

## Il ciclo di vita delle stelle: nebulose, novae, supernovae, pulsar e buchi neri.

Una stella nasce da una nube **molecolare gigante**. La maggior parte dello spazio vuoto dentro ad una galassia contiene in realtà da 0,1 a 1 atomi per centimetro cubo. La nube ne contiene invece alcune centinaia (un buon tubo a vuoto terrestre ne contiene più di 100.000). Nonostante questa bassissima densità, una nube molecolare gigante contiene da 100.000 a dieci milioni di volte la massa del nostro Sole, grazie al fatto di essere appunto gigante: da 50 a 300 anni luce di diametro. La nube è stabile, le sue molecole costituenti sono troppo spaziate per riunirsi sotto l'effetto della gravità. Se però la nube viene perturbata (ad esempio, dall'onda d'urto di una supernova vicina), parte della materia della nube viene compressa. Quando questa parte compressa raggiunge una densità di almeno 100.000 atomi per  $\text{cm}^3$  la gravità inizia a farsi sentire, e la materia inizia ad accumularsi per formare alla fine una **protostella**. Ogni regione densa produrrà da una a decine di migliaia di stelle, a seconda della sua grandezza. Gli atomi che si accumulano guadagnano velocità mentre cadono verso il centro, riscaldando la protostella e facendole emettere una debole radiazione infrarossa. Inoltre la compressione in uno spazio piccolo fa ruotare su sé stessa la protostella, per la legge di conservazione del momento angolare. Queste protostelle sono in effetti rivelate da telescopi infrarossi, spesso nascoste dentro **globuli di Bok**, le regioni più dense di una nube molecolare gigante. In alcune protostelle, le più piccole, la contrazione rimane l'unica fonte di energia. Queste protostelle diventano delle semplici sfere di gas inerte, le **nane brune**, all'inizio calde ma non abbastanza, e destinate a morire lentamente mentre si raffreddano nel corso di centinaia di miliardi di anni. Questa è la sorte che attende ogni protostella la cui massa sia inferiore a 0,07 volte quella del Sole (equivalente a 80 volte la massa del pianeta Giove). Tale protostella, se abbastanza piccola, può anche essere considerata un grosso pianeta, ma la distinzione è piuttosto indefinita e ancora non ben studiata.

Se la protostella è più grande, il calore al suo centro aumenta a sufficienza (si calcola che la soglia minima sia a circa 15 milioni di gradi kelvin, corrispondenti a 15 milioni di gradi Celsius), gli elettroni vengono separati dai nuclei degli atomi, e i nuclei vengono spinti l'uno contro l'altro dall'enorme calore, vincendo la repulsione elettrica che normalmente li tiene ben separati. Si è innescata la **fusione nucleare**, che riscalderà la stella per tutta la sua vita. In questa prima fase, che durerà in genere per il 90% della vita della stella, l'idrogeno si fonde per diventare elio, usando la catena protone-protone (per le stelle più piccole, come il nostro Sole), o il ciclo del carbonio-azoto (per le stelle più calde). La fusione nucleare libera un enorme quantitativo di energia, pari allo 0,7% dell'energia di massa a riposo degli atomi interessati (questa energia è calcolabile con la famosa equazione di Einstein  $E=mc^2$ ). L'energia liberata aumenta la pressione del gas, che riesce a sostenere il peso degli strati esterni e ferma la contrazione della protostella. Questa si trova adesso in equilibrio idrostatico, una condizione che resterà stabile finché la fusione nucleare potrà continuare. L'energia prodotta si dissipa verso l'esterno della stella e ne esce alla fine come luce visibile e altre forme di radiazione elettromagnetica. Una volta che una protostella ha raggiunto questo stato di equilibrio viene "promossa" a stella. All'inizio della loro vita le stelle sono costituite essenzialmente da Idrogeno (H) ed Elio (He), più piccole quantità di Azoto (N), Ossigeno (O) e Carbonio (C). Piccole quantità di questi elementi sono sufficienti a generare enormi valori di energia.

Durante questa fase, in cui bruciano essenzialmente idrogeno, si dice che sono **stelle di sequenza principale** (v. Diagramma H-R).

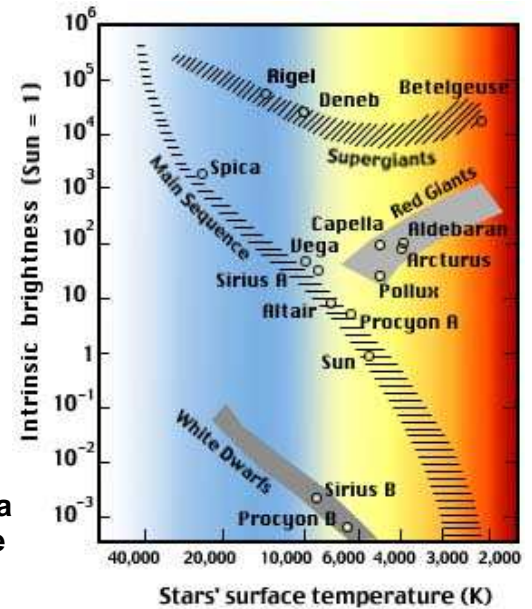
### Fase dell'Elio

Bruciando, l'Idrogeno si trasforma in Elio e si accumula nel nucleo. Questo ultimo si contrae e diventa più caldo. L'Idrogeno continua a bruciare in uno strato sottile attorno al nucleo, dove l'Elio, bruciando, produce Ossigeno e Carbonio.

In questa fase l'energia è prodotta ad un ritmo più alto; in conseguenza:

- la stella è più brillante
- diventa gigante e fredda → esce dalla sequenza principale

piccola massa: **gigante rossa**  
grande massa: **supergigante**

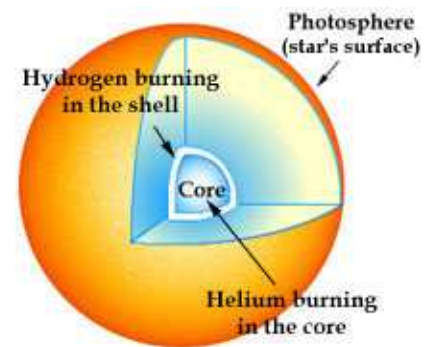


### E dopo l'Elio?

Il destino ultimo delle stelle è segnato dalla loro massa iniziale.

Se  $M_{\text{stella}}$  è minore di 8 volte la  $M_{\text{sole}}$  allora il nucleo di Elio si contrae e si scalda e la luminosità della stella aumenta da 1000 a 10.000 volte. Il volume dello strato di Idrogeno aumenta tanto che potrebbe contenere l'orbita della Terra o anche di Marte; la temperatura superficiale della stella scende a 2700/3600 °C. Un forte vento stellare "spazza" l'idrogeno dagli strati superficiali, finchè nella fase finale di questa perdita dell'involucro stellare, l'astro pulsa con periodi da alcuni mesi a più di un anno (**variabili a lungo periodo**).

Il materiale sottratto alla stella forma una **nebulosa planetaria**. Le masse delle nebulose sono tipicamente nell'ordine di 2/10 della massa solare ed hanno una velocità d'espansione di circa 900.000 km/h. Nel tempo la stella centrale si raffredda, diventando una **nana bianca**. Queste nebulose sono illuminate dalla stella centrale e possono assumere molteplici forme, da quella sferica a forme irregolari. Un esempio di nebulosa planetaria è M57.



Struttura di una Gigante Rossa

Se la  $M_{\text{stella}}$  è superiore a 8 volte la  $M_{\text{sole}}$  allora il nucleo di Ossigeno e Carbonio si contrae e si scalda. Carbonio ed Ossigeno bruciano producendo Neon, Magnesio, Zolfo e Silicio. Zolfo e Silicio, bruciando, producono Ferro. In questa fase la stella ha una struttura simile ad una "cipolla"; il nucleo centrale è fatto di Ferro ed ha una massa più piccola di 1.4 masse solari.

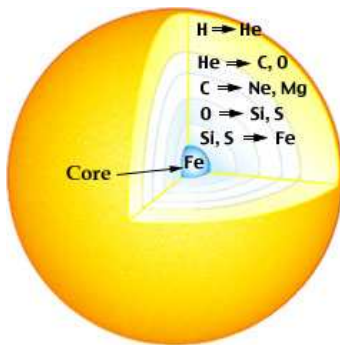
Il nucleo non può più bruciare e, quindi, **collassa**. Il collasso è così veloce che gli strati superficiali della stella non hanno il tempo di essere coinvolti.

Viene rilasciata una quantità enorme di energia (l'equivalente dell'energia di 100 stelle come il Sole in 10 miliardi di anni di vita!). Parte di questa energia è portata via da neutrini; parte si "deposita" negli strati inferiori dell'involucro che circonda il nucleo e provoca l'esplosione della **supernova**.

Il gas espulso dalla supernova comprime, con l'onda d'urto, il mezzo interstellare e lo arricchisce con elementi pesanti "freschi", formando il **resto di una supernova** (come ad esempio, M1, nel Toro, resto di una supernova esplosa nel 1054).

Ciò che resta della stella è una **stella di neutroni** o un **buco nero**.

### Nane bianche, stelle di neutroni e buchi neri



Struttura di una stella evoluta di ~ 20 masse solari

Queste tre categorie di oggetti interagiscono gravitazionalmente con tutto quello che li circonda. Questa attrazione può farli ringiovanire e portare, per un breve periodo di tempo, ad un nuovo scoppio e ad una ritrovata luminosità. Affinché questo avvenga è necessario un trasferimento di massa stellare: quindi una seconda stella che orbita molto vicina alla nana bianca, al buco nero o alla stella di neutroni. Comune a tutti e tre i sistemi è la formazione di un **disco di accrescimento** attorno alla stella compatta.

### Novae classiche

L'esplosione di una nova classica deriva dall'esplosione nucleare degli strati superficiali di una nana bianca. Non coinvolge il nucleo della stella come nel caso delle supernovae. Quando una nana bianca ha una vicina compagna, la nana strappa da quest'ultima materia ricca d'idrogeno; la materia forma un disco d'accrescimento attorno alla nana prima di cadere sulla stella. Raggiunta una massa critica (~ 1/100.000 della massa solare) si innesca un'esplosione nucleare che espelle a velocità altissime gli strati superficiali della stella. Il massimo di luminosità dura qualche giorno.

### Supernovae di tipo I

In questo tipo d'esplosione una nana bianca "distrugge" se stessa. Una nana bianca più massiccia del Sole "ruba", abbastanza in fretta, materia da una vicina compagna. La nana aumenta così la sua massa e, le eventuali esplosione di tipo nova, portano via poca materia. Raggiunta la massa critica di 1.4 masse solari, il carbonio, di cui il nucleo è fatto, incomincia a bruciare in maniera esplosiva. In circa un secondo il fronte d'onda si muove dal centro verso la superficie e la stella esplose senza lasciare residui. Le supernovae di tipo I sono costituite solo da elementi pesanti (non c'è quasi traccia di idrogeno).

### Pulsar a raggi X

Se a strappare materia da una vicina compagna è una stella di neutroni dotata di un forte campo magnetico, allora il disco di accrescimento viene deformato dal campo stesso. Il campo magnetico della stella spinge la materia verso il polo nord e sud della stella stessa. Queste regioni si scaldano ed emettono raggi X. Se il campo magnetico della stella è inclinato rispetto al suo asse di rotazione, ogni fascio di raggi X copre una striscia di cielo

mentre la stella ruota. Se noi ci troviamo lungo la direzione del fascio, rileviamo un impulso X. E la periodicità di questi impulsi sarà pari al periodo di rotazione della stella. Questa stella si chiama **pulsar X**.

### Buchi neri

I buchi neri sono caratterizzati da proprietà uniche:

1. il loro campo gravitazionale è così forte che nulla riesce ad uscire, neanche la luce
2. il punto di non-ritorno da cui nulla può più uscire è una superficie sferica immaginaria che circonda il buco nero ed è chiamata **orizzonte degli eventi**.
3. il campo gravitazionale (cioè la forza con cui il buco nero attrae gli oggetti a se) in prossimità dell'orizzonte degli eventi è così forte che una persona di 45 kg lì ben 30 miliardi di tonnellate.

Se un buco nero è isolato non può essere visto, perché, come sopra precisato, nulla riesce a sfuggirgli, nemmeno la luce. Se invece nei pressi del buco nero esiste una stella a cui il buco nero può strappare gravitazionalmente della materia, allora si possono avere tracce della sua esistenza.

Come nel caso di una stella di neutroni, vista l'intensità dei campi gravitazionali in gioco, il disco di accrescimento che si forma attorno al buco nero emette raggi X. Per distinguere questo caso da quello di una stella di neutroni è possibile, in generale:

- i. misurare la massa dell'oggetto compatto che strappa materia dalla vicina compagna. Se la massa è maggiore di tre masse solari, allora si tratta di un buco nero.
- ii. misurare la temperatura del disco di accrescimento. La temperatura sarà maggiore nel caso di un buco nero, rispetto a quello di una stella di neutroni.

L'immagine finale mostra un confronto tra le dimensioni relative del diametro di un buco nero, una stella di neutroni, di una nana bianca, del nostro Sole e di una supergigante rossa (Betelgeuse).

