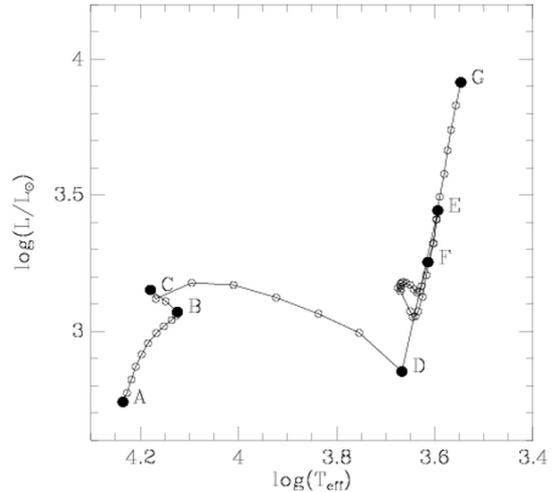


Dopo il bruciamento dell'Elío (24/02/10)

L'ultima volta che ci siamo visti abbiamo parlato delle stelle che esauriscono l'Idrogeno centrale mentre bruciano secondo il ciclo **CNO** e, di conseguenza, possiedono un nucleo convettivo, in rimescolamento permanente. In questo caso, la transizione tra il bruciamento dell'Idrogeno nel centro, e quello nel guscio, non è affatto continua. Infatti, finché il rimescolamento porta un po' d'Idrogeno al centro, questo brucia. Ma, a un certo momento, l'Idrogeno centrale si esaurisce all'improvviso. In queste condizioni, le zone al bordo del nocciolo di Elío non hanno ancora raggiunto le condizioni necessarie a innescare il bruciamento dell'Idrogeno nel guscio, e la stella si trova di colpo senza più alcuna sorgente di energia nucleare. Comincia a collassare su sé stessa in tempi molto più brevi di quelli nucleari, finché la temperatura nel guscio non riesce a raggiungere i 20 – 25 milioni di gradi sufficienti a far procedere il bruciamento **CNO** al ritmo necessario. In pratica, nel diagramma HR di un ammasso che si trovi in queste condizioni, si vedono le stelle sparire in **B** dove finisce la Sequenza Principale, e poi riapparire in **C**, quando si accende il guscio di bruciamento d'Idrogeno, perché nel tratto **B – C** la stella evolve rapidissimamente (un paio di milioni di anni, confrontati coi miliardi di anni della Sequenza Principale) e, di conseguenza, la probabilità di trovare una stella proprio in questa fase è bassissima. Questa zona di mancanza di stelle, che fa individuare immediatamente, anche a grande distanza, ammassi che bruciano **CNO** nel centro, e dunque la cui massa è superiore a 1,3 – 1,5 M_{\odot} , prende il nome di "Gap di Hertzsprung".



Ricordando che, per ora, ci riferiamo solo a stelle la cui massa non superi circa 8 volte quella del Sole, continuiamo col bruciamento dell'Elío nel centro. La sua energetica è circa 10 volte inferiore a quella del bruciamento d'Idrogeno, ma la luminosità della stella è circa 10 volte superiore a quella di Sequenza Principale. Vuol dire che, in questa fase, la stella durerà circa 100 volte meno che in Sequenza Principale. Grosso modo, l'Elío centrale si esaurirà in un centinaio di milioni di anni. Non sono pochissimi, e perciò, specie in ammassi molto popolati, si vedranno un po' di stelle in questa fase evolutiva che, come abbiamo già detto la volta scorsa, prende il nome di Braccio Orizzontale.

Siccome le reazioni 3α vanno con una potenza altissima della temperatura, anche durante il Braccio Orizzontale il nucleo della stella è convettivo, e anzi la dimensione del nocciolo convettivo aumenta via via, andando a prendersi anche l'Elío "fresco" appena sintetizzato dal bruciamento d'Idrogeno nel guscio. Comunque, alla fine anche l'Elío si esaurisce, lasciando un nocciolo di Carbonio e Ossigeno più o meno in parti uguali, e una minuscola frazione (il 2% o meno) di Neon, sintetizzato dalla reazione $^{16}\text{O} + ^4\text{He} = ^{20}\text{Ne}$. A questo punto, la fine della stella è vicina, anche se tutta la nucleosintesi importante si svolge in quest'ultima fase. Riassumiamo la struttura della stella alla fine del bruciamento di Elío al centro.

In primo luogo, abbiamo il nocciolo di **C-O-Ne**. La massa di questo nocciolo varia tra le 0,5 M_{\odot} per le stelle di tipo solare, fino a 1,3 – 1,4 M_{\odot} per le stelle che sono partite con una massa totale di circa 8 M_{\odot} . Ricordiamo a questo punto che, durante la fase di Gigante Rossa, prima dell'accensione dell'Elío al centro, tutte le stelle di questo tipo evaporano furiosamente perdendo gran parte della loro massa dagli strati esterni.

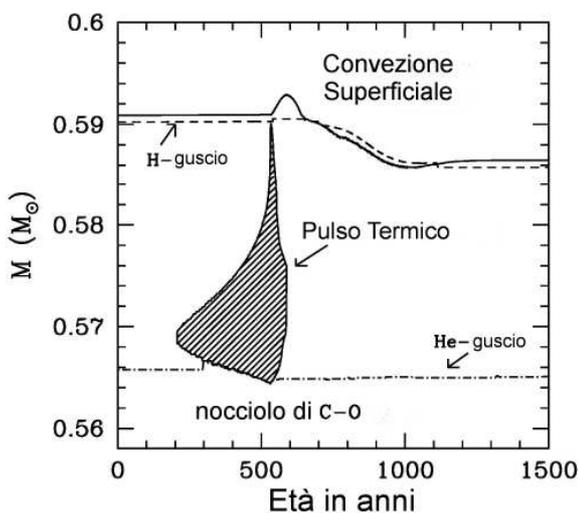
Attorno al nocciolo, che è degenere ed è già, a tutti gli effetti, una Nana Bianca, quasi del tutto scollegata dal resto della stella (il suo raggio è dell'ordine di quello terrestre, mentre il raggio superficiale della stella è ormai centinaia di volte maggiore di quello solare), esiste uno straterello di Elío, la cui massa è comunque pochi centesimi di quella del Sole. Attorno allo straterello, che è comunque di dimensioni lineari molto piccole, poiché si adagia direttamente sulla Nana Bianca centrale pur non essendo degenere (la temperatura dell'Elío è molto alta e la densità relativamente

bassa) c'è tutto il resto della stella, espansa a dimensioni enormi, e con il guscio che brucia ancora Idrogeno aumentando la massa del guscio di Elio.

La chiave per capire cosa avviene da questo momento in poi è la seguente:

I ritmi di bruciamento dell'Idrogeno e dell'Elio sono differenti. Dunque, mentre il guscio d'Idrogeno brucia e si accumula Elio nel guscio più interno, non è detto che questo bruci allo stesso ritmo. Dunque, quando l'Elio nel guscio interno brucia, non lo fa allo stesso ritmo con cui se ne accumula altro.

Supponiamo dunque che il guscio di Elio non stia bruciando, e che bruci, invece, l'Idrogeno. Si accumulerà sempre più Elio mentre la stella ricomincia ad arrampicarsi lungo il ramo delle Giganti (siccome la struttura è leggermente differente, si arrampica lungo il cosiddetto “**Ramo Asintotico**”, che è comunque molto vicino a quello delle Giganti) e riprende a evaporare in fretta. A un certo punto, si accumula abbastanza Elio nello straterello da cominciare a bruciare pure lui. Ma, siccome la dipendenza del bruciamento di Elio rispetto a densità e temperatura è profondamente diversa da quella del bruciamento d'Idrogeno, l'Elio si accende in modo esplosivo, e gli strati immediatamente sovrastanti, per assorbire l'eccesso di energia nucleare generata, si espandono e si raffreddano, facendo spegnere il guscio di bruciamento d'Idrogeno. Siamo in presenza del cosiddetto “Pulso Termico”. Molta, molta attenzione.



Il bruciamento violento d'Elio fa accendere una zona convettiva, raffigurata nella figura accanto come tratteggiata. Al massimo del pulso, la convezione raggiunge quasi l'interfaccia Idrogeno – Elio, portandovi i residui della combustione 3α ; principalmente ^{12}C . Addirittura, pesca un po' nel nocciolo di $\text{C} - \text{O} - \text{Ne}$, portando anche questi elementi all'interfaccia $\text{H} - \text{He}$. Poi, la furia del bruciamento cessa, la convezione si spegne, e l'Elio comincia a bruciare lentamente e stabilmente per un lungo tempo, finché non si è aggiunto quasi tutto al nocciolo. Nel frattempo, però, il guscio d'Idrogeno non brucia ancora; si riattiverà solo quando l'Elio sarà spento del tutto. Ma, dal grafico, ci accorgiamo che la convezione esterna, quella che arriva alla superficie della stella, è affondata più della precedente interfaccia H

– He , e dunque sta rimescolando fino alla superficie gli elementi sintetizzati dal bruciamento dell'Elio, che si trovano nella piccola zona d'intersezione tra la massima estensione della convezione durante il pulso termico, e il massimo affondare della convezione superficiale. Questi elementi (il ^{12}C in grande abbondanza, ma anche altri elementi – traccia) giungono quindi alla superficie, ed evaporano nello spazio interstellare. Dopo circa diecimila anni, il bruciamento dell'Elio s'interrompe, ricomincia quello dell'Idrogeno, e il ciclo riprende come si vede nella figura qui accanto.

In pratica, la stella evolve attraverso decine, forse centinaia di Pulsu Termici, finché l'aumento della massa del nocciolo da una parte, e l'evaporazione superficiale dall'altra, riducono lo strato d'Idrogeno a un centesimo circa di M_{\odot} . In questa fase, la stella è una variabile di tipo “**Mira**”, con periodo di centinaia di giorni. Quando l'Idrogeno non ce la fa più a bruciare, la stella emette, con un paio di pulsazioni finali, il restante involucro ancora ricco d'Idrogeno, ma pesantemente contaminato da Elio, Carbonio e molti altri elementi (Nebulosa Planetaria), e muore come Nana Bianca di $\text{C} - \text{O} - \text{Ne}$.

La prossima volta ne parleremo.

