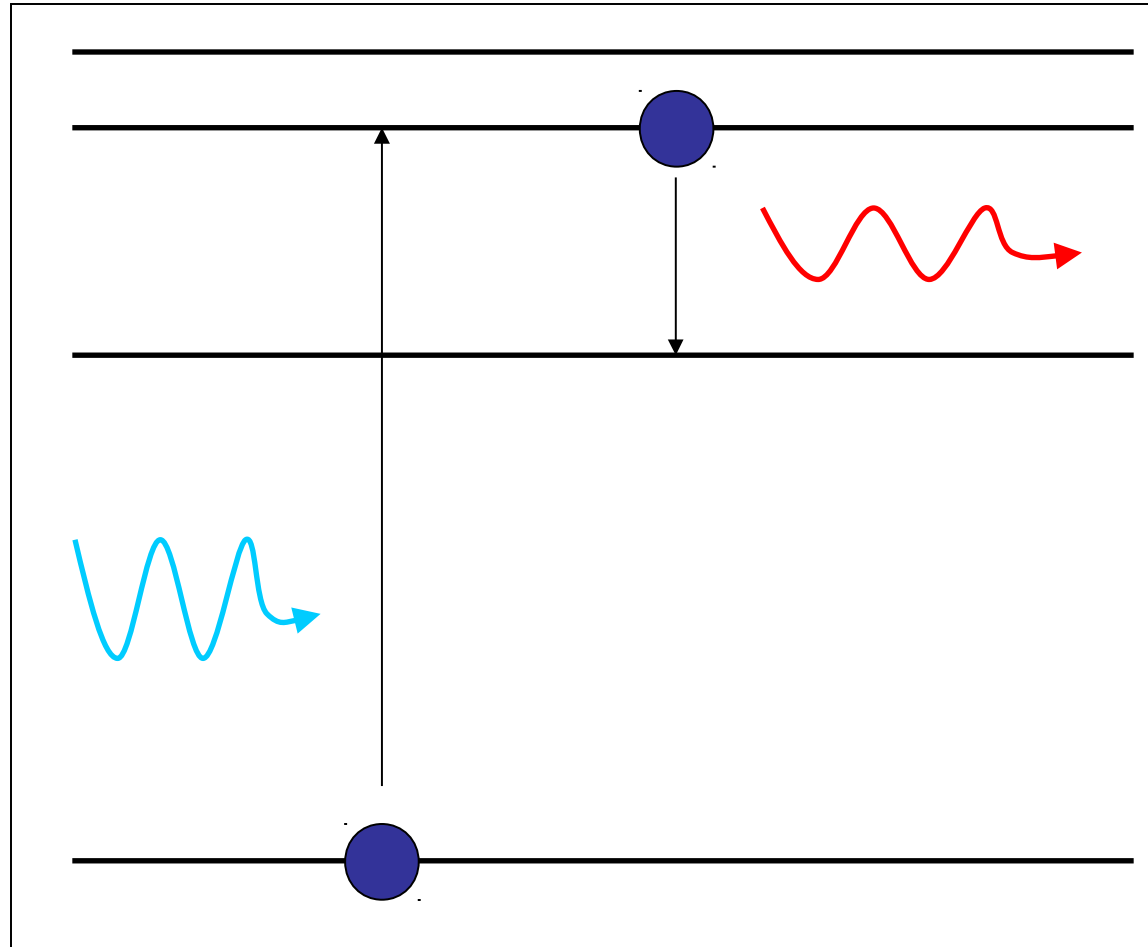
$$r = 5.25 \times 10^{-11} n^2 \quad (\text{m})$$

$$E = -\frac{13.6}{n^2} \quad (\text{eV})$$

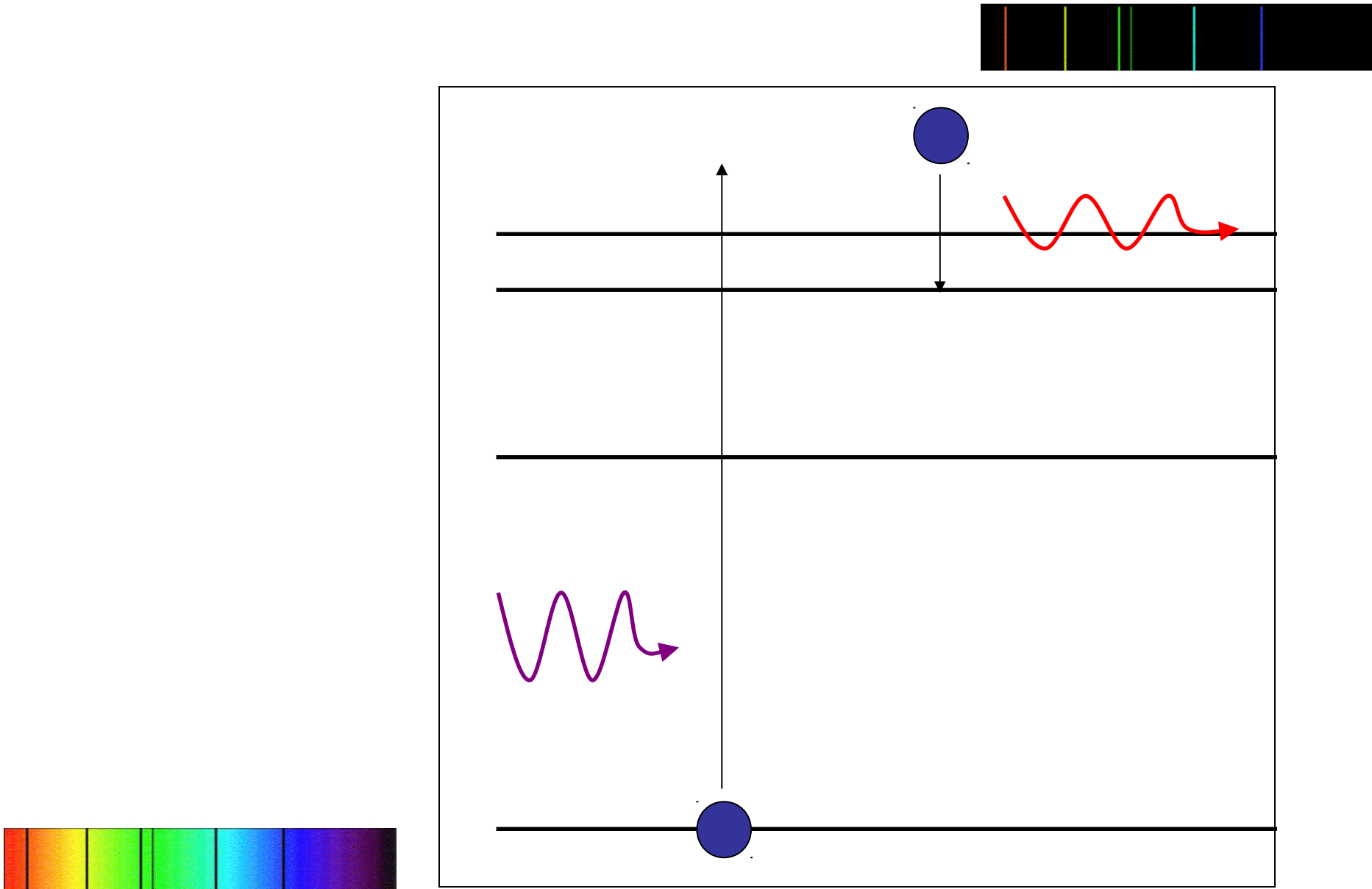


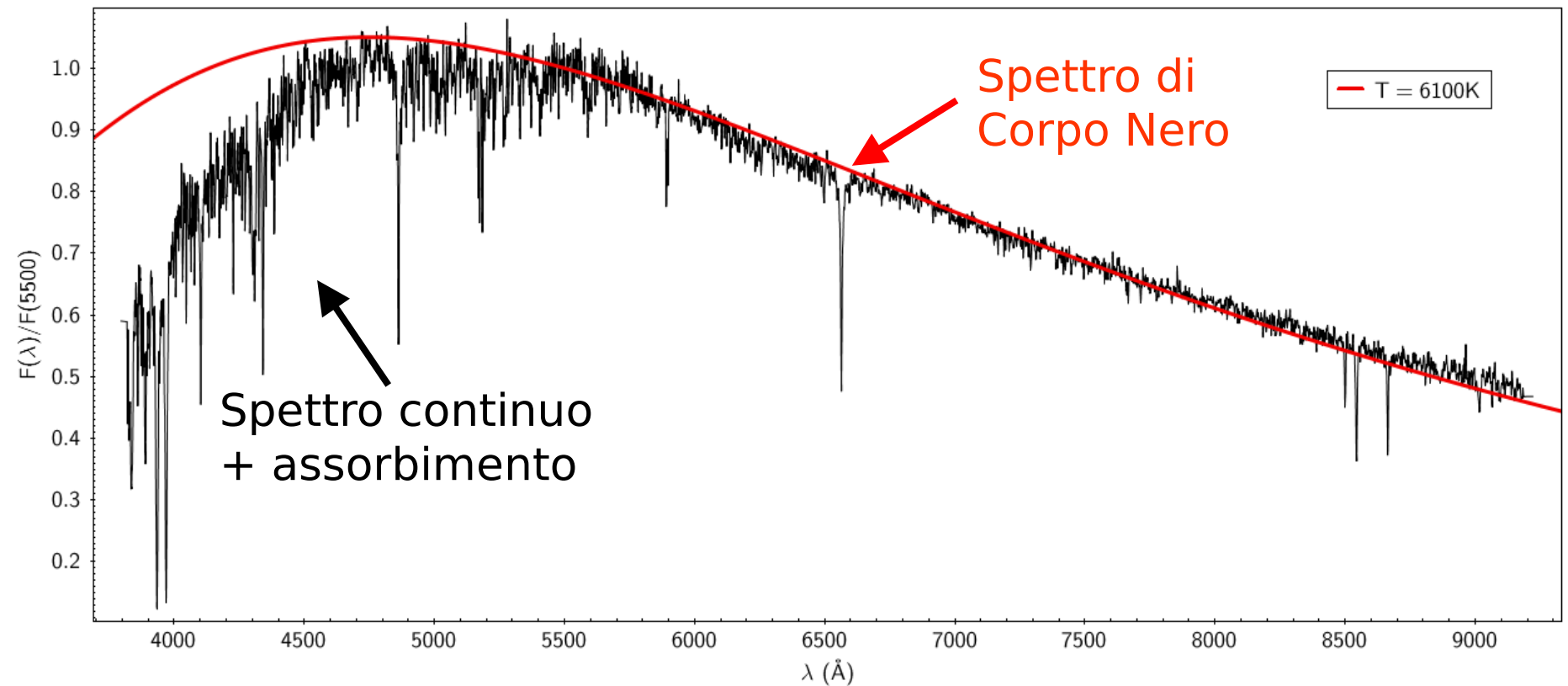


Transizioni fra stati legati



Transizioni fra stati legati e liberi





Lo spettro di una stella è costituito dalla somma di

spettro di corpo nero proveniente dall'interno della stella

+

spettro in assorbimento dovuto alla fotosfera stellare

Dallo spettro di una stella si possono ricavare moltissime informazioni:

- ✓ **TEMPERATURA** (corpo nero)
- ✓ **COMPOSIZIONE CHIMICA** (righe di emissione ed assorbimento)
- ✓ **MAGNITUDINI, COLORI, etc.**
- ✓ **VELOCITÀ** (effetto Doppler)

Temperatura delle stelle

La luminosità della stella è data da: $L = 4 \pi R^2 f$  f è il flusso alla superficie della stella.

Assumendo che la stella si comporti come un corpo nero:

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

Quando si parla di temperatura delle stelle ci si riferisce alla **temperatura efficace** (T_{eff}) della stella, ovvero alla temperatura che avrebbe un corpo nero che emette la stessa energia emessa dalla stella.

Classificazione delle stelle



Annie Jump Cannon

La classificazione spettrale moderna è stata codificata nel 1901 grazie al lavoro di osservazione e catalogazione degli spettri delle stelle dell'astronoma statunitense Annie Jump Cannon.

La Cannon identificò 7 tipi di spettri di stelle che indicò con le lettere O-B-A-F-G-K-M.



Cecilia Payne-Gaposchkin

Negli anni 20 Cecilia Payne, un'astrofisica anglo-statunitense studiando le atmosfere stellari, trovò una correlazione tra la classe spettrale e la temperatura.

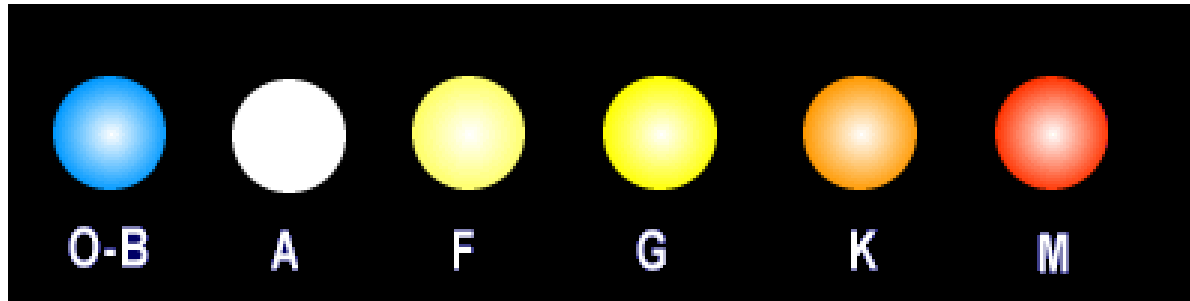
Sulla base delle caratteristiche dello spettro le stelle vengono classificate in **Tipi Spettrali** e **Classi di luminosità**

- ✓ Il parametro fisico fondamentale per la classificazione spettrale delle stelle è la **temperatura** (T).
- ✓ Al variare della T varia la **forma del continuo** e varia il **tipo di righe e bande di assorbimento**.
- ✓ A parità di T lo spettro è **sensibile al raggio** (R), cioè alla **gravità superficiale**.

$$g = \frac{G M}{R^2}$$

Classificazione di Morgan-Keenan

I Tipi Spettrali fondamentali sono 7: **O, B, A, F, G, K, M**

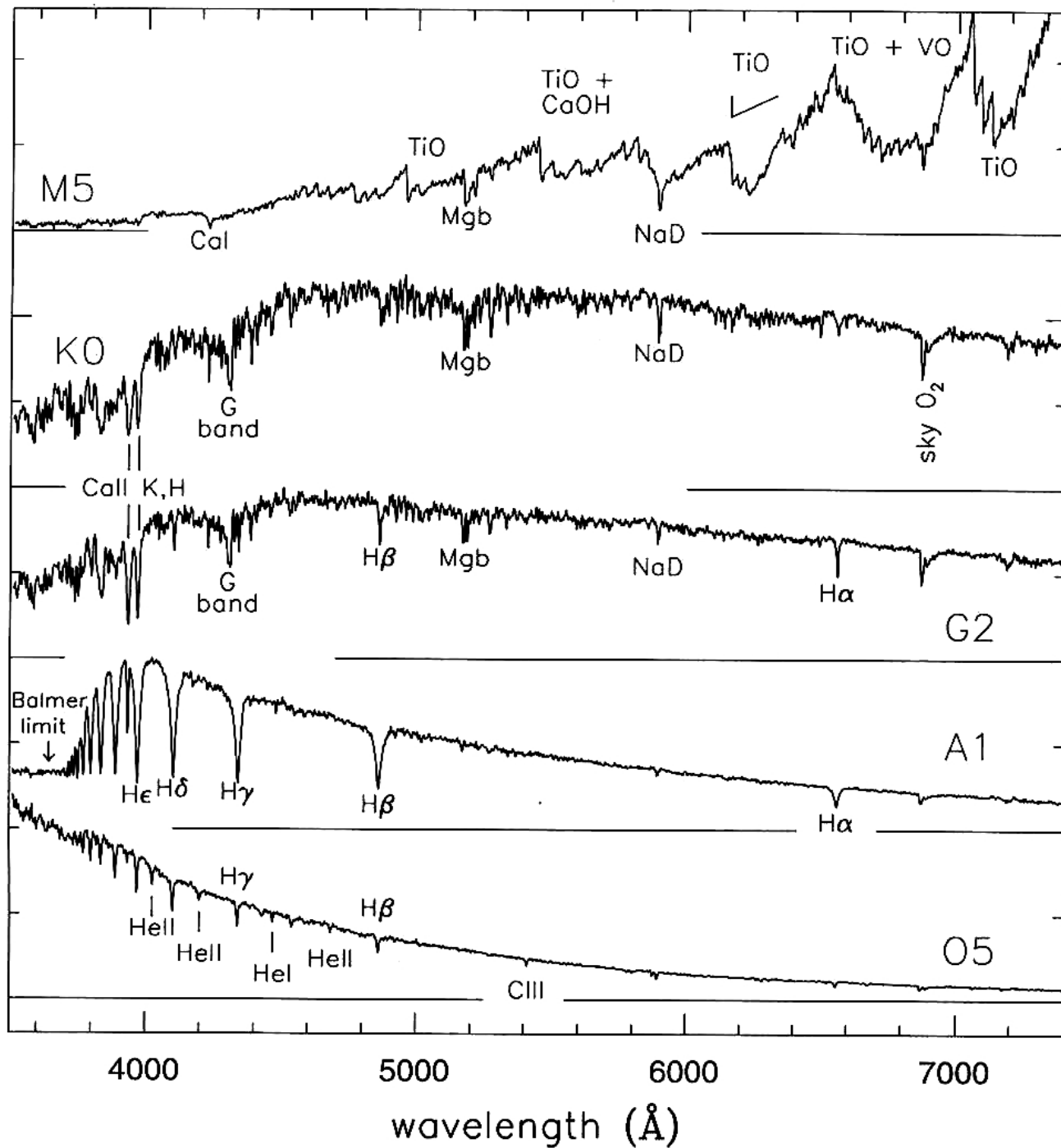
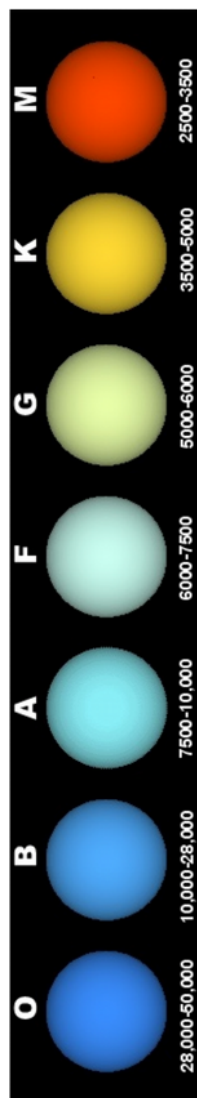


Suddivisi a loro volta in 10 **sottotipi** in ordine di **temperatura decrescente**: 0,1,...,9

Inoltre si distinguono 5 **classi di luminosità** in ordine di **raggio decrescente**: I (supergigante), II, III (gigante), IV (subgigante), V (nana)

Esempio: il Sole è una G2-V (stella nana)

Tipo	Temperatura (K)	Righe
O	25000-50000	He II
B	12000-25000	He I, H I
A	~ 9000	H I, Ca II
F	~ 7000	H I, banda G
G	~ 5500	H I, Ca II, CN,...
K	~ 4500	Ca II, Ca I,...
M	~ 3000	TiO



The figure is a line plot titled "Spectra of A0 stars". The x-axis is labeled "Wavelength (Angstroms)" and ranges from 4000 to 5000 with major ticks every 200 units. The y-axis represents flux and ranges from 0 to 3.5 with major ticks every 0.5 units. There are three data series: A0 V (red line), A0 III (green line), and A0 I (blue line). All three spectra show a similar pattern of absorption lines, with the most prominent ones at approximately 4100, 4300, and 4860 Angstroms. The A0 I star (blue) has the highest overall flux and the deepest absorption lines, while the A0 V star (red) has the lowest overall flux and the shallowest absorption lines. The A0 III star (green) lies in between. A dotted grid is present in the background of the plot.

I Colori delle Stelle

Magnitudine Bolometrica: la magnitudine ottenuta supponendo di poter misurare il flusso **totale** della stella, ovvero il flusso di energia su tutte le λ dello spettro elettromagnetico proveniente dalla stella.

$$m_{\text{bol}} = -2.5 \log_{10} f_{\text{tot}} + \text{cost}$$

Magnitudine monocromatica: la magnitudine calcolata misurando il flusso solo ad una certa lunghezza d'onda.

$$m_{\lambda} = -2.5 \log_{10} f_{\lambda} + \text{cost}$$

Si definisce **indice di colore** la quantità :

$c_{1,2} = m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2}$

(con $\lambda_1 < \lambda_2$)

Dall'approssimazione di Wien: $B(\lambda) \approx \frac{2hc^2}{\lambda^5} e^{-\frac{hc}{\lambda kT}} = f_\lambda$

$$c_{1,2} = m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{f_{\lambda_1}}{f_{\lambda_2}} \right) + \text{cost} \qquad \frac{f_{\lambda_1}}{f_{\lambda_2}} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^5 e^{-\frac{hc}{kT} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right)}$$

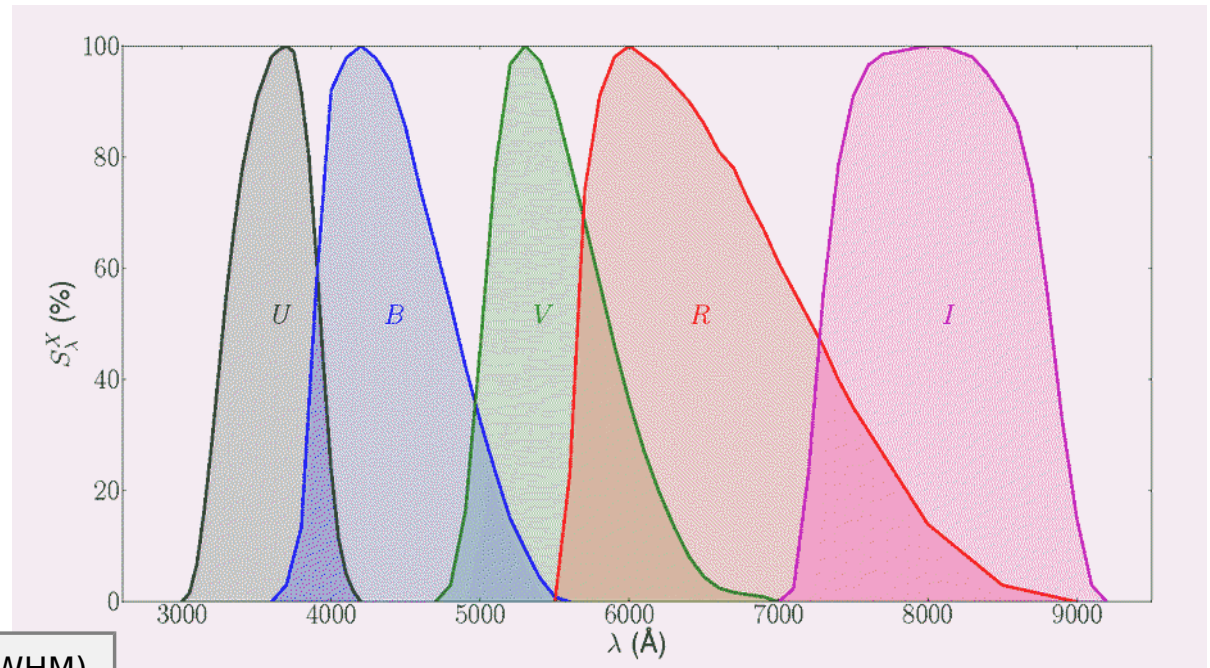
$$c_{1,2} = -2.5 \left[5 \log_{10} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) - \frac{hc}{kT} \left(\frac{1}{\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_2} \right) \log_{10} e \right] + \text{cost}$$

$$c_{1,2} = -A + \frac{B}{T}$$

A e B sono due costanti che dipendono dai valori di λ_1 e λ_2 .

$$c_{1,2} = m_{\lambda_1} - m_{\lambda_2} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{f_{\lambda_1}}{f_{\lambda_2}} \right) + \text{cost} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{L_{\lambda_1}}{L_{\lambda_2}} \right) = M_{\lambda_1} - M_{\lambda_2} + \text{cost}$$

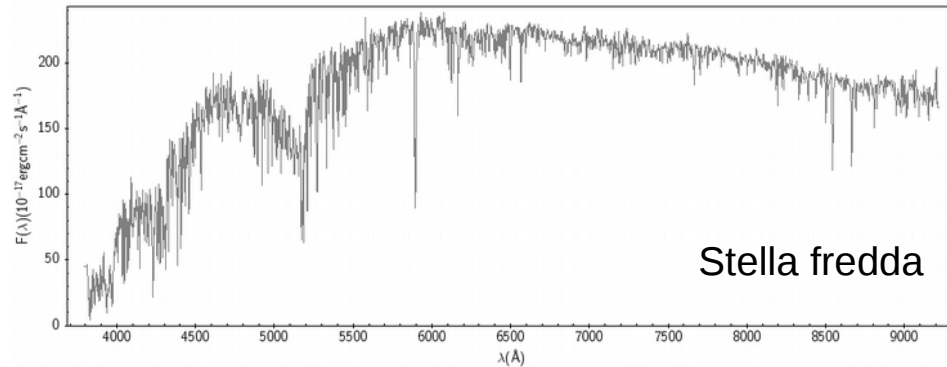
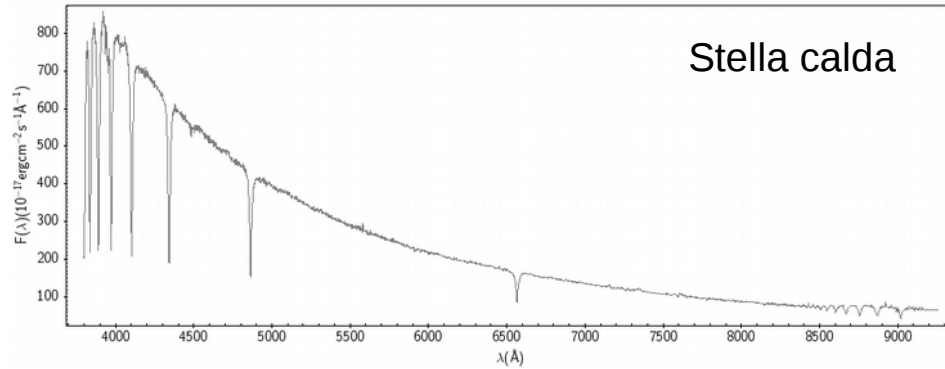
Sistema fotometrico con filtri a banda larga di Bessel



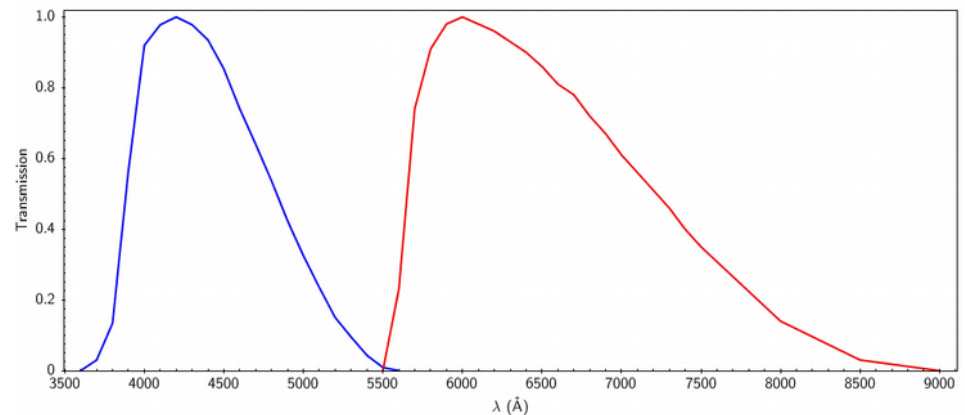
Banda	λ_{max} ($\text{\AA}$)	$\Delta\lambda$ (FWHM)
U	3604	601
B	4355	926
V	5438	842
R	6430	1484
I	8058	1402



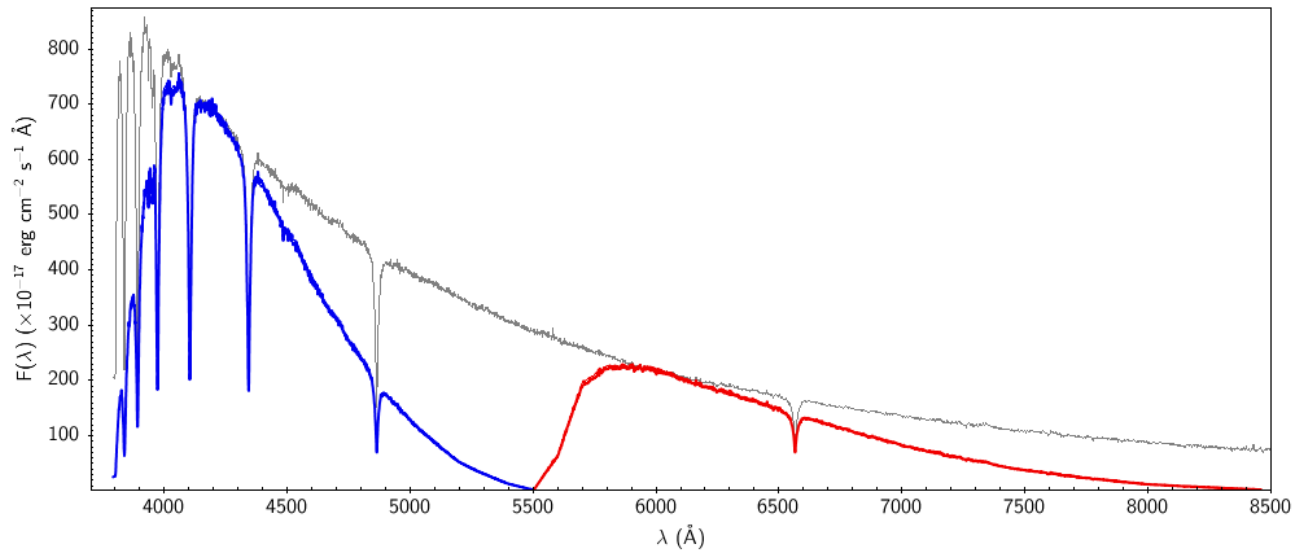
Colori e Temperatura



Il colore (B-R) si ottiene moltiplicando gli spettri per le curve di risposta dei filtri blu (B) e rosso (R).



stella calda



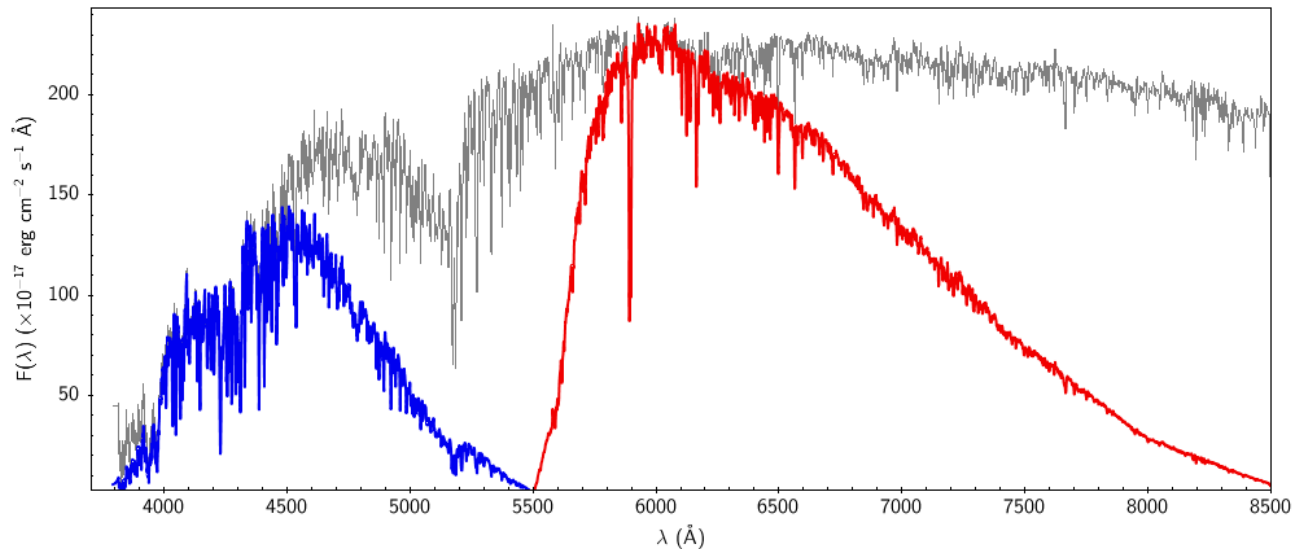
$$f_B = 5.7 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$f_R = 3.1 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$f_B > f_R \Rightarrow m_B < m_R$$

colore blu

stella fredda



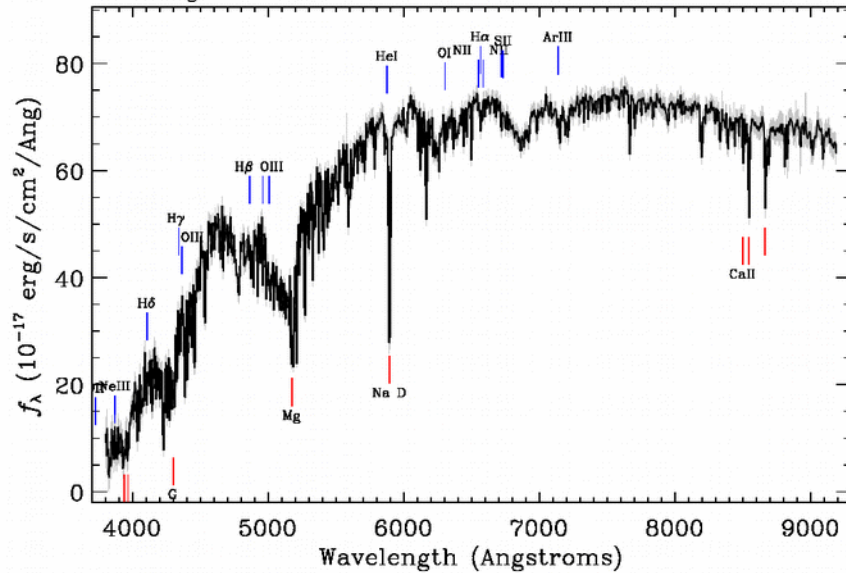
$$f_B = 1.1 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$f_R = 3.7 \times 10^{-12} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

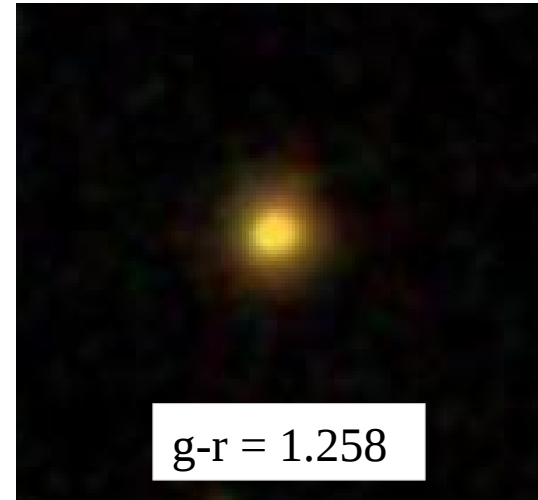
$$f_B < f_R \Rightarrow m_B > m_R$$

colore rosso

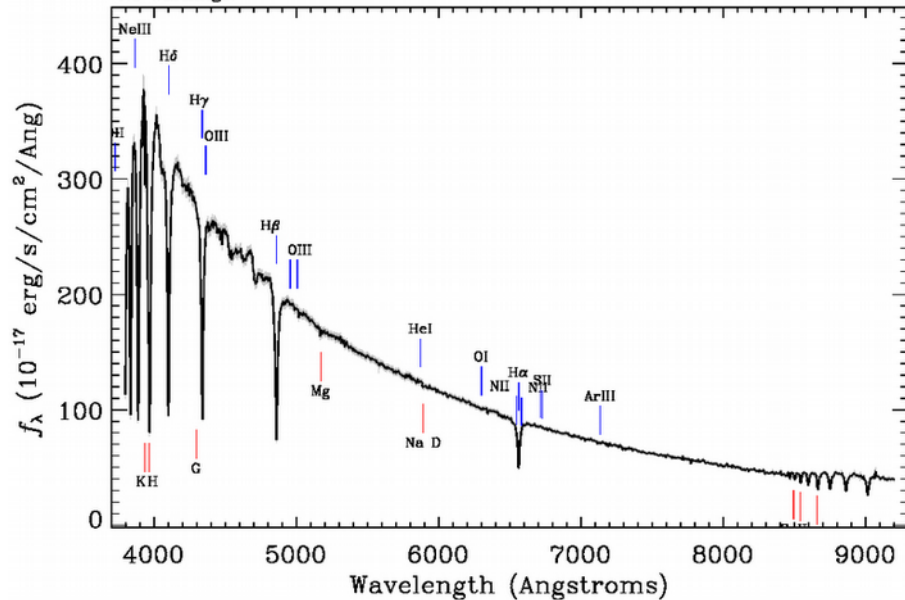
Survey: *sdss* Program: *legacy* Target: *STAR_CARBON*
RA=124.33481, Dec=45.80203, Plate=441, Fiber=240, MJD=51868
 $cz=1+/-2$ km/s Class=STAR K7
No warnings.



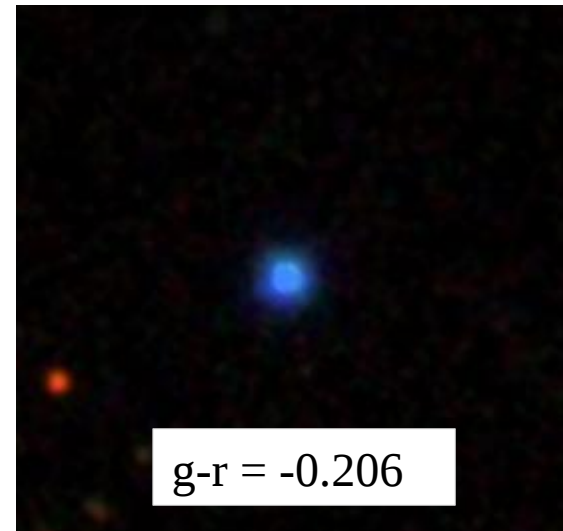
SDSS J081720.34+453607.3



Survey: *sdss* Program: *legacy* Target: *STAR_BHB SERENDIP_BLUE QSO_REJECT*
RA=245.91344, Dec=45.80977, Plate=624, Fiber=109, MJD=52377
 $cz=-141+/-1$ km/s Class=STAR A0
No warnings.



SDSS J162339.21+453635.1



Hertzprung-Russell Diagram

