

Le Stelle nascita, vita, morte e “miracoli”



Premessa

- Le stelle sono vive?
- Francamente parlare di nascita, vita e morte non e' corretto: si riferisce a qualcosa di vivo, come un animale o vegetale.
- Al massimo si può parlare di esistenza e cambiamenti.
- Useremo queste espressioni benché fondamentalmente errate in quanto semplici ed esemplificative.

Nascita

- Dove nasce una stella?



Dove nascono?

- Le stelle nascono all'interno di enormi nubi molecolari formate principalmente di idrogeno (H) per effetto della contrazione gravitazionale. Un esempio è M16 o nebulosa Aquila nella costellazione del Serpente (coda).
- Le n.m. sono enormi masse di gas a temperature poco superiori allo zero assoluto composte principalmente di idrogeno molecolare (H_2) monossido di carbonio (CO) e acqua (H_2O) con netta prevalenza di idrogeno. Le dimensioni possono arrivare a diametri di 50-350 a.l.
- Si stima che in totale nella galassia abbiano la massa di 5 miliardi di M_s .



Digressione – le Nebulose

Nebulose ad Emissione



- Queste tenui nubi sono composte principalmente di idrogeno e ossigeno.
- La luce ultravioletta delle stelle che vi sono immerse provoca la ionizzazione degli atomi (perdita degli elettroni).
- Ricombinandosi con i nuclei atomici gli elettroni si riposizionano nelle loro “orbite” originarie perdendo energia emessa come fotoni di particolari lunghezze d'onda.
- L'idrogeno emette così luce rossa, l'ossigeno luce verde.
- Esempio: M8-M20

Nebulose a Riflessione (o meglio: a diffusione)



- Di densità inferiore a quelle ad emissione.
- L'energia delle stelle che vi sono immerse non riesce a ionizzare gli atomi. Di conseguenza queste nebulose non emettono luce propria ma diffondono la luce delle stelle come il cielo terrestre diffonde quello del Sole.
- La luce che ci raggiunge risulta quindi azzurrina.
- Esempio: Ngc 1453
Costellazione Toro



Nebulose Oscure

- Composte da gas molecolari contengono però grandi quantità di polveri.
- Si ritiene che le polveri siano composte di grafite, carburi di silicio e silicati di magnesio ed alluminio, sovente ricoperti di ghiaccio d'acqua.
- Essendo generalmente molto spesse non emettono o diffondono la luce.
- Essendo di solito molto fredde possono anche essere regioni di formazione stellare.
- Esempio: B33 N. Testa di Cavallo



- Affinché possa avvenire la formazione delle stelle le nubi molecolari devono essere estremamente fredde (il calore si oppone alla concentrazione dei gas) ed è necessario che qualcosa avvii il processo di contrazione gravitazionale.



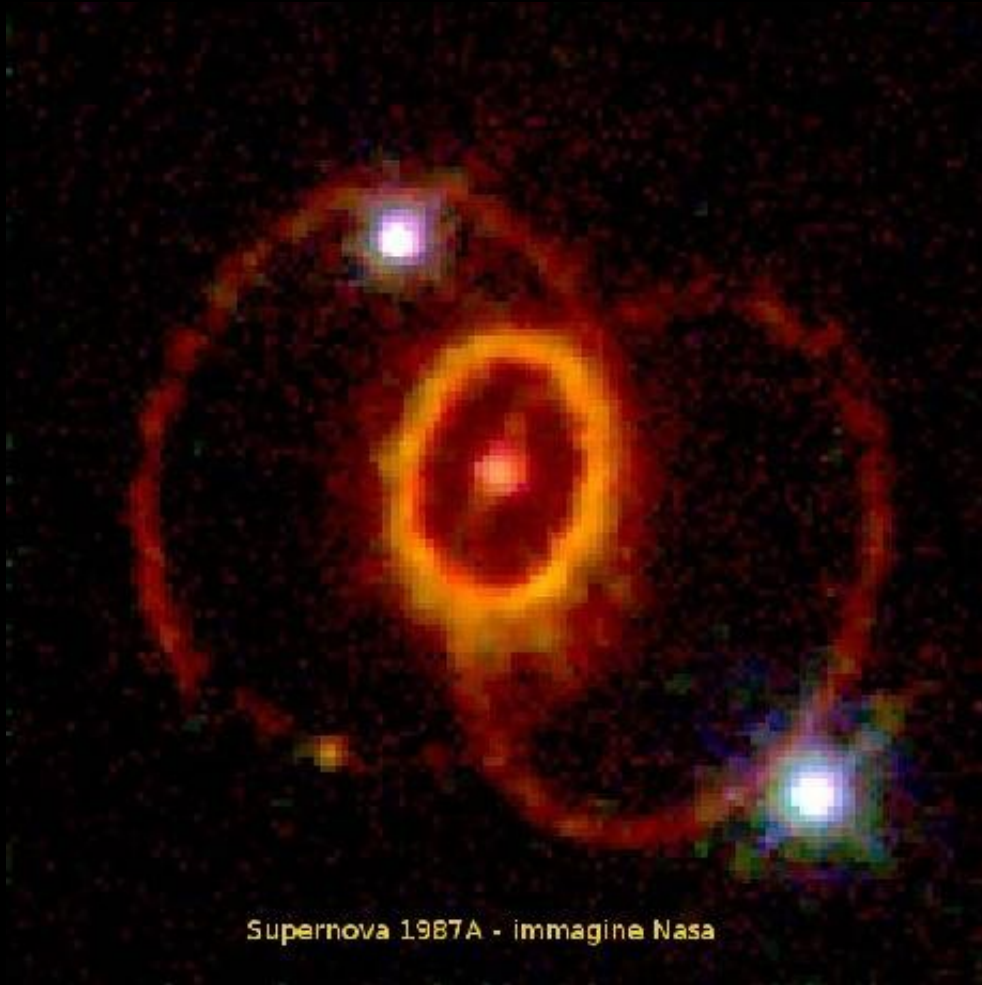
Nonostante le apparenze le nubi molecolari sono estremamente rarefatte. Non accadrà mai che incrociandovi sembri di essere in mezzo ad una nube o alla nebbia!

Come nasce una stella?

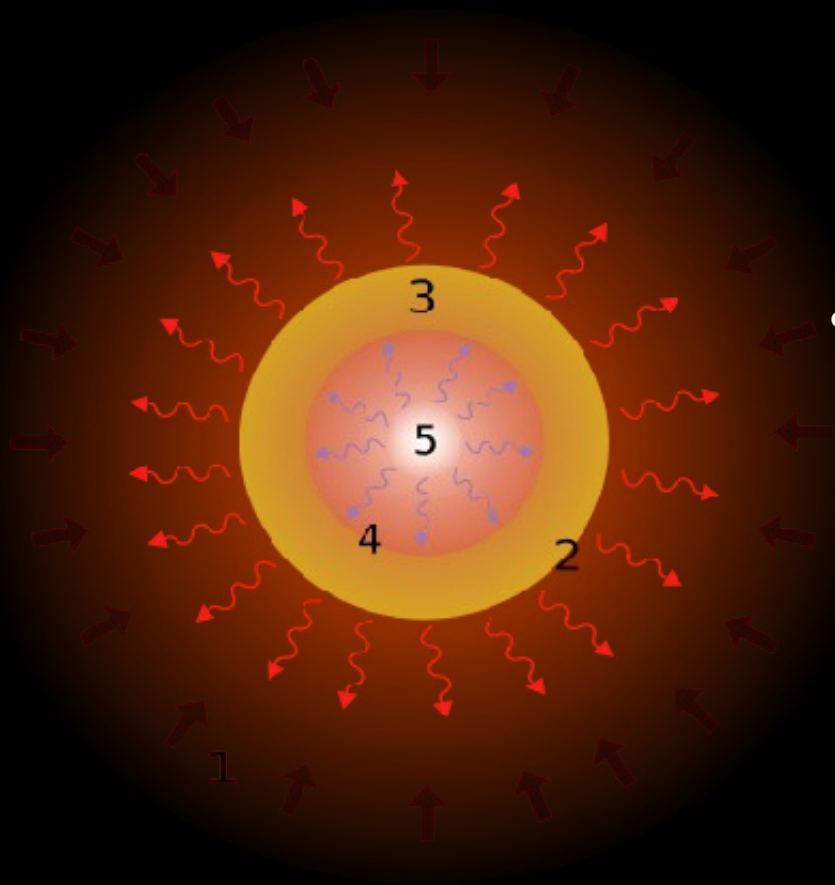
- Si ritiene che la causa più plausibile sia l'esplosione di supernova di stelle vicine anche se i moti e l'influsso gravitazionale della galassia possono avere lo stesso effetto.

Le onde d'urto generate dalla supernova possono incontrare le nubi molecolari ed avviarne il collasso gravitazionale che genererà nuove stelle.

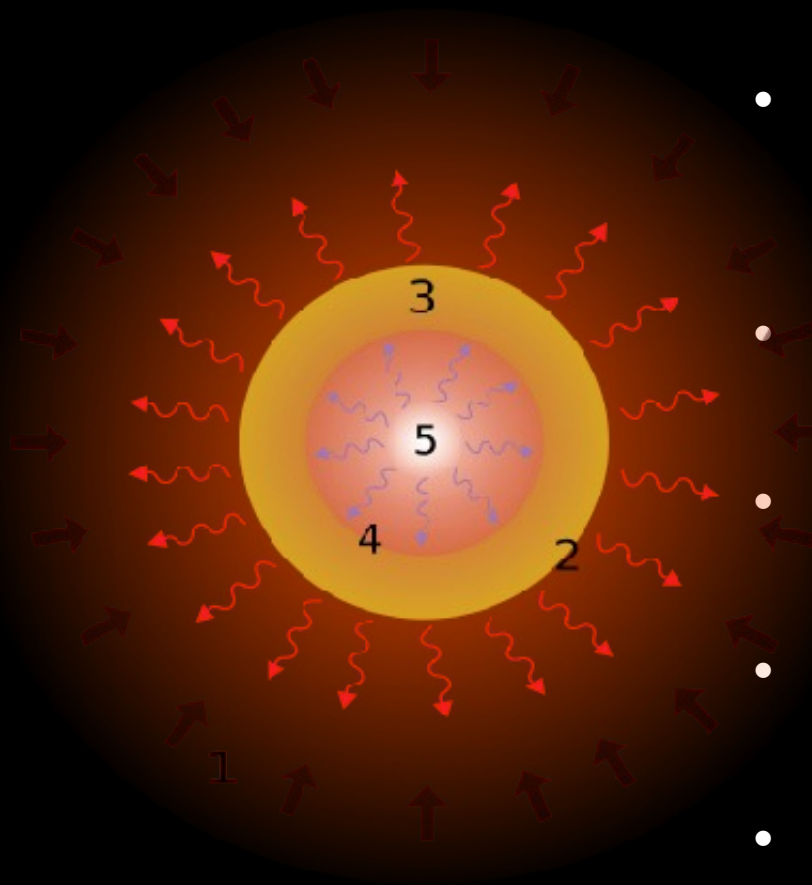
La Supernova 1987A è esplosa circa 168.000 anni fa e risultata visibile dalla Terra a partire dal 23 febbraio 1987 nella Grande Nube di Magellano. Essendo esplosa ad una distanza dalla Terra di circa 51 400 parsec, è stata la supernova più vicina ad essere stata osservata da quella del 1604, che esplose all'interno della nostra Galassia; inoltre è la supernova più vicina osservata dopo l'invenzione del telescopio. Fonte: Wikipedia.



Supernova 1987A - immagine Nasa



- Con l'inizio del collasso gravitazionale si avvia una lunga fase di contrazioni e dilatazioni dovute al contrasto tra la forza di gravità che fa collassare i gas ed il calore così generato che tende ad espanderli.
 - La struttura di una protostella:
 1. Gas della nube in caduta (otticamente trasparente).
 2. Fotosfera infrarossa (falsa fotosfera).
 3. Guscio di polveri in caduta (otticamente opaco).
 4. Fronte d'urto (sublimazione delle polveri).
 5. Nucleo idrostatico protostellare.
- Fonte: Wikipedia.

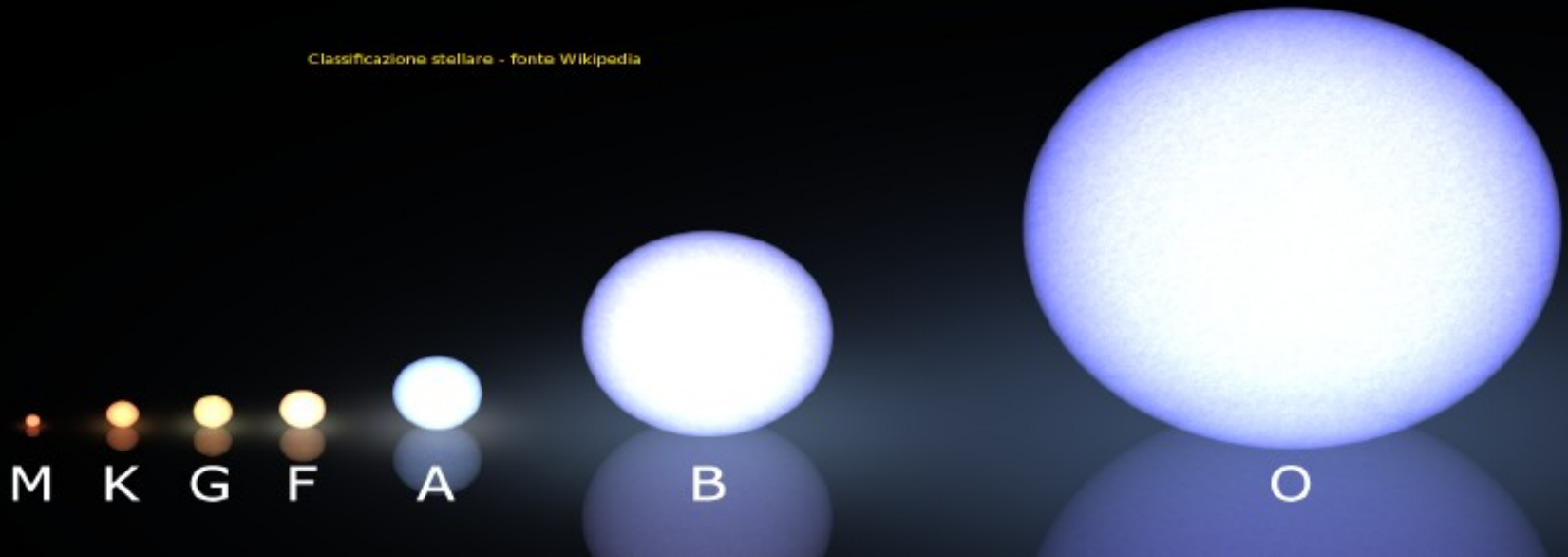


- Quando nel nucleo si arriva ad una temperatura di 10 milioni di gradi si avvia la fusione dell'idrogeno H in elio He.
- La fusione avviene solo nel nucleo dove le condizioni di temperatura e pressione lo consentono.
- Occorrono tempi diversi per passare da protostella a stella.
- Per esempio se di 1Ms impiega 20M di anni, se di 12Ms solo 20mila.
- Ciò è dovuto alla diversa massa dei gas coinvolti.
- La maggior parte dell'esistenza delle stelle è però trascorsa nella fase di “bruciamento” dell'idrogeno. Per il nostro sole è di circa 10 miliardi di anni.



- Poiché le nubi in cui si formano le stelle sono enormi, generalmente si avrà un risultato simile a questo: un “ammasso aperto” (M45, le Pleiadi) - numerose stelle relativamente vicine tra loro ma destinate a separarsi per effetto dei moti e dell'attrazione gravitazionale della Galassia .
- Anche il nostro sole è nato così, anche se non siamo ancora riusciti a capire quale fosse l'ammasso di origine. Forse M67 nel Cancro tra Leone e Gemelli contenente stelle di composizione simile al Sole. Le orbite galattiche differenti però sembrerebbero escluderlo.

Classificazione stellare - fonte Wikipedia



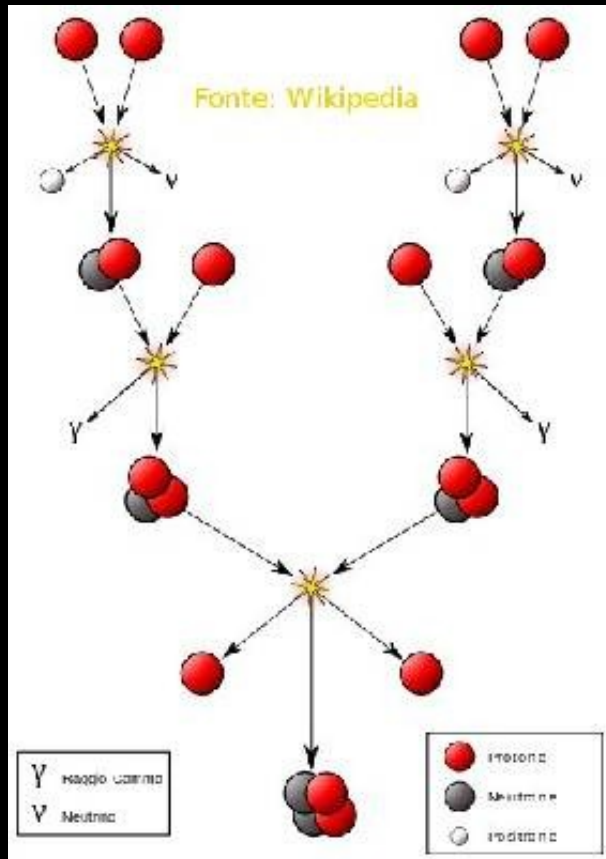
- A seconda della massa di gas originaria avremo stelle con diverse caratteristiche di dimensione, di temperatura superficiale e di colore.
- Dalla massa dipende la temperatura , maggiore l'una, maggiore l'altra.
- Come il ferro riscaldato nella forgia del maniscalco, a temperature più alte corrisponderanno colori tendenti all'azzurro ed al bianco, a temperature più basse colori tendenti al giallo ed al rosso. Il Sole è una stella di tipo G di colore bianco-giallastro.

Classe	Temperatura (Kelvin)	Colore apparente	Massa (masse solari)	Raggio (raggi solari)	Luminosità Bolometrica (tutte le frequenze)	Frazione fra tutte le stelle di sequenza principale
O	$\geq 33.000\text{ K}$	blu	$\geq 16\text{ Ms}$	$\geq 6,6\text{ Rs}$	$\geq 30.000\text{ Ls}$	$\sim 0,00003\%$
B	$10.000\text{--}33.000\text{ K}$	blu chiaro	$2,1\text{--}16\text{ Ms}$	$1,8\text{--}6,6\text{ Rs}$	$25\text{--}30.000\text{ Ls}$	$0,13\%$
A	$7.500\text{--}10.000\text{ K}$	azzurro	$1,4\text{--}2,1\text{ Ms}$	$1,4\text{--}1,8\text{ Rs}$	$5\text{--}25\text{ Ls}$	$0,60\%$
F	$6.000\text{--}7.500\text{ K}$	bianco	$1,04\text{--}1,4\text{ Ms}$	$1,15\text{--}1,4\text{ Rs}$	$1,5\text{--}5\text{ Ls}$	$3,00\%$
G	$5.200\text{--}6.000\text{ K}$	bianco-giallo	$0,8\text{--}1,04\text{ Ms}$	$0,96\text{--}1,15\text{ Rs}$	$0,6\text{--}1,5\text{ Ls}$	$7,60\%$
K	$3.700\text{--}5.200\text{ K}$	giallo-arancione	$0,45\text{--}0,8\text{ Ms}$	$0,7\text{--}0,96\text{ Rs}$	$0,08\text{--}0,6\text{ Ls}$	$12,10\%$
M	$\leq 3.700\text{ K}$	arancio-rosso	$0,08\text{--}0,45\text{ Ms}$	$\leq 0,7\text{ Rs}$	$\leq 0,08\text{ Ls}$	$76,45\%$
L	$1.200\text{--}2.000\text{ K}$	rosso-rosso intenso	$<0,08\text{ Ms}$ (70 Mg)			
T	$700\text{--}1.300\text{ K}$	rosso scuro				

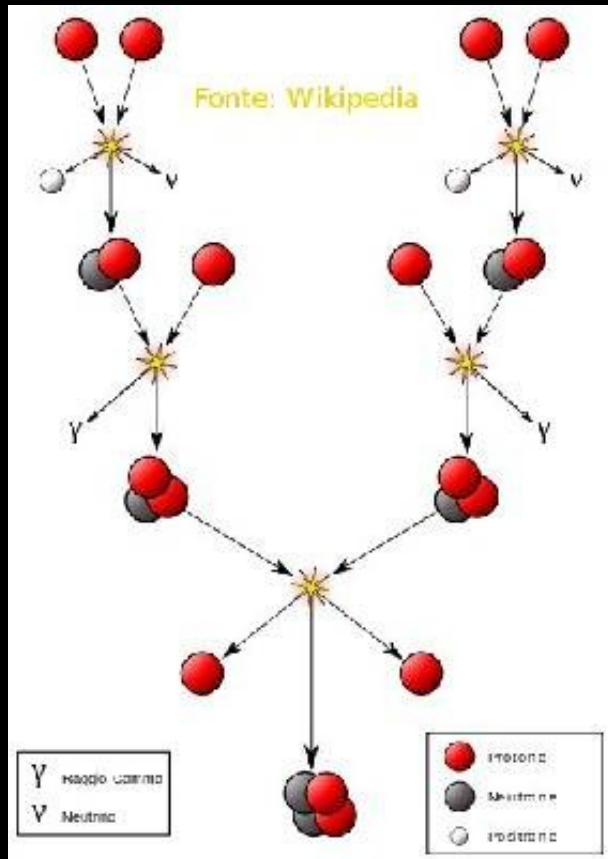
Vita

- Come abbiamo detto la maggior parte della “vita” delle stelle passa nella fase di trasformazione dell'idrogeno in elio.
- La massa della stella determina la durata di questa fase.
- Più la stella è massiccia più veloce sarà.
- Con massa =
Sole ~ 10 miliardi di anni
15Ms ~ 11 milioni
0,5Ms ~ 57 miliardi
- Posto che il nostro universo è datato circa 13,5 miliardi di anni risulta evidente che molte stelle più grandi del Sole (O, B, A) hanno già superato questa fase, mentre stelle più piccole (M) avranno ancora moltissimi anni di “vita”.

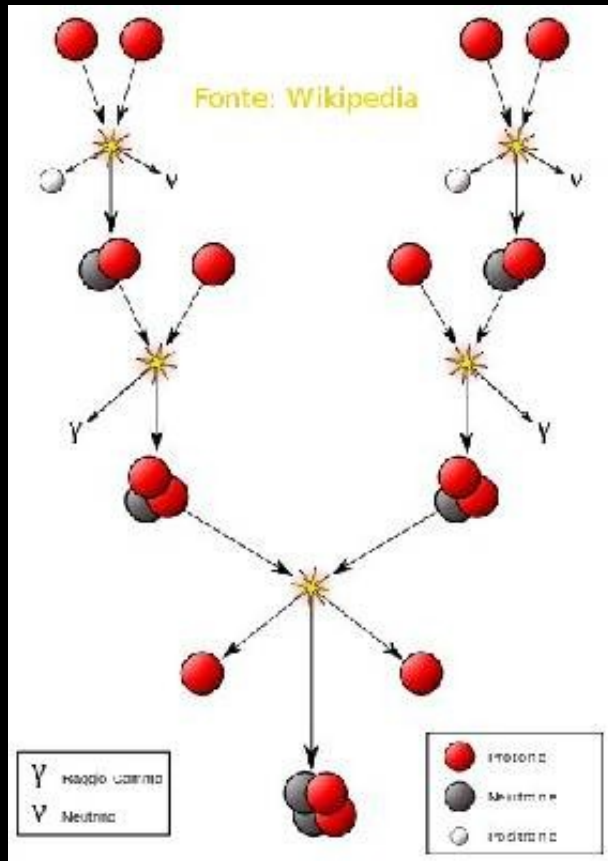
La reazione protone/protone



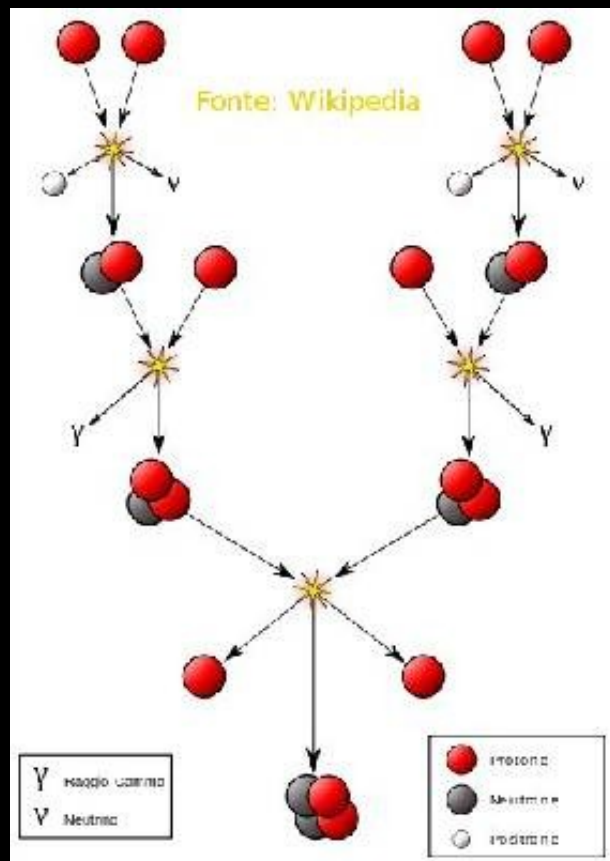
- Cosa fornisce l'energia con cui le stelle brillano?
- Essenzialmente la fusione di nuclei di idrogeno (i protoni) che generano nuclei di elio He
- Ma come si passa da 1 protone a 2 protoni e 2 neutroni?



- Notoriamente i protoni sono caricati positivamente per cui, come le calamite dovrebbero respingersi.
- E' l'enorme pressione e temperatura presenti nel nucleo stellare, che trasforma i gas in plasma a permetterlo.
- Ad alta temperatura corrisponde anche alta velocità.

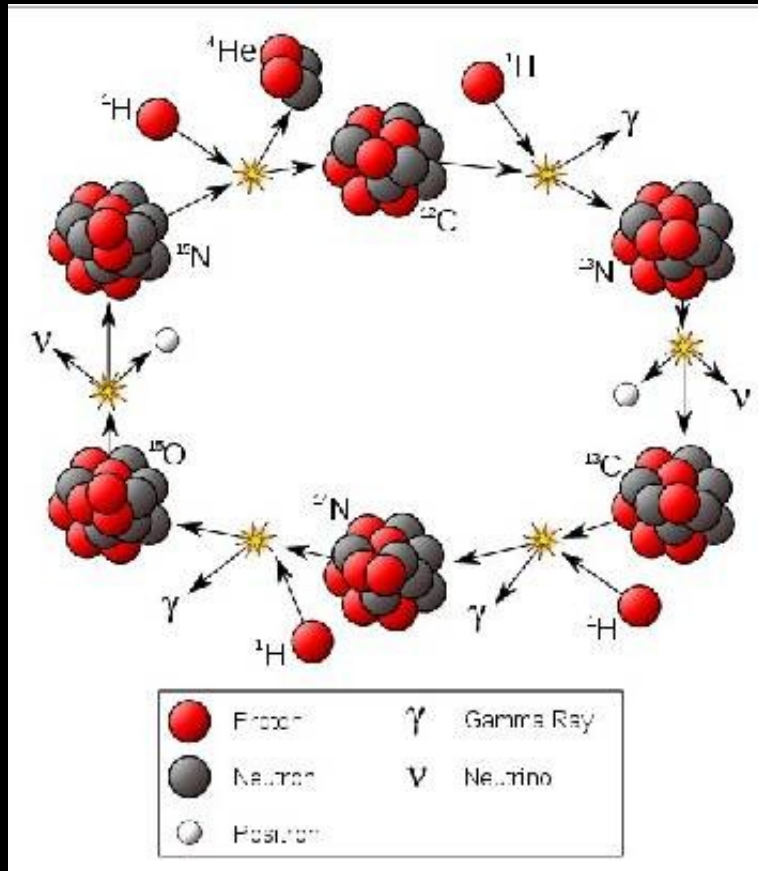


- Essendo i protoni molto vicini e veloci, talvolta può accadere che riescano ad avvicinarsi abbastanza da unirsi.
- E' un evento di per se rarissimo, che può richiedere anche 5 miliardi di anni per accadere.
- L'enorme quantità di protoni presenti permette però che ogni secondo siano numerosissime le fusioni che accadono.
- Ad esempio nel Sole ogni secondo 600 milioni di tonnellate d idrogeno diventano 596 Mt di elio e le restanti 4 Mt energia! $E=mc^2$ corrispondenti a 91 miliardi 500 milioni di megaton al secondo !

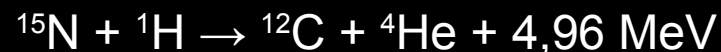
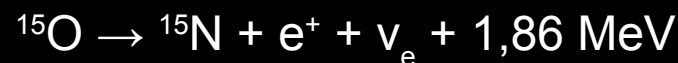
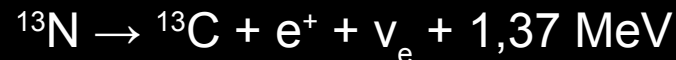


- Quando però succede, uno dei due protoni si trasforma in un neutrone, perdendo un neutrino ed un positrone. Il risultato è un nucleo di deuterio.
- Molto rapidamente il positrone si scontrerà con un elettrone annichilendosi e producendo due fotoni γ che scaldano il gas circostante.
- In circa 4 secondi i nuclei di deuterio acquisiranno un ulteriore protone trasformandosi in nuclei di elio3 e producendo ulteriori raggi γ .
- Successivamente due nuclei di elio3 entreranno in collisione producendo un nucleo di elio4 (stabile) emettendo 2 protoni che torneranno in “circolo”. Occorreranno però in media 4 milioni di anni perché ciò possa avvenire!

Il ciclo CNO



- Si suppone che nelle stelle più massicce la reazione principale non sia quella protone-protone, ma una reazione più complessa che assume la denominazione “ciclo CNO”.
- Riassunta nell'immagine a lato inizia con un atomo di Carbonio a cui si aggiunge un protone o nucleo di idrogeno.
- Le reazioni del ciclo carbonio-azoto sono le seguenti:



Elettronvolt= l'energia cinetica acquistata da un elettrone quando è accelerato da una differenza di potenziale elettrico di 1 volt nel vuoto

Morte e “miracoli”

- Si definisce morte di una stella la fase successiva al periodo di fusione dell'idrogeno in elio.
- Tale fase può essere relativamente tranquilla o estremamente catastrofica come nel caso delle esplosioni di supernova.

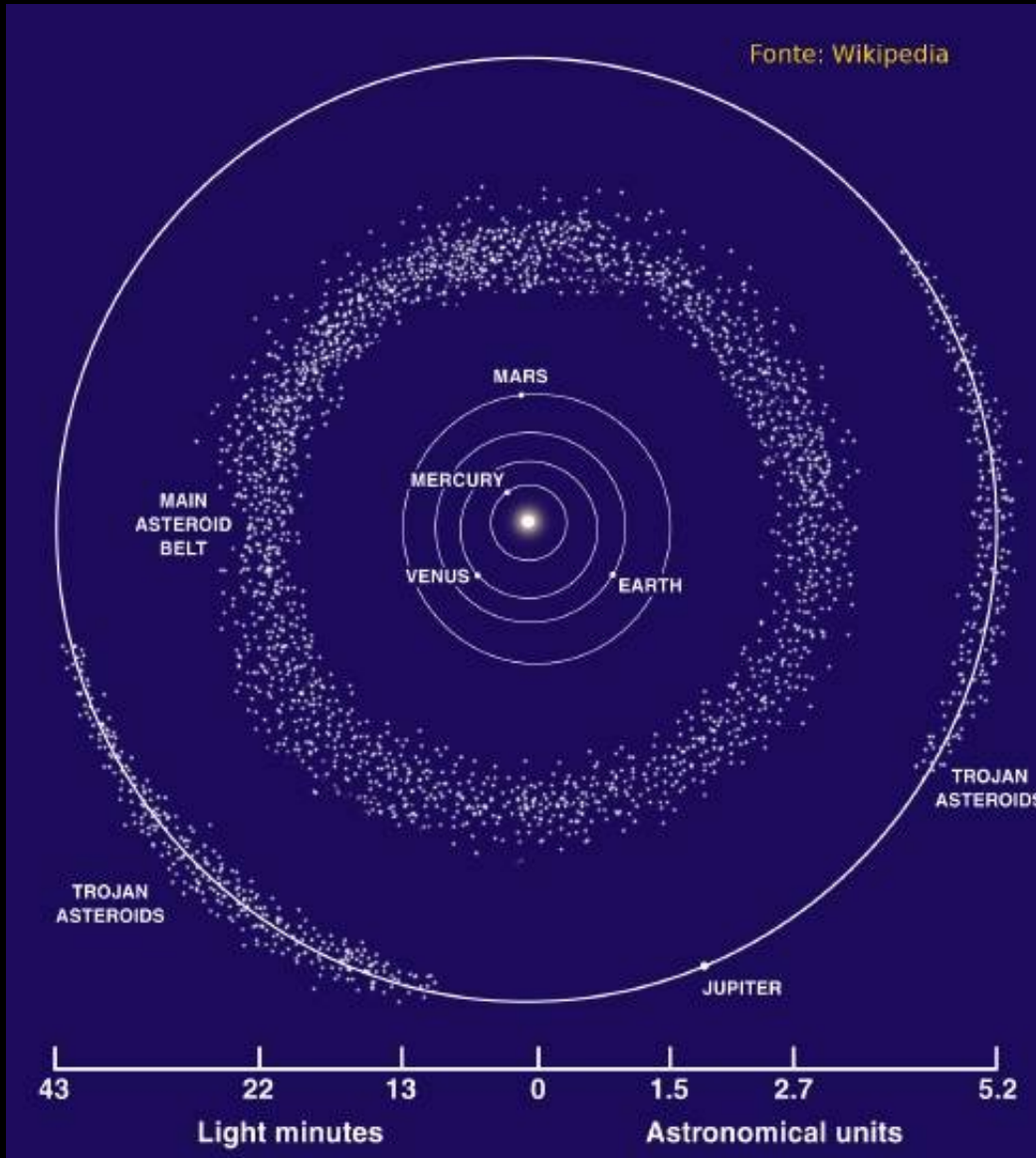
La fase “gigante rossa”

- Terminato l'idrogeno, nel nucleo stellare rimarrà solamente l'elio prodotto nella reazione protone-protone.
- La temperatura inizierà a diminuire a causa della cessazione delle reazioni nucleari.
- Di conseguenza la stella inizierà a collassare su se stessa.
- Ad un certo punto il gas di idrogeno presente negli strati esterni raggiungerà pressione e temperatura sufficienti ad avviare nuovamente la fusione (prima la trasformazione di H in He è avvenuta solo nel nucleo, in cui temperatura e pressione sono sufficienti a permetterlo).
- Avvenendo però negli strati esterni della stella, il calore prodotto tenderà ad espanderne la superficie, che però diminuirà di temperatura (minore pressione, minore calore).
- E' la cosiddetta fase di gigante rossa!



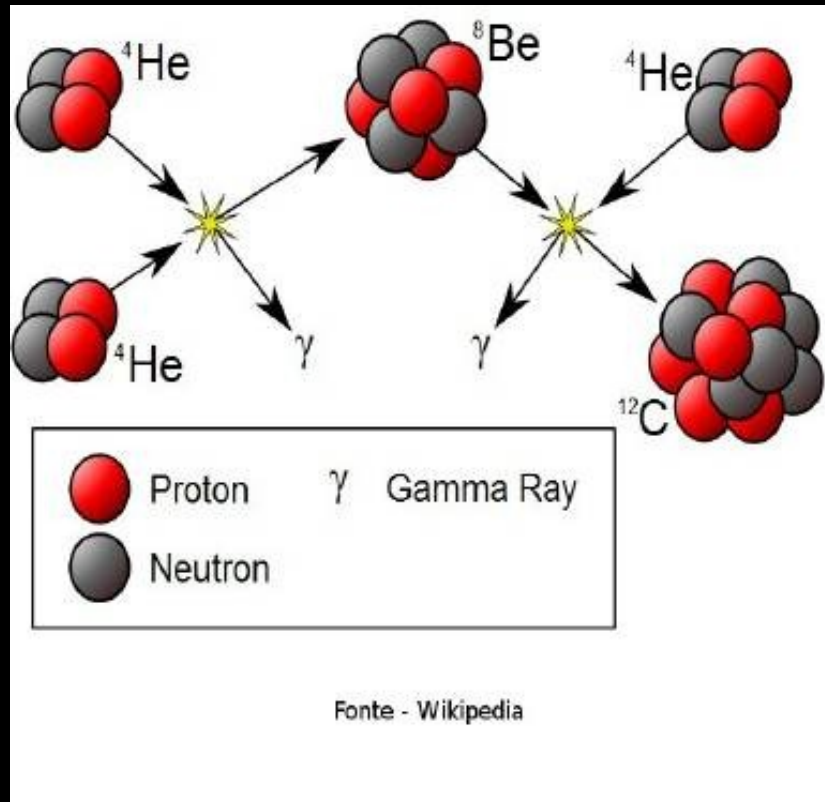
- Come si può vedere, in questa fase l'aumento di dimensioni è decisamente colossale, provocando la sicura distruzione dei pianeti più vicini.

(Diametro normale del sole 1,39 milioni di km – diametro in fase di gigante rossa ~ 300 milioni di km – diametro della terra ~ 12.700 km)



- 2_UA corrispondono circa ad una zona tra l'orbita di Marte e quella della cintura di asteroidi!

La fusione dell'elio



- Con la fusione dell'idrogeno negli strati superficiali si produce ulteriore elio che tende a scendere in profondità verso il nucleo aumentandone la massa.
- Quando questa è sufficiente ad aumentarne la temperatura a 15-100 milioni di gradi si avvia la fusione dell'elio che si trasforma in carbonio con la reazione:
 $\text{He} + \text{He} \rightarrow \text{Be} + \text{He} \rightarrow \text{C} + \gamma$
- Talvolta $\text{C} + \text{He} \rightarrow \text{O} + \gamma$

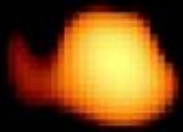
- Questo è ciò che definisco uno dei “miracoli” della “vita” delle stelle:
- Il carbonio di cui siamo costituiti e l'ossigeno che respiriamo sono tutti stati prodotti nel nucleo di antiche stelle ormai morte!

Dopo la fusione dell'elio

- A questo punto l'evoluzione successiva si differenzia sostanzialmente tra stelle di piccola massa (ossia inferiore a $4M_{\odot}$) e quelle di massa superiore.
- Le prime produrranno una nebulosa planetaria.
- Le seconde una supernova.

Stelle di piccola massa

- Mira ceti 1,18 Ms – La nana bianca MiraB crea un ponte di materia tra MiraA e MiraB



Mira Ceti - Fonte: Nasa HST

In questa fase, che dura relativamente poco rispetto alla fase di bruciamento dell'idrogeno (circa il 1% - per il Sole saranno 100 milioni di anni) la stella perde l'aspetto di gigante rossa.

Però terminato l'elio nel nucleo avverrà nuovamente una contrazione con conseguente riscaldamento che determinerà l'accensione dell'elio rimasto incombusto in un sottile strato esterno al nucleo.

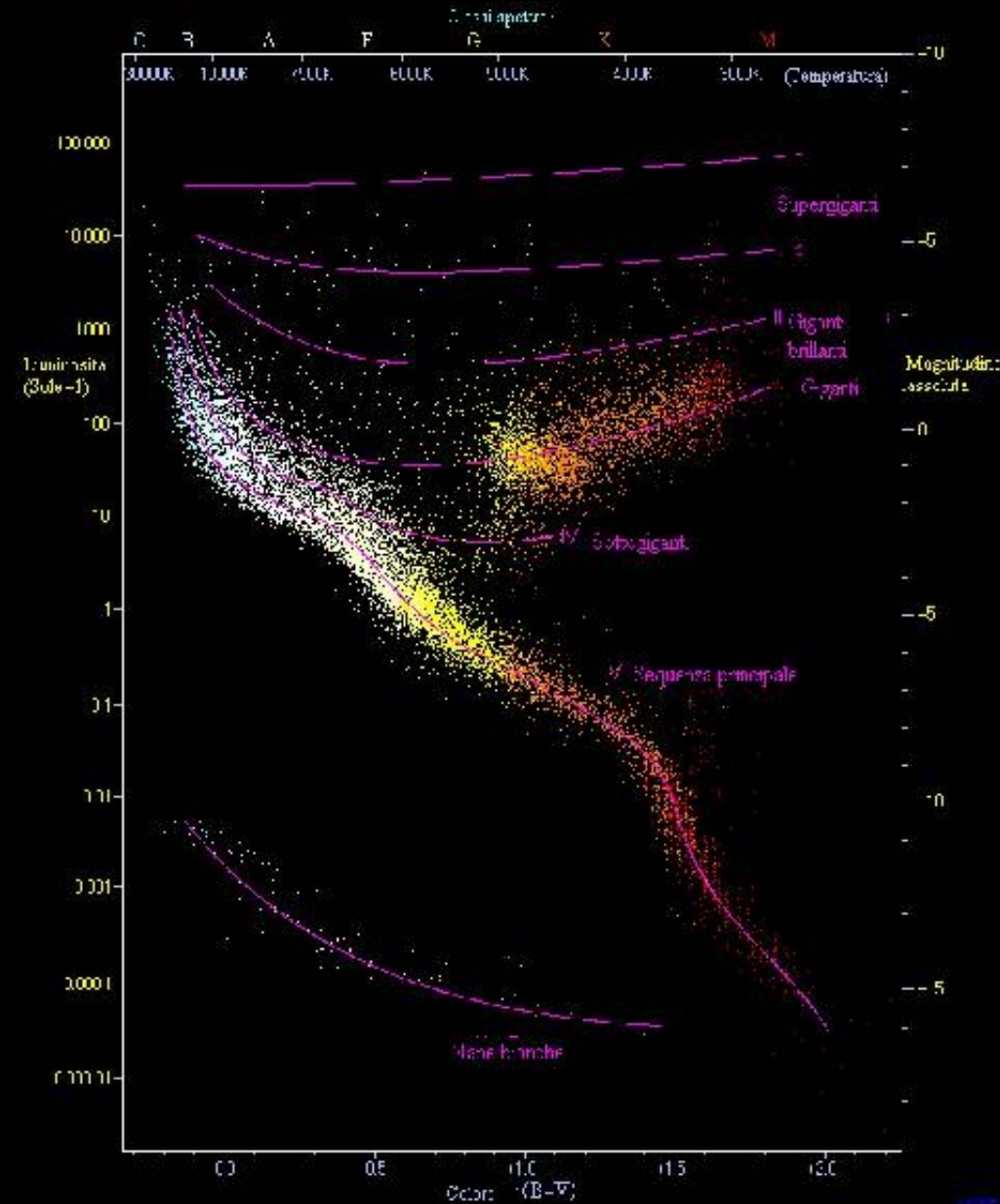
- La stella diventerà nuovamente una gigante rossa in quanto le fusioni nucleari negli strati esterni hanno la forza di farne nuovamente aumentare le dimensioni, ma con la conseguente diminuzione della temperatura superficiale.
- Questa fase viene denominata AGB da “ramo asintotico delle giganti”.

Digressione: il diagramma H-R

- AGB “ramo asintotico delle giganti” indica una particolare posizione che assumerebbe un punto con le caratteristiche di temperatura e luminosità di questo tipo di stelle su un diagramma costruito come quello a lato.

Le giganti AGB risultano essere più luminose delle giganti prodotte dalla fine del bruciamento dell'idrogeno nel nucleo, entrando nella zona delle “giganti brillanti”.

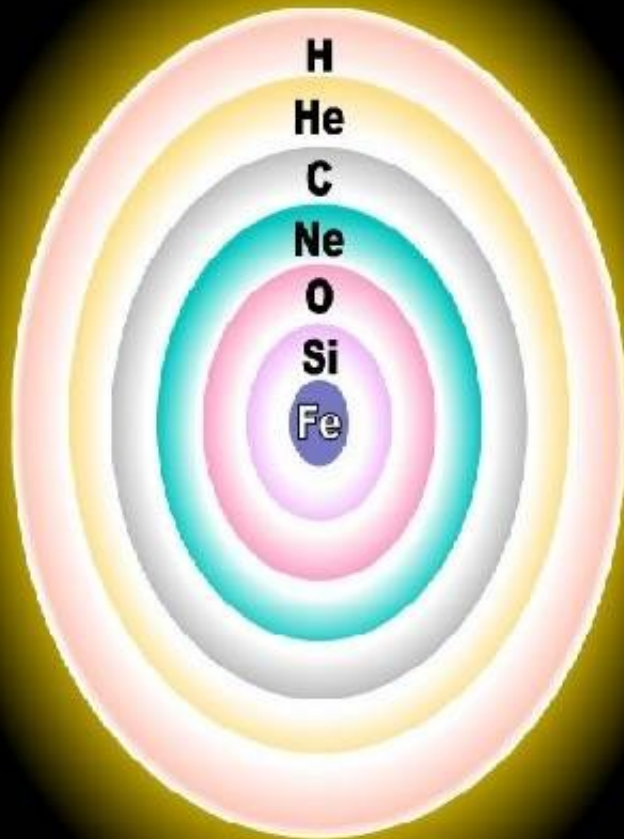
Il termine “sequenza principale” indica invece tutte le stelle che bruciano l'idrogeno nel nucleo.





- In questa fase, a causa delle enormi dimensioni assunte, della bassa pressione e gravità degli strati superficiali, questi vengono soffiati via dall'energia creata nel nocciolo, producendo quella che viene definita “nebulosa planetaria”.
- Nell'immagine una delle nebulose planetarie più conosciute e rappresentative: la nebulosa ad anello della Lira.
- Al centro si intravede il residuo della stella che la ha generata: una nana bianca, ossia il nocciolo di carbonio ed ossigeno in via di raffreddamento, nel quale è ormai terminata la fusione dell'elio.

Stelle di grande massa



Fonte: Wikipedia

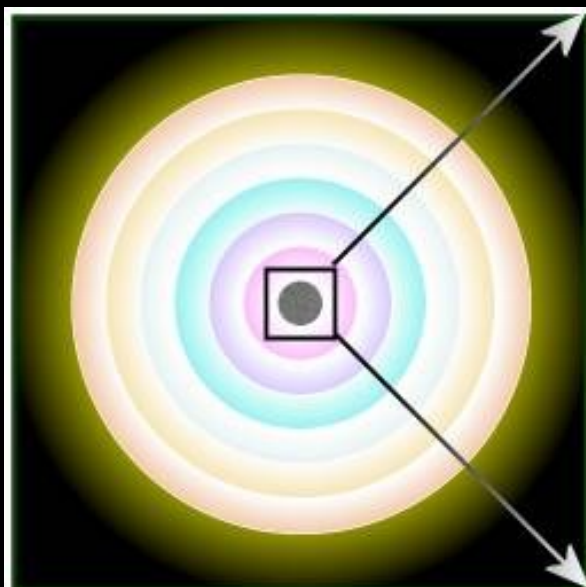
- La fine delle stelle di grande massa è più complessa.
- Disponendo di masse enormi dispongono dell'energia gravitazionale necessaria a produrre un aumento di temperatura nel nocciolo e negli strati circostanti sufficiente a permettere anche la fusione del carbonio.
- Si produrranno ancora ossigeno, zolfo, neon, sodio, magnesio e infine ferro.
- La parte centrale della stella assume l'aspetto simile ad una cipolla, con strati successivi in cui fondono gli elementi via via più leggeri.
- Nell'immagine i vari strati non sono rappresentati in scala! La zona dell'idrogeno è immensa rispetto alle altre.



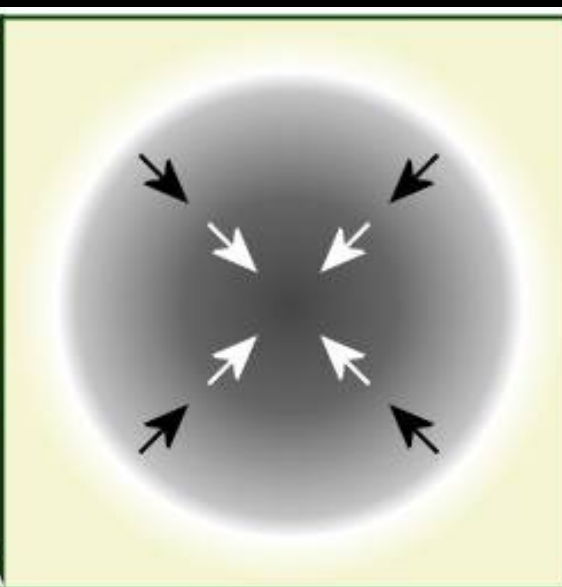
VV Cephei A

Fonte: Wikipedia

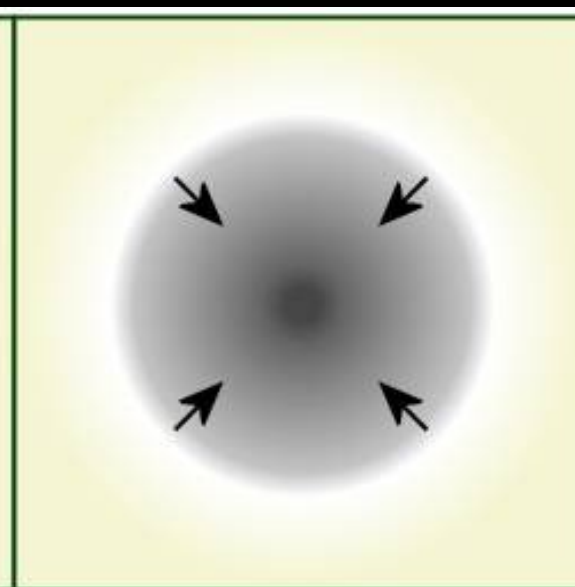
- Questa è la rappresentazione di una delle stelle supergiganti più giganti che si conoscano.
- Il sole è il minuscolo puntino sopra la freccina alla sinistra dell'immagine.
- Il diametro della stella è all'incirca pari all'orbita di Saturno, circa 19 UA.
- Al suo interno le dimensioni del nucleo a cipolla visto prima sono veramente minuscole.



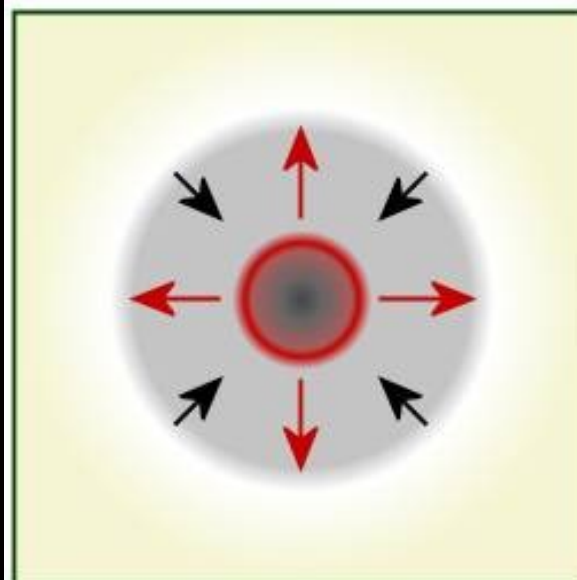
a



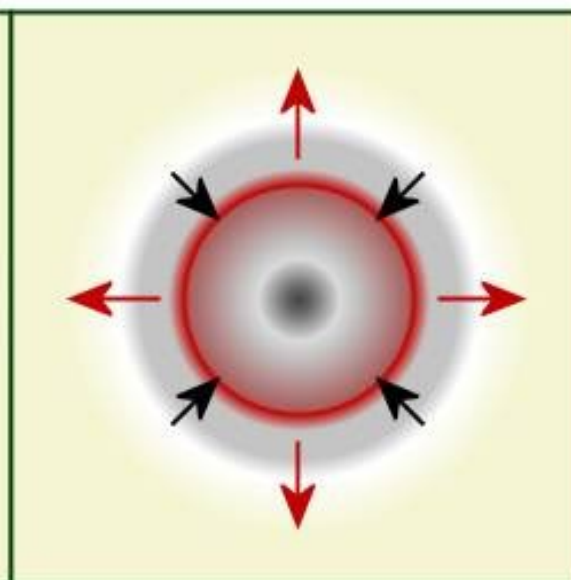
b



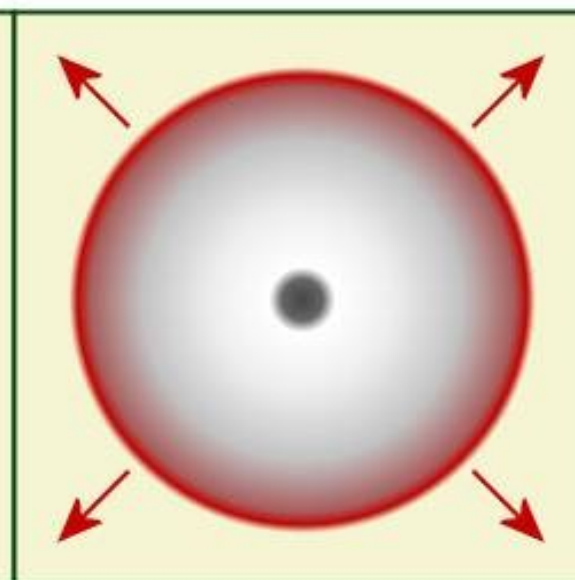
c



d



e



f

- Con la produzione di ferro, nel nucleo cessano le fusioni nucleari in quanto per fondere il ferro sarebbe necessaria più energia di quanta possa esserne fornita dal collasso gravitazionale.
- Terminata l'energia fornita dal centro del nucleo gli strati sovrastanti collasseranno a velocità elevatissime.
- Si stima che in meno di 2-3 secondi un nucleo di alcune migliaia di chilometri si riduca a meno di 5 km.

- La pressione gravitazionale è sufficiente a produrre la reazione dei protoni del ferro con gli elettroni e la trasformazione in puri neutroni con emissione di neutrini.
- Il calore prodotto dalla compressione produce invece energia sotto forma di raggi γ e altri neutrini.
- In circa 0,25 secondi i neutroni diventeranno così densi da non potersi più contrarre.
- A questo punto avverrà il rimbalzo della rimanente materia in caduta, che sostenuto dai neutrini prodotti si disperderà nello spazio.

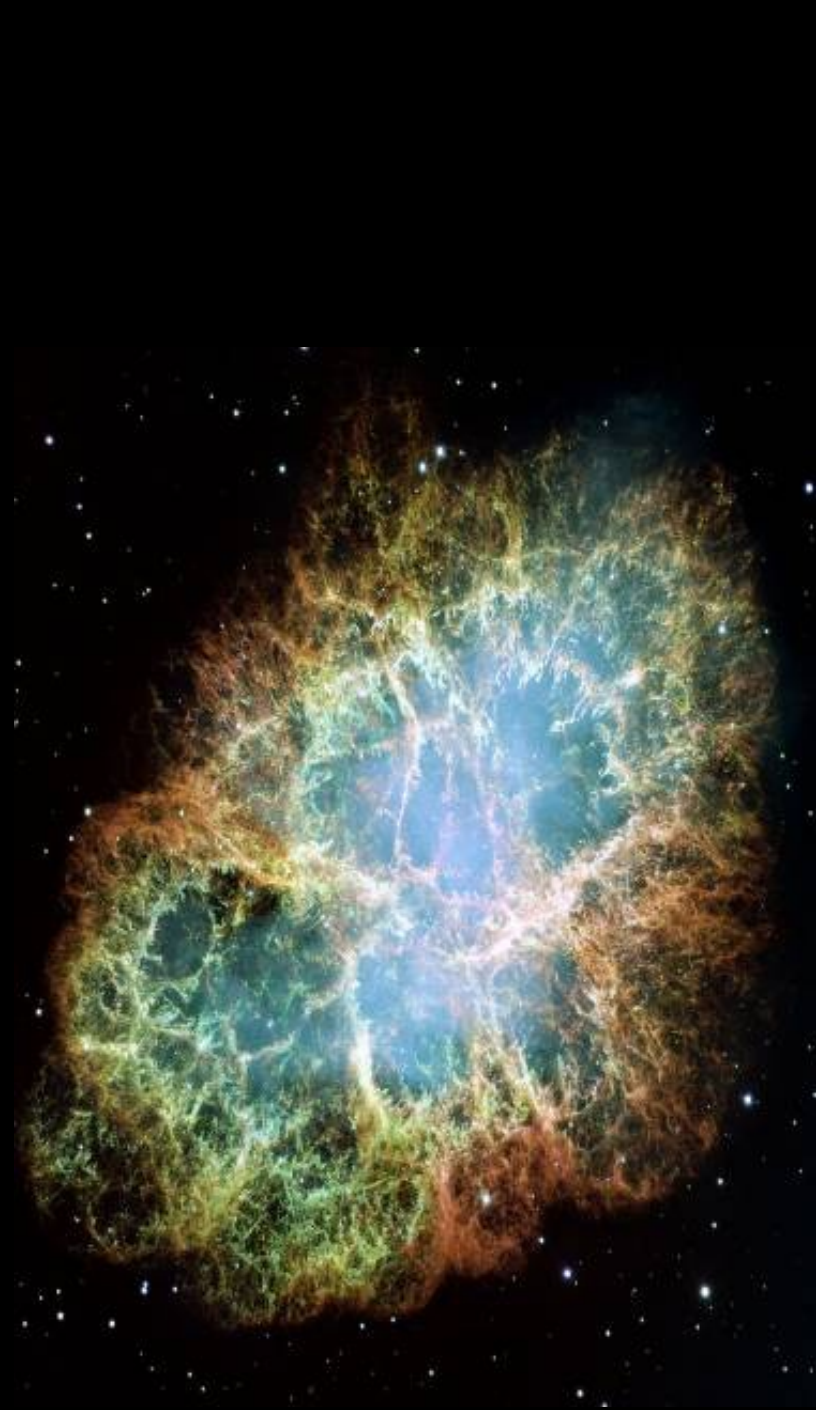
- La pressione generata dall'onda d'urto in espansione sarà tale da generare nuovi elementi pesanti tra i quali stagno, zinco, oro, mercurio, piombo e uranio.
- Il risultato sarà una stella di neutroni di dimensioni minuscole circondato da tutto questo materiale in espansione a velocità elevatissime, superiori a 10 mila km/s! (Velocità della luce $\sim$ 300 mila km/s)
- Massa St. neutr. $1,5 < > 2,7 M_{\odot}$

- Questo è il secondo “miracolo” delle stelle: la creazione di tutti gli elementi che costituiscono il pianeta che abitiamo ed il sistema solare!
- Perfino l'oro che sollecita la nostra cupidigia è stato creato nell'esplosione di una antica supernova, che lo ha disperso nello spazio finché, probabilmente, un'altra supernova non ha avviato la formazione del nostro Sole e dei pianeti che lo circondano.



Supernova SN 1994D
(il punto luminoso a sinistra)
nella galassia NGC 4526 (Vergine)
Fonte: Nasa - Wikipedia

- Questa è un tipo particolare di supernova non generato dal collasso di una stella massiccia.
- E' comunque indicativo di quanto si può osservare al momento dell'esplosione.
- Ngc 4526 (Gal. Occhio Nero)
- Distanza: 55 milioni a.l.
- Dim. Apparente: 7'x2'
- La luminosità è tale da surclassare quella del nucleo galattico.
- Nelle pagine successive si può vedere l'evoluzione temporale di queste esplosioni.
- Fonte: Nasa Hst / Wikipedia

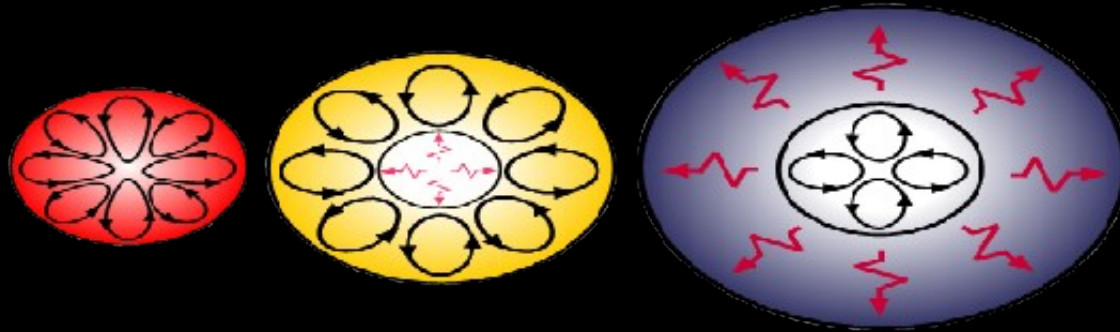


- Nebulosa del granchio (plerione) – Costellazione Toro
- Stella progenitrice ~ 10-30 Ms
- Diametro effettivo ~ 6 a.l.
- Diametro apparente 6'x4'
- Distanza ~ 6.500 a.l.
- Anno di prima osservazione 1054 dc
- Al centro una stella di neutroni di ~ 10 km di diametro (invisibile).
- Fonte: Nasa Hst / Wikipedia



Nebulosa Velo nel Cigno - NGC 6960/74/79/92/95
Resto di supernova
Diametro apparente 3° (6 volte la Luna)
Diametro effettivo 50 a.l.
Distanza 2.000 a.l.
By Gianfranco Gallio

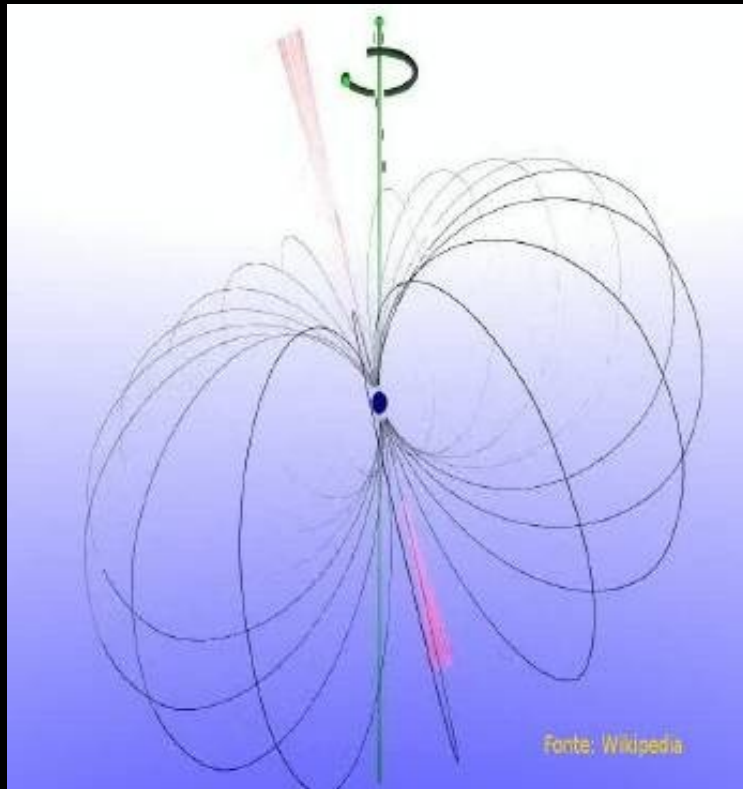
Il “dragaggio”



Fonte: Wikipedia

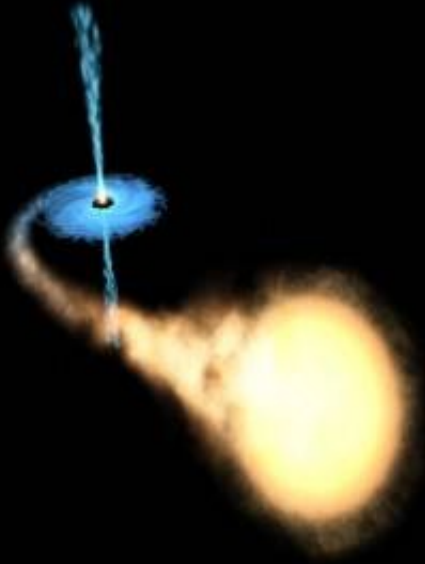
- Abbiamo detto che nella fase finale di trasformazione delle stelle in nebulose planetarie o supernove gli elementi prodotti nel **nocciolo** vengono diffusi nello spazio.
- Ma come è possibile se sono appunto lì confinati ?
- Ciò è dovuto al fatto che la trasmissione dell'energia prodotta può avvenire in due modi diversi a seconda della massa della stella e di conseguenza della situazione fisica dei gas: per convezione o per irradiazione.
- Nel caso avvenga per convezione una parte dei gas presenti nel nucleo e negli strati adiacenti possono essere “rimescolati” e portati più in superficie, dove verranno dispersi.

Pulsar



- Si tratta di stelle di neutroni residue di supernove in cui l'asse magnetico non coincide con l'asse di rotazione.
- Se periodicamente l'asse che passa per i poli magnetici (da cui vengono espulse particelle ad altissima energia a causa della potenza del campo magnetico) risulta orientato verso la Terra, riusciremo a captarne periodicamente i segnali radio, X od ottici, da cui il termine “pulsar”.
- Queste stelle, ruotano a velocità elevatissime $> 100-1.000$ giri/sec. che si riduce nel tempo (milioni di anni).

X ray burst



O brillamenti di raggi X

- Si pensa che quando la stella di neutroni ha una compagna, per il fortissimo campo gravitazionale, può riuscire a strapparne materia che ricadendo ad altissima velocità produce un punto caldo (alcune centinaia di milioni di gradi) da cui vengono emessi raggi X in quantità grandiose, pari anche a 100 mila volte la luminosità del Sole.
- Queste emissioni durano solitamente solo pochi secondi prima di diminuire di intensità prolungandosi poi a bassa intensità per poche ore o giorni.

Per finire: I Buchi neri



- Sono sempre il risultato di una esplosione di supernova in cui la massa del nucleo restante ($>3 M_{\odot}$) è tale che neanche la densità dei neutroni riesce a fermare il collasso gravitazionale.
- Quando la gravità superficiale diventa tale che la velocità di fuga diventa superiore alla velocità della luce il residuo stellare si definisce Buco nero in quanto nulla può sfuggirvi.
- Per confronto la velocità di fuga sulla Terra è di soli 11 km/s



- In realtà si ritiene che il buco nero vero e proprio sia privo di dimensioni (singolarità).
- Il raggio dal centro, entro il quale la velocità di fuga diventa superiore alla velocità della luce viene detto raggio di Schwarzschild, dal nome dello scienziato che risolse le formule di Einstein che ne descrivono le caratteristiche.
- La superficie determinata dal raggio di Schwarzschild si definisce orizzonte degli eventi, in quanto non siamo in grado di vedere cosa c'è oltre.



In ricordo di Gianfranco Gallio

Amico e socio GAWH

† 23 marzo 2012

La Balma – campo estivo 2010

<http://vialattea-gianfranco.blogspot.it/>