

Proprio qui, 14 Miliardi di anni fa



# Un viaggio nel tempo di 14 miliardi di anni



# Il big bang

- Avvenne proprio qui, circa 14 Miliardi di anni fa.
- Tutta la materia e l'energia dell'universo erano concentrate in una piccolissima regione di spazio.
- All'inizio, la temperatura era estremamente elevata. Esistevano i costituenti dei nuclei e degli atomi in una zuppa primordiale.
- Da allora l'universo si è espanso e si è raffreddato. Mano a mano si sono formate le varie strutture ordinate: nuclei, atomi, galassie, stelle, pianeti e... gli esseri viventi.

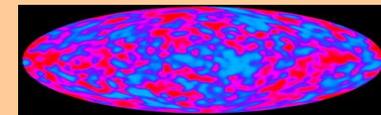
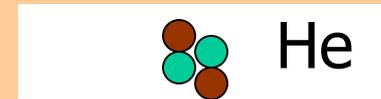


# Le impronte del big bang



Ci sono tre solide evidenze per la teoria del big bang:

- L'espansione dell'universo
- La nucleosintesi primordiale
- La radiazione di fondo a microonde





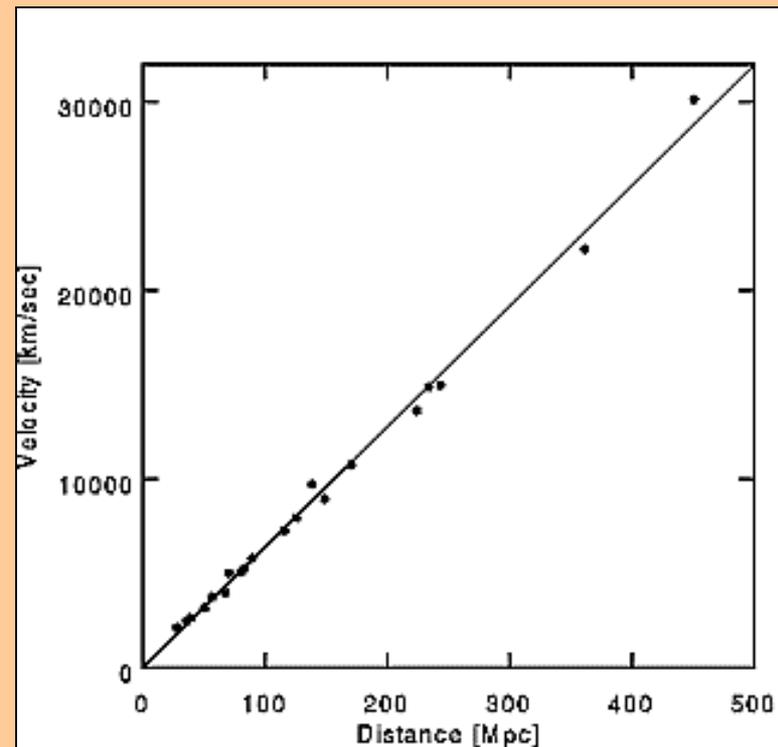
# L'espansione dell'universo

- Osserviamo che le galassie si allontanano da noi, e che la distanza **D** di ciascuna è proporzionale alla sua velocità **V** (legge di Hubble):

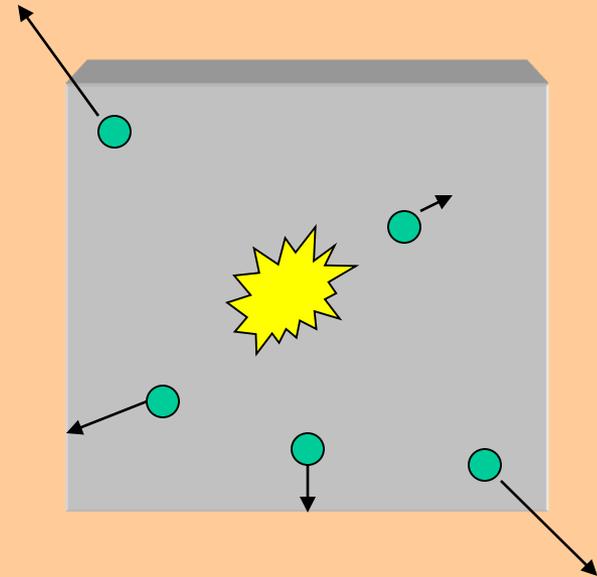
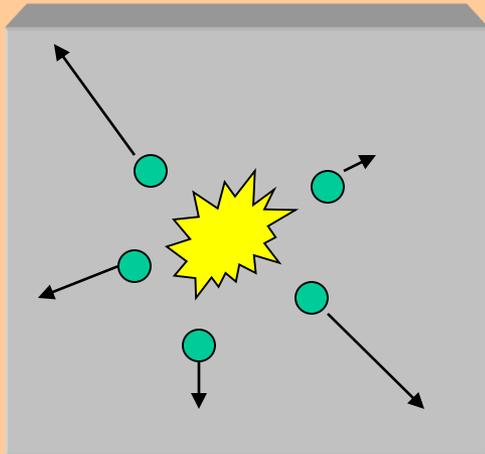
$$D = V t$$

- Se questa legge valeva anche nel passato, le distanze tendono a zero quando  $t = 0$ , cioè l'universo si riduce a un punto.

- Il valore odierno  $t = 14$  Miliardi di anni, ci dice quanto tempo è trascorso dal big bang.



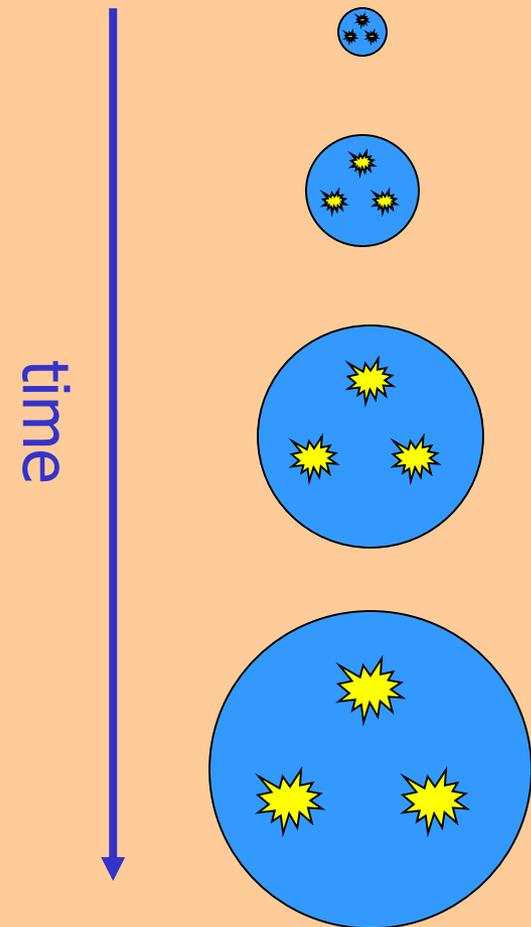
# L'esplosione dell'universo



- Come in ogni esplosione, vanno più lontano gli oggetti che hanno velocità maggiore.
- Ma dove è avvenuta l'esplosione?

# Perché proprio qui?

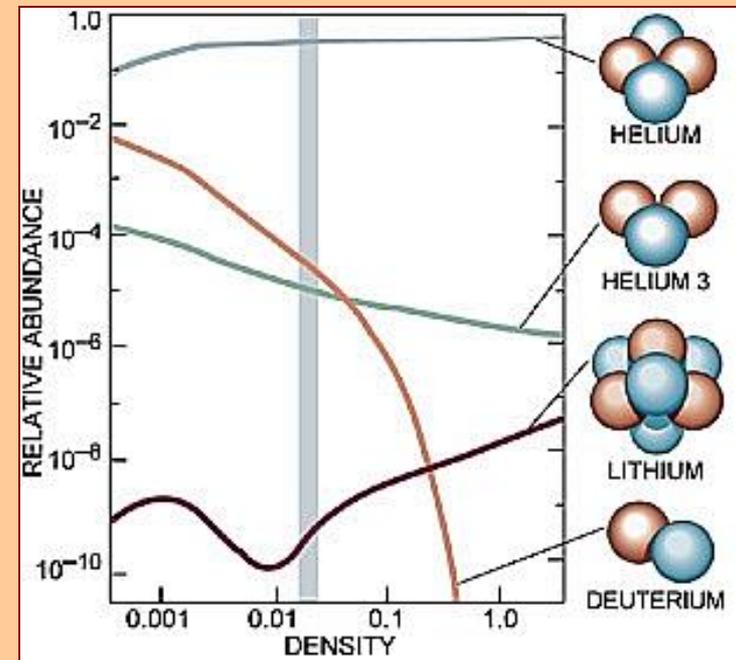
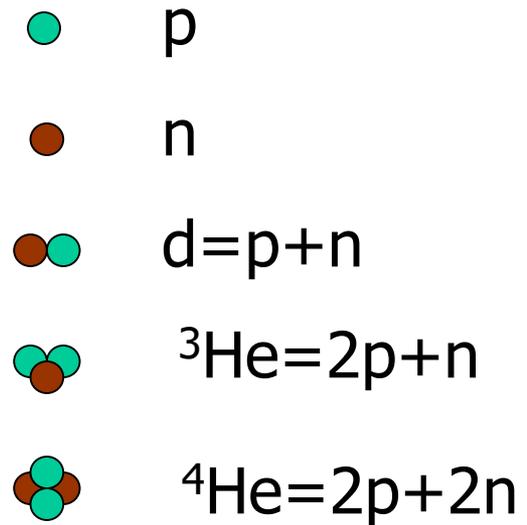
- Si ritiene che tutti i punti dell'Universo siano equivalenti.
- Al Big Bang tutto lo spazio convergeva in un solo punto.
- Dunque il Big Bang avvenne proprio qui.



# Tre minuti di cottura

• Nei primi tre minuti, quando la temperatura è circa 1 Miliardo di gradi, **p**rotoni e **n**eutroni si legano assieme, formando i nuclei degli elementi più leggeri: il **d**euterio e l' **E**lio (**He**).

• Le misure delle abbondanze di questi elementi originati nella **nucleosintesi primordiale** sono una delle conferme per la teoria del big bang.



# Solo antipasto

- Attenzione: nel big bang vengono formati solo i **nuclei** degli elementi **più leggeri**.
- Gli elettroni non potevano legarsi stabilmente ai nuclei perché la temperatura era troppo elevata.
- La materia che osserviamo è fatta di atomi e molecole, e contiene elementi ben più pesanti dell'elio. Ci devono essere altre cucine....

p

● n

●● d=p+n

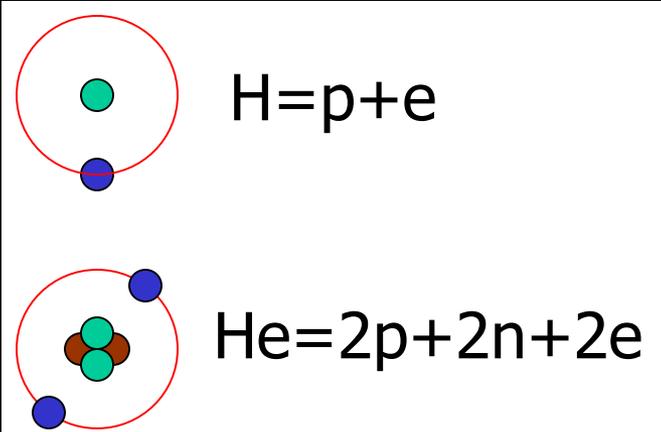
●●●  ${}^3\text{He}=2p+n$

●●●●  ${}^4\text{He}=2p+2n$



# I primi atomi

- 300.000 anni dopo il big bang, la temperatura è circa 1000 gradi e gli **e**lettroni possono legarsi ai nuclei formando atomi di Idrogeno ed Elio.
- L'universo diventa trasparente alla luce e al calore.
- La radiazione di fondo permea tutto l'universo portandoci un'impronta del big bang.



*George Gamow*

# La radiazione cosmica di fondo

- Come un gas espandendosi si raffredda, così avviene per l'intero universo.
- La radiazione di fondo, che si libera dall'interazione con la materia a una temperatura di circa 1000 gradi, ha oggi una temperatura di -270 gradi.
- Questa radiazione fu osservata per la prima volta nel 1964.

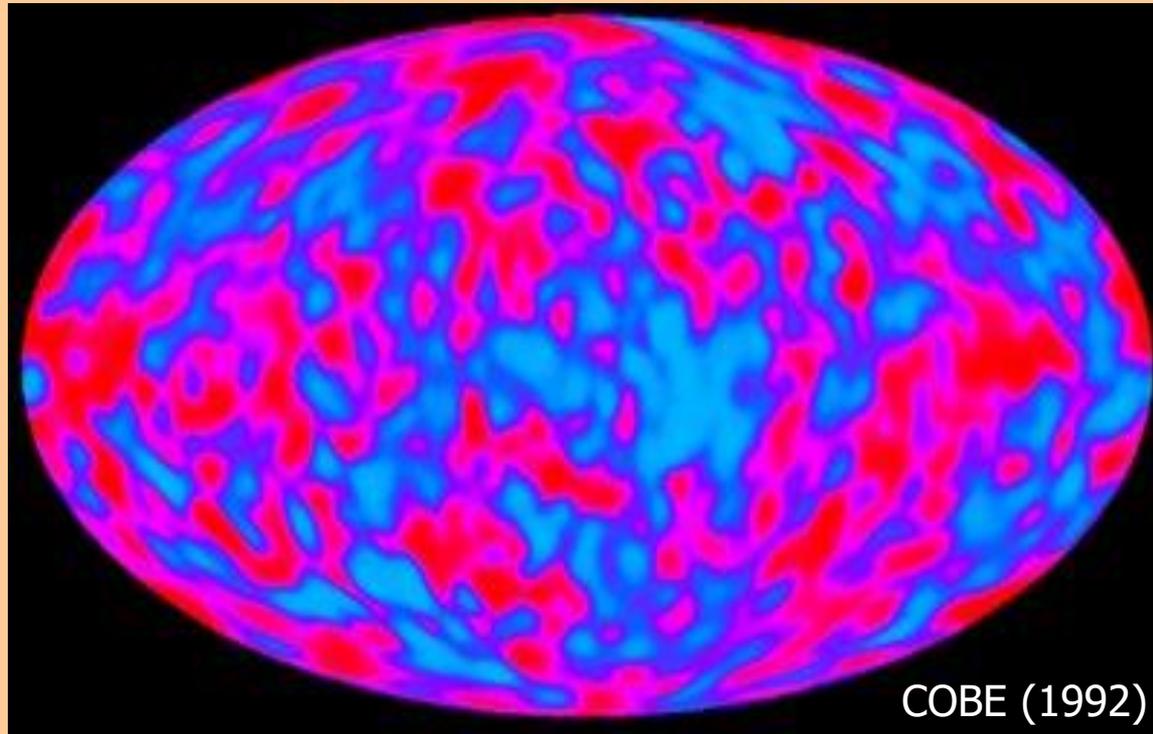


*Penzias e Wilson*

# La struttura dell'universo primordiale

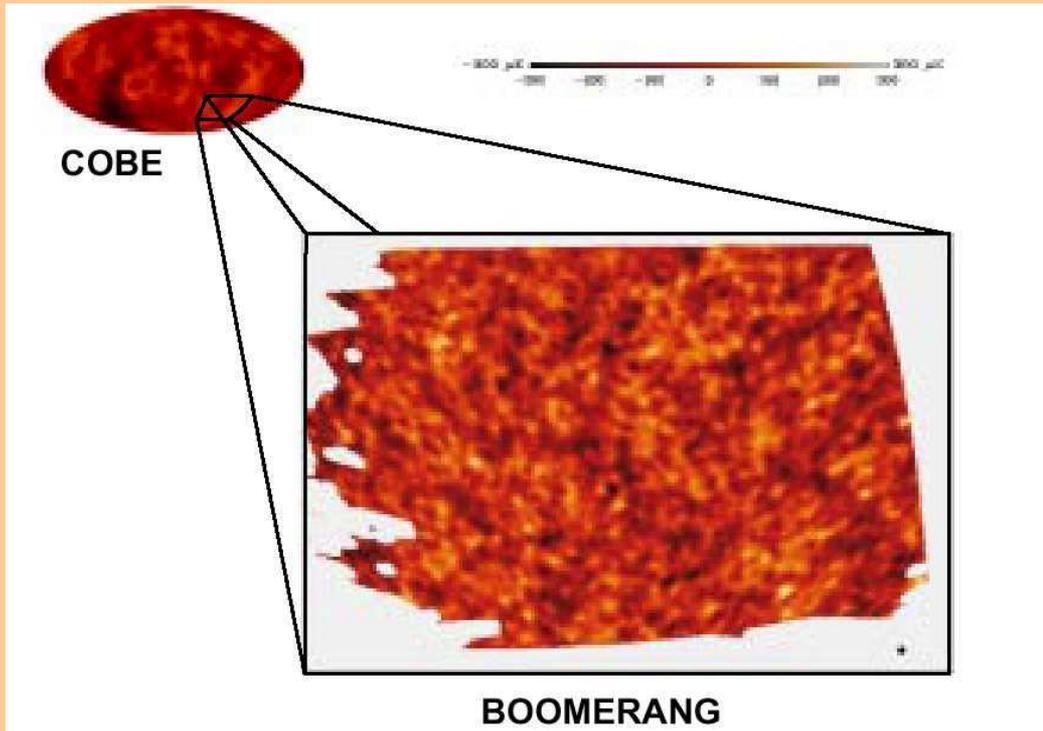


- L'osservazione della radiazione cosmica di fondo ci permette di osservare l'Universo bambino.
- Guardando in direzioni diverse del cielo, la radiazione presenta piccolissime disuniformità.
- Sono i primi segni della nascita di strutture nell'universo.

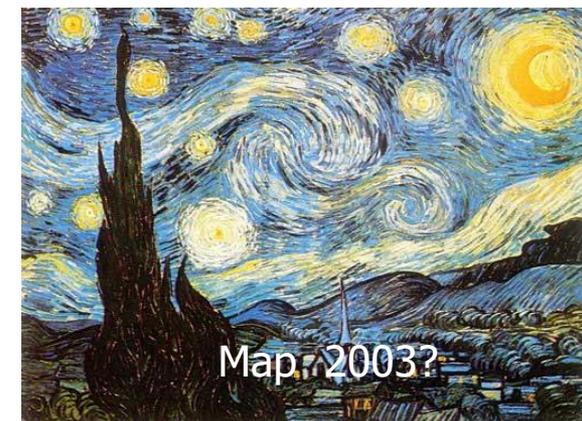
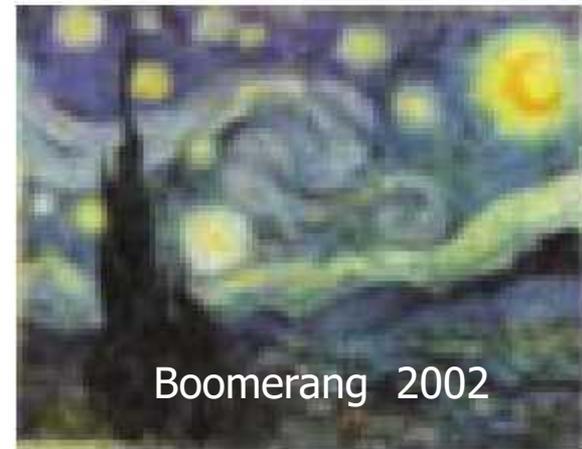


COBE (1992)

# Dieci anni di progresso

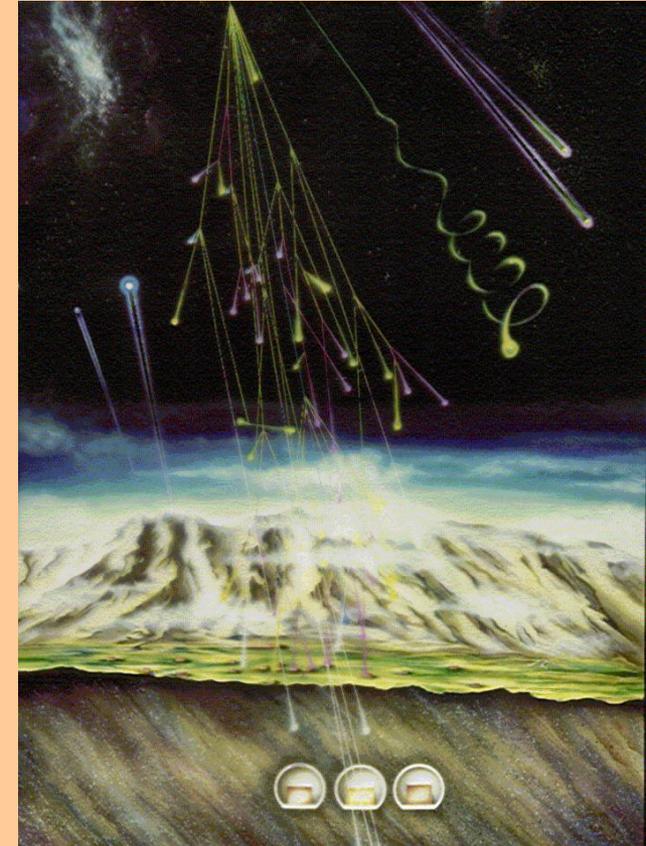


La risoluzione delle immagini del fondo cosmico a microonde sta migliorando in modo impressionante.



# Le altre radiazioni di fondo

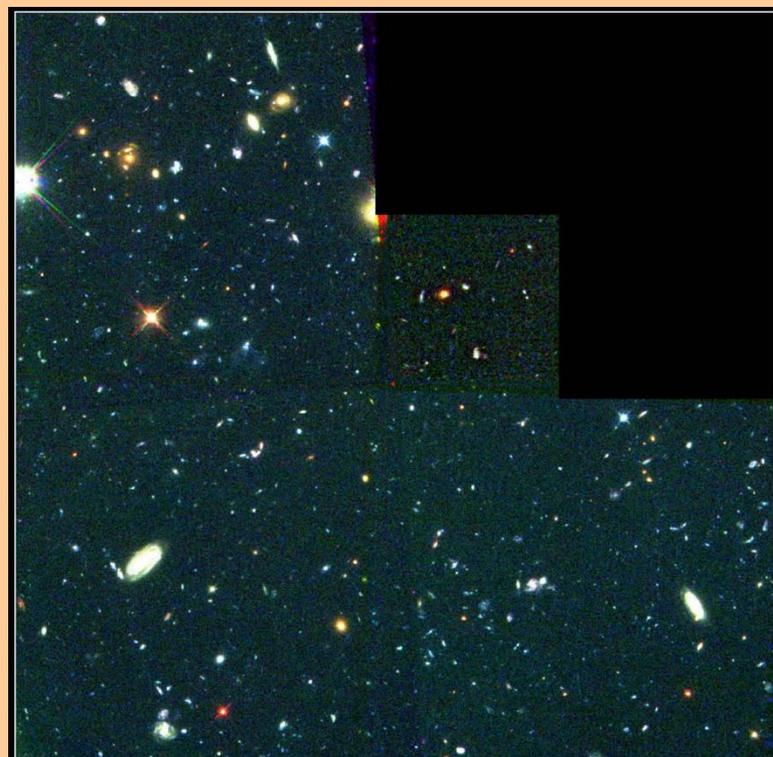
- La radiazione cosmica a microonde fotografa l'Universo a un'età di 300.000 anni.
- Ci sono altre radiazioni nel cosmo, resti del big bang, che per adesso non sappiamo rivelare.
- I neutrini di fondo, che fotografano l'universo a 1 secondo dalla nascita.
- Le onde gravitazionali, che fotografano l'Universo a  $10^{-43}$  secondi dal Big Bang.





# L'origine delle Galassie

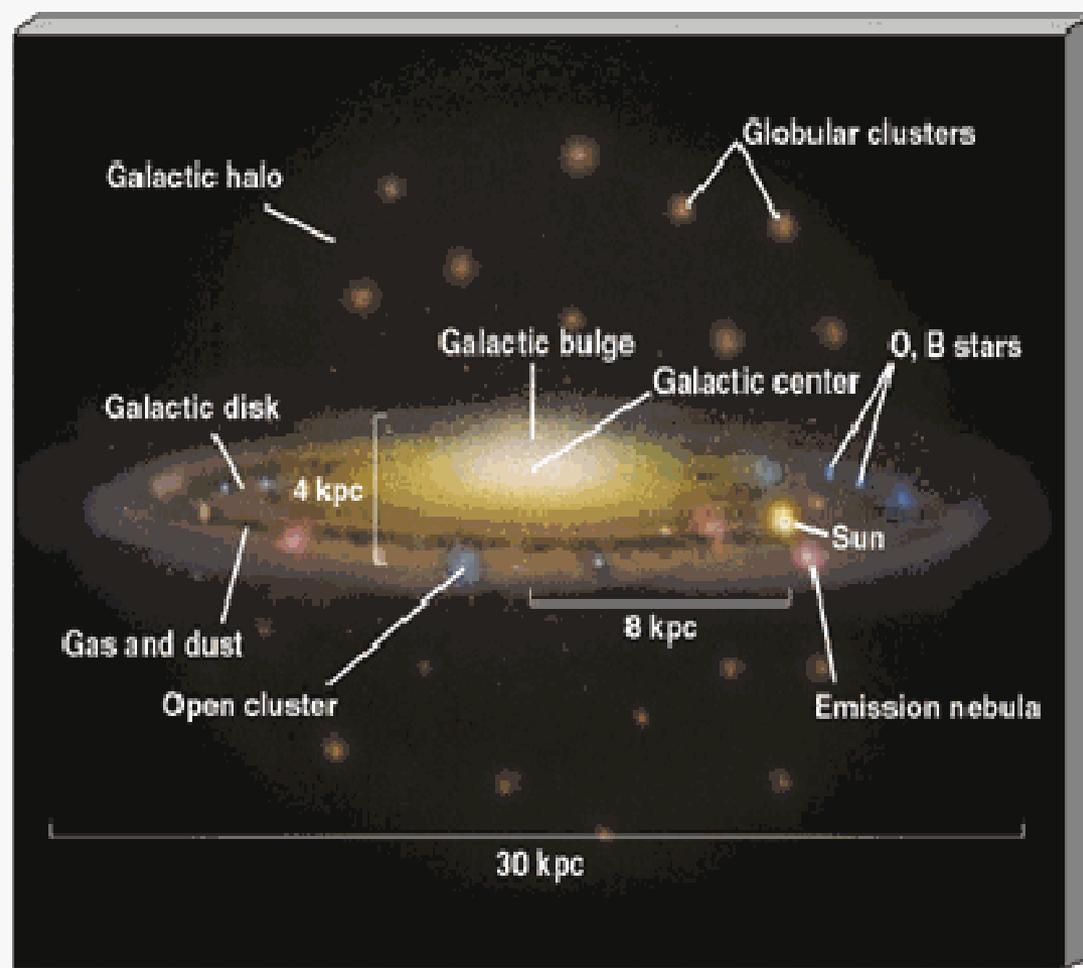
- Circa 1 Miliardo di anni dopo il Big Bang, per effetto dell'attrazione gravitazionale la materia si è addensata in grandi strutture.
- Si ritiene che prima si siano formati gli ammassi di galassie.
- Ciascuno di questi si sarebbe poi separato in più galassie.



**Young Galaxy Survey**  
Hubble Space Telescope • WFPC2

# La Galassia

- Nell'ammasso della Vergine si trova la Galassia con la G maiuscola, quella in cui viviamo.
- Per andare da un capo all'altro della Galassia la luce impiega 100.000 anni.



- La Galassia contiene circa 100 miliardi di stelle; una di queste, in periferia, è il nostro Sole.

# La nascita delle stelle

- I più grandi abitanti delle galassie sono gigantesche nubi di gas, ciascuna delle quali contiene il materiale per formare milioni di stelle.
- Per effetto della gravità queste nubi si frammentano intorno a dei centri di accumulazione gravitazionale, dando origine alle stelle.



# La fonte di energia delle stelle

- **Kelvin,  $\approx 1800$** : L'energia gravitazionale può sostenere la luminosità del sole per circa 30.000.000 di anni.

- **Troppo poco** per rendere conto dell'evoluzione dei processi biologici e geologici.

- Comprendere la fonte di energia delle stelle era il **problema scientifico** del secolo scorso.



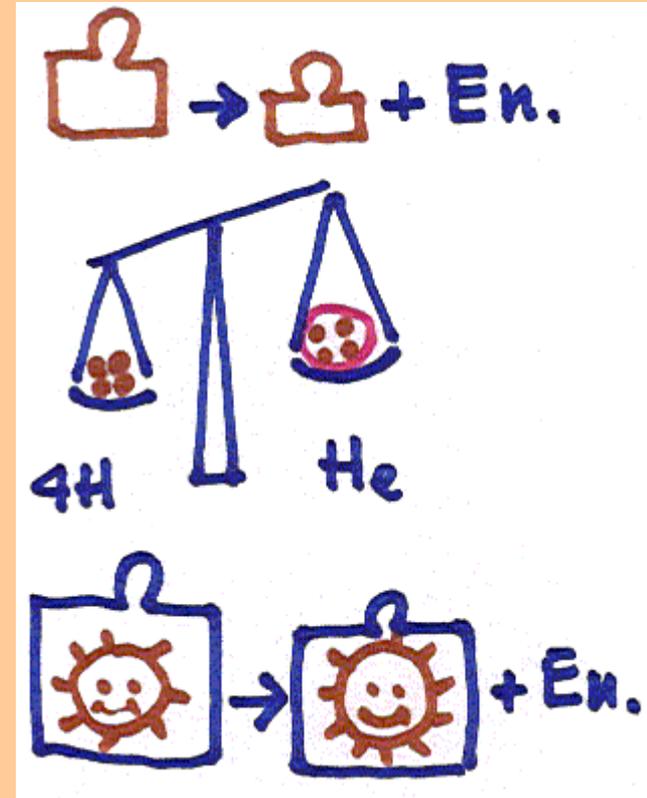
**Quale fonte di energia può sostenere il sole per miliardi di anni?**

# La nascita dell'astrofisica nucleare

**Einstein** (1905):  $E=mc^2$

**Aston** (1918):  $m(\text{He}) < 4 m(\text{H})$

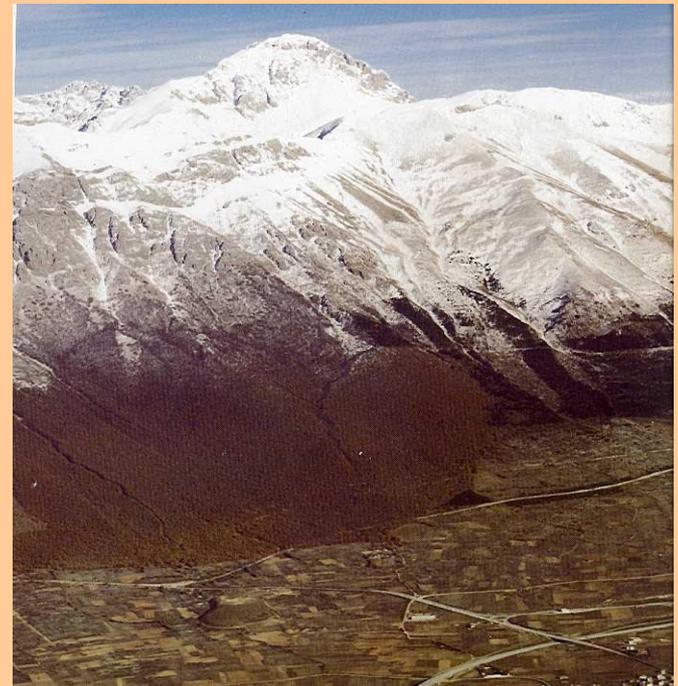
**Eddington** (1920): Se una stella consiste inizialmente di idrogeno, che viene gradualmente trasformato in elementi più pesanti, allora abbiamo compreso la fonte di energia delle stelle ...e...\*



\* ...Se questo e' vero, allora siamo più vicini al sogno di controllare questo potere latente, a beneficio dell'umanità o per il suo suicidio (1920)

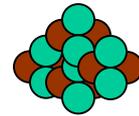
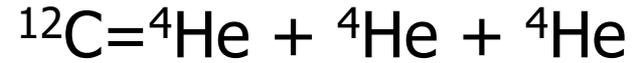
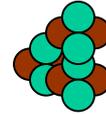
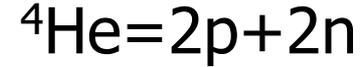
# Le impronte delle reazioni nucleari nel sole

- L'esperimento Gallex nei laboratori sotterranei del Gran Sasso ha rivelato i neutrini provenienti dalle fusioni nucleari nel sole.
- Gallex ha **dimostrato che l'energia del sole e' prodotta da reazioni nucleari** al suo interno.



# Le stelle: la cucina nucleare

- La gravità tende a schiacciare una stella sul suo centro.
- La stella bilancia la gravità con la pressione prodotta dalla materia riscaldata dalle reazioni nucleari.
- Queste reazioni trasformano Idrogeno in Elio e quindi - se la stella è sufficientemente pesante - in Carbonio, e poi in ossigeno. Così vengono prodotti tutti gli elementi chimici, fino al ferro.



...

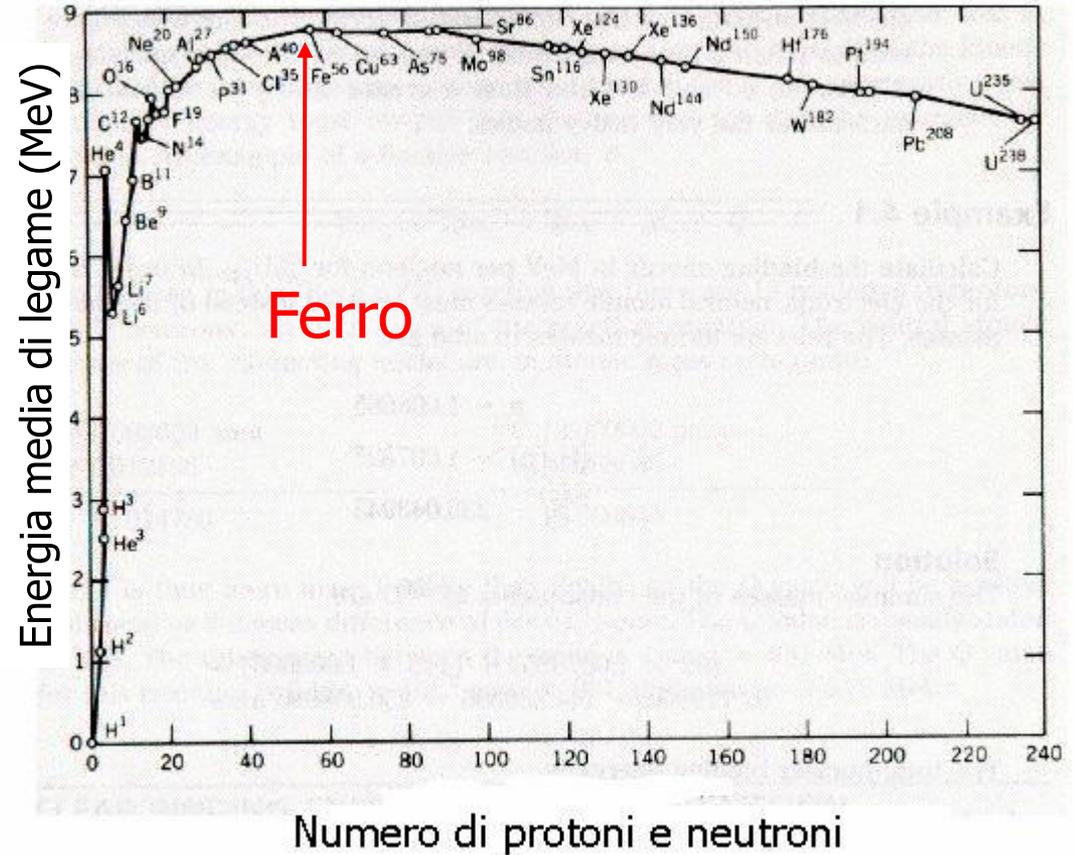


# Il primo è pronto

- Le stelle liberano energia fondendo assieme i nuclei atomici.

- Questo processo termina con la produzione del Ferro, il nucleo più legato.

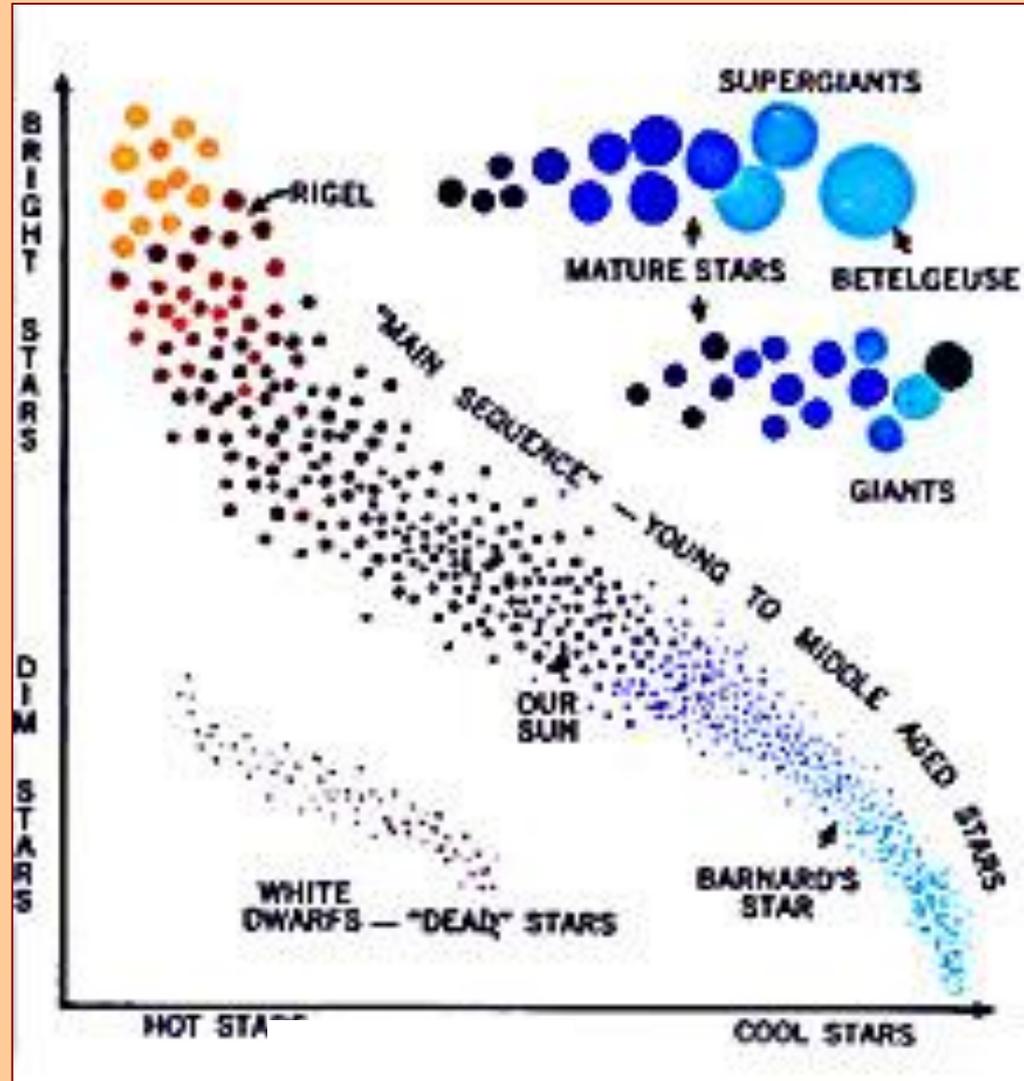
- Il primo piatto è pronto: i nuclei fino al Ferro vengono prodotti mediante la fusione nucleare. Ma dove vengono formati i nuclei più pesanti ?



# La vita delle stelle

- Ciascuna stella ha una sua storia e un suo futuro.
- La durata di una stella e il suo destino dipendono dalla sua massa.

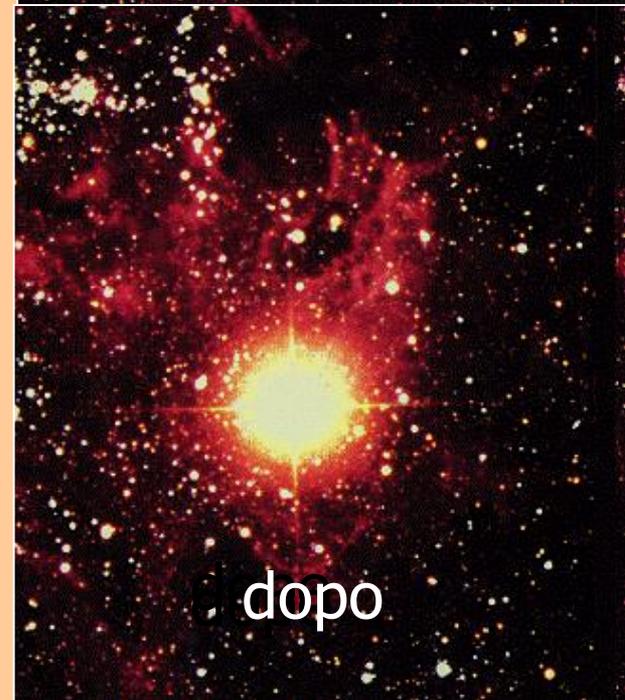
Luminosità ↑



← Temperatura

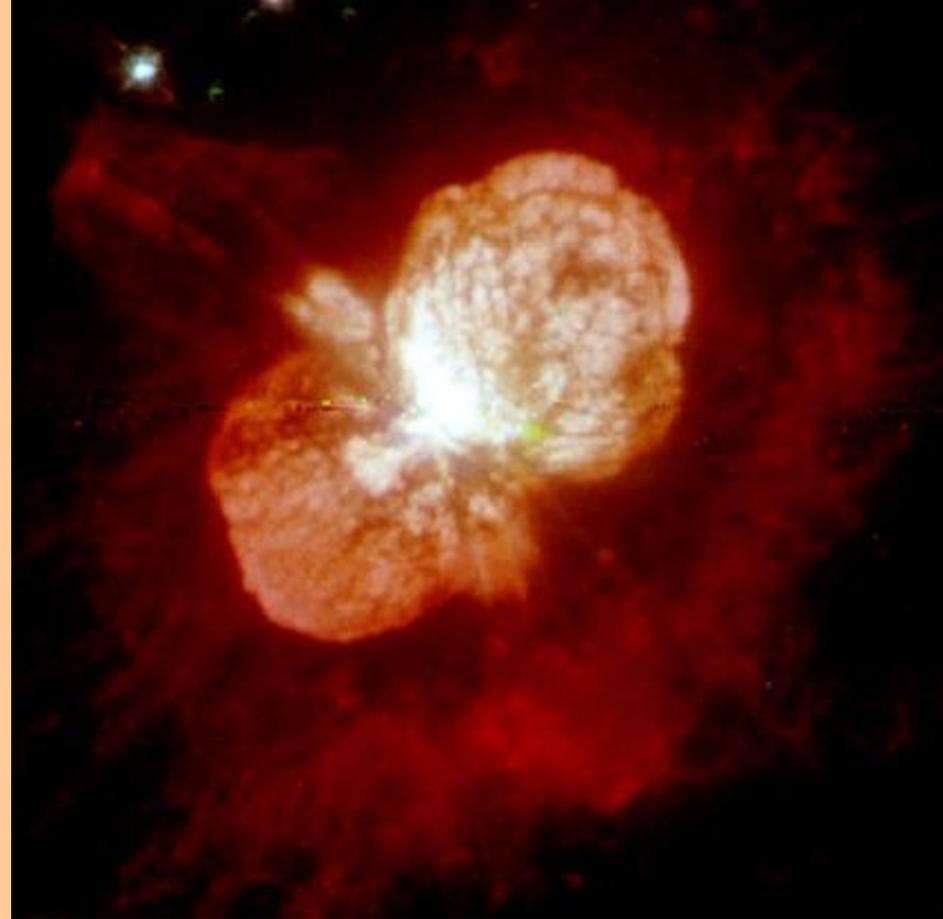
# La fine di una stella

- Le stelle più pesanti hanno una fine violenta
- Quando è esaurito il combustibile nucleare, la gravitazione schiaccia la stella, che comincia ad implodere.
- Le parti più esterne rimbalzano sul nocciolo della stella, dando origine ad un'enorme esplosione.
- Questo processo forma le **supernove**, gli oggetti più luminosi nelle galassie.



# Supernovae

- La cucina nucleare si completa durante la formazione delle supernove, in cui vengono prodotti gli elementi più pesanti del ferro.
- Il materiale prodotto viene iniettato nel gas circostante.
- L'onda d'urto dell'esplosione innesca la formazione di nuove stelle.
- Queste contengono gli elementi formati nel Big Bang primordiale e nelle stelle esplose precedentemente.



# Il meteorite Allende

- La nascita del sistema solare è stata preceduta dall'esplosione di una supernova vicina, la cui onda d'urto ha compresso il gas circostante.
- Il meteorite di Allende contiene inclusioni provenienti dal decadimento di nuclei con tempi di dimezzamento di milioni di anni, prodotti in una supernova.
- Ciò significa che l'esplosione è avvenuta circa 10 milioni di anni prima della formazione del sistema solare.



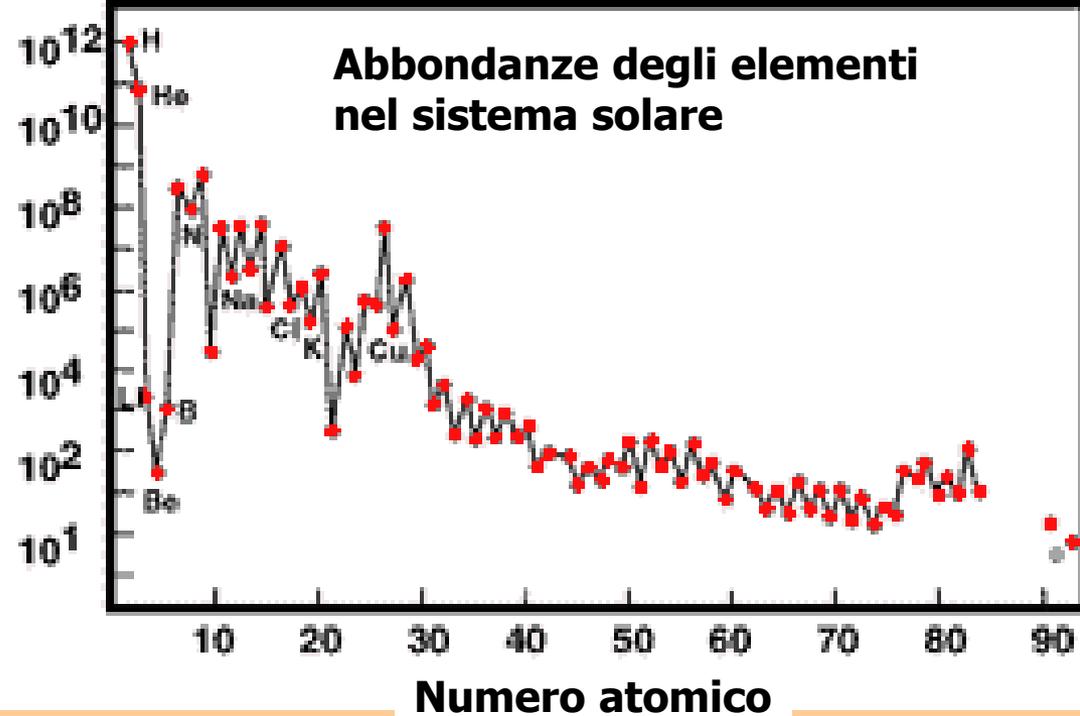
# Gli ingredienti del sistema solare

- A questo punto abbiamo tutti gli ingredienti per formare il Sole e i pianeti :

- Il 74 % di Idrogeno

- Il 24 % di Elio

- Il 2% è costituito da elementi più pesanti, principalmente Carbonio, Azoto, Ossigeno e Ferro.



# La nascita del sistema solare

- La nube si schiaccia a formare una stella al suo centro.
- La rotazione della nube produce un disco
- Nel disco, planetesimi rocciosi si formano vicino alla stella.
- Planetesimi di ghiaccio nelle parti più esterne.
- La materia si accumula intorno a questi, mentre il vento solare spazza lo spazio circostante.

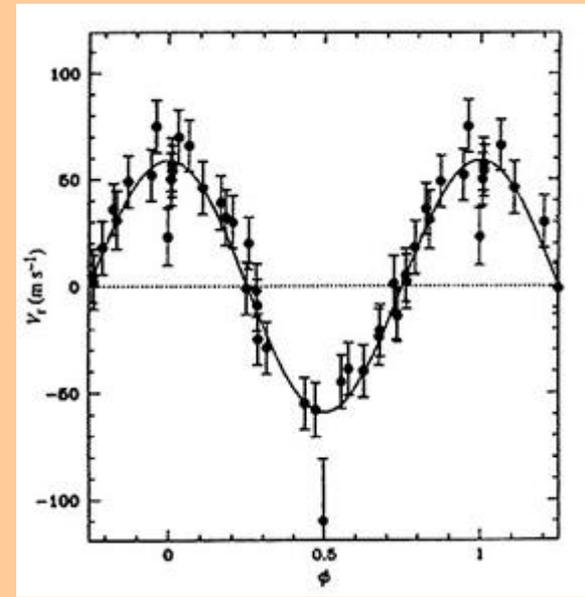


4,5 Miliardi di anni fa



# Pianeti extrasolari

- Sono stati scoperti pianeti intorno ad altri soli, studiando le perturbazioni delle orbite stellari.
- Per adesso si è in grado di osservare pianeti grandi come Giove o Saturno.
- Strumenti più raffinati permetteranno l'osservazione di pianeti della dimensione della terra.
- Il passo successivo sarà la ricerca di tracce della vita.



# Le tappe del viaggio

