

Scuola di Ingegneria Industriale e dell'Informazione
Insegnamento di **Chimica Generale**
083424 - CCS *CHI* e *MAT*

 POLITECNICO DI MILANO

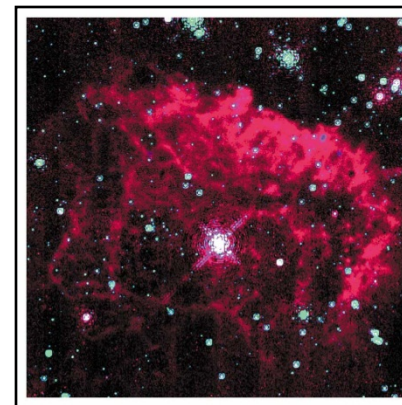


NUCLEOGENESI (cap. 23)

Prof. Attilio Citterio

Dipartimento CMIC "Giulio Natta"

<http://iscamap.chem.polimi.it/citterio/it/education/general-chemistry-lessons/>





Tenta di rispondere alla domanda:

- Quale è l'origine dell'universo?

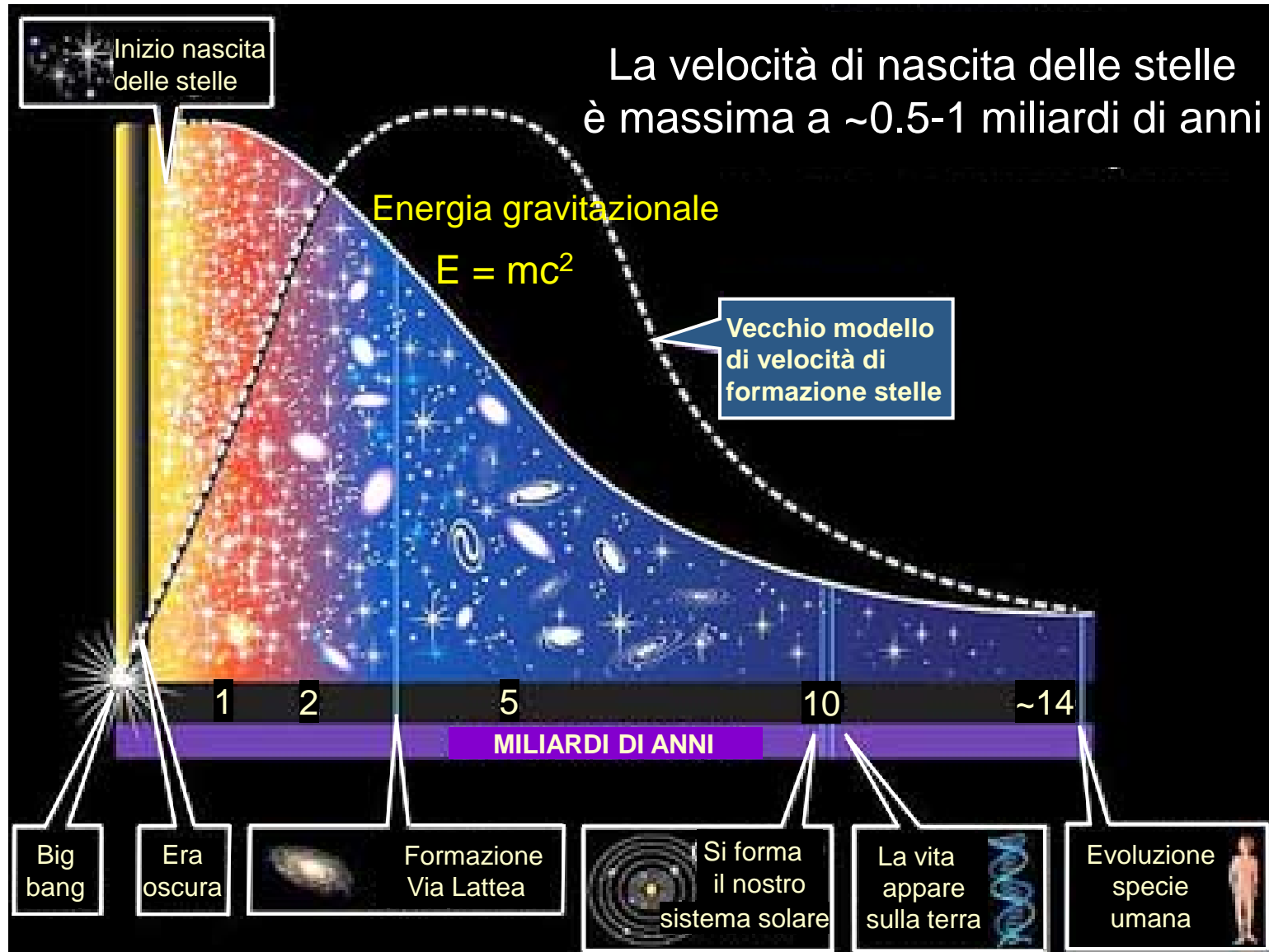
Si ritiene che l'universo iniziò come un denso aggregato di materia ed energia radiante che iniziò ad espandersi **circa** 15 miliardi di anni fa, e successivamente si condensò in galassie.

L'idea base è che da un sistema estremamente denso di "materia/energia" si realizzò un processo di espansione.

$$E = mc^2$$

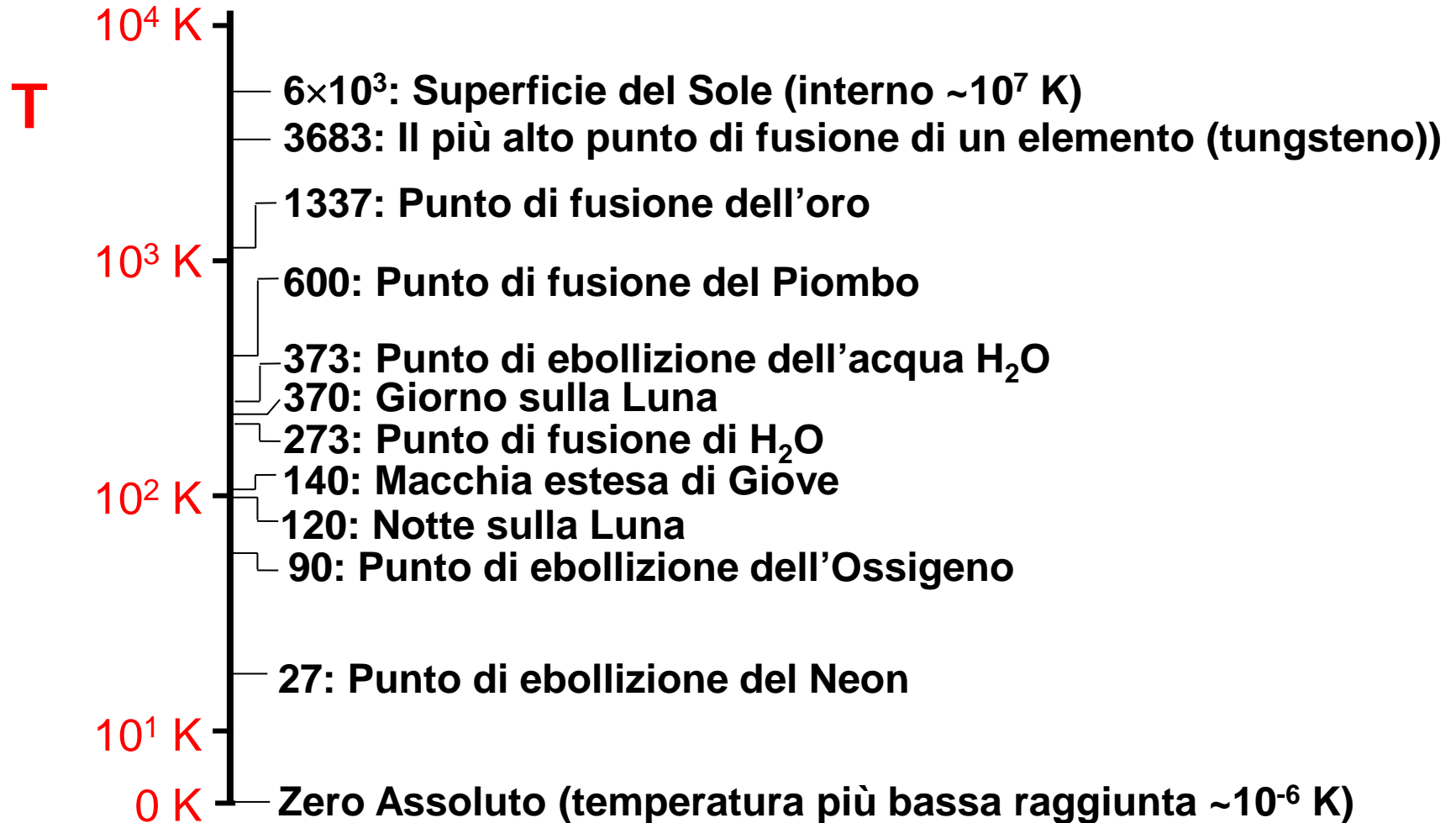
Inizialmente, l'energia era predominante. A seguito del raffreddamento, si iniziò a formare la materia.

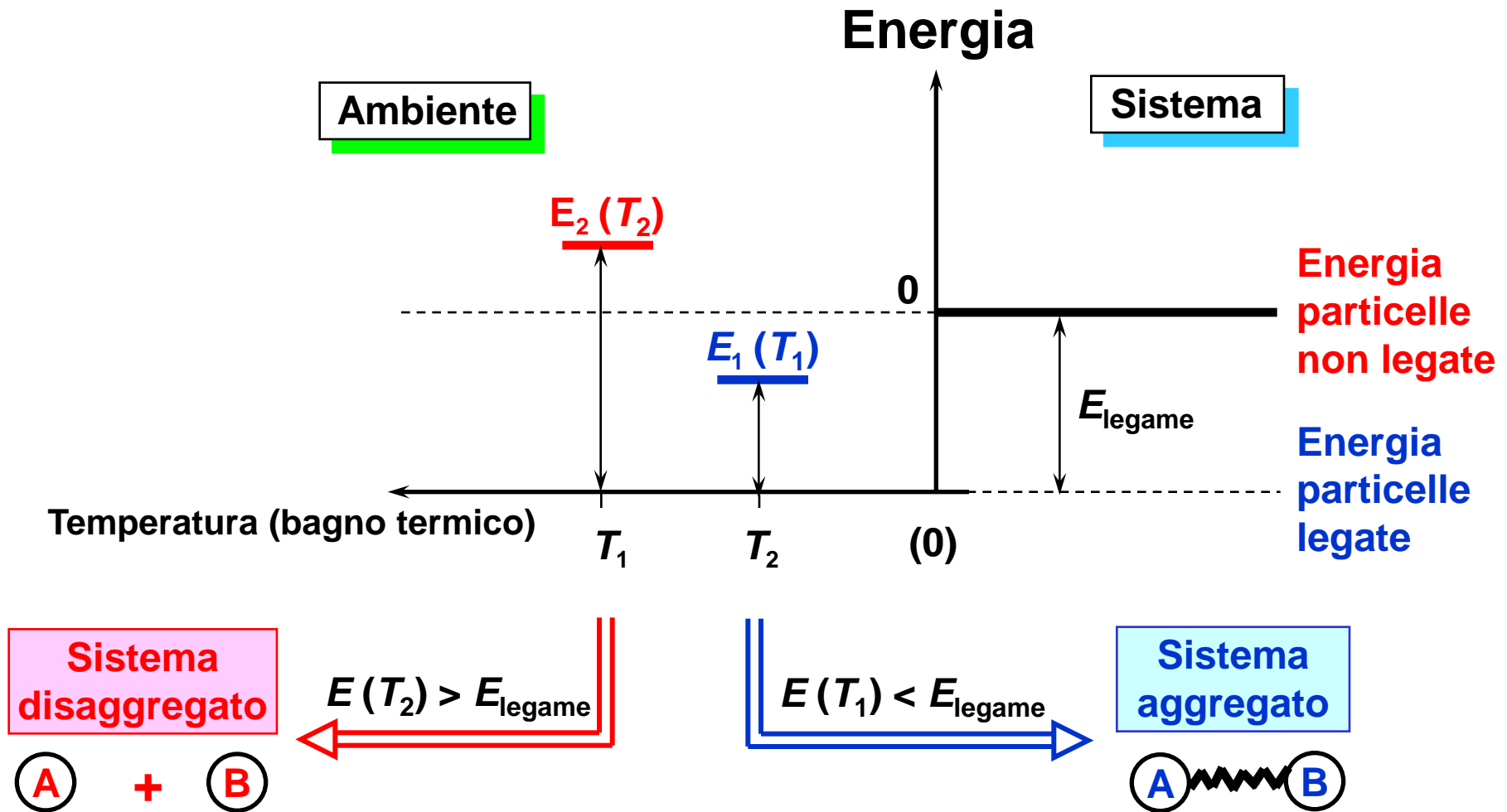
Energia ed Evoluzione dell'Universo





Materia - Alcune Temperature Significative

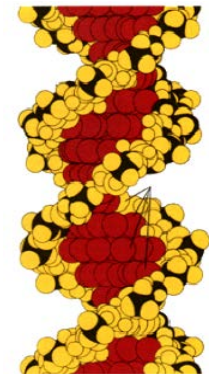
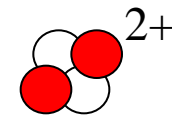
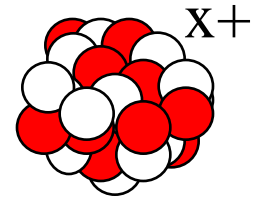
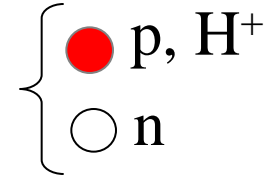






Forme Stabili della Materia

Temperatura	Forme Stabili della Materia
$T > 2 \times 10^6 \text{ K}$	Plasma Sub-Nucleare
$1 - 2 \times 10^6 \text{ K}$	Plasma, Atomi pluri ionizzati, Fe^{13+}
$100,000 \text{ K}$	Atomi Ionizzati He^{2+}
$5,000 \text{ K}$	Atomi Neutri He
$2,500 \text{ K}$	Piccole Molecole (CH_4), TiO_2 , CaO
300 K	Grosse Molecole, DNA, RNA



Forze Fondamentali della Natura

Interazione	Entità Relativa	Legge	Intervallo	Particella mediate	Spin
Forze Forti	10^0	$1/r^7$	Breve	Gluone	1
Forza Elettromagnetica	$7.3 \cdot 10^{-3}$	$1/r^2$	Lungo	Fotone	1
Forze Deboli	10^{-9}	$1/r^{5-7}$	Molto breve	W,Z	1
Forza Gravitazionale	10^{-38}	$1/r^2$	Lungo	Gravitone	2

Da notare che lo spin di ogni particella è un intero, per cui sono tutte bosoni. Lo scambio di questi bosoni tra le particelle è ciò che origina tutte le forze della natura. I gluoni sono scambiati per dar origine alla forza forte che tiene uniti i nuclei atomici e in essi i nucleoni (protoni e neutroni). Inoltre, i gravitoni sono scambiati tra tutte le particelle con massa e da ciò si origina la forza di gravità.



I Legami più Importanti tra Particelle

"D" (p + n + e)

Interazioni forti nucleari

Energia nucleare = $2.4 \times 10^8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Distanza di legame nucleare = 10^{-15} m

H-H (2 p + 2 e)

Legami chimici

Energia di legame = $431 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

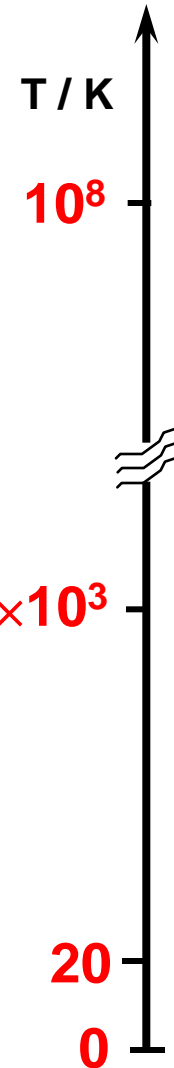
Distanza di legame = $0.56 \times 10^{-10} \text{ m}$

H₂---H₂

Interazioni di Van der Waals

Energia di interazione = $2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

Distanza di interazione = $2.0 \times 10^{-10} \text{ m}$

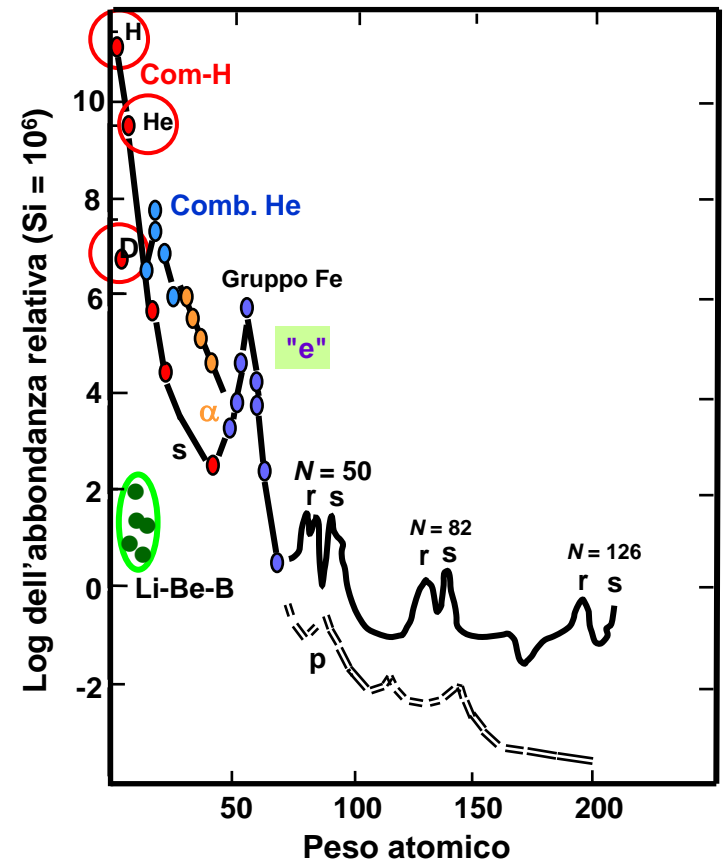




Teorie sulla Formazione degli Elementi

Negli anni 1950-60 la teoria prevalente sulla formazione degli elementi nell'Universo era stata proposta da G.Burbidge, M.Burbidge, Fowler e Hoyle (**teoria BBFH**) e postulava che la nucleogenesi avvenisse sia all'interno delle stelle che nel corso dell'esplosione delle supernove. Sebbene la teoria spiegasse molti fatti, almeno due dati rimanevano inspiegati:

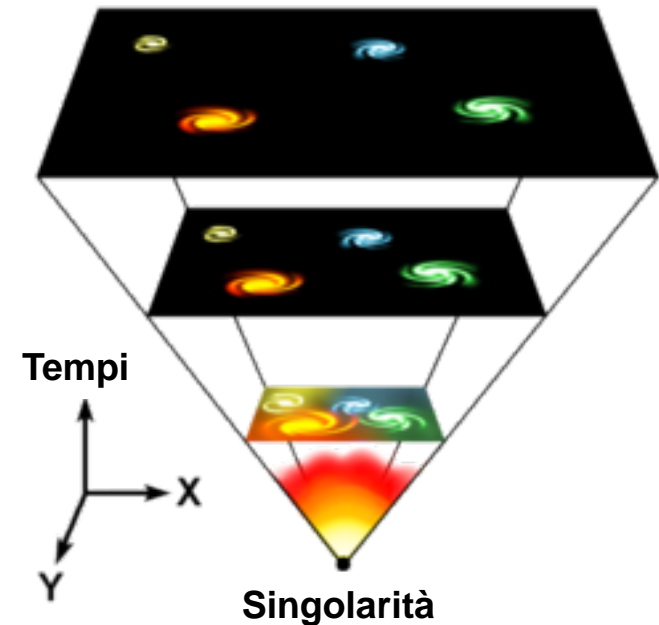
- nell'Universo esiste più elio di quanto previsto dalla teoria (circa il 25% della massa);
- nell'Universo c'è deuterio, ma questo è distrutto nelle stelle secondo la BBFH.



Teoria del Big Bang Caldo

G. Gamow propose una nuova teoria che spiega la presenza degli elementi leggeri nei primi stadi dell'Universo e prevede che all'inizio la temperatura fosse così elevata che tutta la materia era completamente ionizzata e dissociata. Circa tre minuti dopo il Big Bang, questa rapidamente si abbassò dall'iniziale 10^{32} K ad approssimativamente 10^9 K, rendendo attiva la nucleosintesi. In un breve lasso di tempo, protoni e neutroni collisero per produrre deuterio (^2H) e questo reagì con altri protoni e neutroni per dare elio e una piccola quantità di trizio (^3H). Si formò anche il Litio-7 per reazione del trizio con due nuclei di deuterio.

Il fatto che si sia trovato che l'elio abbia una abbondanza sotto il 23% in massa è un'evidenza molto forte del fatto che l'Universo deriva da una fase molto calda e costituisce la base più solida del **modello del Hot Big Bang**.



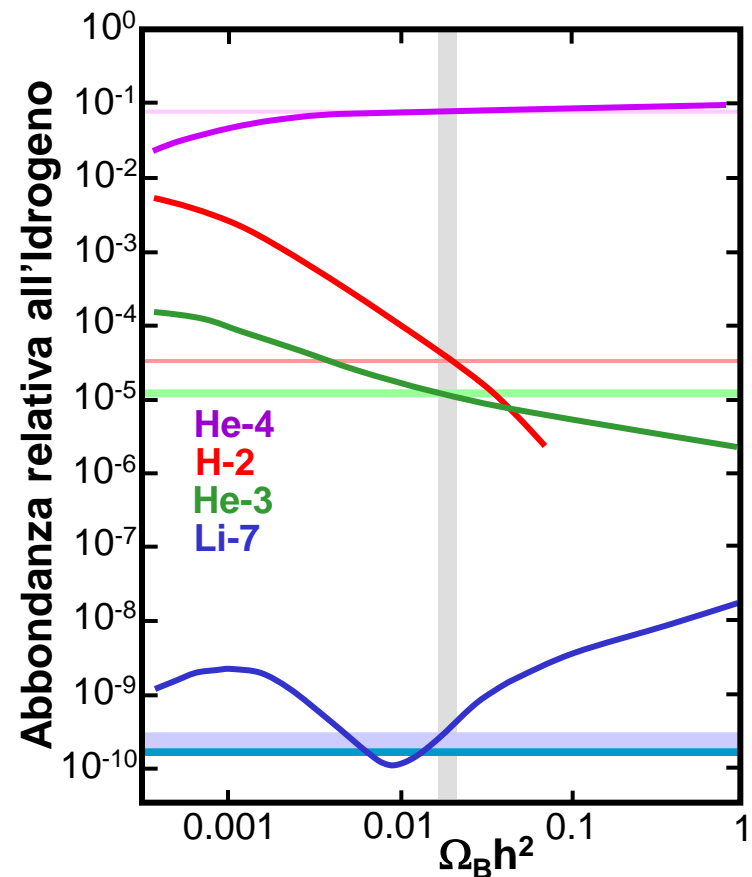


Andamento dell'Abbondanza Predetta degli Elementi $> H$, 11 in funzione della Densità dei Barioni (n e p) nell'Universo

L'abbondanza degli elementi leggeri nell'Universo è un importante criterio con cui si verifica l'ipotesi del Big Bang. E' ora noto che gli elementi osservati nell'Universo si sono generati in due modi distinti.

Gli elementi leggeri (e cioè deuterio, elio e litio) furono prodotti nei primi pochi minuti del Big Bang, mentre gli **elementi più pesanti dell'elio** si pensa abbiano avuto origine all'interno delle stelle che si sono formate molto dopo nella storia dell'Universo.

La distribuzione degli elementi leggeri dipende dalla **densità dei barioni** (neutroni e protoni) come indicato nel grafico a destra. Il valore elevato, compatibile con l'attuale distribuzione degli elementi leggeri, fa ritenere che tale densità al momento del Big-Bang fosse di circa 0.01.





Processi Verificatisi nel Corso dei Primi Minuti dell'Universo

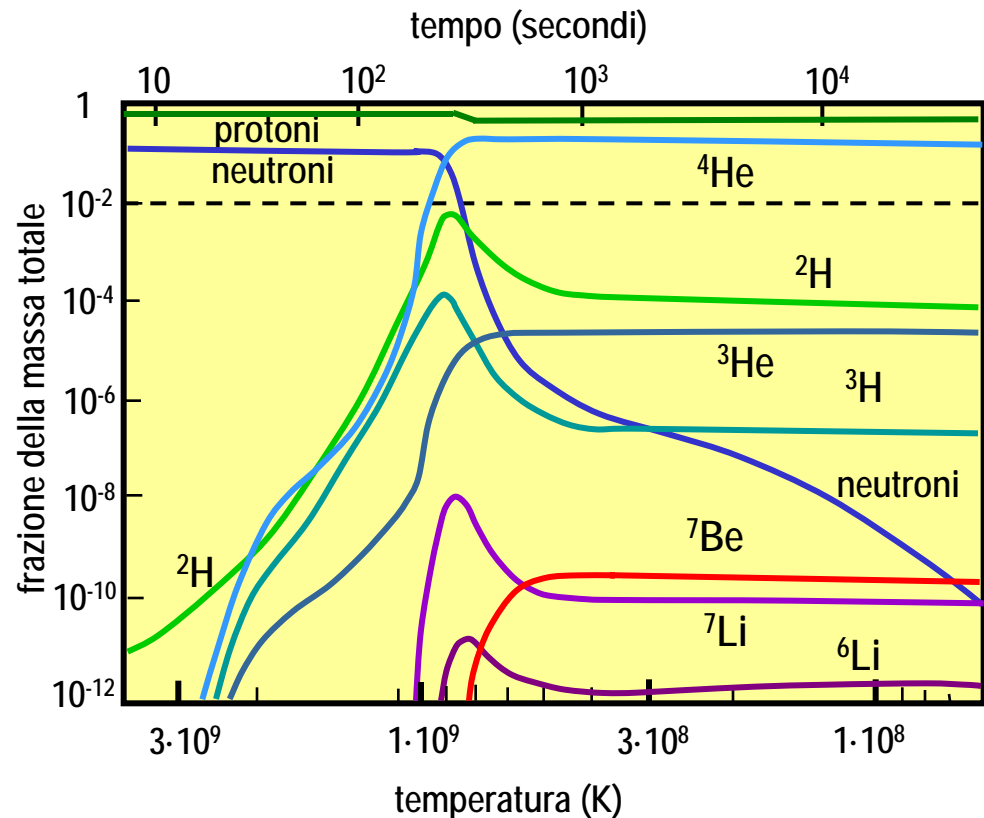
<p>Meno di 1 s dopo il Big Bang, le reazioni riportate a destra mantenevano il rapporto neutroni/ protoni in equilibrio termico. Circa 1 secondo dopo il Big Bang, la temperatura era poco meno della differenza di massa neutrone-protone, queste deboli reazioni divengono più lente della velocità di espansione dell'Universo, e il rapporto neutrone:protone si assesta a circa 1:6.</p>	$p + e^- \rightleftharpoons n + \nu$ $n + e^+ \rightleftharpoons p + \bar{\nu}$
<p>Dopo 1 s, la sola reazione che fa variare il numero di neutroni è il decadimento neutronico. L'emivita del neutrone è di 615 secondi. Senza ulteriori reazioni che preservino i neutroni all'interno di nuclei stabili, l'Universo sarebbe di puro H.</p>	$n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$
<p>La reazione che preserva i neutroni è la formazione di deuterio (²H). Il processo è esotermico con una differenza di energia di 2.2 MeV, e, poiché i fotoni sono miliardi di volte più numerosi dei protoni, la reazione non procede finché la temperatura dell'Universo non scende a 10⁹ K o kT = 0.1 MeV, circa 100 secondi dopo il Big Bang. Così, il rapporto n/p è circa 1:7.</p>	$p + n \rightleftharpoons d + \gamma$ $d + n \rightarrow {}^3\text{H} + \gamma$
<p>Una volta formato il deuterio, si innescano altre reazioni che portano a nuclei di elio. Si formano sia ³He che l'elio normale ⁴He, assieme al trizio, la forma radioattiva dell'H (³H). I processi producono fotoni. Poiché il nucleo di elio è 28 MeV più legato del deuterio, e T < kT = 0.1 MeV, queste reazioni avvengono in una sola direzione.</p>	${}^3\text{H} + p \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$ $d + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$ ${}^3\text{He} + n \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$
<p>Le reazioni a destra producono anch'esse elio e normalmente sono più veloci in quanto non implicano il processo relativamente lento dell'emissione di fotoni.</p>	$d + d \rightarrow {}^3\text{He} + n$ $d + d \rightarrow {}^3\text{H} + p$
<p>L'effetto complessivo è indicato a destra. Alla fine T scende così tanto che la repulsione elettrostatica dei nuclei di ²H fa arrestare la reazione. A questo punto il rapporto D/H è molto piccolo, e inversamente proporzionale alla densità totale in protoni e neutroni. Di fatto tutti i neutroni nell'Universo finiscono in nuclei di ⁴He. Per un rapporto n/p di 1:7 al momento della formazione del ²H, il 25% della massa finisce in ⁴He.</p>	${}^3\text{H} + d \rightarrow {}^4\text{He} + n$ ${}^3\text{He} + d \rightarrow {}^4\text{He} + p$ $d + d \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$



Andamento nel Tempo della Frazione di Massa dei Vari Isotopi Leggeri nel Big-Bang

Il Deuterio raggiunge il massimo attorno a 100 secondi dopo il Big Bang, ed è rapidamente convertito in nuclei di elio. Una piccola frazione di nuclei di elio si combina a dare nuclei più pesanti, generando la piccola quantità di nuclei di ${}^7\text{Li}$ derivanti dal Big Bang.

E' da tener presente che la distribuzione indicata dal grafico cambia a tempi lunghi a seguito della scomparsa dei nuclei instabili ${}^3\text{H}$ e ${}^7\text{Be}$. ${}^3\text{H}$ decade in ${}^4\text{He}$ con un tempo di emi-vita di 12 anni, mentre il ${}^7\text{Be}$ decade in ${}^7\text{Li}$ con un'emi-vita di 53 giorni.





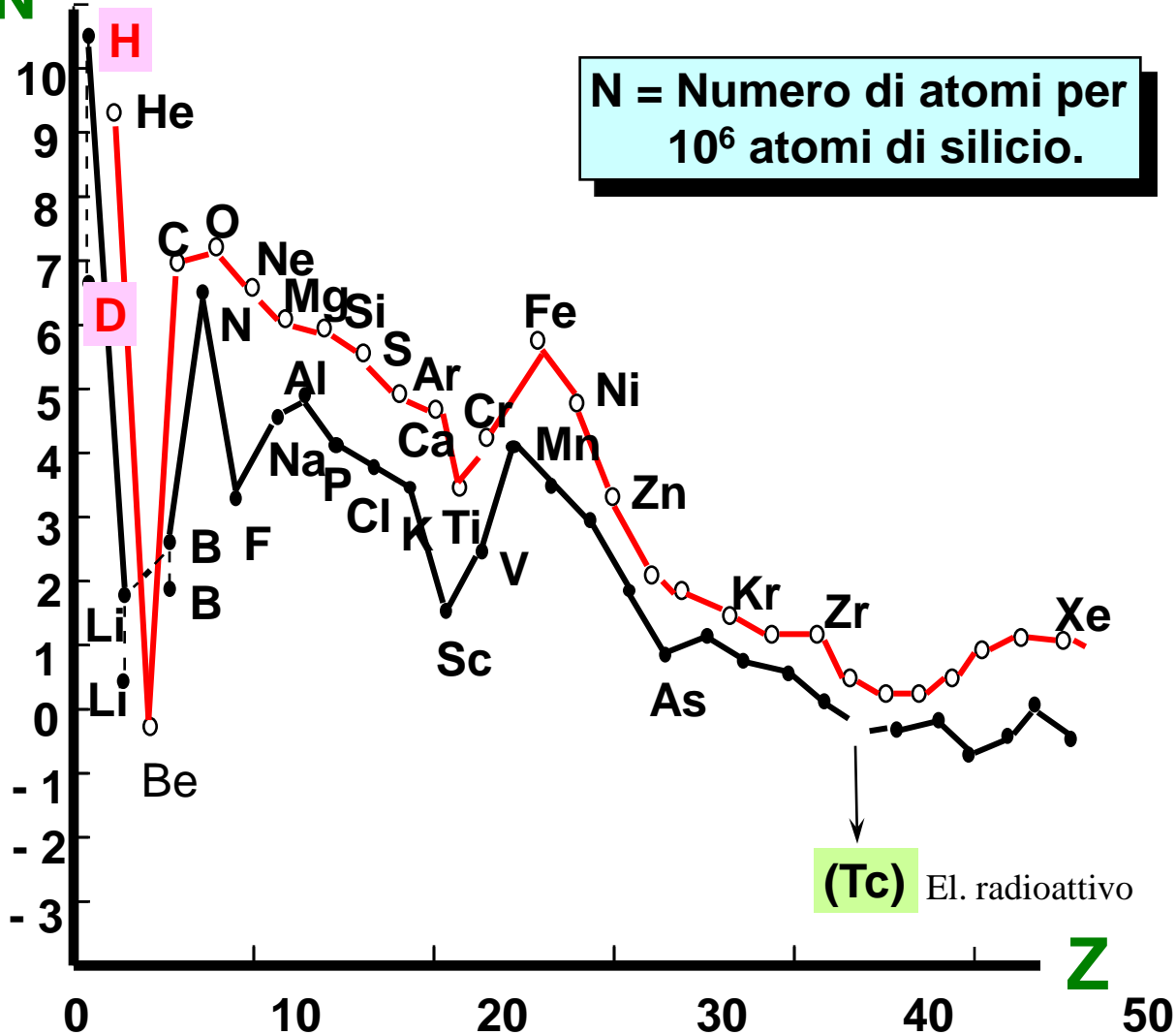
Evoluzione dell'Universo

- **Ammasso di gas (Idrogeno) - Attrazione gravitazionale - Formazione di stelle e galassie - La sintesi dei nuclei a partire dall'idrogeno non è molto avanzata.**
- **La composizione elementare dell'universo è governata dai processi nucleari delle stelle, prima la fusione di idrogeno e quindi la fusione di elio.**
- **L'energia richiesta per iniziare la fusione nucleare, raggiungibile alla temperatura di $\sim 10^8$ K, deriva dalla forza gravitazionale di stelle di massa dell'ordine di quella del sole (detta m_s).**
- **Le stelle di masse superiori ($> 1 m_s$) generano temperature superiori, che innescano la sintesi di elementi più pesanti dell'elio. Le stelle con masse solari di $20 m_s$ sintetizzano tutti gli elementi fino al ferro ($Z = 26$, il nucleo più stabile).**
- **Tutti i processi di fusione fino al ferro, producendo nuclei più stabili, rilasciano energia. Gli elementi dopo il ferro hanno nuclei meno stabili e non forniscono energia alle stelle, per cui si formano quando le stelle, esaurito il loro combustibile nucleare, collassano esplodendo (Super Nova). L'onda d'urto di questa esplosione fornisce l'energia necessaria a sintetizzare tali elementi.**



Abbondanza Cosmica degli Elementi

log N

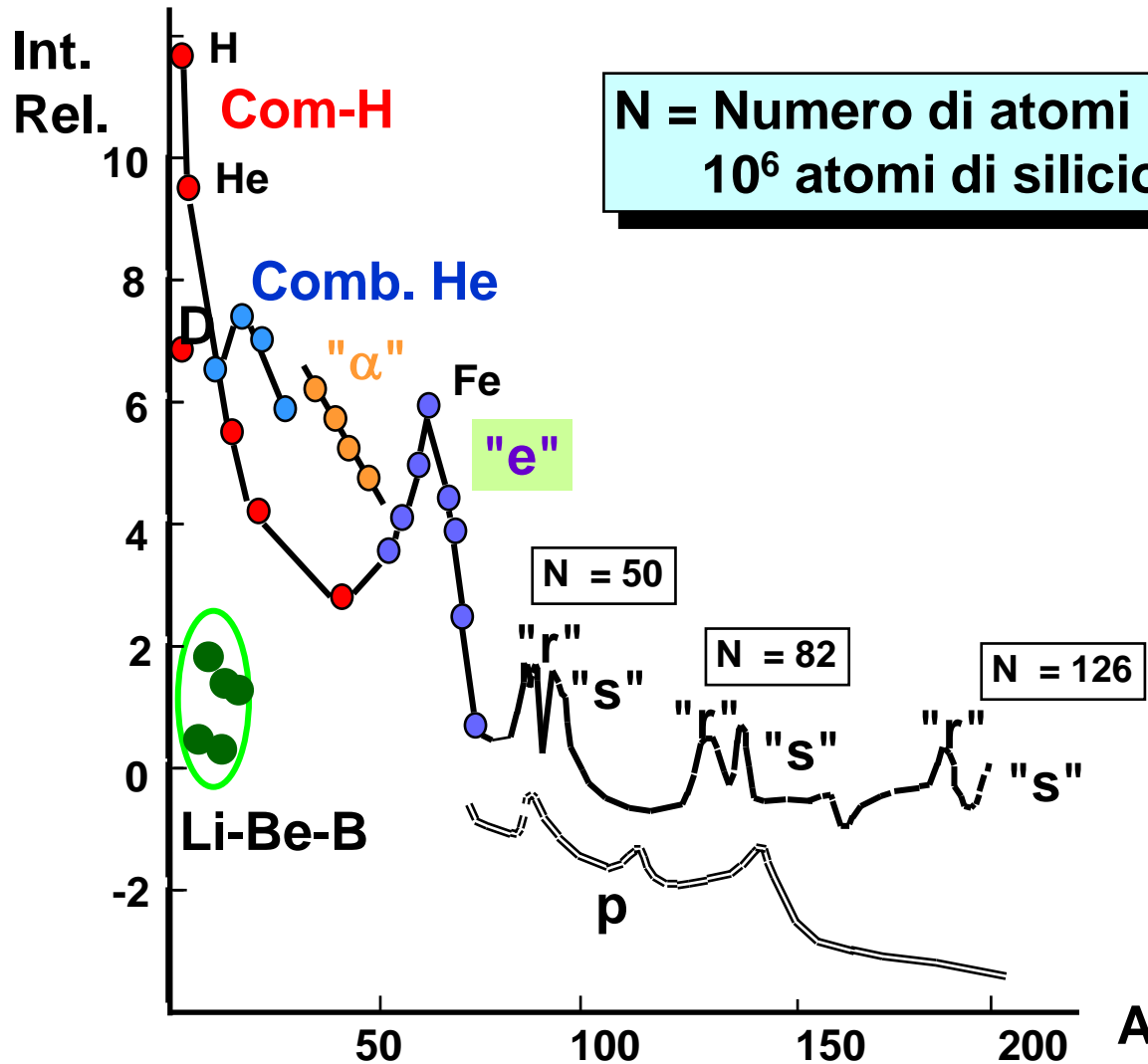




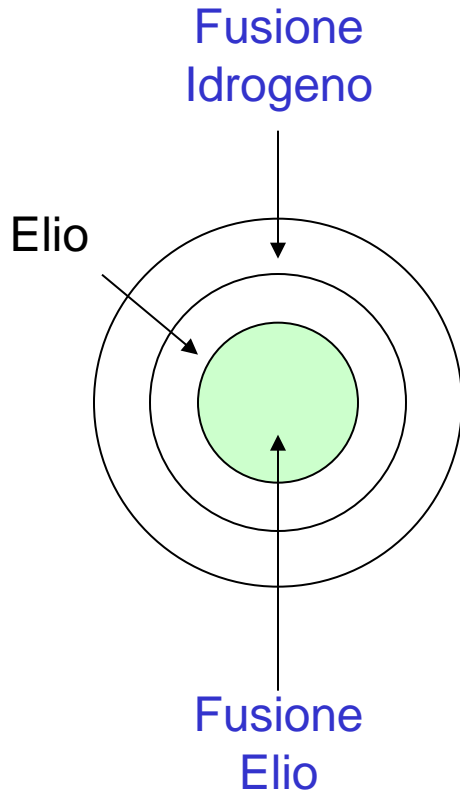
- Le **abbondanze diminuiscono** approssimativamente **esponenzialmente** fino a $Z = 42$, poi si ha una diminuzione più graduale con alcune fluttuazioni.
- Si ha un picco fra $Z = 23-28$ (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni) con il **ferro** **circa 1000 volte più abbondante** del previsto.
- Il **Litio, Berillio e Boro sono elementi rari** rispetto a quelli vicini. L'isotopo D è 10^6 meno abbondante di H.
- Fra i **nuclei leggeri** quelli **a numero di massa (A) divisibile per 4 sono più abbondanti**.
- Gli **atomi a numero di massa (A) pari sono più abbondanti** di quelli a numero di massa dispari.
- Gli **atomi pesanti** presentano un **crescente numero di neutroni** ($A/Z > 2$).
- Sono **presenti massimi a doppio picco** a $A=80-90$, $A=130-138$ e $A=196-208$.



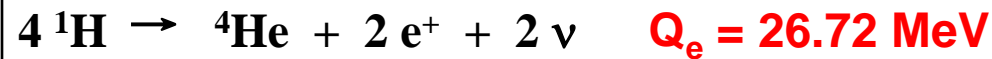
Curva delle Abbondanze Cosmiche



Sole e sue Reazioni Nucleari



Reazione termonucleari	Energia ^{a)}	Tempo reaz. ^{b)}
${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{H} + \text{e}^+ + \nu_e$	1.44 MeV	$1.44 \times 10^{10} \text{ y}$
${}^1\text{H} + {}^2\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$	5.49 MeV	0.6 s
${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2 {}^1\text{H}$	12.86 MeV	10^6 y



$$E = \Delta m \cdot c^2$$

Difetto di massa
tra ${}^4\text{He}$ e $4 {}^1\text{H}$

$$(\Delta m = 0.028 \text{ u})$$

Energia nucleare
di fusione di ${}^1\text{H}$.

a) $1 \text{ MeV} \cdot N = 9.65 \cdot 10^7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

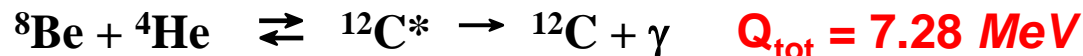
b) Tempo di dimezzamento a $1.3 \times 10^7 \text{ K}$ e $d = 200 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$



Fusione dell'Elio

Quando l'idrogeno è stato consumato in parte, l'attrazione gravitazionale tra gli atomi prevale sul rilascio di materia per effetto della fusione. L'elio si concentra in un aggregato a densità e temperatura più elevata ($d = 100000 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ e $T = 1-2 \times 10^8 \text{ K}$)

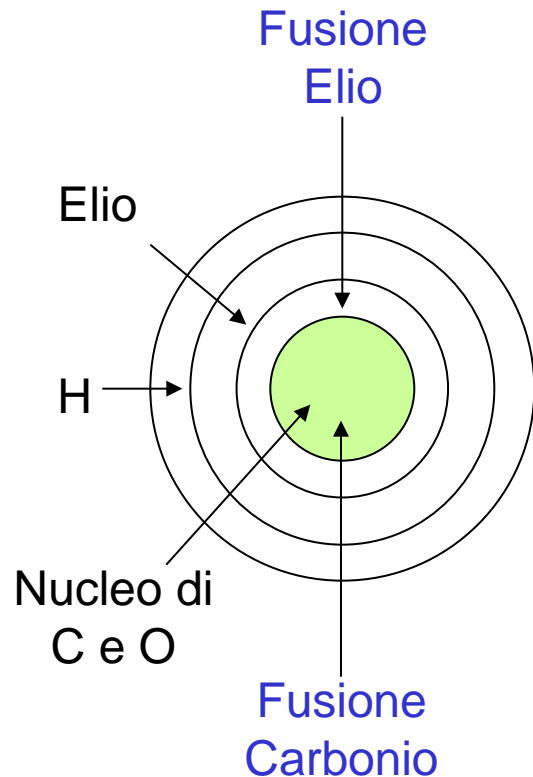
A questa temperatura la barriera di energia coulombiana tra i nuclei di elio viene superata e anche l'elio inizia a “bruciare” con formazione di elementi a numero pari :



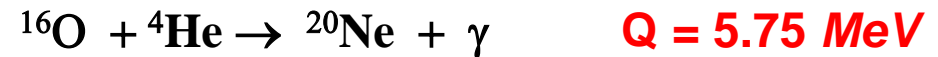
N.B. Il Berillio-8 non si accumula perché si decompone espellendo particelle α (nuclei di elio) ed è poco più stabile di due nuclei di elio (0.094 MeV).



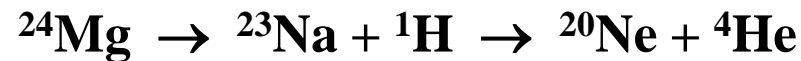
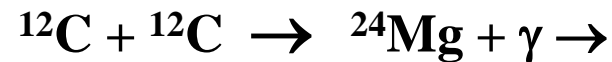
Stelle 3ms e Fusione C



Si formano nuclei più pesanti :



Poi, a $T = 5 \times 10^8 \text{ K}$, inizia a “bruciare” il carbonio:





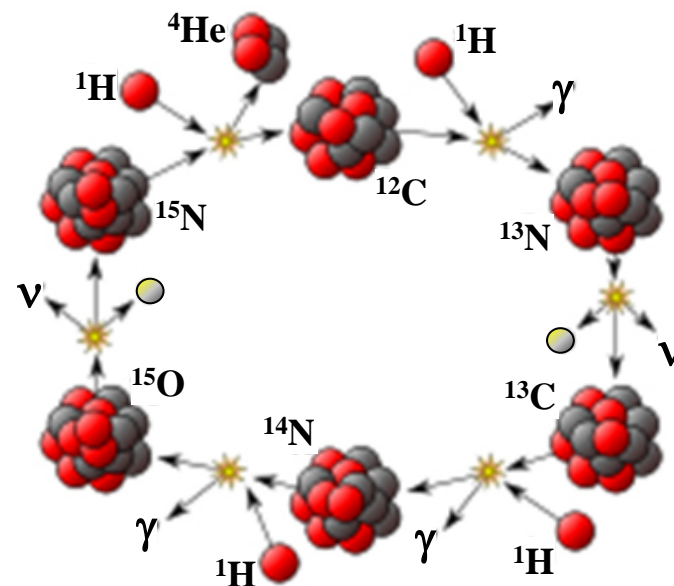
Sintesi dell'Elio per Combustione Catalitica dell'Idrogeno

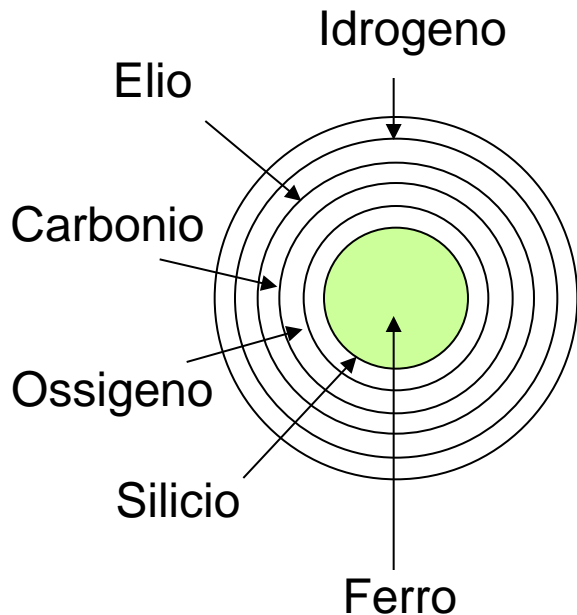
Inoltre, a queste temperature, il carbonio catalizza la conversione dell'idrogeno in elio:

Reazione	<i>Q/ MeV</i>	<i>t</i> _{1/2}
$^{12}\text{C} + 3\ ^1\text{H} \rightarrow\ ^{15}\text{N} + 2\text{e}^+ + 2\ \nu$	1.95	$1.3 \times 10^7\ \text{y}$
$^{15}\text{N} +\ ^1\text{H} \rightarrow\ ^{12}\text{C} +\ ^4\text{He}$	4.96	$10^5\ \text{y}$

Totale $4\ ^1\text{H} \rightarrow\ ^4\text{He} + 2\ \text{e}^+ + 2\ \nu$ **26.72**

- protone
- neutrone
- positrone
- γ raggi gamma
- ν neutrino





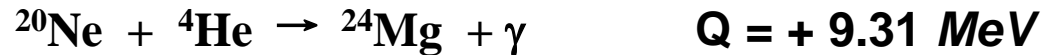
**Stella poco prima di
Supernova**

Stelle con masse superiori generano temperature interne superiori, e sono perciò in grado di sintetizzare elementi più pesanti dell'elio.

Stelle con 20 masse solari sono capaci di sintetizzare tutti gli elementi fino al ferro (numero atomico "Z" = 26).

Processo α

- I processi di fusione dell'Elio e del Carbonio sono accompagnati da aumento di temperatura interna, a seguito dell'aumentata importanza della contrazione gravitazionale. Gli atomi H ed He possiedono in queste condizioni energia sufficiente per produrre altri nuclei con $Z < 10$.
- Inoltre i raggi γ prodotti in queste condizioni sono abbastanza energetici da promuovere la fissione endotermica del Neon-20 in Ossigeno-16.



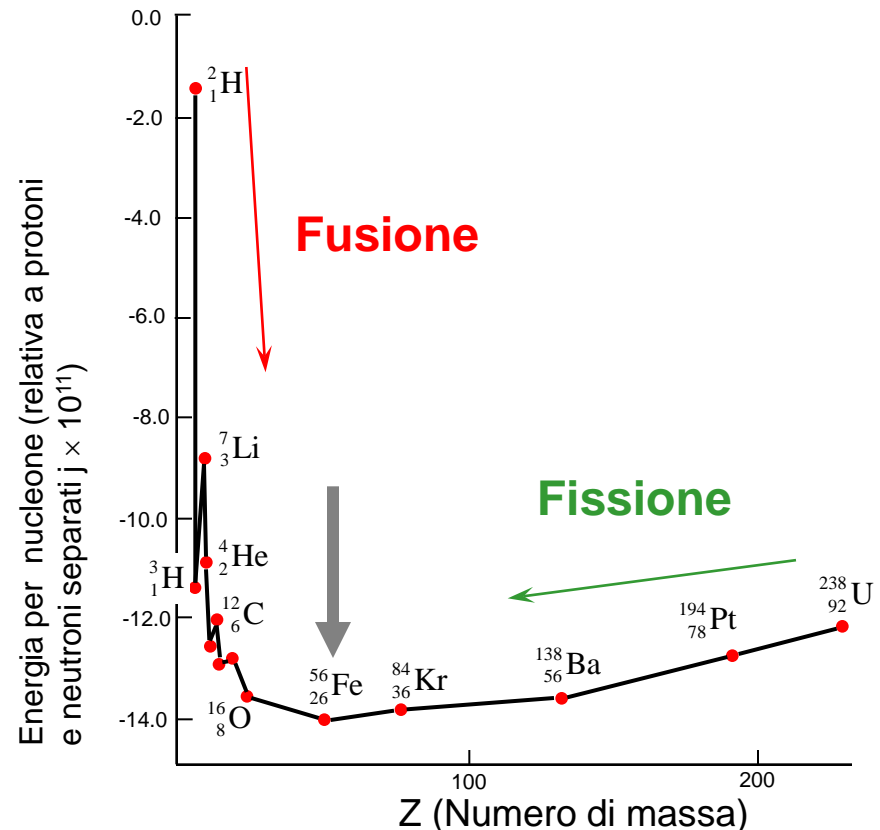
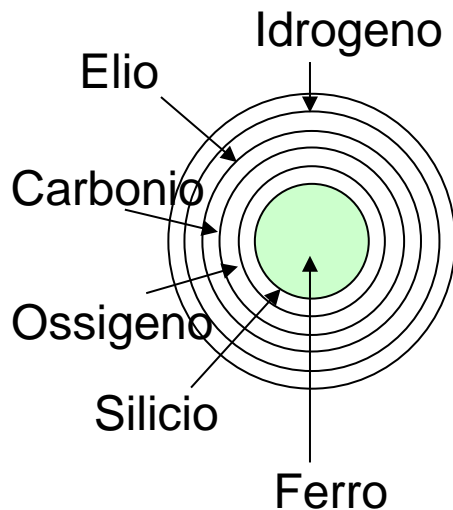
- I nuclei di Elio così prodotti (particelle α) possiedono energie sufficienti a penetrare la barriera dei nuclei di Neon, generando altri nuclei a massa pari analogamente al processo di fusione dell'Elio.
(I processi sono simili ma le particelle possiedono più energia).
- Il processo si ferma al Calcio-40 perché il nucleo successivo (Titanio-44) è instabile.



- La cattura di neutroni lenti ("s") a $T \approx 10^8$ K con emissione di raggi γ è responsabile della sintesi di molti isotopi di massa $A = 63-209$ e della maggior parte dei nuclei con $A = 23-46$ non prodotti nel processo α .
- Tali processi sono lenti ed i neutroni provengono da reazioni esotermiche [C-13 (α,n) O-16] e [Ne-21 (α,n) Mg-24]. Data la lentezza dei processi, i nuclei instabili decadono emettendo elettroni.
- L'abbondanza relativa degli elementi prodotti in queste reazioni dipendono dalla sezione di cattura neutronica dei vari nuclei. Quelli a bassa sezione di cattura tendono ad accumularsi. Si giustifica così l'abbondanza degli elementi con $A = 90, 138$ e 208 .
- In condizioni più drastiche ($T = 10^9$ K) la cattura di neutroni più veloci ("r") da parte dei nuclei può coinvolgere contemporaneamente più neutroni prima di avere l'emissione di elettroni. Nuclei divenuti troppo instabili emettono così una cascata di 8-10 elettroni ritornando ad isotopi stabili. Si giustifica così l'abbondanza a $A = 80, 130, 194$ a 8-10 unità di massa inferiore a quella degli atomi associati al processo "s".

Processo "e" - Stabilità dei Nuclei

A seguito dei processi di fusione nucleare le stelle di massa elevata raggiungono T interne di $3 \cdot 10^9$ K, che preludono a violente esplosioni ("supernovae"). Negli attimi precedenti l'esplosione avvengono molte reazioni nucleari, instaurando un **equilibrio statistico fra i nuclei**, con preferenza per quelli a $Z = 22-29$ che sono **energeticamente più stabili**.

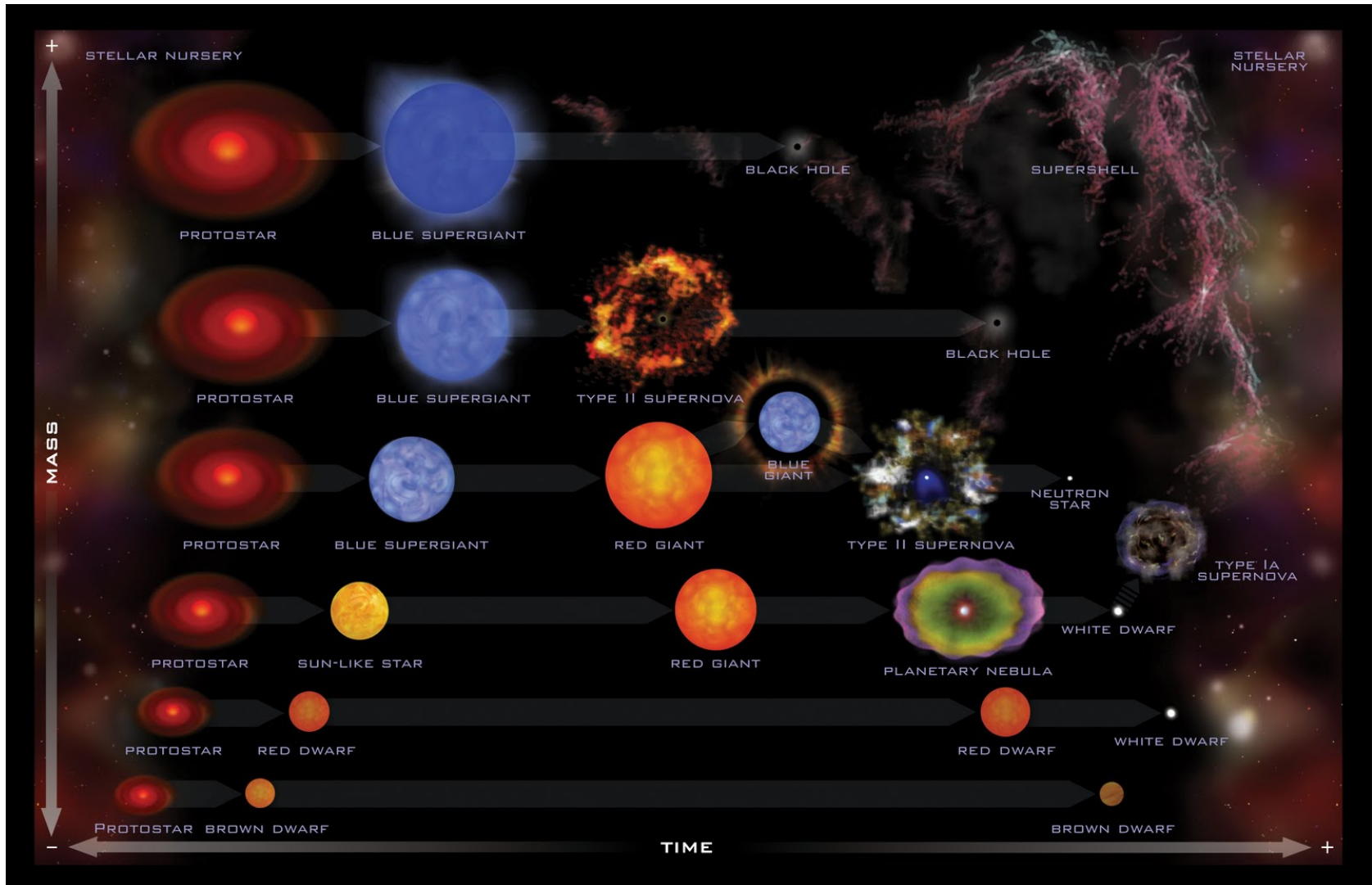




- Alcuni degli **elementi** formati **non sono stabili, e decompongono ad elementi più stabili spontaneamente**. Questo processo, fissione nucleare, provoca un rilascio di energia e, alla fine, porta ad elementi stabili. Molti elementi, per es. l'uranio, passano per molti stadi prima di tale fase.
- Poiché le velocità di decadimento sono ben note per la maggior parte degli elementi, è possibile calcolare accuratamente l'età di sostanze che contengono isotopi radioattivi a vita lunga. Ciò è stato usato per stimare **l'età del sistema solare, e dei suoi componenti, in 5 miliardi di anni**. L'età dell'universo, sulla base di misure astronomiche, è antica di 15 miliardi di anni.
- Poiché il sole non possiede una massa sufficiente a sintetizzare elementi più pesanti dell'elio, ed è noto contenere molti elementi pesanti, si deduce che il sistema solare è costituito dalle scorie spaziali generate da precedenti esplosioni di una SuperNova.



Evoluzione Temporale della Materia/Energia



Isotopi "Naturali"

p →	1	2															
n ↓	H	He	3	4													
0	¹ H	² He	<u>Li</u>	<u>Be</u>	<u>5</u>	<u>6</u>											
1	² D	³ He	⁴ Li	⁵ Be	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>7</u>										
2	³ T	⁴ He	⁵ Li	⁶ Be	⁷ B	⁸ C	<u>N</u>	<u>8</u>									
3	⁴ H	⁵ He	⁶ Li	⁷ Be	⁸ B	⁹ C	¹⁰ N	<u>O</u>	<u>9</u>	<u>10</u>							
4	⁵ H	⁶ He	⁷ Li	⁸ Be	⁹ B	¹⁰ C	¹¹ N	¹² O	<u>F</u>	<u>Ne</u>							
5	⁶ H	⁷ He	⁸ Li	⁹ Be	¹⁰ B	¹¹ C	¹² N	¹³ O	¹⁴ F	¹⁵ Ne	<u>11</u>						
6	⁷ H	⁸ He	⁹ Li	¹⁰ Be	¹¹ B	<u>12</u> C	¹³ N	¹⁴ O	¹⁵ F	¹⁶ Ne	<u>Na</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>	<u>14</u>		
7	⁹ He	¹⁰ Li	¹¹ Be	¹² B	¹³ C	<u>14</u> N	¹⁵ O	¹⁶ F	¹⁷ Ne	¹⁸ Na	<u>Mg</u>	<u>Al</u>	<u>Si</u>	<u>15</u>			
8	¹⁰ He	¹¹ Li	¹² Be	¹³ B	<u>14</u> C	¹⁵ N	¹⁶ O	¹⁷ F	¹⁸ Ne	¹⁹ Na	²⁰ Mg	²¹ Al	²² Si	<u>P</u>			
		<u>9</u>	¹² Li	¹³ Be	¹⁴ B	¹⁵ C	¹⁶ N	<u>17</u> O	¹⁸ F	¹⁹ Ne	²⁰ Na	²¹ Mg	²² Al	²³ Si	²⁴ P		
			<u>10</u>	¹⁴ Be	¹⁵ B	¹⁶ C	¹⁷ N	<u>18</u> O	¹⁹ F	<u>20</u> Ne	²¹ Na	²² Mg	²³ Al	²⁴ Si	²⁵ P		
				<u>11</u>	¹⁶ B	¹⁷ C	¹⁸ N	¹⁹ O	²⁰ F	<u>21</u> Ne	<u>22</u> Na	²³ Mg	²⁴ Al	²⁵ Si	²⁶ P		
				<u>12</u>	¹⁷ B	¹⁸ C	¹⁹ N	²⁰ O	²¹ F	<u>22</u> Ne	<u>23</u> Na	<u>24</u> Mg	²⁵ Al	²⁶ Si	²⁷ P		
				<u>13</u>	¹⁸ B	¹⁹ C	²⁰ N	²¹ O	²² F	<u>23</u> Ne	²⁴ Na	<u>25</u> Mg	<u>26</u> Al	²⁷ Si	²⁸ P		
				<u>14</u>	¹⁹ B	²⁰ C	²¹ N	²² O	²³ F	<u>24</u> Ne	²⁵ Na	<u>26</u> Mg	<u>27</u> Al	<u>28</u> Si	²⁹ P		
				<u>15</u>	²¹ C	²² N	²³ O	²⁴ F	²⁵ Ne	²⁶ Na	²⁷ Mg	²⁸ Al	²⁹ Si	³⁰ P			
				<u>16</u>	²² C	²³ N	²⁴ O	²⁵ F	²⁶ Ne	²⁷ Na	²⁸ Mg	²⁹ Al	³⁰ Si	<u>31</u> P			
				<u>17</u>	²⁴ N	²⁵ O	²⁶ F	²⁷ Ne	²⁸ Na	²⁹ Mg	³⁰ Al	³¹ Si	<u>32</u> P				
				<u>18</u>	²⁶ O	²⁷ F	²⁸ Ne	²⁹ Na	³⁰ Mg	³¹ Al	<u>32</u> Si	<u>33</u> P					
				<u>19</u>	²⁸ F	²⁹ Ne	³⁰ Na	³¹ Mg	³² Al	³³ Si	³⁴ P						
				<u>20</u>	²⁹ F	³⁰ Ne	³¹ Na	³² Mg	³³ Al	³⁴ Si	³⁵ P						
				<u>21</u>	³¹ Ne	³² Na	³³ Mg	³⁴ Al	³⁵ Si	³⁶ P							
				<u>22</u>	³² Ne	³³ Na	³⁴ Mg	³⁵ Al	³⁶ Si	³⁷ P							
				<u>23</u>	³⁴ Na	³⁵ Mg	³⁶ Al	³⁷ Si	³⁸ P								
				<u>24</u>	³⁵ Na	³⁶ Mg	³⁷ Al	³⁸ Si	³⁹ P								
				<u>25</u>	³⁷ Mg	³⁸ Al	³⁹ Si	⁴⁰ P									
				<u>26</u>	³⁸ Mg	³⁹ Al	⁴⁰ Si	⁴¹ P									
				<u>27</u>	⁴⁰ Al	⁴¹ Si	⁴² P										
				<u>28</u>	⁴¹ Al	⁴² Si	⁴³ P										
				<u>29</u>	⁴⁴ P												
				<u>30</u>	⁴⁵ P												
				<u>31</u>	⁴⁶ P												

¹⁴⁵ Gd	Instabile
¹⁴⁶ Gd	1-10 <u>giorni</u>
¹⁴⁹ Gd	10-100 giorni
¹⁵³ Gd	100 giorni - 10 <u>anni</u>
¹⁴⁸ Gd	10-10,000 anni
¹⁵⁰ Gd	>10,000 anni
¹⁵² Gd	Naturale <u>radioattivo</u>
¹⁵⁸ Gd	Stabile

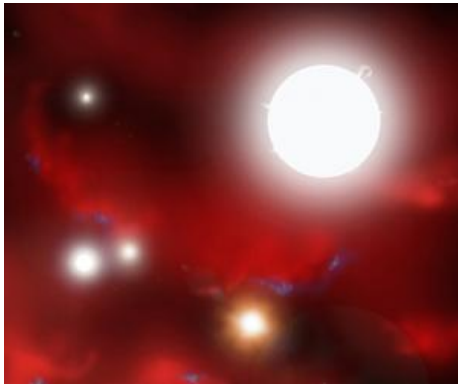


<u>p</u> →	<u>1</u>	<u>2</u>		
<u>n</u> ↓	<u>H</u>	<u>He</u>	<u>3</u>	<u>4</u>
0	¹ <u>H</u>	² <u>He</u>	<u>Li</u>	<u>Be</u>
1	² <u>D</u>	³ <u>He</u>	⁴ Li	⁵ Be
2	³ <u>T</u>	⁴ <u>He</u>	⁵ Li	⁶ Be
3	⁴ <u>H</u>	⁵ <u>He</u>	⁶ Li	⁷ Be
4	⁵ <u>H</u>	⁶ <u>He</u>	⁷ Li	⁸ Be
5	⁶ <u>H</u>	⁷ <u>He</u>	⁸ Li	⁹ Be
6	⁷ <u>H</u>	⁸ <u>He</u>	⁹ Li	¹⁰ Be
	7	⁹ <u>He</u>	¹⁰ Li	¹¹ Be
	8	¹⁰ <u>He</u>	¹¹ Li	¹² Be

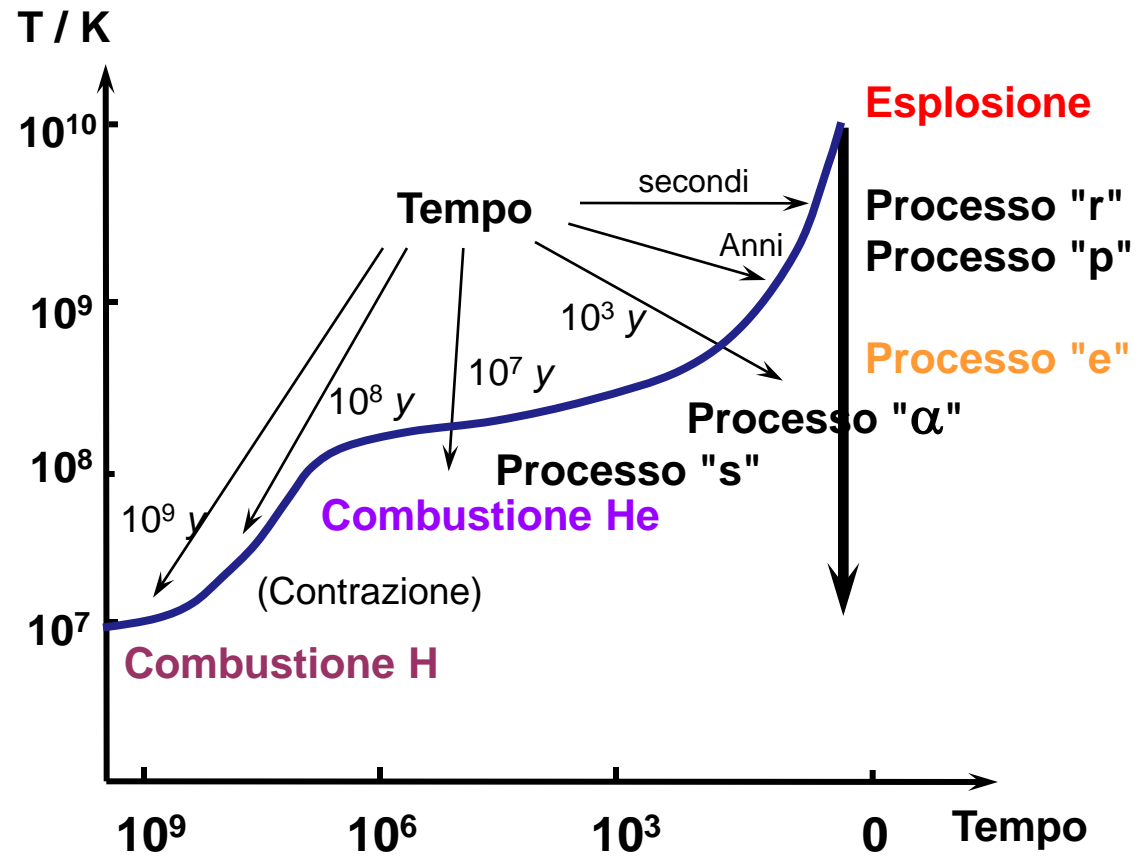
Per i dettagli consultare il sito:
[Tabella dei Nuclidi](#)

¹⁴⁵ Gd	Instabile
¹⁴⁶ Gd	1-10 <u>giorni</u>
¹⁴⁹ Gd	10-100 giorni
¹⁵³ Gd	100 days - 10 <u>anni</u>
¹⁴⁸ Gd	10-10,000 anni
¹⁵⁰ Gd	>10,000 anni
¹⁵² Gd	Naturale <u>radioattivo</u>
¹⁵⁸ Gd	Stabile

Scala Temporale nella Nucleogenesi

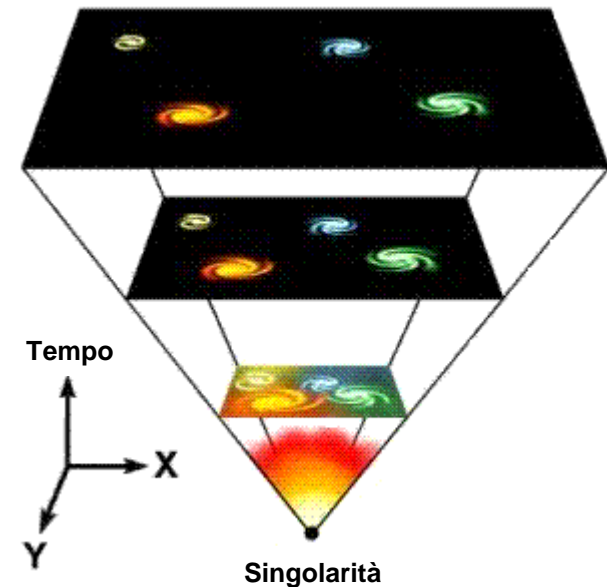


Rappresentazione riassuntiva dei principali processi coinvolti nella nucleogenesi riportati in funzione del tempo e della temperatura richieste.





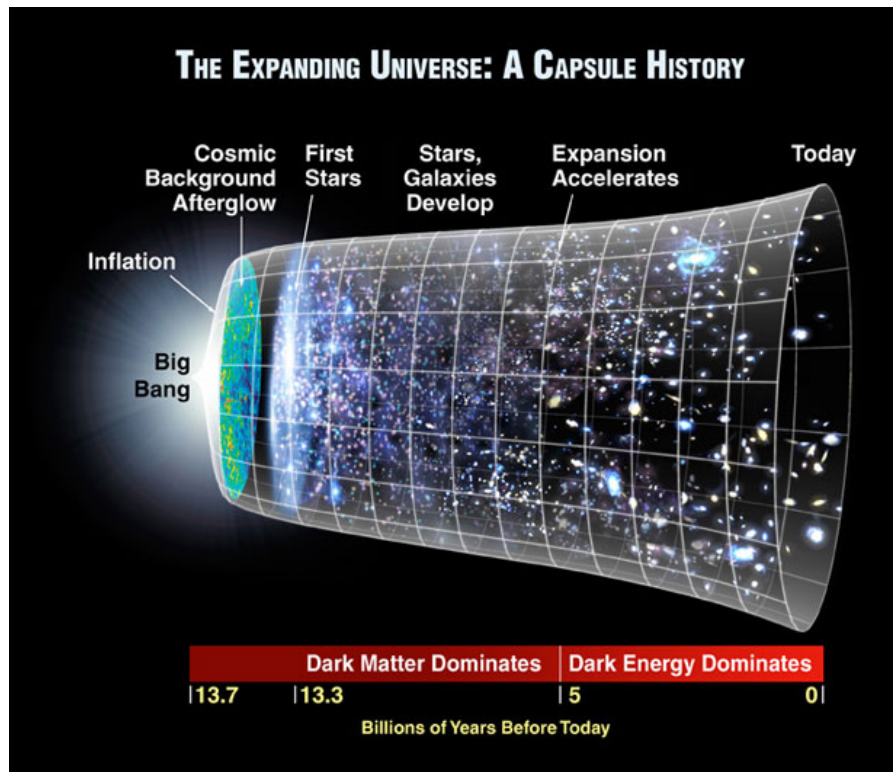
In uno studio del 1998 da parte di Adam Riess e di un gruppo di scienziati dell'Osservatorio "Mount Stromlo" (appartenente al consorzio Australian National University, Harvard University, Johns Hopkins University e Space Telescope Science Institute) si è trovato osservando delle supernove in galassie distanti che l'universo si sta espandendo sempre più velocemente. Ciò viola la seconda legge di Newton sul moto che dice che l'accelerazione è prodotta da una forza. **Quale forza?????**





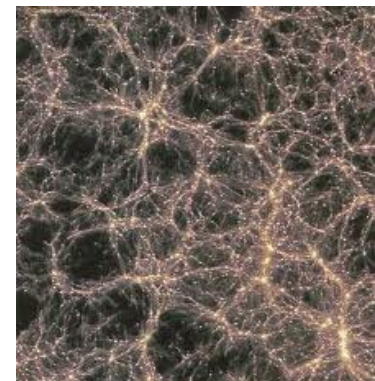
Energia Oscura

Fondamentalmente, l'energia oscura è ciò che si attribuisce all'espansione accelerata dell'universo che significa che non è buia nel senso di assenza di luce, ma oscura in quanto non si conosce nulla su di essa. Tentativi di spiegare o misurare questa energia sono finora falliti.





La materia oscura fu scoperta a seguito dell'osservazione che i bracci delle spirali delle galassie si muovono alla stessa velocità in violazione della legge di Keplero del movimento planetario. Fu spiegata ipotizzando una materia sconosciuta (oscura) che distorce gli effetti gravitazionali noti. Successivamente si trovò che la gravità di buchi neri super massicci al centro delle galassie non era sufficiente per tenere assieme le galassie. Ciò si verificava sia per piccoli gruppi di galassie che per gruppi super massivi di galassie. Inoltre tra i super gruppi di galassie si sono riscontrate lunghe linee a filamento di materia, evidenza di una certa sorta di forze attrattive. La Materia Oscura è stata usata per spiegare tutto ciò.

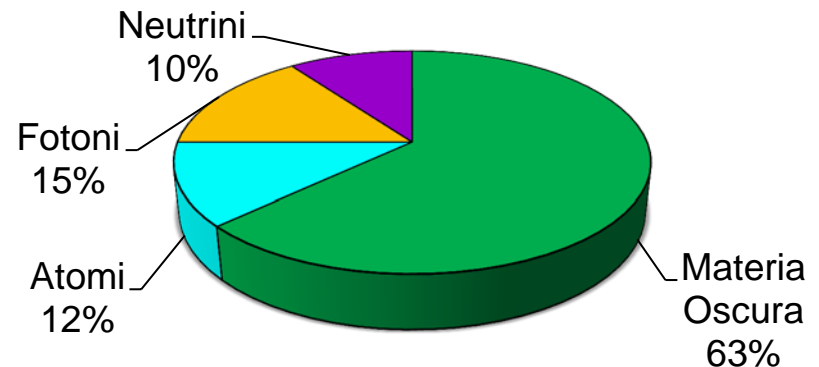
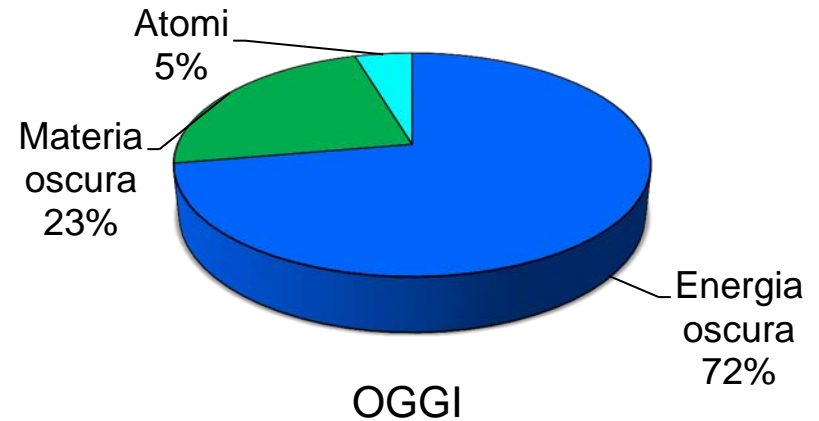




Nuovo Modello del Cosmo

Il nuovo modello del Cosmo ipotizza che il 4.6% dell'universo è fatto di atomi e molecole come ciò che pensiamo di conoscere, circa il 23% è costituito da materia oscura, mentre il resto (72%) è costituito da energia oscura.

In tale ipotesi l'Universo doveva essere assai differente 13.7 miliardi di anni fa !!!!



13.7 miliardi di anni fa
(Universo 380,000 anni)



Lecture sull'Argomento

1. Greenwood, Earnshaw "La Chimica degli Elementi", Piccin Editore (cap. 1), 1998 o meglio il corrispondente testo inglese 2004 – cap. 1.
2. Burbidge, E. Margaret, G. R. Burbidge, W. A. Fowler, F. Hoyle, "Synthesis of Elements in Stars," *Reviews of Modern Physics*, Vol. 29, 4, 15-69, 1957.
3. Kirshner, R. P., "The Earth's Elements," *Scientific American*, pp 59-65, 1994.
4. Peebles, P. James E., D. N. Schramm, E. L. Turner and R. G. Kron, "The Evolution of the Universe," *Scientific American*, pp 53-57, October 1994.
5. Starfield, Sumner and S. N. Shore, "The Birth and Death of Nova V1974 Cygni," *Scientific American*, pp 76-81, January 1995.
6. C. Iliadis, "Nuclear Physics of Stars", Wiley-VCH, 2007, ISBN 978 3 527 40602 9.
7. Trimble, V. "Existence and nature of dark matter in the universe". *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 25: 425–472 (1987).
8. <http://arxiv.org/pdf/astro-ph/0301505v2.pdf> (TASI LECTURES ON DARK MATTER)

Per una visualizzazione di alcuni dei fenomeni nucleari descritti vedere il sito <http://zebu.uoregon.edu/textbook/energygen.html>