

ARCHEOLOGIA GALATTICA

COME RISALIRE ALLA STORIA DI  
FORMAZIONE DELLA NOSTRA  
GALASSIA ATTRAVERSO LO STUDIO  
DELLE ABBONDANZE CHIMICHE

FRANCESCA MATTEUCCI  
UNIVERSITA DI TRIESTE

# SIAMO FIGLI DELLE STELLE

Gli elementi leggeri,  $H$ ,  $He$ ,  $D$ ,  $Li$  si sono formati durante i primi tre minuti del Big Bang

Tutti gli elementi piu' pesanti a partire dal carbonio per finire agli elementi transuranici li hanno formati le stelle durante la loro vita

La composizione chimica subito dopo il Big Bang era:

$$X = 0.76$$

$$Y = 0.24$$

$$Z = 0$$

# LE ABBONDANZE COSMICHE

Tra le informazioni che ci arrivano dal cosmo ci sono le abbondanze degli **elementi chimici**

La concentrazione degli elementi chimici misurata nella fotosfera solare e nei meteoriti rappresenta la composizione chimica del gas interstellare **4.5 miliardi di anni fa**

Le abbondanze chimiche solari sono chiamate **ABBONDANZE COSMICHE**

# LE ABBONDANZE COSMICHE: L'UNIVERSO DI IDROGENO, ELIO E METALLI

La composizione chimica solare puo essere descritta da 3 quantita': X, Y, Z

Esse rappresentano la concentrazione in massa di idrogeno (X), elio (Y) e metalli (Z)

$$X=0.71$$

$$Y=0.27$$

$$Z=0.02$$

# LE STELLE SONO FUCINE NUCLEARI

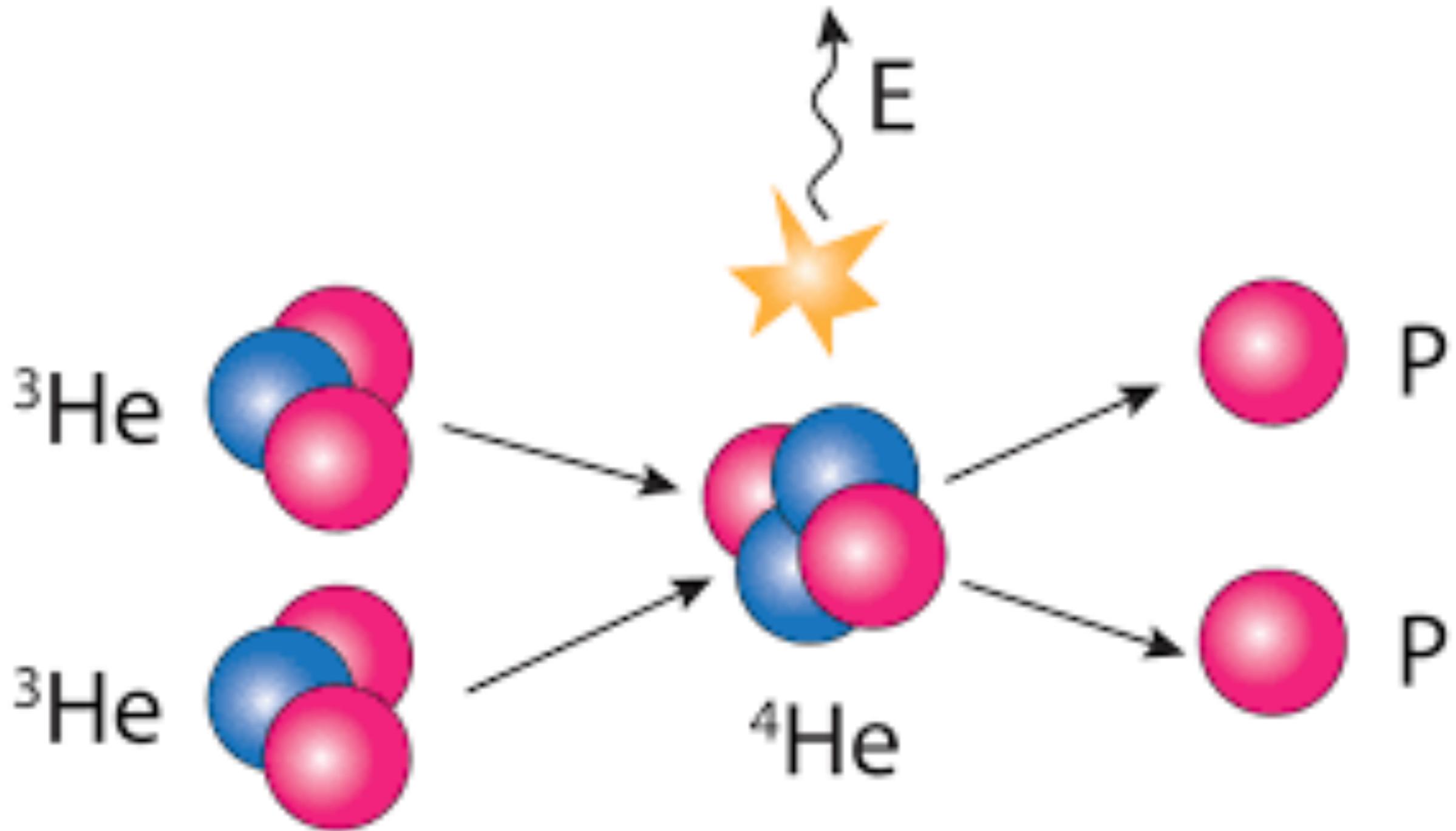
Attraverso reazioni di **fusione nucleare** le stelle consentono ai neutroni e protoni di fondersi in nuclei sempre piu' pesanti

Il Sole brilla perché sta trasformando H in He al suo interno

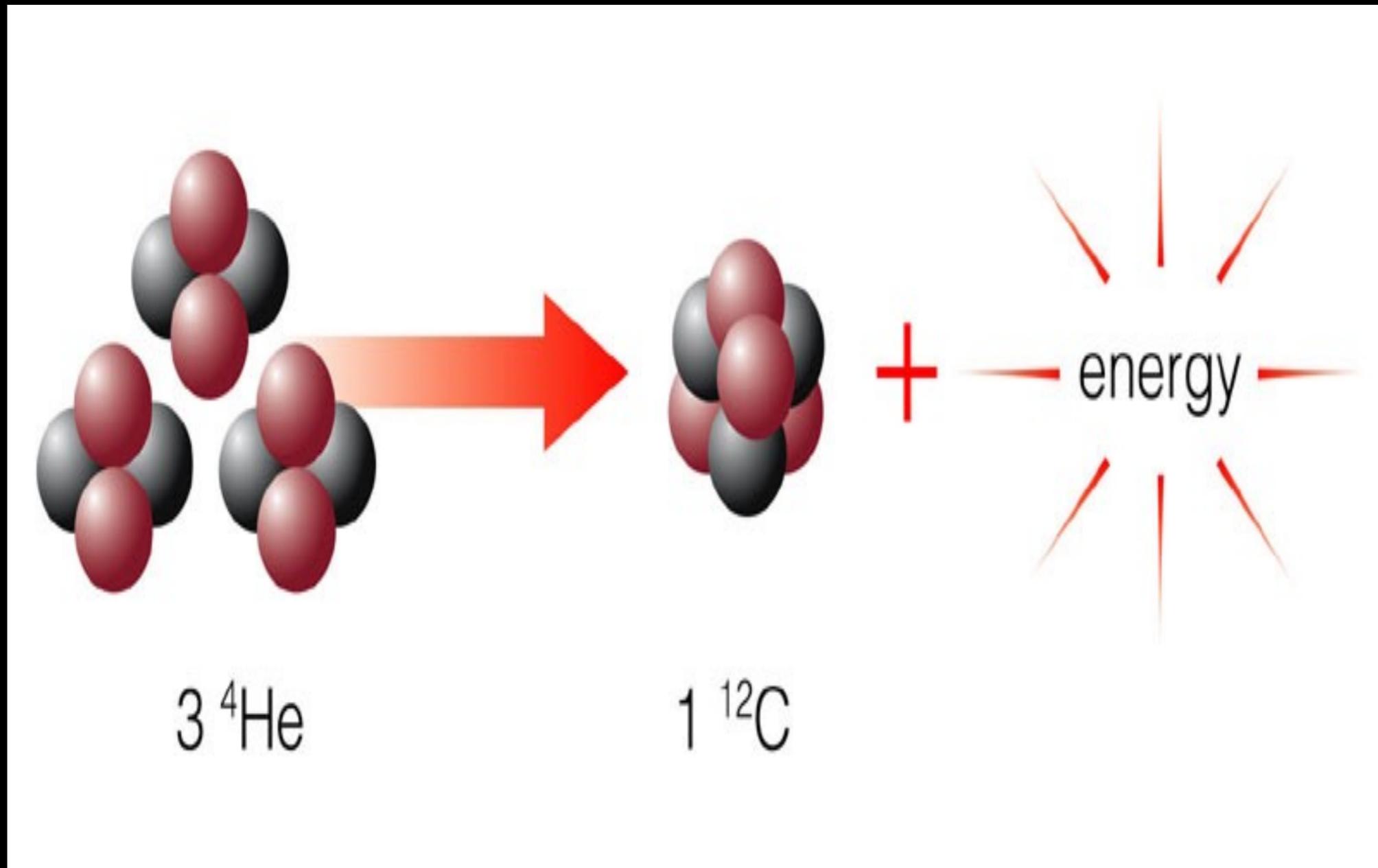
Questa catena si ferma con la formazione degli elementi del picco del Ferro

Gli elementi piu' pesanti del Fe vengono formati per **cattura di neutroni** sui nuclei di Fe

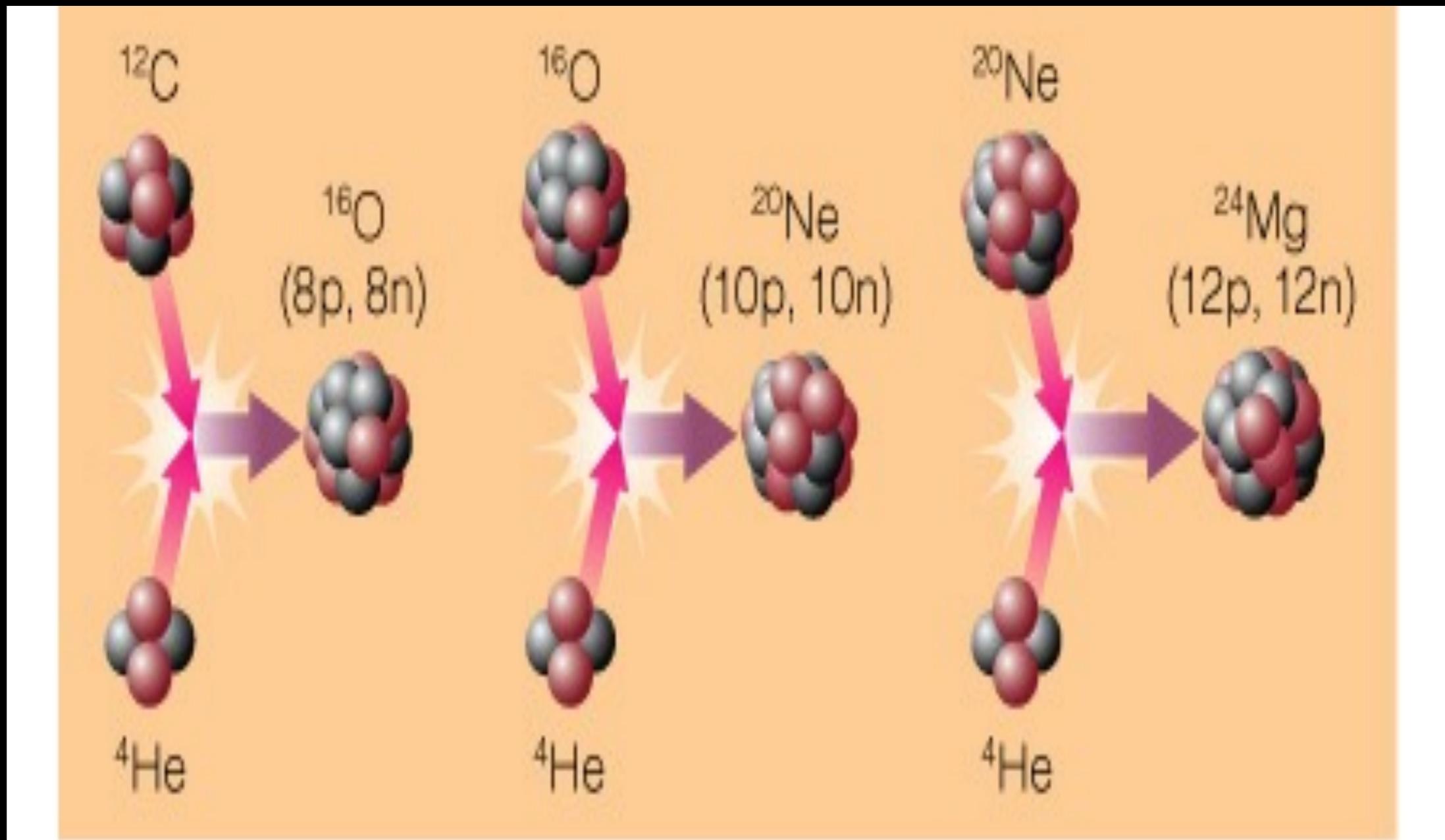
# LA FUSIONE DELL'IDROGENO (IL CICLO PROTONE-PROTONE)



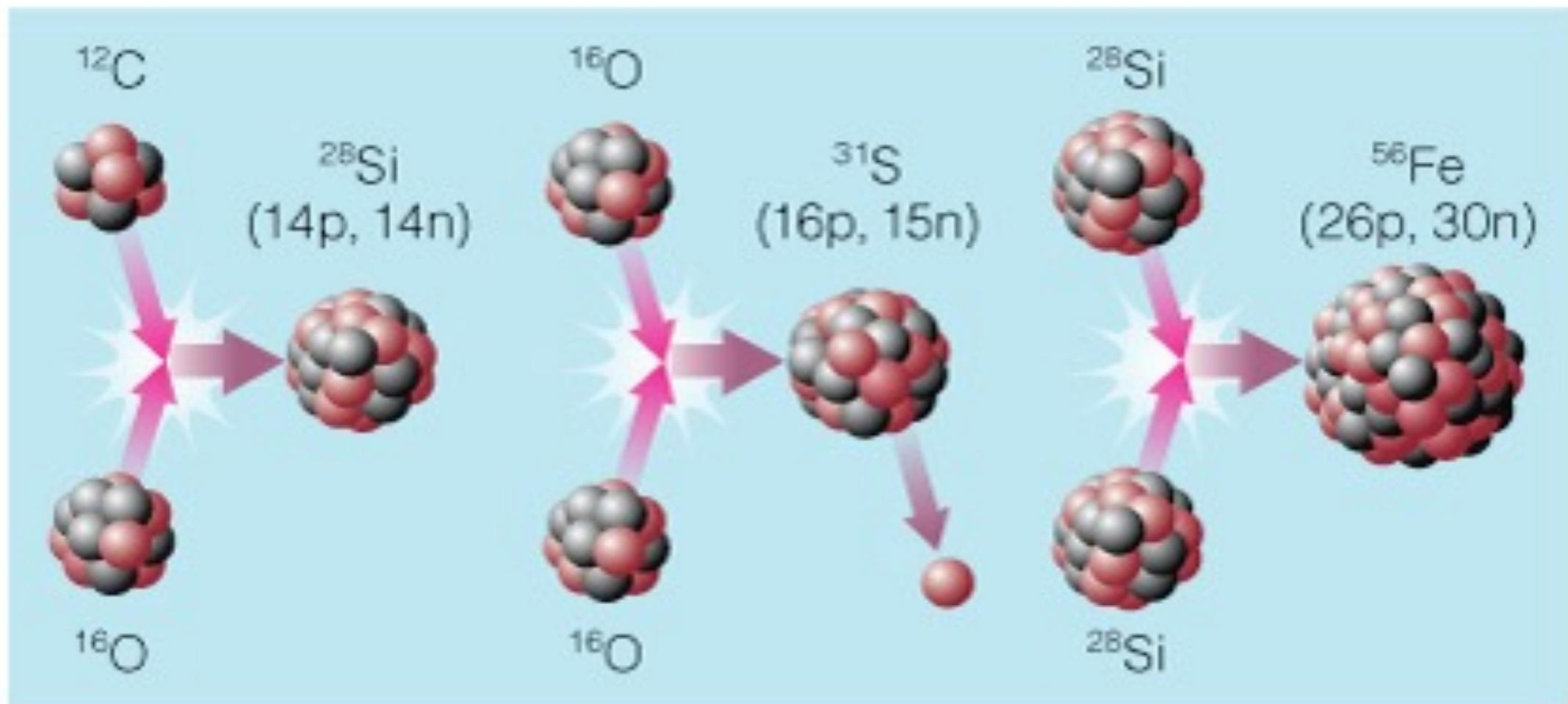
# LE STELLE PRODUCONO GLI ELEMENTI PIU' PESANTI DELL'HE



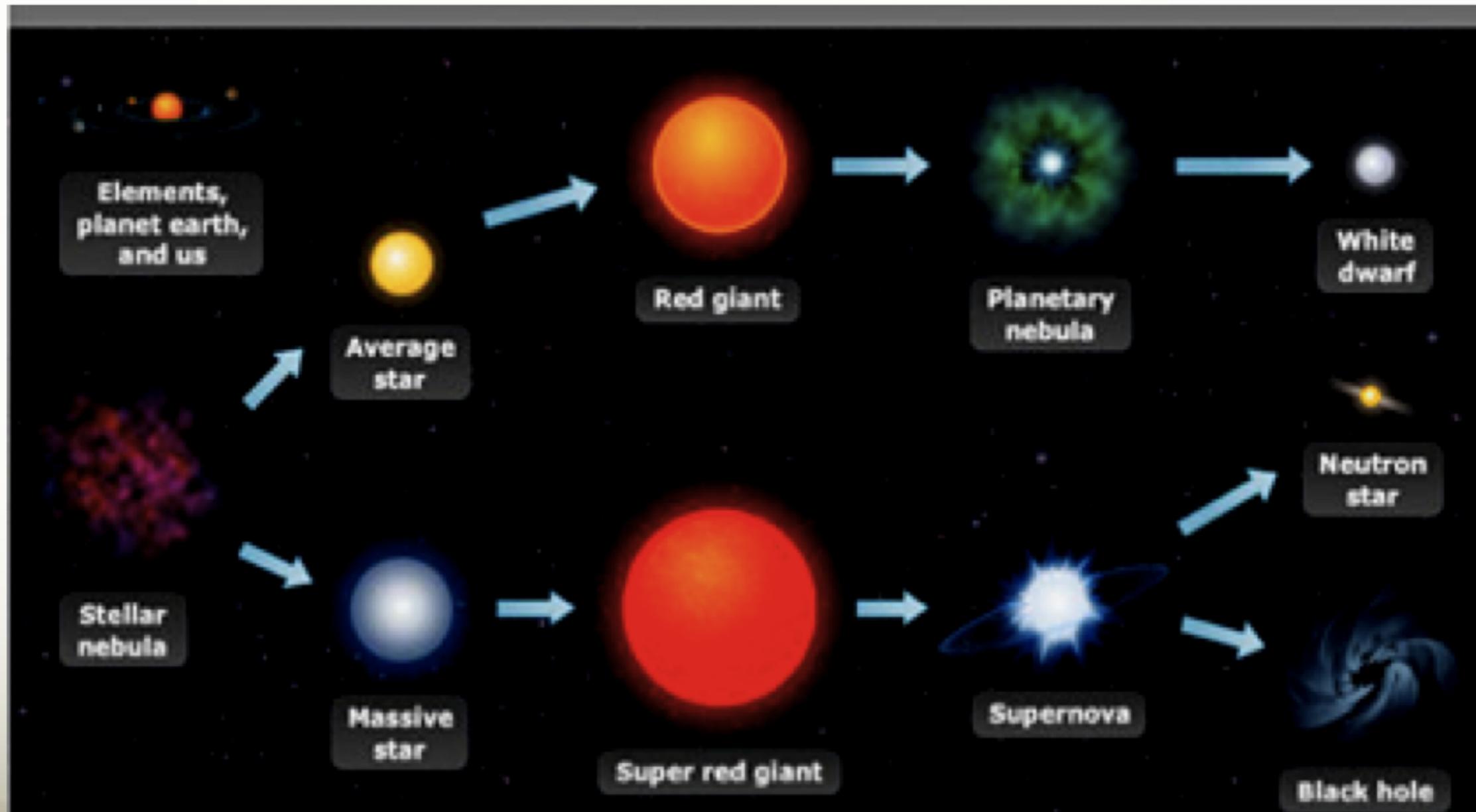
# FORMAZIONE DEGLI ELEMENTI ALFA



# ELEMENTI FINO AL FERRO



# Evoluzione stellare



# EVOLUZIONE STELLARE

Le stelle come il Sole e fino a circa 8 volte la massa del Sole producono elio, carbonio e azoto. Muoiono come **nane bianche** passando per la fase di **nebulosa planetaria**

Le nane bianche sono oggetti molto densi (una zolletta di zucchero che pesi come un camion)

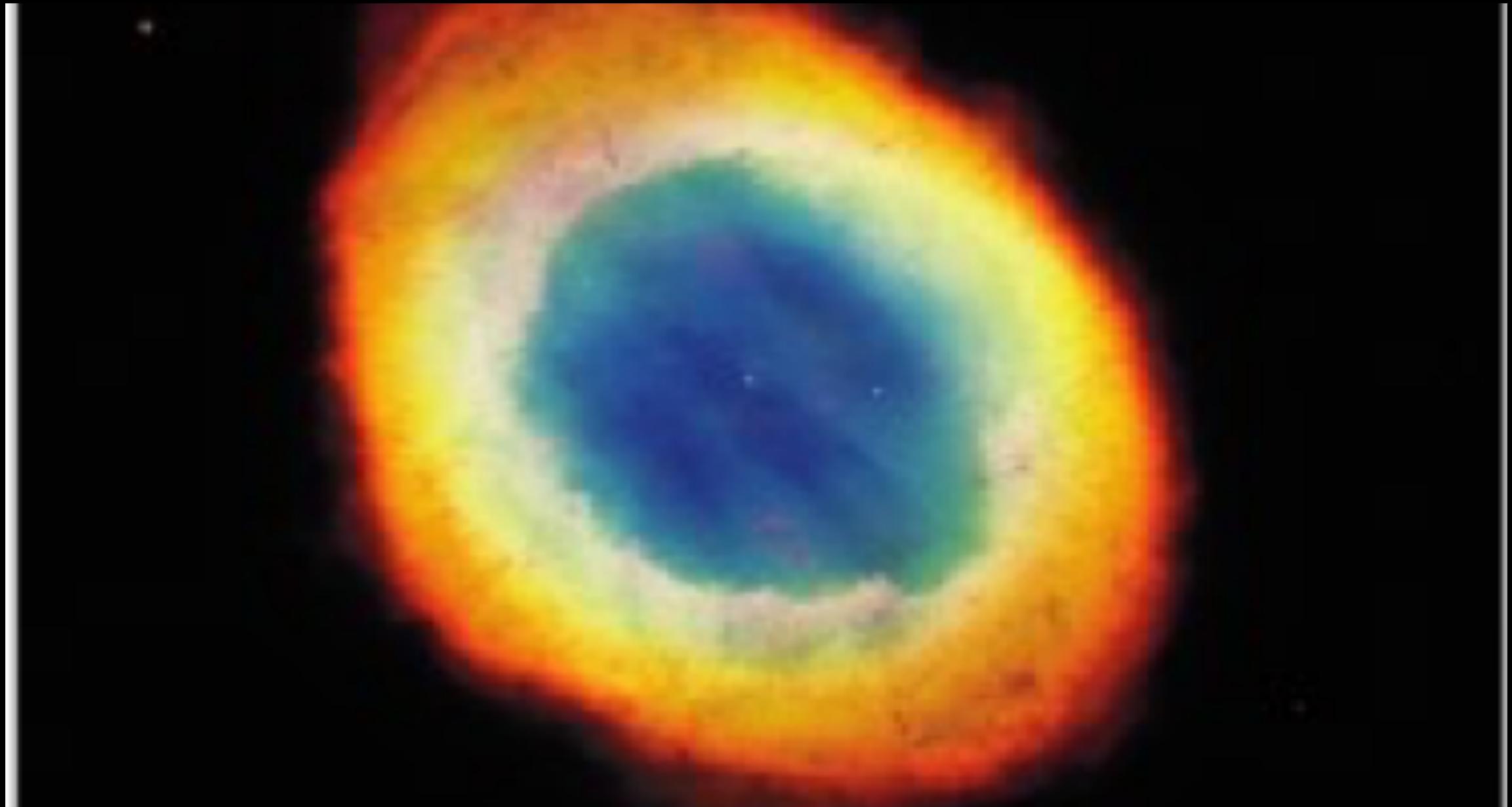
Le stelle massicce (da 10 a 100 volte la massa del Sole) producono gli elementi alfa (O, Ne, Mg, Si, S, Ca...) e poco Fe e muoiono come **Supernovae core-collapse**

Nane bianche in sistemi binari esplodono come **Supernovae di tipo Ia** e producono la maggior parte del Fe

# NEBULOSE PLANETARIE



# NEBULOSE PLANETARIE



# SUPERNOVAE CORE-COLLAPSE (TIPO II, IB, C)

Le **supernovae core-collapse** sono l'esplosione di stelle che nascono con masse maggiori di 8-10Msole

Quando termina l'ultimo bruciamento di fusione nucleare si crea un nucleo di ferro

La fusione si blocca al ferro perché questo elemento ha la massima energia di legame per nucleone

Il nucleo si contrae e per rimbalzo viene espulso il mantello della stella (**esplosione**) producendo elementi pesanti (**alfa e un po' di ferro**)

# SUPERNOVAE DI TIPO II-1987A



# SUPERNOVAE DI TIPO II: CASSIOPEA A



# CRAB NEBULA: PULSAR ALL'INTERNO SUPERNOVA II



# STELLE DI NEUTRONI E BUCI NERI

Dopo un'esplosione di SN core-collapse al centro rimane un oggetto collassato che può essere una **stella di neutroni** o un **buco nero**

La stella di neutroni è densa come una goccia di pioggia che contenga tutta la popolazione del mondo. Le pulsars sono stelle di neutroni

Il buco nero è un oggetto la cui gravità è così forte da non lasciare uscire i fotoni

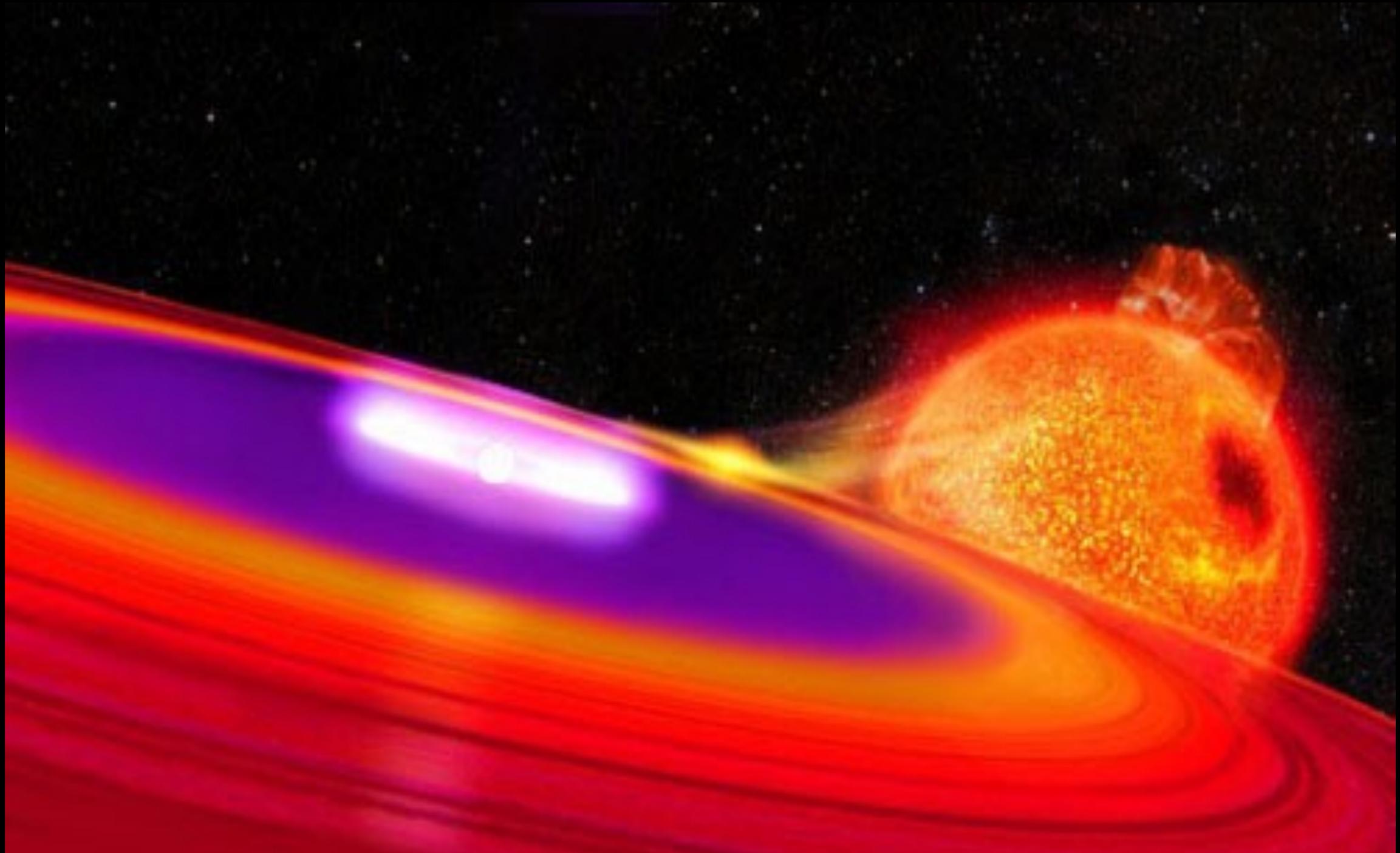
# SUPERNOVAE IA

Le supernovae Ia derivano dall'esplosione di una **nana bianca in un sistema binario**

Quando la stella compagna trasferisce materia sulla nana bianca essa esplode per accensione del carbonio o dell'elio, ovvero due nane bianche che si fondono ed esplodono allo stesso modo

La stella si distrugge completamente e produce circa  **$0.6 M_{\text{Sole}}$  di Ferro**

# SUPERNOVA IA PRIMA DI ESPLODERE



# SUPERNOVAE IA- SN 1988BU



# EVOLUZIONE CHIMICA ED ARCHEOLOGIA GALATTICA

Gli elementi pesanti prodotti dalle stelle e restituiti al gas dalle **supernovae** (tipo I e II) vengono in seguito inglobati in nuove stelle

La concentrazione del carbonio, ossigeno e ferro è aumentata di **1000 volte** negli ultimi 12 miliardi di anni

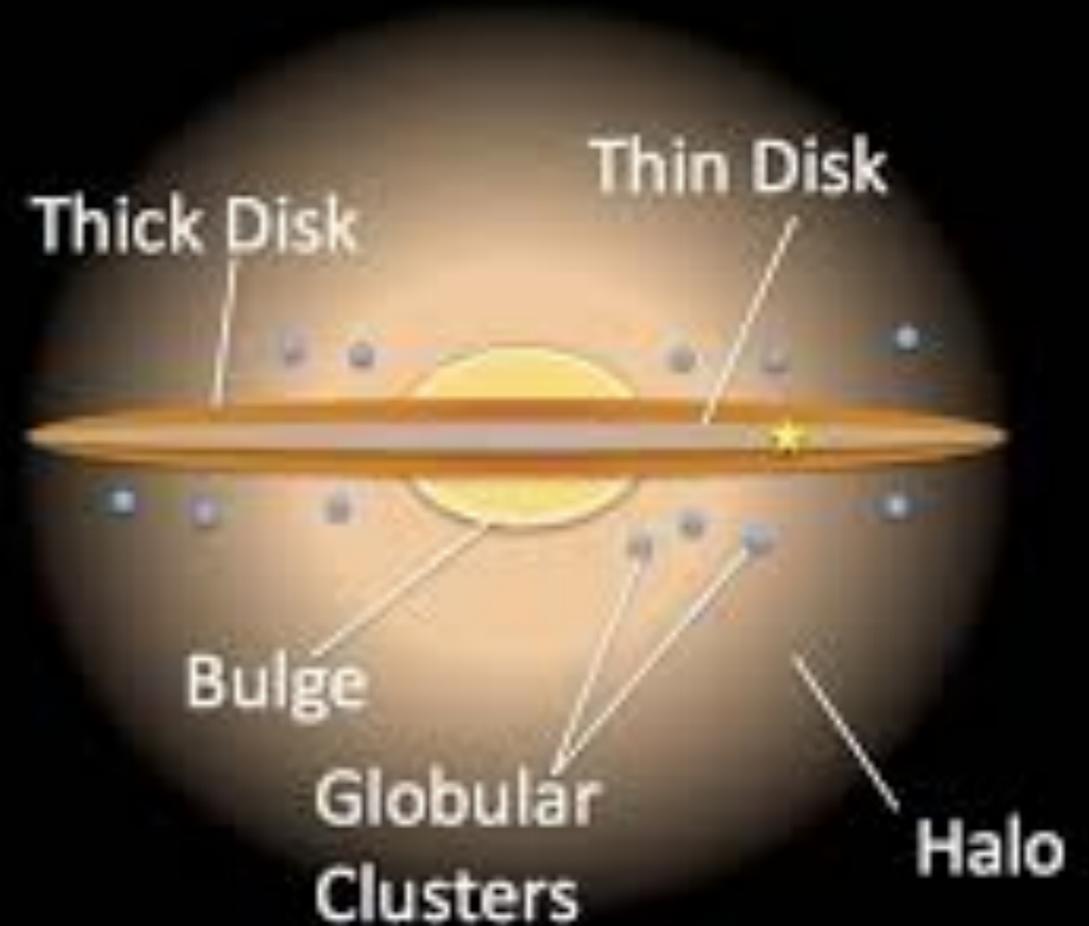
Questo processo è noto col nome di evoluzione chimica ed ha portato la percentuale di metalli nell'universo al **2%** ( $Z=0.02$ ). **In questa percentuale ci siamo noi....**

# LA NOSTRA GALASSIA



# LE POPOLAZIONI STELLARI NELLA GALASSIA

- La nostra Galassia ospita quattro maggiori popolazioni stellari: la popolazione di **alone**, la popolazione del **nucleo (bulge)**, la popolazione del **disco spesso** e la popolazione del **disco sottile**



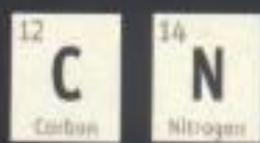
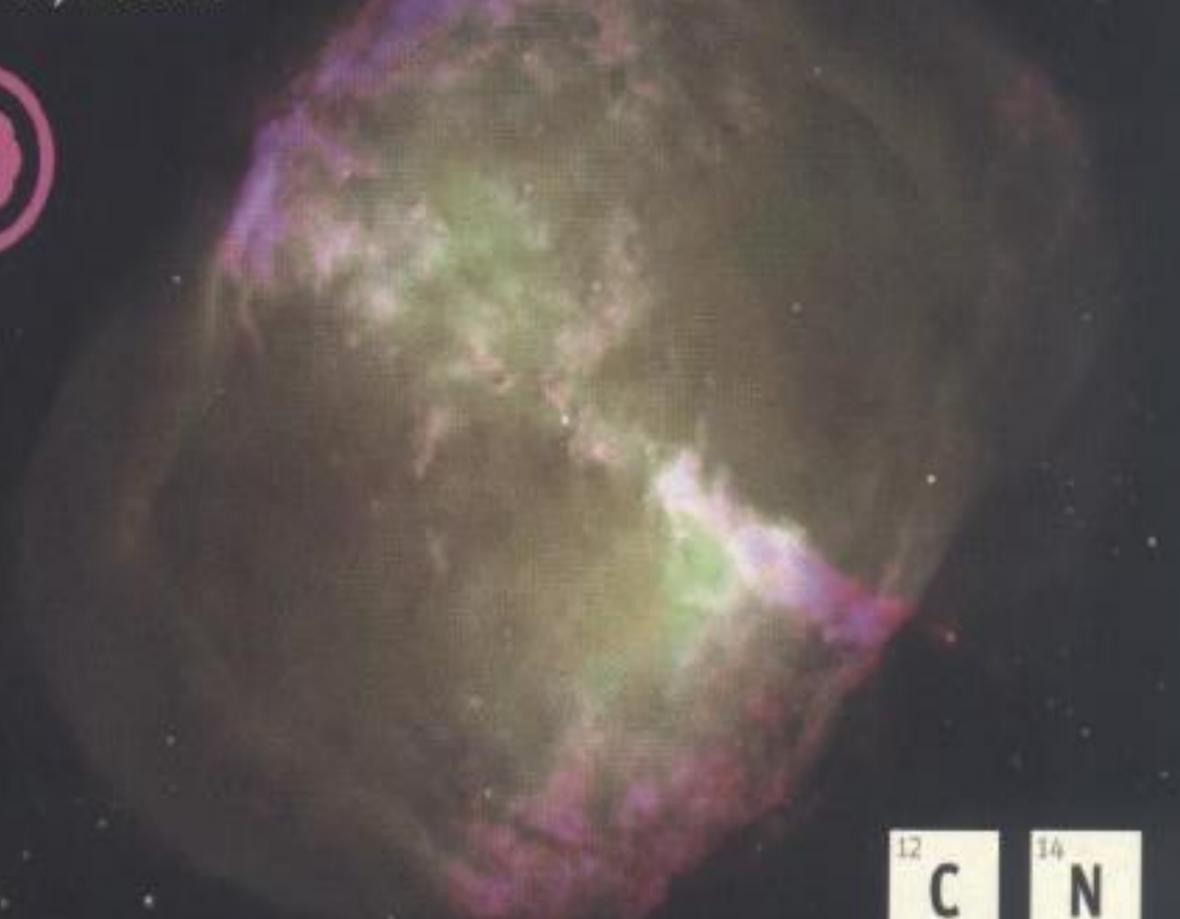
# L'ORIGINE ED EVOLUZIONE DEGLI ELEMENTI

Consideriamo il carbonio (C), l'azoto (N) e l'ossigeno (O). Sono gli elementi più abbondanti dopo H e He e biogenetici

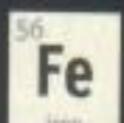
C ed N sono prodotti principalmente da stelle di massa tra 2 e 8 masse solari su tempi scala  $> 250$  milioni di anni

O insieme a Mg e altri elementi alfa e' prodotto principalmente da stelle massive ( $M > 10 M_{\text{sole}}$  su tempi scala di milioni di anni)

Il Fe e' prodotto soprattutto dalle SNe Ia su tempi scala dei miliardi di anni

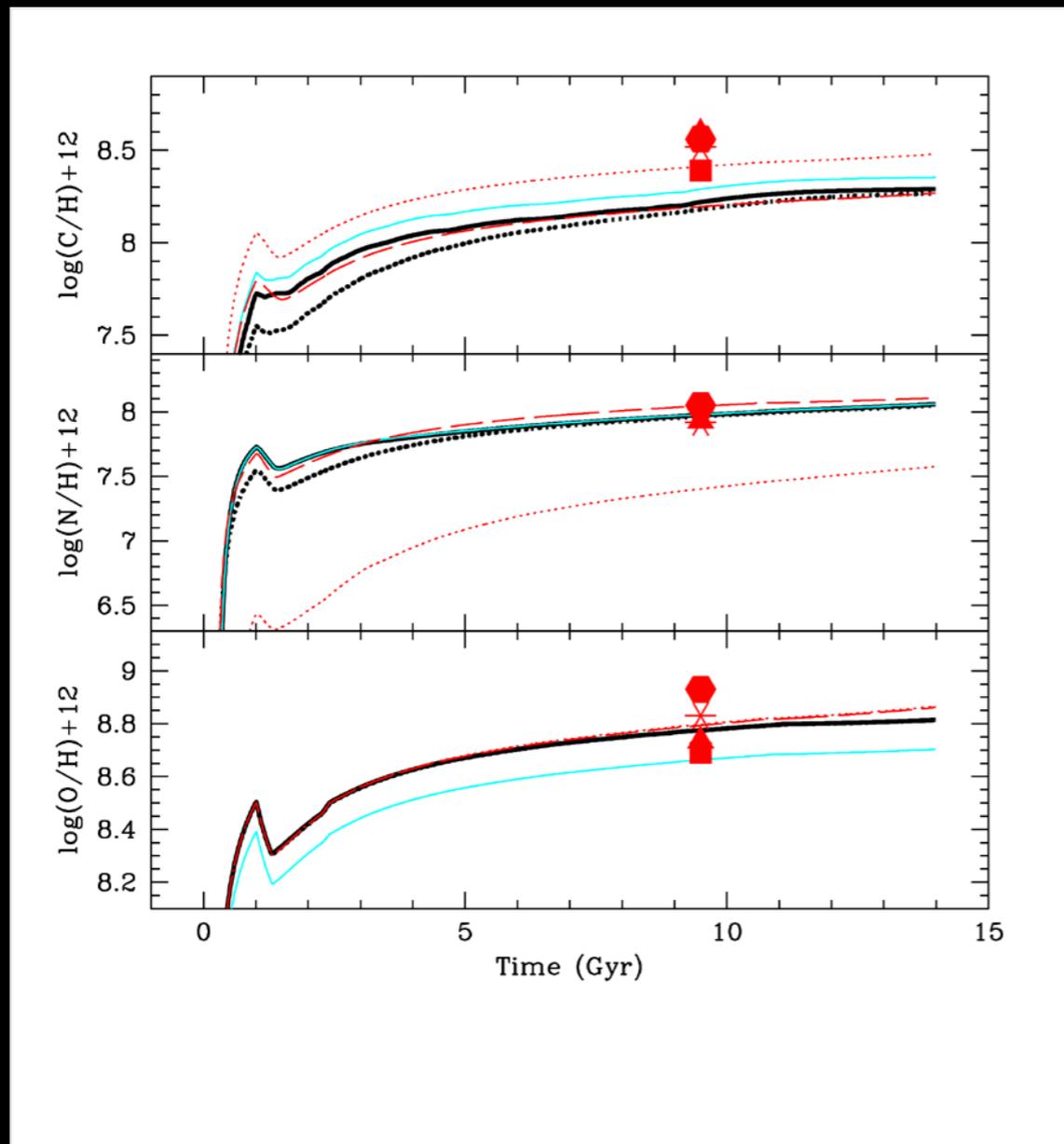


Type Ia Supernova (artist's concept)



Stars inject chemical elements into the interstellar medium when they die. *Above, left:* Stars packing 10 solar masses or more die abruptly as core-collapse supernovae, ejecting copious quantities of oxygen, magnesium, silicon, and sulfur — all elements built up from successively fusing alpha particles, or helium nuclei. *Above, right:* Relatively lightweight stars (those with 0.8 to 10 solar masses) eject their envelopes gently, forming planetary nebulae and seeding space with carbon and nitrogen. *Left:* White dwarfs in certain very tight binary star systems can explode as Type Ia supernovae —

# EVOLUZIONE DI C, N, O DURANTE LA VITA DELLA GALASSIA



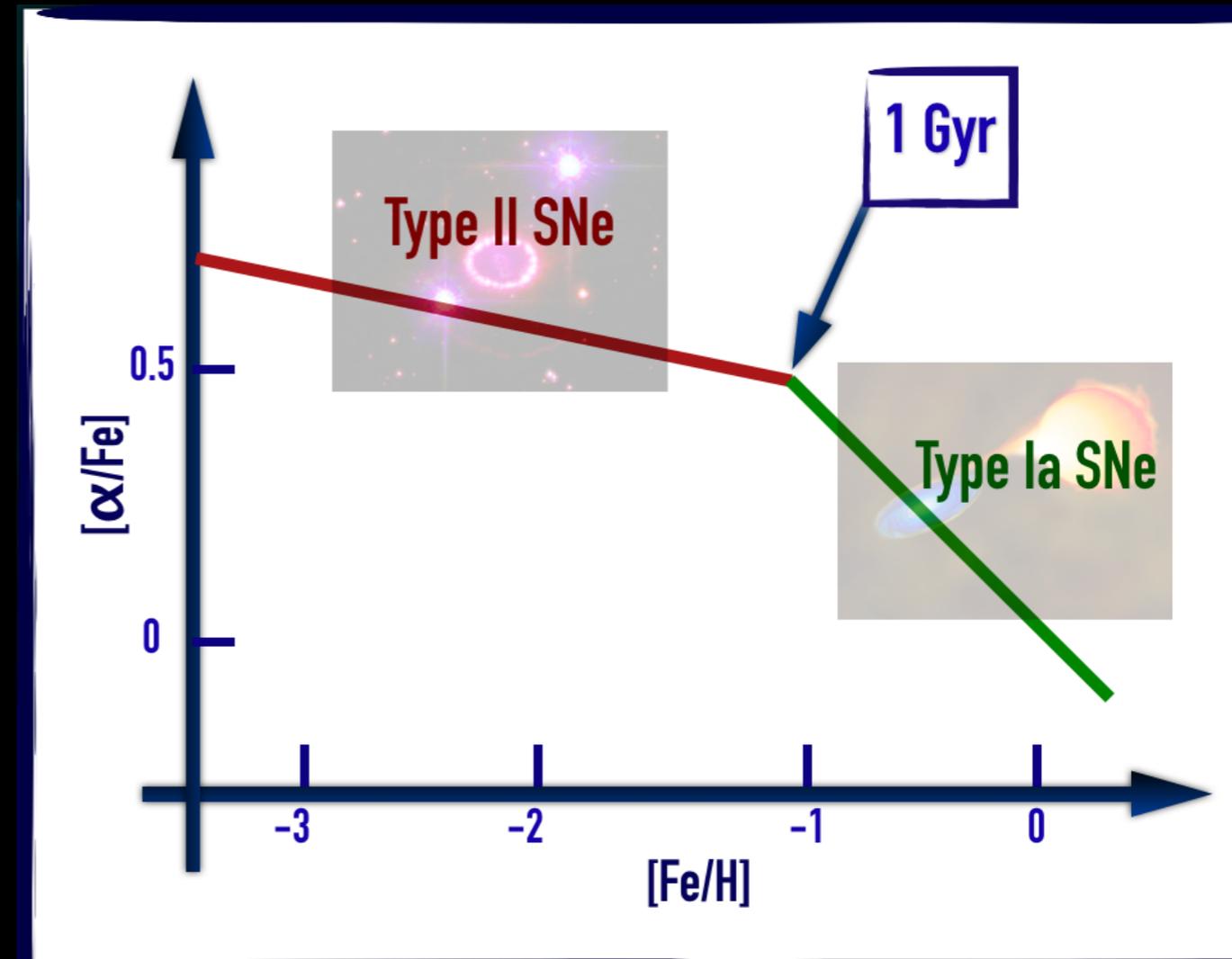
L'evoluzione delle abbondanze degli elementi : **carbonio** , **azoto** e **ossigeno**, che sono i piu' abbondanti dopo l'idrogeno e l'elio, come calcolate da un modello dei dintorni solari. I valori solari sono indicati in rosso

# ABBONDANZE CHIMICHE COME OROLOGI COSMICI

L'asse delle x è anche un asse temporale e ci consente di stimare il tempo scala di formazione dell'alone galattico dove le stelle hanno  $[Fe/H] < -1.0$

Il tempo stimato è di 1 Gyr

Dal confronto coi dati riusciamo a risalire alla storia di formazione stellare e ai tempi scala di formazione delle diverse componenti galattiche



# I TELESCOPI MODERNI

Il **Very Large Telescope (VLT)** e' europeo e si trova a Paranal nel deserto cileno di Atacama.

E' costituito da 4 telescopi da 8 metri di diametro

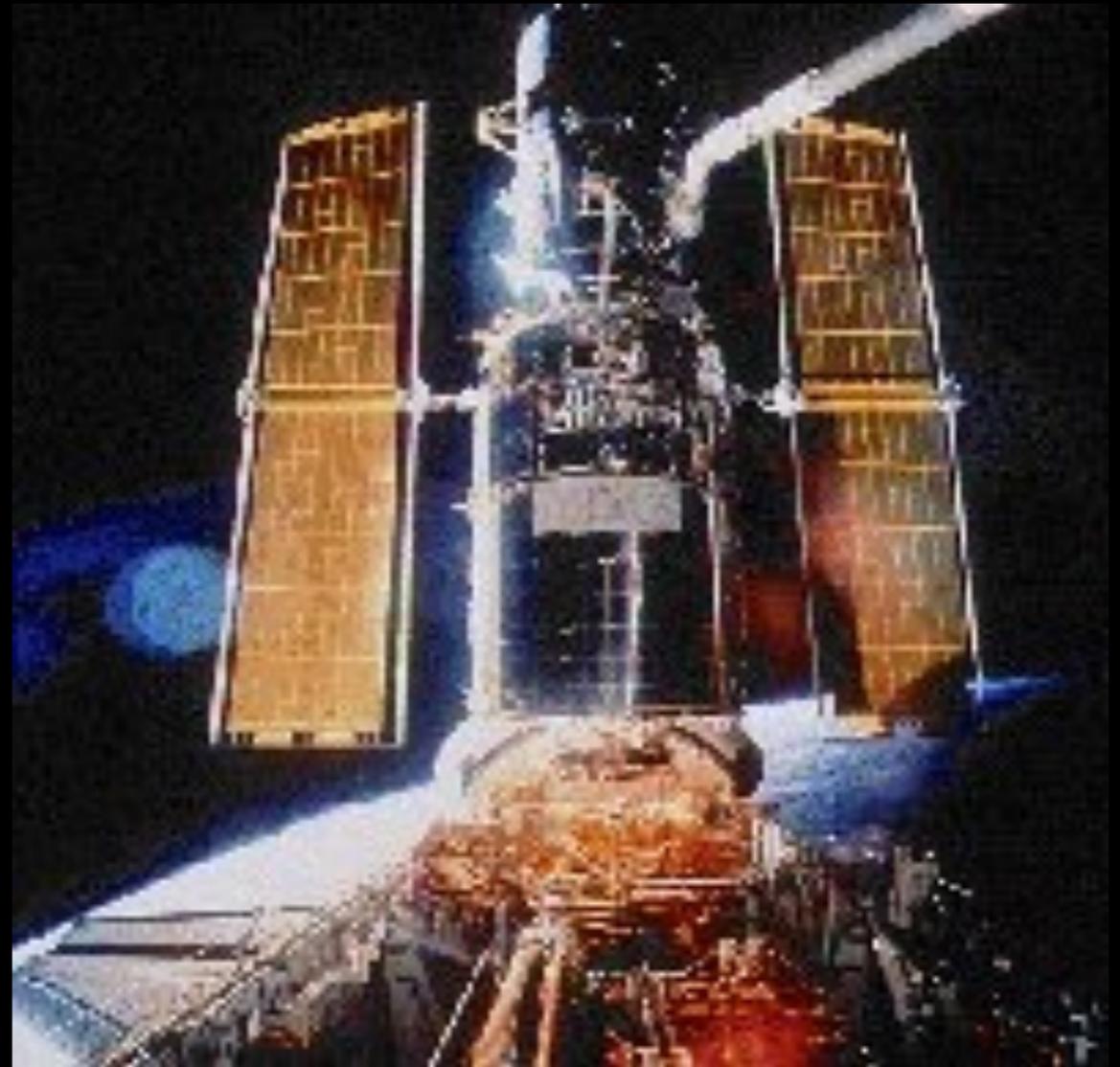


# I TELESCOPI MODERNI

## Hubble Space Telescope (HST)

Dal 1990 orbita al di fuori dell'atmosfera terrestre

Ha contribuito alle piu' importanti scoperte degli ultimi 20 anni inclusi i pianeti extrasolari e i buchi neri al centro delle galassie

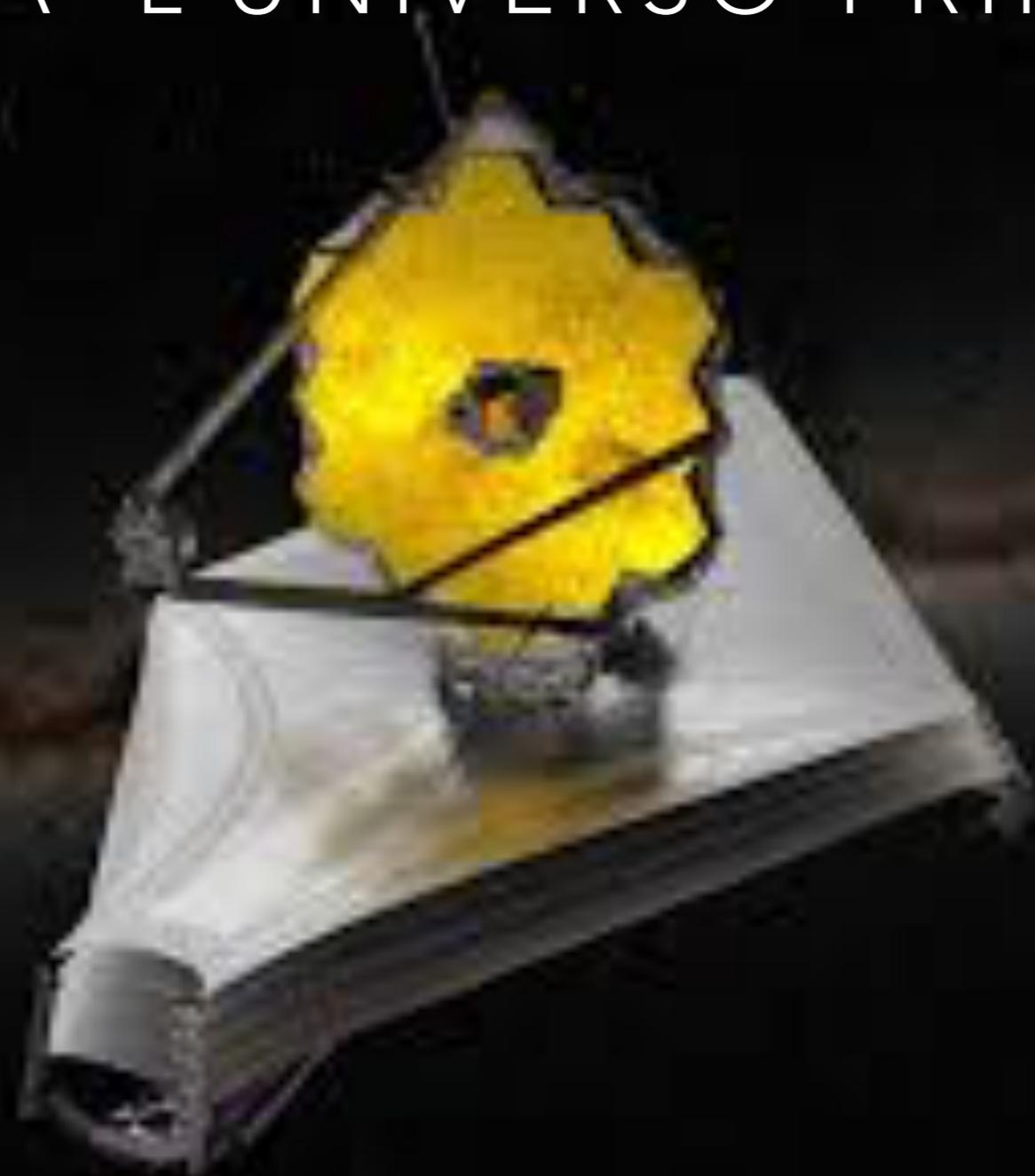


GAIA E GAIA-ESO SURVEY (RANDICH & GILMORE). OSSERVA 2 MILIARDI DI STELLE



TELESCOPI MODERNI

JAMES WEB SPACE TELESCOPE :  
LANCIATO IL 25 DICEMBRE 2021  
OSSERVERA' L'UNIVERSO PRIMORDIALE



I MASTODONTI DEL FUTURO: ELT SPECCHIO DA 39 METRI DI DIAMETRO ATTESO NEL 2024 SARA' IL PIU' GRANDE TELESCOPIO DEL MONDO

