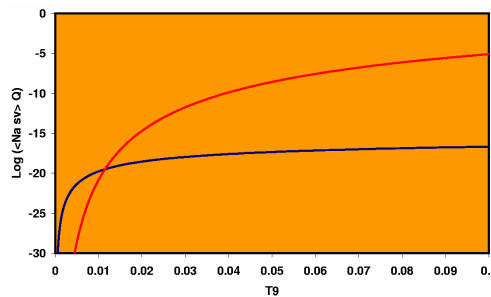


EVOLUZIONE DI PRESUPERNOVA

(dr.ssa Alessandra Di Cecco)

Le stelle di massa maggiore di 12 masse solari terminano la loro evoluzione dando luogo all'evento di Supernova a collasso gravitazionale. Queste stelle consentono l'innesco quiescente di tutte le reazioni che seguono la fusione dell'idrogeno, senza manifestare regimi di pesante degenerazione. Quando l'energia nucleare prodotta dalle reazioni attive nel nucleo sono sufficienti a sopperire le perdite di energia per irraggiamento la stella entra nella prima fase evolutiva sorretta nuclearmente e la contrazione si arresta.

La fusione di 4 atomi di idrogeno (H) in uno di elio (He), avviene generalmente attraverso due catene principali: la catena protone-protone (p-p) e la catena CNO. Quest'ultima è efficiente quando sono presenti nuclei di carbonio (C), ossigeno (O) e azoto (N) e diventa efficiente alle temperature più alte di una temperatura critica.



La funzione di questi nuclei è quella di catalizzare la reazione $4\text{H} \rightarrow {}^4\text{He}$, con conseguente diminuzione di C e O ed aumento di N. Poiché la temperatura centrale è proporzionale alla massa della stella, nelle stelle massicce la fusione di H avviene principalmente per mezzo del ciclo CNO e produce un nucleo convettivo.

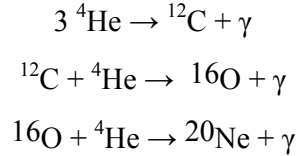
Durante il bruciamento dell'H possono essere attivati anche i cicli Neon-Sodio (Ne-Na) e Magnesio-Alluminio (Mg-Al), durante i quali scompaiono ${}^{21}\text{Na}$ e ${}^{25}\text{Mg}$ e vengono prodotti ${}^{23}\text{Na}$ e ${}^{26}\text{Mg}$.

Man mano che viene prodotto, l' ${}^4\text{He}$, più pesante dell'H, scivola al centro della stella, spingendo l'involuppo di H all'esterno. Questo processo porta all'espansione degli strati più esterni, i quali divengono convettivi, e la temperatura superficiale della stella diminuisce. Durante questa fase materiale appartenente al nucleo della stella viene portato in superficie (1° dredge-up).

Quando l'H al centro finisce, il nucleo di ${}^4\text{He}$ si contrae e si riscalda, ma raggiunta la temperatura di $1.5 \cdot 10^8$ K si forma ${}^8\text{Be}$, il quale essendo instabile decade. Con l'aumento della temperatura diventa possibile la sintesi di ${}^{12}\text{C}$, attraverso la reazione ${}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$.

Mentre la fase del bruciamento di H dura miliardi di anni, quella del bruciamento di He dura “soltanto” centinaia di migliaia di anni.

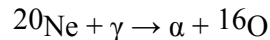
Gli isotopi più abbondanti prodotti al termine delle reazioni che coinvolgono l' ^4He sono ^{12}C , ^{16}O e ^{20}Ne :



Adesso la stella ha un nucleo di carbonio e ossigeno (CO) e due shell, una di He ed un'altra di H. Comincia di nuovo la contrazione del nucleo di CO. Alla temperatura di 10^9 K diventa efficace la perdita di energia per termoneutrini, prodotti dall'annichilazione di coppie e che durerà fino alla fase di precollasso. La stella perde dunque energia per irraggiamento dalla superficie e per neutrini al centro. Durante la fase di bruciamento di ^{12}C , si attiva una sorgente di produzione di neutroni che da origine ai processi S (processi per i quali i neutroni vengono catturati dagli atomi presenti e formano elementi più pesanti).

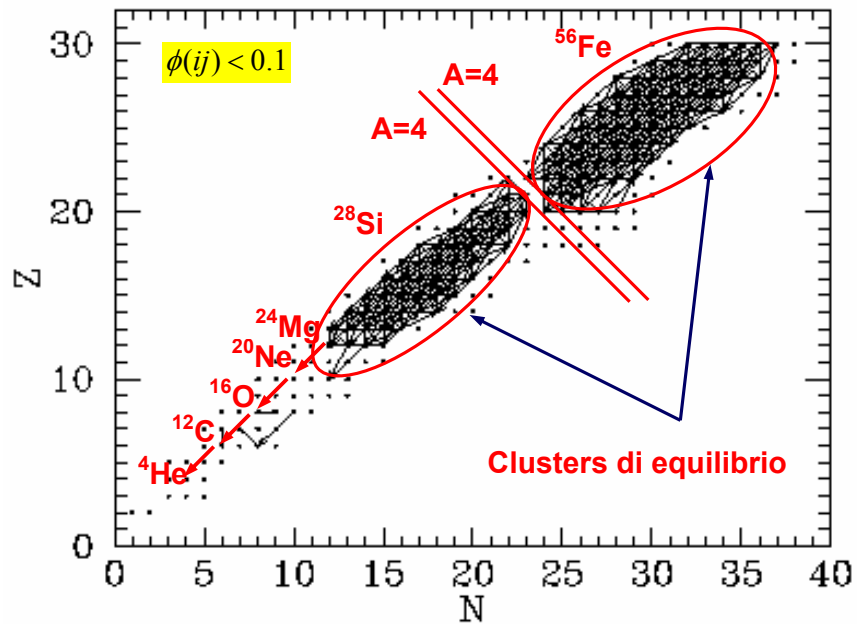
All'esaurimento del ^{12}C al centro, si sono formati ^{16}O e ^{20}Ne , principalmente.

La reazione che segue lo spostamento del ^{12}C in shell è la fotodisintegrazione del ^{20}Ne :



Le particelle α prodotte dalla fotodisintegrazione del ^{20}Ne generano condizioni favorevoli alla produzione di zolfo e silicio, oltre all' ^{16}O , che brucia appena esaurito il neon. Siamo alla $T \sim 1.8 \cdot 10^9$ K e la shell di ossigeno cresce fino ad ingoiare la shell di ^{20}Ne rimasta. In questa fase che dura appena pochi mesi l'energia prodotta supera la perdita di energia per neutrini. I prodotti sono isotopi del silicio e dello zolfo, ma l'alto numero di decadimenti e di catture elettroniche lascia anche Cl, Ar e P.

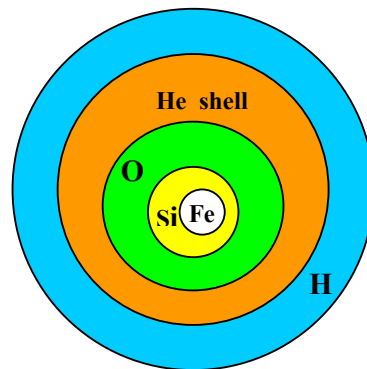
Finalmente, la combustione di ^{16}O si sposta in shell e lascia posto ad un nucleo di S e Si. La combustione del ^{28}Si inizia un mese dopo l'esaurimento dell' ^{16}O al centro, quando $T_c \sim 3.1 \cdot 10^9$ K e si ha ancora elevata perdita di energia per neutrini, prodotti questa volta non solo da annichilazione di coppie, ma anche dalle interazioni deboli. L'energia prodotta è così elevata che i processi di fotodisintegrazione equilibrano quelli di cattura di particelle. Si formano così due grandi insiemi di isotopi all'equilibrio intorno al ^{28}Si ed al ^{56}Fe , tuttavia, le reazioni che non sono all'equilibrio, come la fotodisintegrazione del silicio, permettono alla materia di muoversi da un insieme all'altro.



Esaurito il ${}^{28}\text{Si}$, i due insiemi si fondono a formare un unico cluster all'equilibrio ed i prodotti finali sono i gruppi del Fe, Co, Ni, Mn e Cr.

Quando il Si si sposta nella shell sovrastante il nucleo di Fe, inizia la fase di contrazione che porterà all'esplosione finale della stella.

Adesso la nostra struttura può essere suddivisa in cerchi concentrici che ricordano i loro trascorsi di bruciamento nucleare.



Mentre il nucleo si contrae aumentano la temperatura e la pressione al centro, ma il ferro non può venire bruciato perché tale reazione è vietata. Il ferro tende a degenerare e la stella viene sorretta dalla pressione degli elettroni, che essendo fermioni si impilano ad arrestare la contrazione gravitazionale. Tuttavia, con l'aumento dell'energia di Fermi gli elettroni vengono catturati dai protoni e si toglie alla stella l'unica forza capace di contrastarne il collasso. La stella successivamente esplose, liberando un'enorme energia, ma non esiste ancora un modello capace di descriverne il corretto meccanismo.