



Cosa alimenta le stelle?



Stefano Covino
INAF / Osservatorio Astronomico di Brera

Dato di ingresso: il Sole splende...

- La quantità di energia che riceviamo dal Sole è nota come **Costante Solare (CS)**: $1,37 \text{ kW/m}^2$.
- Il Sole dista dalla Terra una **Unità Astronomica (UA)**: 150 milioni di km ($1,5 \times 10^{11} \text{ m}$).
- Quindi la **Luminosità (L)** del Sole risulta: $L = 4\pi R^2 \sim 4 \times 10^{26} \text{ W}$, spesso indicata come L_{\odot} .



Da quanto tempo brilla?

- Le rocce più antiche datate sulla Terra risultano essere vecchie poco meno di 4 miliardi di anni!
- In effetti, noi oggi sappiamo che la nostra stella ha circa 5 miliardi d'anni, ed i pianeti del sistema solare un'età simile.
- Grossomodo, da informazioni paleontologiche (ed astrofisiche), sappiamo che il Sole ha brillato con luminosità "simile" per tutto questo tempo.



Come produco tutta questa energia?

- La materia in un campo gravitazionale può convertire energia potenziale in energia cinetica. È così che si formano le stelle...
- L'energia potenziale gravitazione a disposizione del Sole ($M_{\odot} \sim 2 \times 10^{30}$ kg) è: $E_{\text{pot}} = M^2 G / R \sim 4 \times 10^{41}$ J.



Isaac Newton
1642 - 1727





William Thomson, I Barone Kelvin
1824 - 1907

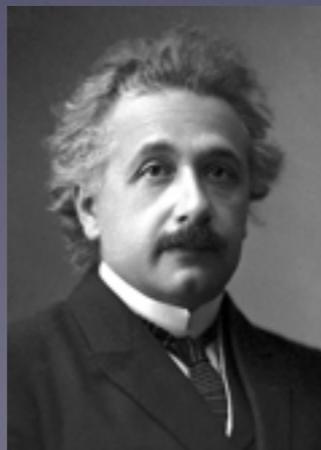


Herman Von Helmholtz
1821 - 1894

- Si tratta di una rimarchevole quantità di energia. Ma è abbastanza per spiegare la luminosità del Sole?
- Per avere un'idea del tempo in cui il Sole potrebbe avere brillato a spese della sua energia potenziale gravitazionale possiamo semplicemente dividere l'energia per la luminosità: $E_{\text{pot}} / L_{\odot} \sim 4 \times 10^{41} \text{ J} / 4 \times 10^{26} \text{ J s}^{-1} \sim 30$ milioni di anni.
- Noi ora sappiamo che è troppo poco. Ma fino alla fine dell'800 l'argomento era ampiamente dibattuto.

La relatività ci aiuta...

- A causa dell'equivalenza massa/energia possiamo calcolare l'energia equivalente del Sole: $E = M_{\odot}c^2 \sim 1.8 \times 10^{47}$ J.
- Un milione di volte di più del contenuto in energia gravitazionale. Con questo serbatoio a disposizione il Sole potrebbe brillare per decine di miliardi di anni...
- Ma come può essere possibile utilizzare questa energia?



Albert Einstein
1879 - 1955

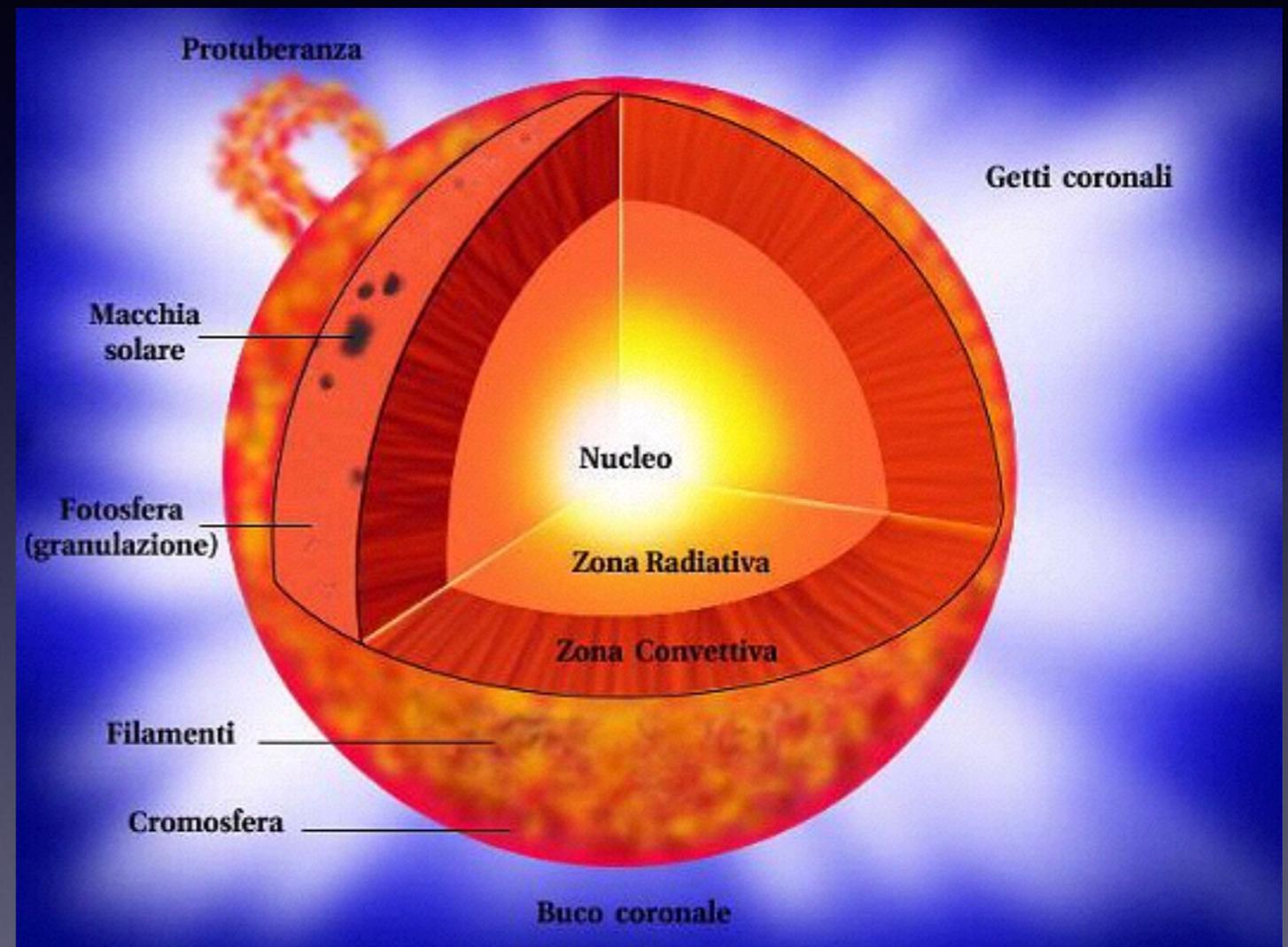


La risposta è la fusione nucleare!

- La luminosità di una stella è alimentata dalla fusione nucleare che ha luogo nel centro (non solo...) delle stesse.

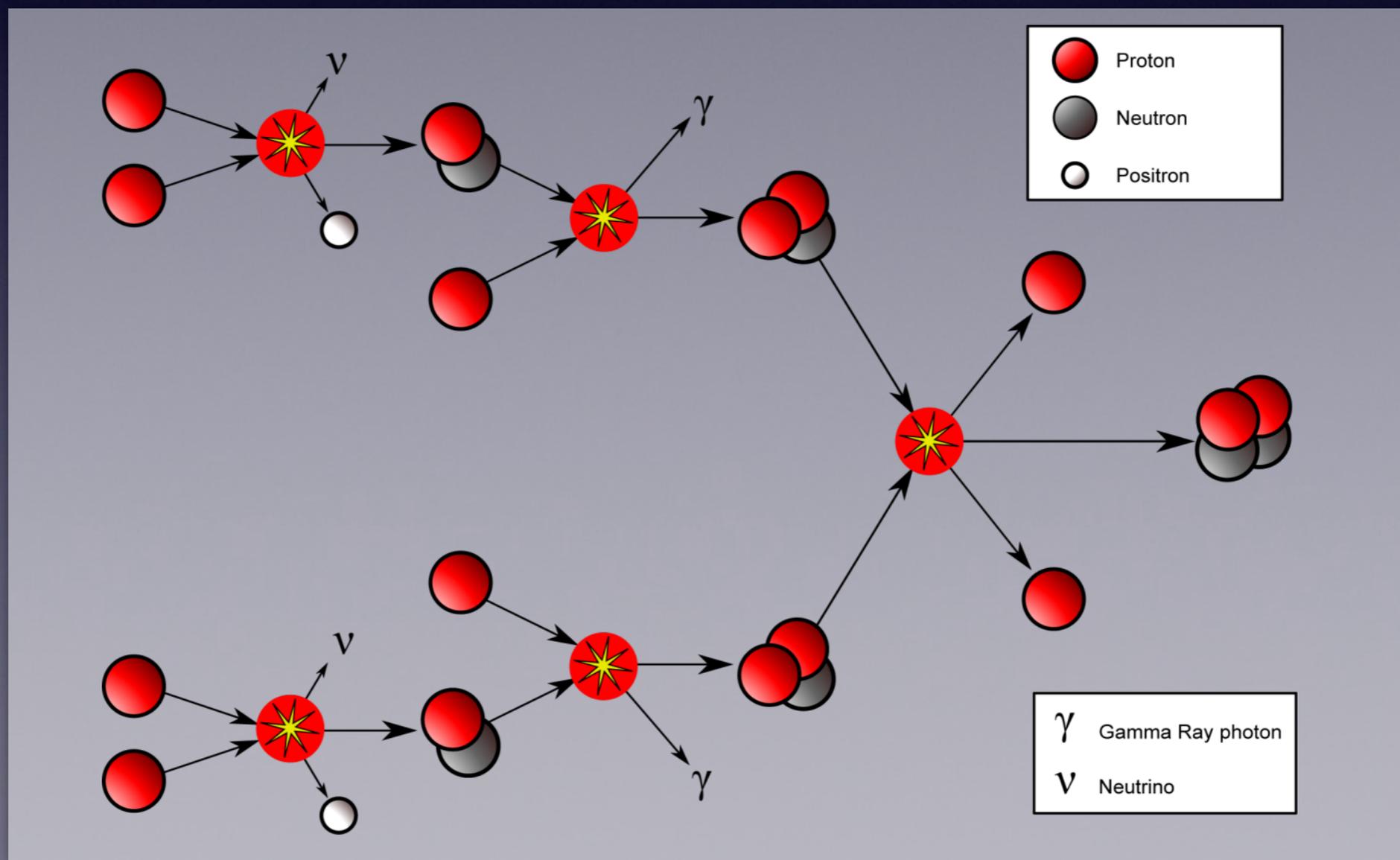


Hans Bethe
1906 - 2005



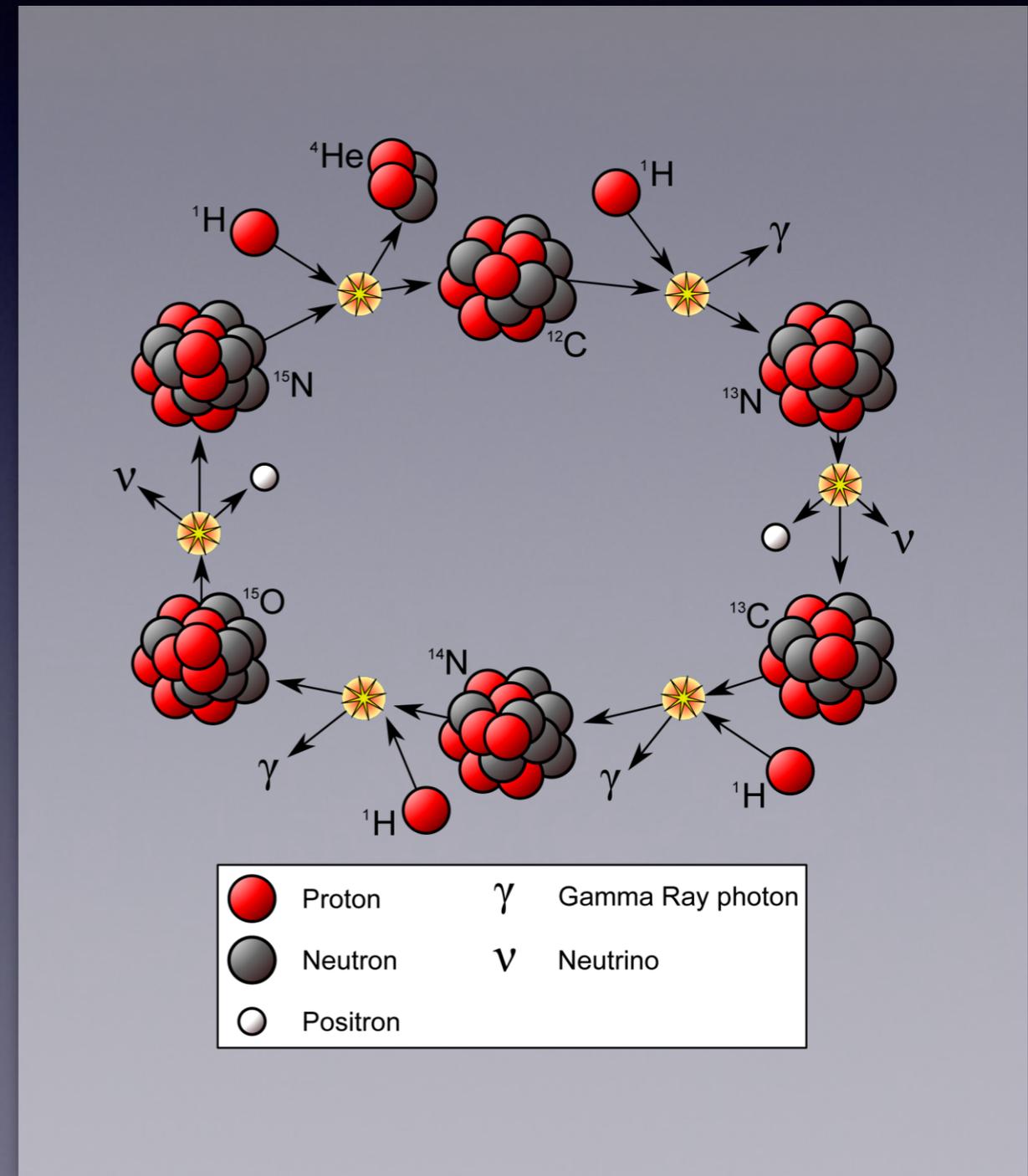
La fusione protone-protone

- A temperature sopra i 4 milioni di gradi si ha la fusione dell'idrogeno.



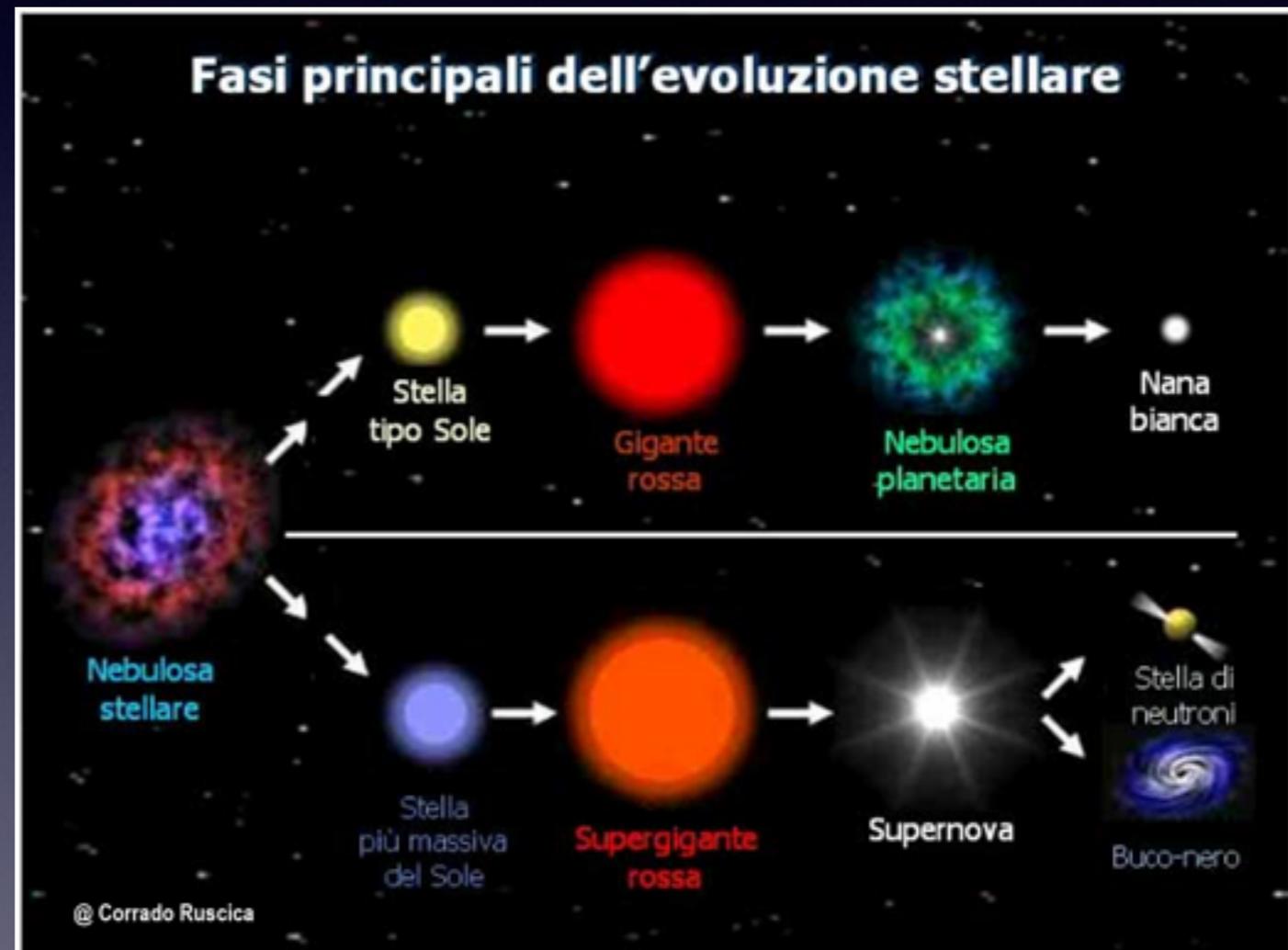
Se il plasma non è composto da solo idrogeno è attivo il ciclo CNO

- A temperature sopra i 17 milioni di gradi gli elementi carbonio, azoto ed ossigeno fungono da catalizzatori.
- Nel Sole entrambi i cicli sono attivi.



Dopo l'idrogeno...

- Una stelle, essenzialmente, è una macchina in equilibrio fra gravità e generazione di energia.
- Al ridursi della generazione di energia una stelle tende a contrarsi e liberare energia gravitazionale. La temperatura aumenta!
- A seconde della massa della stella, e da altri fattori secondari, può innescarsi la fusione dell'elio.

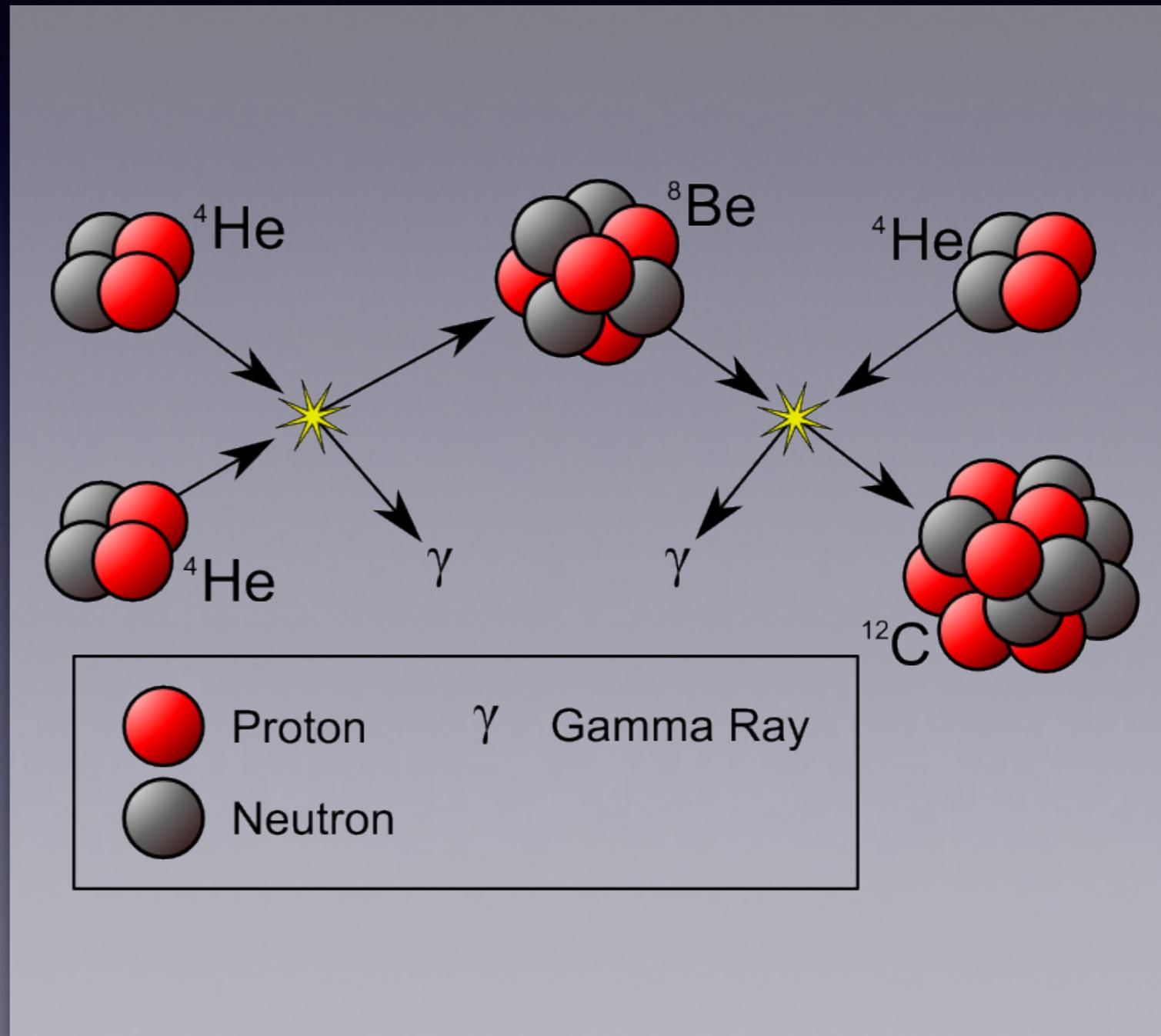


Il processo “tre-Alfa”

- A temperature superiori ai 100 milioni di gradi l'elio può fondersi producendo carbonio



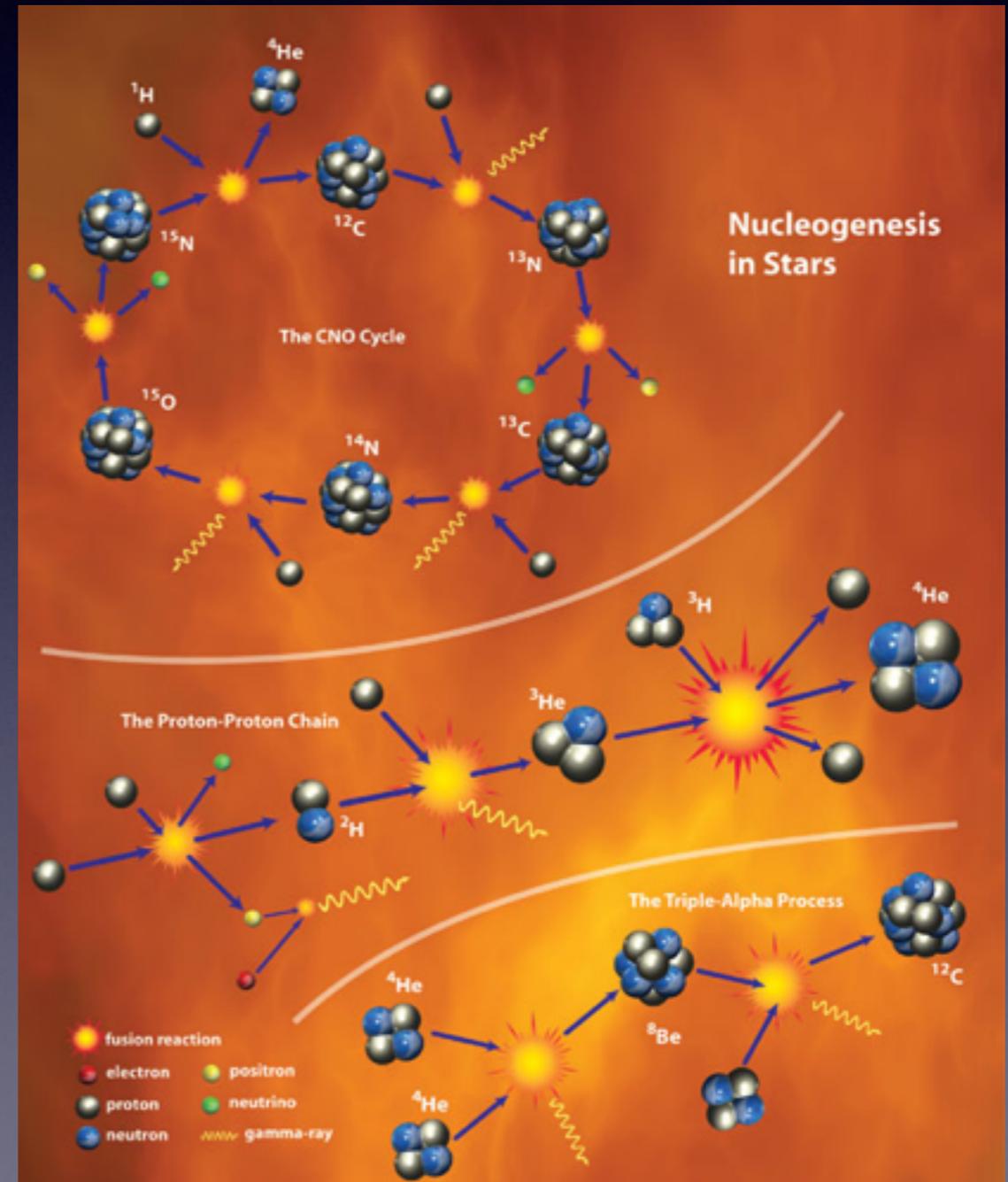
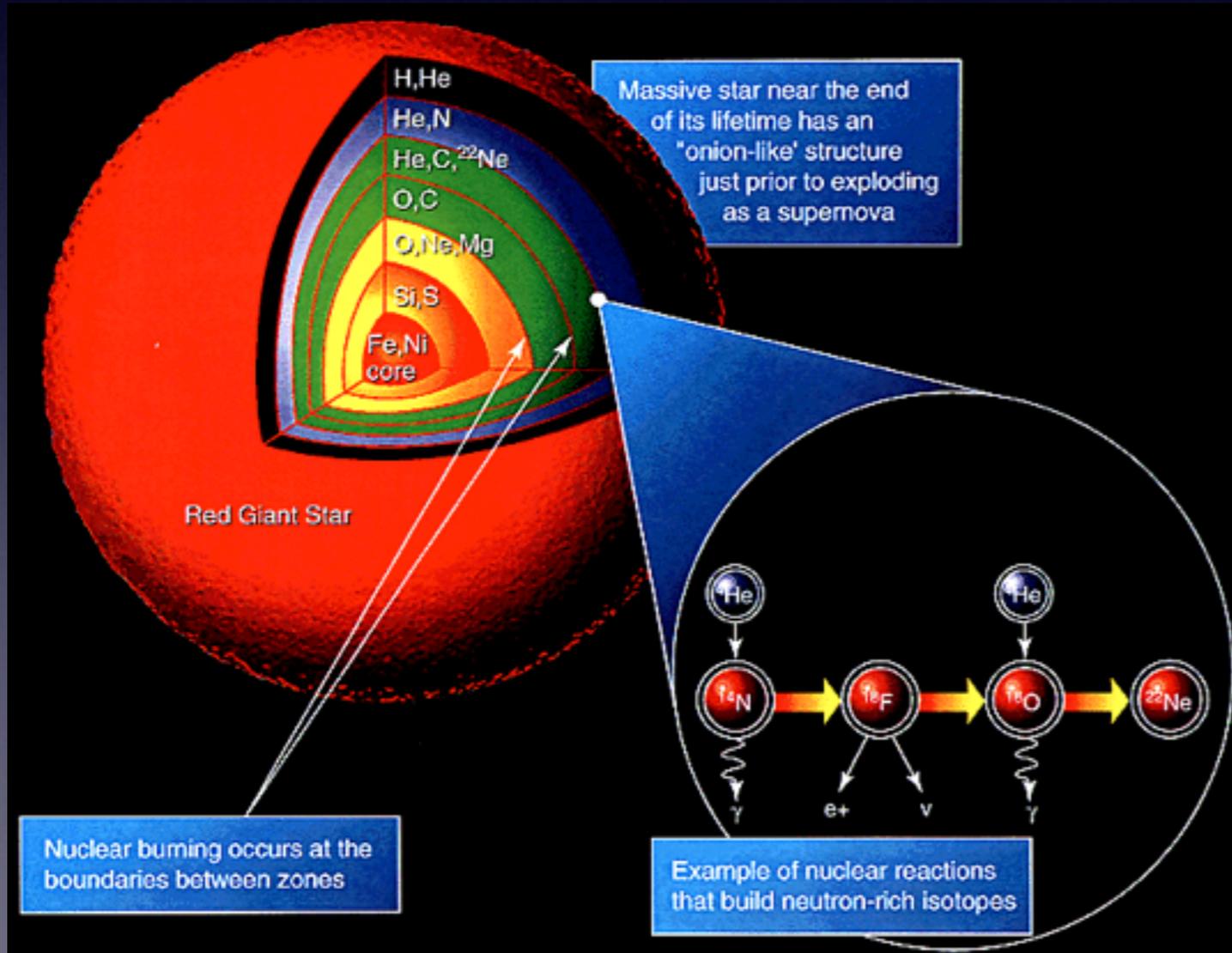
Fred Hoyle
1915 - 2001



N, O, Mg, Si, Z, Ar, Ca, Ti, Cr, Fe...

- Attraverso continue interazioni con altri nuclei di elio, a temperature sempre crescenti, abbiamo la formazione di pressoché tutti gli elementi fino al ferro.
- Oltre il ferro non è più possibile produrre elementi tramite fusione in quanto la stessa richiederebbe più energia di quella che sarebbe in grado di produrre.
- Tipiche temperature: C 500 milioni di gradi, Ne 1,2 miliardi, O 1,5 miliardi, Si 3 miliardi di gradi, ecc.

- In pratica le stelle evolute assumono una struttura a cipolla:



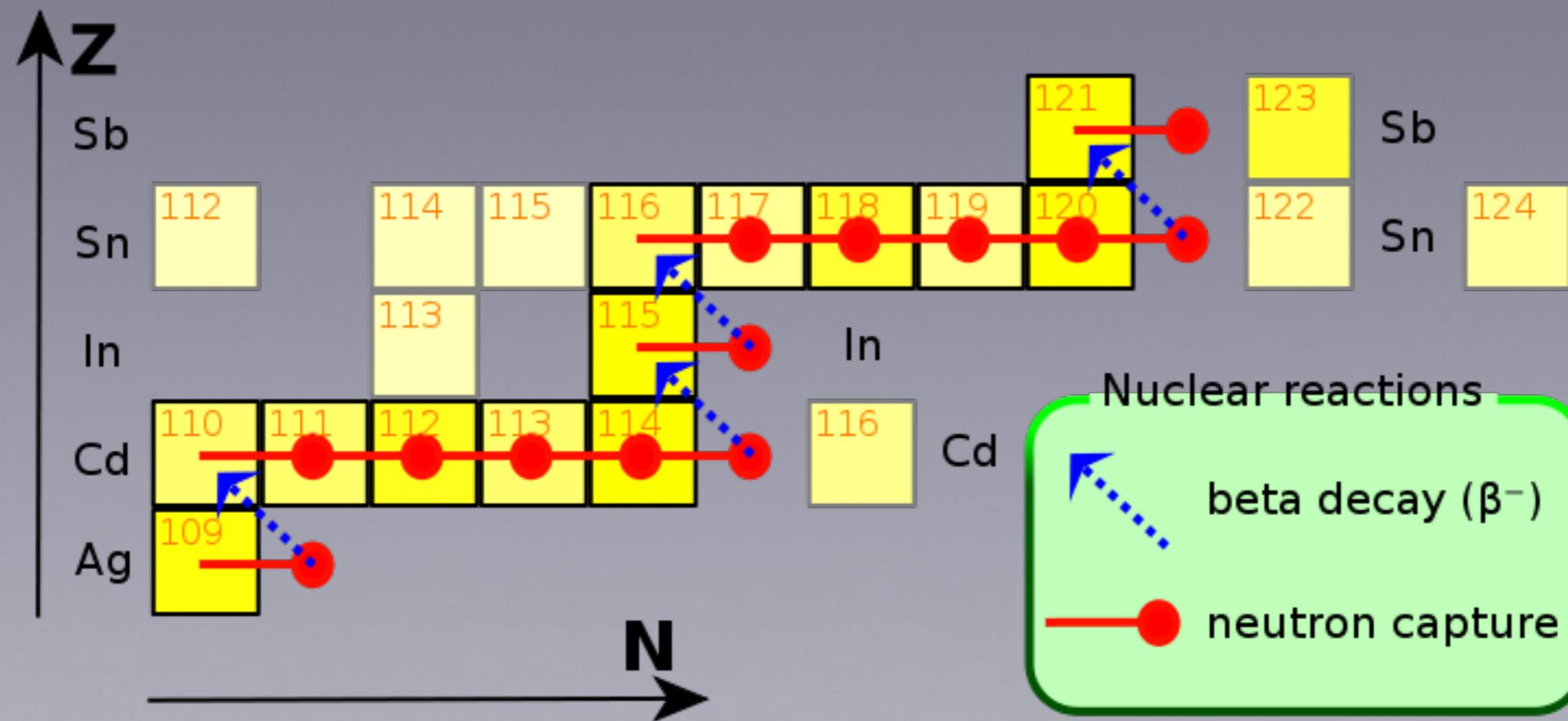
E gli altri elementi?

- La fusione nucleare è il motore che sostiene le stelle, tuttavia esistono una grande varietà di possibili catene.
- Abbiamo citato qui solo quelle energeticamente più importanti.
- Anche se non sostengono le strutture stellari ci sono altre catene di reazioni molto importanti per la produzione degli elementi: i processi “S” e processi “R”.

I processi “S” ed “R”

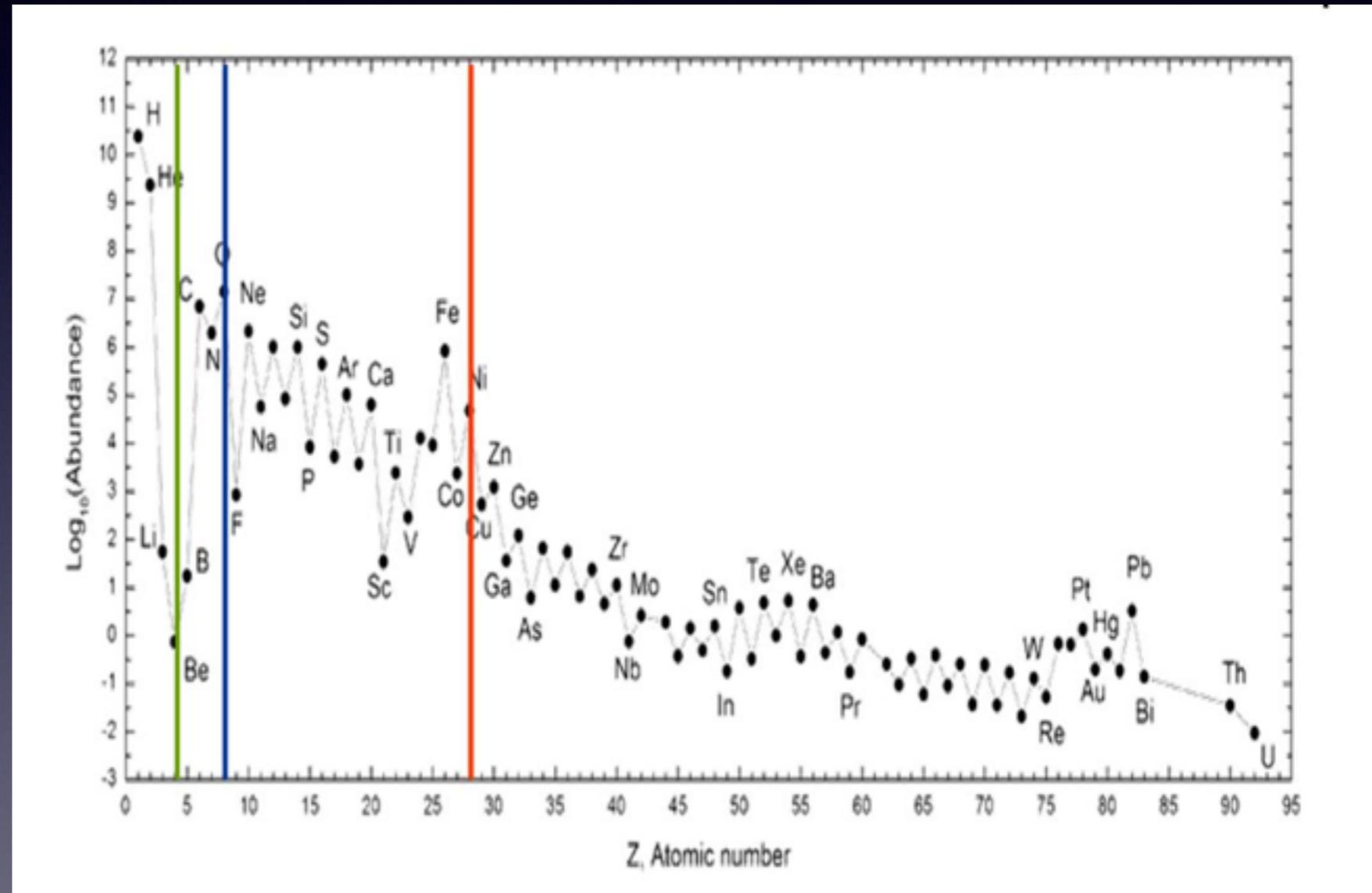
- “S” sta per “slow”, ed avvengono in stelle evolute come le giganti asintotiche. “R” sta per “rapid” ed avvengono durante le esplosioni di supernove.
- Molte reazioni producono un flusso di neutroni, i quali possono interagire con vari nuclei producendone di nuovi.
- Assimilando neutroni e decadendo ogni qualvolta il nucleo prodotto è instabile abbiamo la formazione di tutti gli elementi conosciuti.

Ad esempio a partire dall'Ag (processo "S")



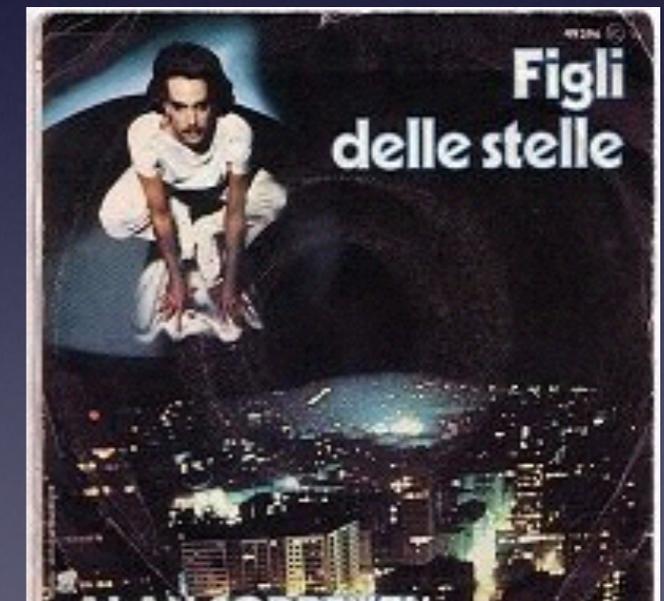
Le abbondanze cosmiche

- La linea verde sono gli elementi che si formano durante il big-bang, la linea blu quelli in stelle di tipo solare, e la linea rossa in stelle di più grande massa. Oltre sono necessari processi differenti.



Siamo figli delle stelle...

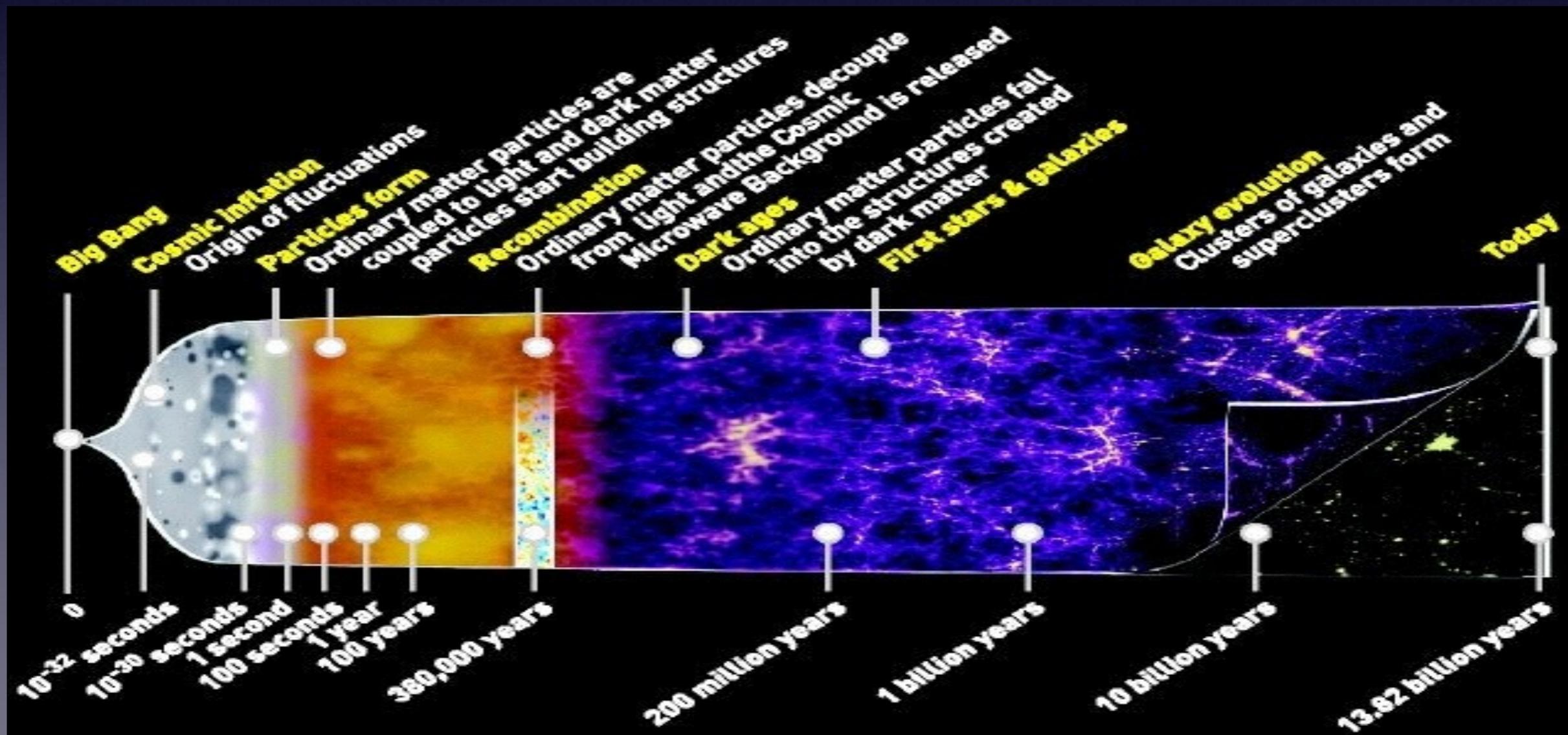
COMPOSIZIONE DELL'UNIVERSO		COMPOSIZIONE DELLA CROSTA TERRESTRE		COMPOSIZIONE DELL'ACQUA DI MARE		COMPOSIZIONE DEL CORPO UMANO	
PERCENTUALE RISPETTO AL NUMERO TOTALE DI ATOMI							
H	91	O	47	H	66	H	63
He	9,1	Si	28	O	33	O	25,5
O	0,057	Al	7,9	Cl	0,33	C	9,5
N	0,042	Fe	4,5	Na	0,28	N	1,4
C	0,021	Ca	3,5	Mg	0,033	Ca	0,31
Si	0,003	Na	2,5	S	0,017	P	0,22
Ne	0,003	K	2,5	Ca	0,006	Cl	0,03
Mg	0,002	Mg	2,2	K	0,006	K	0,06
Fe	0,002	Ti	0,46	C	0,0014	S	0,05
S	0,001	H	0,22	Br	0,0005	Na	0,03
		C	0,19			Mg	0,01
RIMANENTI < 0,01		RIMANENTI < 0,1		RIMANENTI < 0,1		RIMANENTI < 0,01	



Alan Sorrenti
1950 - vivente

E l'idrogeno e l'elio da dove arrivano?

- La formazione di H ed He avviene nei primi istanti di "vita" dell'universo



Stellar Evolution (Life Cycle of Stars)

Compiled by
Mr G. Jones
Head of Physics
Dunraven School, Streatham, London
June 2008

This podcast is targeted at GCSE Triple Science students.

All images shown are **REAL** unless labelled as "[artists impression]".

<http://mitescienza.blogspot.it>

Grazie per l'attenzione!