

STELLE “EQUILIBRISTE”

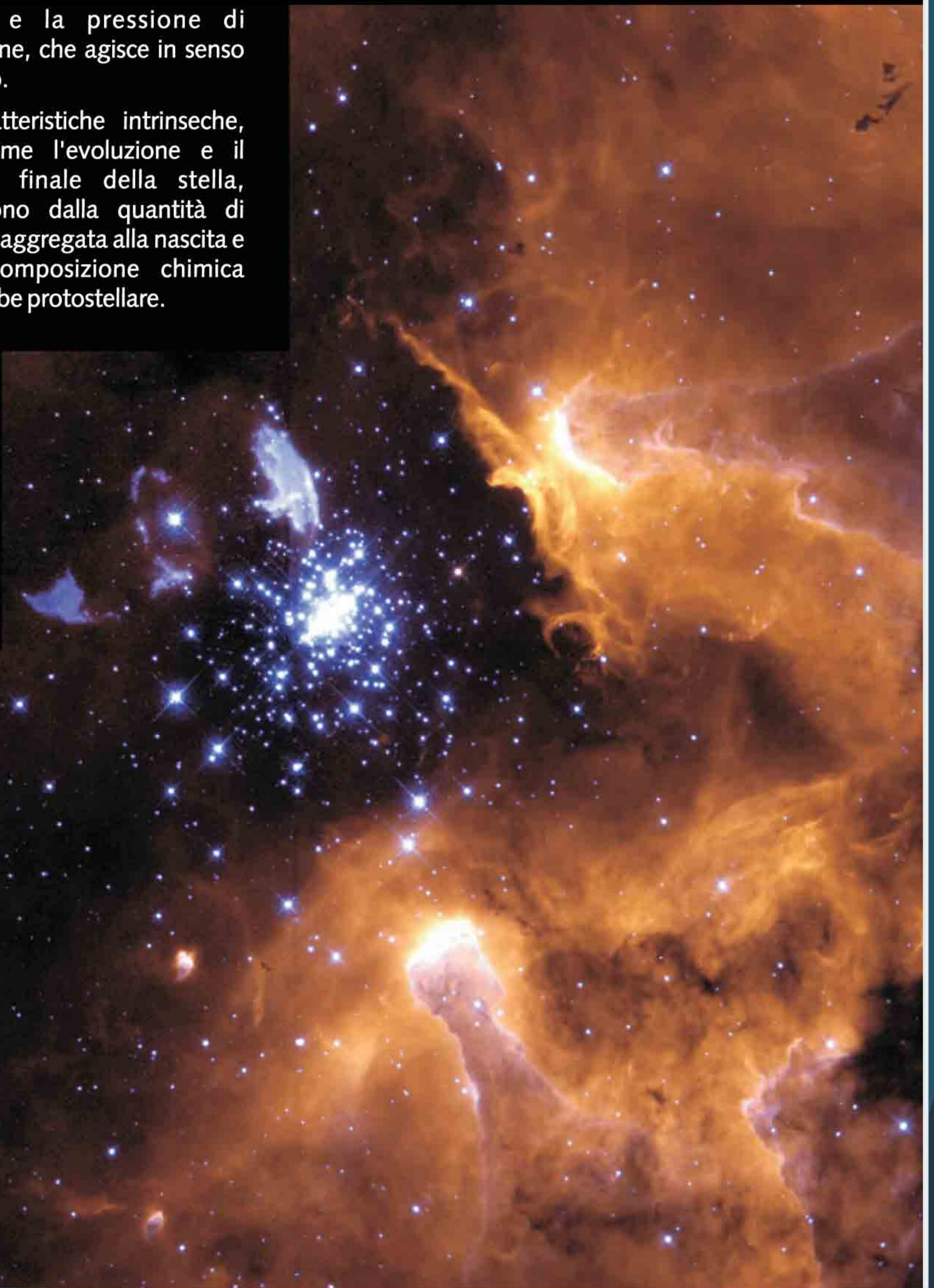
Le stelle nascono in nebulose di gas e polveri, dove si formano addensamenti locali per l'azione della gravità.

Al crescere della materia che si raccoglie attorno al nucleo iniziale, crescono forza di gravità, pressione e conseguentemente la temperatura: nasce così una protostella.

Quando la temperatura interna raggiunge un valore dell'ordine di $8.000.000^{\circ}\text{C}$, si innescano reazioni di fusione nucleare tra nuclei di Idrogeno, con la conseguente emissione di grandi quantità di energia sotto forma di radiazione.

Tutta la vita della stella è caratterizzata da un delicato equilibrio tra la spinta gravitazionale, che tende a fare collassare la stella, e la pressione di radiazione, che agisce in senso opposto.

Le caratteristiche intrinseche, così come l'evoluzione e il destino finale della stella, dipendono dalla quantità di materia aggregata alla nascita e dalla composizione chimica della nube protostellare.



Massa < 4 Masse Solari \rightarrow Nana Bianca
4 Masse Solari $< M < 10$ Masse Solari \rightarrow Supernova \rightarrow Stella di Neutroni
10 Masse Solari $< M \rightarrow$ Supernova \rightarrow Buco Nero



LA FABBRICA DEGLI ELEMENTI

Tre minuti dopo l'inizio, l'Universo era costituito per il 75% da Idrogeno, per circa il 25% da Elio, più tracce di altri elementi leggeri (Deuterio, Tritio, Litio).

Ma la materia di cui è fatta la Terra e la chimica che sostiene la vita necessitano di altri elementi più pesanti, in particolare di Carbonio, Azoto e Ossigeno.

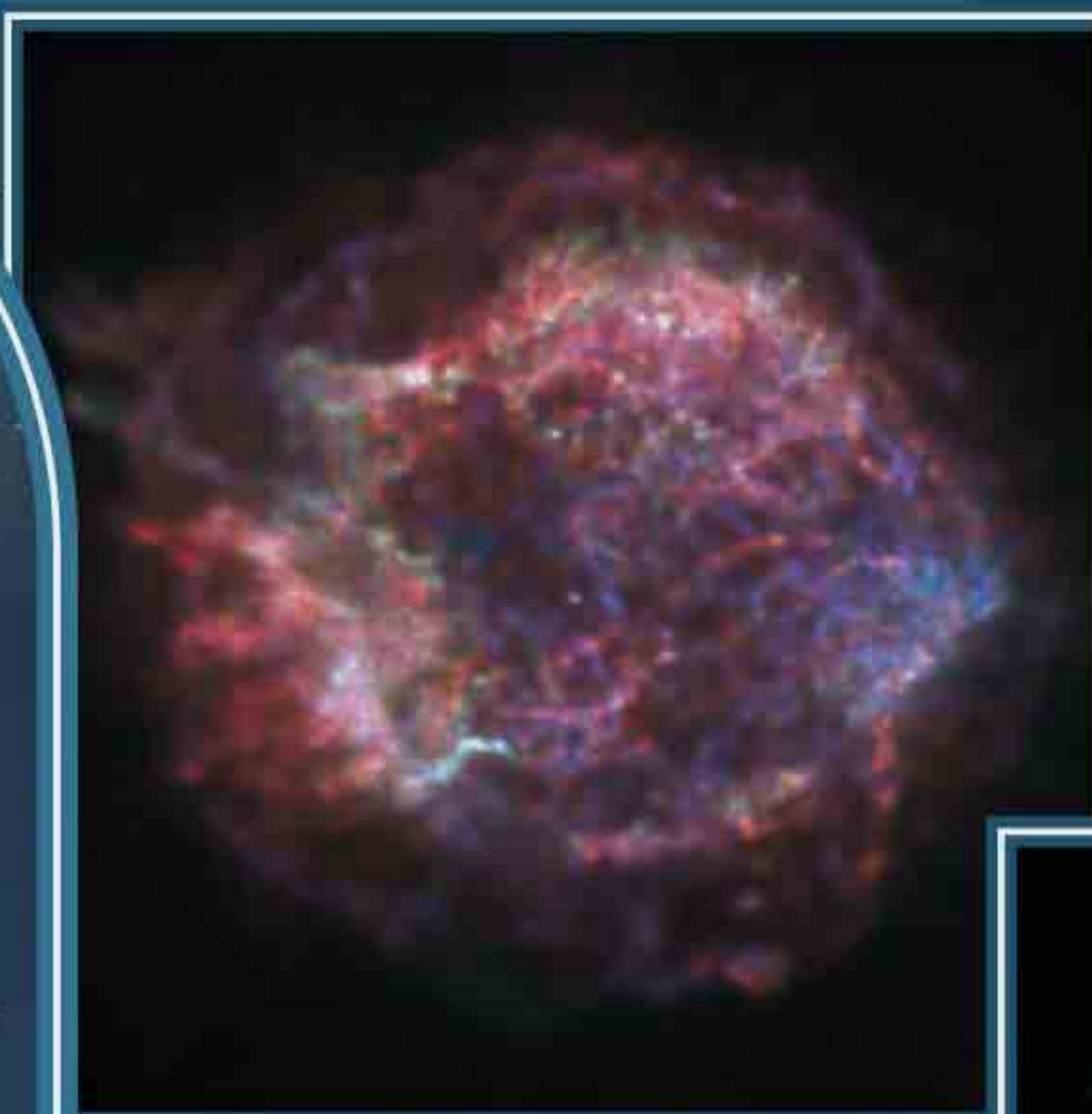
Questi elementi sono prodotti mediante i processi di fusione nucleare all'interno di stelle di massa superiore a quella del Sole.

Nel corso della propria vita, le **stelle di grande massa** "bruciano" nel proprio interno combustibili nucleari via via più pesanti e corrispondentemente l'efficienza del processo di produzione energetica si riduce.

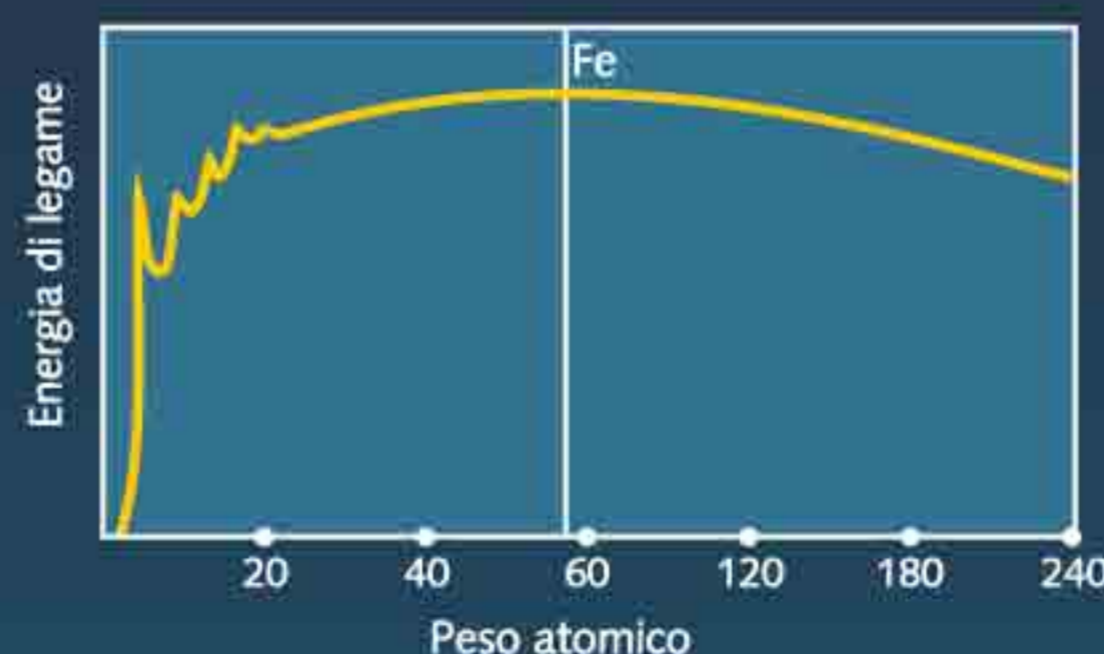
Quando l'ultimo ciclo di reazioni produce il Ferro, il processo di fusione è così poco efficiente da non essere più in grado di contrastare la contrazione gravitazionale.

A questo punto la stella collassa, con un enorme aumento di densità e temperatura che provoca una esplosione di inaudita violenza (supernova), disseminando nello spazio gli elementi chimici formati.

La formazione degli elementi più pesanti del Ferro avviene invece principalmente per cattura di neutroni seguita da successivi decadimenti radioattivi da parte dei nuclei di media massa formati all'interno delle stelle. Questo può accadere molto lentamente (in migliaia di anni) all'interno delle stelle giganti rosse, oppure tramite processi rapidi (in pochi secondi) durante la fase esplosiva delle supernovae.



Immagini dal satellite Chandra per l'osservazione nello spettro X. Resti della supernova Cassiopea A G11.2-0.3 (sinistra). Le aree di colore rosso sono ricche di Ferro, quelle bianche/verdi all'interno sono ricche di Silicio. In basso: supernova 1E 0102.2-7219. Le aree colorate blu e bianche indicano la materia violentemente riscaldata (centinaia di milioni di gradi) dall'onda d'urto dell'esplosione.



Con tecniche di spettroscopia di massa molto accurate si è trovato che protoni e neutroni (nucleoni), quando uniti a formare un nucleo atomico, hanno masse inferiori di quando sono isolati. Tale differenza di massa, per una singola particella nucleare, è chiamata difetto di massa, e, se moltiplicata per il quadrato della velocità della luce nel vuoto, rappresenta la quantità di energia che tiene legata una particella nel nucleo. Se si vuole scindere il nucleo in protoni e neutroni è necessario fornire a esso una quantità di energia equivalente all'energia di legame. Nel grafico, è mostrata l'energia di legame per nucleone, cioè il rapporto tra l'energia di legame e il numero A di nucleoni che formano i nuclei dei vari elementi in funzione di A. L'energia di legame aumenta all'aumentare di A e raggiunge un valore massimo in corrispondenza di 56, cioè del Ferro. Gli atomi con A in questa zona sono quindi i più stabili. Quelli sia da una parte sia dall'altra del massimo presentano invece eccessi di massa che possono essere rilasciati in forma di energia andando verso il centro della curva: cioè due atomi leggeri si possono fondere formando atomi più pesanti (fusione) o un atomo pesante si può scindere formando atomi più leggeri (fissione). I processi di fusione si arrestano quindi con la formazione del ferro.



UNA STELLA SINGOLARE

La maggior parte delle stelle fanno parte di sistemi multipli (composti da 2-6 stelle), ammassi aperti (10-100 stelle) o ammassi globulari (milioni di stelle). In ciascuno di questi casi, ogni stella subisce l'influenza gravitazionale delle stelle compagne. Il Sole invece è una stella singola: questa è una condizione **privilegiata** per il mantenimento di un sistema planetario stabile.



L'ammasso delle Pleiadi.

INTORNO A QUALI STELLE CERCARE LA VITA?

Condizioni necessarie (ma non sufficienti)

1. **Stabilità.** Solo alcune stelle sono in grado di generare, mediante reazioni di fusione nucleare, la stessa quantità di luce e calore per un lungo periodo della loro vita. In questo modo sono garantite condizioni ambientali stabili ai suoi eventuali pianeti.

2. **Età.** L'evoluzione delle specie biologiche richiede tempi lunghi; non sarebbe possibile trovare la varietà di vita presente sulla Terra in pianeti appartenenti a stelle molto giovani.

3. **Composizione chimica.** La vita richiede Carbonio, Ossigeno e Azoto, che solo intorno a una stella di seconda o terza generazione si possono trovare nelle abbondanze sufficienti alle necessità biologiche.

IL SOLE SODDISFA QUESTI REQUISITI

Gli **ammassi aperti** sono gruppi di stelle 'giovani', calde e luminose. Si trovano essenzialmente nel disco galattico, e hanno vita breve: le stelle dell'ammasso possono variare velocità e, con il tempo, allontanarsi dalle proprie compagne.

IDENTIKIT DEL SOLE

Energia incidente sulla superficie della Terra	1366 Watt/m ² (costante solare)
Distanza Terra-Sole	1,496 10 ⁸ Km
Età	4,5X10 ⁹ anni
Temperatura	Superficie 5800 K Macchie solari 3800 K Nucleo 15.6 10 ⁶ K Corona 10 ⁶ K
Composizione	H 74% He 25% altro 1%
Densità	1408 gr/cm ³
Massa	1.989 10 ³⁰ Kg
Diametro	1.392 10 ⁶ Km



Gli **ammassi globulari** si trovano principalmente nell'alone galattico. La maggior parte di essi percorre orbite molto eccentriche intorno al centro galattico. Sono formati da stelle "vecchie", caratterizzate da una minor abbondanza di elementi pesanti rispetto alle stelle del disco galattico. Data l'elevata densità di stelle nell'ammasso le interazioni e le collisioni tra stelle sono molto probabili.



CHIMICA GALATTICA

MOLECOLE ORGANICHE NELLO SPAZIO

Lo spazio tra una stella e l'altra non è vuoto. Nel *mezzo interstellare* sono presenti gas e polveri. Esso ci appare spesso formato da nebulose oscure o luminose, a seconda di come gas e polveri interagiscono con la luce emessa dalle stelle.

Il mezzo interstellare è estremamente rarefatto: in media contiene un atomo per cm^3 (contro i 50 miliardi di miliardi nell'aria al livello del mare) e un granulo di polvere di dimensioni inferiori a un micron in un cubo di 30 m di lato.

Nello spazio profondo sono state individuate molte molecole organiche, cioè di composti del Carbonio quali idrocarburi, alcoli, zuccheri, amminoacidi. Alcuni di essi sono precursori di molecole di fondamentale importanza biologica, come le proteine.

Come si sono formate?

I mattoni della vita sulla Terra provengono forse in parte dallo spazio?

CHIMICA, SPETTROSCOPIA & RADIOASTRONOMIA

Dal 1904 la spettroscopia, applicata all'analisi della luce proveniente dai corpi celesti, ha consentito di rilevare la presenza nel mezzo interstellare di oltre 120 diverse molecole, formate anche da dieci o più atomi. L'analisi della luce emessa o diffusa consente di analizzare rispettivamente la natura chimica del gas e le dimensioni dei granuli di polvere, che arrivano al massimo a quelle del fumo di sigaretta.

Diffondendo soprattutto la luce blu, la polvere infatti *arrossa* la luce delle stelle retrostanti, analogamente a quanto avviene alla luce del Sole all'alba o al tramonto. Analizzando le emissioni nell'infrarosso e nelle microonde è possibile invece identificare le molecole in base alle loro vibrazioni e rotazioni caratteristiche, che sono le autentiche *impronte digitali* delle molecole.



Zona di formazione stellare nella nebulosa del Cigno (foto HST)



La nebulosa Testa di Cavallo nella costellazione di Orione (foto HST)

LA MATERIA "VISIBILE" NELLA GALASSIA

Stelle 90%
Nubi 10%
(di cui 99% gas, 1% polveri)
sulla massa visibile totale

LE REAZIONI: COME E PERCHÈ

Nelle nebulose la temperatura è di poche decine di gradi Kelvin: le comuni reazioni chimiche (*termiche*) non hanno perciò sufficiente energia per avvenire. Si ipotizzano quindi reazioni tra atomi che abbiano perso elettroni mediante ionizzazione (*non termiche*). In questo modo, anche alle bassissime temperature delle nubi interstellari, le reazioni avvengono in modo efficace.

Gli atomi vengono ionizzati dai raggi cosmici, dai raggi X e dalla radiazione UV proveniente dalle stelle. Gli UV più energetici vengono filtrati a causa della presenza di atomi di idrogeno ionizzati all'esterno delle stelle stesse: non sono quindi più in grado di ionizzare Idrogeno, Elio, Ossigeno, Azoto, Neon (che possono essere invece ionizzati da raggi cosmici e raggi X), mentre sono ancora in grado di ionizzare Carbonio, Zolfo, Silicio. Poiché il flusso degli UV è da 1 a 10 milioni di volte maggiore di quello di raggi cosmici e raggi X, lo ione più presente, nonostante la relativa scarsità del Carbonio, è proprio lo ione Carbonio.

Questo spiega la presenza di composti del Carbonio nel mezzo interstellare.



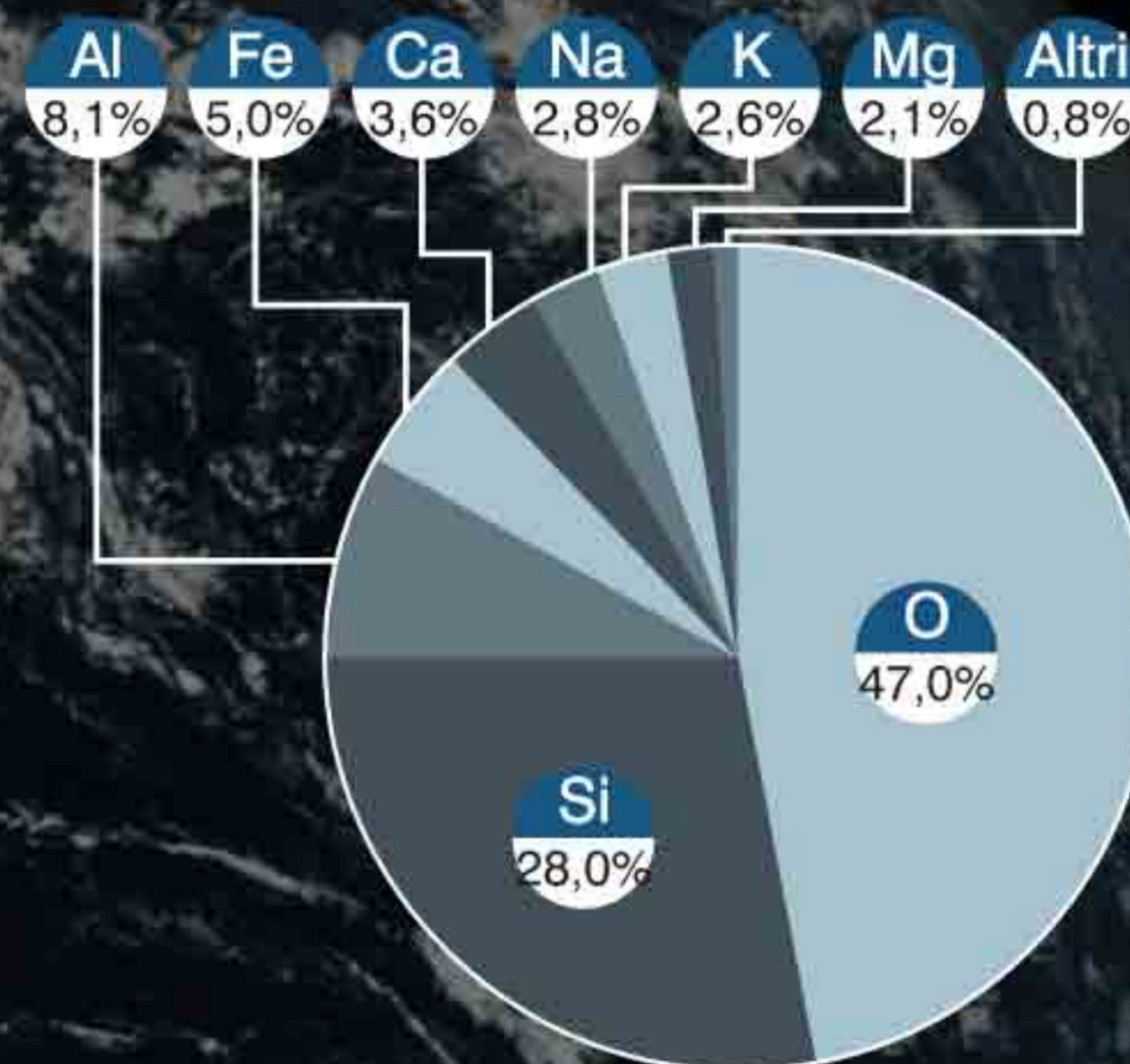
Zona di formazione stellare nella nebulosa dell'Aquila (HST)



POLVERE DI STELLE

La composizione chimica del nostro pianeta differisce sensibilmente da quella del Sole. Sulla Terra abbondano infatti gli elementi "pesanti" quali Ossigeno, Silicio, Ferro. La presenza di questi elementi è stata tuttavia riscontrata anche nel Sole, seppure in piccole quantità. E' ormai accertato che vi sia stata una origine comune di tutto il Sistema solare, derivante da un'unica nube di gas e polveri, a sua volta residuo di esplosioni di stelle massicce preesistenti al Sistema stesso. La composizione terrestre è poi diversa a seconda che si consideri la sola crosta o le zone interne della Terra. Tra gli elementi essenziali alla vita, ve ne sono di relativamente rari: il Carbonio, per esempio, rappresenta lo 0,03% dell'atmosfera e lo 0,094% della crosta terrestre, mentre è il 18% in massa nel corpo umano. Quattro elementi, Idrogeno, Carbonio, Azoto e Ossigeno, rappresentano insieme il 95% in massa di tutta la materia vivente sulla Terra.

% in massa degli elementi nella crosta terrestre



% degli elementi sulla massa totale terrestre

