



# Proprietà delle Stelle: Spettro e temperatura effettiva

**Rosaria Tantalo**

Dipartimento di Astronomia, Università di Padova

Adattamento di

**Antonio Maggio**

INAF – Osservatorio Astronomico di Palermo

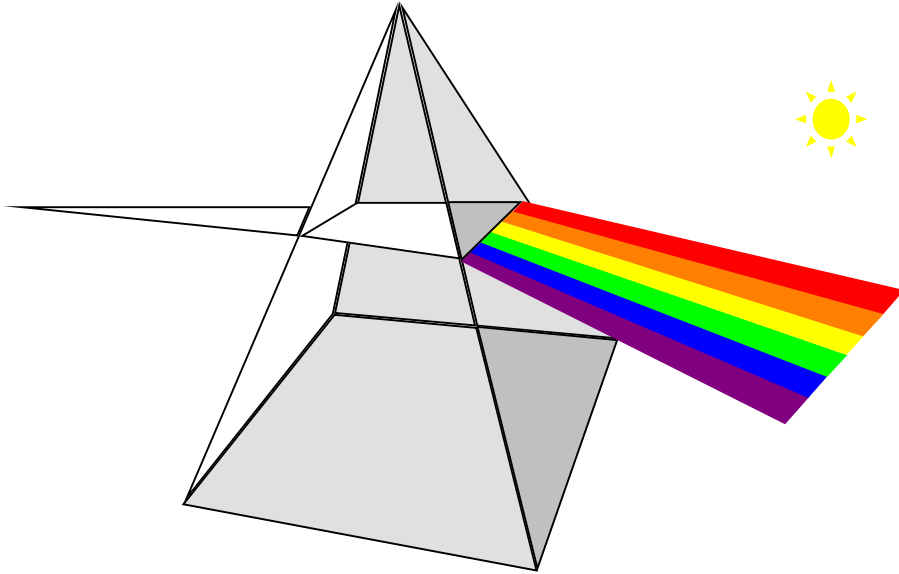
# Sommario

1. Il concetto di magnitudine
2. Luminosità e il Flusso di una stella
3. Magnitudine apparente e assoluta
4. Radiazione, Corpo Nero e spettri stellari
5. Luminosità e Magnitudine Bolometrica
6. Temperatura efficace e Colori delle stelle
7. Il Diagramma HR

# Breve storia della luce

- **Isaac Newton** (1666) riteneva che la luce fosse costituita da particelle invisibili
- Pochi anni dopo, **Christiaan Huygens** (1678) suggerì invece che la luce si comporta come un'onda, cosa che fu dimostrata definitivamente solo nel XIX secolo, grazie a esperienze di **interferenza e diffrazione** condotte da **Thomas Young**
- Oggi sappiamo che in effetti la luce ha una doppia natura: per alcuni fenomeni è più adeguata una descrizione in termini di oscillazioni di campi elettrici e magnetici che si propagano nello spazio, ovvero di **onde elettromagnetiche** (**James Clerk Maxwell**, 1860), mentre altri fenomeni si spiegano solo se descriviamo la luce come composta da "pacchetti d'energia" chiamati **fotoni o quanti** (**Albert Einstein**, 1905)

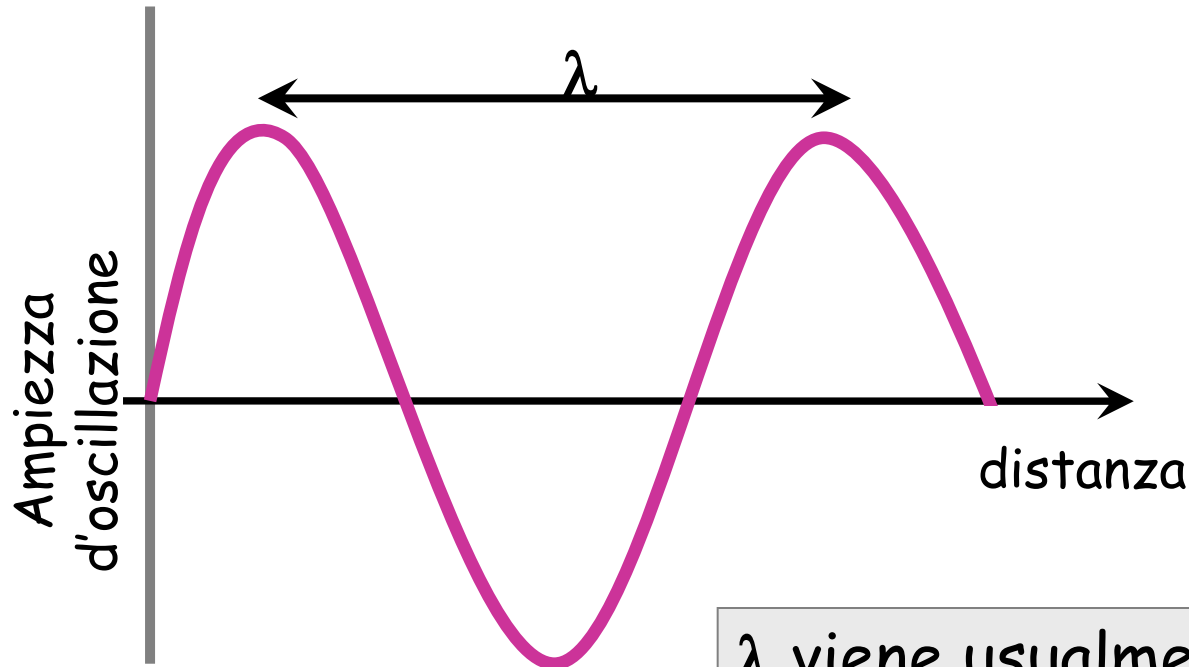
# La scomposizione cromatica della luce



Se facciamo passare la luce attraverso un prisma, a causa della **rifrazione**, questa si separa in differenti colori. Questo perché la luce è composta da diverse onde che si propagano all'interno del prisma con diversa velocità.

# Caratteristiche di un'onda

La luce di ogni colore può essere pensata come un'oscillazione caratterizzata da una certa lunghezza d'onda,  $\lambda$



$\lambda$  viene usualmente misurata in  $\text{\AA}$   
 $1 \text{\AA} = 10^{-8} \text{ cm}$

# Caratteristiche di un'onda

Il numero di oscillazioni per unità di tempo si chiama frequenza,  $\nu$

$\nu$  è misurata in Hz = oscillazioni/sec

Il prodotto fra la lunghezza d'onda e la frequenza corrisponde alla velocità dell'onda:

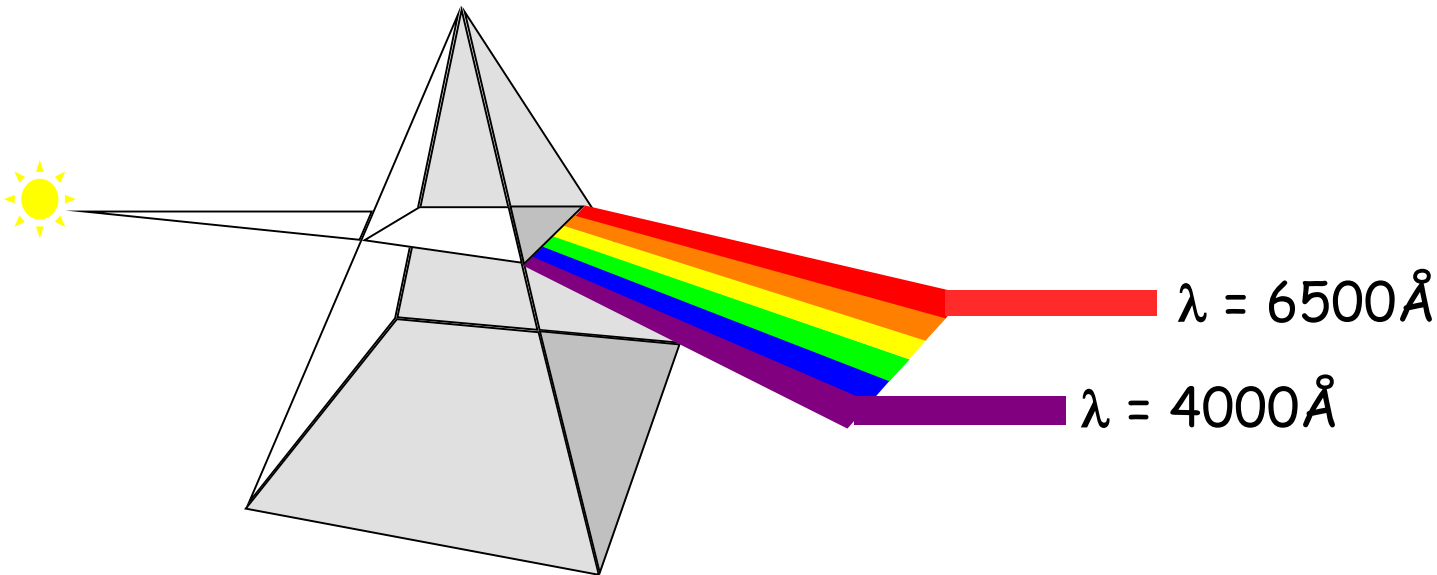
$$\lambda \nu = c$$

Nel caso della luce, la velocità nel vuoto è una costante:

$$c = 2.997 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$$

# La luce visibile

Quando la luce passa attraverso un prisma noi vediamo solo un certo numero di colori, corrispondenti a un intervallo di lunghezze d'onda, che costituiscono lo Spettro Visibile



La luce visibile costituisce solo una parte dello spettro elettromagnetico. La radiazione emessa dalle stelle è distribuita su tutto lo spettro elettromagnetico, ma al momento ci limiteremo alla parte visibile.

# Lo Spettro Elettromagnetico

Regione	Lunghezza d'onda	Frequenza
Radio	$> 10^7 \text{ \AA}$	$< 3 \times 10^{11} \text{ Hz}$
Infrarosso	$7000 - 10^7 \text{ \AA}$	$3 \times 10^{11} - 4.3 \times 10^{14} \text{ Hz}$
Visibile	$4000 - 7000 \text{ \AA}$	$4.3 \times 10^{14} - 7.5 \times 10^{14} \text{ Hz}$
Ultravioletto	$100 - 4000 \text{ \AA}$	$7.5 \times 10^{14} - 3 \times 10^{16} \text{ Hz}$
Raggi X	$1 - 100 \text{ \AA}$	$3 \times 10^{16} - 3 \times 10^{18} \text{ Hz}$
Raggi Gamma	$< 1 \text{ \AA}$	$> 3 \times 10^{18} \text{ Hz}$



# Gli Spettri Stellari

L'energia prodotta all'interno della stella viene trasportata fino in superficie e quindi dispersa verso lo spazio esterno sotto forma di radiazione. Lo strato più superficiale della stella, attraversato dalla radiazione, si chiama *Fotosfera*.

La fotosfera è una regione quasi isoterma, lo spettro della radiazione che emerge ha quindi una forma caratteristica, simile (ma non identica) a quella dello

*Spettro di Corpo Nero.*



# Il Corpo Nero

Un *Corpo Nero* è un corpo ideale nel quale si realizza un completo equilibrio termodinamico tra radiazione e materia ad una singola temperatura.

Caratteristiche principali:

- È un oggetto in grado di assorbire tutta l'energia che cade al suo interno.
- È in grado di emettere radiazione. Infatti per mantenere la sua temperatura costante deve irradiare energia allo stesso tasso con cui la assorbe.
- L'energia totale si mantiene costante.
- Lo spettro emesso è determinato da un solo parametro: la temperatura.

# Il Corpo Nero

Esperienza:

un corpo solido freddo non produce alcuna emissione visibile, ma al crescere della temperatura comincia a diventare **luminoso** e a cambiare **colore**



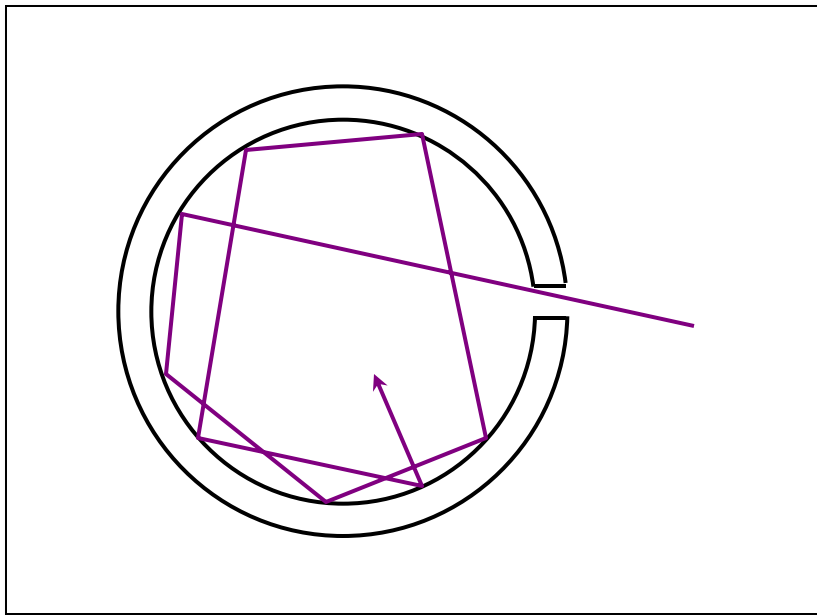
Esempio:

un metallo che si riscalda e diventa poi incandescente cambia il suo colore: inizialmente è rosso, poi arancione, e infine di un giallo-bianco abbagliante

# Il Corpo Nero

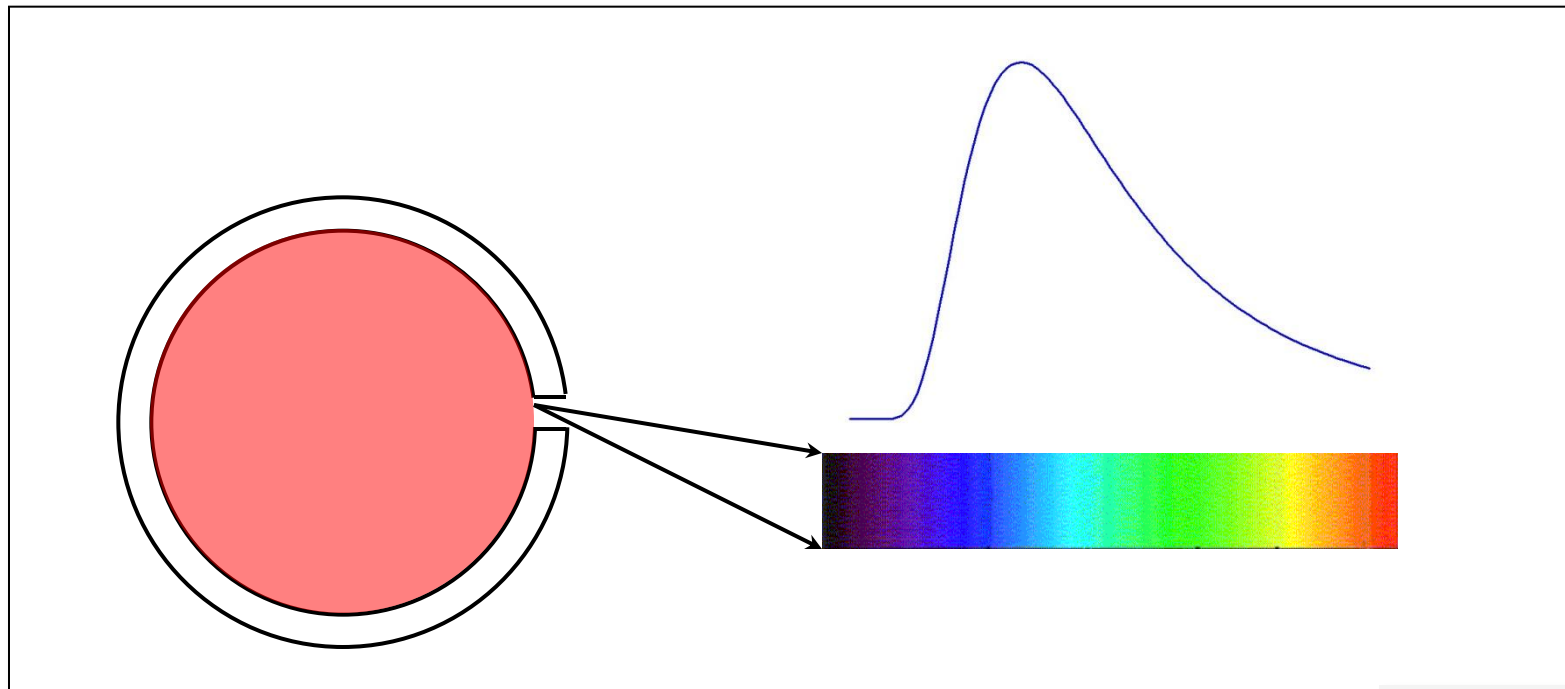
Supponiamo che una certa quantità di energia venga a cadere dentro un corpo nero. Poiché la temperatura del corpo nero deve rimanere costante, l'energia in eccesso verrà riemessa con uno spettro elettromagnetico caratteristico.

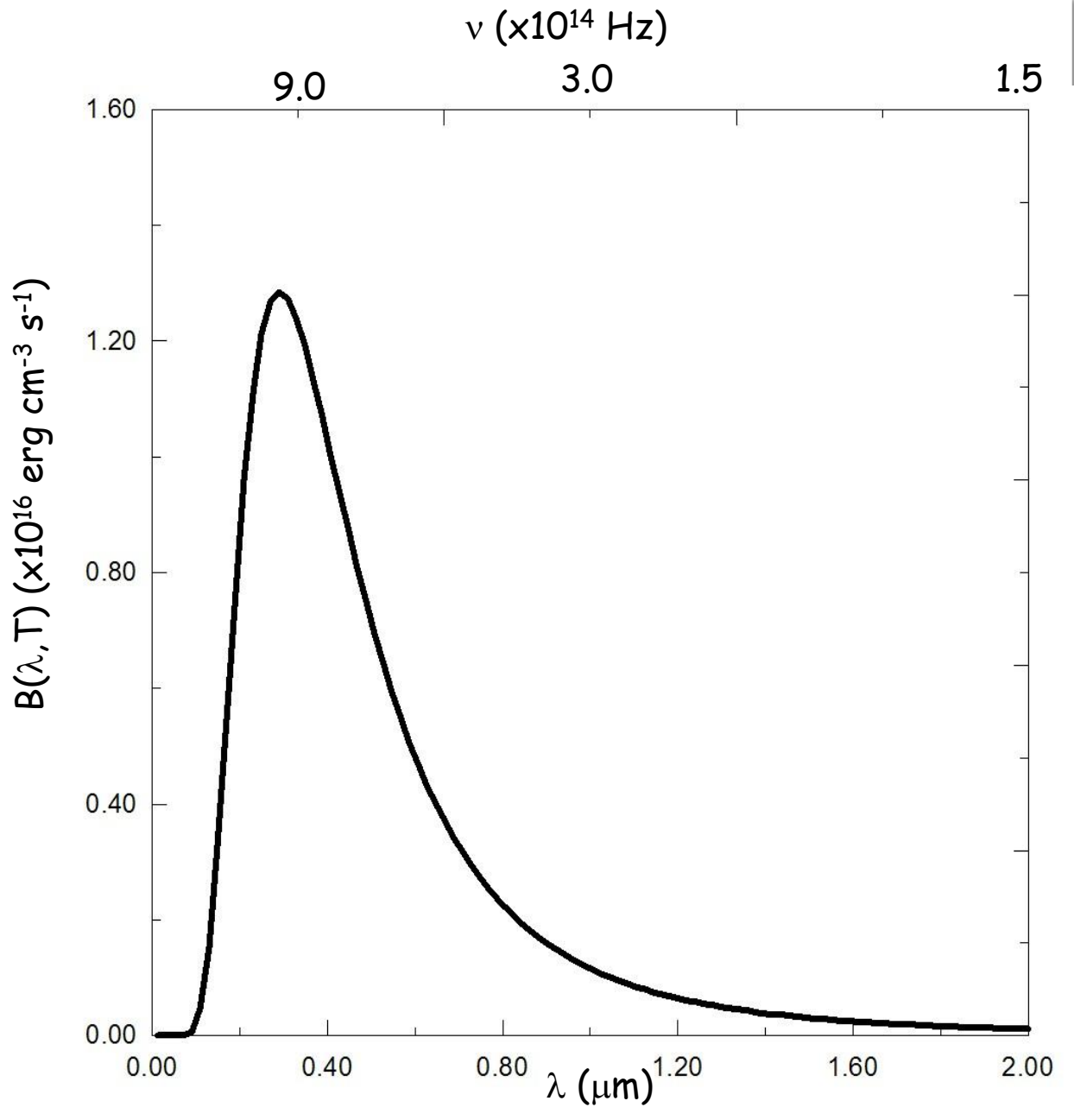
Lo spettro della **radiazione di corpo nero** emessa dipende soltanto dalla **temperatura** del corpo e non dalla sua forma o dal materiale di cui è costituito



## Modello di corpo nero: la **fornace**

L'energia entra da un piccolo foro, viene assorbita e riemessa dalla fornace con uno spettro caratteristico





# Funzione di Planck

Facendo passare la radiazione emessa da un corpo a temperatura  $T$  attraverso uno spettrografo e misurando l'intensità dell'energia alle varie lunghezze d'onda si osserva una distribuzione descrivibile con la **funzione di Planck**

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{hc/kT\lambda} - 1} \quad \text{erg cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$\lambda$  in cm

$T$  in K

$h = 6.63 \times 10^{-27}$  erg s

oppure

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{h\nu/kT} - 1} \quad \text{erg cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$$

# Legge di Wien

Lo spettro di emissione del corpo nero mostra un **massimo d'intensità** ad una certa lunghezza d'onda,  $\lambda_{\max}$

$$B(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left( e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)} \quad \text{erg cm}^{-3} \text{ s}^{-1}$$

$$C_1 = 3.742 \cdot 10^{-5}$$

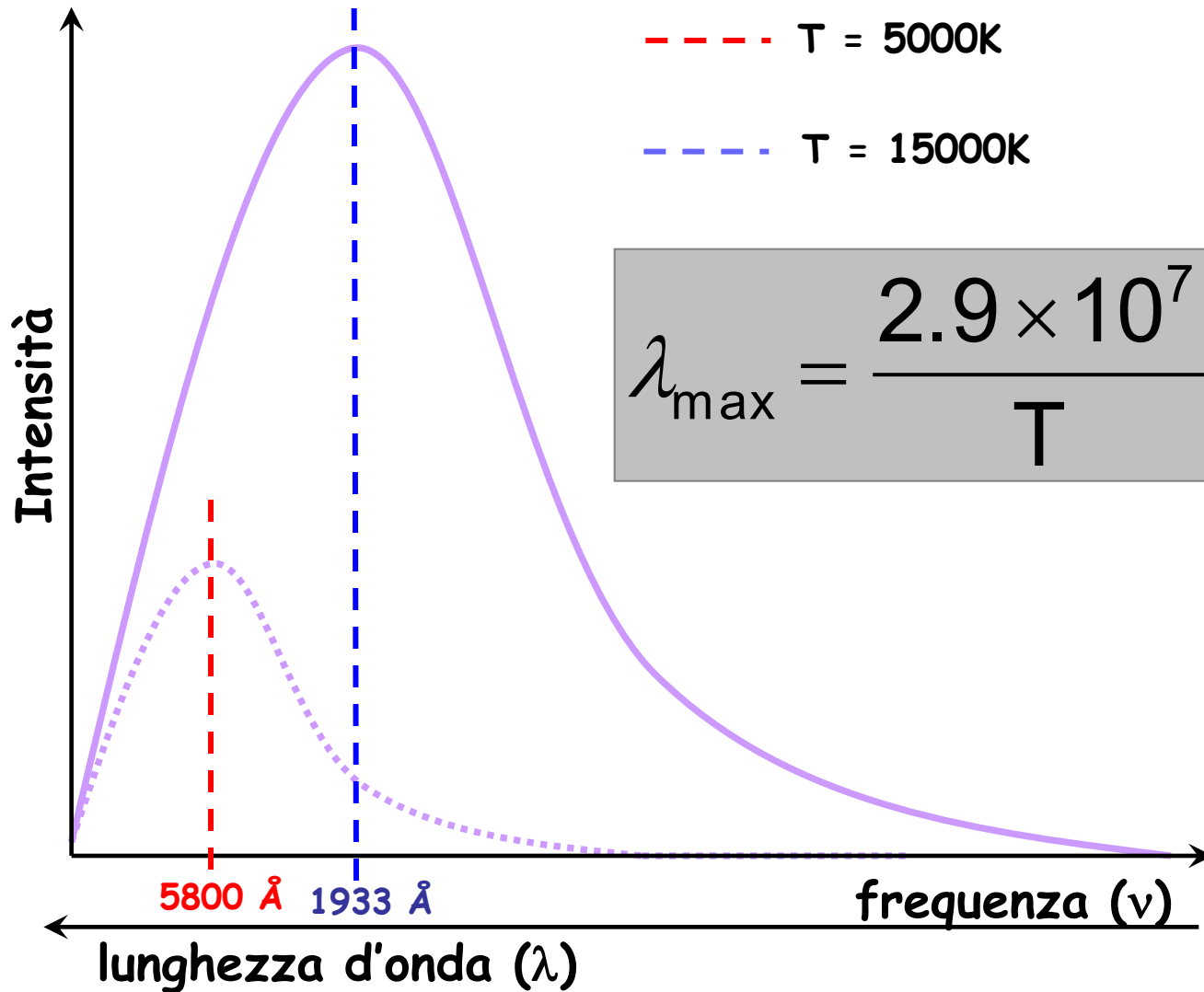
$$C_2 = 1.439$$

$$\lambda_{\max} = \frac{0.2898}{T} \quad \text{cm}$$

All'aumentare della temperatura  $T$  del corpo,  $\lambda_{\max}$  decresce



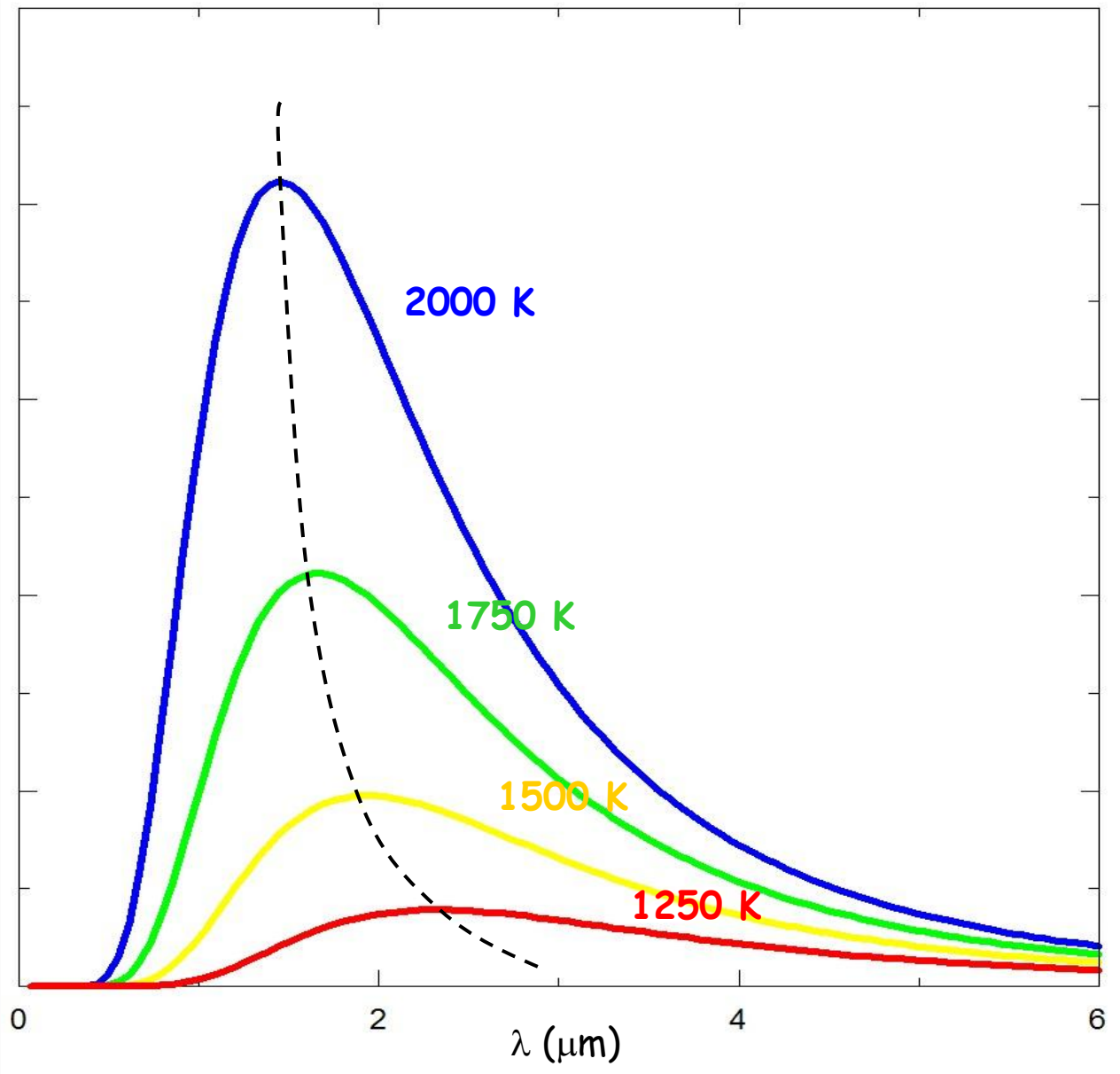
# Legge di Wien



$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2.9 \times 10^7}{T}$$

$\lambda$  in Å  
T in K



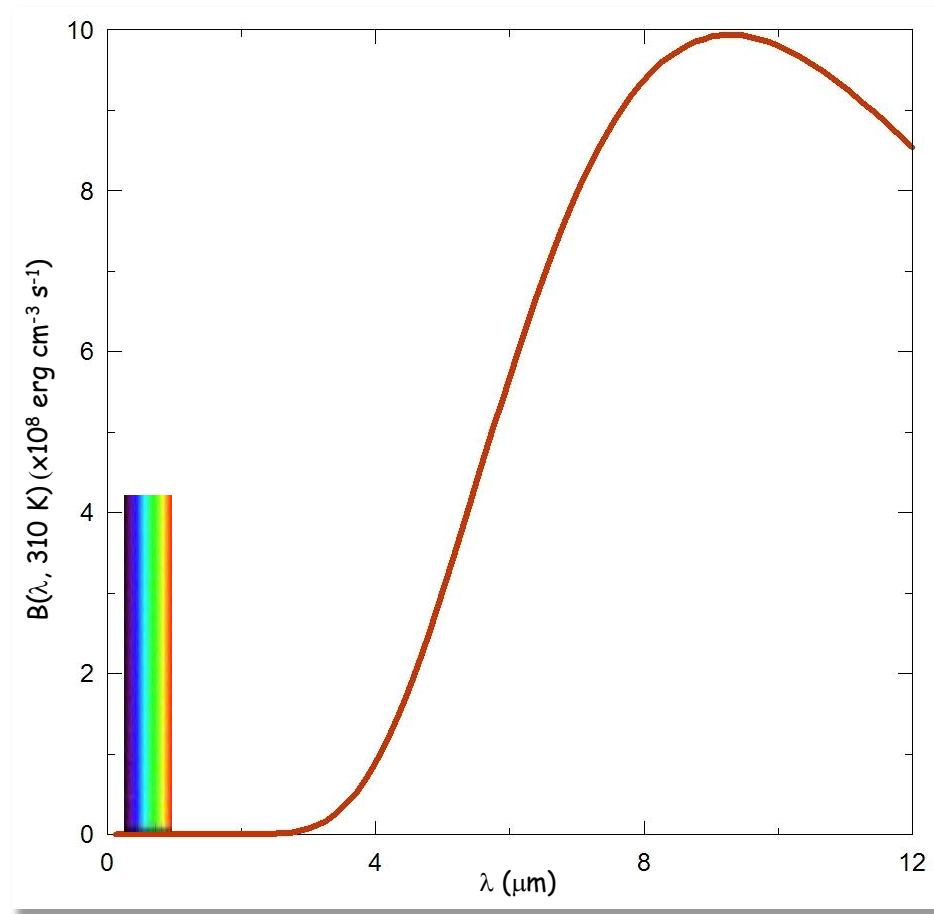


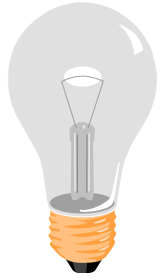


# Corpo umano

$$T = 37^\circ \text{C} = 310 \text{ K}$$

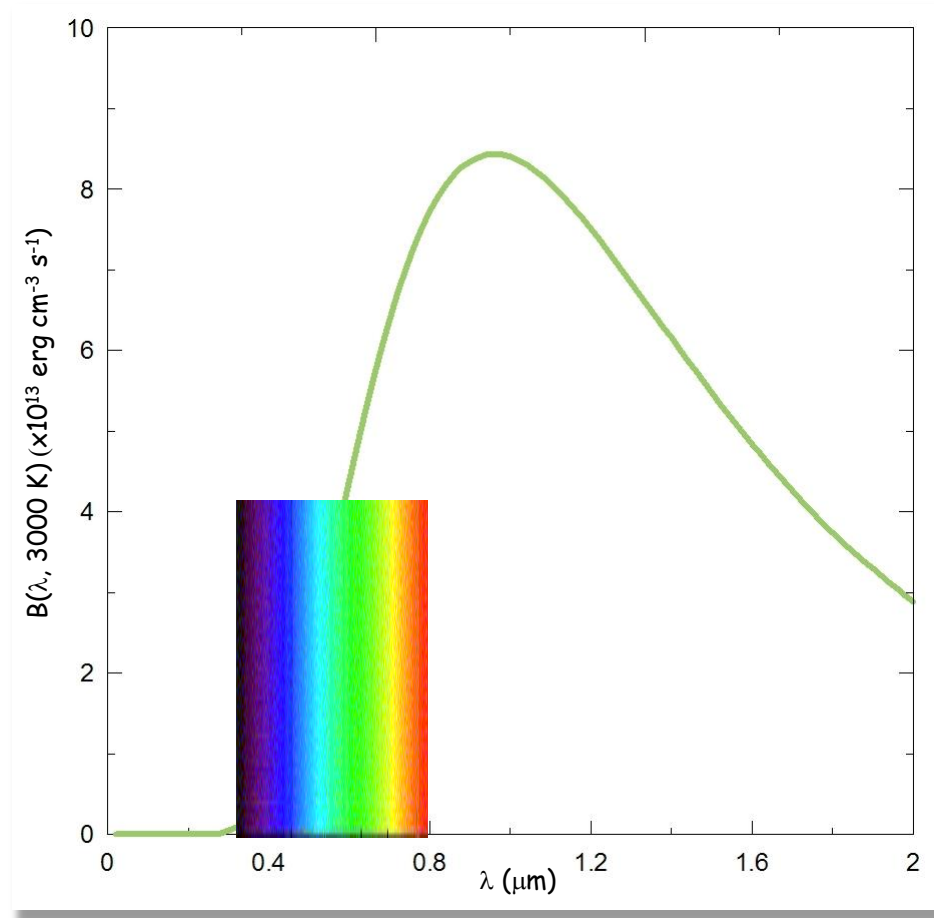
$$\lambda_{\text{max}} \approx 9 \text{ m}$$

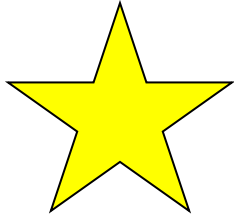




# Lampada a incandescenza (quanta energia sprecata!)

$$T \approx 3\,000\text{ K} \quad \lambda_{\text{max}} \approx 1\ \mu$$

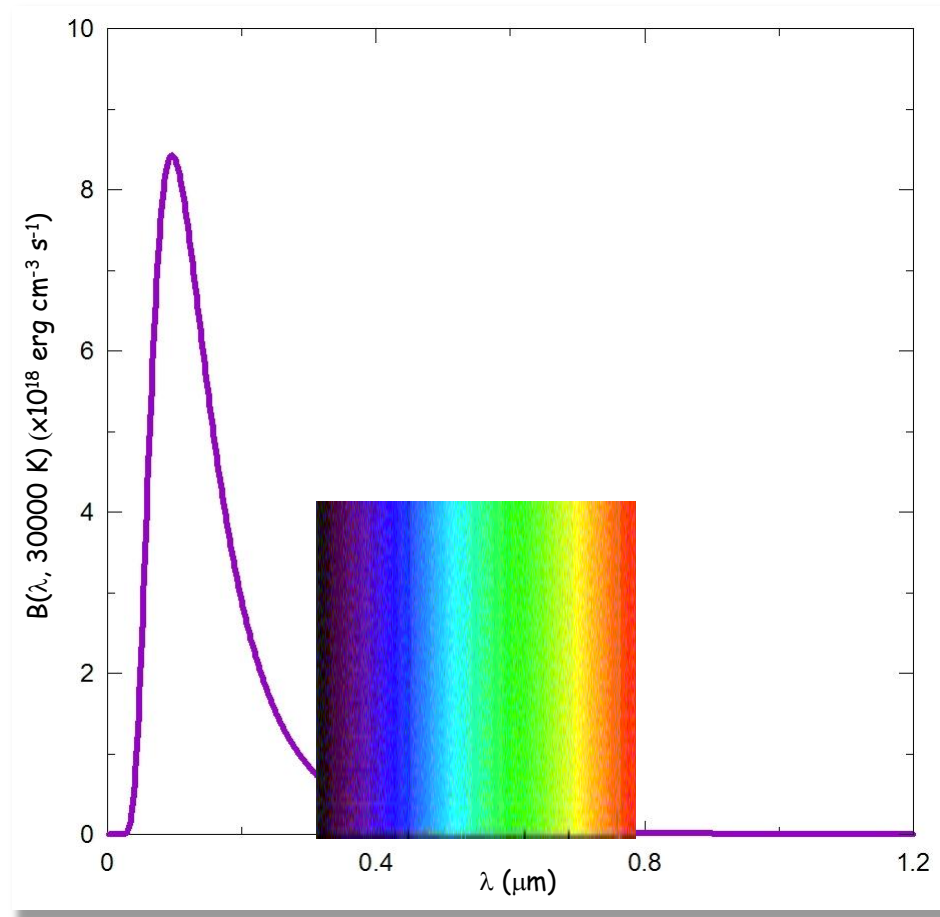


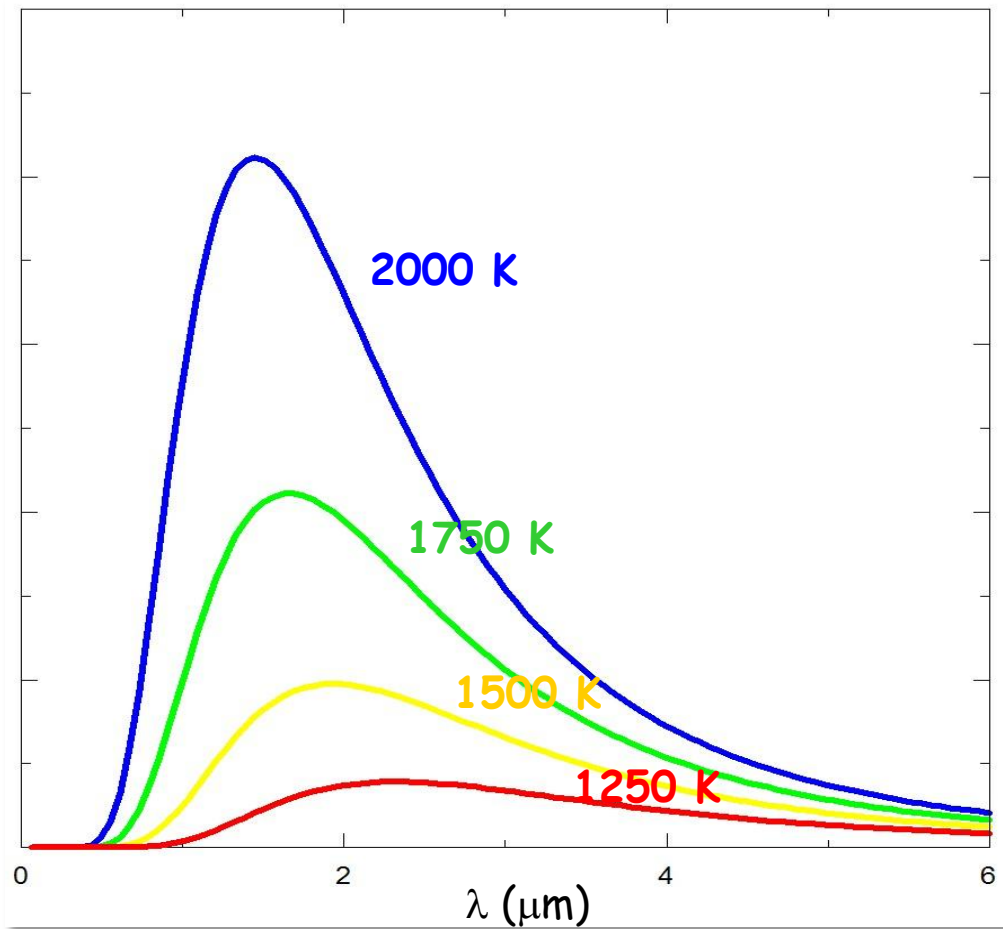


# Stella

$T \approx 30\,000\text{ K}$

$\lambda_{\text{max}} \approx 1000\text{ \AA}$





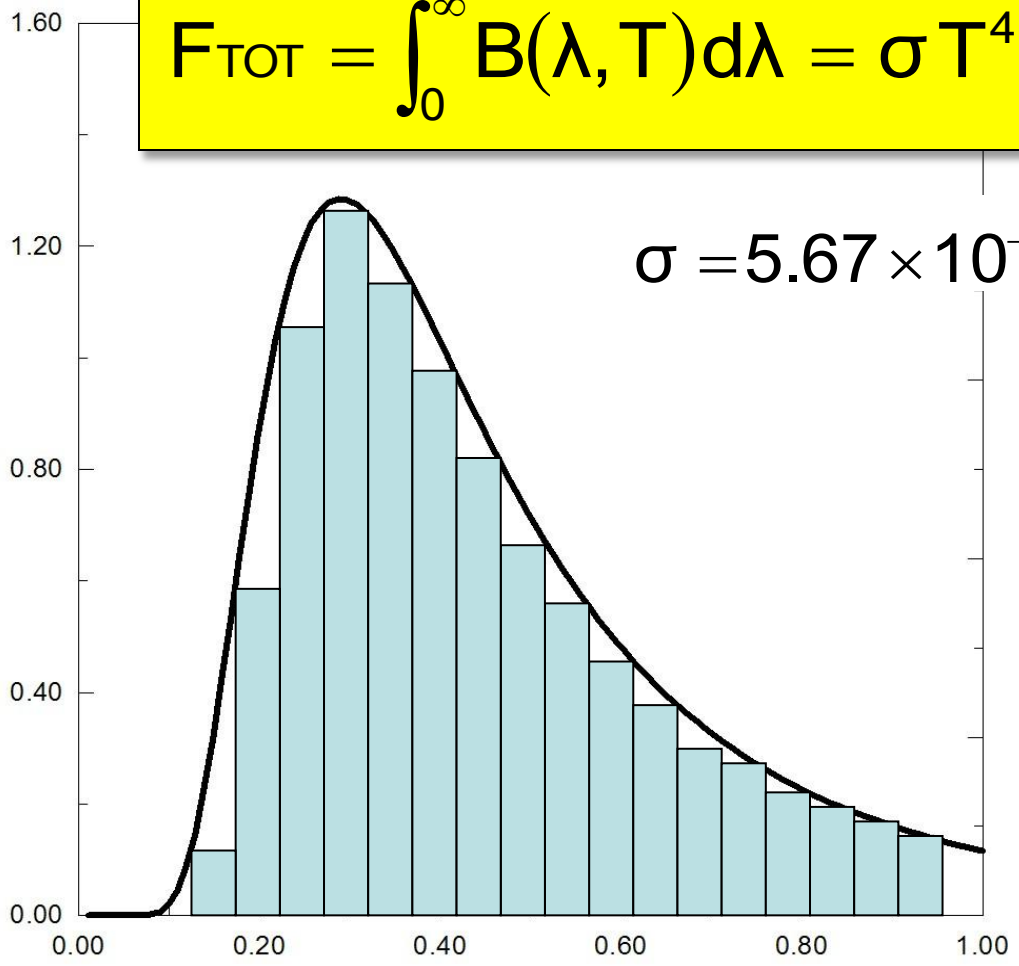
All'aumentare della temperatura, il flusso totale d'energia emessa cresce, perché aumenta l'area totale sotto la curva



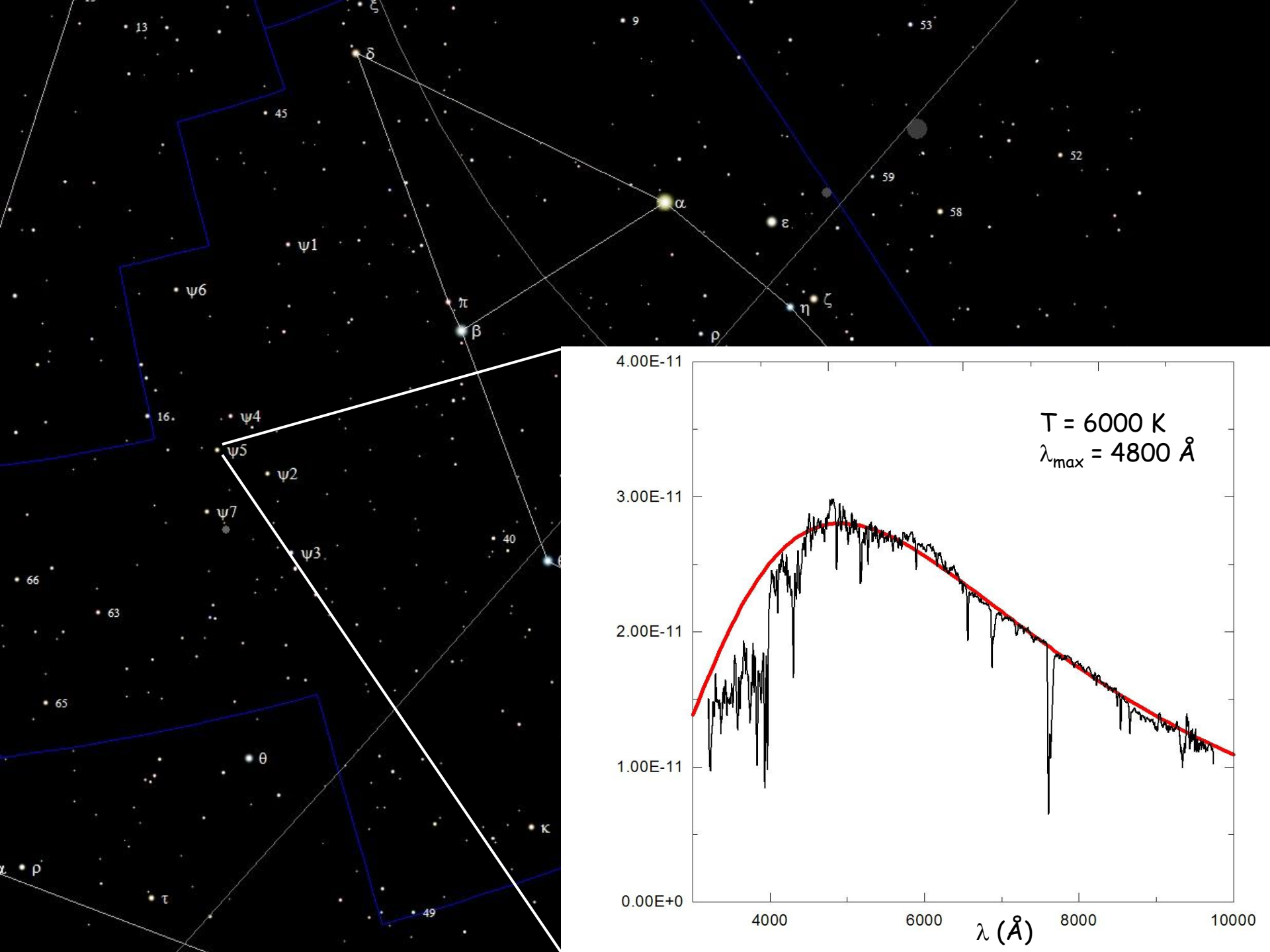
# Legge di Stefan-Boltzmann



$$F_{\text{TOT}} = \int_0^{\infty} B(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad \text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}$$



$$\sigma = 5.67 \times 10^{-5} \quad \text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{K}^{-4}$$



4.00E-11

3.00E-11

2.00E-11

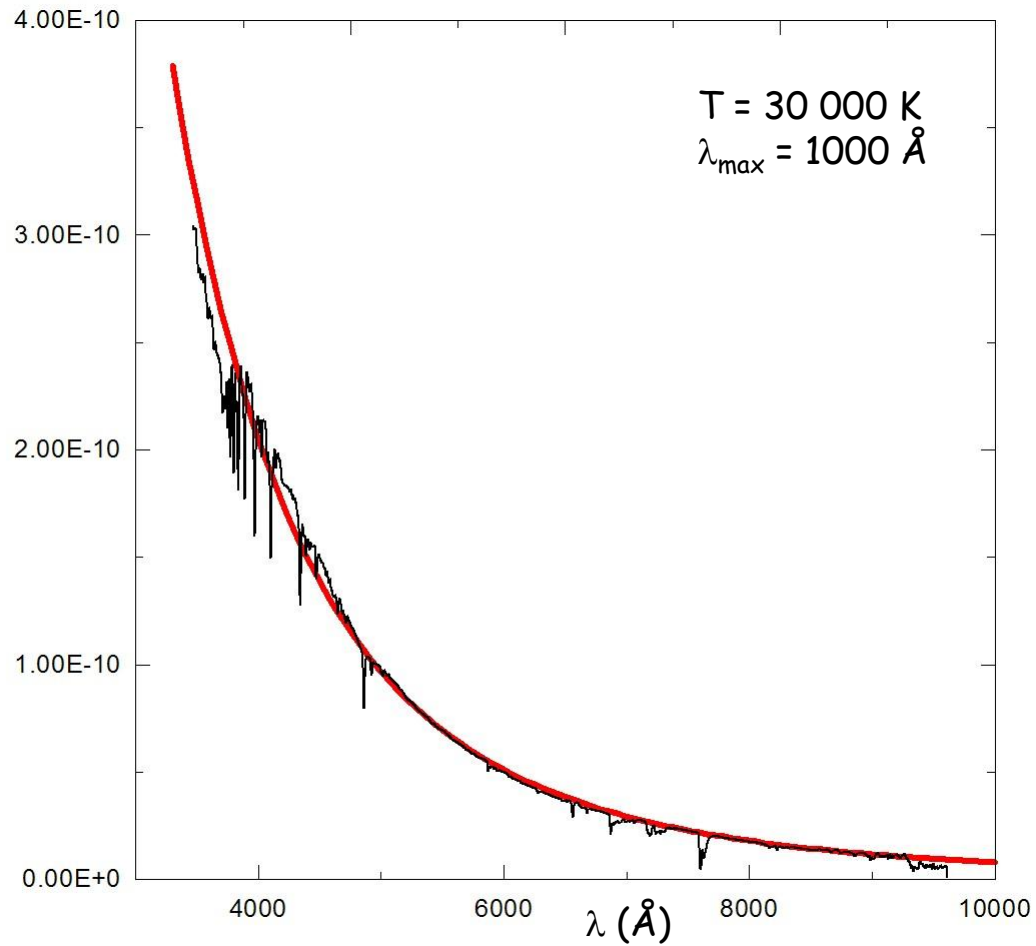
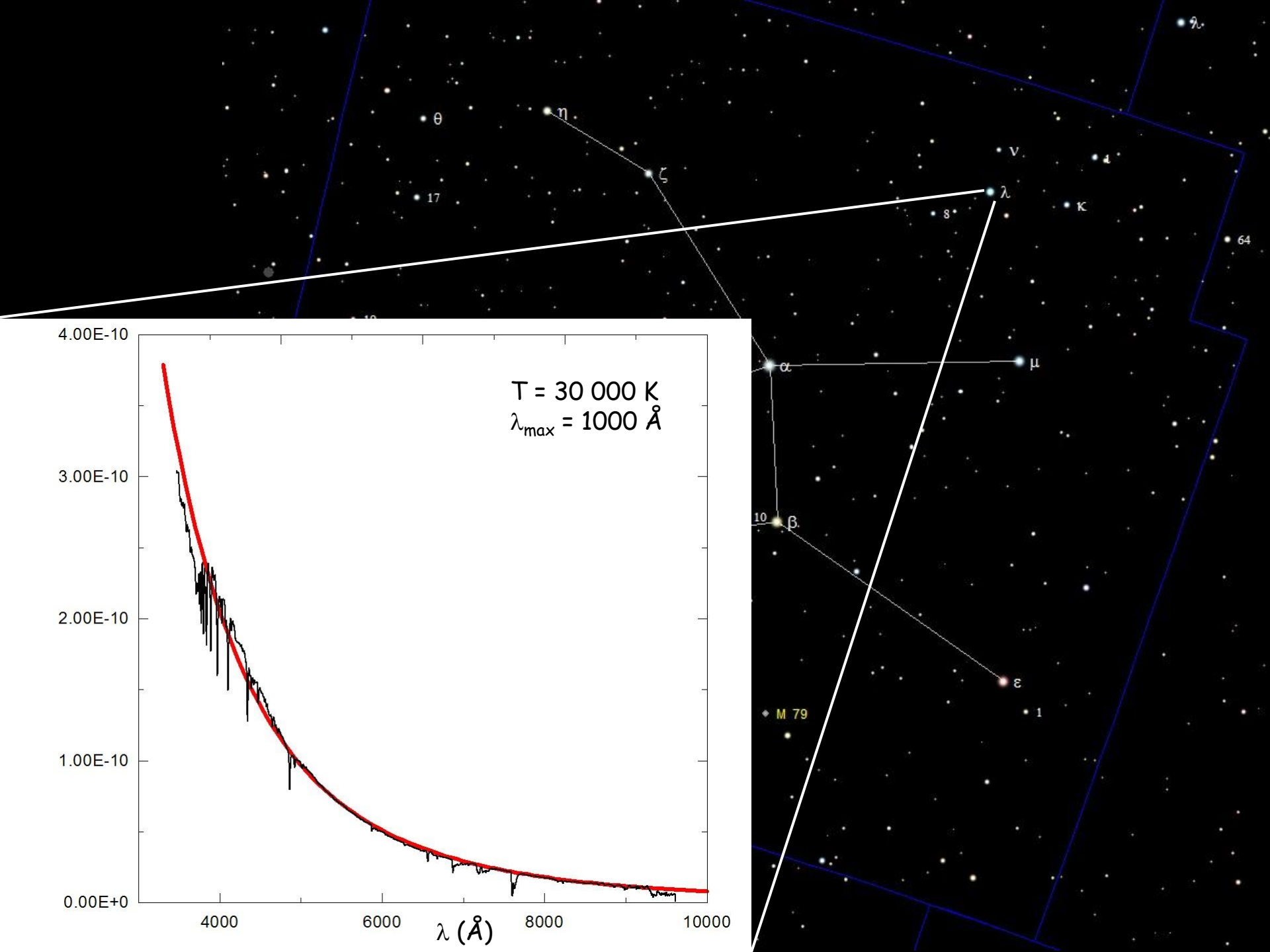
1.00E-11

0.00E+0

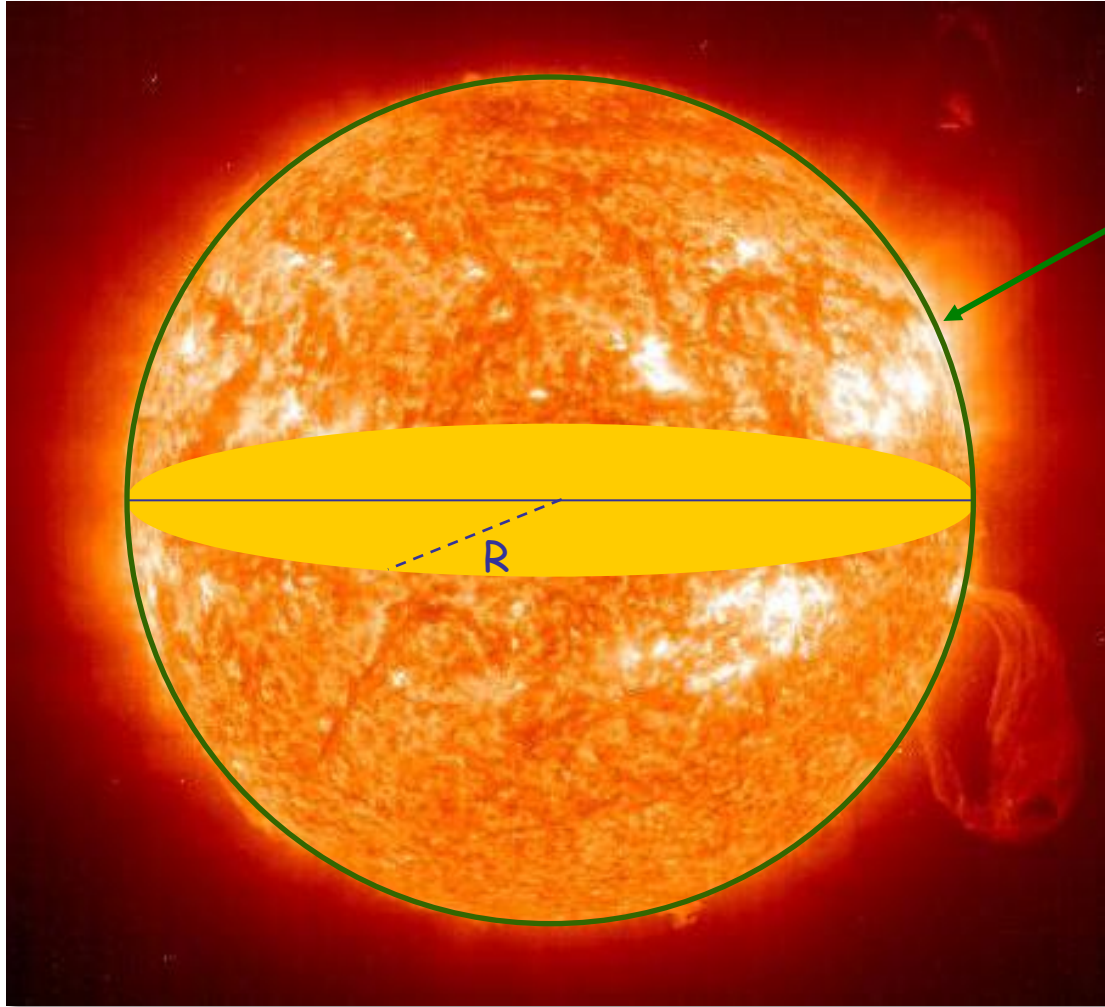
$T = 6000 \text{ K}$   
 $\lambda_{\text{max}} = 4800 \text{ \AA}$

$\lambda (\text{\AA})$





# Luminosità e flusso bolometrico



La luminosità totale emessa dalla stella è:

$$L = 4\pi R^2 F_{\text{TOT}}$$

dove  $F_{\text{TOT}}$  è il flusso uscente dalla superficie della stella, integrato su tutto lo spettro (**flusso bolometrico**)

# La Magnitudine Bolometrica

Fino ad ora si è parlato Magnitudine apparente e/o assoluta in generale, ma in realtà la dizione corretta sarebbe quella di **Magnitudine Bolometrica assoluta e/o apparente**

Infatti noi abbiamo costruito le magnitudini supponendo di poter misurare il flusso TOTALE della stella, ovvero il flusso di energia su tutte le  $\lambda$  dello spettro elettromagnetico proveniente dalla stella.

La Magnitudine Bolometrica è per definizione data da:

$$M_{\text{bol}} = -2.5 \log( F_{\text{TOT}} ) + \text{cost}$$

# La Temperatura Effettiva

Se poniamo il flusso bolometrico alla superficie della stella,  $F_{TOT}$ , uguale al flusso uscente da un corpo nero a temperatura  $T$ , si trova che:

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

Luminosità' →

Raggio

← Temperatura effettiva

Quindi quando si parla di temperatura delle stelle ci si riferisce alla **TEMPERATURA EFFETTIVA** della stella, ovvero alla temperatura che avrebbe un corpo nero che ha lo stesso flusso bolometrico di energia emesso dalla stella.

