

# LA VITA DELLE STELLE - 3

LE STELLE COME CI APPAIONO  
( con un pizzico di fisica ....)

## b) GLI SPETTRI STELLARI

**Prof. Antonio Bianchini**

*Dipartimento di Astronomia*

*Università di Padova*

[antonio.bianchini@unipd.it](mailto:antonio.bianchini@unipd.it)

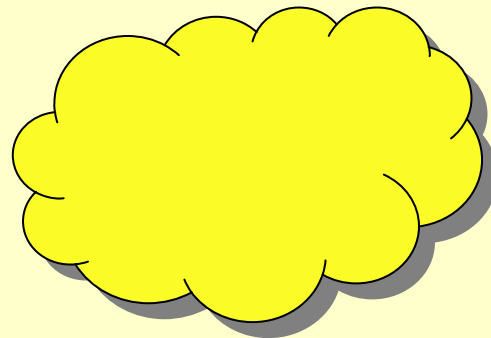
UNO SPETTRO E' LA DISTRIBUZIONE DELL'INTENSITA' EMESSA ALLE VARIE FREQUENZE (O LUNGHEZZE D'ONDA) DA UNA SORGENTE LUMINOSA



**GLI SPETTRI STELLARI SONO COSTITUITI DA UNA EMISSIONE CONTINUA (DISTRIBUITA SU TUTTE LE FREQUENZE), DETTA CONTINUO, E DA EMISSIONI MONOCROMATICHE, DETTE RIGHE, DOVUTE AI PROCESSI DI ECCITAZIONE E DISECCITAZIONE CHE AVVENGONO NEGLI ATOMI (NEUTRI O IONIZZATI).**

**L'INTENSITA' DELLE RIGHE SPETTRALI DIPENDE, PER UNA DATA COMPOSIZIONE CHIMICA, PRINCIPALMENTE DALLA TEMPERATURA...MA UN PO' ANCHE DALLA PRESSIONE DEL GAS.**

**LA TEMPERATURA DETERMINA LA DISTRIBUZIONE DELL'INTENSITA' DEL CONTINUO EMESSO DA UN GAS IONIZZATO (PLASMA) QUANDO ESSO E' ABBASTANZA DENSO E OPACO (NON TRASPARENTE) ALLA RADIAZIONE STESSA, COME NEL CASO DELLE STELLE**



**Spettro continuo**

**PER UN GAS OPACO, LA DISTRIBUZIONE DELL'INTENSITA' DEL CONTINUO EMESSO COINCIDE CON QUELLA DELLO SPETTRO DI CORPO NERO**

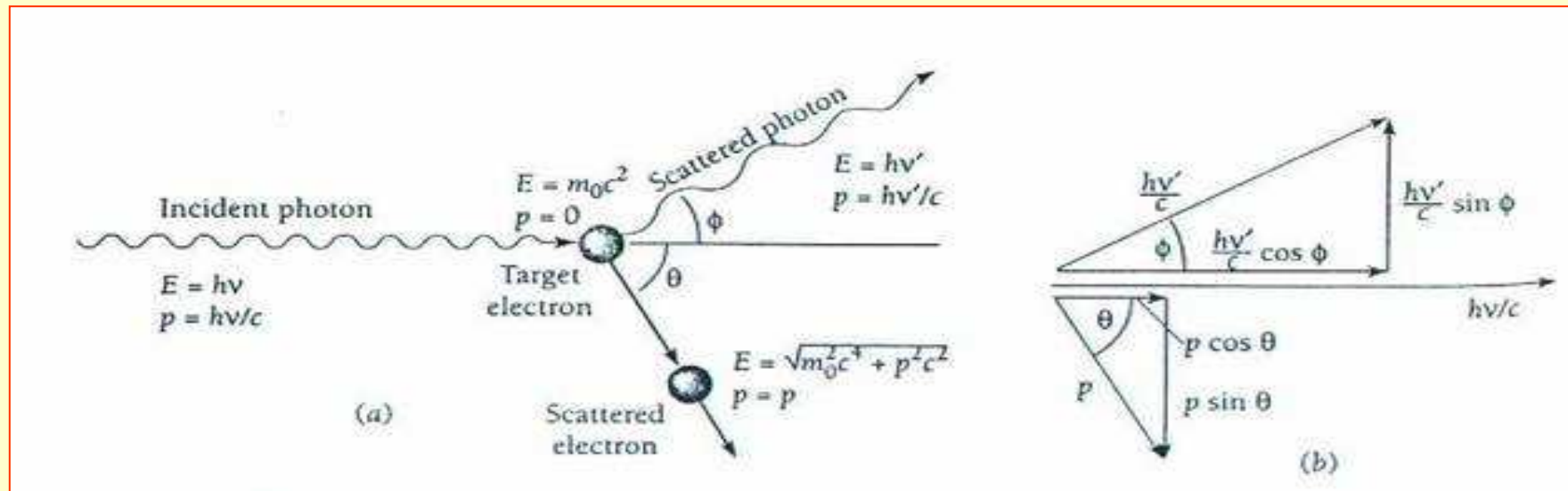
**UN CORPO SI DICE NERO QUANDO NON  
RIFLETTE LA LUCE DI SORGENTI ESTERNE**

**IL CARBONE, E IL NEROFUMO, SONO NERI  
PERCHE' LA LORO STRUTTURA MICROSCOPICA  
E' COSTITUITA DA TANTE CAVITA' CHE  
'INTRAPPOLANO' LA LUCE CHE ARRIVA.  
QUINDI, SE ILLUMINATI, TENDONO A  
SCALDARSI PIUTTOSTO CHE RIFLETTERE.**

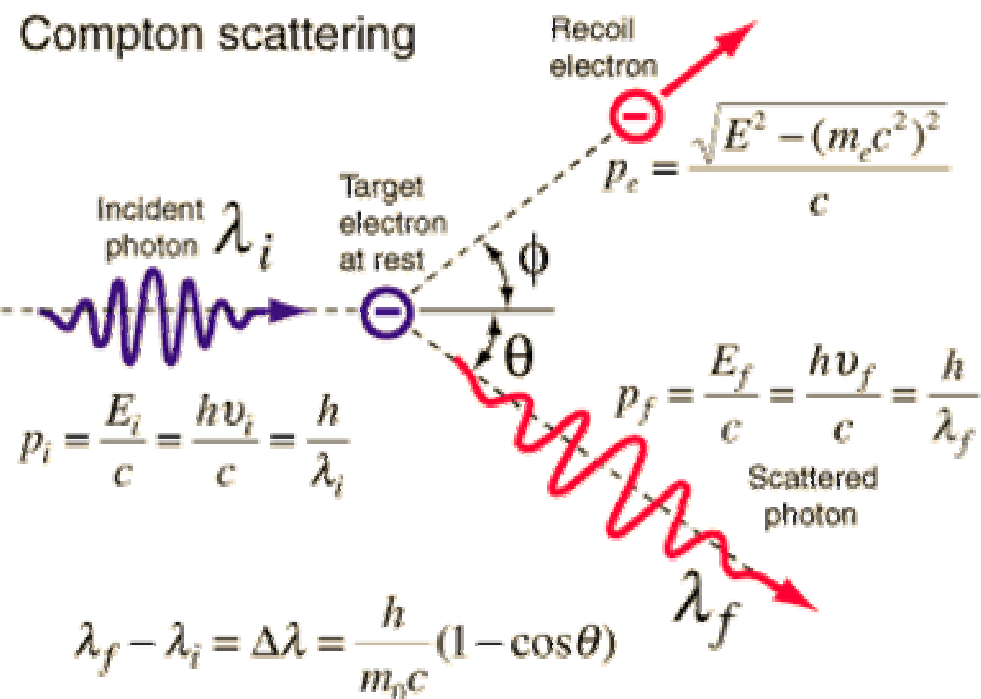
**TUTTAVIA GLI ATOMI E LE MOLECOLE  
OSCILLANO PER EFFETTO DELLA  
TEMPERATURA EMETTENDO RADIAZIONI DI  
VARIE FREQUENZE: SPETTRO DI BLACK-BODY !**

**LO STESSO AVVIENE NEI PLASMI QUANDO  
SONO ABBASTANZA DENSII ED OPACHI !**

**NON IMPORTA CON QUALE MECCANISMO VENGONO PRODOTTI I FOTONI ALL'INTERNO DI UN GAS OPACO ALLA RADIAZIONE. SE I FOTONI NON POSSONO USCIRE DALLA NUBE E SONO INVECE COSTRETTI A INTERAGIRE CON GLI ELETTRONI LIBERI, SI VERIFICANO MOLTI SCAMBI DI ENERGIA TRA DI ESSI.**



**I FOTONI E GLI ELETTRONI POSSONO COLLIDERE ELASTICAMENTE. QUINDI, I FOTONI POSSONO PERDERE O ACQUISTARE ENERGIA, AUMENTANDO O DIMINUENDO LA LORO FREQUENZA, A SPESE DELLA ENERGIA CINETICA DEGLI ELETTRONI.**

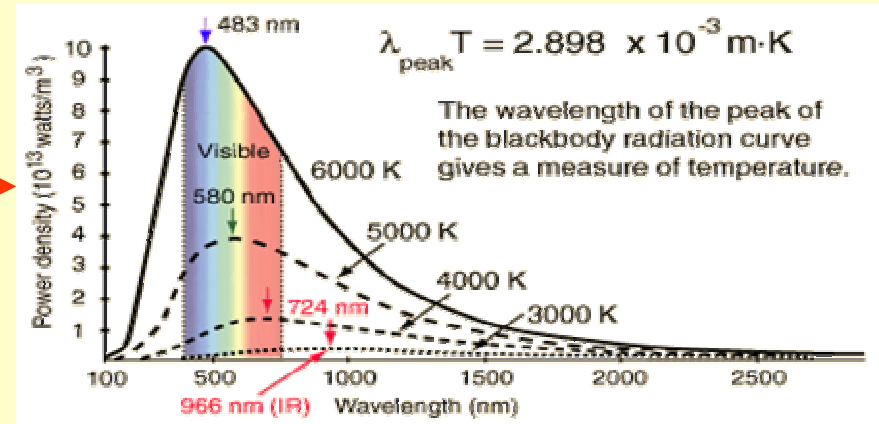
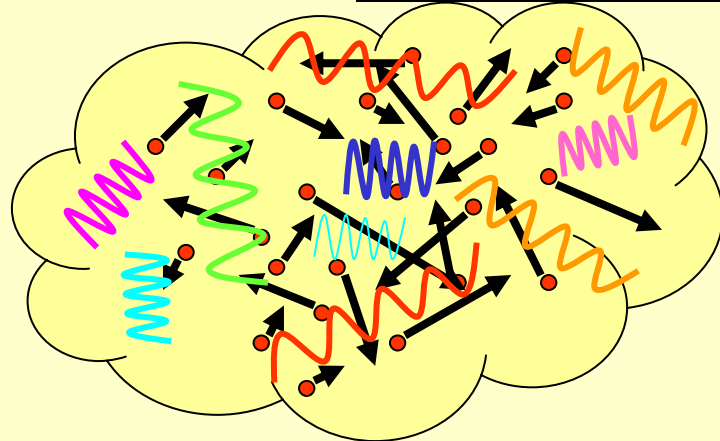


L'espressione precedente per  $\Delta\lambda$  può essere ottenuta imponendo la conservazione dell'energia e dell'impulso:

$$h\nu_i + m_e c^2 = h\nu_f + \sqrt{p_e^2 c^2 + m_e^2 c^4} \quad \text{conservazione dell'energia}$$

$$\vec{p}_i = \vec{p}_f + \vec{p}_e \quad \text{conservazione dell'impulso}$$

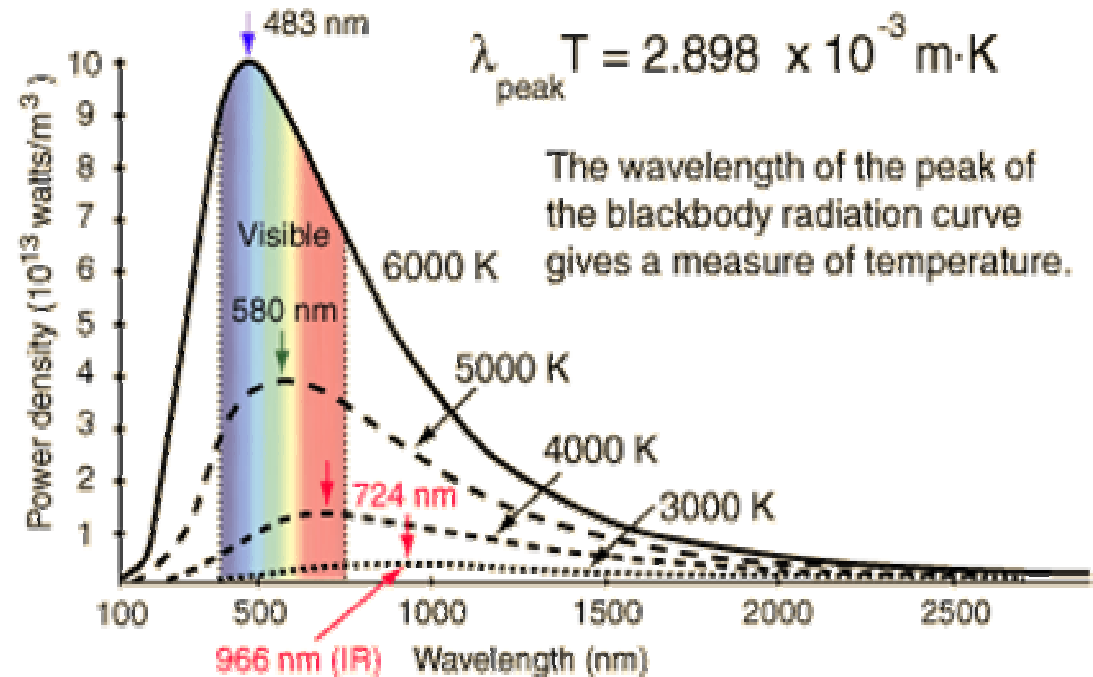
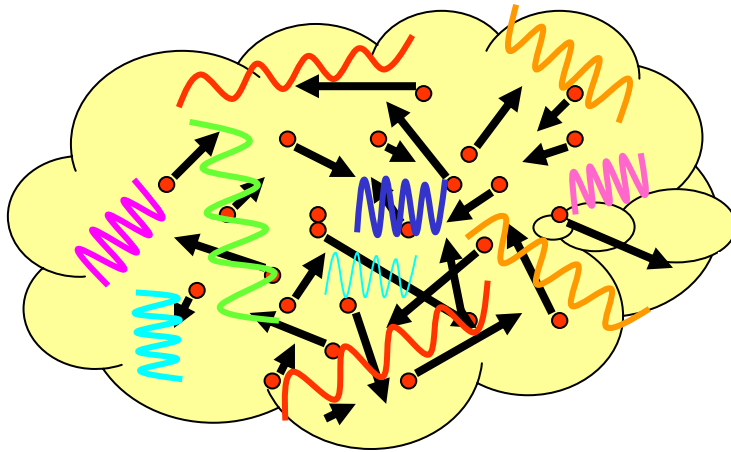
IN QUESTO MODO, SI REALIZZA UNA SPECIE DI EQUILIBRIO TRA LA DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITA' DEGLI ELETTRONI E LA DISTRIBUZIONE DELL'ENERGIA (FREQUENZA) DEI FOTONI: IL CAMPO DI RADIAZIONE E' QUINDI IN EQUILIBRIO CON LA MATERIA !



DALL'ESTERNO NON OSSERVEREMO PIU' RIGHE DI EMISSIONE, RADIAZIONE DI BREMSSTRAHLUNG O DI CICLOTRONE, MA QUALCOSA DI MOLTO DIVERSO : OSSERVEREMO LO SPETTRO DI CORPO NERO.



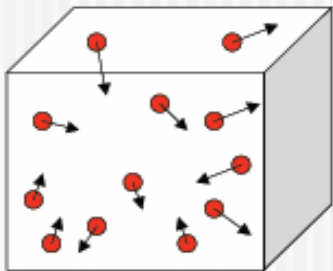
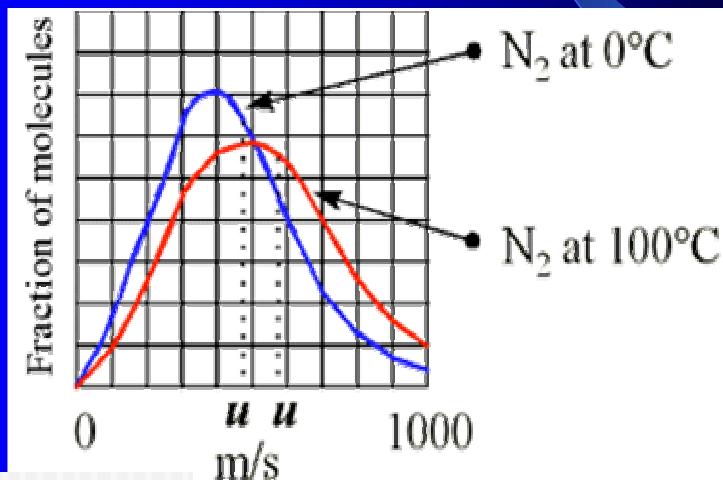
LA FORMA DELLO SPETTRO DI CORPO NERO  
 E' DETERMINATA ANCHE DALLA  
QUANTIZZAZIONE DELL'ENERGIA IN  
 PACCHETTI D'ONDA, OVVERO DAL FATTO CHE  
 L'ENERGIA HA UNA NATURA 'CORPUSCOLARE'  
 IN QUANTO COMPOSTA  
 DA FOTONI DI  
 ENERGIA  $E = h \times f$



# LE DISTRIBUZIONI DELLE ENERGIE DELLE PARTICELLE DI UN GAS E DEI FOTONI DI **B-B** AL VARIARE DI **T**

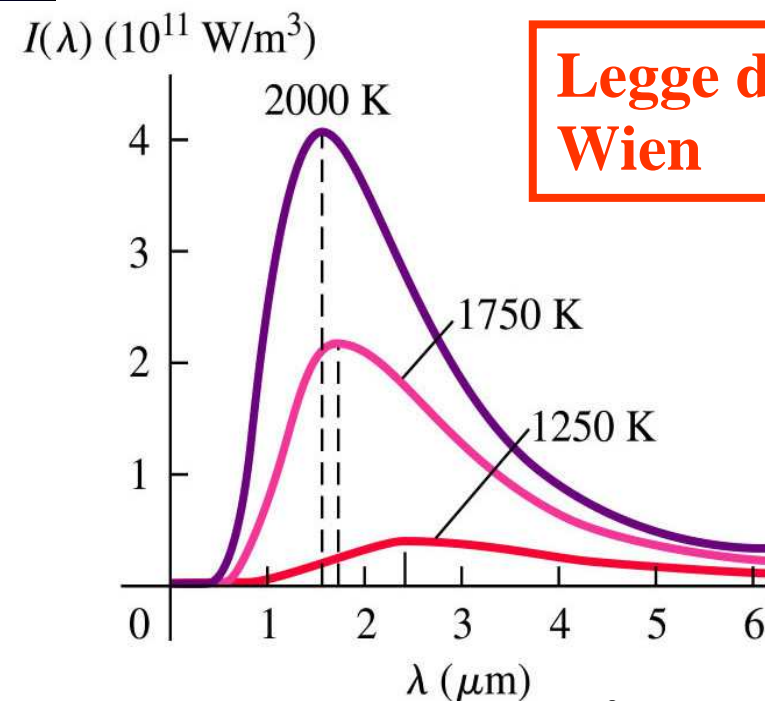
**LA DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITA' DELLE MOLECOLE DI AZOTO.**

**LA VELOCITA' PIU' PROBABILE AUMENTA ALL'AUMENTARE DELLA TEMPERATURA**



$$\frac{1}{2}Nm\langle u \rangle^2 = \frac{3}{2}NKT$$

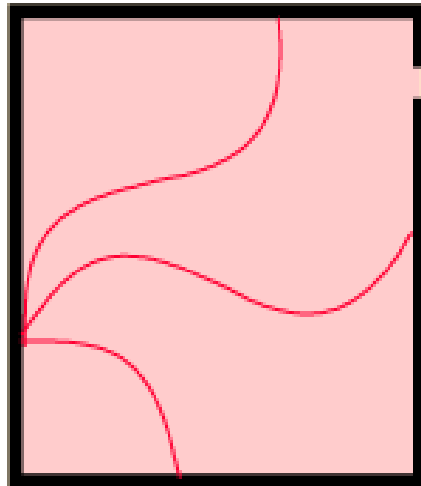
**LA DISTRIBUZIONE DELLA INTENSITA' DELLA RADIAZIONE DI CORPO NERO. LA LUNGHEZZA D'ONDA DEL PICCO DELLA DISTRIBUZIONE DECRESCe ALL'AUMENTARE DELLA TEMPERATURA .**



**Legge di Wien**

Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.

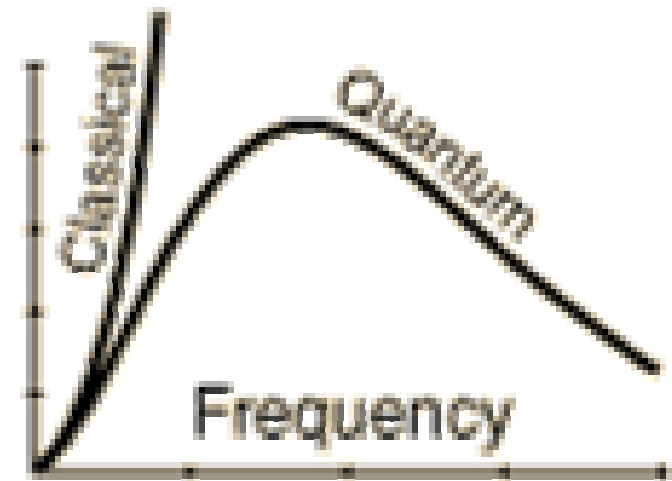
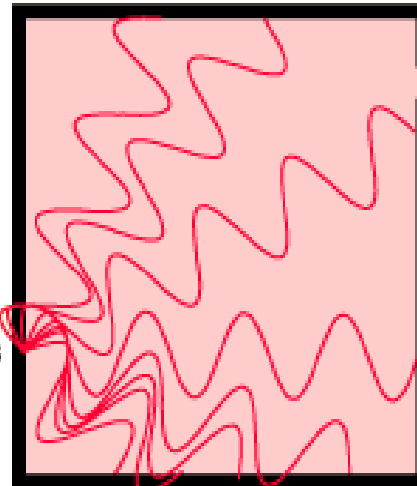
← *frequenza*



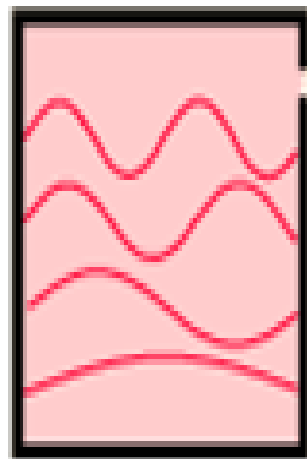
Number of modes  
per unit frequency  
per unit volume

$$\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$$

For higher frequencies  
you can fit more modes  
into the cavity. For  
double the frequency,  
four times as many  
modes.

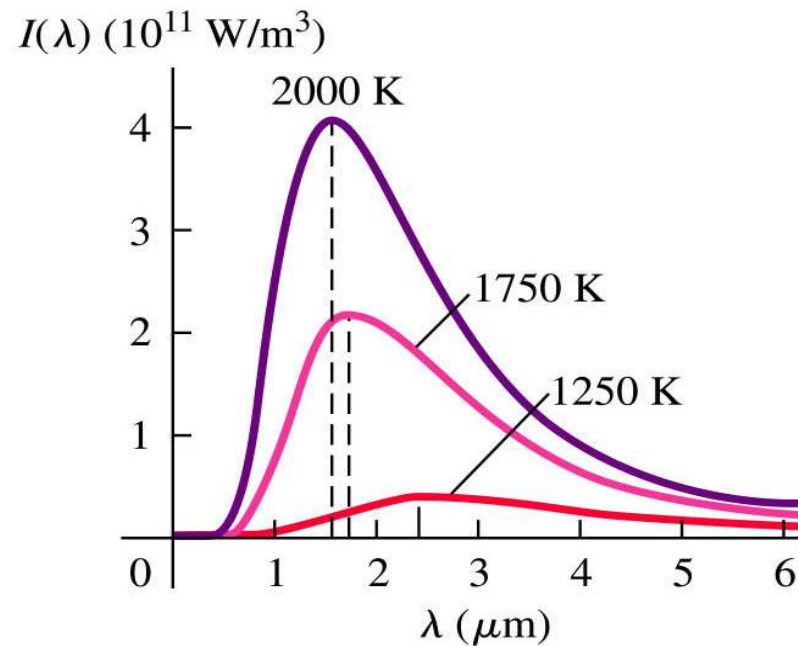


Radiation modes in  
a hot cavity provide  
a test of quantum theory

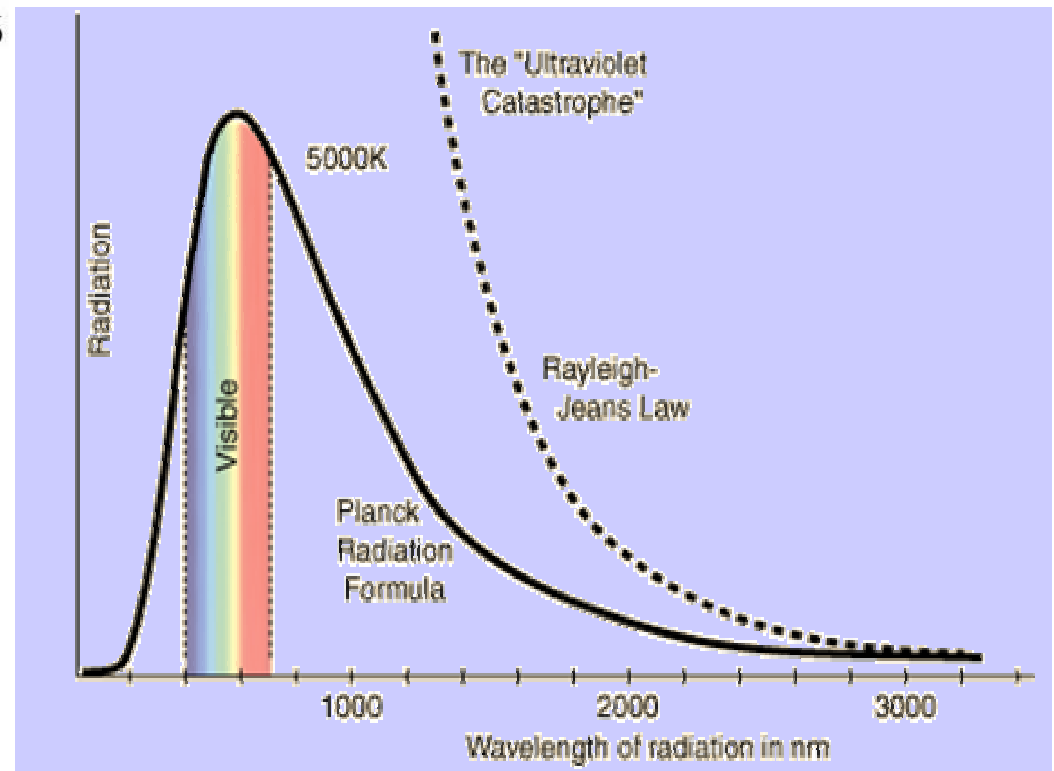


	#Modes per unit frequency per unit volume	Probability of occupying modes	Average energy per mode
CLASSICAL	$\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$	Equal for all modes	$kT$
QUANTUM	$\frac{8\pi\nu^2}{c^3}$	Quantized modes: require $h\nu$ energy to excite upper modes, less probable	$\frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$

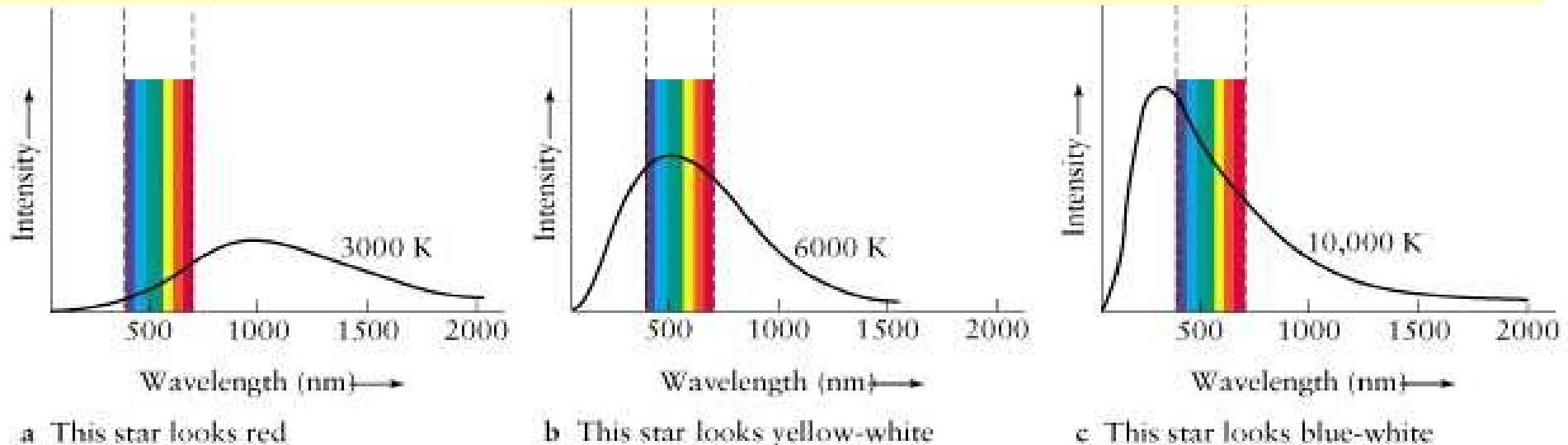
# La distribuzione di Planck: lo spettro di corpo nero



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.



# Il colore di una stella rivela la sua **temperatura di corpo nero** (= *Black Body* = *BB*)

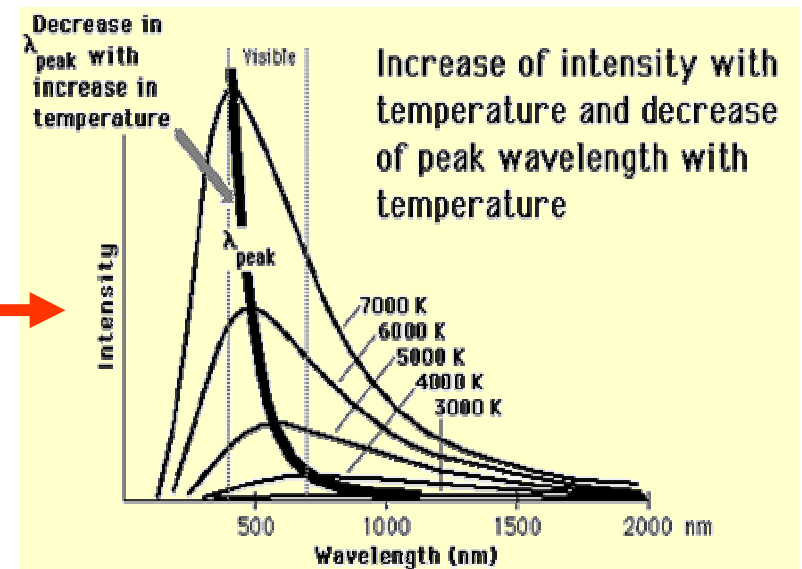


Dalla formula di Planck si ricavano anche le leggi di Stefan-Boltzmann e di Wien, già note sperimentalmente,:

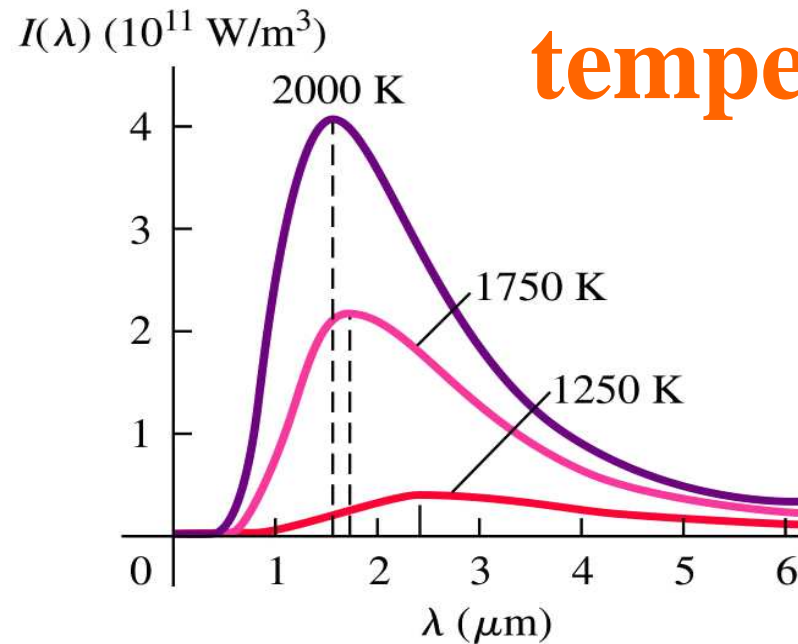
$$Q = \sigma T^4 \quad \text{legge di Stefan - Boltzmann}$$

$$\lambda_m T = 0.289789 \text{ cm deg} \quad \text{legge degli spostamenti di Wien}$$

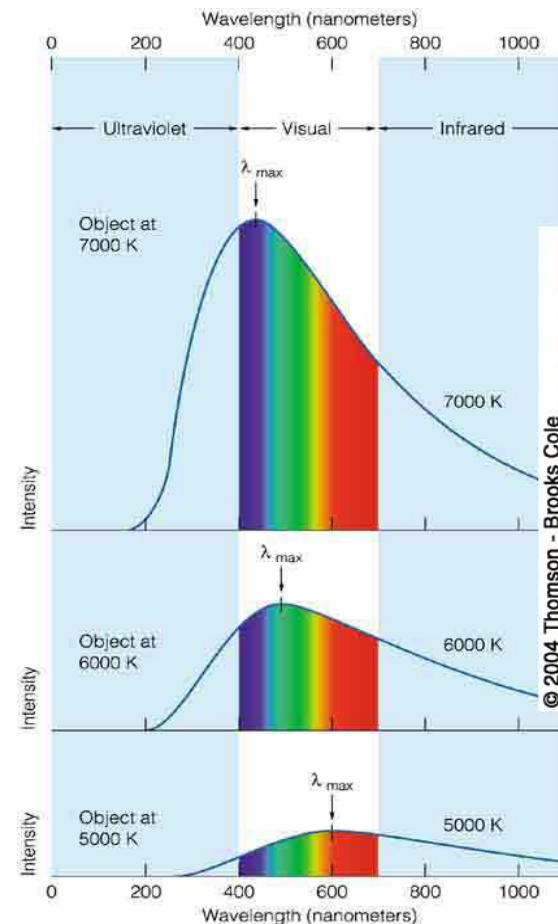
$$B_{max} = \gamma T^5 \quad \text{legge del valor massimo di Wien}$$

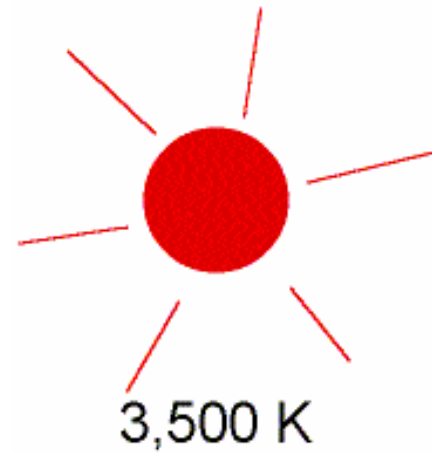
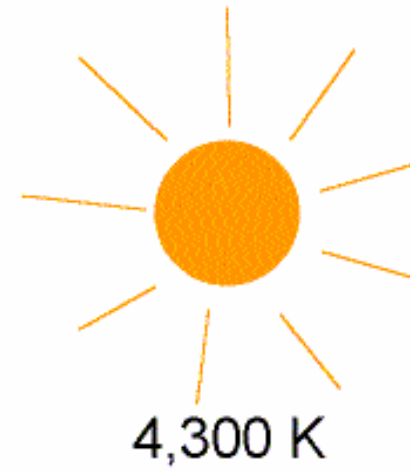
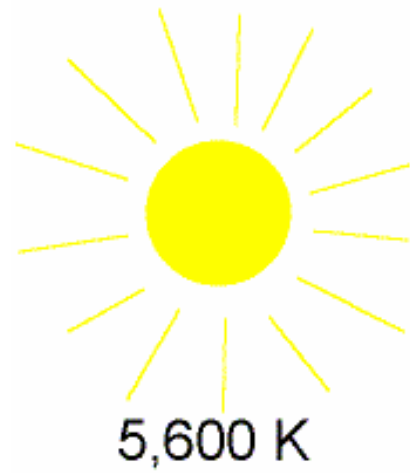
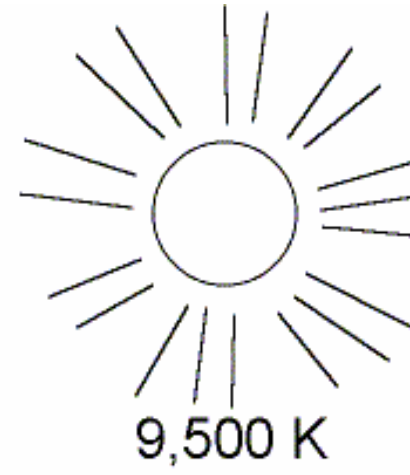
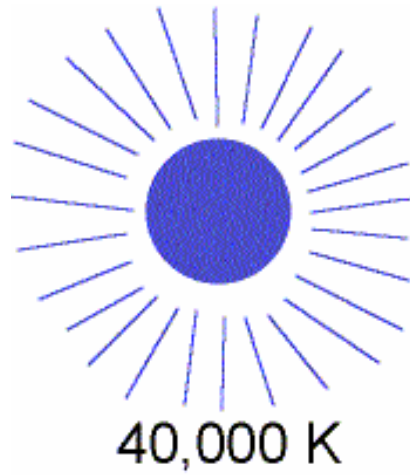


# il colore di una stella rivela la sua temperatura di corpo nero



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Addison Wesley.





**Le stelle più calde appaiono più blu; le più fredde appaiono rosse**

**LO SPETTRO CONTINUO DI CORPO  
NERO RAPPRESENTA LA FORMA  
PIU' COMUNE DI SPETTRO  
CONTINUO OSSERVATO NELLE  
STELLE.**



**PAUSA**

# LA VITA DELLE STELLE - 4

LE STELLE COME CI APPAIONO  
( con un pizzico di fisica ....)

## b) GLI SPETTRI STELLARI

**Prof. Antonio Bianchini**

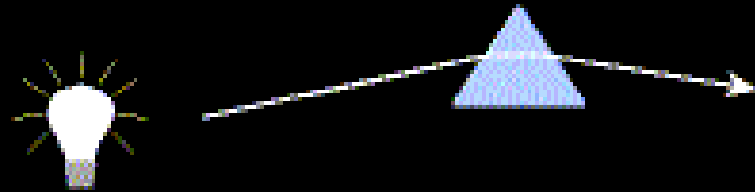
*Dipartimento di Astronomia*

*Università di Padova*

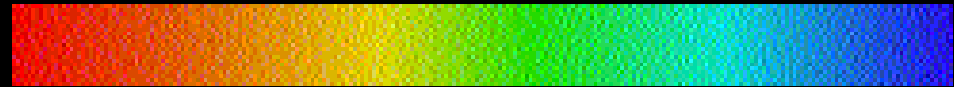
[antonio.bianchini@unipd.it](mailto:antonio.bianchini@unipd.it)

**DOPO LA FORMAZIONE DELLO  
SPETTRO CONTINUO E, IN  
PARTICOLARE, DELLO SPETTRO  
CONTINUO DI CORPO NERO  
(CHE E' LA FORMA PIU' COMUNE  
DI SPETTRO CONTINUO  
OSSERVATO NELLE STELLE),  
VEDIAMO COME SI FORMANO  
LE RIGHE DI ASSORBIMENTO E DI  
EMISSIONE SOVRAPPOSTE AL  
CONTINUO STELLARE**

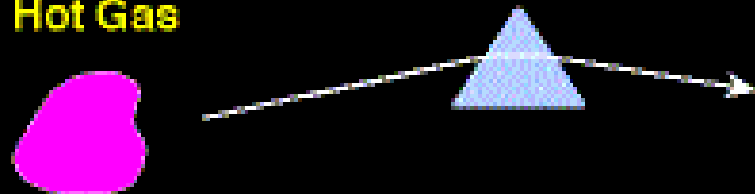
**RICORDIAMO CHE LE RIGHE POSSONO APPARIRE IN ASSORBIMENTO O IN EMISSIONE SUL CONTINUO**



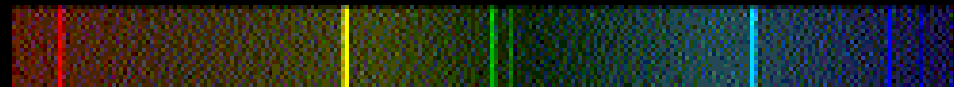
Continuous Spectrum



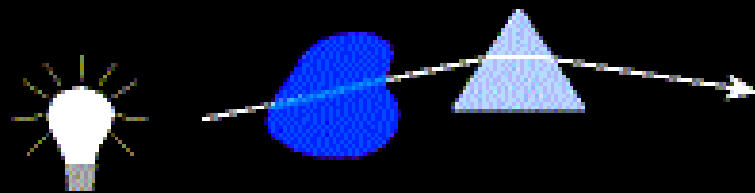
Hot Gas



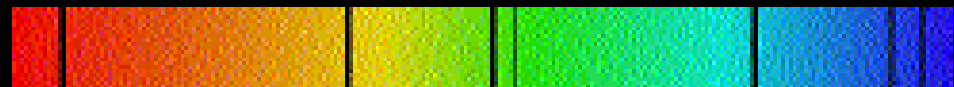
Emission Spectrum

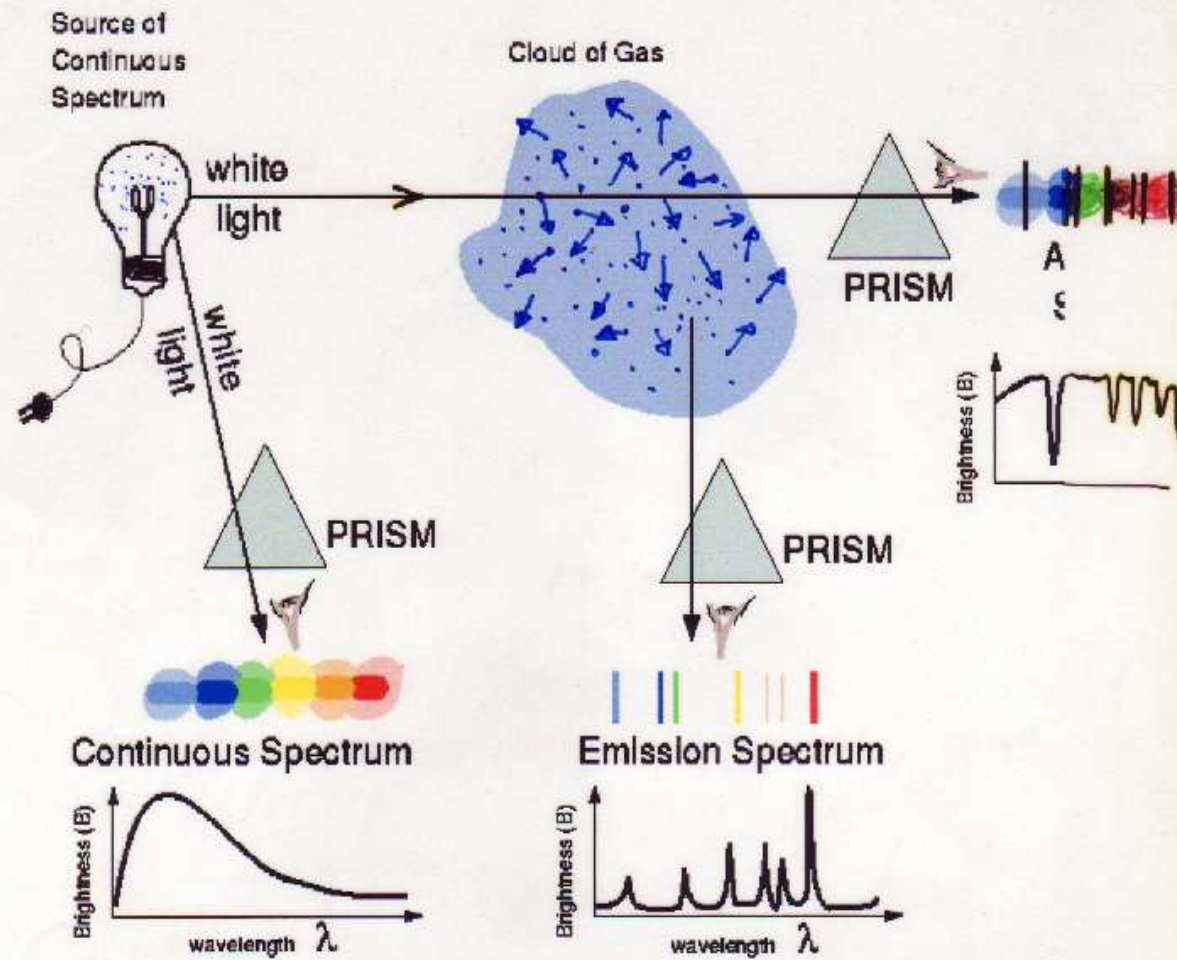


Cold Gas

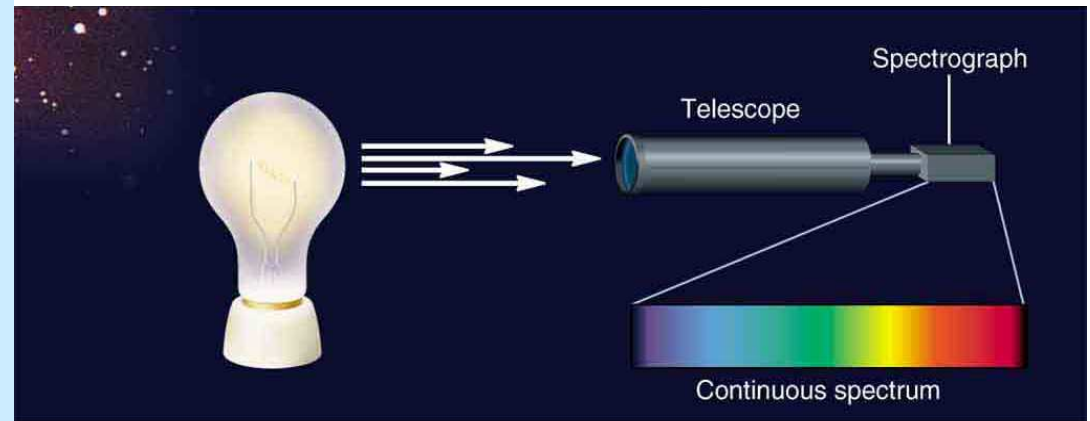


Absorption Spectrum

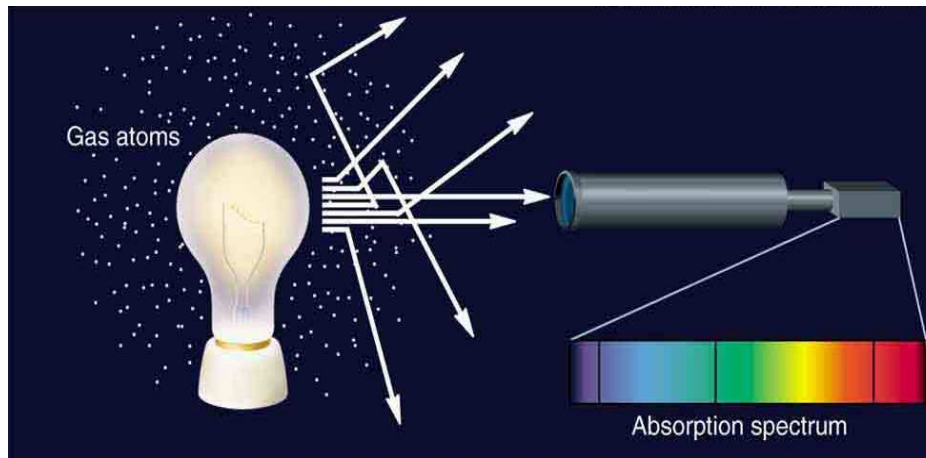




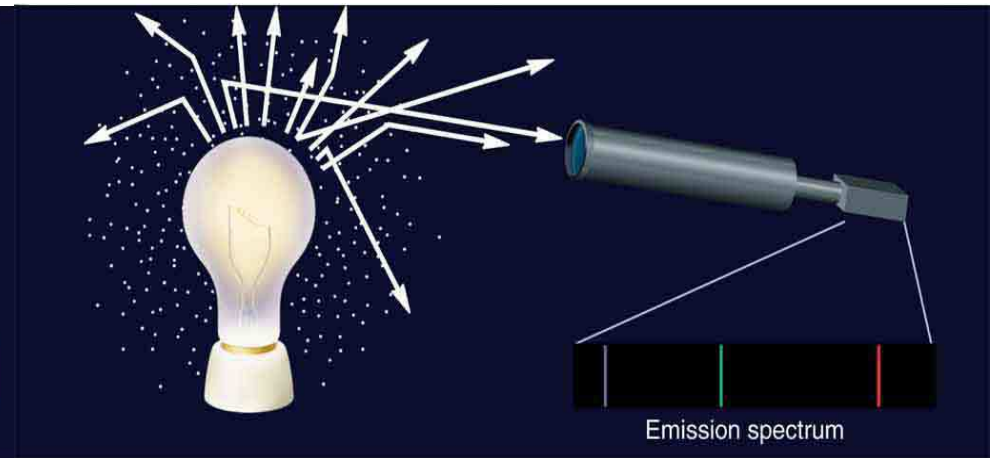
# **RIVEDIAMO IL MECCANISMO DI FORMAZIONE DELLE RIGHE DI ASSORBIMENTO E DI EMISSIONE**



© 2004 Thomson - Brooks Cole

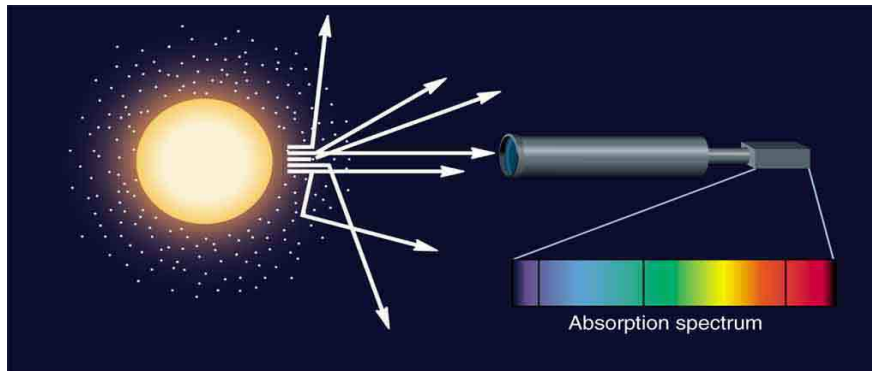


© 2004 Thomson - Brooks Cole

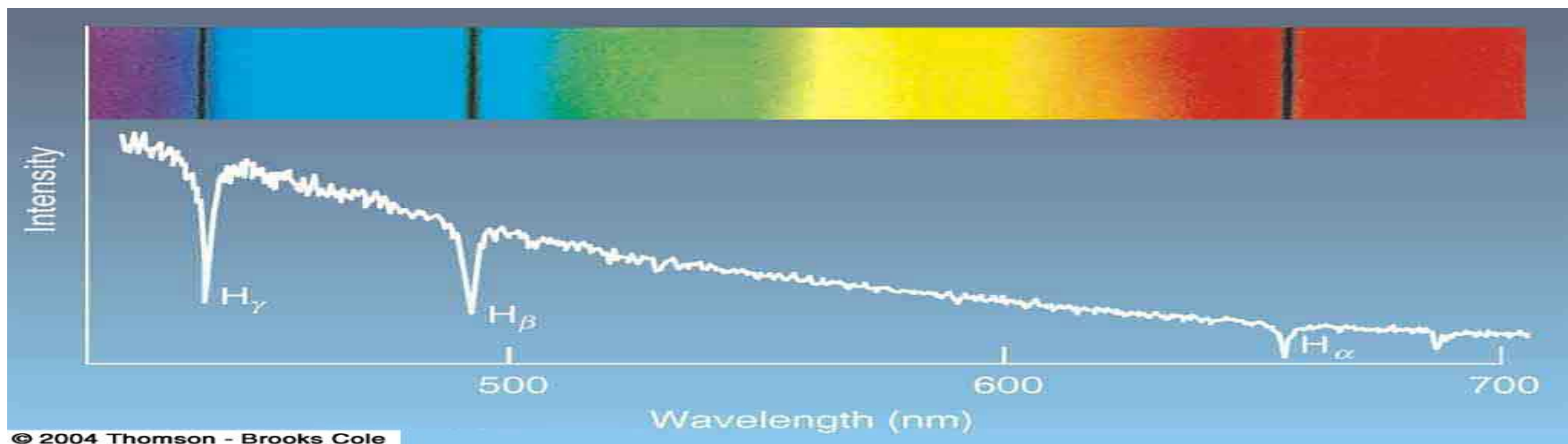


© 2004 Thomson - Brooks Cole

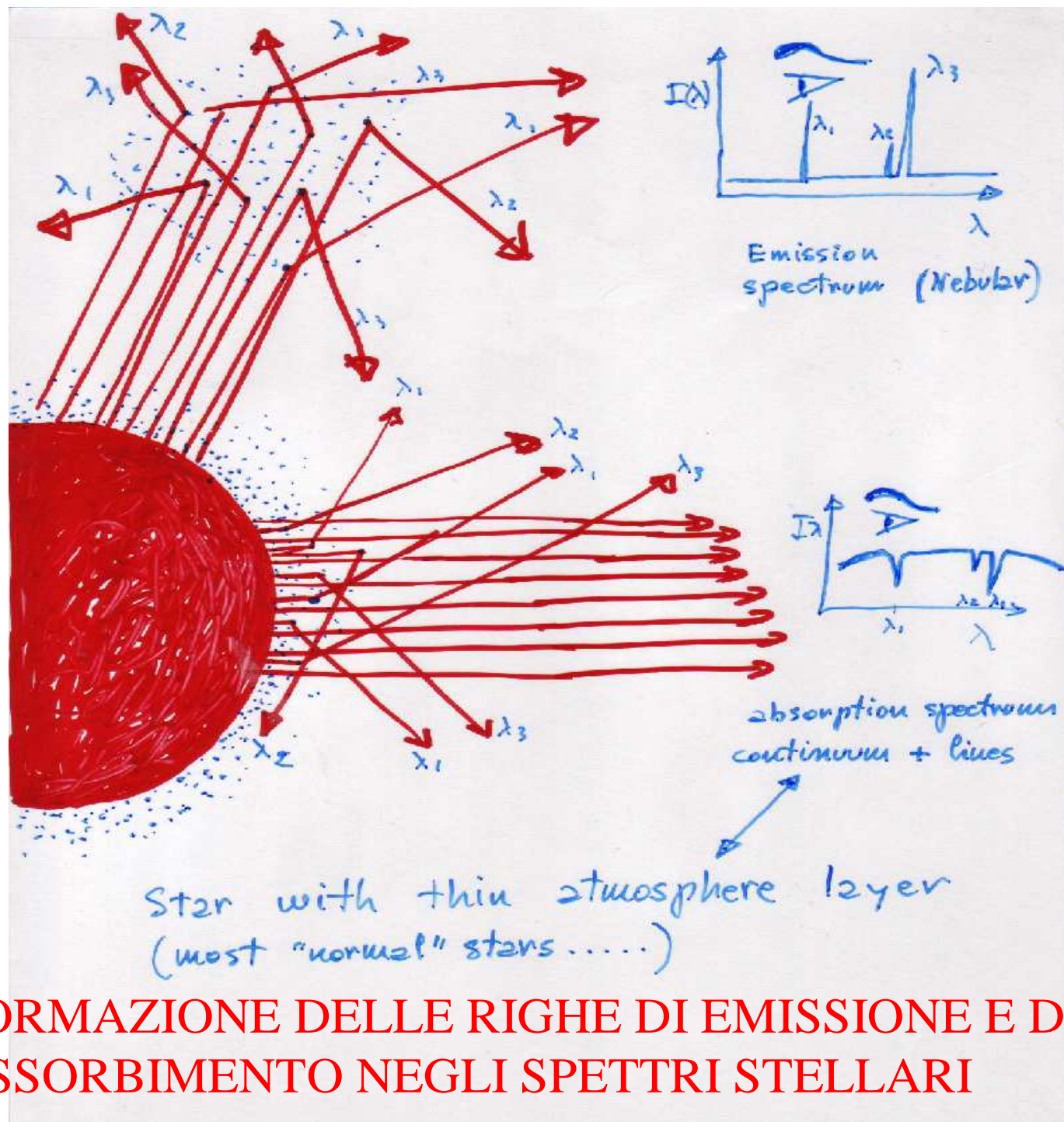
Gli spettri stellari sono prodotti dalla radiazione continua emessa dalla fotosfera e dall'effetto filtro prodotto dalla atmosfera rarefatta che la sovrasta.



## SPETTRO CON RIGHE DI ASSORBIMENTO



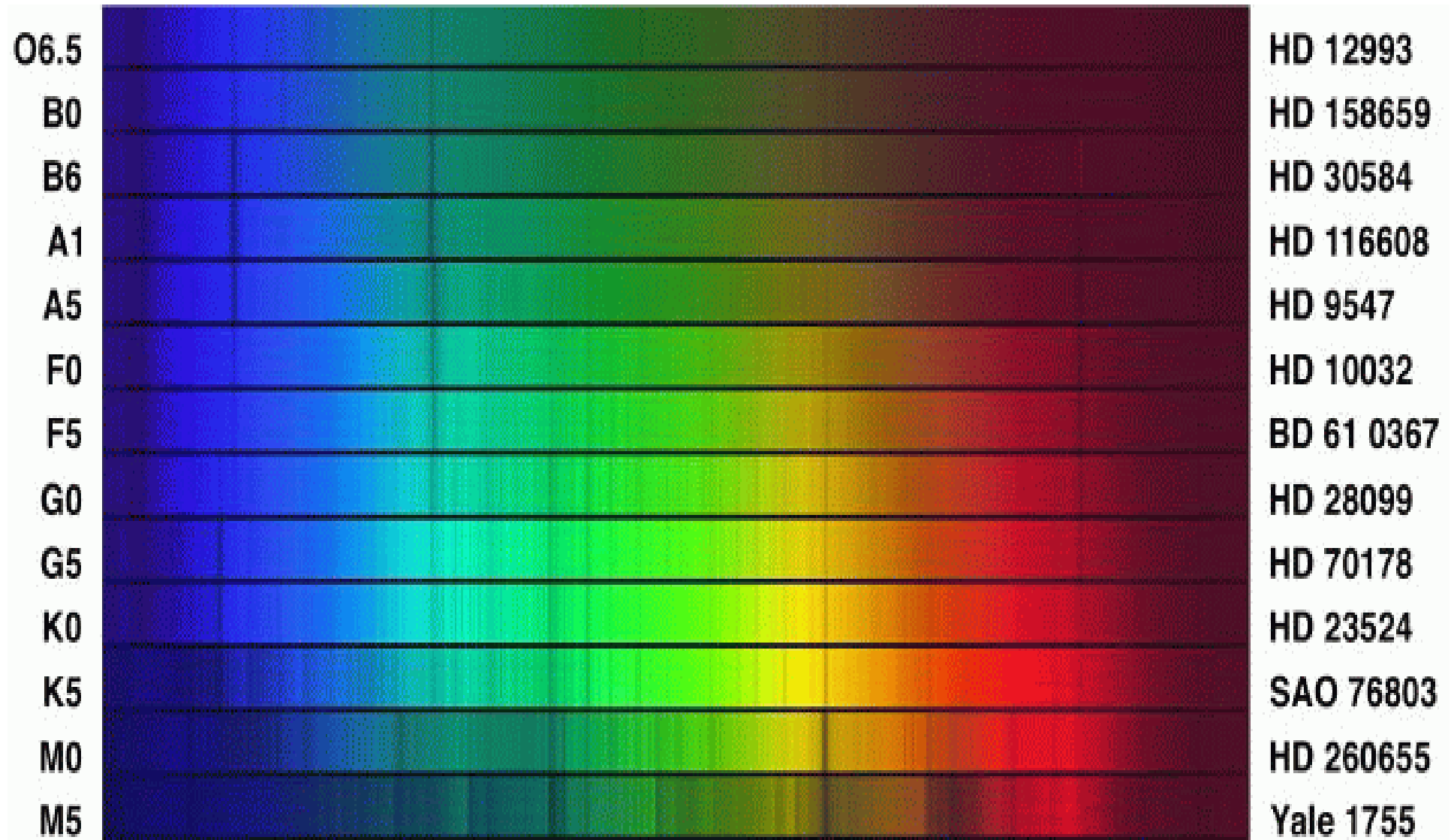




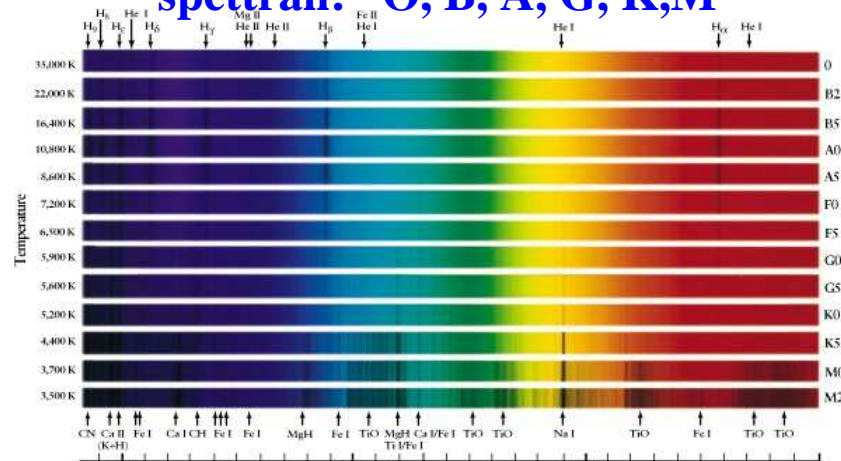
FORMAZIONE DELLE RIGHE DI EMISSIONE E DI ASSORBIMENTO NEGLI SPETTRI STELLARI



**Gli spettri stellari sono descritti da 7 classi spettrali (ciascuna con 10 sottoclassi), O B A F G K M, secondo una sequenza di temperature decrescenti.**

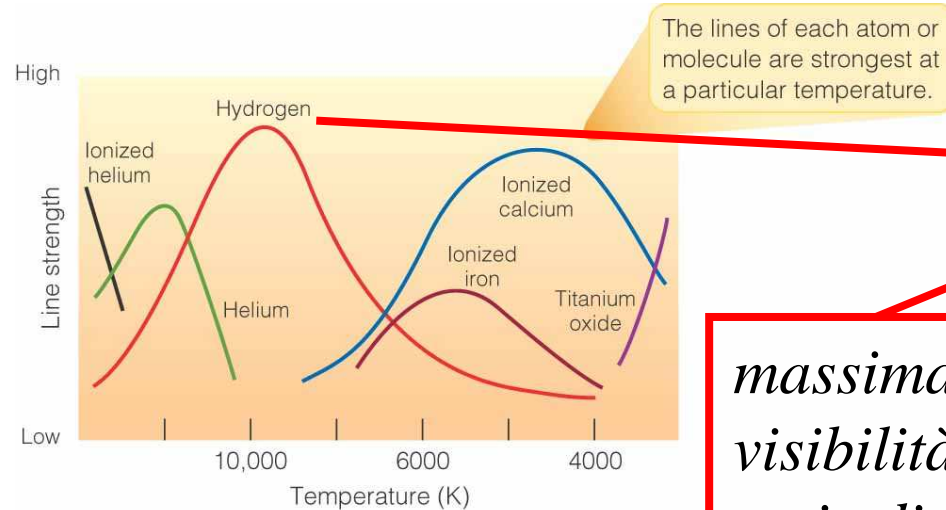


Le stelle sono classificate in base ai loro  
spettri e vengono suddivise in classi  
spettrali: O, B, A, G, K, M

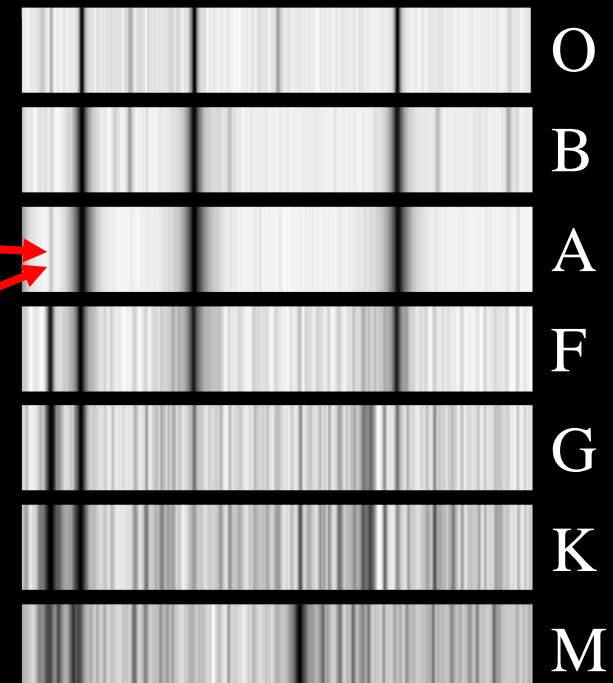


## Summario delle Classi Spettrali

<b>O</b>	<b>hotter than 25,000 K</b>
<b>B</b>	<b>11,000 - 25,000 K</b>
<b>A</b>	<b>7500 - 11,000 K</b>
<b>F</b>	<b>6000 - 7500 K</b>
<b>G</b>	<b>5000 - 6000 K</b>
<b>K</b>	<b>3500 - 5000 K</b>
<b>M</b>	<b>cooler than 3500 K</b>



*massima  
visibilità della  
serie di Balmer*

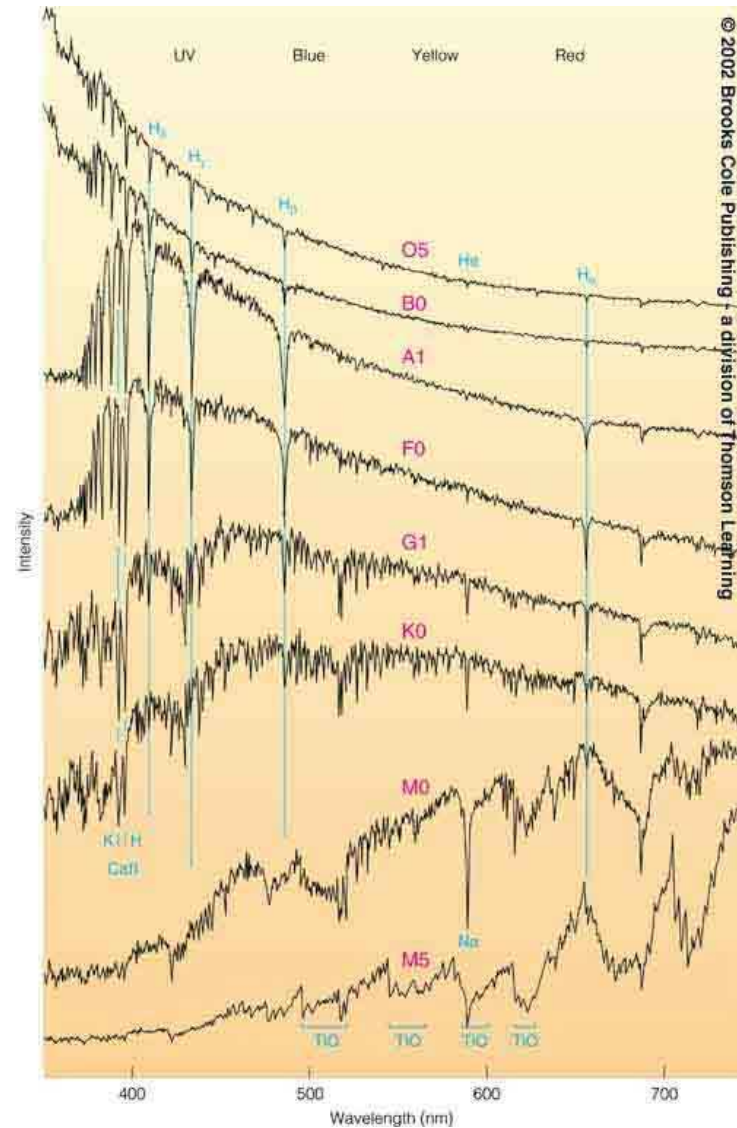


# Classification of stars

- **O B A F G K M** scheme
  - Originally in order of H strength – A,B,etc  
**Above order is for decreasing temperature**
  - Standard mnemonic: Oh, Be A Fine Girl (Guy), Kiss Me
  - Use numbers for finer divisions: A0, A1, ... A9, F0, F1, ... F9, G0, G1, ...

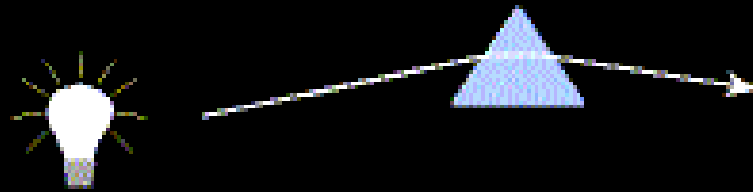
**Table 6-1** Spectral Classes

Spectral Class	Approximate Temperature (K)	Hydrogen Balmer Lines	Other Spectral Features
O	40,000	Weak	Ionized helium
B	20,000	Medium	Neutral helium
A	10,000	Strong	Ionized calcium weak
F	7500	Medium	Ionized calcium weak
G	5500	Weak	Ionized calcium medium
K	4500	Very weak	Ionized calcium strong
M	3000	Very weak	Titanium oxide strong

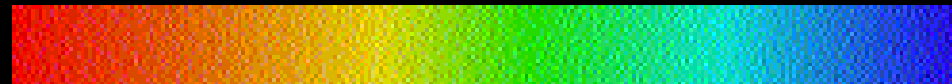


From our text: Horizons, by Seeds

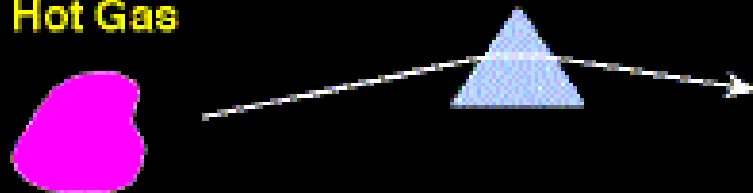
# RICORDIAMO CHE LE RIGHE POSSONO APPARIRE IN ASSORBIMENTO O IN EMISSIONE



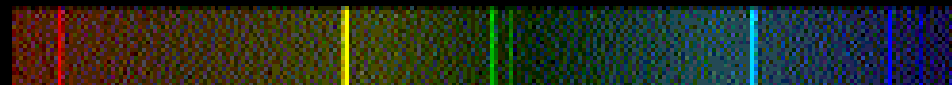
Continuous Spectrum



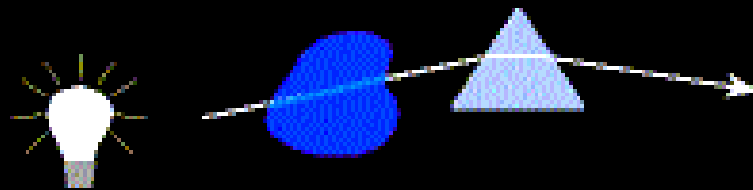
Hot Gas



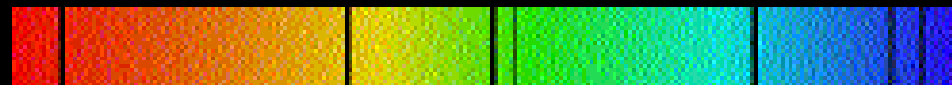
Emission Spectrum



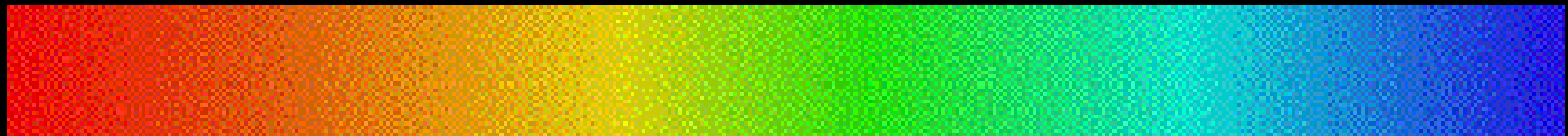
Cold Gas



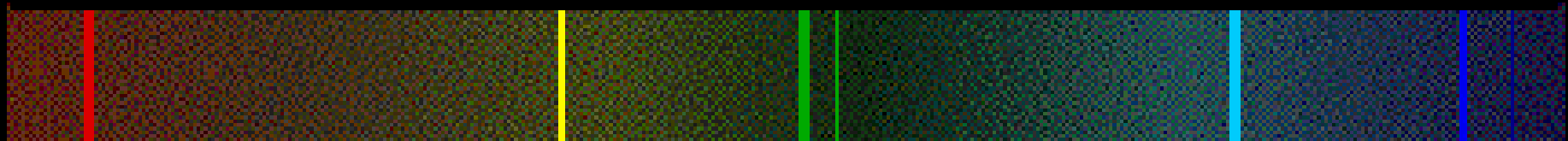
Absorption Spectrum



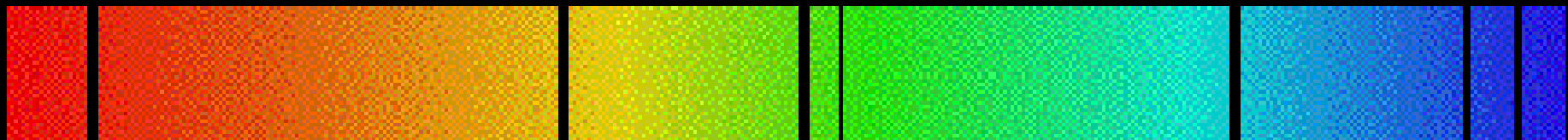
Continuous Spectrum



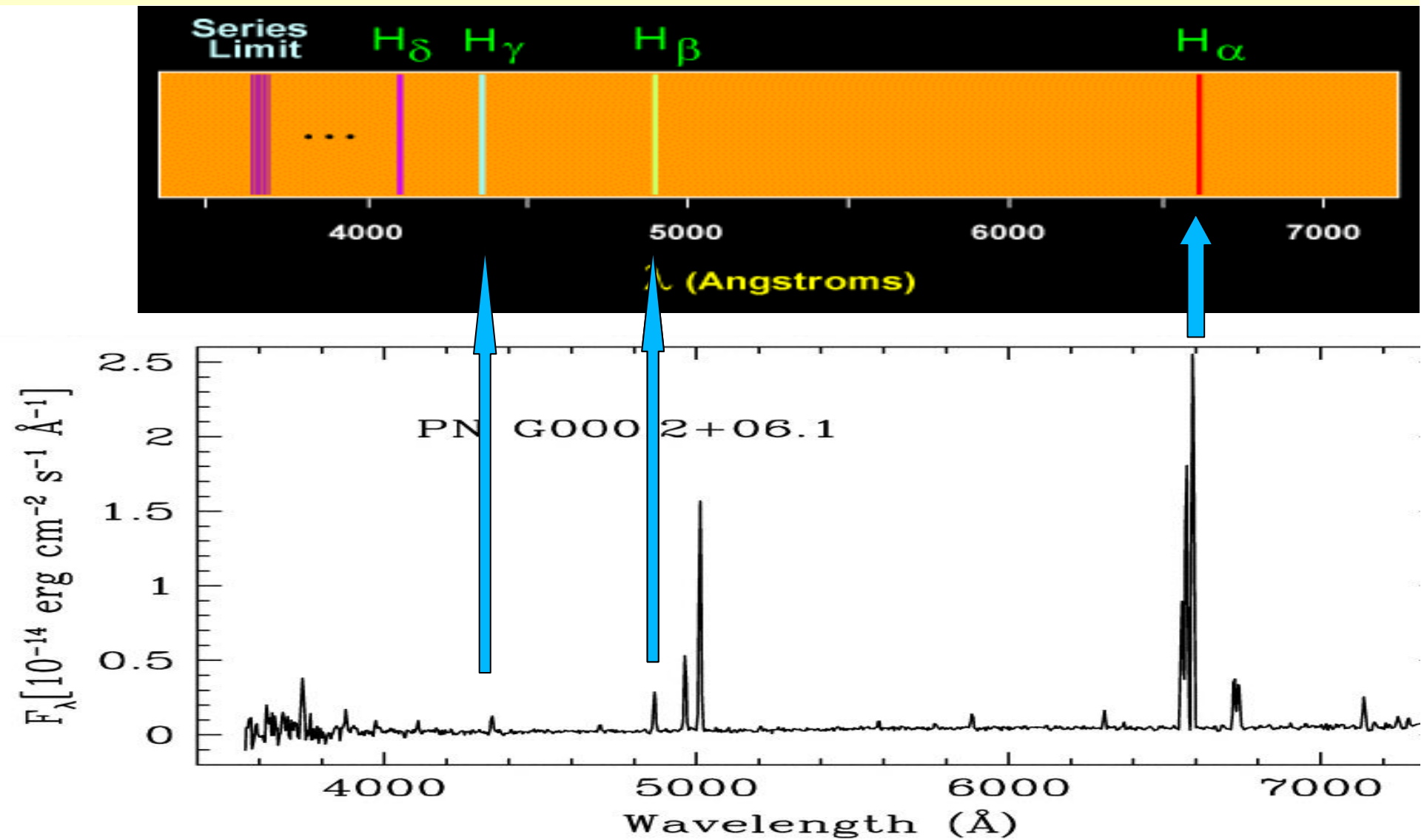
Emission Spectrum



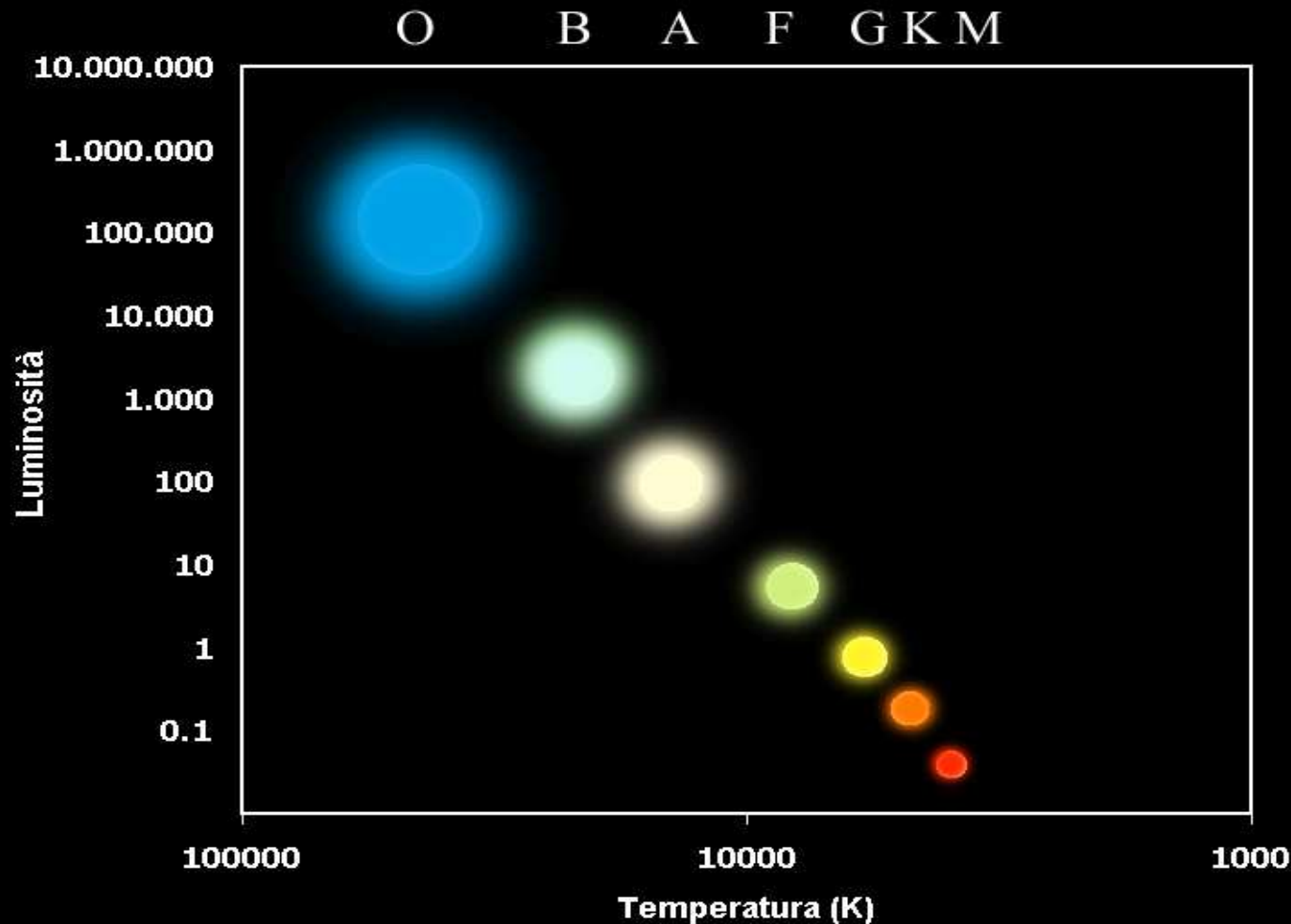
Absorption Spectrum



# LE NEBULE GALATTICHE O CIRCUSTELLARI SPESSO MOSTRANO LA SERIE DI BALMER (H) IN EMISSIONE



Anticipiamo che, a parità di distanza, tanto più luminosa è una stella, tanto più calda (blu) essa appare. **DIPENDE DALLA SUA STRUTTURA ....**

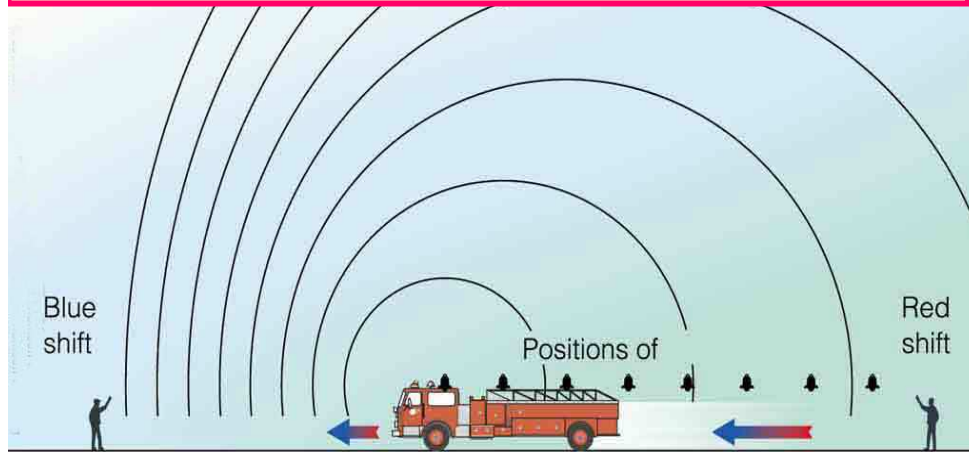




La velocità del suono nell'aria è costante, ma se la sorgente si muove rispetto all'osservatore, il suono cambia frequenza:

## EFFETTO DOPPLER

Notiamo che, la velocità del suono si compone solo con quella dell'osservatore e anche in questo caso la frequenza osservata cambia.



moving toward you: blueshift



at rest

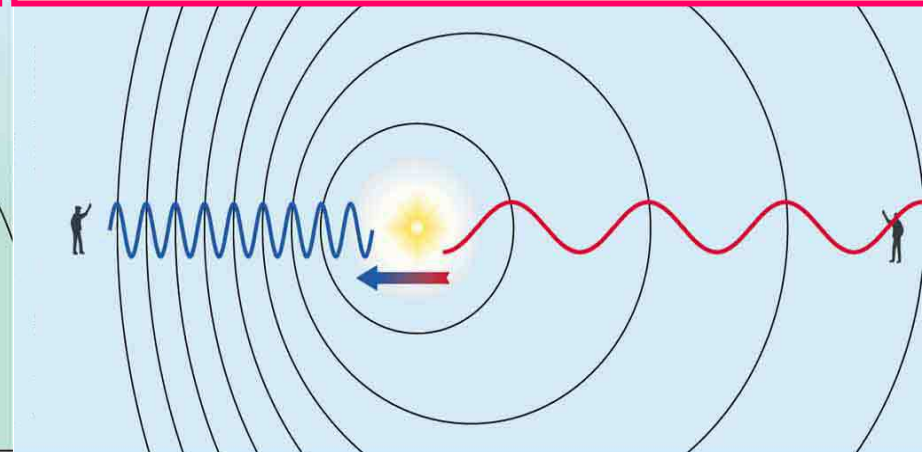


moving away from you: redshift

La velocità della luce è costante ed indipendente sia da quella della sorgente che da quella dell'osservatore.

Quindi, in questo caso, la velocità della luce non si compone mai con le altre due velocità. Comunque, nel caso di un moto relativo osservatore-sorgente, la frequenza della radiazione cambia e si ha ancora un

## EFFETTO DOPPLER



LE GALASSIE SI ALLONTANANO DA NOI ...  
... ED ANCHE TRA DI LORO

RIGHE DI ASSORBIMENTO NELLO SPETTRO DEL SOLE



RIGHE DI ASSORBIMENTO NELLO  
SPETTRO DI UN SUPERAMMASSO DI GALASSIE  
 $v = 0.07c$ ,  $d = 1$  billion light years



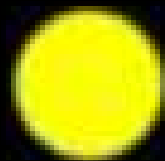
Si nota lo spostamento verso  
il rosso di tutte le righe



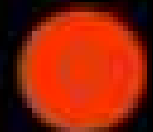
**Misurando le velocità radiali degli oggetti celesti,  
posso studiare:**

- il moto di sistemi binari,**
- il moto di espansione di involucri gassosi prodotti da esplosioni stellari,**
- i moti di stelle e nebulose nella Galassia,**
- le dispersioni delle velocità in ammassi stellari e in ammassi di galassie,**
- il moto di recessione delle galassie lontane causato dall'espansione dell'universo.**

-



SOL

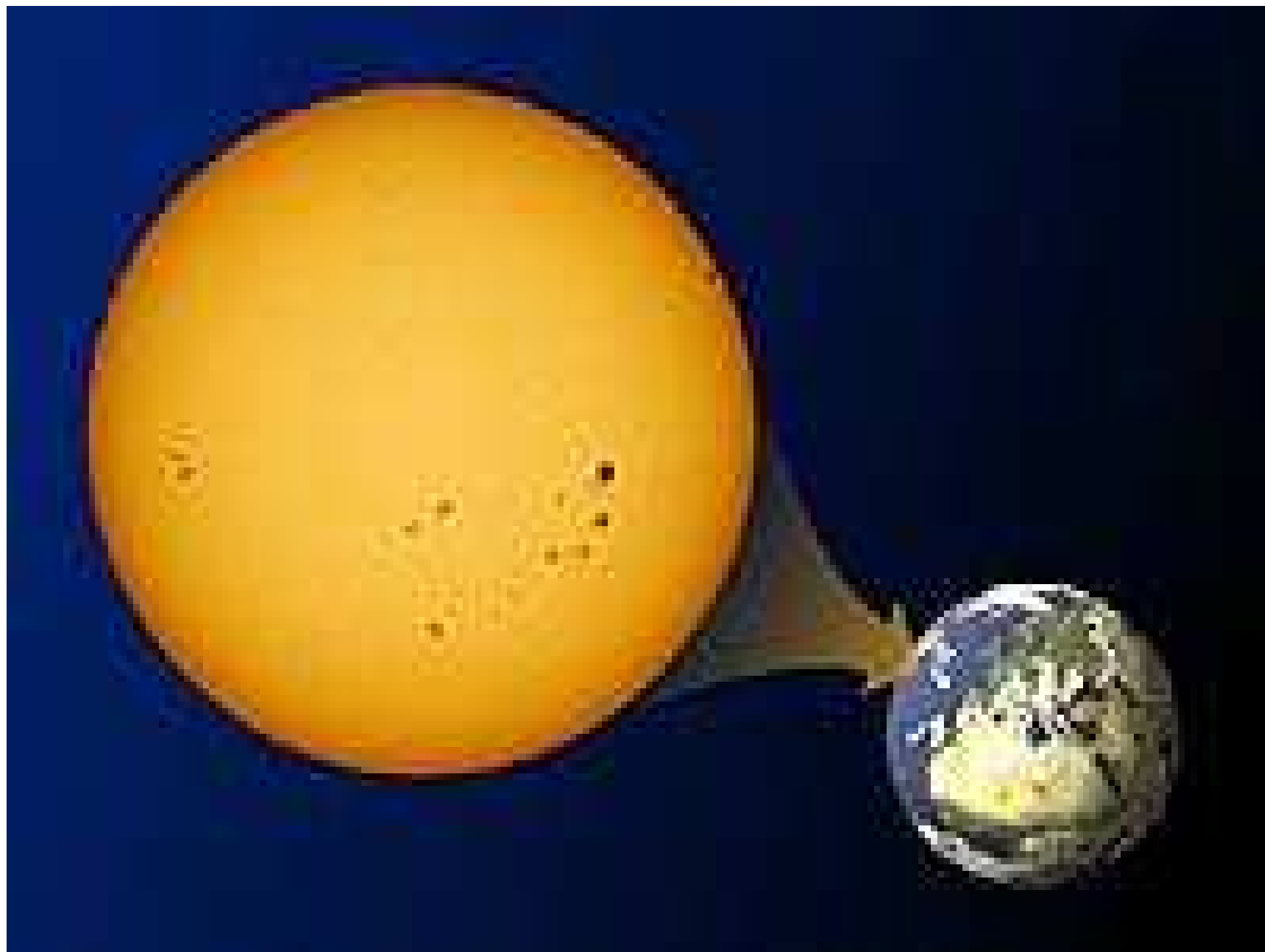


$$M_2 : M_1 = 1:2$$

© G. Galletta

**PAUSA**

# LA RADIAZIONE SOLARE



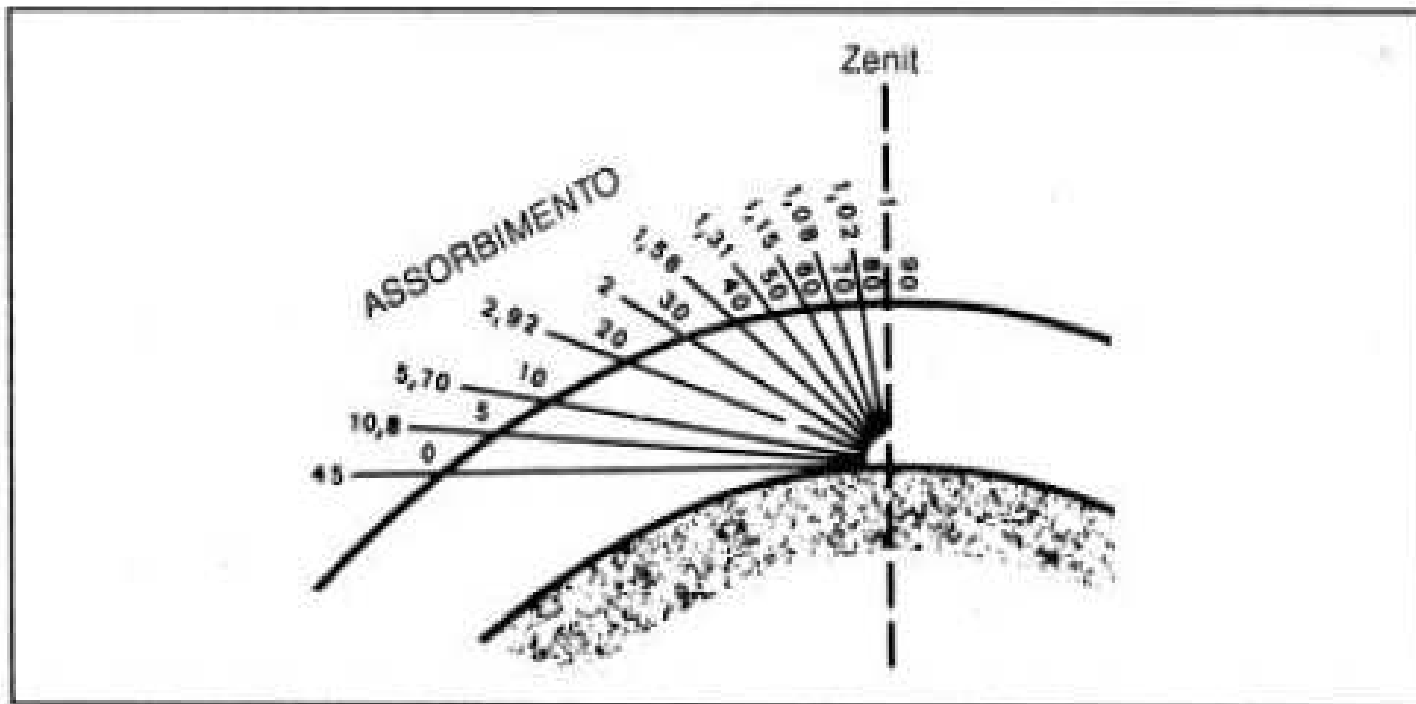
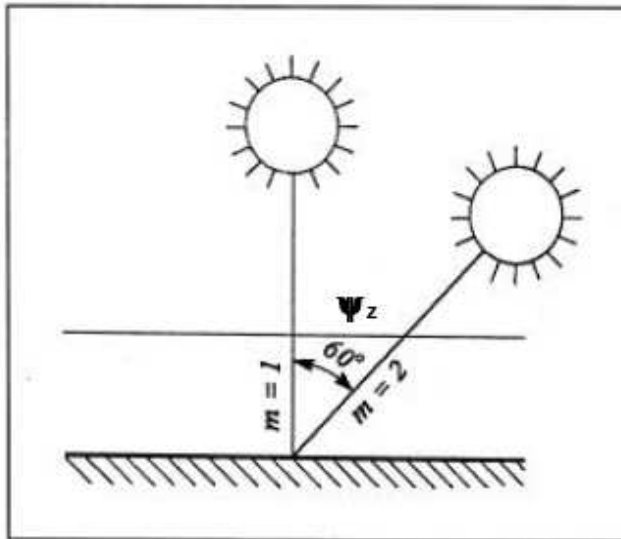
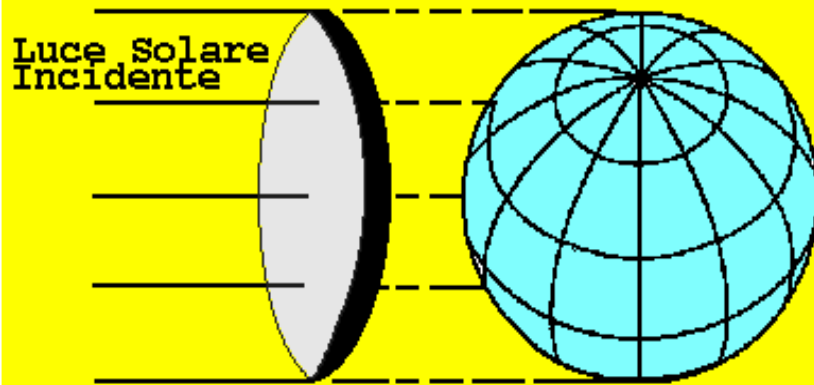


Fig. 3 Effetto dell'altezza del sole sullo strato di atmosfera da attraversare.

## COSTANTE SOLARE

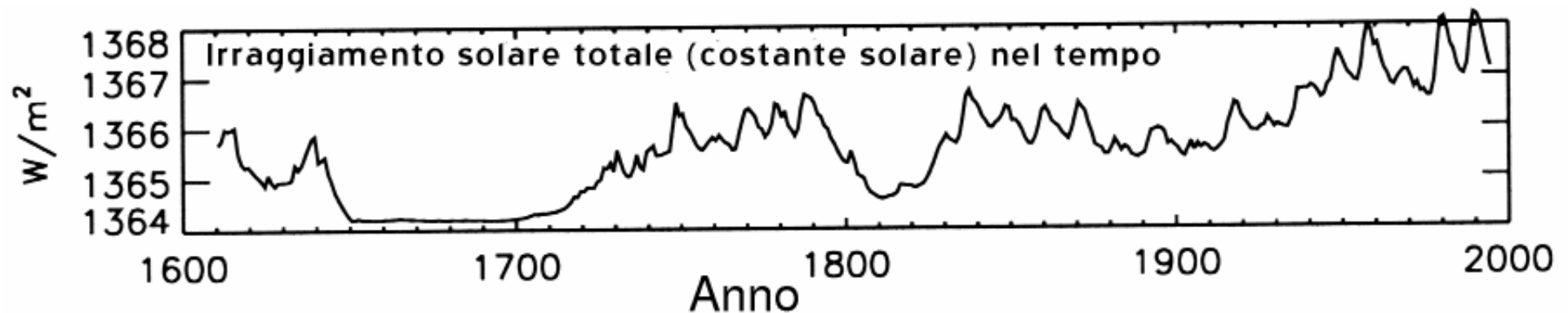


$$L_{\odot} = 4 \times 10^{26} \text{ W}$$

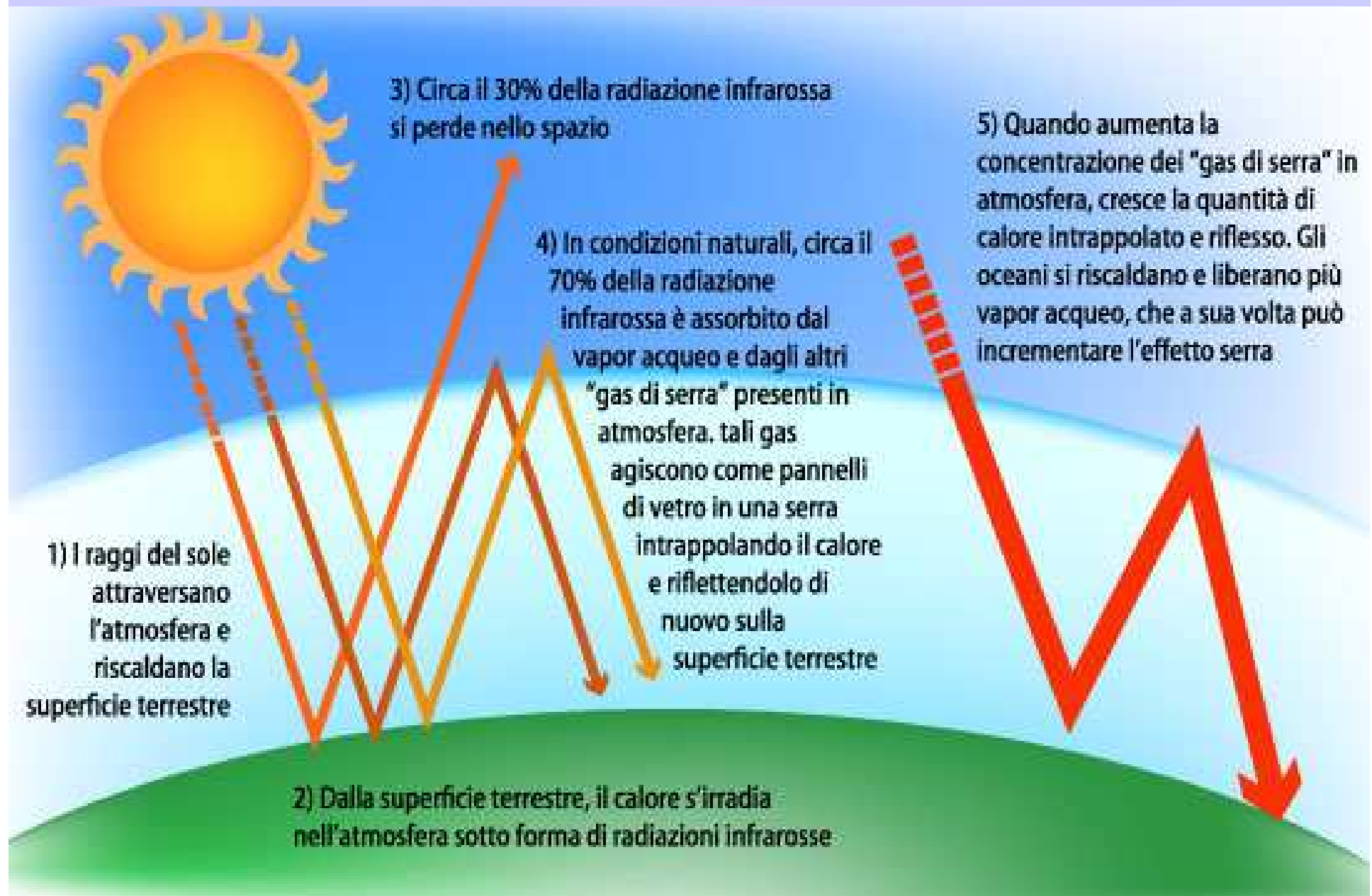
La costante solare,  $C$ , è definita come *l'energia che incide nell'unità di tempo su un metro quadrato di superficie esposto perpendicolarmente alla linea di vista, fuori dall'atmosfera terrestre, posto alla distanza media della Terra dal Sole*. Le misure danno per la costante solare un valore pari a

$$C = (1366 \pm 3) \text{ W/m}^2.$$

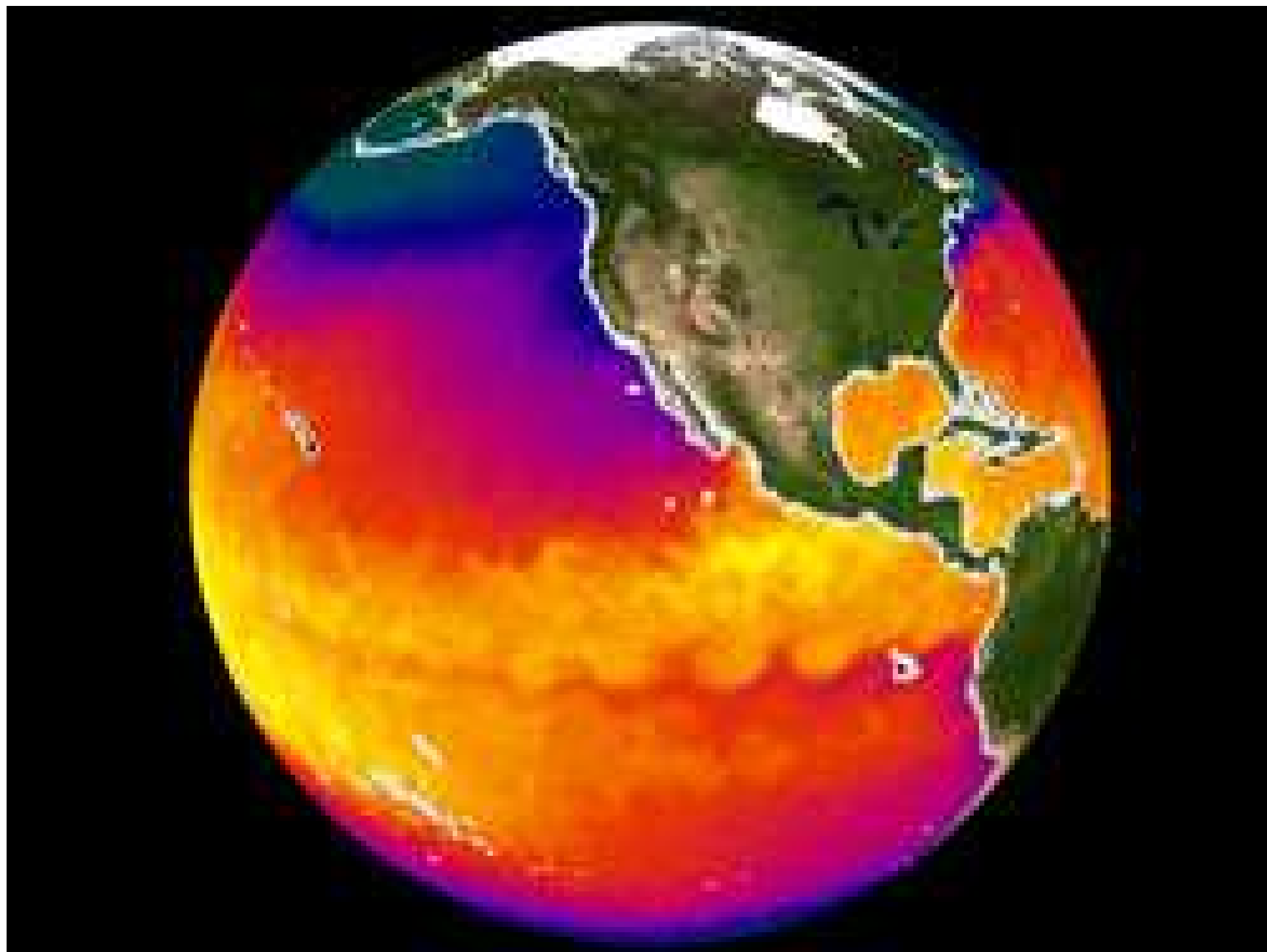
**... ma varia col tempo !**



# L'EFFETTO SERRA







# WORLD CLIMATES

Arctic circle  
66°32'N

Tropic of cancer 23°30'N

Equator 0°

Thermal  
equator

Tropic of capricorn  
23°30'S

Antarctic circle 66°30'S

## TYPES OF CLIMATE

### TROPICAL RAINY CLIMATES

- Tropical wet
- Tropical wet and dry

### DRY CLIMATES

- Semiarid or steppe
- Arid or desert

### WARM TEMPERATE CLIMATES

- Mediterranean
- Humid subtropical (Warm summer)
- Marine (Cool summer)

### COLD TEMPERATE CLIMATES

- Continental, warm summer
- Continental, cool summer
- Subarctic

### POLAR CLIMATES

- Tundra
- Ice cap

### HIGHLANDS

- 

Thermal equator joins the points on each line of longitude with the highest annual average temperature

