

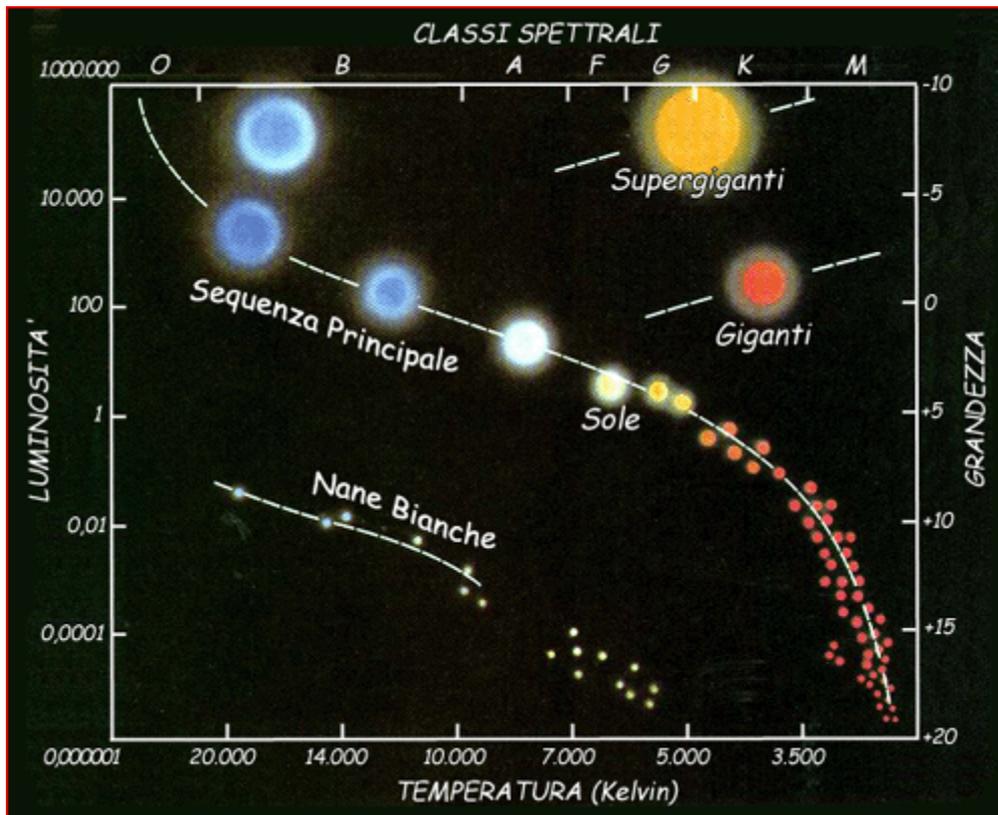
EVOLUZIONE STELLARE IN PILLOLE

La prima cosa che attira la nostra attenzione guardando il cielo sono le stelle. Viaggiare tra le stelle è uno dei nostri sogni più grandi (per qualcuno se oltre alle stelle ci fosse anche Sette di Nove, tanto per fare un nome a caso, sarebbe pure meglio) e comprenderle una delle sfide più antiche. Ma neanche le stelle, per quanto longeve rispetto a noi, sono eterne. Proprio come noi nascono, crescono, invecchiano e muiono. Una stella può essere assimilata sostanzialmente a una grossa sfera di gas estremamente densa e calda, la quale durante il proprio tempo di vita è governata essenzialmente da due meccanismi in contrapposizione che ne garantiscono l'equilibrio.

Da una parte abbiamo la pressione gravitazionale che porta la stella a collassare su se stessa, sotto il peso della sua massa, dall'altra vi è la pressione di radiazione che contrasta il collasso "premendo" verso l'esterno. L'energia che sostiene la stella è generata dai processi di fusione nucleare, principalmente fusione di quattro nuclei di idrogeno in un nucleo di elio, che avvengono all'interno del nucleo. Ma cosa succede quando l'idrogeno, il carburante della stella, si esaurisce?

Quando questo accade la stella perde il suo equilibrio e il nucleo inizia a collassare su se stesso, dato che l'energia che la stella irradia sotto forma di calore non è più rimpiazzata da quella nucleare e quindi non è più in grado di contrastare la pressione gravitazionale. Collassando il nucleo si scalda. L'energia che viene ricavata da questo processo viene utilizzata per espandere l'involuppo, ovvero gli strati esterni, così che la stella diventa più grossa e luminosa ma, anche nel complesso, più fredda (un mio compagno di università particolarmente cavalleresco disse una volta che la stella è come una donna, invecchiando si gonfia e diventa instabile; trovandosi in quel momento in una classe di quasi tutte donne, compresa l'insegnante, non credo ci sia necessità di spiegare cosa accadde al poveretto).

La stella esce quindi dalla sequenza principale del diagramma HR e diventa una gigante rossa.



Il diagramma di Hertzsprung-Russell o diagramma HR riporta per ogni stella la luminosità bolometrica, cioè mediata su tutte le bande dello spettro, sull'asse verticale e la temperatura in gradi Kelvin su quello orizzontale. Le stelle sono inoltre classificate in classi spettrali, indicate dalle lettere sull'asse orizzontale in alto (ovviamente, benedetti astrofisici, le classi non potevano essere semplicemente denominate in ordine

crescente o alfabetico, per esempio; così fu inventata, forse pensando proprio a qualcuno come Sette di Nove, una frase per ricordarne l'ordine: "Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me").

L'importanza del diagramma HR sta nel fatto che le stelle tendono a occupare posizioni ben precise al suo interno. In particolare ci interessano il gruppo delle nane bianche, ovvero stelle molto piccole e caldissime, il gruppo delle giganti e supergiganti, cioè stelle come abbiamo detto grandi e luminose ma fredde, e la sequenza principale, visualizzabile come una striscia che va dall'angolo in basso a destra a quello in alto a sinistra. Viene chiamata sequenza principale in quanto se compilassimo un diagramma da zero inserendo tutte le stelle visibili in questo momento dalla Terra, per esempio, vedremmo che la maggior parte andrebbe a posizionarsi in questa fascia.

Il motivo sta nel fatto che tutte le stelle trascorrono la maggior parte della loro vita nella sequenza principale (il punto preciso di collocazione dipende dalla massa della stella) per poi spostarsi in altre zone con il trascorrere del tempo, come abbiamo visto parlando di giganti rosse.

Quello che accade dopo che una stella è diventata una gigante rossa dipende dalla sua massa iniziale, la quale contribuisce a determinare le condizioni fisiche che influenzano l'evoluzione dell'astro. La massa determina anche la durata della vita di una stella: stelle piccole sono longeve, stelle molte grosse bruciano furiosamente il loro carburante e muoiono più velocemente.

Ora (se non vi siete ancora tagliati le vene) vediamo a grandi linee (a grandi linee, giuro!) come si evolvono stelle di masse differenti.

- Se la stella ha una massa minore della metà di quella del sole, il collasso si ferma autonomamente con l'innescarsi di un fenomeno chiamato degenerazione che aggiunge pressione e contribuisce quindi a riportare in equilibrio la stella così che questa finisce semplicemente per spegnersi del tutto e raffreddarsi.
- Una stella che ha circa la stessa massa del Sole subisce un destino diverso. La massa è tale da far sì che il collasso del nucleo non si fermi autonomamente, per cui pressione e temperatura aumentano tanto che si innesca la fusione nucleare dell'elio. Tuttavia la stella è piccola e per ragioni complesse questo fa sì che il nucleo sia altamente instabile, per cui l'accensione dell'elio avviene in modo esplosivo facendo espandere improvvisamente il nucleo. Per effetto dell'improvvisa espansione del nucleo la stella si contrae diventando meno luminosa e un po' più piccola. Quando anche l'elio si è esaurito rimane un nucleo costituito in massima parte da ossigeno e carbonio. Ci troviamo quindi in una situazione molto simile a quella che abbiamo affrontato quando la stella ha bruciato tutto l'idrogeno. In generale ogni volta che un combustibile finisce il nucleo collassa e la stella si gonfia, mentre ogni volta che viene acceso un nuovo combustibile il nucleo si espande e la stella si contrae diventando più piccola e meno luminosa. Nucleo e involucro sono in questo senso disaccoppiati: quando uno si espande l'altro si contrae e viceversa. Costituendo l'involucro la maggior parte della stella, quando questo si espande la stella complessivamente diventa più grossa.

In questo caso, però, la stella che adesso è una supergigante rossa non ha abbastanza massa per innescare la fusione del carbonio (nemmeno in stelle un po' più grandi del sole, circa fino a otto masse solari). Il nucleo diventa perciò instabile e questo genera un fortissimo vento solare che fa sì che la stella inizi a espellere tutti gli strati esterni, finché non rimane soltanto il nucleo. Quello che otteniamo è una nana bianca, avvolta da una nebulosa planetaria.

- Stelle con massa iniziale maggiore di otto masse solari hanno circa la stessa evoluzione, con la differenza che avviene l'accensione del carbonio e in seguito, a seconda della massa, di altri combustibili. Nell'ordine: carbonio, ossigeno e silicio. Il destino della stella è comunque quello di diventare una nana bianca con la sua nebulosa planetaria. La differenza sarà nella composizione chimica della stellina che rimane.
- In stelle con massa iniziale maggiore di venti masse solari, una volta finito il silicio, resta un nucleo di nichel, il quale decade in ferro. Il ferro però è un elemento particolare che, avendo l'energia di legame più alta fra tutti gli elementi, non fonde. Non è possibile innescare ulteriori bruciamenti nucleari, per cui il ferro continua ad accumularsi finché il nucleo non raggiunge una massa critica

detta massa di Chandrasekhar (circa 1,44 masse solari). Di nuovo inizia il collasso che però è inarrestabile e violentissimo e la stella esplode come supernova.

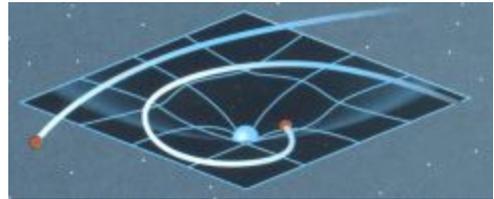
In particolare il collasso avviene in questo modo: nel nucleo di ferro non si può instaurare la fusione nucleare, tuttavia avvengono altri processi a livello nucleare che fanno sì che tutti i protoni presenti nei nuclei di ferro diventino neutroni; il materiale che compone il nucleo in questo momento è chiamato neutronio ed è un materiale estremamente rigido. La conseguenza di questo fatto è che quando i protoni sono diventati tutti neutroni il collasso si arresta all'improvviso, generando un'onda d'urto che si espande in tutto il nucleo. Il 99% dell'energia viene assorbita dal neutronio stesso. Il restante 1% è però sufficiente a spazzare via tutto il resto della stella in maniera estremamente violenta, dando origine appunto all'esplosione di supernova, mentre il nucleo sopravvive come stella a neutroni. Le stelle di neutroni (dette in alcuni casi anche pulsar) sono molto calde, molto piccole e densissime. Inoltre ruotano vorticosamente e hanno particolari proprietà magnetiche.

Un altro tipo di supernova è generata invece dal collasso di un sistema binario.

Immaginiamo di avere un sistema stellare binario formato da una nana bianca e da una stella più grossa come una gigante rossa. Le due stelle orbitano attorno ad un centro comune, ma spesso i due campi gravitazionali si sovrappongono. Si viene a formare perciò un ponte di materia (costituito dagli strati più esterni della stella maggiore) in trasferimento alla nana bianca, che in questo modo accresce la sua massa. Quando questa massa eccede la massa critica, la nana bianca esplode completamente come supernova.

- In stelle di massa iniziale ancora maggiore, se la stella di neutroni risultante eccede il limite di tre masse solari, la gravità interviene ancora una volta facendo collassare la stella in un buco nero, ovvero un oggetto dotato di una massa elevatissima confinata in uno spazio, relativamente parlando, minimo.

In teoria è possibile visualizzare l'interazione gravitazionale (come tutte le interazioni fondamentali) come una deformazione prodotta da un corpo. Nello specifico se immaginiamo lo spazio-tempo come un lenzuolo teso e un corpo celeste (diciamo una stella) come una pallina e poggiamo questa pallina sul lenzuolo, verrà a crearsi una piccola buca. Ogni corpo che arriva abbastanza vicino (che nella realtà è catturato dal campo gravitazionale della stella) scivola nella buca creata. Più è massivo l'oggetto,



più la buca è profonda.



Essendo un buco nero un oggetto con una densità enorme (e, si narra, una singolarità al centro) concentrato in una zona di spazio molto ridotta, la sua massa gravitazionale è tale che la buca così creata è profondissima. Tanto profonda che la velocità di fuga, ovvero la velocità necessaria ad un corpo per liberarsi dall'attrazione gravitazionale generata dal buco nero, è superiore addirittura a quella della luce, motivo per cui un buco nero appare appunto come un oggetto oscuro e invisibile.

Come per le supernovae, tuttavia, i buchi neri non sono unicamente il risultato della fine della vita di una stella di grande massa. Esistono altre due tipologie di buchi neri. I primi sono i buchi neri microscopici, detti anche oggetti di Planck, presenti in relativa abbondanza e originati probabilmente nei primissimi istanti di vita (nell'ordine del secondo dal big bang) dell'universo. Viceversa esistono anche buchi neri supermassivi, fenomeni enormi che si pensa costituiscano il nucleo attivo delle galassie.

Ora potreste pensare che sia la fine di tutto, invece, come ha ipotizzato Stephen Hawking, i buchi neri "evaporano" e più sono piccoli e più evaporano in fretta. Ancora non si ha una teoria precisa sul possibile risultato finale di questo processo; forse le particelle subatomiche che compongono la radiazione di Hawking rientrano nella grande giostra che è l'universo.

Noi siamo fatti della stessa sostanza dei sogni ed i sogni non sono altro che le mille stelle nel cielo.

