



Istituto Nazionale di Astrofisica
Osservatorio astronomico di Brera



Universo in fiore
Evoluzione stellare



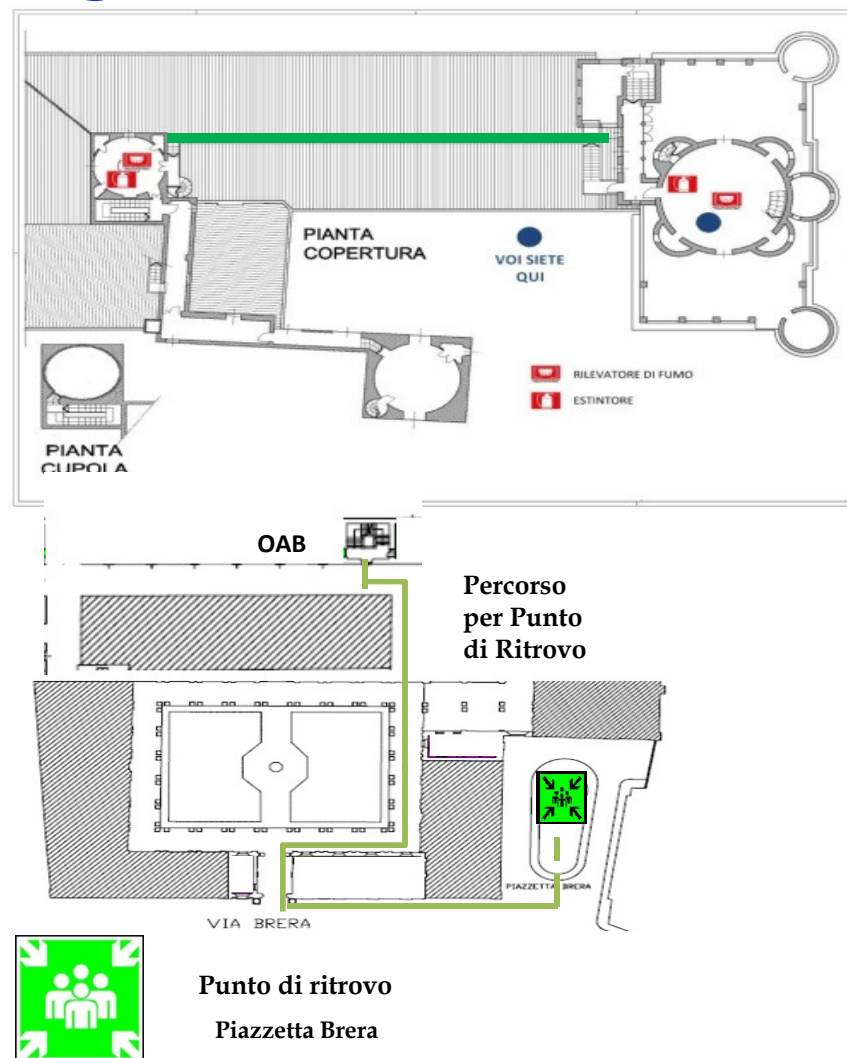
Ilaria Arosio

Ilaria.arosio@brera.inaf.it

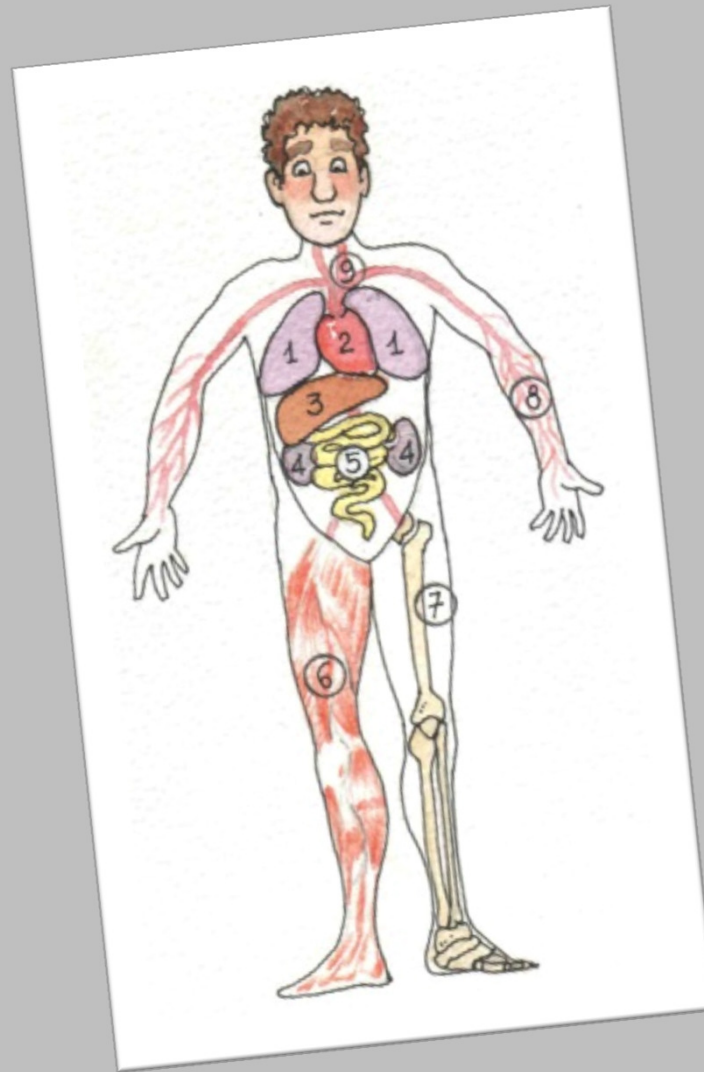
INAF-Osservatorio Astronomico di Brera



Uscite di Sicurezza vie di fuga in caso di Emergenza



Ci sono due modi per studiare una specie:

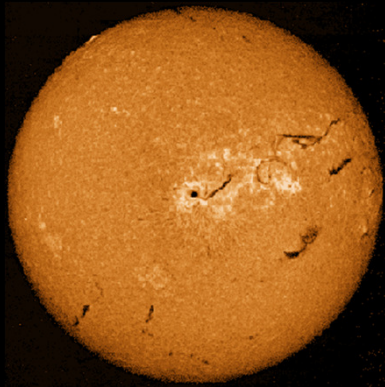


San Siro , Bruce Springsteen — Giungo 2013



Il Sole a occhio nudo

È luminoso

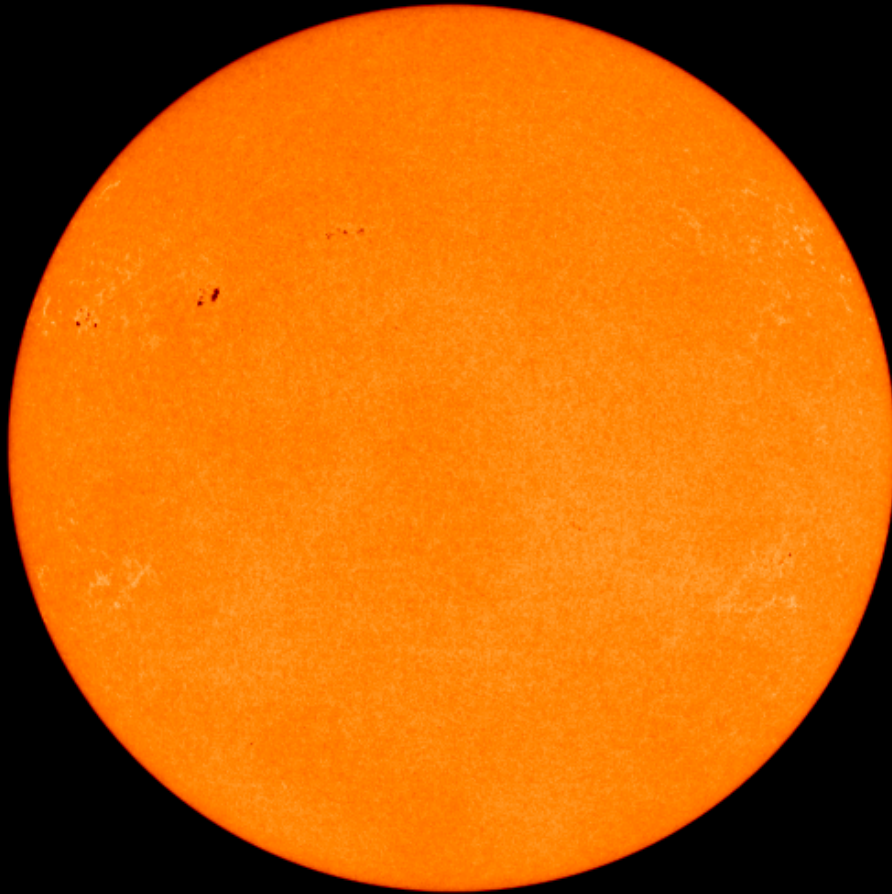


È colorato

È sferico



La forma del Sole
(o delle stelle)



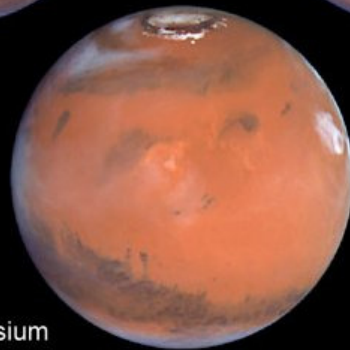
La forma del Sole



Acidalia



Tharsis



Elysium



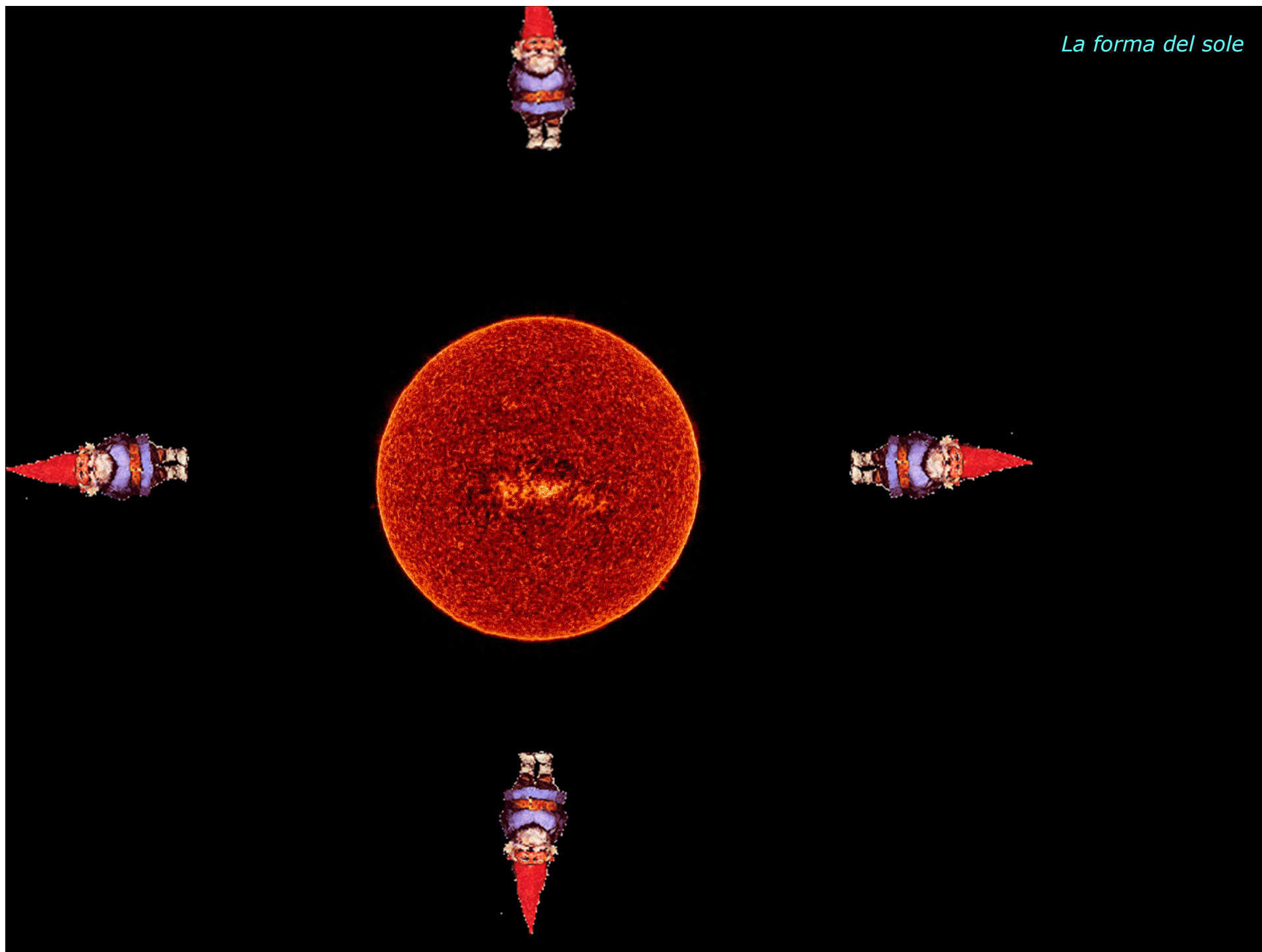
Syrtis Major



La legge di gravitazione



La forma del sole



Che cos'è una stella?

*Dizionario della lingua italiana
(Devoto -Oli)*

Stella:

corpo celeste costituito da gas caldo
tenuto insieme dalla gravità e che
emette luce propria;

il Sole è una tipica stella

Perché?
E perché tipica?

tenuto insieme

gas caldo

emette
luce propria

gravità

Le stelle e il Sole

notte

giorno

piccole

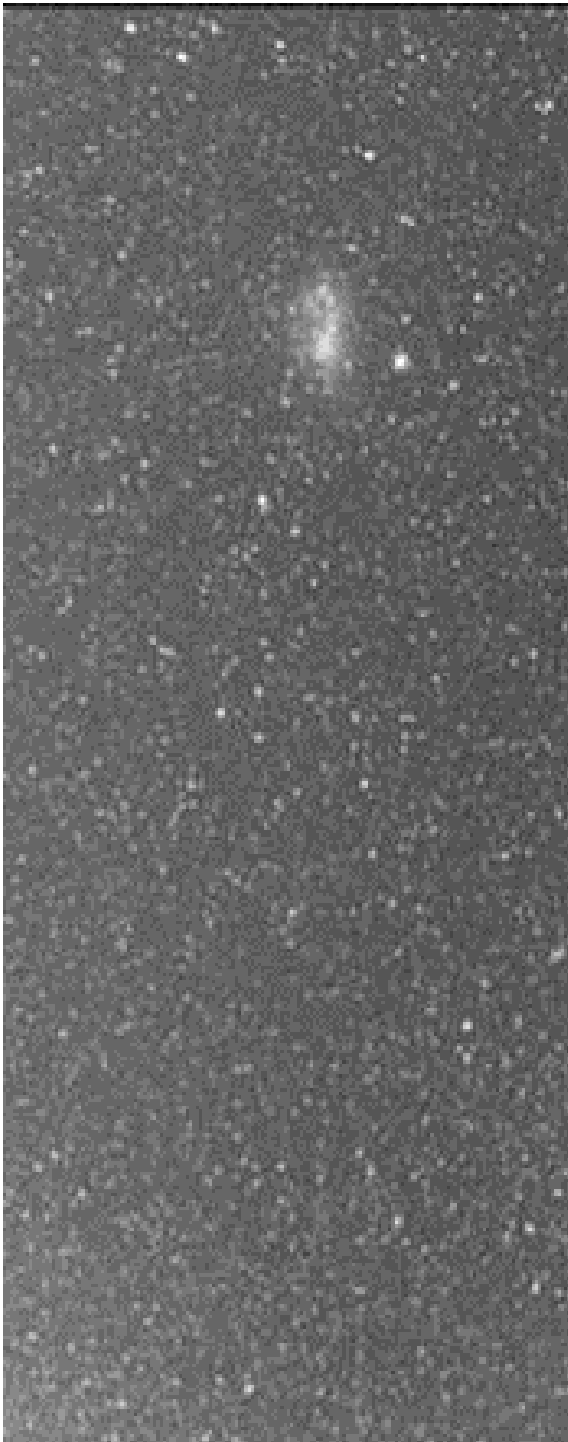
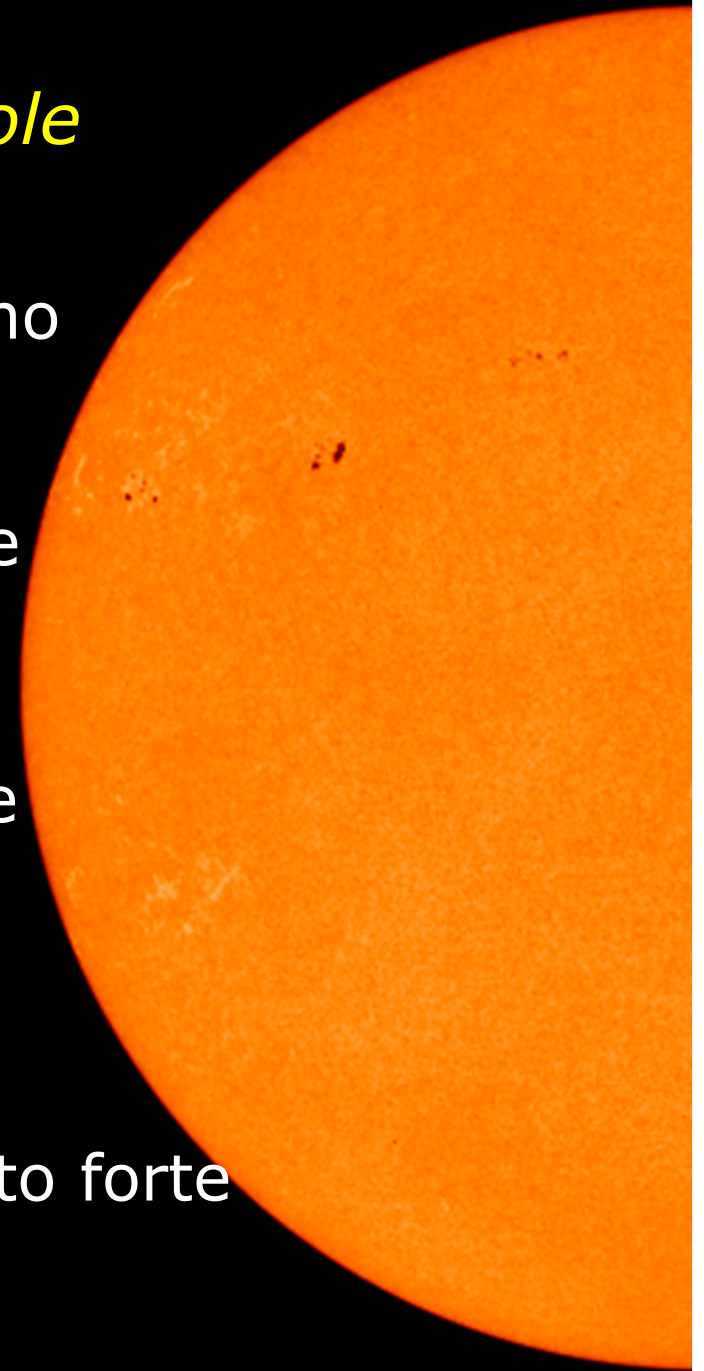
grande

bianche

arancione

luci deboli

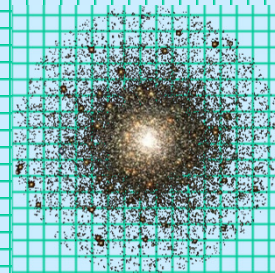
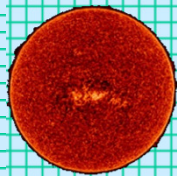
luce molto forte



Le stelle e il Sole

Stelle e sole hanno la stessa natura.

Il sole è una stella; è solo un esempio di una categoria più ampia.



luci deboli

luce molto forte



Terra, Milano, 130m

FOV 130°

103 FPS

2015-12-15 22:30:14

Rigel (β Ori) - HIP 24436

Magnitudine: **0.15** (estinto a: **0.51**, B-V: **-0.03**)
Magnitudine assoluta: -6.72
RA/DE (J2000): 5h14m32.3s/-8°12'05.9"
RA/DE (della data): 5h15m18s/-8°11'04"
Angolo orario/DE: 22h28m34s/-8°11'04" (geometrico)
Angolo orario/DE: 22h28m35s/-8°09'56" (apparente)
Az/Alt: +152°51'37"/+32°32'53" (geometrico)
Az/Alt: +152°51'37"/+32°34'04" (apparente)
Classe spettrale: B8Ia
Distanza: 772.88 anni luce
Parallasse: 0.00422"



Sirio (α CMa) - HIP 32349

Magnitudine: -1.45 (estinto a: -0.74. B-V: 0.00)
Magnitudine assoluta: 1.44
RA/DE (J2000): 6h45m8.6s/-16°43'07.7"
RA/DE (della data): 6h45m51s/-16°44'11"
Angolo orario/DE: 20h58m1s/-16°44'11" (geometrico)
Angolo orario/DE: 20h58m8s/-16°41'17" (apparente)
Az/Alt: +134°53'44"/+15°23'12" (geometrico)
Az/Alt: +134°53'44"/+15°26'36" (apparente)
Classe spettrale: A0m...
Distanza: 8.60 anni luce
Parallasse: 0.37921"



o Tau - HIP 15900

Magnitudine: 3.60 (estinto a: 3.83. B-V: 0.89)

Magnitudine assoluta: -0.46

RA/DE (J2000): 3h24m48.7s/+9°01'42.7"

RA/DE (della data): 3h25m40s/+9°05'02"

Angolo orario/DE: 0h18m12s/+9°05'02" (geometrico)

Angolo orario/DE: 0h18m12s/+9°05'20" (apparente)

Az/Alt: +187°32'45"/+53°23'38" (geometrico)

Az/Alt: +187°32'45"/+53°23'56" (apparente)

Classe spettrale: G8III

Distanza: 211.52 anni luce

Parallasse: 0.01542"



Magnitudine



I°



II°



III°



IV°



V°



VI°





I°



II°



III°



IV°



V°



VI°

Magnitudine

$$m = -2,5 \log F$$

Flusso:

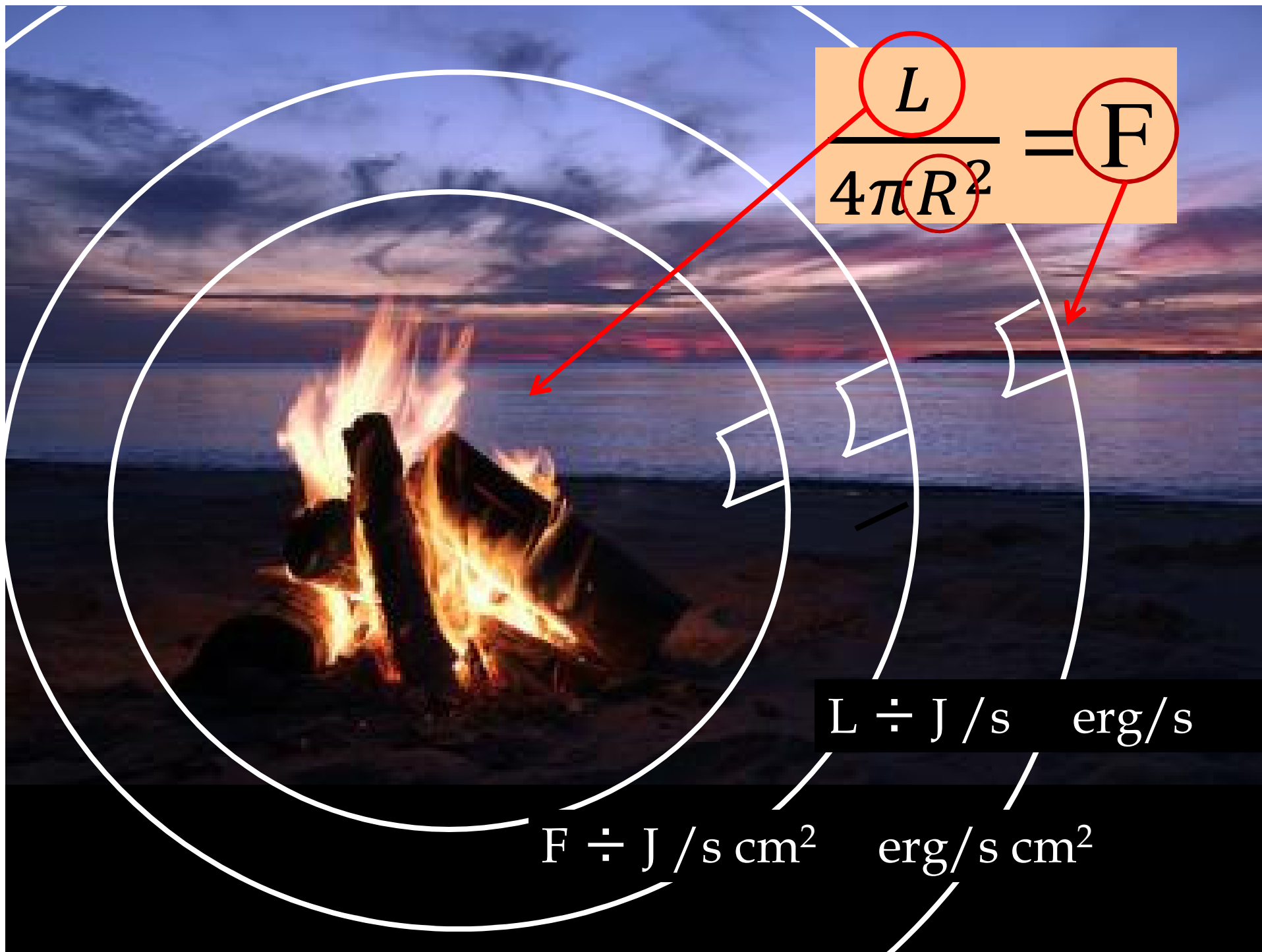
quantità di energia ricevuta in
un determinato tempo
su una determinata superficie



$$\frac{L}{4\pi R^2} = F$$

$$L \div \text{J / s} \quad \text{erg/s}$$

$$F \div \text{J / s cm}^2 \quad \text{erg/s cm}^2$$



Nome	Magnitudine <u>apparente</u>
Alcyone	2,86
Atlante	3,62
Elettra	3,70
Maia	3,86
Merope	4,17
Taigete	4,29
Pleione	5,09 (<u>var.</u>)
Celeno	5,44
Asterope	5,64;6,41
–	5,65



Chi è più grande?



Magnitudine Assoluta

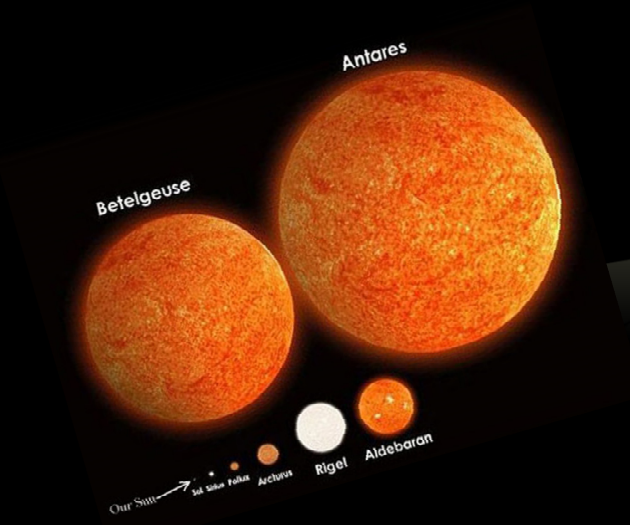


Mettiamo tutto alla stessa distanza:
alla distanza a cui sta il Sole

1 Unità Astronomica



Magnitudine Assoluta



$$M = -2,5 \log F_{UA}$$

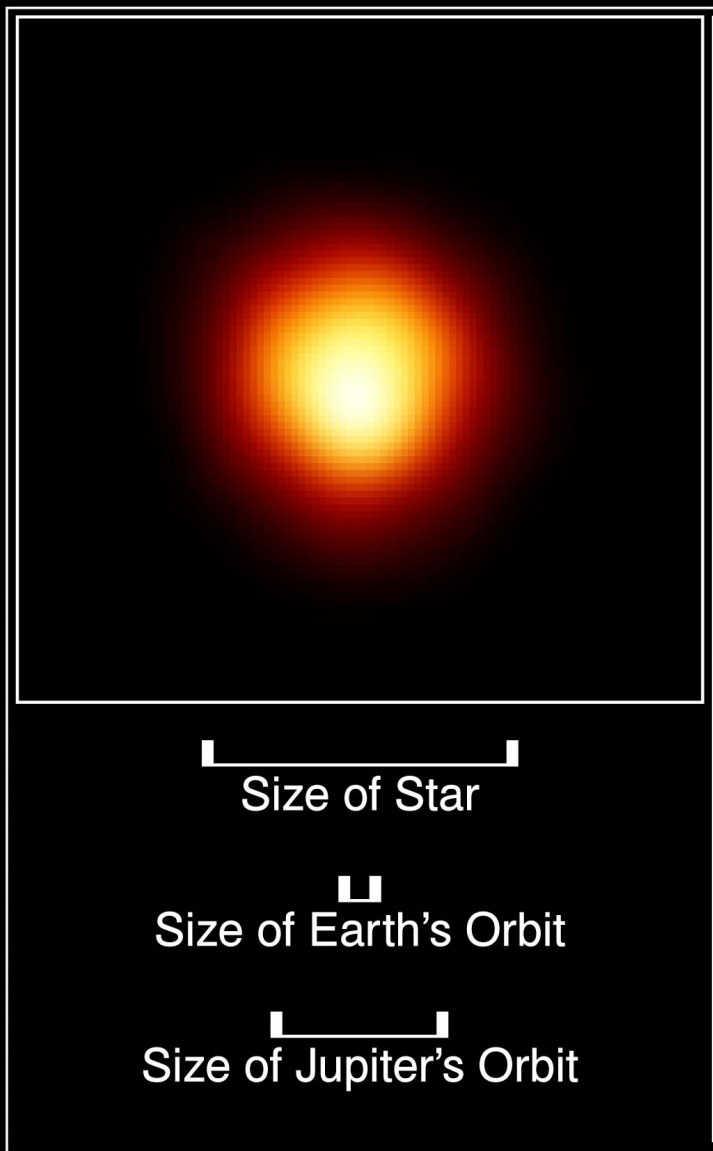
Flusso:

quantità di energia ricevuta in
un determinato tempo
su una determinata superficie
se la stella fosse a 1UA

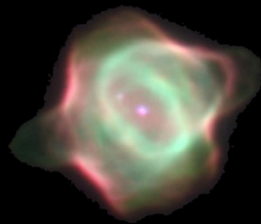
Mettiamo tutto alla stessa distanza:
alla distanza a cui sta il Sole



A C rro Tololo Sky



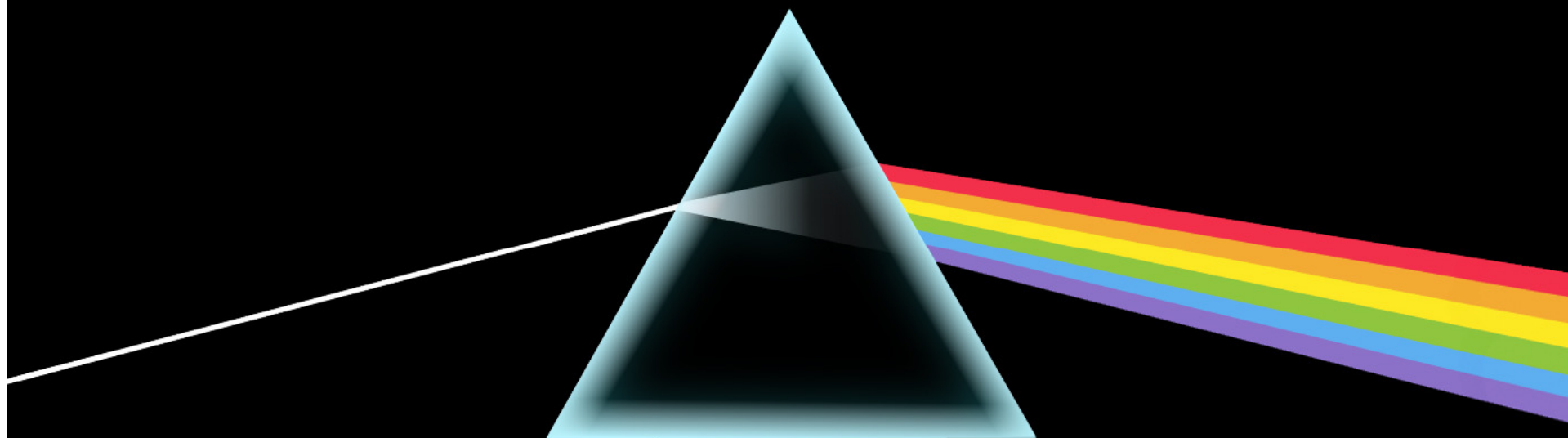
Il colore del Sole (delle stelle)



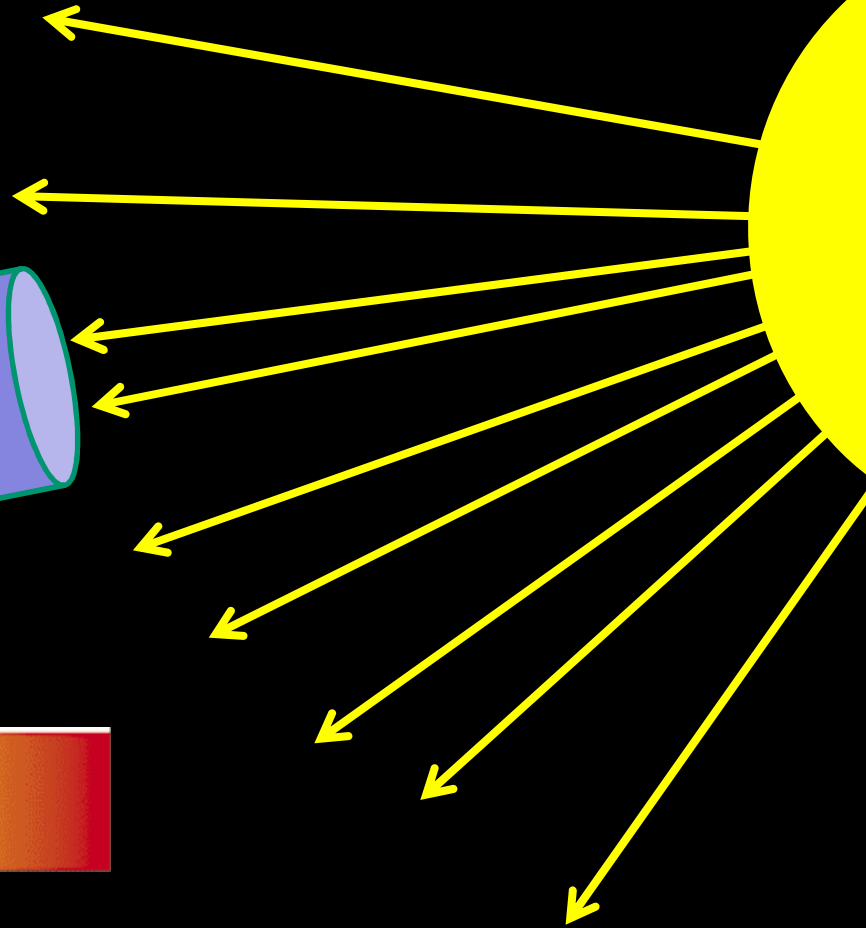
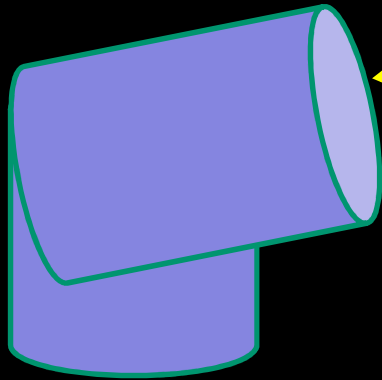




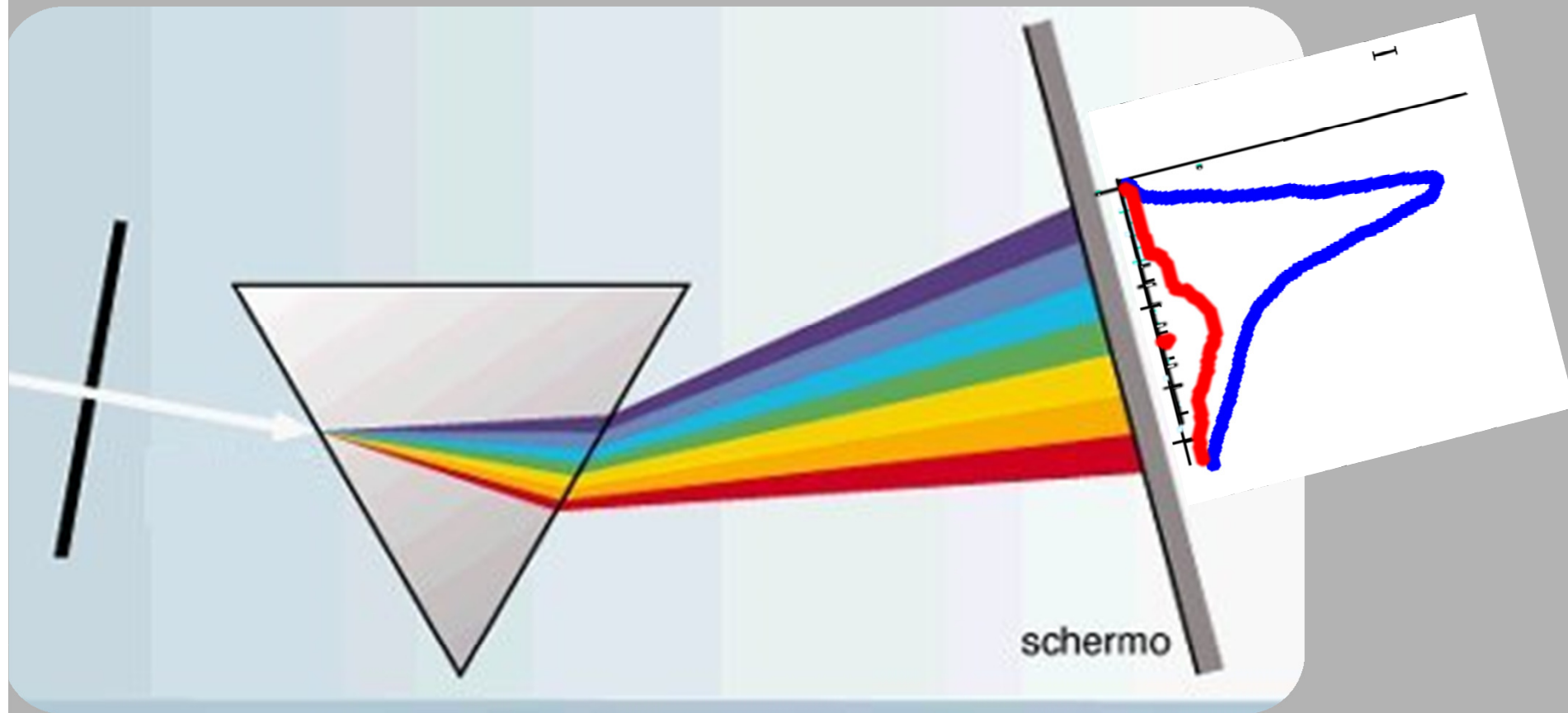
PINK
FLOYD
THE
DARK SIDE
OF THE
MOON



SPETTROSCOPIO



GAS CALDO E DENSO

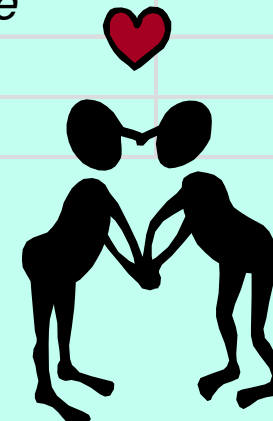


schermo

schermo

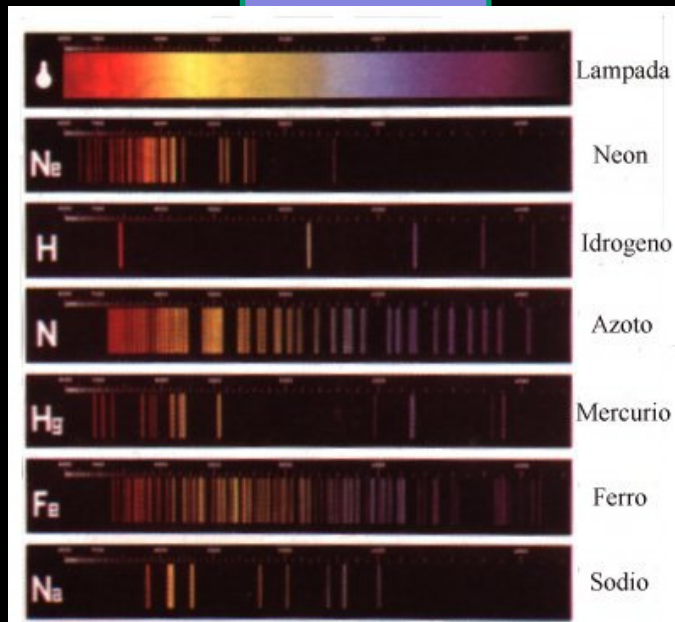
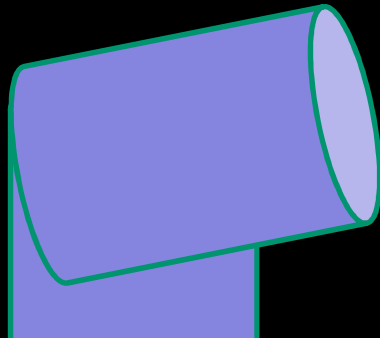
La classificazione delle stelle

Colore	categoria	<i>filastrocca</i>	
blu intenso	O	<i>oh</i>	
blu	B	<i>be</i>	
blu-bianco	A	<i>a</i>	
bianco	F	<i>fine</i>	
giallo	G	<i>girl</i>	
arancione	K	<i>kiss</i>	
rosso arancio	M	<i>me</i>	
rosso	R,N,S		



SPETTROSCOPIO

LAMPADA
A GAS RAREFATTO

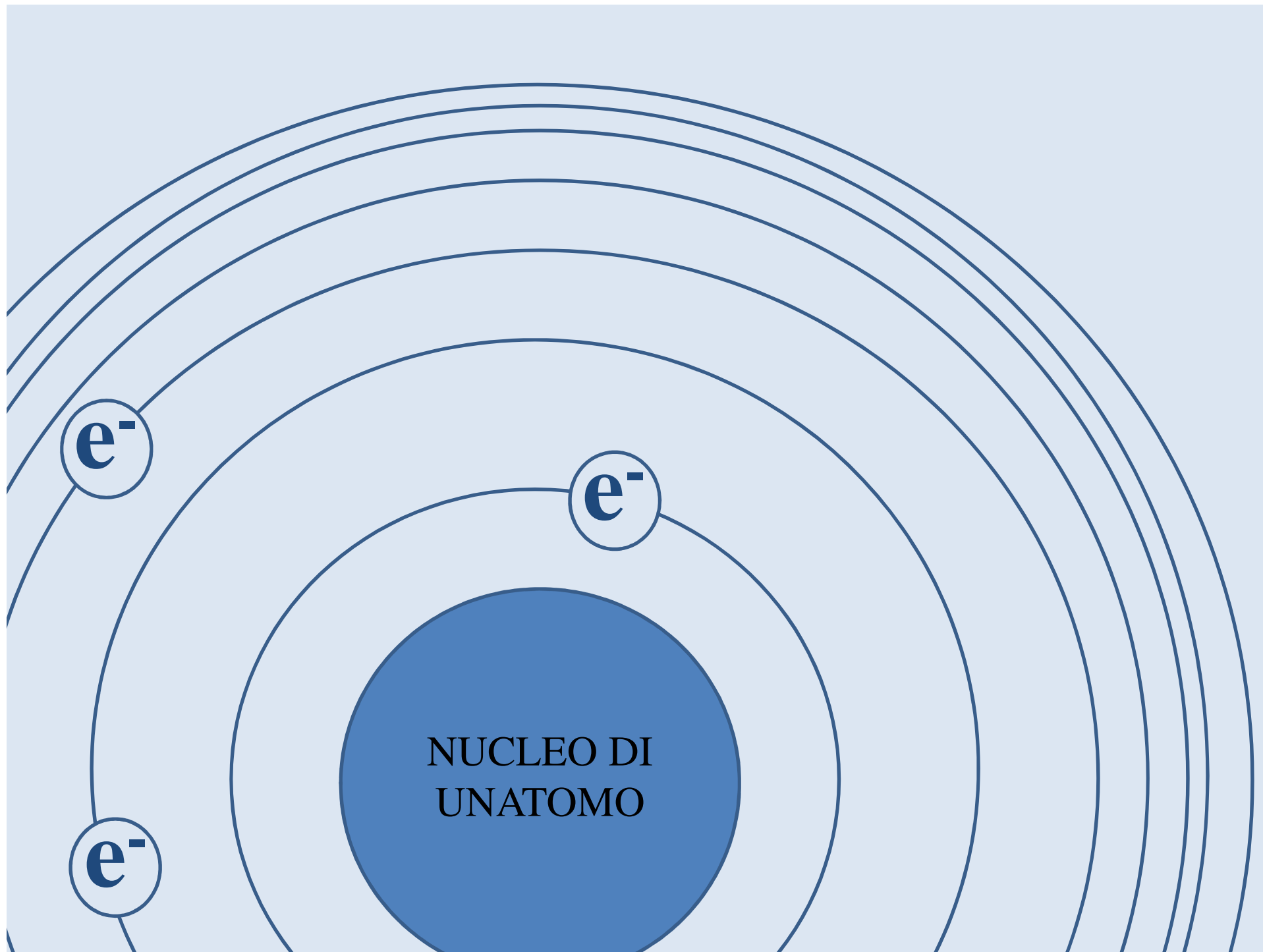


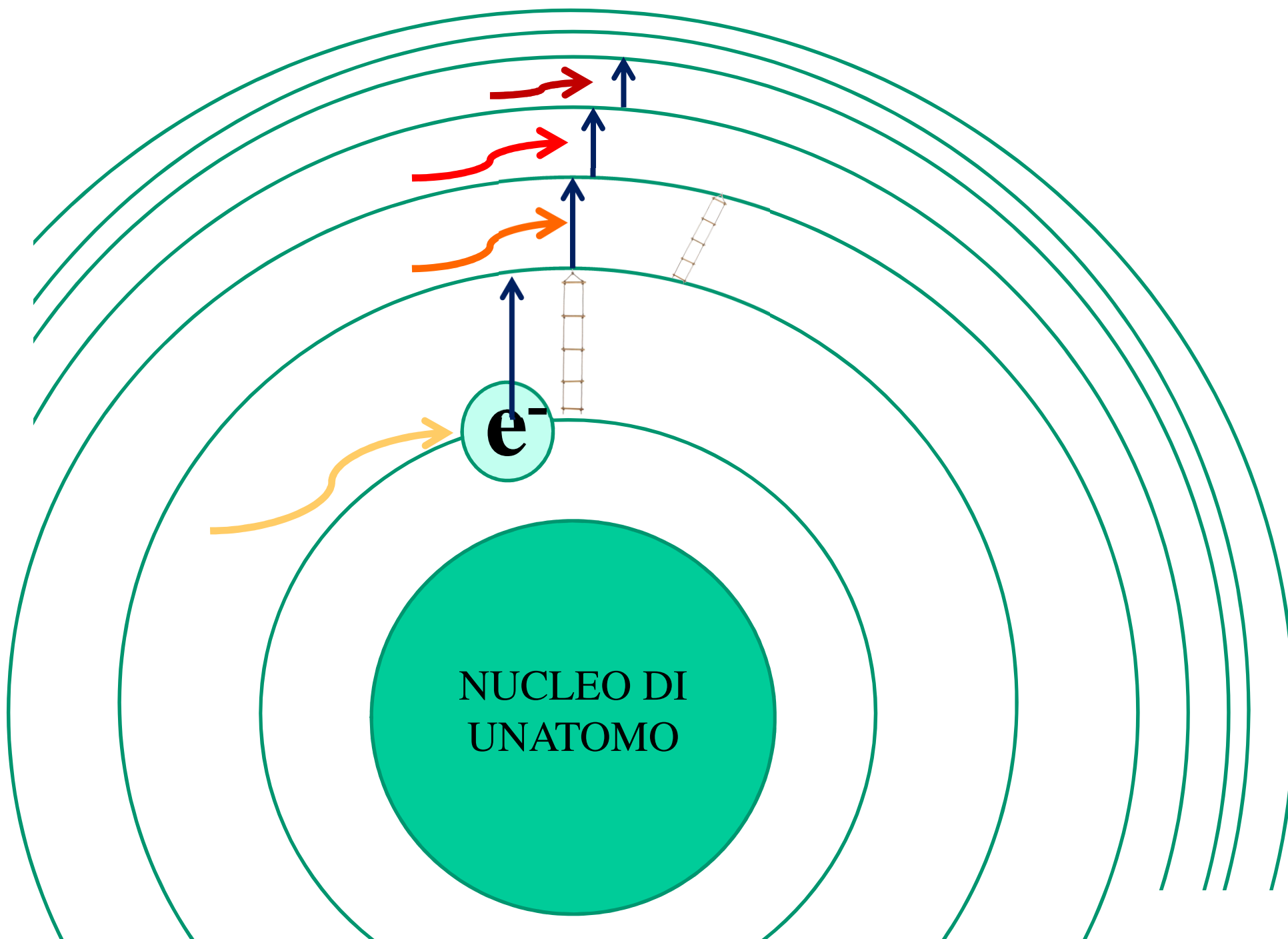
Nel 1859 Robert Wilhelm Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff misero a punto il primo spettroscopio, uno strumento estremamente utile nella ricerca e nel riconoscimento di nuovi elementi.

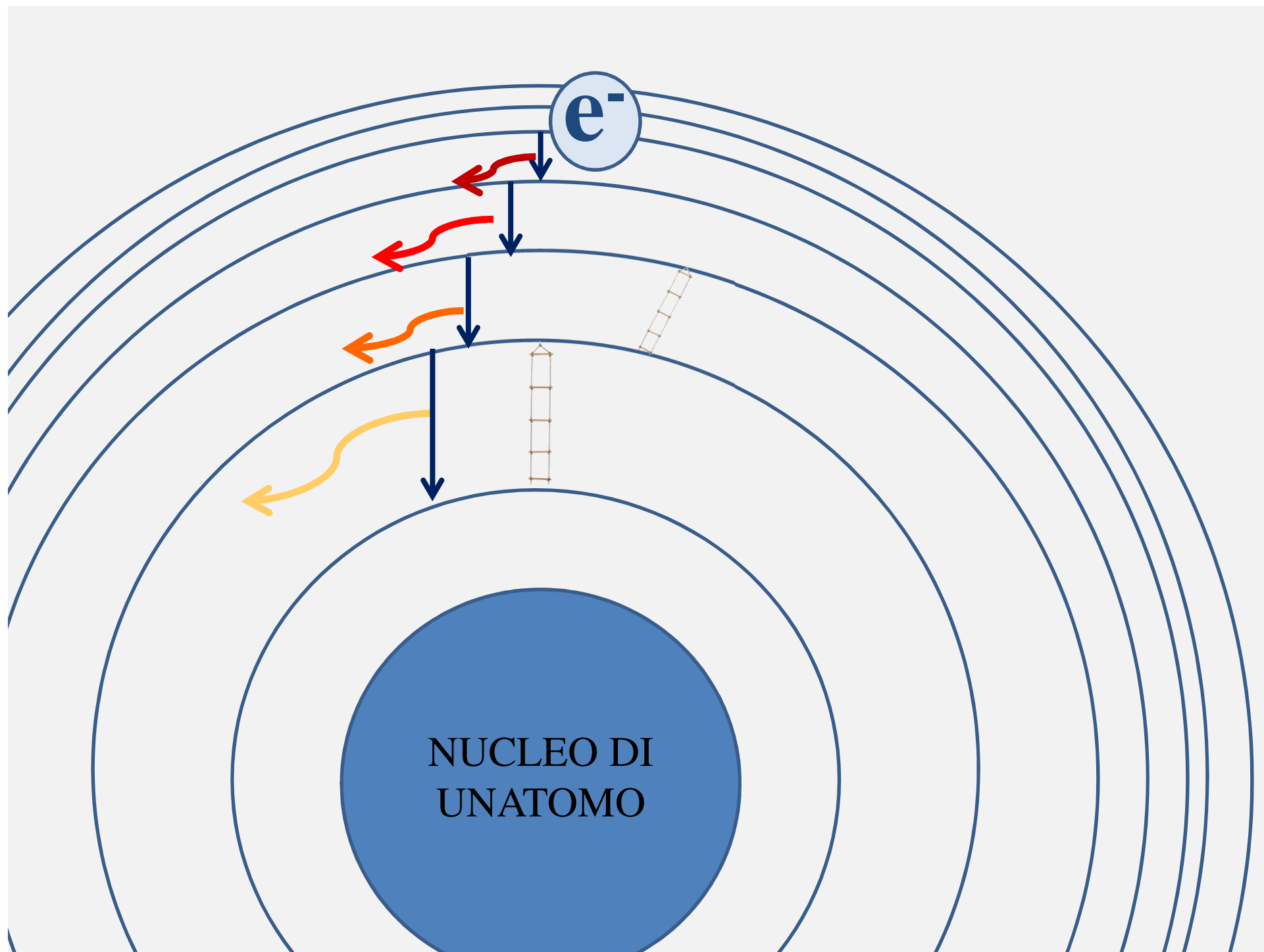
Nel 1860 gli stessi Bunsen e Kirchhoff identificarono il cesio e il rubidio dalle linee di emissione dei loro spettri atomici. Gli elementi presero il nome dal colore delle linee, rispettivamente celesti e rosse.

Il tallio e l'indio, il gallio e i gas nobili vennero riconosciuti grazie alle linee di emissione.

Per esempio l'elio fu rilevato nella corona solare nel 1868 prima ancora che sulla Terra.

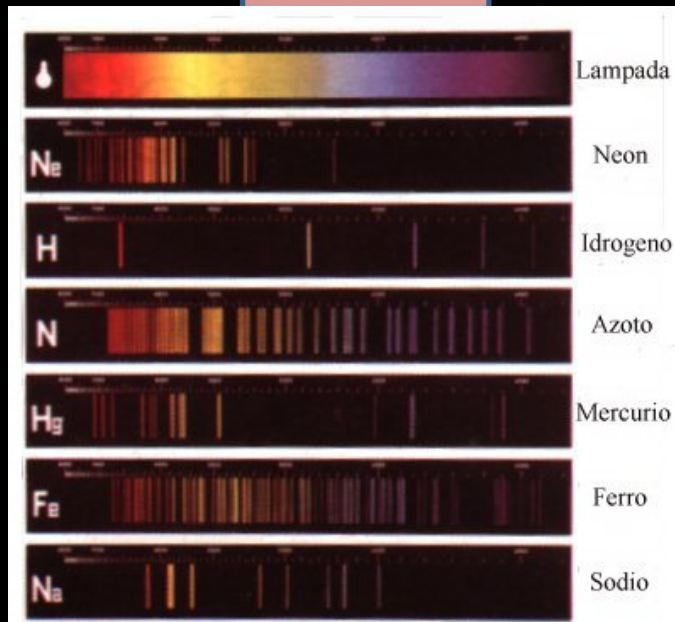
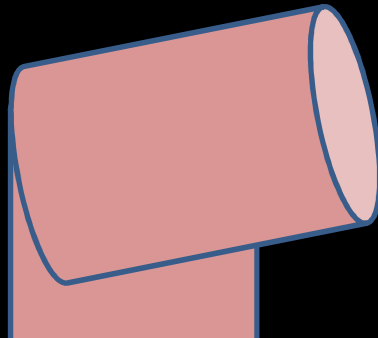






SPETTROSCOPIO

LAMPADA
A GAS RAREFATTO



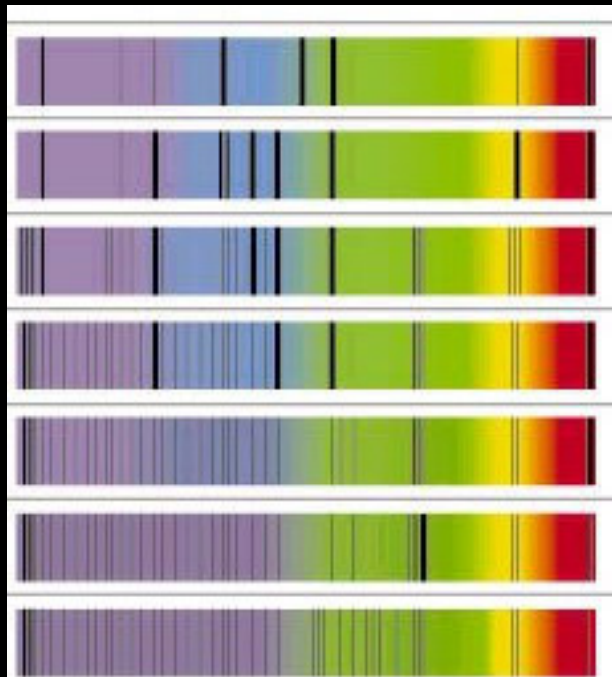
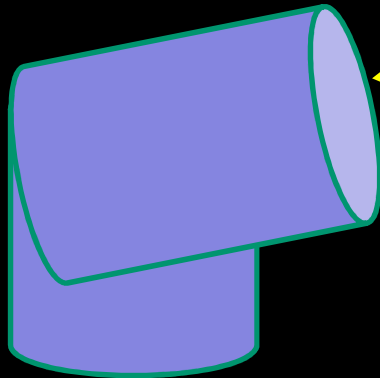
Nel 1859 Robert Wilhelm Bunsen e Gustav Robert Kirchhoff misero a punto il primo spettroscopio, uno strumento estremamente utile nella ricerca e nel riconoscimento di nuovi elementi.

Nel 1860 gli stessi Bunsen e Kirchhoff identificarono il cesio e il rubidio dalle linee di emissione dei loro spettri atomici. Gli elementi presero il nome dal colore delle linee, rispettivamente celesti e rosse.

Il tallio e l'indio, il gallio e i gas nobili vennero riconosciuti grazie alle linee di emissione.

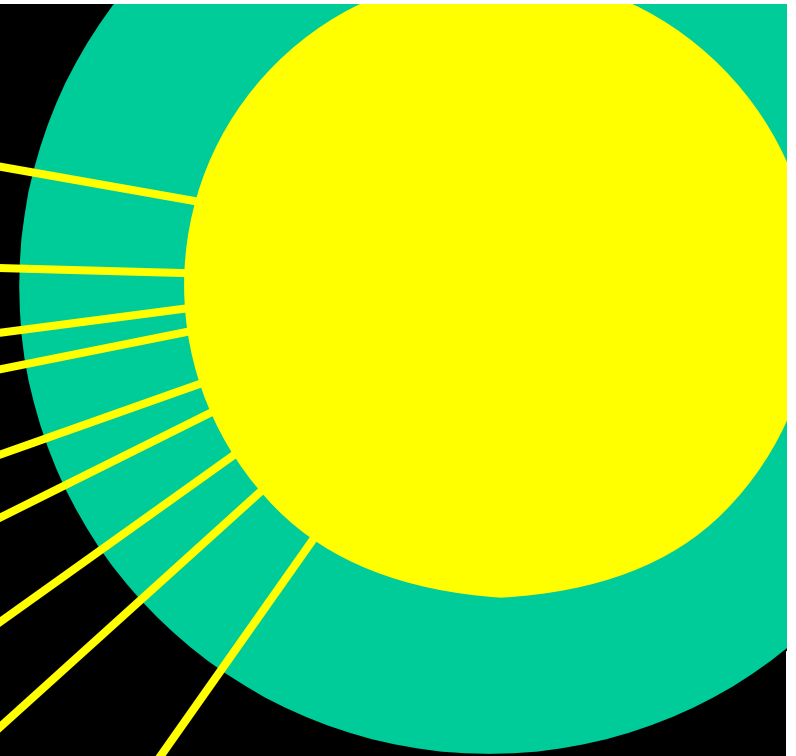
Per esempio l'elio fu rilevato nella corona solare nel 1868 prima ancora che sulla Terra.

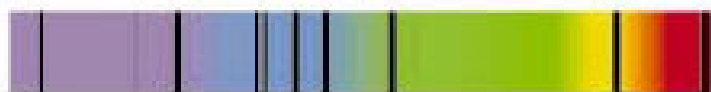
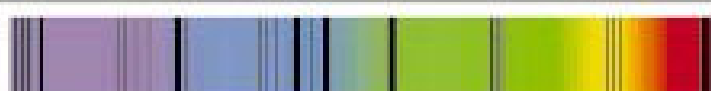
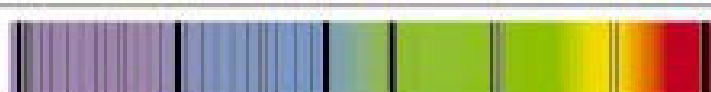
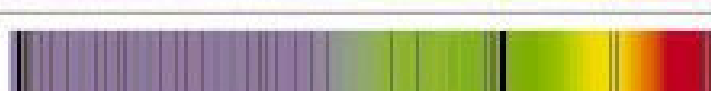
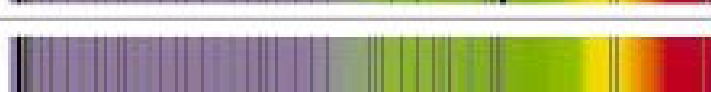
SPETTROSCOPIO

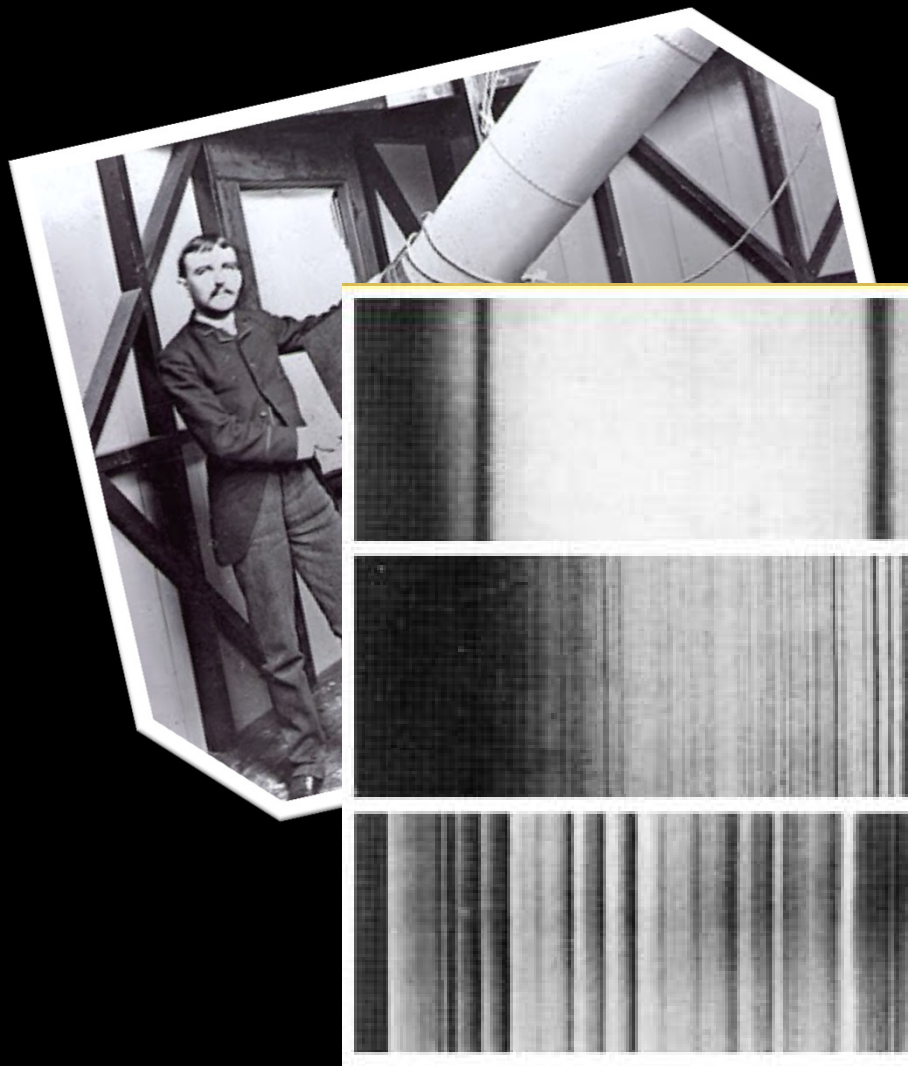


*GAS
RAREFATTO
FREDDO*

GAS CALDO E DENSO



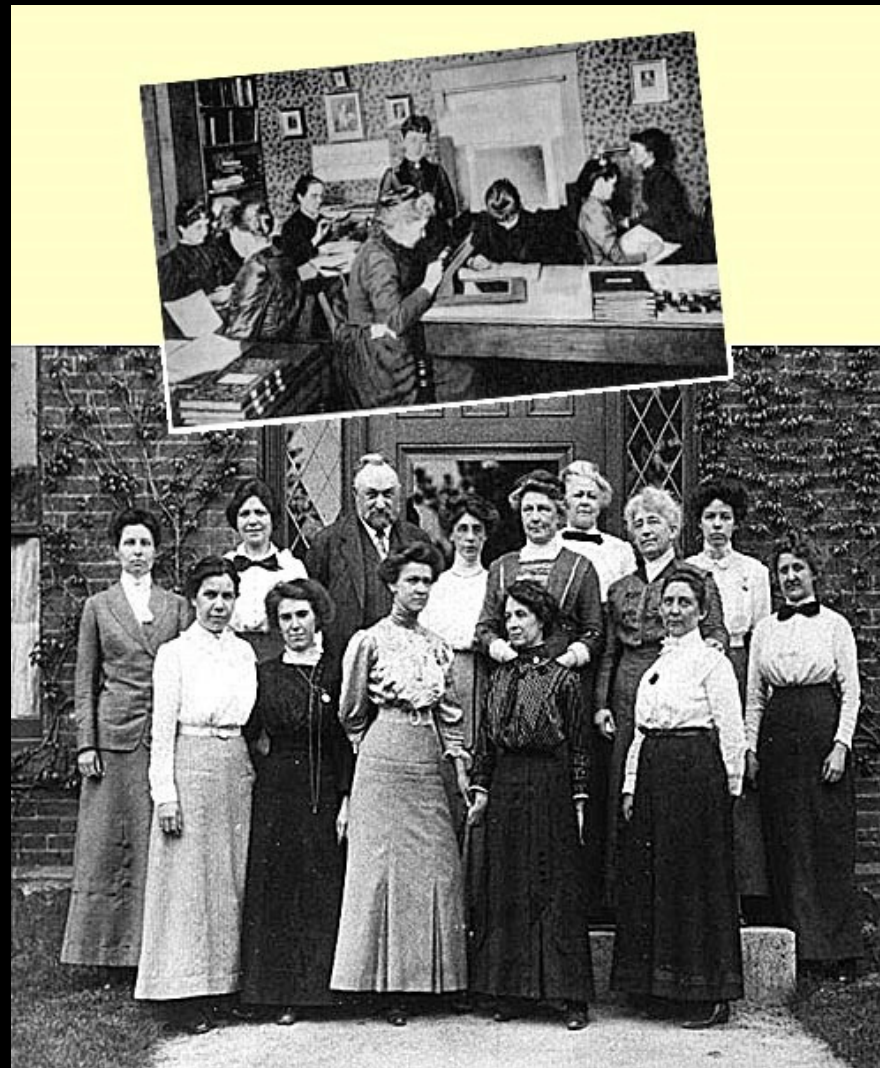
spettro tipico	temperatura alla superficie delle stelle	atomi produttori le principali righe spettrali	grandezza assoluta	colore della radiazione principale	stelle di questo tipo
	O da 35.000 a 40.000 °C	elio ionizzato idrogeno neutro elio ordinario	-6,5		λ di Cefeo
	B da 11.000 a 35.000 °C	elio neutro silicio, magnesio ossigeno, azoto idrogeno neutro	-5 2		β di Orione Altair
	A da 7.500 a 11.000 °C	metalli (specialmente calcio) che danno righe deboli, idrogeno (righe molto forti)	1,3 -0,5		Sirio Vega
	F da 6.000 a 7.500 °C	metalli (specialmente calcio) che danno righe forti idrogeno (righe deboli)	3		Procione
	G da 5.100 a 6.000 °C	potassio (righe forti) metalli neutri (righe forti) idrogeno (righe molto deboli)	5 -0,5		Sole Capella
	K da 3.500 a 5.100 °C	metalli neutri (righe forti) idrogeno (righe molto deboli)	0 8		Arturo 61 del Cigno
	M da 2.000 a 3.500 °C	molecole di ossido di titanio (righe forti)	-5 -4 12 o 13		Betelgeuse Antares e molte altre



Henry Draper Catalogue



...per ordinare, dividere, catalogare e classificare il materiale



Annie Cannon Jump (1863 – 1941)

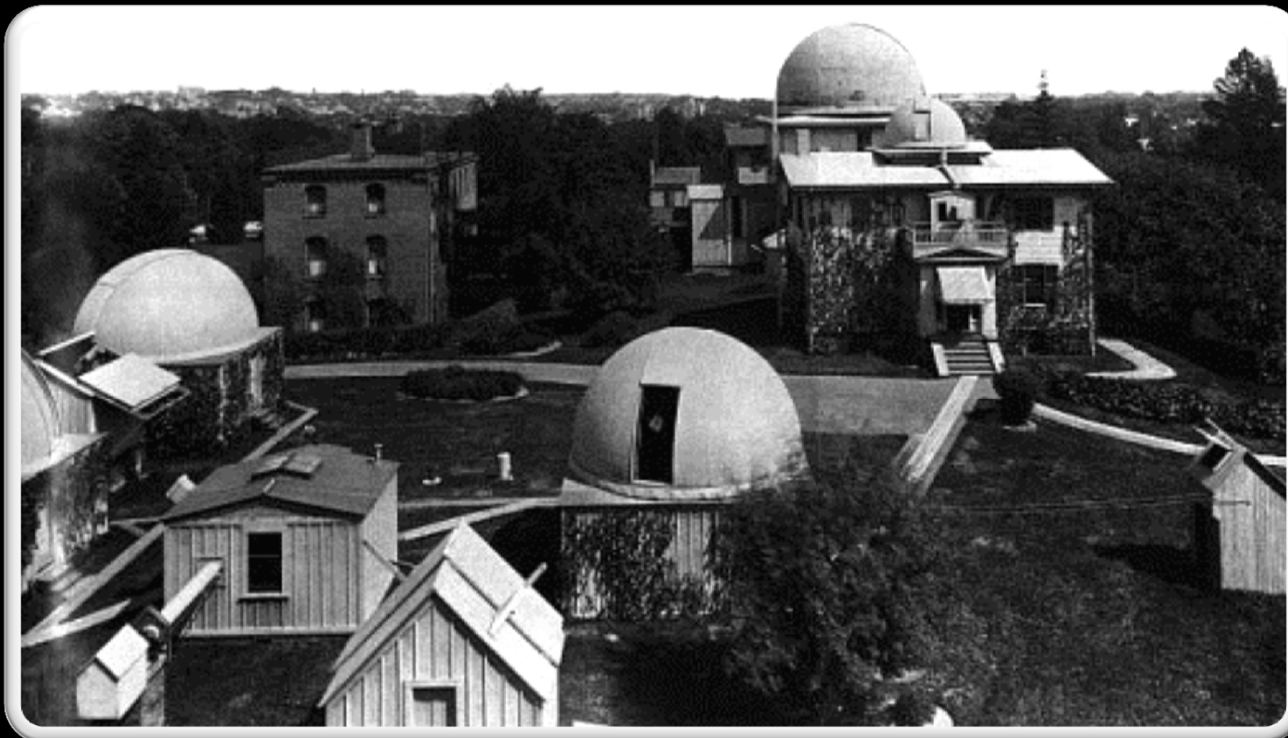


Madre appassionata di astronomia.
Wellesley College nel Massachusetts
Diventa assistente della professoressa di fisica
e si dedica alla spettroscopia.

1896

Annie Cannon è assunta all'Osservatorio di Harvard come assistente del Prof. Pickering

Il suo compito è quello di analizzare gli spettri delle stelle e compilare il Catalogo Draper con dati astrometrici e spettroscopici

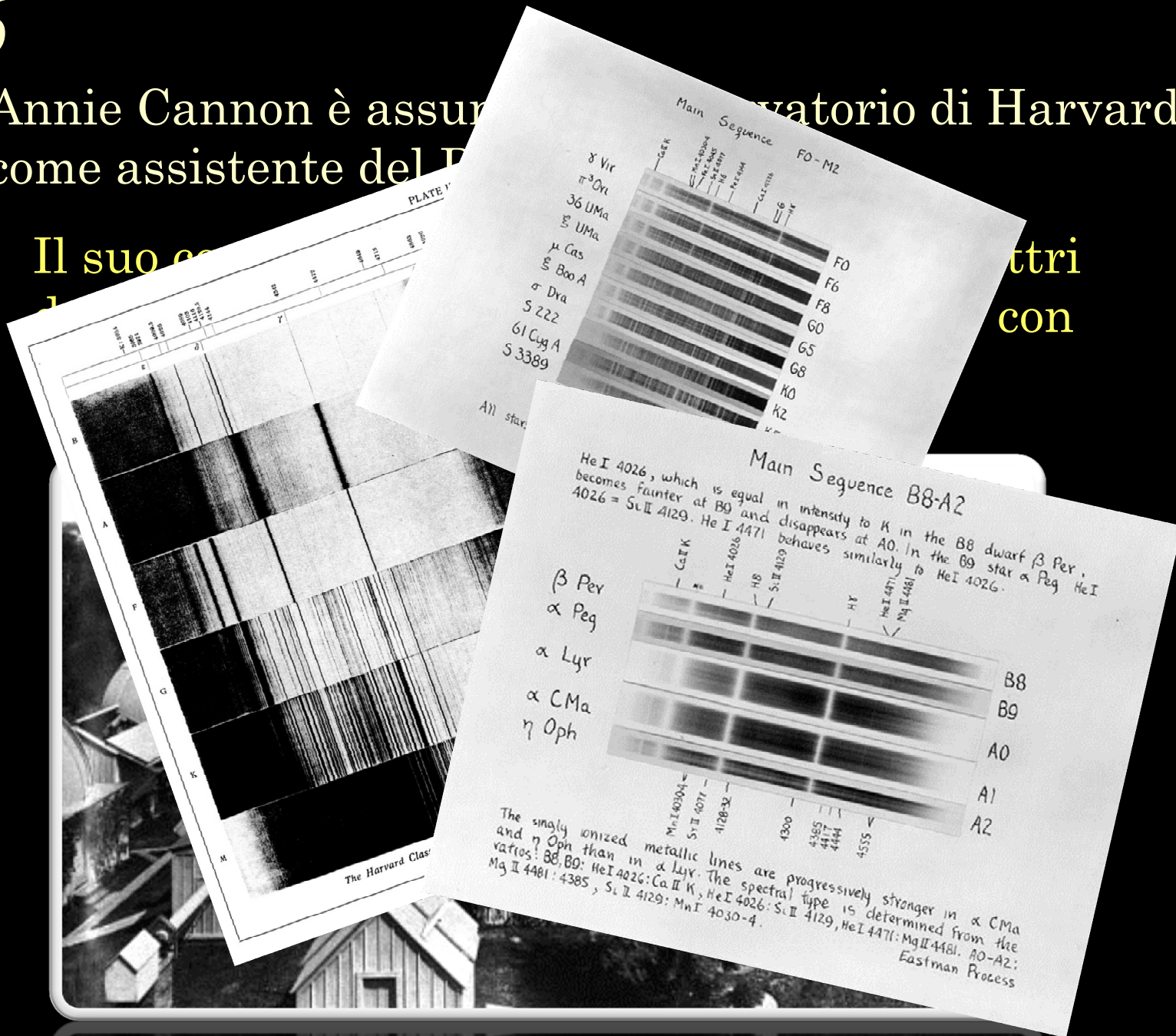


1896

Annie Cannon è assunta al Osservatorio di Harvard
come assistente del Prof. William Pickering.

Il suo esperimento

tri
con



1896

Annie Cannon è assunta all'Osservatorio di Harvard come assistente del Prof. Pickering

Il suo compito è quello di analizzare gli spettri delle stelle e compilare il Catalogo Draper con dati astrometrici e spettroscopici

1896

Viene proiettato per la prima volta “L'arrivo di un treno alla stazione di La Ciotat” dei fratelli Lumière. La leggenda vuole che gli spettatori siano fuggiti dal cinema per paura di essere travolti dal treno



G. Marconi realizza la prima trasmissione di segnali radio a 3 km di distanza.

Ramsay scopre l'elio

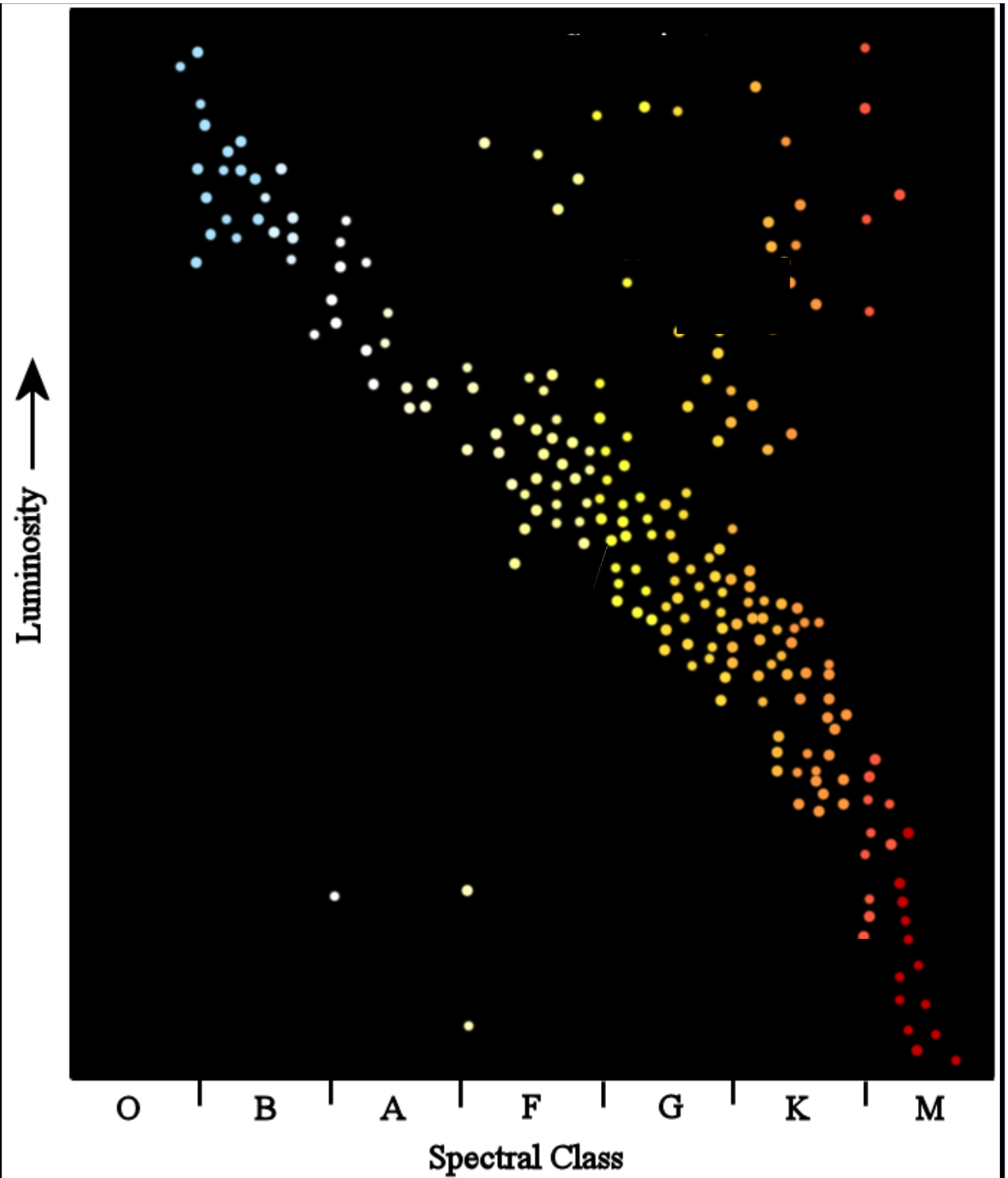
Roetgen scopre i raggi x

1910

Ejnar Hertzsprung e
Henry Norris Russell

idearono

indipendentemente il
grafico che da loro prende
il nome



1924

THE
INTERNAL CONSTITUTION
OF THE STARS

BY
A. S. EDDINGTON
M.A., LL.D., D.Sc., F.R.S.
Plasma Professor of Astronomy in the
University of Cambridge

BRITISH LIBRARY
LENDING DIVISION
27 JUN 1978

Wq4'0514

1926

E
T

CAMBRIDGE
AT THE UNIVERSITY
1926



POLYTROPIC GAS SPHERES

54. We shall consider the equilibrium of an isolated mass of gas held together by its own gravitational attraction. In the absence of rotation or other disturbing causes the mass will settle down into a distribution with spherical symmetry. In view of the intended application of the results, such a gas sphere will be referred to as a "star."

At any point in a fluid in equilibrium there is a hydrostatic pressure P , the same in all directions. If any closed surface is drawn in the fluid the reaction of the fluid on the surface consists of a force P per unit area along the inward normal; and for equilibrium these surface forces must balance the body forces such as gravitation acting on the interior.

Let ρ be the density at any point and g the acceleration of gravity. Since there is spherical symmetry P , ρ and g will depend only on the distance r from the centre.

The gravitational force at r is due entirely to the mass M_r interior to r , since the symmetrical shell outside r exerts no resultant attraction in its interior. Hence

$$g = \frac{GM_r}{r^2} \dots\dots\dots (54-1),$$

where G is the constant of gravitation $6.66 \cdot 10^{-8}$ in c.g.s. units. Also if ϕ is the gravitational potential, we have by definition

$$g = - \frac{d\phi}{dr} \dots\dots\dots (54-2),$$

expressing the increase of pressure as we descend in a column of fluid. From (54-2) and (54-3)

$$dP = - \rho d\phi \dots\dots\dots (54-3),$$

A second condition is given by Poisson's equation in the theory of attractions

$$\nabla^2 \phi = - 4\pi G \rho \dots\dots\dots (54-4),$$

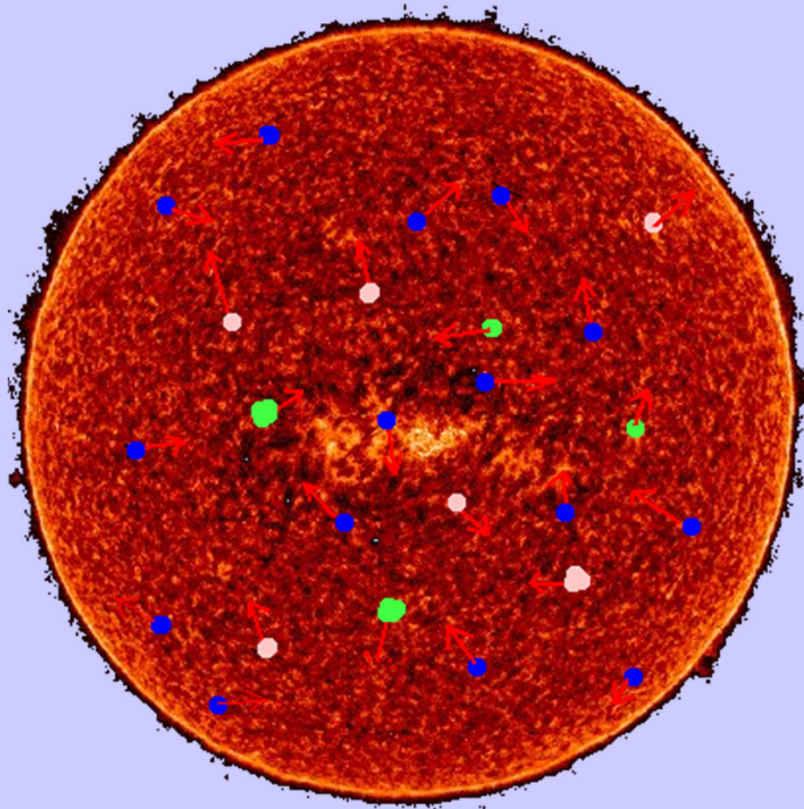
which for spherical symmetry takes the form

$$\frac{d^2 \phi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\phi}{dr} = - 4\pi G \rho \dots\dots\dots (54-5),$$

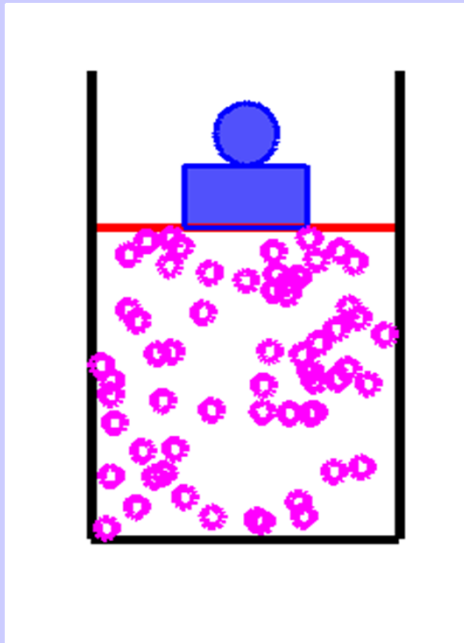
55. We have now two relations (54-4) and (54-6) between the three unknown functions of r , namely, P , ρ , ϕ . For further progress a third



Ogni stella è una sfera di gas...



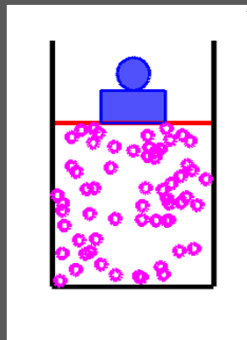
in cui le particelle
si muovono in
modo frenetico



la forza di pressione e la forza peso agiscono con versi opposti

se la forza di pressione esercitata dalle particelle è sufficiente a sostenere il peso si ha equilibrio delle forze.

Se salgo su una bici, esercito una
forza verso il basso

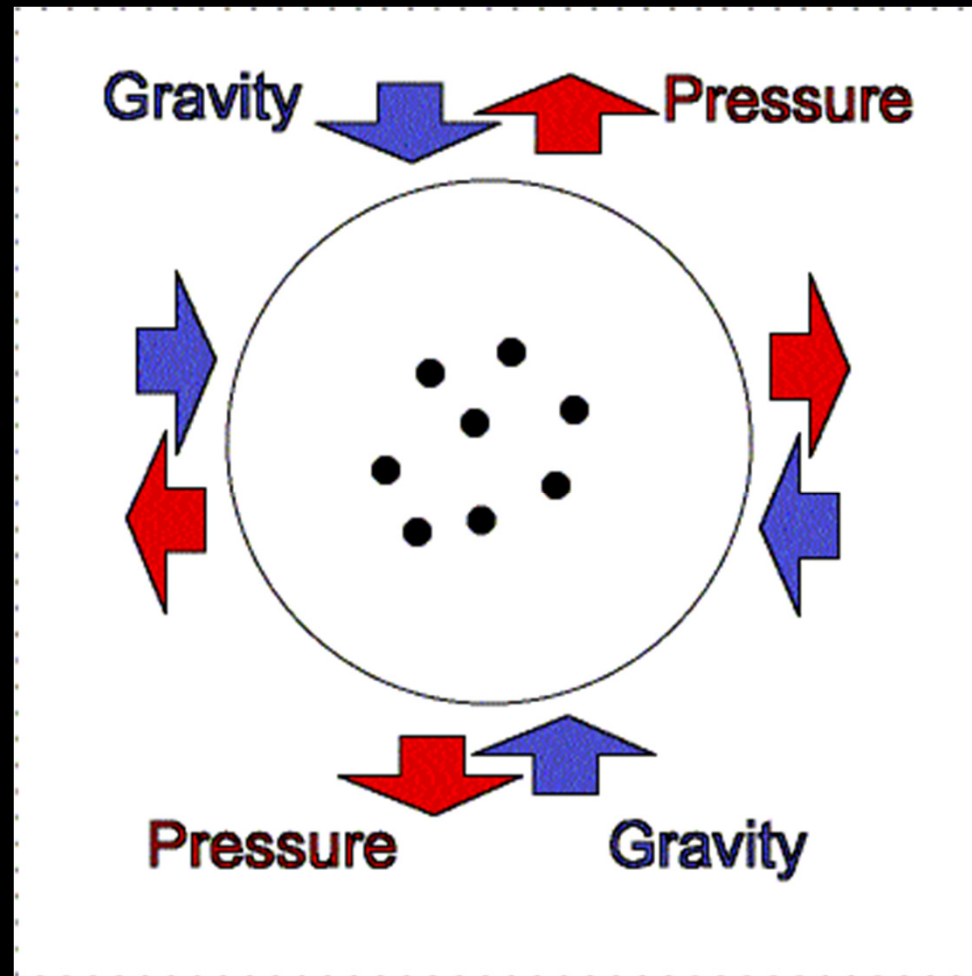


la forza di pressione e
la forza peso agiscono
con versi opposti

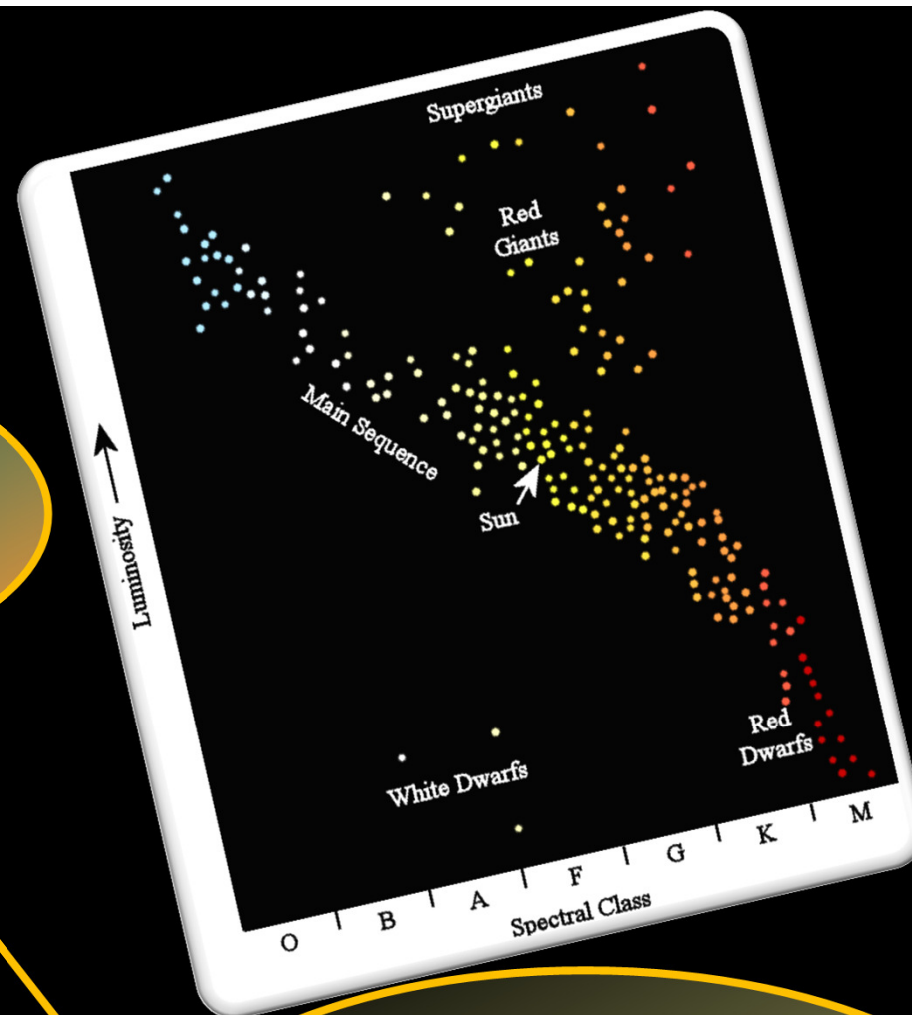
se la forza di pressione
esercitata dalle
particelle è sufficiente a
sostenere il peso si ha
equilibrio delle forze.

Ma se gonfio la ruota...

Nelle stelle si chiama equilibrio idrostatico



Luminosità



Classe spettrale

colore

Cecilia Payne - Gaposchkin (1900 - 1980)



ARCHIVIO | METEO | RADIO | TUTTOAFFARI | LAVORO | LEGALI | PUBBLICITÀ | SCRIVI ALLA REDAZIONE | SERVIZI |

LA STAMPA.it SCIENZA

ATTUALITÀ | OPINIONI | SPORT | TORINO | CULTURA | SPETTACOLI | TEMPO LIBERO | MULTIMEDIA | APPROFONDIMENTI | PIÙ LETTI E PIÙ VISTI | ABBONAMENTI

POLITICA | ESTERI | CRONACHE | COSTUME | ECONOMIA | TECNOLOGIA | SCIENZA | AMBIENTE | SCUOLA | MOTORI | LAZAMPÀ | I TUOI DIRITTI

IL CIELO

28/02/2011 -

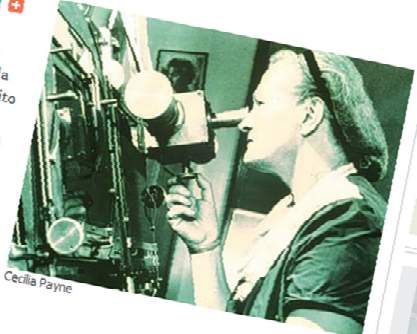
Cecilia, duro per le donne studiare le stelle

PIERO BIANUCCI

Se l'Italia uscirà dalla vergogna morale nella quale l'ha trascinata una parte della sua classe politica, sarà soprattutto merito delle donne che abbiamo visto sfilare in tante città dalle Alpi alla Sicilia. Eppure in tempi molto vicini a noi, e in un raffinato ambiente intellettuale come quello dell'Università di Harvard (Usa), alle donne non era neppure consentito continuare a fare ricerca dopo il matrimonio, tanto più nel caso che il marito fosse un collega.

Questa è la storia di Cecilia Helena Payne in Gaposchkin (foto), nata nel 1900 nel Regno Unito, primogenita di una famiglia dalla cultura poliedrica: padre musicista, storico e avvocato, mamma pittrice, una nonna botanica.

Studentessa a Cambridge, nel 1919 Cecilia assiste a una conferenza di Arthur Eddington sulla relatività generale di Einstein. Qualche tempo dopo lo incontra di nuovo partecipando a una notte di osservazione aperta al pubblico, gli chiede consigli e ottiene l'accesso alla biblioteca dell'Osservatorio di Cambridge. Nel 1923 si laurea in scienze e, ricordando un'altra conferenza a cui aveva assistito, tenuta da Harlow Shapley, direttore dell'Osservatorio di Harvard negli Stati Uniti, si procura una borsa di studio per raggiungerlo al di là dell'Atlantico. Si appassiona al problema della temperatura delle stelle e ha l'idea di misurarla partendo dal grado di ionizzazione dei loro gas,



Cecilia Payne

ULTIMI ARTICOLI

- 21/02/2011 Le tempeste solari e i violini di Stradivari
- 14/02/2011 Bolide su Cuneo: chi l'ha visto?
- 07/02/2011 Aiuto, scoppia Betelgeuse! (ma è una bufala)
- 04/02/2011 Il "Meridiano Cassini" da Perinaldo a Torino

» tutti gli articoli

FEED RSS

TI SENTI UN ESCHIMESE IN UN IGLOO?



LA STAMPA LIBRERIA

L'universo elegante. Superstringhe, dimensioni

Eureka! 100 invenzioni che hanno cambiato la nostra

Fare doppio clic per modificare

Cecilia Payne - Gaposchkin (1900 - 1980)



Harlow Shapley,
successore di
Edward Pickering

File Modifica visualizza Preferiti Strumenti

W Harlow Shapley - Wikipedia

Entra / Registrati

Voce **Discussione** Leggi Modifica Visualizza cronologia Ricerca

Harlow Shapley

Da Wikipedia, l'enciclopedia libera.

Harlow Shapley (Nashville, 2 novembre 1885 – Boulder, 20 ottobre 1972) è stato un **astronomo statunitense**.

Studiò all'Università di Princeton sotto il professor **Henry Norris Russell**, ed utilizzò la relazione periodo luminosità per le **Cefeidi** scoperta da **Henrietta Swan Leavitt** per determinare la distanza di alcuni **ammassi globulari**. Si rese così conto che la **Via Lattea** era molto più grande di quanto creduto e nel 1918 ne misurò la lunghezza in 100.000 anni luce.

Prese parte al **Grande Dibattito** con **Heber D. Curtis** sulla natura delle **nebulose** e delle **galassie**, e sulle dimensioni dell'universo. Il dibattito si svolse il **26 aprile 1920**. Shapley era contrario all'idea che il **Sole** si trovasse al centro della Via Lattea, e per dimostrare la sua ipotesi mostrò i risultati che aveva ottenuto studiando gli ammassi globulari. Essi infatti sono più concentrati in direzione della **costellazione del Sagittario**, perciò Shapley ipotizzò che, se erano distribuiti uniformemente attorno alla Galassia, il nucleo della Via Lattea doveva trovarsi proprio in direzione del Sagittario. Credeva inoltre che le galassie fossero parte della Via Lattea, anche se il loro **spettro** era di emissione anziché di assorbimento, com'era per le nebulose comuni. Aveva ragione sulla prima ipotesi, e torto sulla seconda.

All'epoca del dibattito, Shapley lavorava all'**Osservatorio di Monte Wilson**. In seguito egli fu chiamato a rimpiazzare il celebre **Edward Charles Pickering**, recentemente deceduto, come direttore dell'**Osservatorio di Harvard**. Occupò quel posto dal 1921 sino al 1952. Nel 1925 assunse **Cecilia Payne Gaposchkin**, che divenne la prima persona ad ottenere un dottorato in astronomia all'Università Harvard.

Negli anni quaranta, Shapley collaborò a fondare alcune associazioni scientifiche, tra cui la **National Science Foundation**. È anche colui che contribuì a far inserire la lettera S nella sigla **UNESCO** (che sta per Scientific, scientifica).

Politicamente, Shapley era un **liberale**, e fu una delle vittime del **Maccartismo**. Nel 1950, fu usato per organizzare una campagna accademica contro il controverso best-seller "**Mondi in collisione**" della psichiatra russa senatrice **Immanuel Velikovsky**.

1925,
Stellar Atmospheres, A Contribution to the
Observational Study of High Temperature in the
Reversing Layers of Stars

Otto Struve: "La più brillante tesi mai scritta in astronomia"

start

Cecilia P



Norman Hyman Storer.
July 3, 1928.
HARVARD OBSERVATORY MONOGRAPHS
HARLOW SHAPLEY, EDITOR

No. 1

STELLAR ATMOSPHERES

A CONTRIBUTION TO THE OBSERVATIONAL
STUDY OF HIGH TEMPERATURE IN THE
REVERSING LAYERS OF STARS

BY

CECILIA H. PAYNE

Cecilia H. Payne

PUBLISHED BY THE OBSERVATORY
CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS
1925



The theory of
made of the temp
temperatures refe
absorbing atoms
ences of effective
tion temperatur
resent actual t
and the exten
rived from the
is a matter o
which the i
matter of C
calibration
tion is the

The den
from the
sible at t
and the
garded
howeve
astroph
sions:

paragraph. Fowler
sure of 10^{-7} to 10^{-8}
assumed temperat
of the class, deduc
ing layer should
perature should
than, the Sch
some 15–20 m
The value 4
value P_e be
 $P_e = 4.6 \times 10^{-7}$
maximum
Ca+ line
curate es
rather fa
then be
The
temp
assur

paragraph. Fowler
sure of 10^{-7} to 10^{-8}
assumed temperat
of the class, deduc
ing layer should
perature should
than, the Sch
some 15–20 m
The value 4
value P_e be
 $P_e = 4.6 \times 10^{-7}$
maximum
Ca+ line
curate es
rather fa
then be
The
temp
assur

TEMPERATURES FOR DRAPER CLASSES

TABLE XXI

Atom	Ionization Potential	Excitation Potential	Max.	T_{max}
He+	54.2	48.2	O	35000°
C+	24.3	18.0	B ₃	16000
He	24.7	21.1	B ₃	16000
Si++	31.7	4.8	B ₂ -B ₁	18000
Si+++	45.0	24.0	O	25000

here the *derived* quantity, whereas in Table XX it was the known quantity used for calibration.

The values given in the preceding table constitute the only contribution that can be made by this form of ionization theory to the formation of a stellar temperature scale. Values assigned to intermediate classes must be conjectural. From the observed changes of intensity from class to class, temperatures may be interpolated roughly, and a temperature scale, formed on these general grounds, is reproduced in Table XXII. Values not derived from observed maxima are italicized.

Class	Temperature
Ma	4.8
Ms	24.0
Es	20.3
	B ₂ -B ₁
	O
	35000
	16000
	16000
	18000
	25000

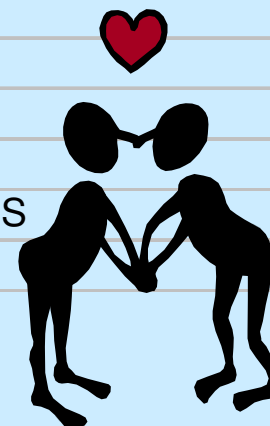
TABLE XXII

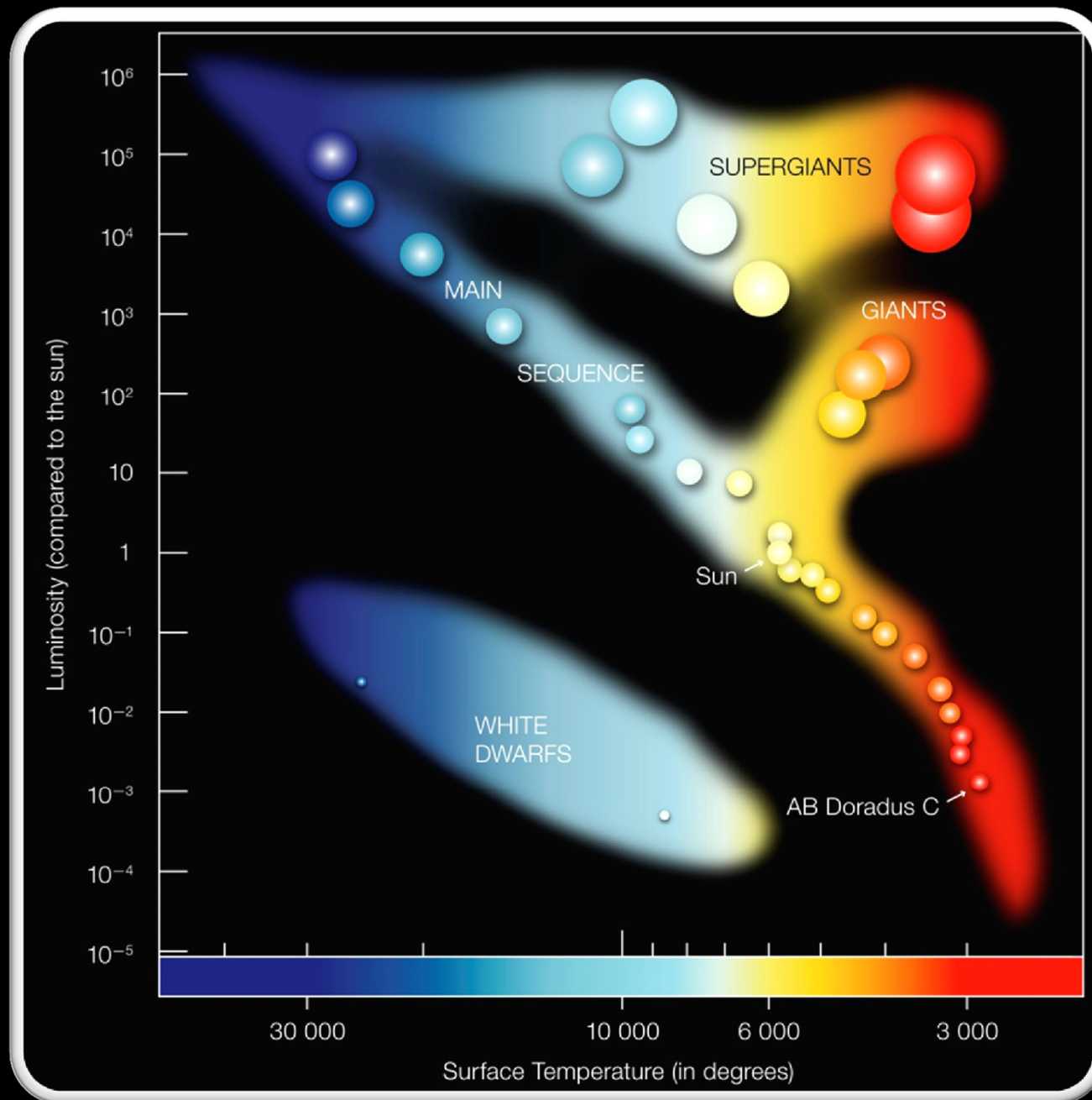
TABLE XXII

Class	Temperature
Ma	3000°
K5	3000
K2	3500
K0	4000
G5	5000
G0	5600
F5	7000
F0	7500
A5	8400



Colore	Temperatura	categoria	filastrocca
blu intenso	40 000	O	oh
blu	28 000	B	be
blu-bianco	9 900	A	a
bianco	7 400	F	fine
giallo	6 030	G	girl
→ arancione	4 900	K	kiss
rosso arancio	3 480	M	me
rosso	3 000	R,N,S	





Luminosità

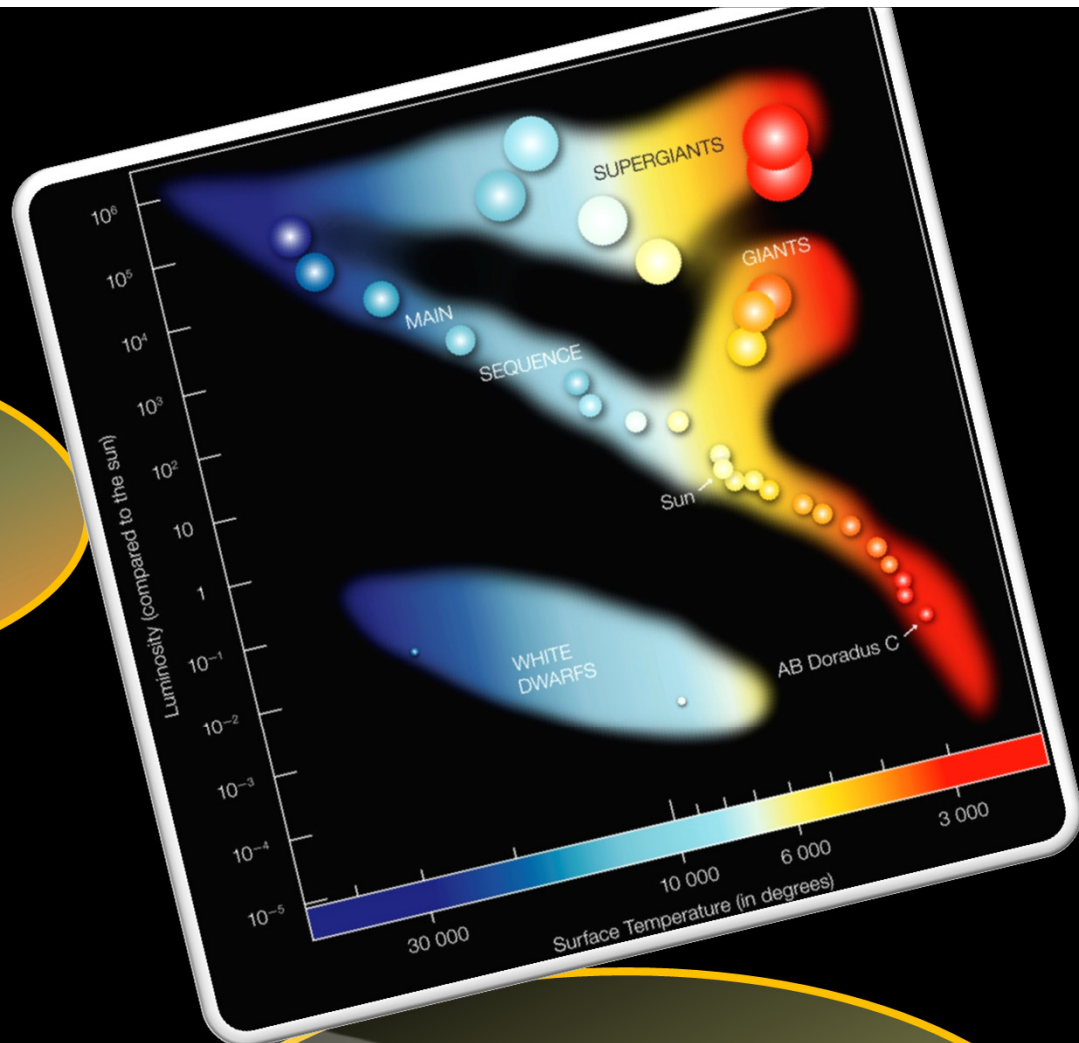


Temperatura



Classe spettrale

colore



traced in the stellar spectrum. The occurrence of the second spectrum of hydrogen, ascribed to the hydrogen molecule, has been suspected,³ but not definitely established. One of the lines has been recorded, and this should almost certainly be attributed to N^{++} . The familiar Balmer series appears as emission lines in the Wolf-Rayet stars, but normally the absorption lines in all succeeding classes.

The intensity of the hydrogen lines is at a maximum in the neighborhood of Class Ao. They vary greatly in width, however, within a given spectral class,⁶ and it is difficult to find a method of photometry applicable to the comparison of lines of very different widths. The maximum of the Balmer lines has been placed by Menzel⁷ at A3. The writer is inclined to think that no significant maximum can in fact be derived from the Balmer lines; beyond A5, however, their intensity falls rapidly.

It is peculiar to the Balmer series to appear in every star of the normal stellar sequence, and its lines at maximum intensity are stronger than the lines of every other element which appears in stellar spectra, excepting those of ionized calcium.

Although hydrogen is presumably unable to give rise to an "enhanced" spectrum, as the atom only possesses one valence electron, the lines of the Balmer series share with those of neutral helium the peculiarity of behaving like the lines of an ionized atom.⁸ They are weakened in dwarf M stars, and strengthened in the cooler super-giants, such as α Orionis. The peculiarity of the astrophysical behavior of the hydrogen lines also appears in the impossibly high value that is assigned by the ionization theory to the relative abundance of this element. An explanation, in terms of metastability, has been suggested by Russell and Compton,¹⁰ but although the hypothesis

³ Wright, Lick Pub., 13, 242, 1918.

⁴ A. Fowler, M. N. R. A. S., 80, 692, 1920.

⁵ H. A., 91, 7, 1918.

⁶ H. C. 258, 1924.

⁷ Payne, Proc. N. Ac. Sci., 11, 192, 1925; Chapter XIII, p. 188.

¹⁰ Nature, 114, 86, 1924.

⁸ Fairfield, H. C. 264, 1924.

⁹ *Ibid.*

appears very satisfactory in the case of hydrogen, it is not applicable to the similar problem of helium. Russell¹¹ has remarked that "there seems to be a real tendency for lines, for which both the ionization and excitation potentials are large, to be much stronger than the elementary theory would indicate."

The hydrogen lines are often conspicuously winged. Measures of the width and intensity distribution of the wings are discussed elsewhere.¹² Wings are probably not peculiar to the hydrogen lines, but the hydrogen wings can be studied because of their strength. The feature is also seen in helium, calcium and iron lines, and wings of greater or less strength are probably universal.

The width of the hydrogen lines in A stars has been correlated with absolute magnitude, and used for the estimation of luminosities.¹³ It appears, however, that the line width may not furnish an accurate measure of absolute magnitude, although it serves to discriminate stars having the c-character from those of smaller luminosity.¹⁴ The occurrence of wings seems, moreover, to be independent of line width and of absolute magnitude.¹⁵ These questions are connected with the problem of classifying the A stars, and are discussed in a later chapter.¹⁶

The continuous spectrum of hydrogen, beyond the limit of the Balmer series, corresponding to the continuous radiation observed in the laboratory for sodium by Wood,¹⁷ and for helium by Lyman,¹⁸ was first noted in stellar spectra by Sir William Huggins.¹⁹ The beginning of the band appears just to the red of the last Balmer line observed.²⁰ It appears, from work in progress at the Harvard Observatory,²¹ that the limit is nearer to the violet, the higher the luminosity, and in a nebular spectrum quoted by Hubble,²² it almost coincides with the theoretical limit of the series.

¹¹ Personal letter.

¹² Mt. W. Contr. 262, 1922.

¹³ Lindblad, Ap. J., 59, 305, 1924.

¹⁴ Ap. J., 29, 100, 1909.

¹⁵ Atlas, p. 85, 1892.

²¹ Chapter III, p. 43.

¹² Chapter IV, p. 51.

¹⁴ Fairfield, H. C. 264, 1924.

¹⁵ Chapter XII, p. 168.

¹⁶ Ap. J., 60, 1, 1924.

²⁰ Wright, Nature, 109, 810, 1920.

²² Pub. A. S. P., 32, 155, 1920.

also in order of abundance, are silicon, sodium, magnesium, aluminum, carbon, calcium, iron, zinc, titanium, manganese, chromium, potassium, vanadium, strontium, barium, (hydrogen, and helium). All the atoms for which quantitative estimates have been made are included in this list. Although hydrogen and helium are manifestly very abundant in stellar atmospheres, the actual values derived from the estimates of marginal appearance are regarded as spurious.

The absence from the stellar list of eight terrestrially abundant elements can be fully accounted for. The substances in question are oxygen, chlorine, phosphorus, sulphur, nitrogen, fluorine, zirconium, and nickel, and none of these elements gives lines of known series relations in the region ordinarily photographed.

The $1^4\text{S} - m^4\text{P}$ " triplets " of neutral oxygen, in the red, should prove accessible in the near future; the point of disappearance of these lines would not be difficult to estimate, and they would furnish a value for the stellar abundance of oxygen. The lines of ionized oxygen, which have not yet been analyzed into series, are conspicuous in the B stars,¹⁴ and the element is probably present in large quantities.

Sulphur and nitrogen both lack suitable lines in the region usually studied; the analyzed spectrum of neutral sulphur is in the green and red,¹⁵ or in the far ultra-violet,¹⁶ and the neutral nitrogen spectrum has not as yet been arranged in series. Both sulphur and nitrogen appear, in hotter stars, in the once and twice ionized conditions,¹⁷ and are probably abundant elements in stellar atmospheres.

For the remaining elements, phosphorus, chlorine, fluorine, zirconium and nickel, series relations are not, as yet, available. No lines of phosphorus or the halogens have been detected in stellar spectra, but these elements have not been satisfactorily analyzed spectroscopically, and their apparent absence from the stars is probably a result of a deficiency in suitable lines. Nickel

¹⁴ H. C. 256, 1924.

¹⁵ Fowler, Report on Series in Line Spectra, 170, 1922.

¹⁶ Hopfield, Nature, 112, 437, 1923.

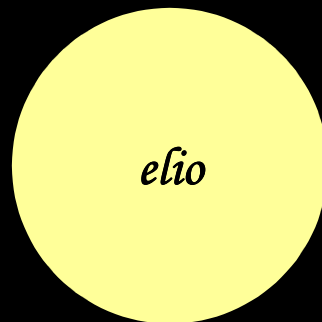
¹⁷ H. C. 256, 1924.

all'interno del Sole

10.000



1.000



8



4



1



1



< 1



Idrogeno

elio

ossigeno

carbonio

neon

azoto

altro

Lettera di H.N. Russell a Cecilia Payne.

«Gentile Miss Payne,

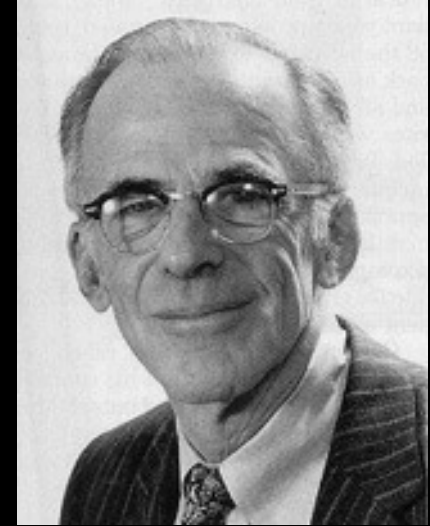
ecco finalmente le note sull'abbondanze relative, che è stata così gentile da mostrarmi.

I suoi eccellenti risultati sembrano estremamente coerenti. Molte discrepanze sono risolte.

Rimane però una discrepanza piuttosto seria, quella relativa all'idrogeno, elio e ossigeno. Su questo punto credo che ci sia qualcosa di molto sbagliato nella teoria corrente.

È chiaramente impossibile che l'idrogeno sia un milione di volte più abbondante dei metalli e non ho dubbi che il numero atomi di idrogeno, nei due stati quantici, sia infinitamente superiore a quanto indicato dalle teorie di Fowler e Milne»

Tesi confermata da
Russell solo nel 1929

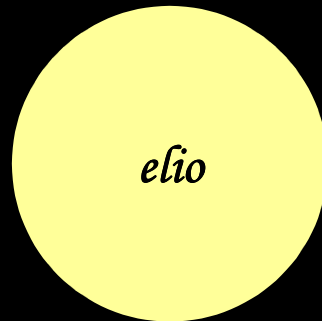


10.000



Idrogeno

1.000



elio

8



ossigeno

4



carbonio

1



neon

1



azoto

< 1



altro

70 % della massa è Idrogeno

25-30 % della massa è Elio

Tracce di elementi complessi

Massa del Sole: $2 \cdot 10^{33} \text{ g}$

Massa dell'idrogeno: $1,67 \cdot 10^{-24} \text{ g}$

Numero di atomi di idrogeno:

 10^{57} [illegible]

Margaret Peachey Burbidge (1919)

1939

“non si svolsero cerimonie per la mia laurea, nell'estate del '39 era ovvio che l'Inghilterra andava incontro alla guerra con la Germania.”

“Avendo letto un annuncio su The Observer per una ricerca di personale all'Università Carnegie per il Mt. Wilson Observatory feci domanda”

“La lettera di rifiuto diceva semplicemente che i posti al Carnegie Fellowship erano riservati agli uomini. Apparentemente alle donne non era concesso l'uso dei telescopi di Mt. Wilson”



REVIEWS OF MODERN PHYSICS

VOLUME 29, NUMBER 4

OCTOBER, 1957

Synthesis of the Elements in Stars*

F. MARGARET BURNINGHAM, R. BURRIDGE, WILLIAM A. FOWLER, AND F. HOYLE

*Lawrence Livermore Laboratory, California Institute of Technology, and
Mount Wilson and Palomar Observatories, Carnegie Institution of Washington,
California Institute of Technology, Pasadena, California*

"It is the stars, The stars above us, govern our conditions";
(*King Lear*, Act IV, Scene 3)

but perhaps

"The fault, dear Brutus, is not in our stars, But in ourselves,"
(*Julius Caesar*, Act I, Scene 2)

TABLE OF CONTENTS

	Page
I. Introduction	548
A. Element Abundances and Nuclear Structure	548
B. Four Theories of the Origin of the Elements	550
C. General Features of Stellar Synthesis	550
II. Physical Processes Involved in Stellar Synthesis, Their Place of Occurrence, and the Time-Scales Associated with Them	551
A. Modes of Element Synthesis	551
B. Method of Assignment of Isotopes among Processes (i) to (viii)	553
C. Abundances and Synthesis Assignments Given in the Appendix	555
D. Time-Scales for Different Modes of Synthesis	556
III. Hydrogen Burning, Helium Burning, the α Process, and Neutron Production	559
A. Cross-Section Factor and Reaction Rates	559
B. Pure Hydrogen Burning	562
C. Pure Helium Burning	565
D. α Process	567
E. Succession of Nuclear Fuels in an Evolving Star	568
F. Burning of Hydrogen and Helium with Mixtures of Other Elements; Stellar Neutron Sources	569
IV. s Process	577
V. s and r Processes: General Considerations	580
A. "Shielded" and "Shielding" Isobars and the s , r , p Processes	580
B. Neutron-Capture Cross Sections	581
C. General Dynamics of the s and r Processes	583
VI. Details of the s Process	583

* Supported in part by the joint program of the Office of Naval Research and the U. S. Atomic Energy Commission.

547

Copyright © 1957 by the American Physical Society

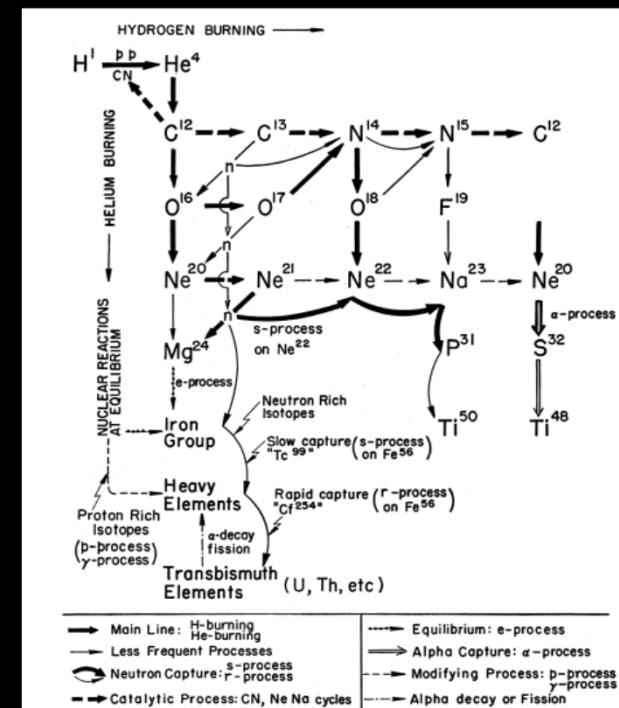


FIG. 12. A schematic diagram of the nuclear processes by which the synthesis of the elements in stars takes place. Elements synthesized by interactions with protons (hydrogen burning) are listed horizontally. Elements synthesized by interactions with alpha particles (helium burning) and by still more complicated processes are listed vertically. The details of the production of all of the known stable isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, fluorine, neon, and sodium are shown completely. Neutron capture processes by which the highly charged heavy elements are synthesized are indicated by curved arrows. The production of radioactive Tc⁹⁹ is indicated as an example for which there is astrophysical evidence of neutron capture at a slow rate over long periods of time in red giant stars. Similarly Cr⁵¹, produced in supernovae, is an example of neutron synthesis at a rapid rate. The iron group is produced by a variety of nuclear reactions at equilibrium in the last stable stage of a star's evolution.

																Noble gases 18 8A																							
Alkaline earth metals 1A 2A																13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	2 He																		
Alkali metals																1 H	2 He																	13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	2 He
																3 Li	4 Be																	5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
																11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar						
																Transition metals												13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar						
																19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr						
																37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe						
55 Cs	56 Ba	57 La*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn																						
87 Fr	88 Ra	89 Ac†	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub																												
*Lanthanides			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu																							
†Actinides			90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr																							

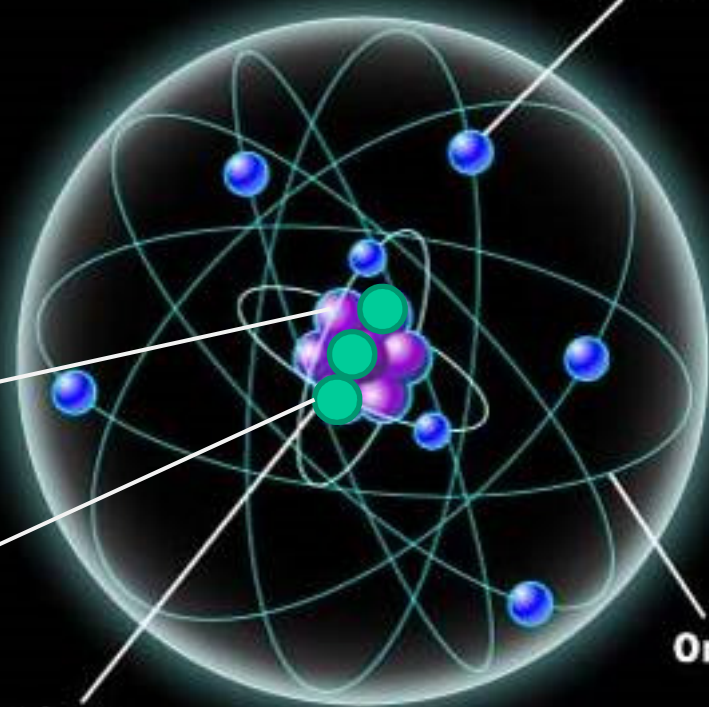
neutroni

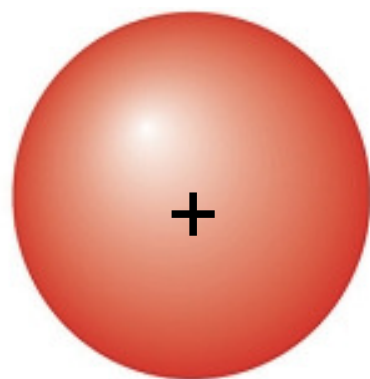
protoni

Nucleus

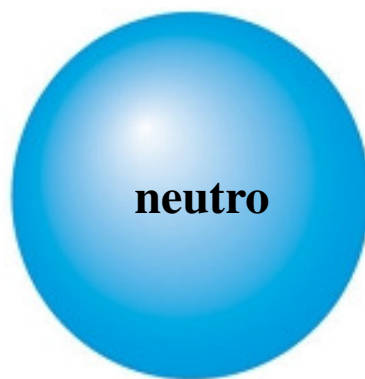
Electron

Orbit





protone

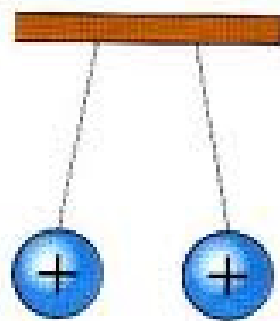


neutrone

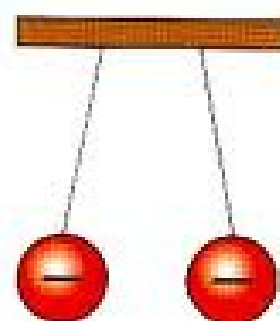
-



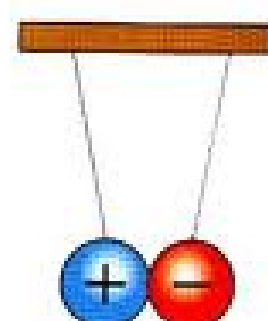
elettrone



si respingono



si respingono



si attraggono

La materia è composta da:

La materia è composta da:

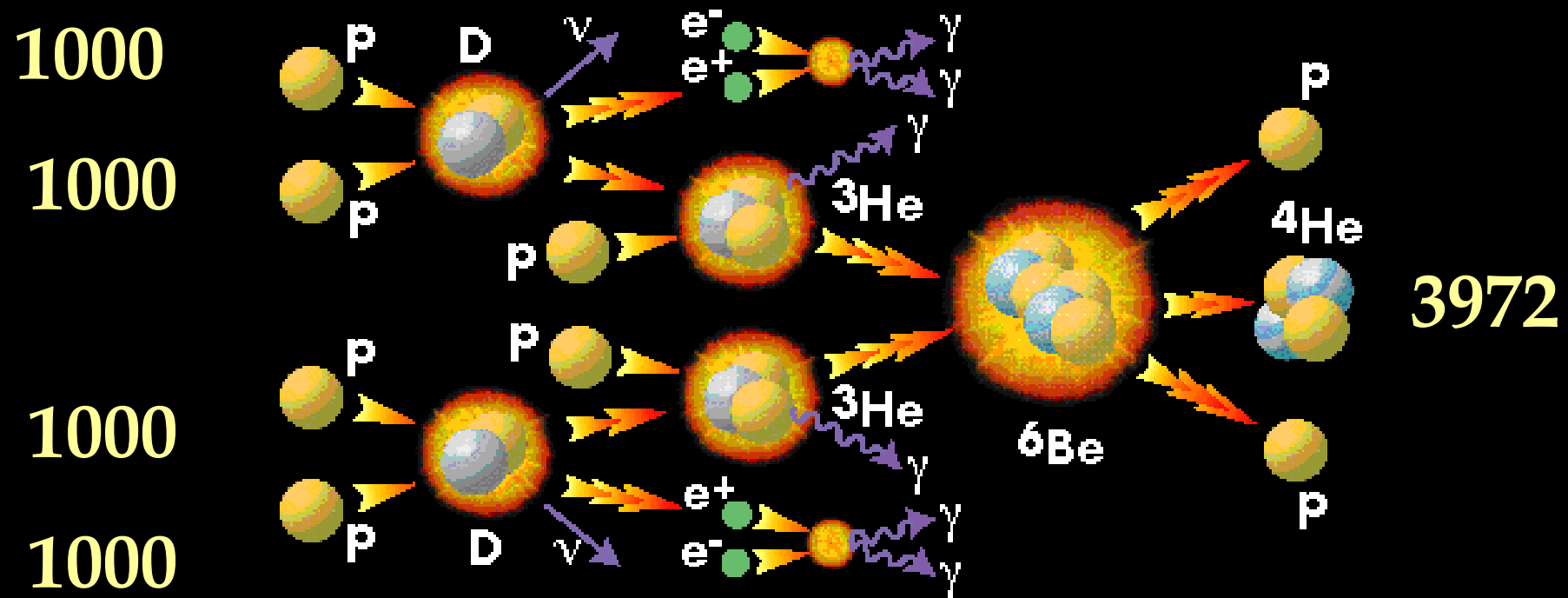
Alkaline earth metals												Halogens		Noble gases																
1 1A	2 2A											13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A													
1 H	2 He											3 B	4 C	5 N	6 O	7 F	8 Ne													
Alkali metals	3 Li	4 Be	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar												
	11 Na	12 Mg	Transition metals										19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe												
	55 Cs	56 Ba	57 La*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn												
	87 Fr	88 Ra	89 Ac†	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Uun	111 Uuu	112 Uub																		

*Lanthanides

†Actinides

58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

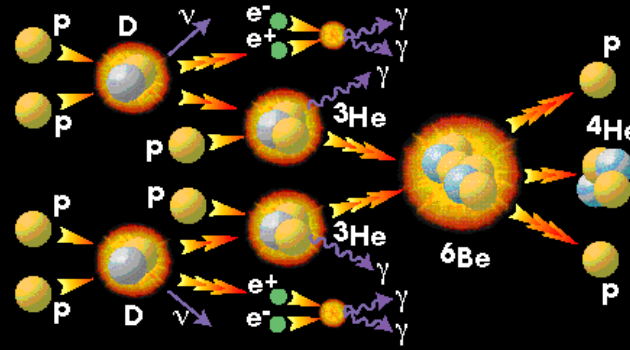
La catena protone protone



Copyright © 1997 Contemporary Physics Education Project.

**Abbiamo perso 27 unità di massa =
0.7 % della massa coinvolta nella reazione**

1000
1000
1000
1000



Copyright © 1997 Contemporary Physics Education Project.

3972

Abbiamo perso 27 unità di massa =
0.7 % della massa coinvolta nella reazione

$$E = m c^2$$

$$E_{\text{reazione}} = 4 \cdot 10^{-12} \text{ J}$$

Numero di atomi di idrogeno: 10^{57}

Ogni reazione coinvolge 4 atomi di idrogeno

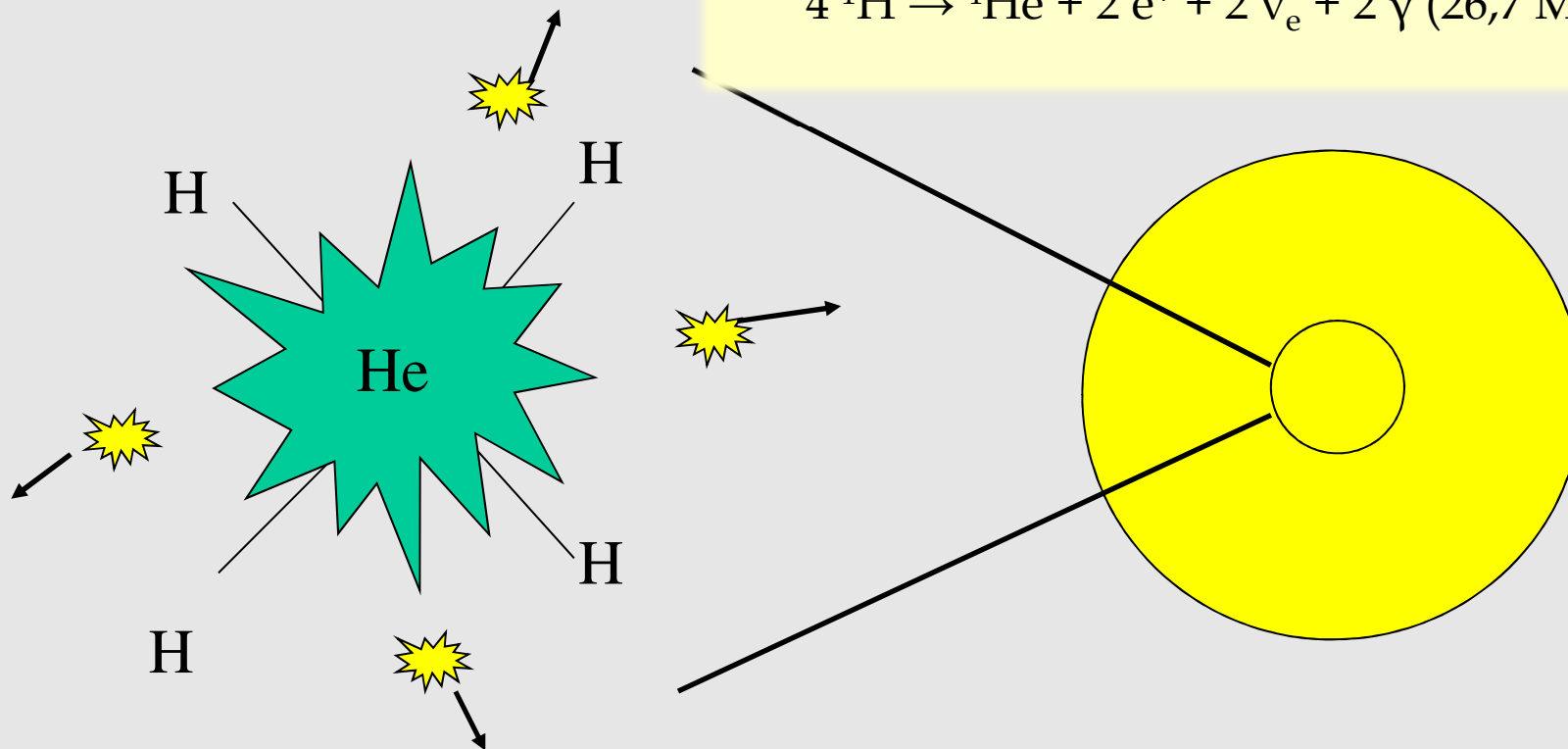
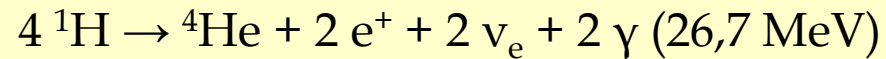
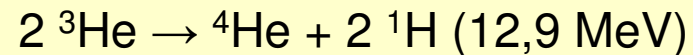
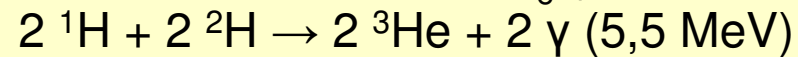
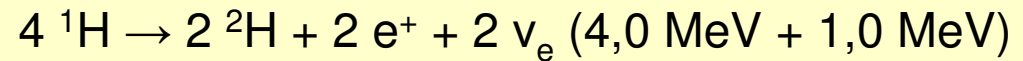
Ogni reazione produce una energia di : $4 \cdot 10^{-12} \text{ J}$

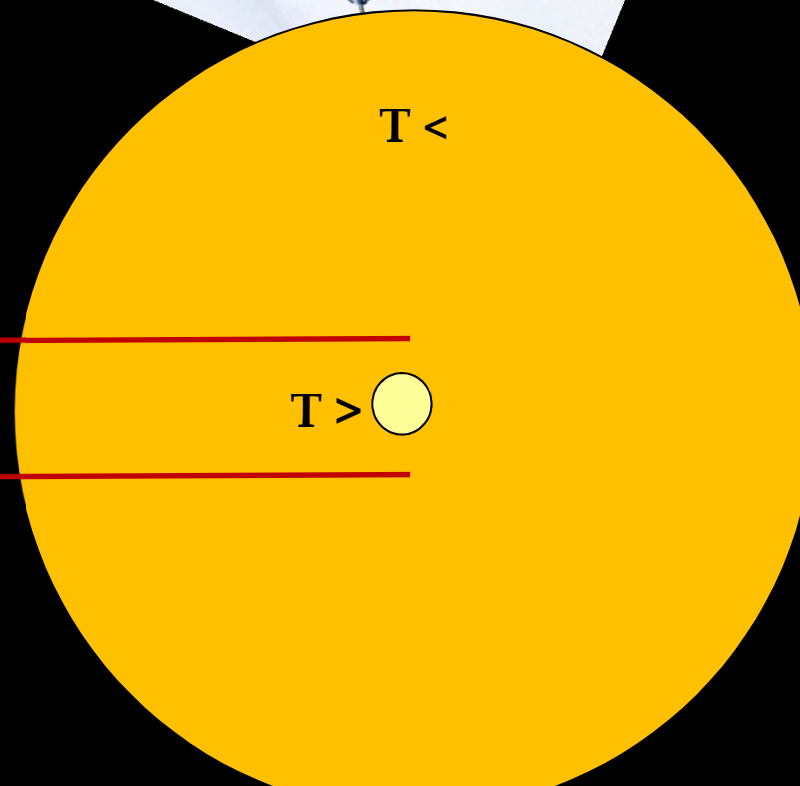
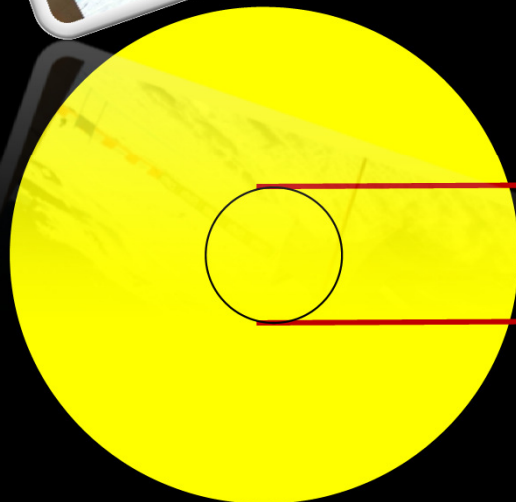
Il Sole emette : $4 \cdot 10^{26} \text{ J} / \text{s} = 4 \cdot 10^{26} \text{ W}$

Ad ogni secondo si verificano : 10^{38} reazioni

Con questo tasso il sole potrebbe vivere per **70 miliardi di anni**

All'interno della stella avvengono delle reazioni tra le particelle chiamate reazioni nucleari:

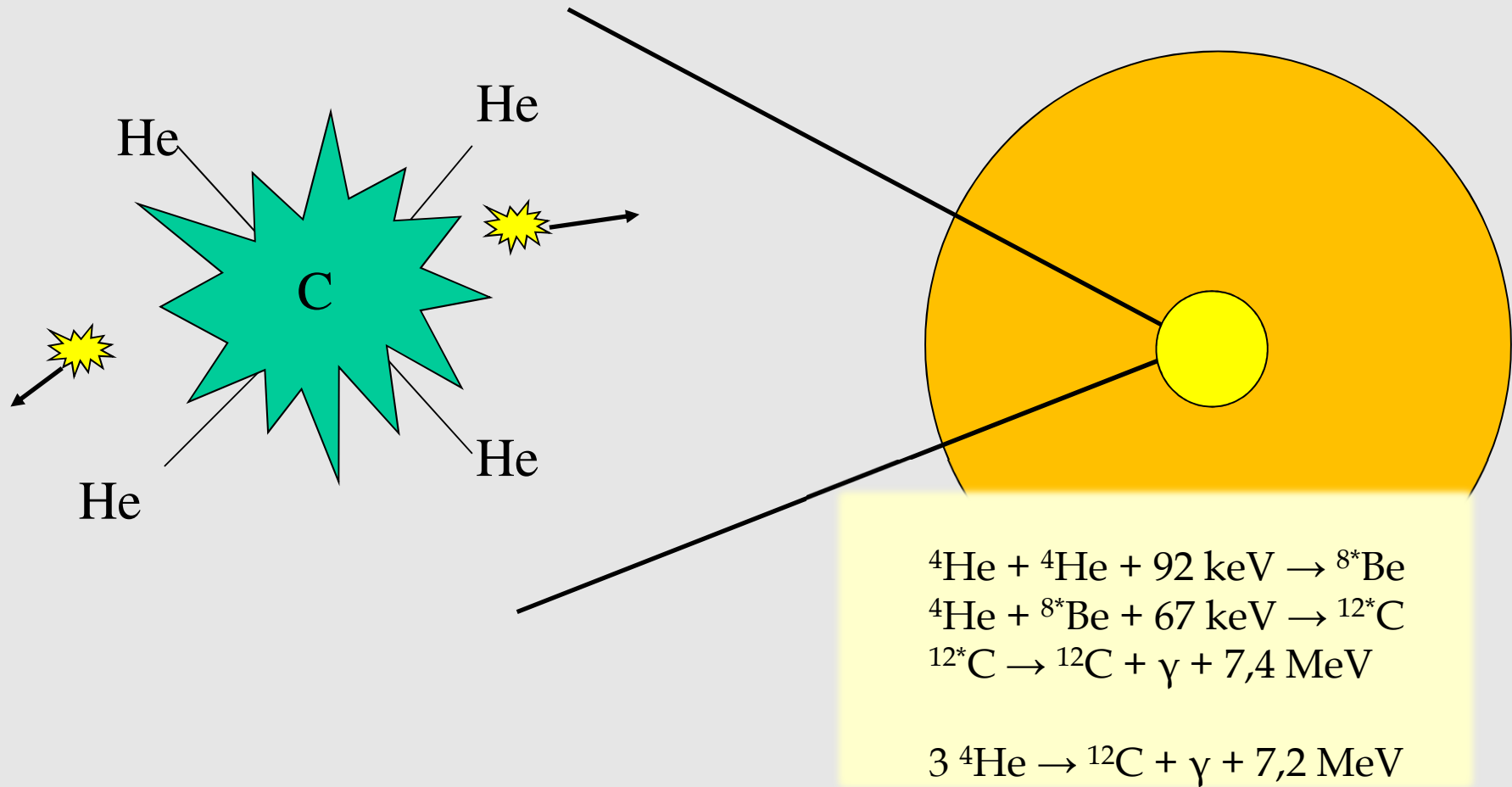




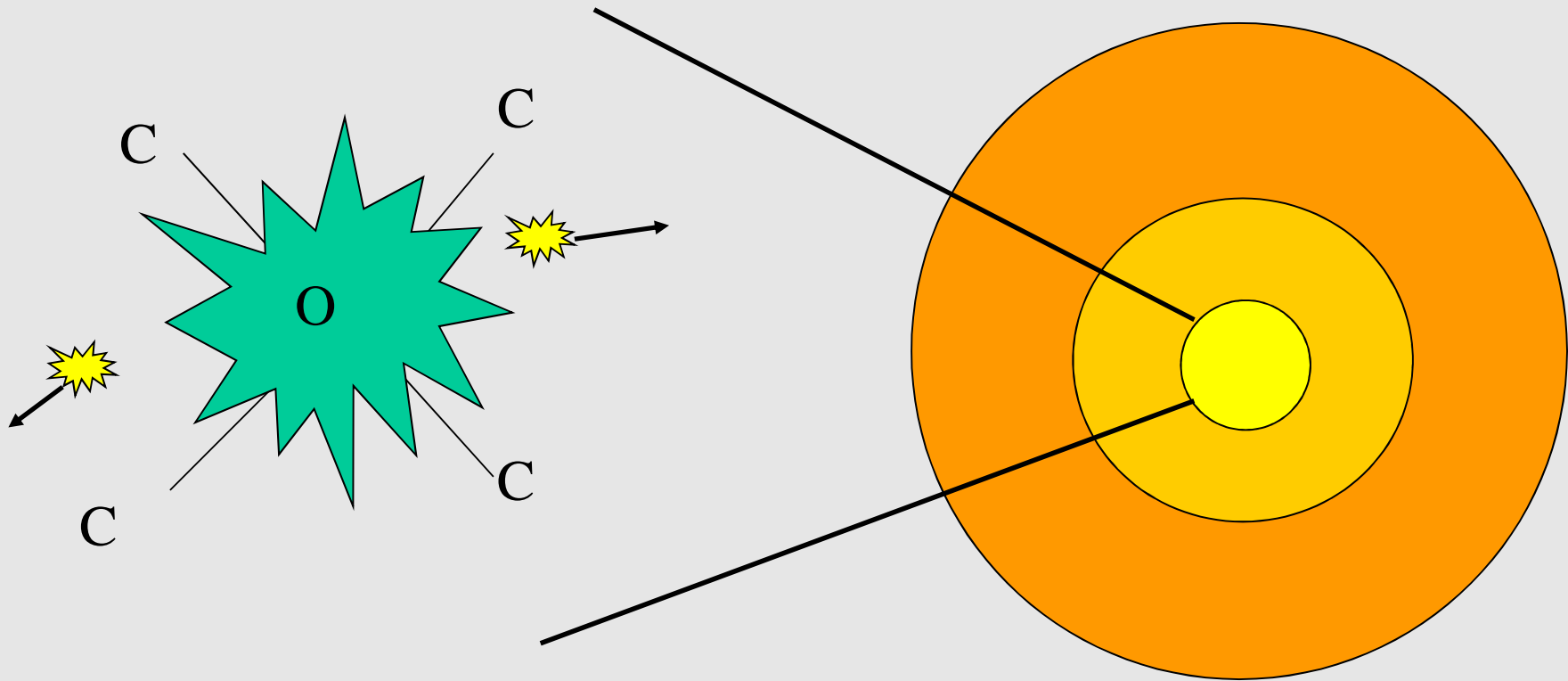
$T <$

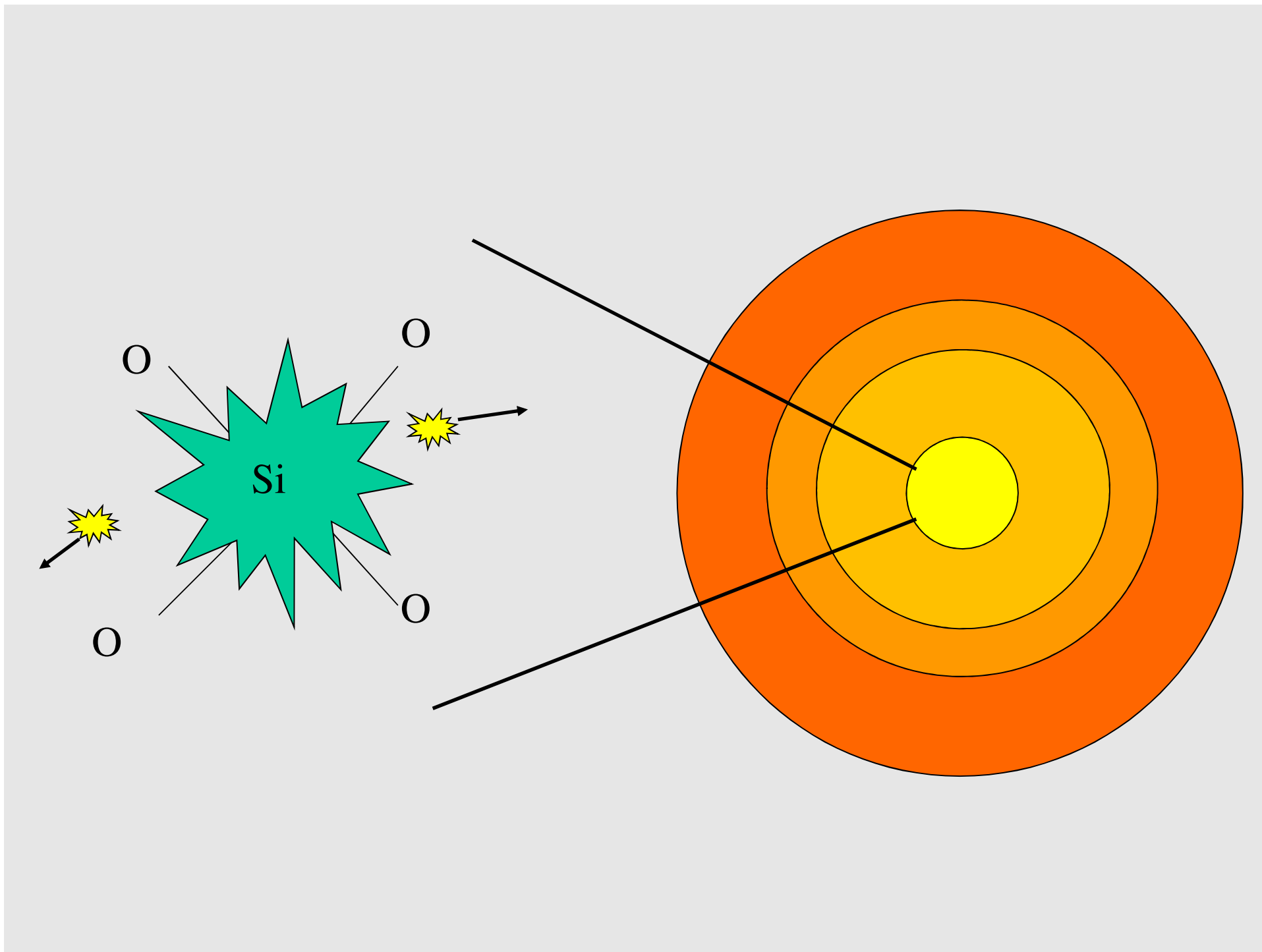
$T >$

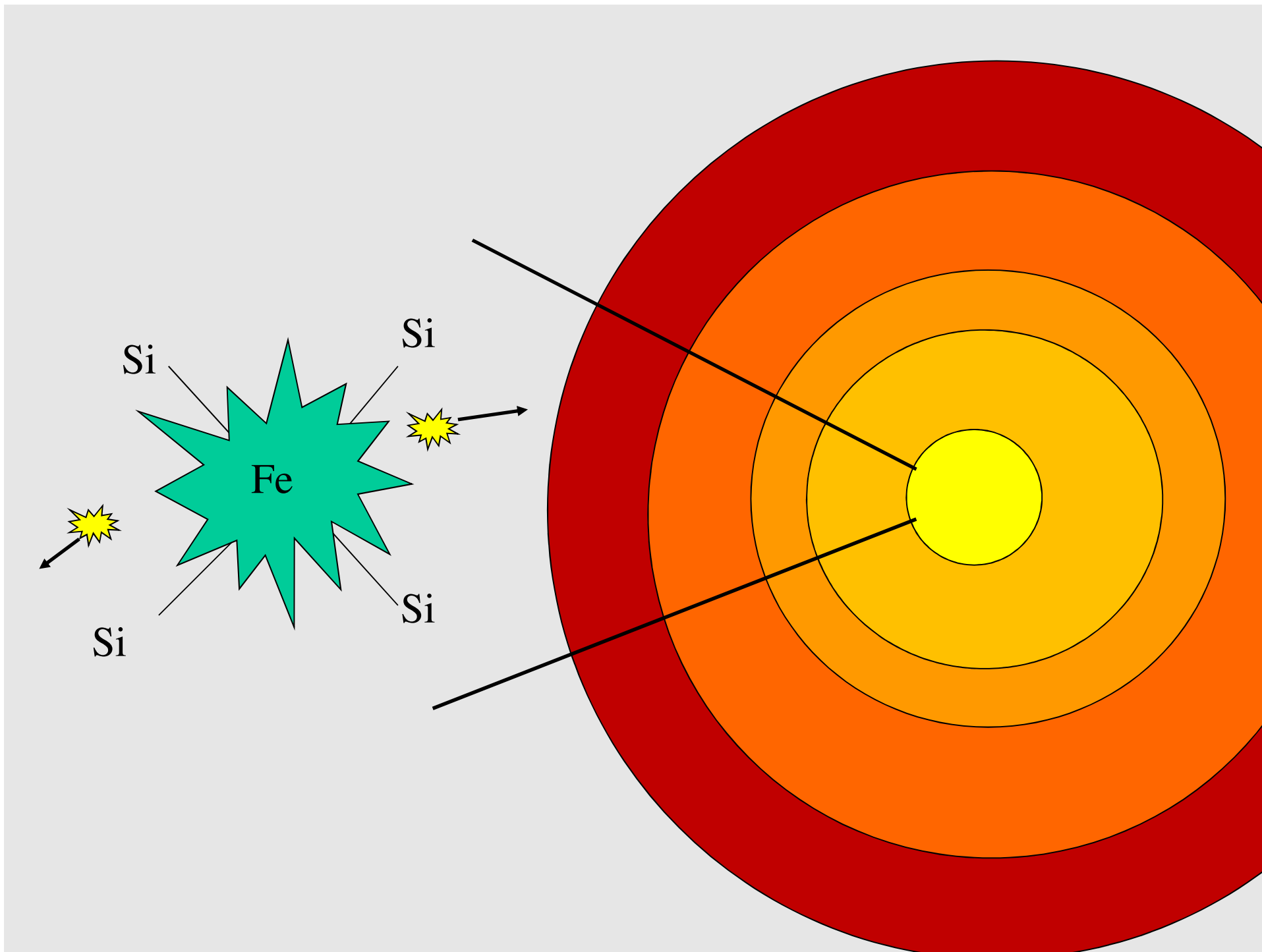
Il Sole non andrà oltre queste reazioni nucleari
e terminerà il combustibile tra miliardi di anni

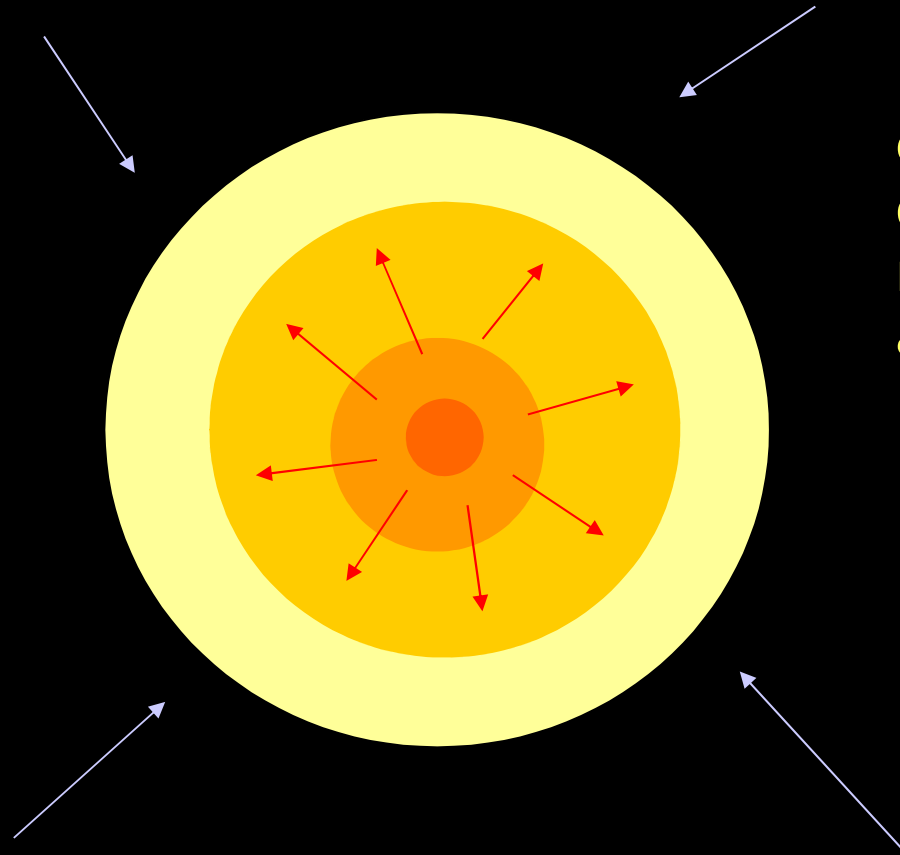


Se però la stella ha una massa > 8 volte la massa del sole









La temperatura diventa così elevata che quando gli atomi di idrogeno si urtano non rimbalzano più ma si fondono assieme a formare elio

L'energia liberata durante queste reazioni aumenta la pressione del gas che controbilancia l'attrazione gravitazionale

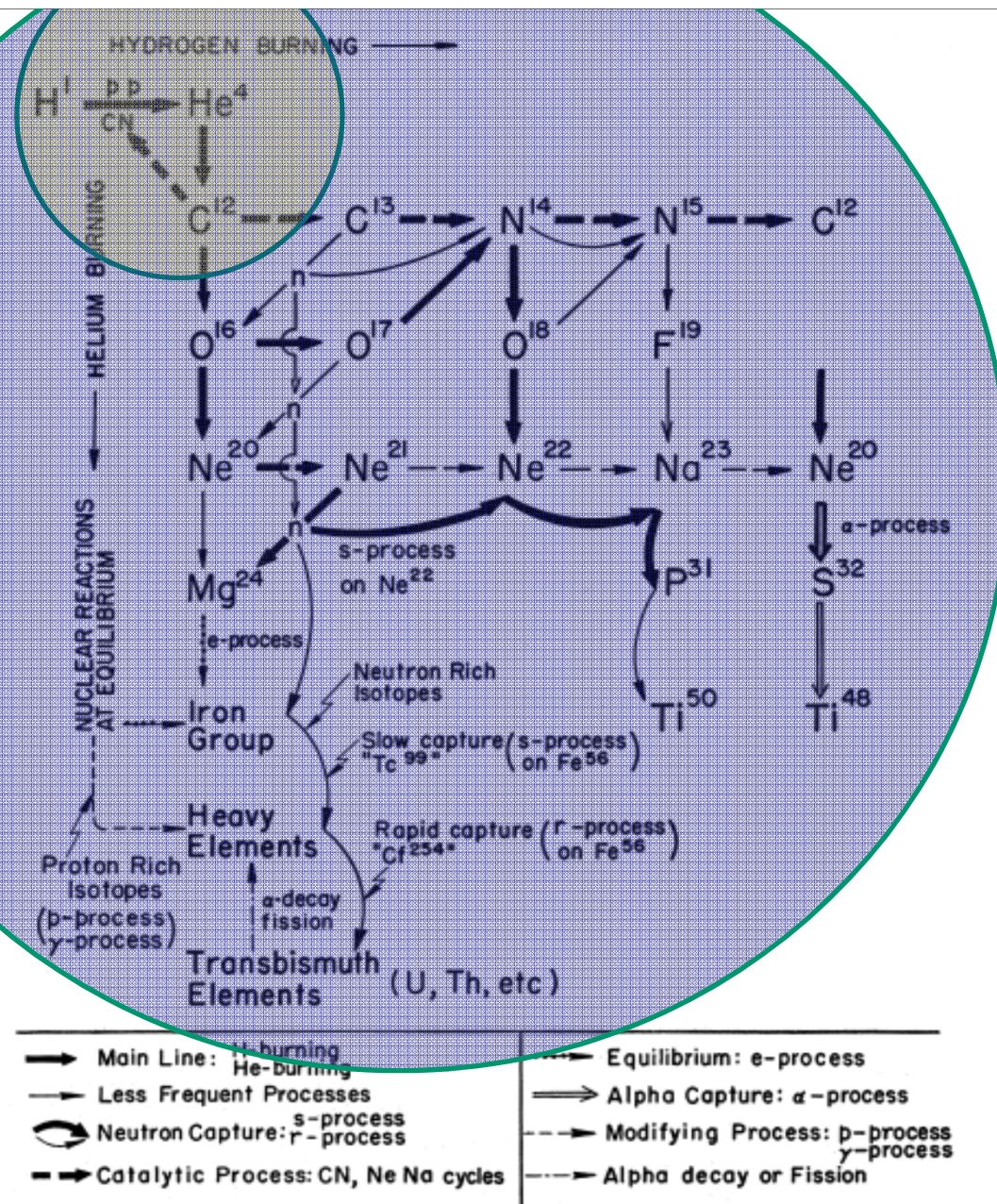
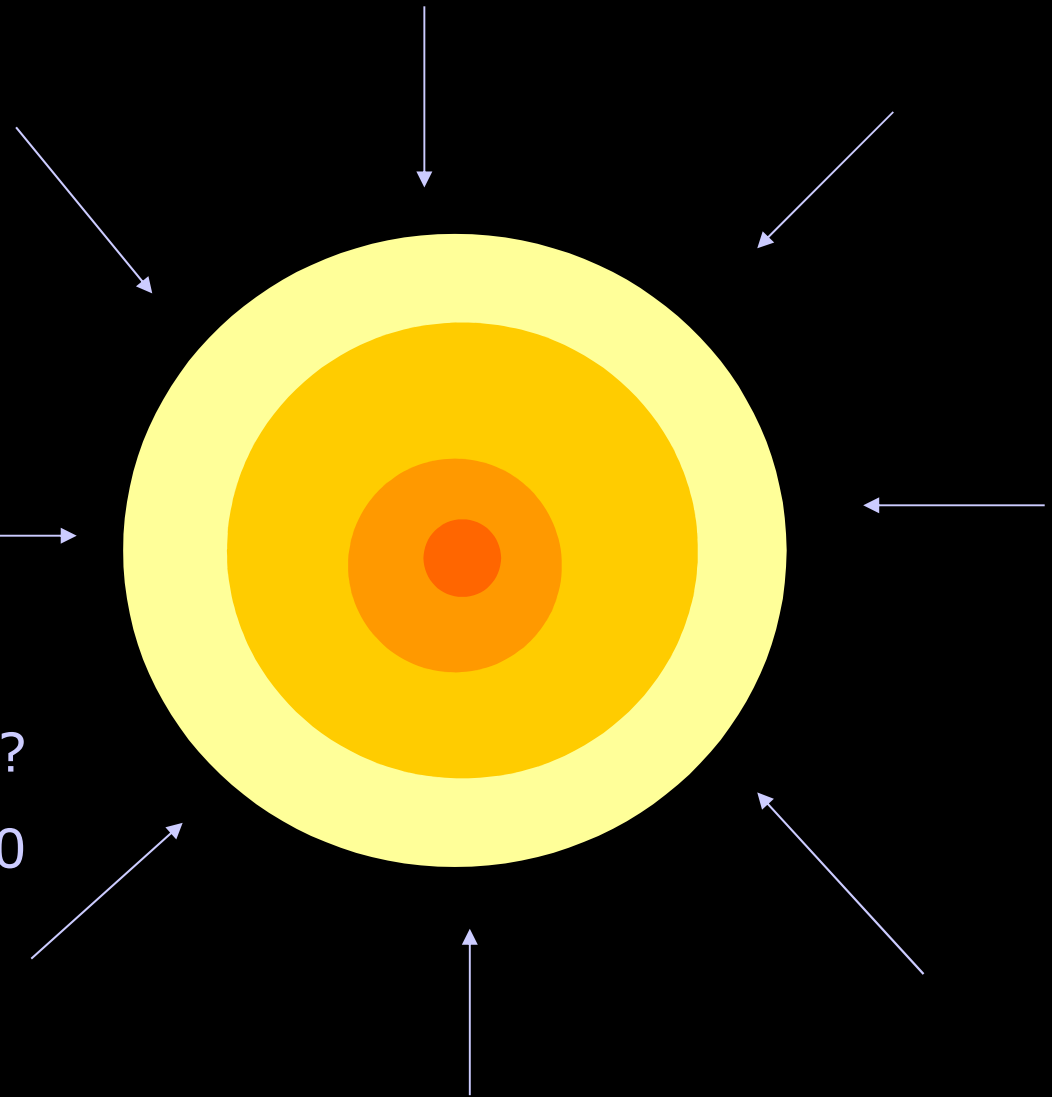


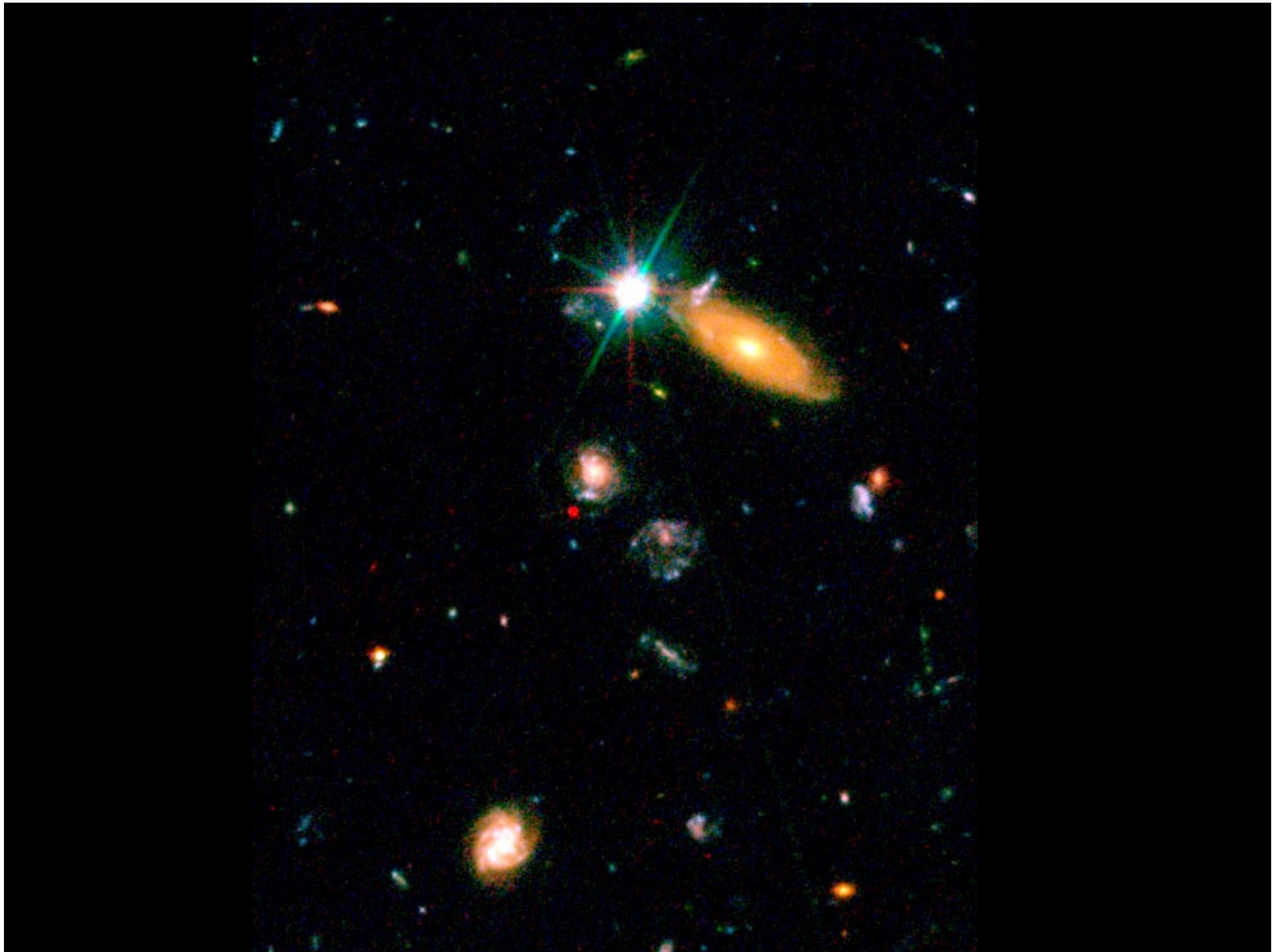
FIG. 1,2. A schematic diagram of the nuclear processes by which the synthesis of the elements in stars takes place. Elements synthesized by interactions with protons (hydrogen burning) are listed horizontally. Elements synthesized by interactions with alpha particles (helium burning) and by still more complicated processes are listed vertically. The details of the production of all of the known stable isotopes of carbon, nitrogen, oxygen, fluorine, neon, and sodium are shown completely. Neutron capture processes by which the highly charged heavy elements are synthesized are indicated by curved arrows. The production of radioactive Tc^{99} is indicated as an example for which there is astrophysical evidence of neutron captures at a slow rate over long periods of time in red giant stars. Similarly Cf^{254} , produced in supernovae, is an example of neutron synthesis at a rapid rate. The iron group is produced by a variety of nuclear reactions at equilibrium in the last stable stage of a star's evolution.

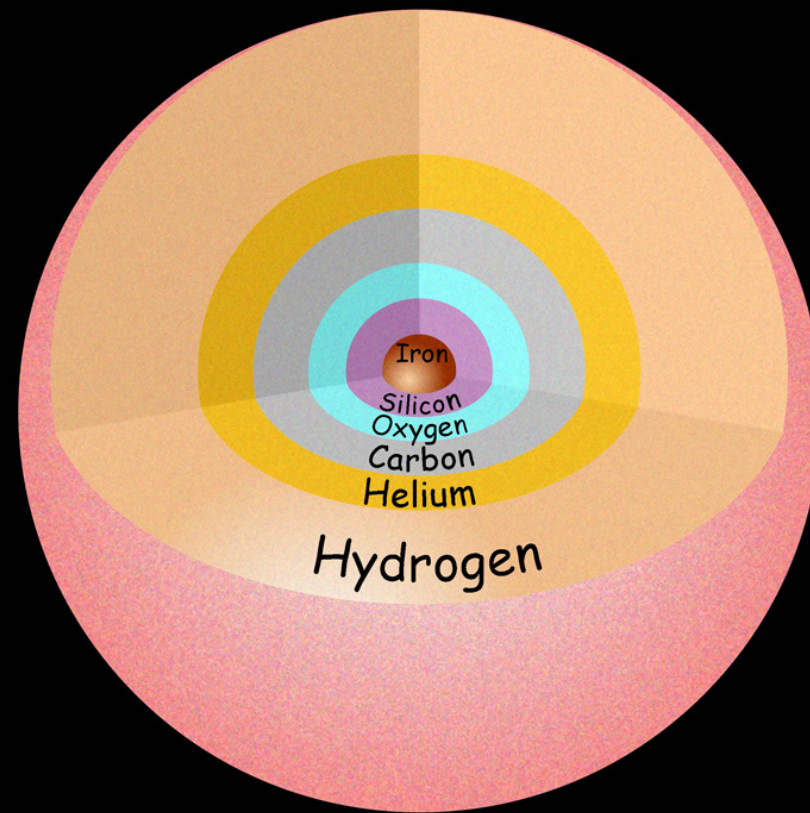
Alla fine esaurirà la riserva di idrogeno ed altri combustibili nucleari

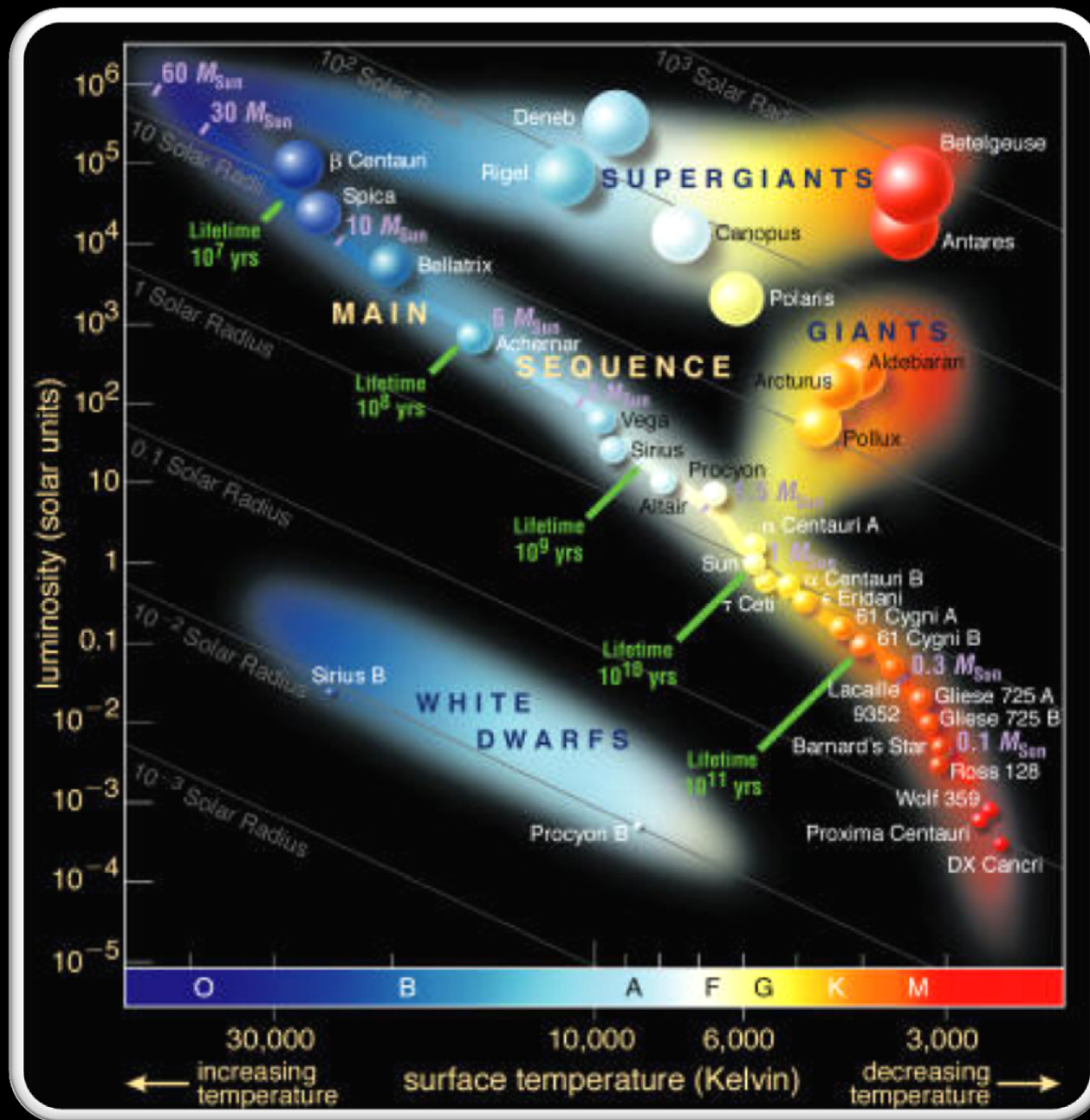
La stella in balia della sola
attrazione gravitazionale
comincia a raffreddarsi e
contrarsi...

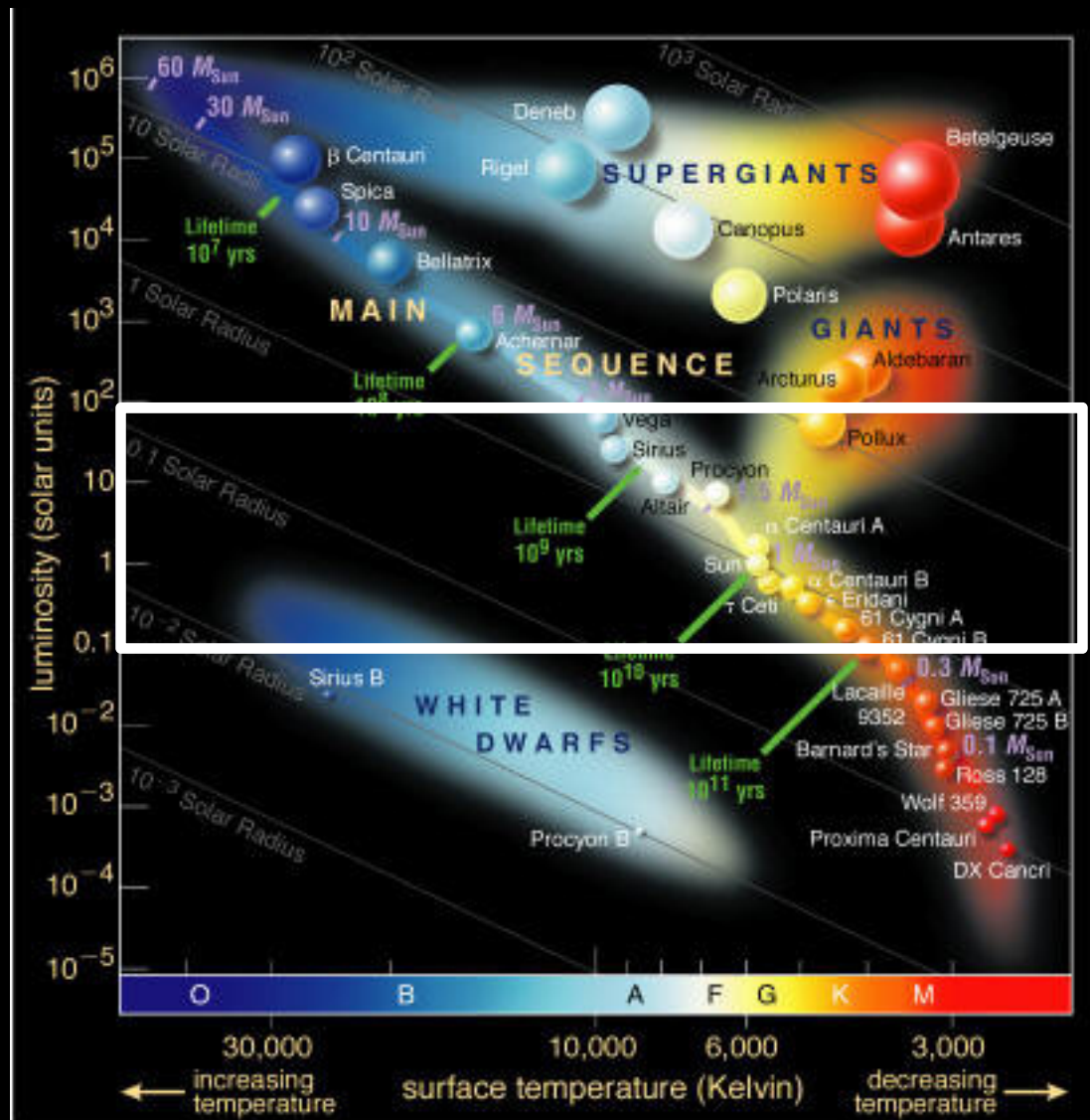
..cosa le accade dopo?
è la fine degli anni 20



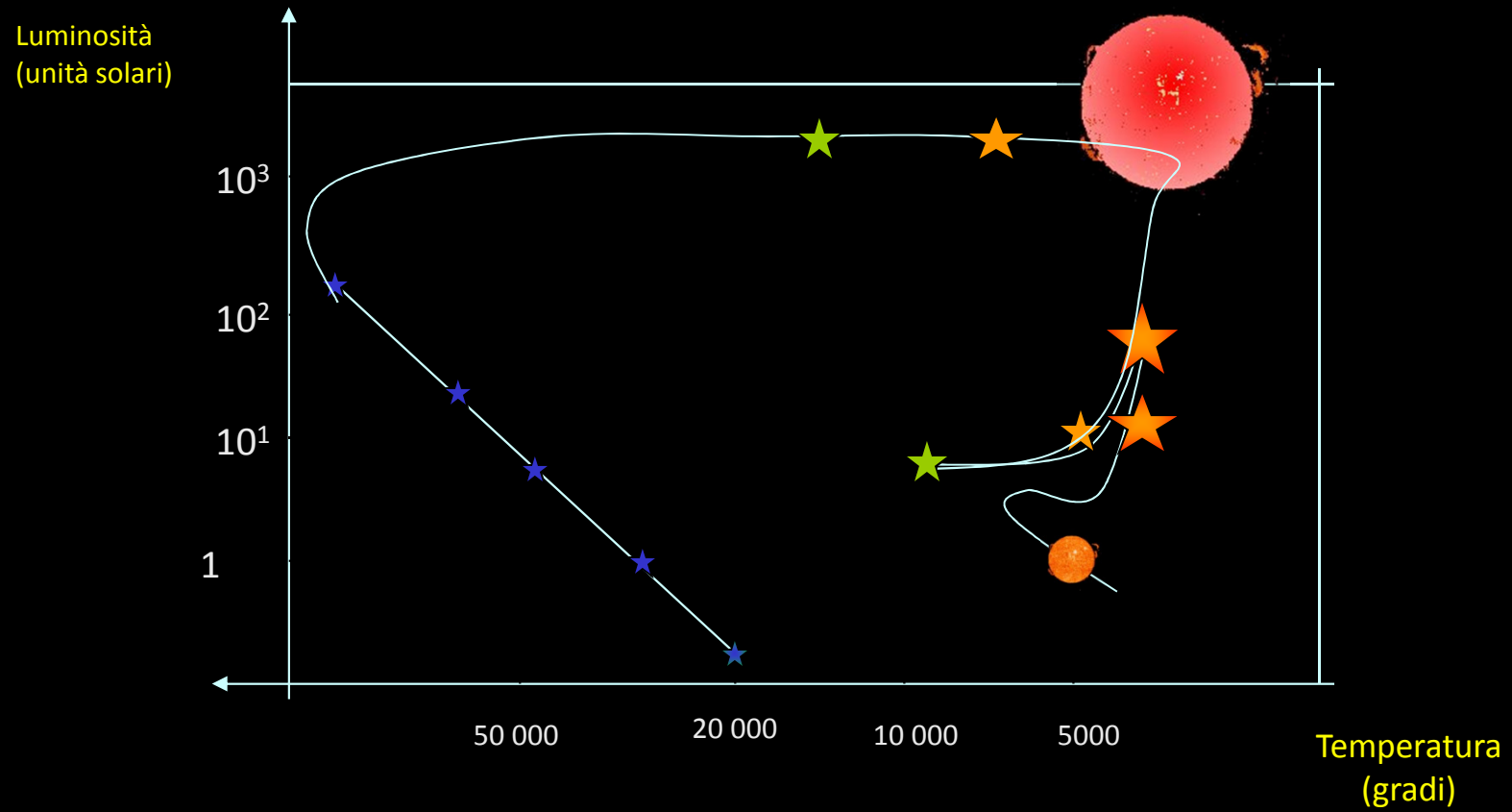


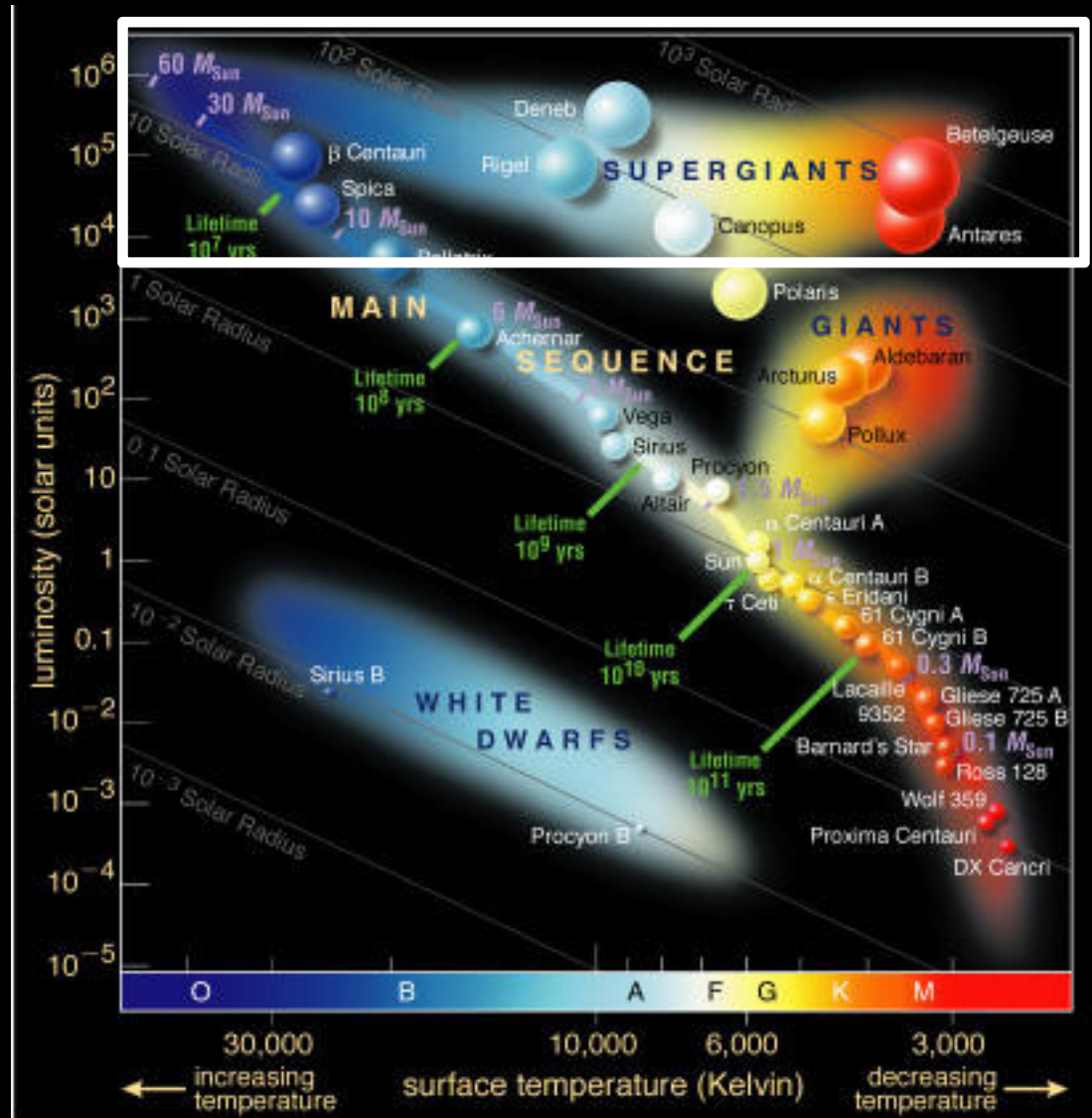




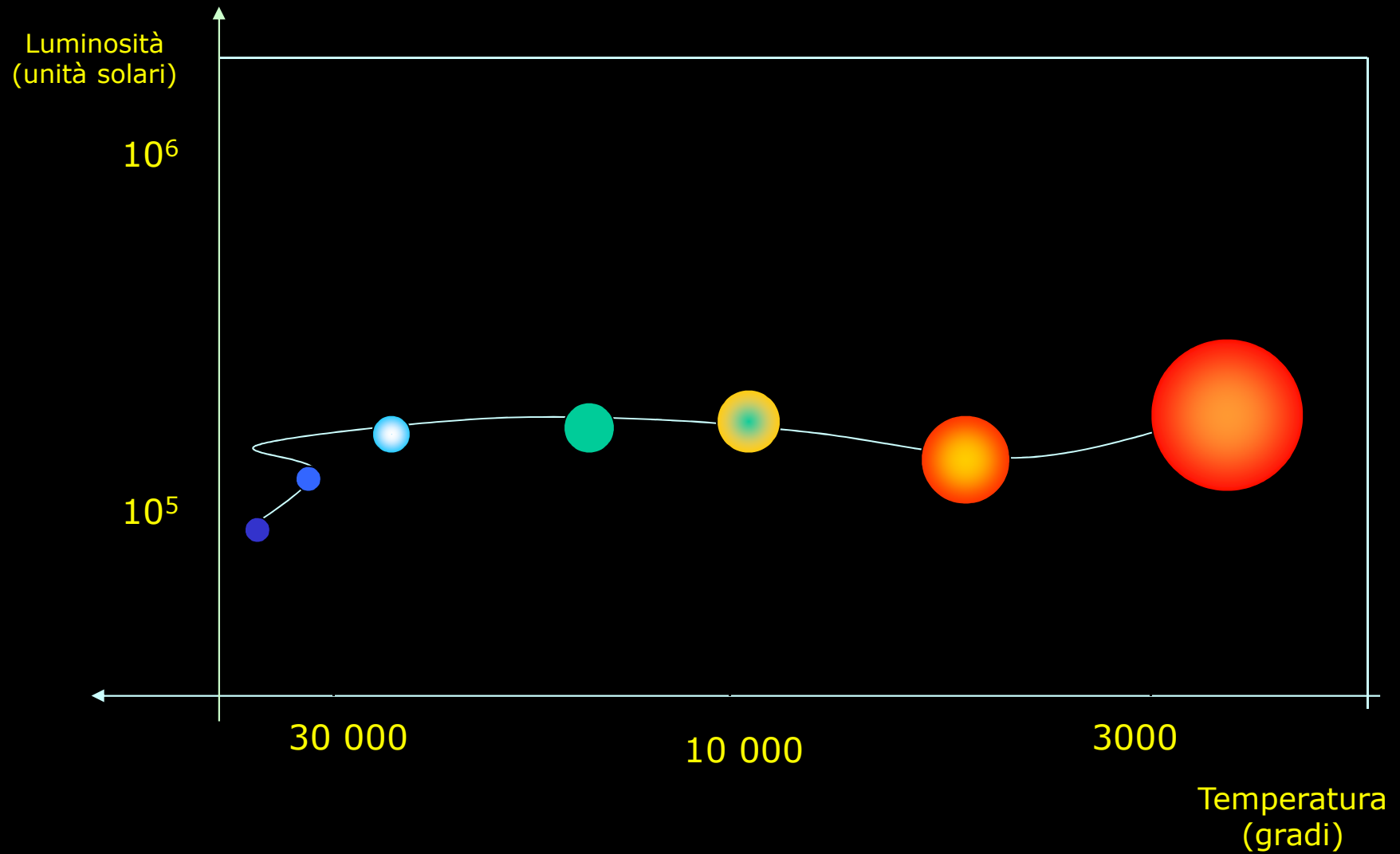


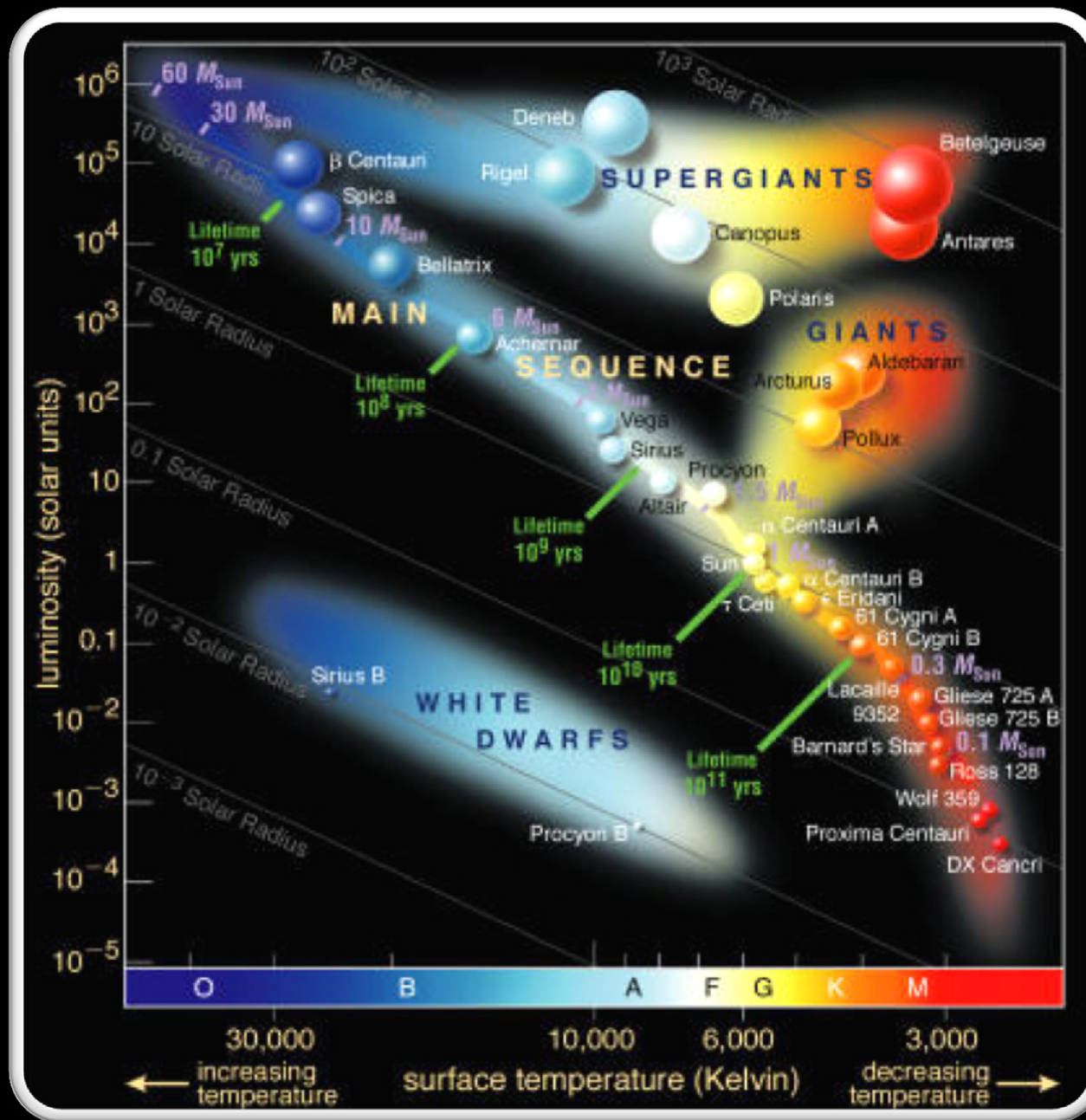
L'evoluzione di una stella come il Sole



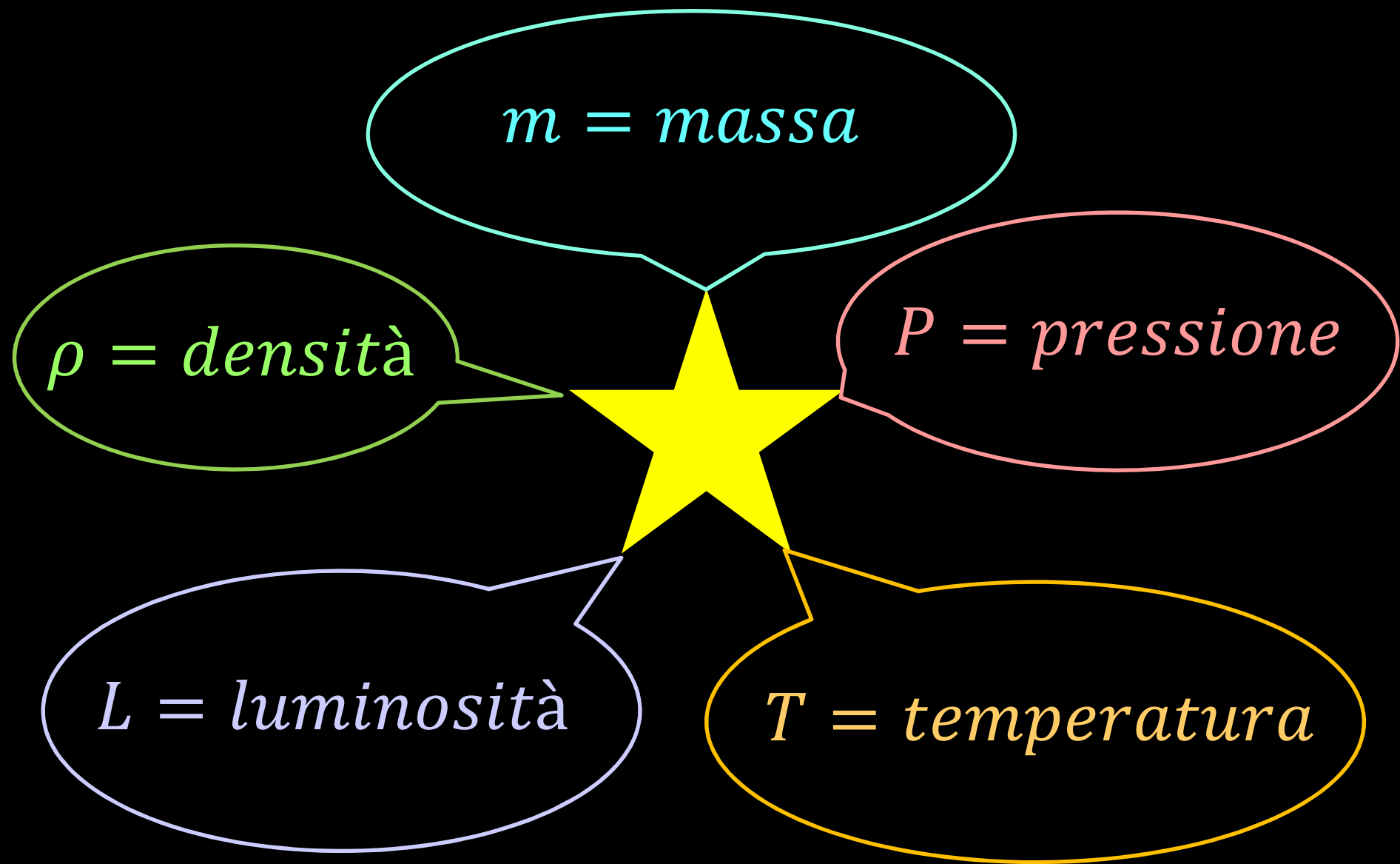


L'evoluzione di una stella di 25 masse solari





Modelli stellari – equilibrio stellare:



Modelli stellari – equilibrio stellare:

m

ρ

L

T

P

Equilibrio idrostatico:

$$\frac{dP}{dr} = -\rho \frac{Gm}{r^2}$$

Densità:

$$\frac{dm}{dr} = 4\pi r^2 \rho$$

Pressione :

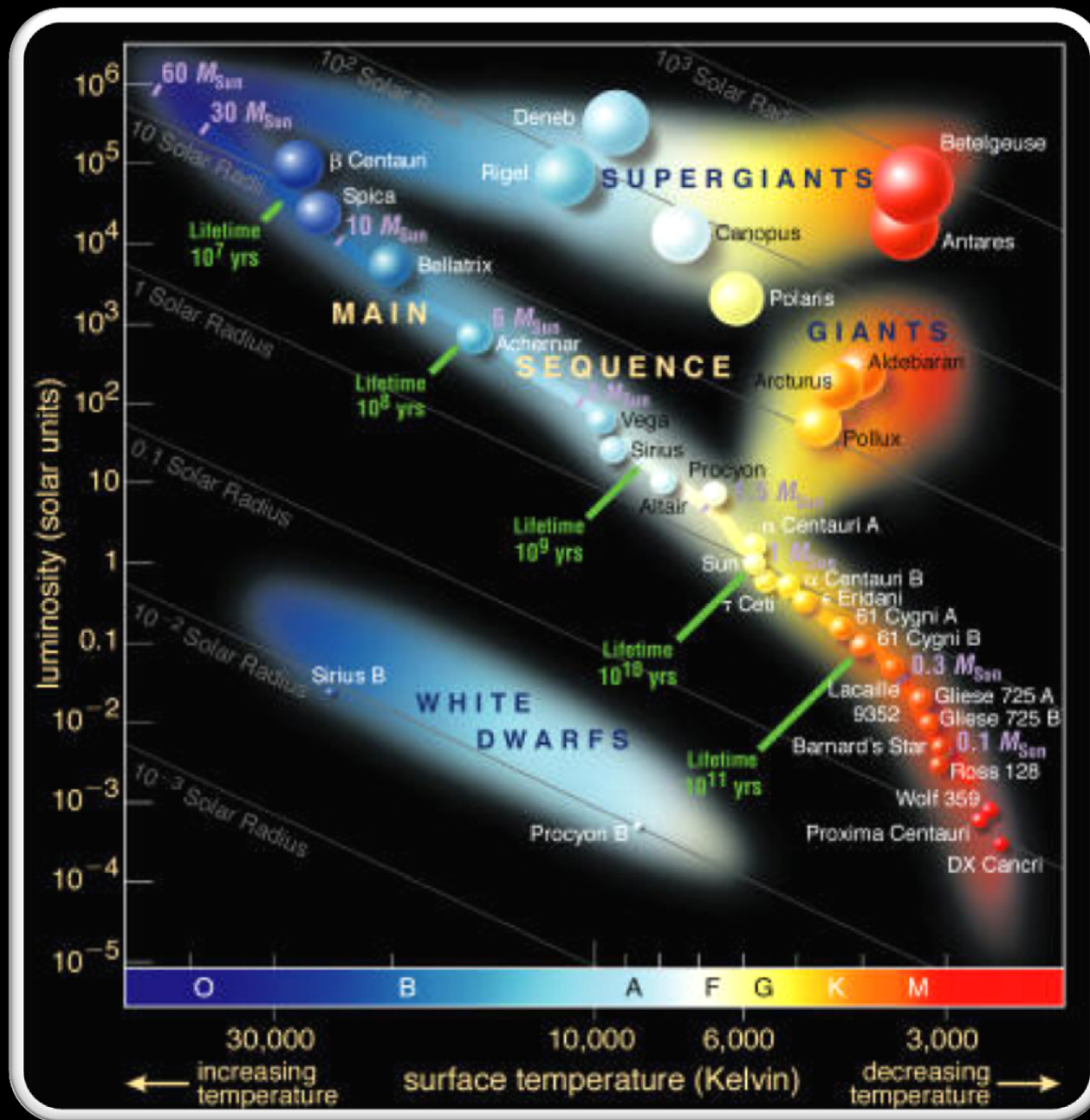
$$P = P_e + \frac{\rho k T}{m_h \mu} + \frac{1}{3} a T^4$$

Equilibrio energetico:

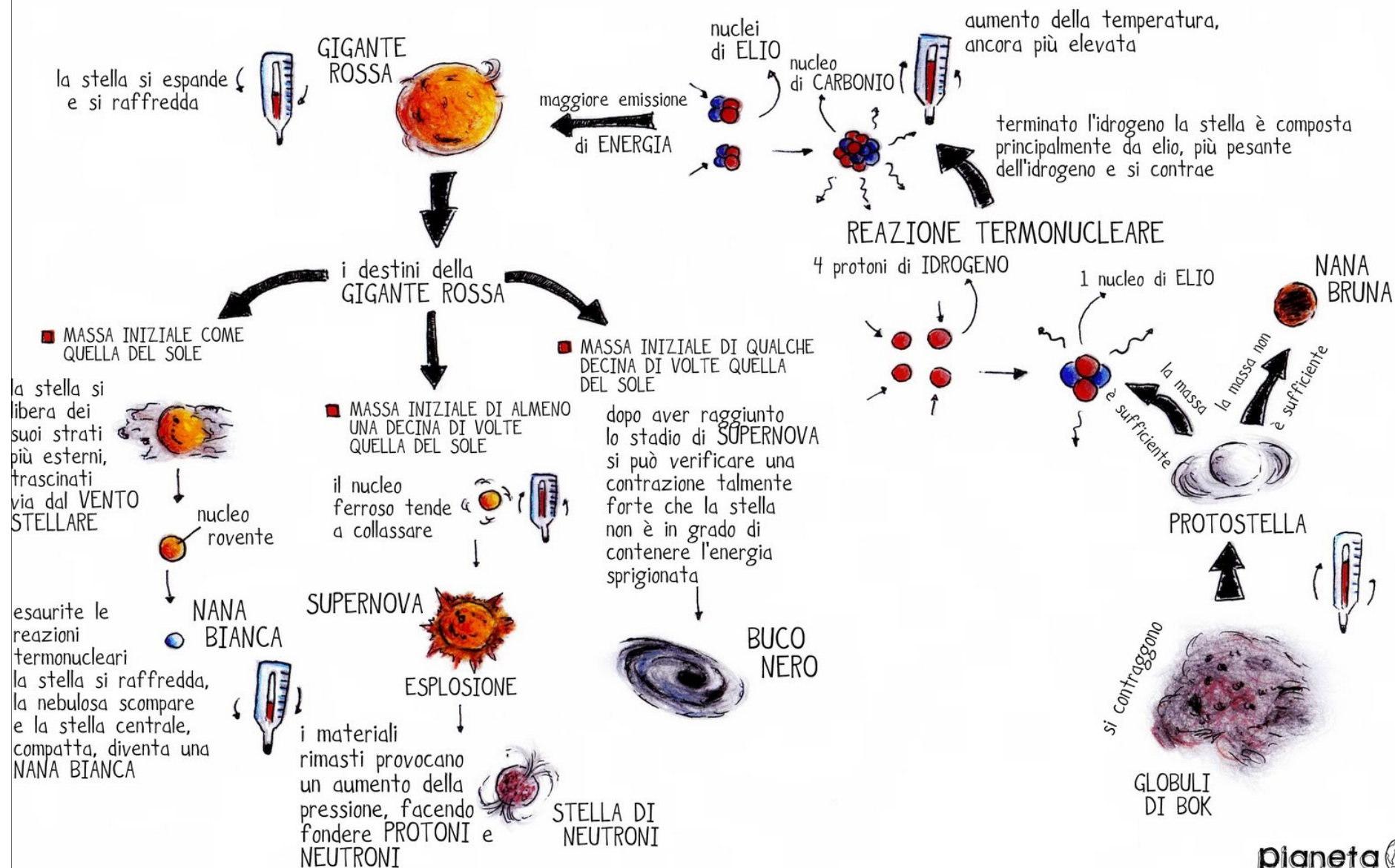
$$\frac{dL}{dr} = 4\pi r^2 \rho \varepsilon_{nuc}$$

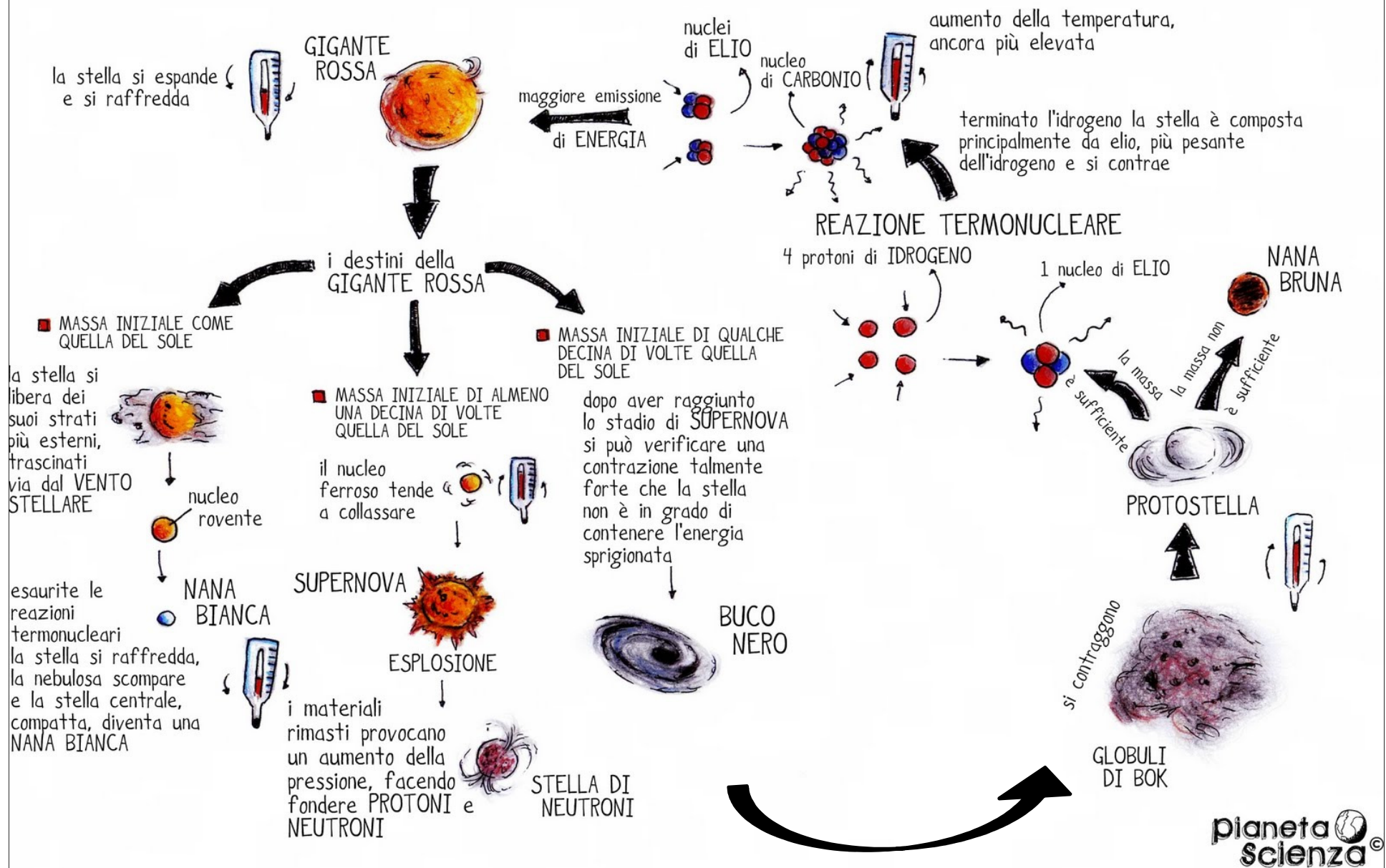
Trasferimento di energia:

$$\frac{dT}{dr} = \text{radiativo o convettivo}$$



Massa originale (in $M_{\odot}$)	Luminosità nella SP (in $L_{\odot}$)	Durata della SP ($\times 10^9$ anni)	Prodotto finale della fusione	Fenomeno terminale	Massa espulsa (in $M_{\odot}$)	Natura del residuo	Massa del residuo (in $M_{\odot}$)	Densità del residuo ($\times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$)	Raggio del residuo (in m)	Accel. di gravità (in m s^{-2})
30	10 000	0,006	ferro	supernova tipo Ib	24	buco nero	6	3×10^{15}	6192,21	$5,19 \times 10^{12}$
10	1 000	0,01	silicio	supernova tipo II	8,5	stella di neutroni	1,5	5×10^{14}	17861,44	$2,5 \times 10^{12}$
3	100	0,30	ossigeno	nebulosa planetaria	2,2	nana bianca	0,8	2×10^7	$2,67 \times 10^6$	$1,49 \times 10^7$
1	1	10	carbonio	nebulosa planetaria	0,3	nana bianca	0,7	10^7	$3,22 \times 10^6$	$8,99 \times 10^6$
0,3	0,004	800	elio	vento stellare	0,01	nana bianca	0,3	10^6	$5,22 \times 10^6$	$1,46 \times 10^6$





Dato oggettivo:
stelle isolate non esistono





Nubi molecolari con masse
fino a migliaia di volte la
massa del sole

Il collasso gravitazionale di
una nube porta alla
formazione di stelle









Idrogeno neutro
T= 100 K (-163 ° C)
10 - 100 atomi /cm³

1000 masse solari

Idrogeno ionizzato
T= 10000 K (9700 ° C)
0,1 -1 atomo /cm³

Idrogeno neutro
T= 100 K (-163 ° C)
10 - 100 atomi /cm³

$$M_{jeans} = const T^{\frac{3}{2}} / \rho^{\frac{1}{2}}$$

Pleiadi (M 45 - NGC 1432)

Tipo: **Nebulosa**

RA/DE (J2000): 3h45m48.0s/+24°22'00.0"

RA/DE (della data): 3h46m45s/+24°24'56"

Angolo orario/DE: 23h57m7s/+24°24'56" (geometrico)

Angolo orario/DE: 23h57m7s/+24°24'60" (apparente)

Az/Alt: +178°10'25"/+68°55'39" (geometrico)

Az/Alt: +178°10'25"/+68°55'43" (apparente)

Dimensione: +0°30'00"



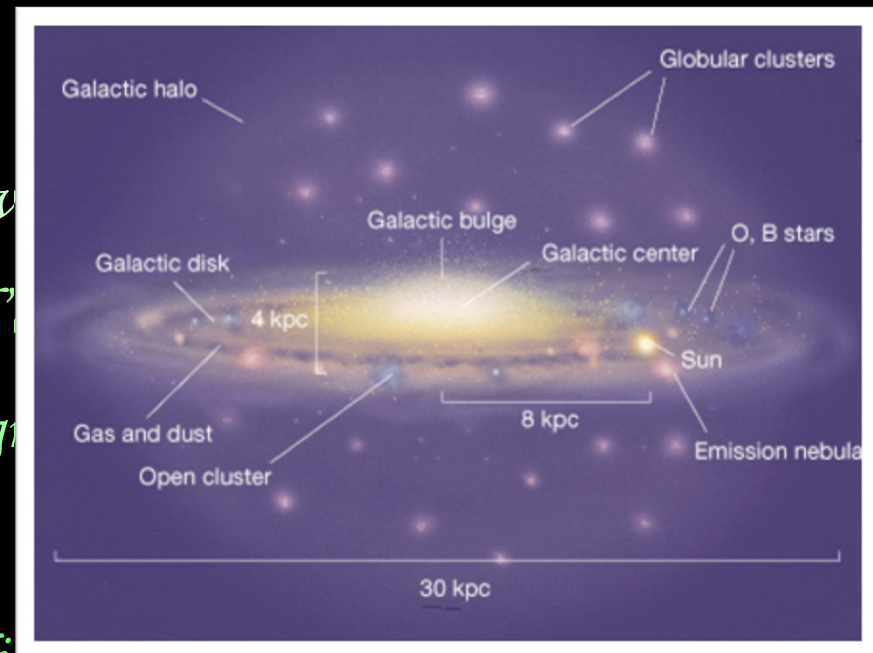


Ammassi stellari aperti

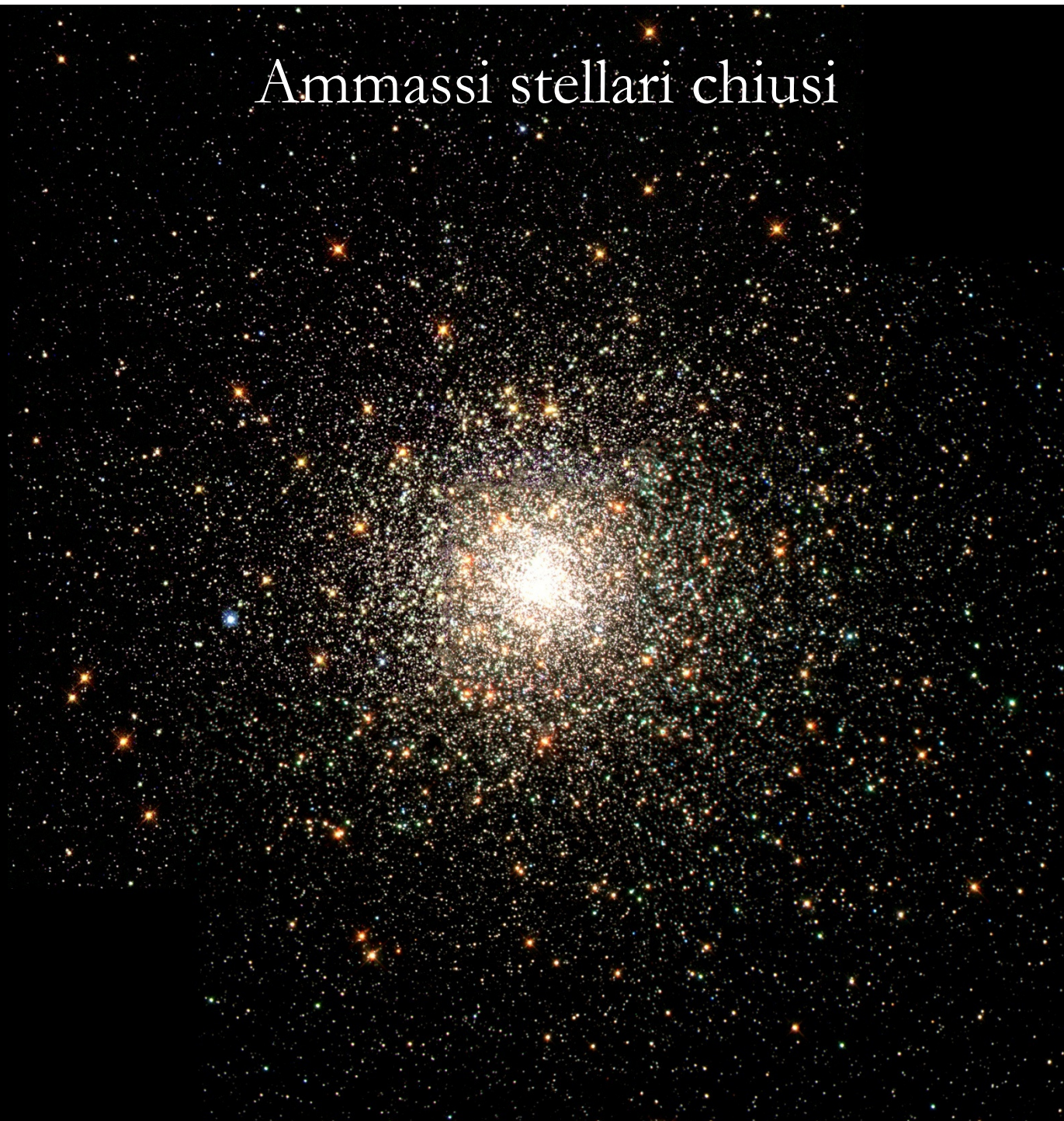


- ✓ *Strutture formate da alcune centinaia di stelle,*
- ✓ *spesso molto giovani*
- ✓ *occupano un raggio di 30 anni luce circa*
- ✓ *stanno nel piano galattico*

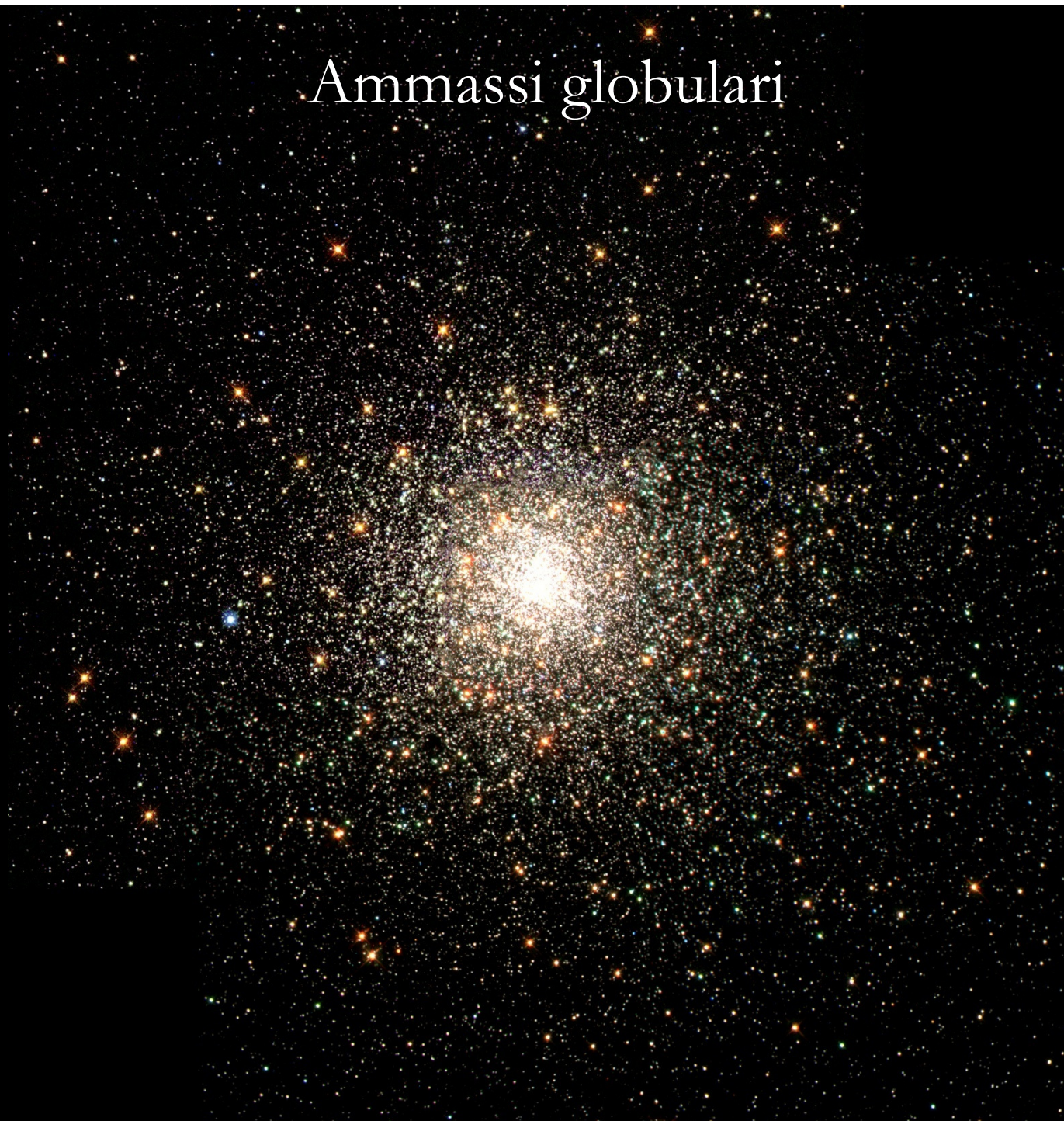
- ✓ *Tutte le stelle dell'ammasso sono coeve*
- ✓ *Sono debolmente legate tra di loro: l'ammasso è facilmente distrutto da interazioni gravitazionali con altre nubi molecolari*
- ✓ *Sopravvivono per alcune centinaia di milioni di anni*



Ammassi stellari chiusi

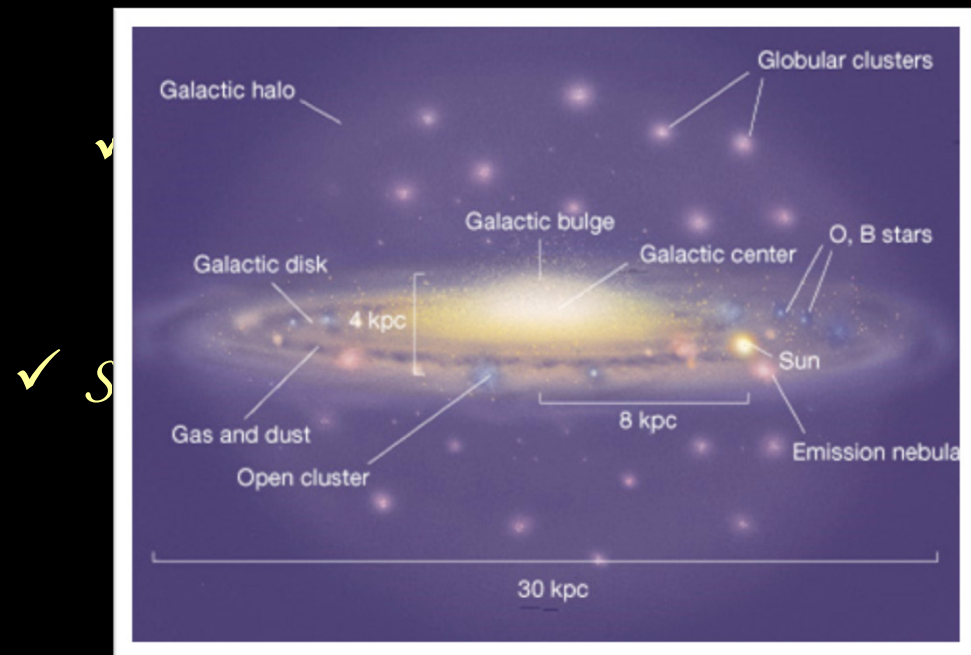


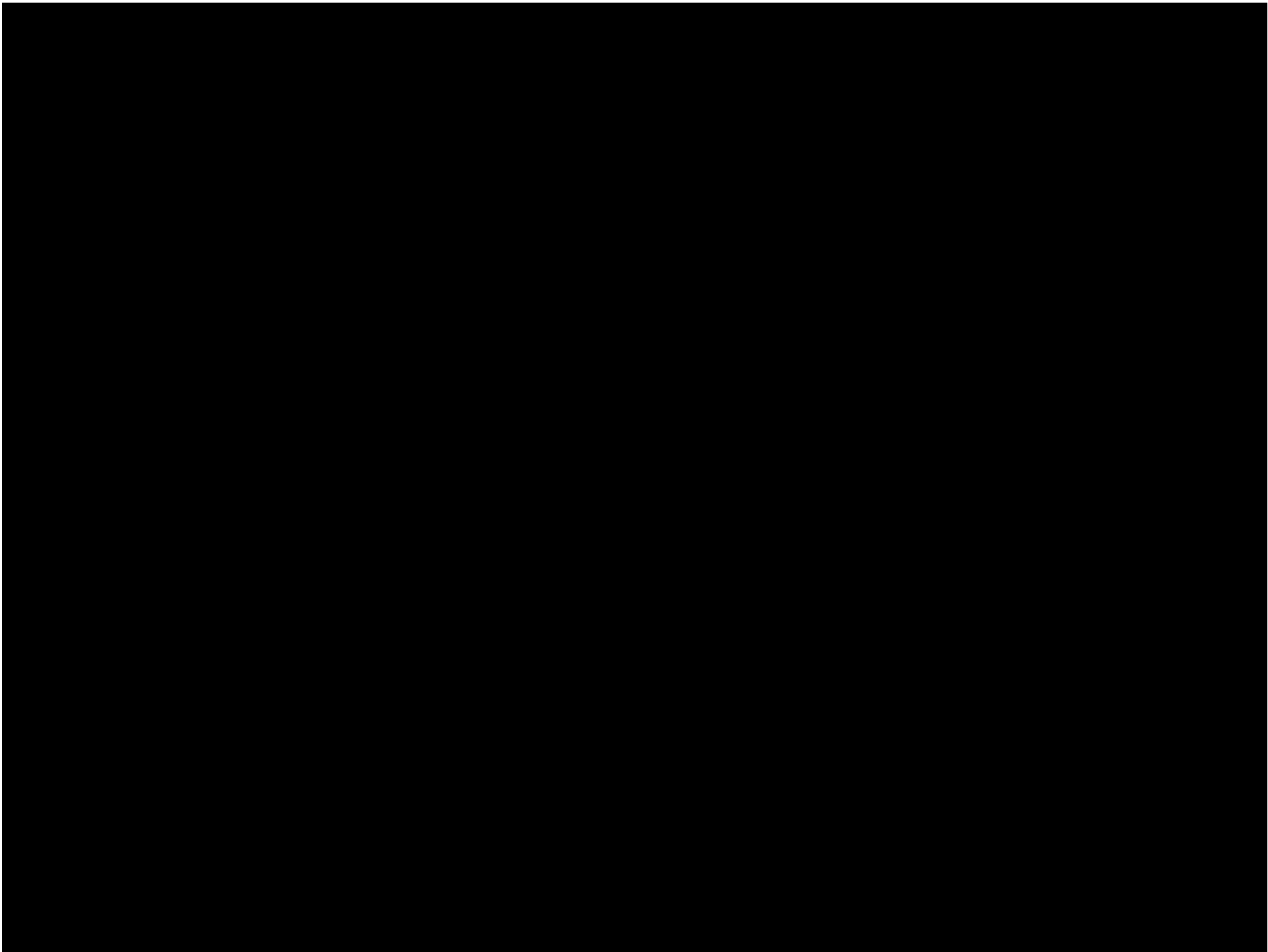
Ammassi globulari

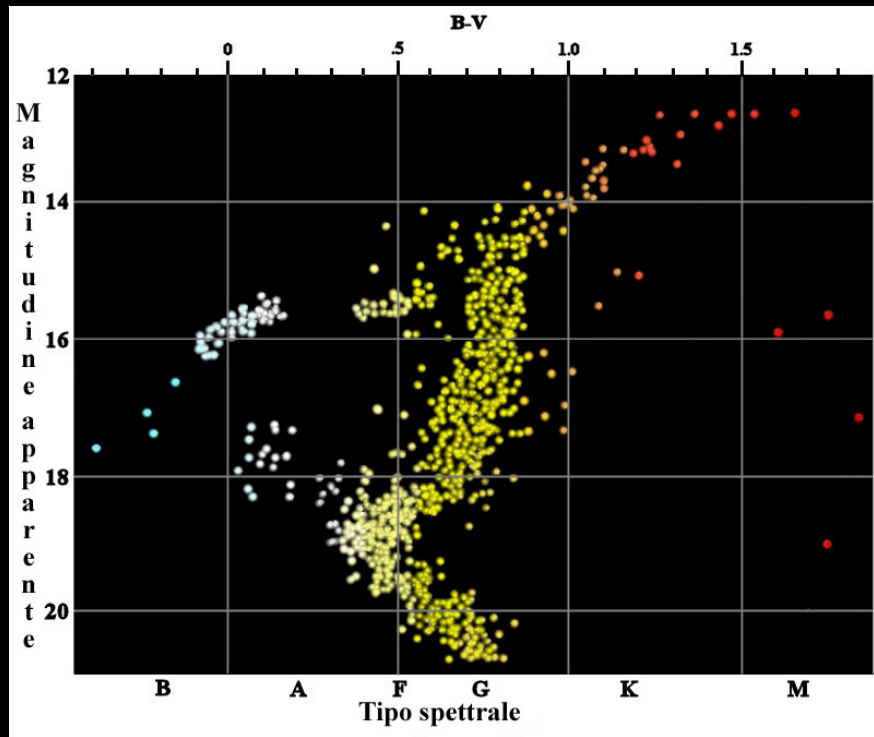
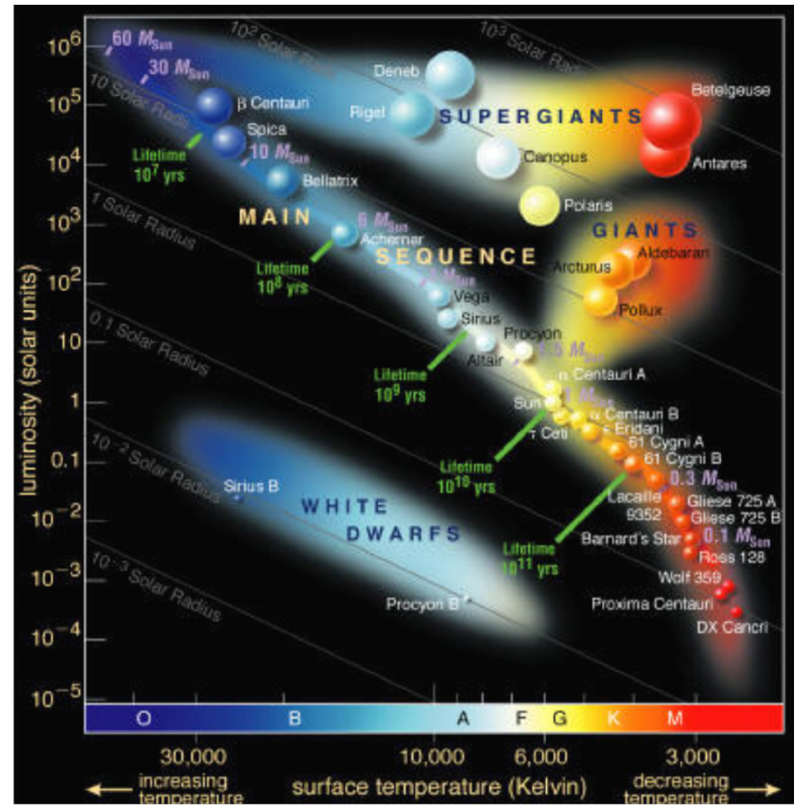


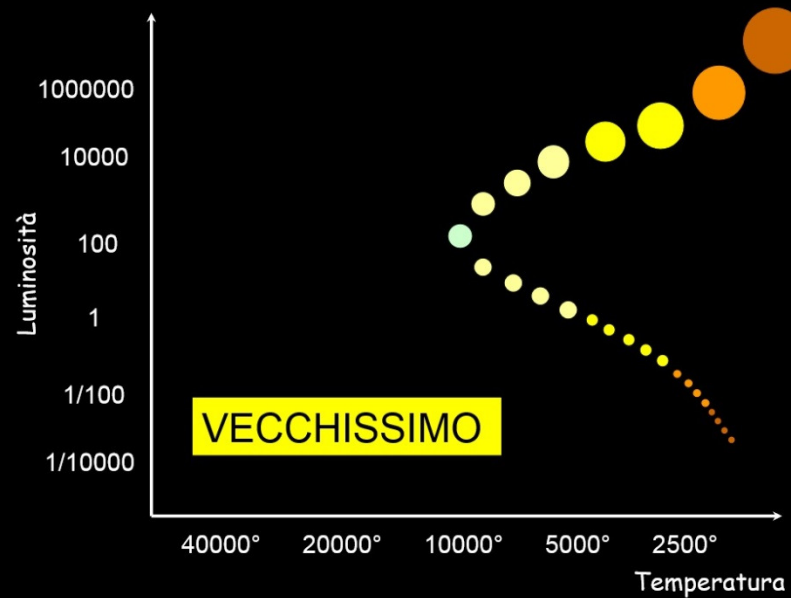
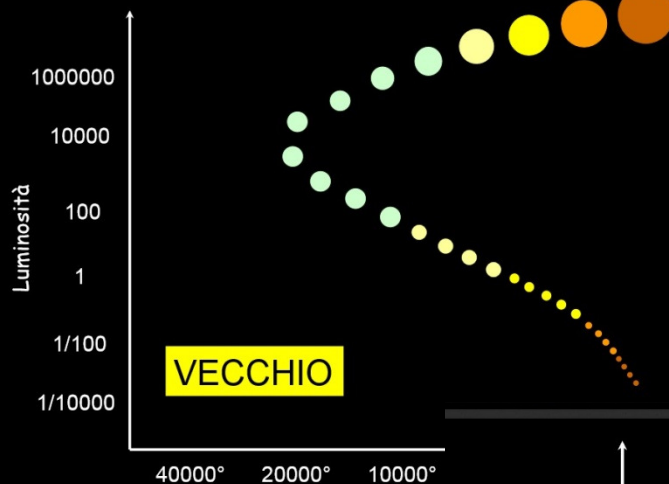
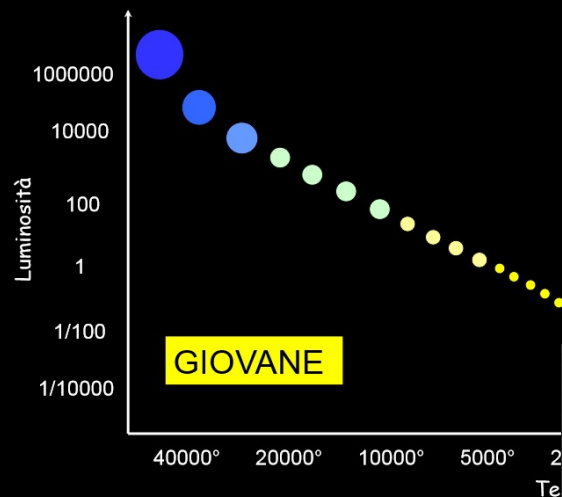
Ammassi globularari

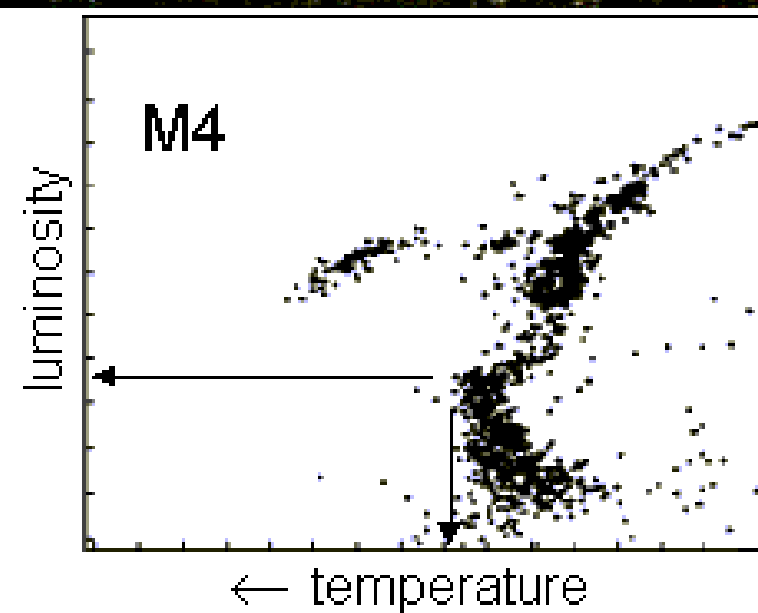
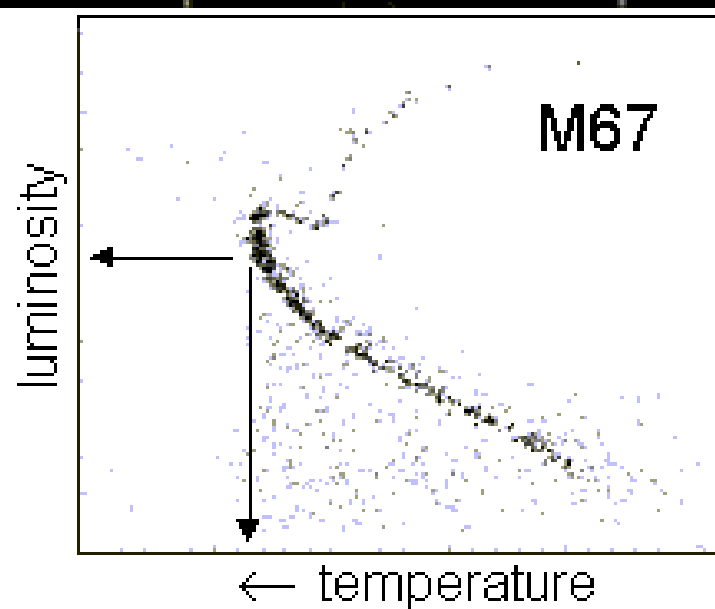
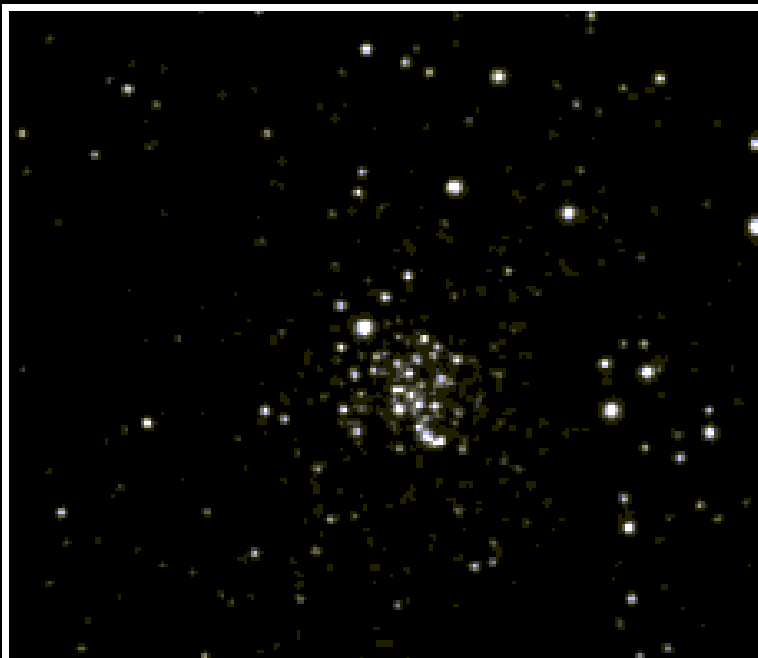
- ✓ *Strutture formate da decine di migliaia a milioni di stelle*
- ✓ *spesso molto vecchie*
- ✓ *occupano un raggio di 10/30 anni luce circa*
- ✓ *Sono distribuiti uniformemente nell'alone delle galassie*

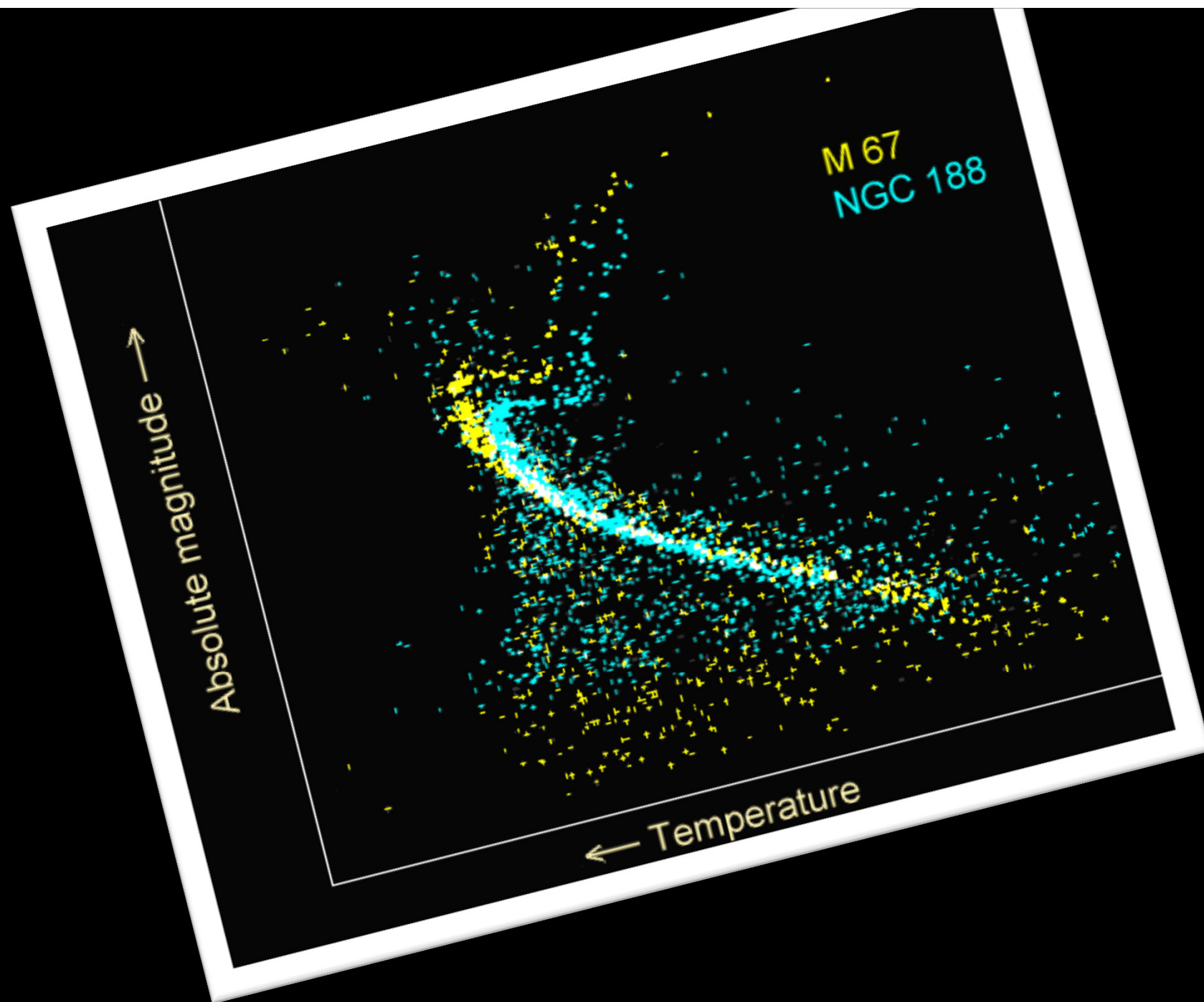










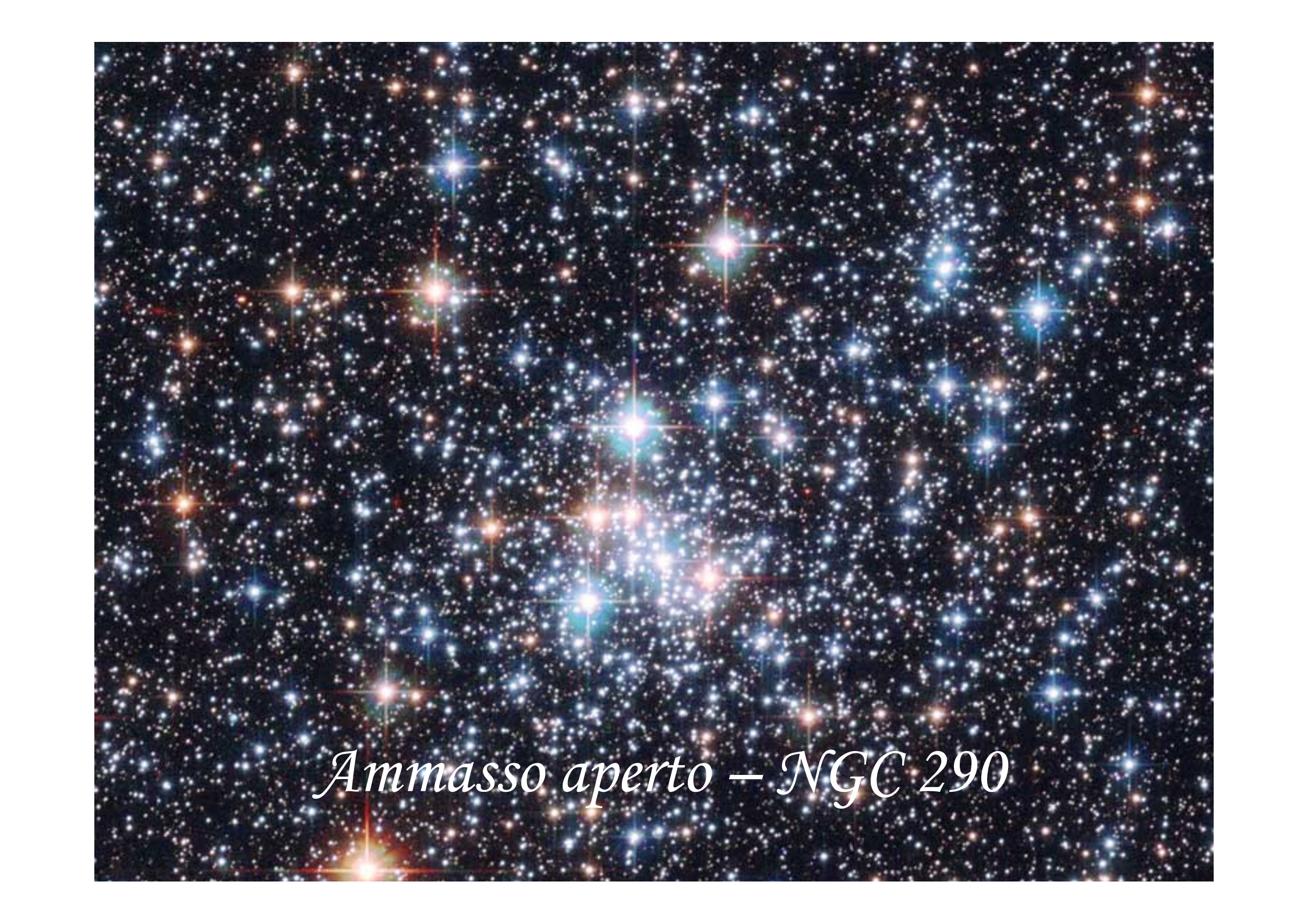




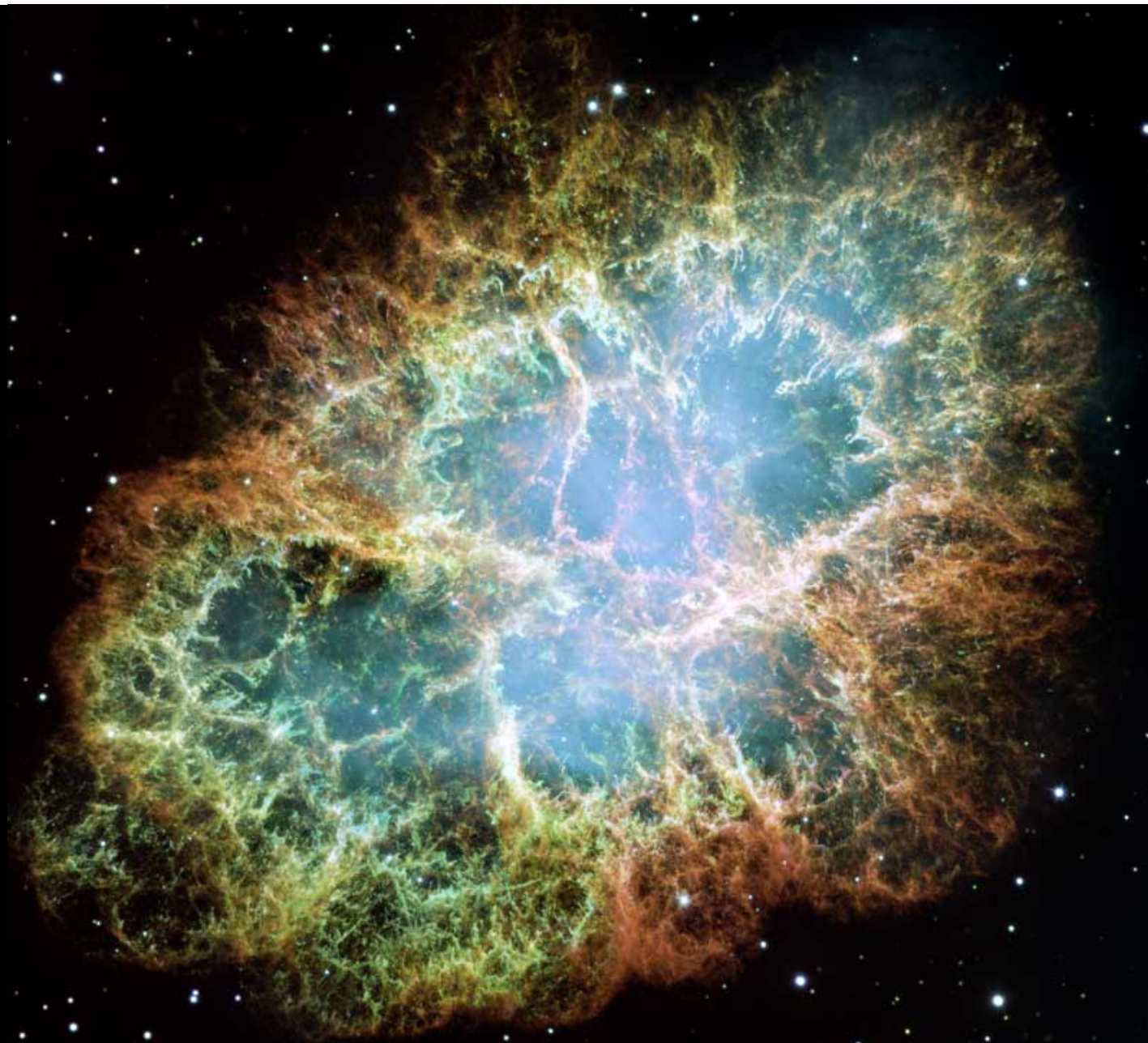
Ammasso aperto- NGC 3603



Nebulosa della carena – formazione stellare



Ammasso aperto – NGC 290



Nebulosa del granchio - Resto di supernova



Ammasso globulare — Omega Centauri



Getto di gas nella nebulosa della carena

A photograph of the Helix Planetary Nebula (NGC 6302) in space. The nebula is a glowing, multi-colored cloud of gas and dust, primarily showing shades of red, orange, and purple, with some green and blue highlights. It has a complex, filamentary structure with many bright spots and a central region of higher density. The background is a deep black space filled with numerous small, distant stars.

Nebulosa planetaria – NGC 6302



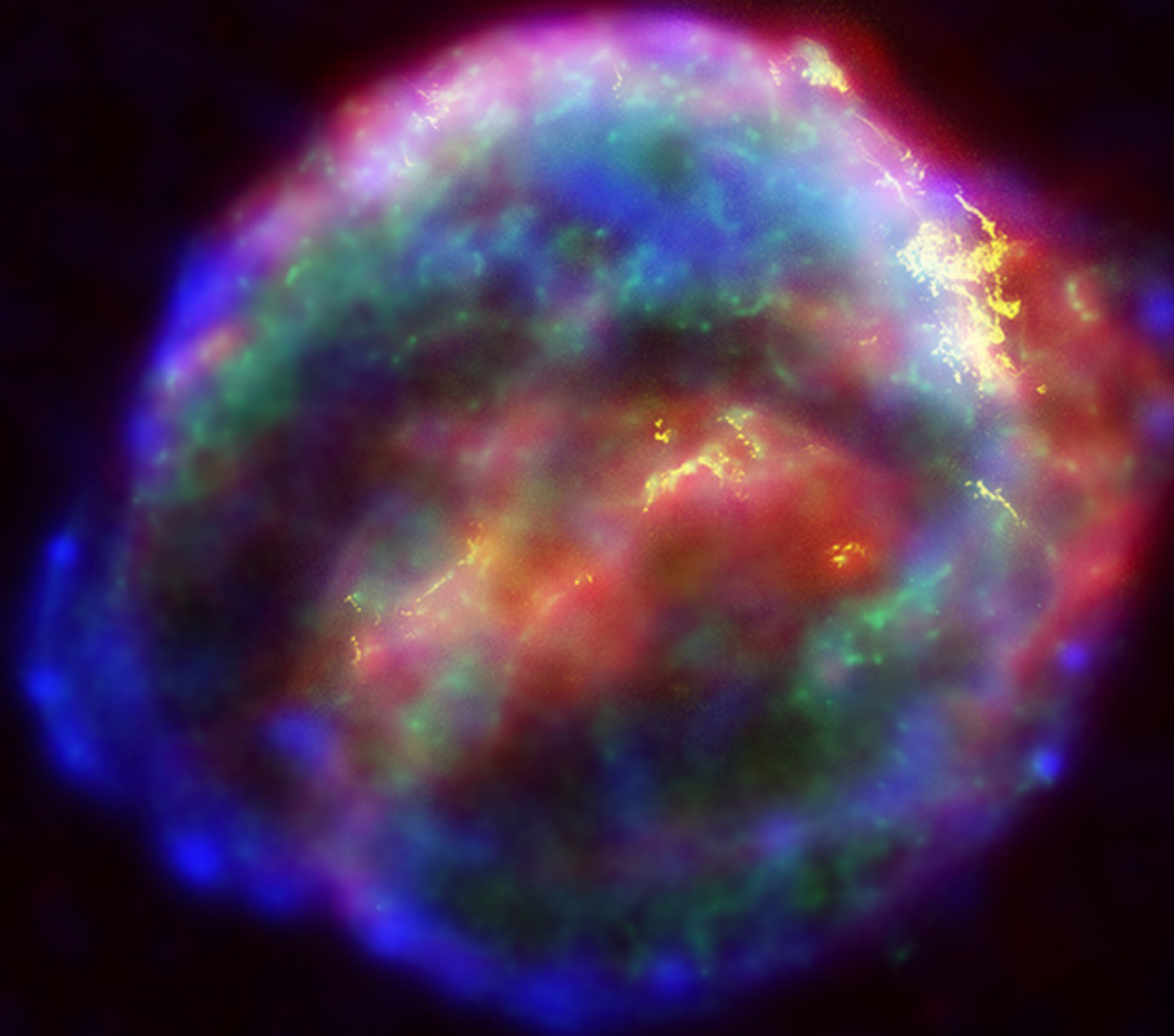
V838 Monocerotis – stella variabile



Ammasso globulare – M80



Nebulosa planetaria - Occhio di gatto



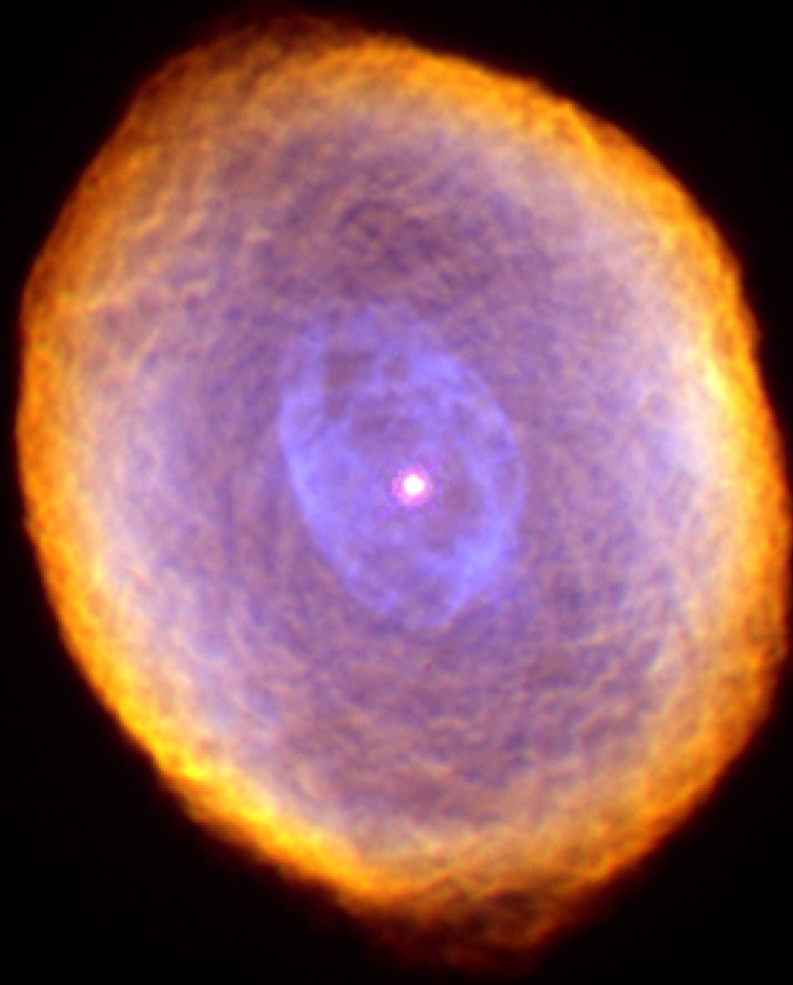
Resti della supernova Keplero



Formazione stellare nella piccola nube di Magellano



Ammasso globulare NGC 1846



Nebulosa planetaria – IC 418



Nebulosa testa di cavallo – formazione stellare



Nebulosa planetaria - Clessidra



*«La Chiocchetta per l'aia azzurra
va co suo pigolio di stelle»*

- Il gelsomino notturno - G. Pascoli