

L'universo tascabile



Veniamo
dalle stelle



Grażyna Stasińska
Osservatorio di Parigi

Gli **atomi** sono i costituenti elementari della materia. Sono composti da un **nucleo** (che contiene **protoni** e **neutroni**) e da **elettroni**. Gli **atomi** si combinano in **molecole** condividendo i loro **elettroni**. Le cellule del corpo umano sono composte da miliardi di **molecole**.

La storia della nucleosintesi stellare:
Robert d'Escourt Atkinson **A** pubblicò il suo articolo "Sintesi atomica ed energia stellare" nel 1931. Hans Bethe **B** identificò nel 1938 e 1939 i due meccanismi che trasformano l'idrogeno in elio nelle stelle. Fred Hoyle mostrò nel 1946 come gli elementi vengono sintetizzati dall'idrogeno. Margaret e Geoffrey Burbidge, William Fowler e Fred Hoyle **B²FH** pubblicarono nel 1957 il loro articolo molto dettagliato "Sintesi degli elementi nelle stelle" e, lo stesso anno, Alastair Cameron **C** pubblicò "Reazioni nucleari nelle stelle e nucleogenesi".

Il nostro corpo è composto da acqua (63%), proteine (20%), grassi (10%), zuccheri (2%) e vari minerali (5%).

Da quando è stata sviluppata la chimica, alla fine del XVIII secolo, sappiamo che tutti questi materiali sono composti da **molecole** complesse che contengono **atomi** di idrogeno, carbonio, ossigeno e altri **elementi** in quantità minori.

Questi **elementi** sono esattamente gli stessi che si trovano nelle piante, nella crosta terrestre e nell'atmosfera.

Usando la spettroscopia, gli astronomi hanno dimostrato che questi stessi **elementi** si trovano anche nelle stelle. Ma soltanto alla metà del XX secolo gli astronomi sono riusciti a capire l'origine di questi **elementi** e a scoprire il legame molto stretto che ci collega alle stelle.



2



3

Idrogeno ed elio

Quando l'Universo era molto denso e caldo ($T = 10^{12}$ K), poco dopo il Big Bang*, conteneva solo particelle elementari di materia (quark, elettroni, neutrini) e "grani" di luce chiamati fotoni.

Quando si raffreddarono, i quark si combinarono in protoni e neutroni in quantità uguali. Ma quando la temperatura scendeva, la maggior parte dei neutroni si trasformava in protoni, che sono meno massicci. Quando la temperatura scese sotto i 10^9 K, c'erano 7 protoni per ogni neutrone.

Neutroni e protoni si combinavano poi per formare i nuclei. Il nucleo più stabile che si poteva formare in quel momento era l'elio. Tutti i neutroni disponibili furono usati per formare l'elio, dando un nucleo di elio per ogni 12 nuclei di idrogeno alla fine dell'epoca primordiale.

* vedi tuimp 12

5

Protone: formato da tre particelle elementari, i quark. Ha una carica elettrica positiva e la sua massa è di $1,672\,649 \times 10^{-24}$ g.

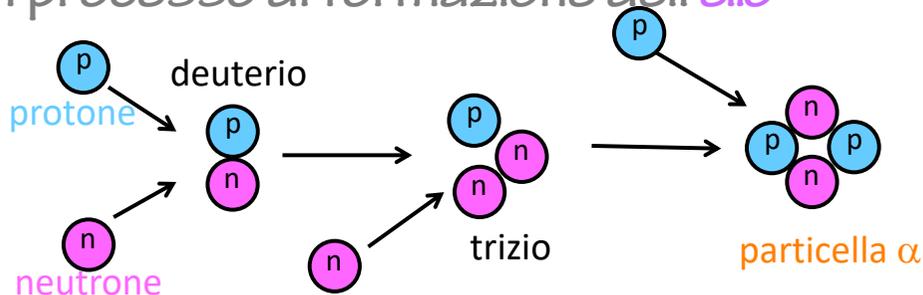
Neutrone: anch'esso formato da tre quark ma non ha una carica elettrica. La sua massa è di $1,674\,93 \times 10^{-24}$ g.

Elettrone: particella di carica elettrica negativa, la cui massa è circa $1/2000$ di quella del protone.

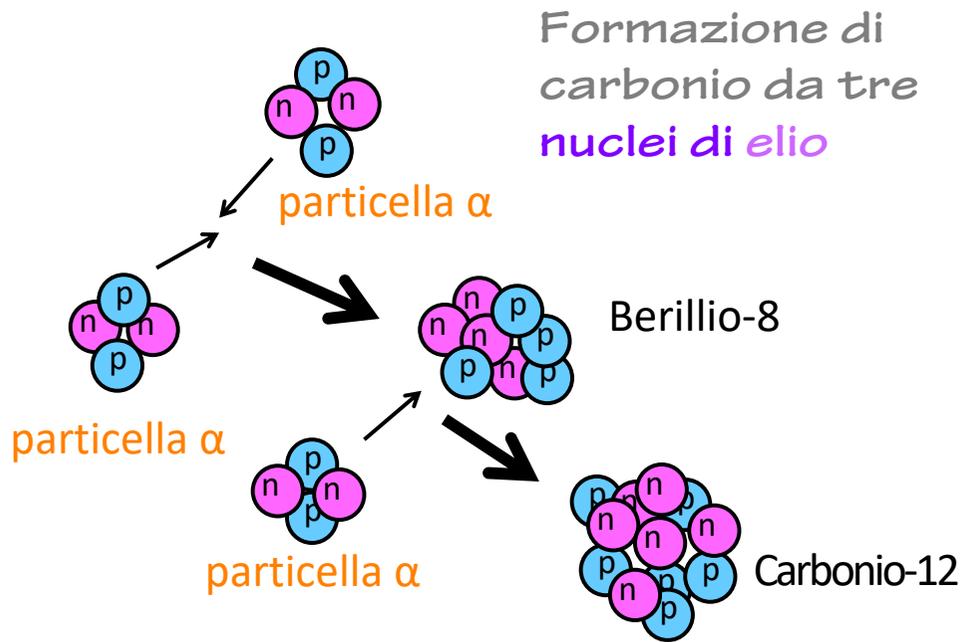
Idrogeno: il più leggero degli elementi. È composto da un protone e un elettrone.

Elio: l'elemento stabile più leggero dopo l'idrogeno. È composto da una particella α e 2 elettroni.

Un processo di formazione dell'elio



Fu George Gamow, in un articolo con Alpher e Bethe nel 1948, a proporre la teoria della formazione di idrogeno ed elio primordiali. In questo articolo, gli autori sostenevano inoltre che anche tutti gli altri elementi si erano formati nel Big Bang aggiungendo successivamente neutroni. Ma su questo punto si sbagliavano.



Fusione nelle stelle

Il nucleo molto caldo e denso di una stella fornisce le condizioni ideali per produrre nuclei sempre più grandi.

In primo luogo, gli atomi di idrogeno si combinano per formare l'elio. Questo corrisponde alla fase più lunga della vita di una stella. Quasi tutte le stelle che vediamo brillare ottengono la loro energia da questo processo.

Una volta esaurito l'idrogeno, il nucleo di elio si condensa e la sua temperatura aumenta, poi i nuclei di elio si fondono in gruppi di tre per formare carbonio, mentre l'idrogeno continua a produrre elio negli strati esterni della stella.

Si formano poi nuclei più pesanti, tramite ulteriori aggiunte di particelle α in diversi strati. Se la stella è abbastanza massiccia, questo processo continua finché il nucleo è fatto di ferro, l'elemento più stabile. I nuclei più pesanti del ferro sono creati in diverse condizioni dall'aggiunta di neutroni.

Diagramma della struttura a cipolla di una stella massiccia alla fine della sua evoluzione. Ogni strato ha una composizione diversa.

Elementi più pesanti del ferro sono prodotti da neutroni cattura.

idrogeno
elio
carbonio
ossigeno
silicio
ferro

6

7

Venti, collisioni, esplosioni

Alcuni degli **elementi** formati nelle stelle vengono espulsi nel mezzo interstellare, mentre il resto è rinchiuso per sempre nei "cadaveri stellari" che sono le nane bianche, le stelle di **neutroni** e i buchi neri.

Le stelle con una massa inferiore a 8 volte quella del Sole disperdono i loro strati esterni in modo pacifico, espellendo azoto, carbonio e alcuni **elementi** più pesanti del ferro.

Le stelle più massicce terminano la loro vita in un'esplosione spettacolare, una supernova, ed espellono carbonio, ossigeno, neon, magnesio e silicio, tra gli altri.

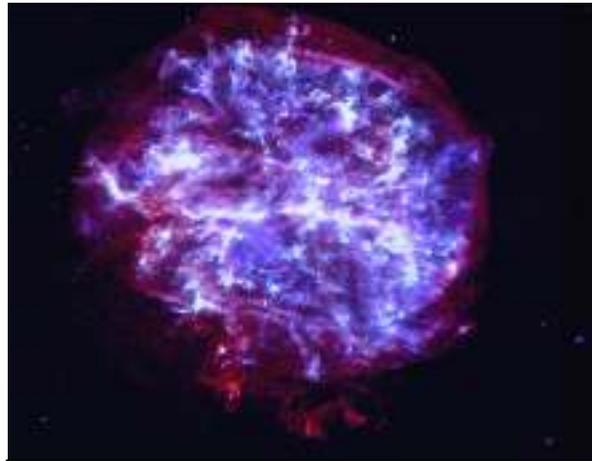
Altri **elementi** pesanti, come l'oro e l'uranio richiedono una densità molto alta di **neutroni** per formarsi, e questo è più probabile che avvenga nelle collisioni tra stelle di neutroni.

Immagine composita della nebulosa planetaria Occhio di gatto. Questo oggetto è il risultato di diversi episodi di venti stellari emanati dalla stella centrale che è ora in procinto di diventare una nana bianca.



La nebulosa planetaria Occhio di Gatto. (Credito: R. Corradi con il telescopio NOT).

G292.0 + 1.8: Un resto di supernova proveniente da una stella di grande massa che ha espulso molto ossigeno, magnesio e neon nel mezzo interstellare.



G292.0+1.8 nei raggi X. Credito: NASA/CXC/SAO.

Rappresentazione della collisione di due stelle di **neutroni**. Si ritiene che l'oro, l'uranio e altri elementi pesanti dell'Universo si siano formati durante un tale evento.



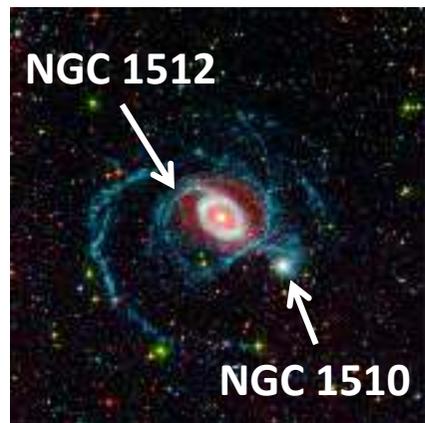
Vista dell'artista (Dana Berry, SkyWorks Digital).

L'odissea cosmica degli elementi

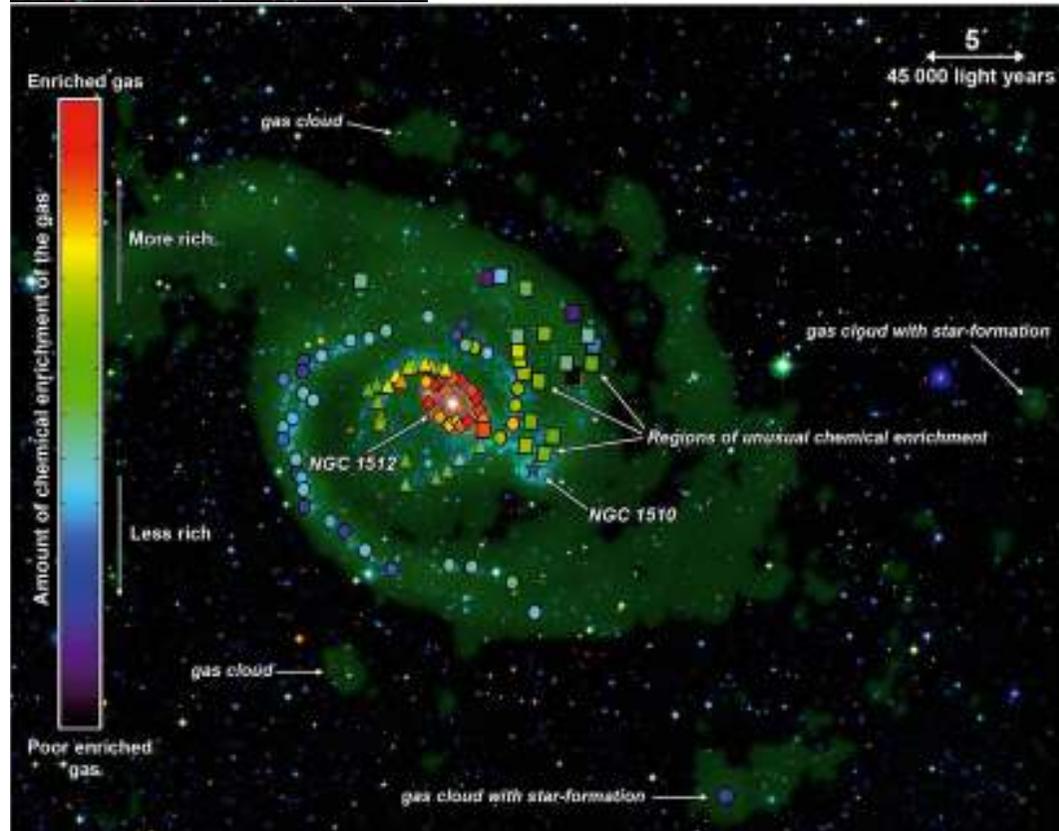
Una volta rilasciati nel mezzo interstellare, gli **elementi** iniziano un lungo viaggio attraverso le galassie, prima di essere intrappolati durante la formazione di nuove stelle. Così, le generazioni successive di stelle diventano sempre più ricche di carbonio, azoto, ossigeno e altri elementi.

Il viaggio degli **elementi** attraverso il mezzo interstellare può essere molto tortuoso, con perturbazioni legate alle collisioni tra galassie. Gli **elementi** rilasciati durante le esplosioni di supernova possono anche fare incursioni nel mezzo intergalattico, e infine finire in altre galassie.

Infatti, recenti simulazioni numeriche suggeriscono che molti degli **elementi** presenti nella Via Lattea provengono da altre galassie.



Le galassie NGC 1512 e NGC 1510 viste in luce ultravioletta. Le aree luminose sono regioni dove si sono formate recentemente delle stelle. Credito: GALEX (NASA)



I simboli indicano l'abbondanza di ossigeno (rosso dove abbondante, blu dove scarso).

Credito: López-Sánchez (AAO/MQU) & Koribalski (CSIRO).

Percentuale di massa degli **elementi** chimici
in diverse località

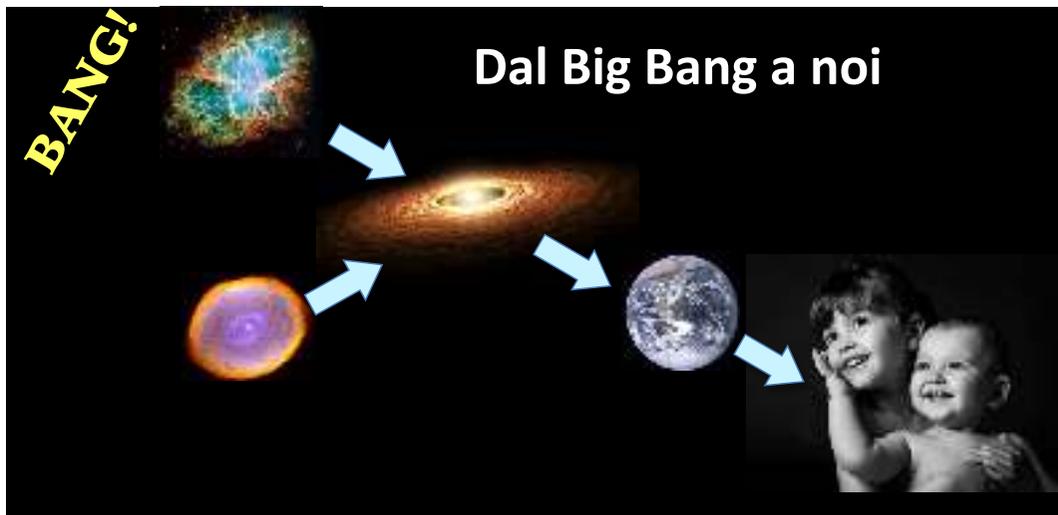
	Num. di protoni	Sistema solare	Crosta terrestre	Corpo umano
H	1	70.5	0.14	9.5
Egli	2	27.5	-	-
C	6	0.30	0.030	18.5
N	7	0.11	0.005	3.2
O	8	0.96	46.6	65
Si	14	0.065	27.7	0.00002
S	16	0.040	0.050	0.3
Ca	20	0.006	3.6	1.5
Fe	26	0.117	5.0	0.006

Dalle stelle agli esseri viventi

Prima di diventare parte di un essere vivente, gli **elementi** devono passare attraverso molte fasi che sono ancora poco comprese.

Prima c'è la formazione di nubi di **molecole** e polvere, in cui nascono le stelle. Quando sono ancora molto giovani, queste stelle sono circondate da un disco protoplanetario, composto da grumi di polvere e ghiaccio.

È da questo materiale del disco che si formano i pianeti. La loro composizione chimica differisce a seconda della distanza dalla stella: Più piccola è la distanza, più è facile che gli **elementi** volatili si disperdano. Dipende anche dalla massa dei pianeti: Più piccola è la massa, più facile è la fuga delle particelle più leggere. Mentre il pianeta si forma, si verifica una segregazione degli **elementi** in modo che il nucleo abbia una composizione diversa dalla crosta. Infine, è dai materiali della crosta che si formano gli esseri viventi.





La stella
Betelgeuse



Il pianeta Giove



Una creside: una
moneta d'oro,
battuta dal re
Creso nel VI secolo
a.C. in Lidia.



La nebulosa
planetaria
IC 418

Quiz

Qual'è l'origine
dell'oro?



Risposta sul retro

Il residuo di
supernova Crab

Soluzione

Si pensa che l'oro si
formi durante la
collisione di stelle di
neutroni come
quella mostrata in
questa foto



L'universo tascabile No. 14

Questo libretto è stato scritto nel 2020 da Grażyna Stasińska dell'Osservatorio di Parigi (Francia) e rivisto da Nikos Prantzos dell'Istituto di Astrofisica di Parigi.

Immagine di copertina: estratto di un dipinto dell'artista giapponese KAGAYA



Per saperne di più su questa serie e sugli argomenti presentati in questo libretto, visita

<http://www.tuimp.org>

Traduzione: Marcello Fulchignioni
TUIMP Creative Commons

