COSMOLOGIA

TERRA

Terra, mosaico di numerose osservazioni satellitari.
Credits: MODIS/satellite Terra, NASA

NOME
Terra

TIPOLOGIA
Pianeta roccioso

SIMBOLO ASTRONOMICO
⊕

POSIZIONE
Terzo pianeta del sistema solare a partire dal Sole, situato tra Venere e Marte

RAGGIO
6357 - 6378 km

MASSA
6×10^{24} kg

DISTANZA DAL SOLE
minima 147×10^{6} km
massima 152×10^{6} km
media 149.6×10^{6} km = 1 AU

TEMPERATURA
minima – 88 °C
massima 58 °C
media 15 °C

PERIODO DI ROTAZIONE
23 ore 56 minuti

PERIODO DI RIVOLUZIONE
365 giorni 6 ore

COMPOSIZIONE ATMOSFERA

COMPOSIZIONE CROSTA TERRESTRE

Esistono eventi globali avvenuti identicamente in tutto l'universo e che delineano la storia cosmica su cui poggia anche l'esistenza del pianeta Terra.

COSMOLOGIA

STORIA COSMICA

BIG BANG E INFLAZIONE

L'Universo inizia in uno stato di temperatura e densità altissime e immediatamente si espande esponenzialmente.

TEMPO

$0\text{-}10^{-35}$ sec dopo il Big Bang

RAGGIO FINALE

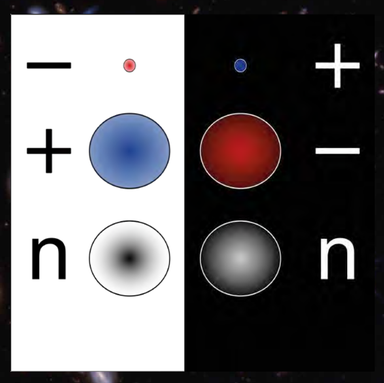
10^{-24} R_0

COMPOSIZIONE

quark, elettroni, neutrini, anti-quark, anti-elettroni, anti-neutrini, fotoni

ASIMMETRIA FRA MATERIA E ANTIMATERIA

La densità dell'universo è talmente alta che avvengono frequentemente urti fra particelle di materia e antimateria, in cui la massa si converte in luce (fotoni). Nonostante queste collisioni, un miliardesimo di materia rimane in eccesso. Ad oggi non è ancora chiaro il perché di questa asimmetria, grazie alla quale proviene la materia da cui si genereranno poi le stelle e le galassie.



Schema particella e antiparticella.
Credits: Wikipedia

TEMPO

10^{-12} -10^{-6} sec dopo il Big Bang

RAGGIO FINALE

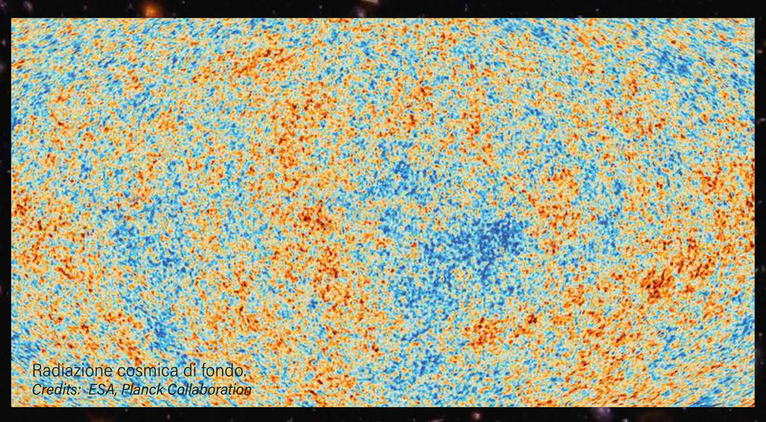
10^{-16} R_0

COMPOSIZIONE

quark, elettroni, neutrini, fotoni

FORMAZIONE DEI PRIMI ELEMENTI

I quark si organizzano in triplette formando protoni e neutroni. Si formano i nuclei dei primi elementi: Idrogeno, Elio e Litio. Per 380 mila anni l'universo è come avvolto da una nebbia di particelle in cui la luce rimane intrappolata. Con l'espansione e il raffreddamento dell'universo, la nebbia si dirada e si propaga la prima luce, chiamata radiazione cosmica di fondo.



Radiazione cosmica di fondo.
Credits: ESA, Planck Collaboration

TEMPO

3 min - 380 000 anni dopo il Big-Bang

RAGGIO FINALE

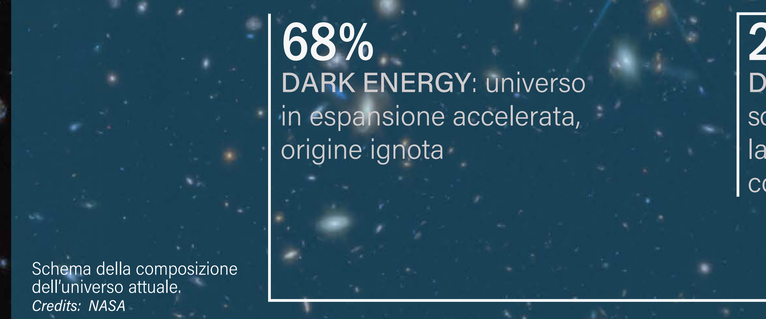
1/1000 R_0

COMPOSIZIONE

idrogeno, elio, litio, fotoni

FORMAZIONE DELLE PRIME STELLE

Dopo l'emissione della radiazione cosmica, l'universo è caratterizzato da un buio totale. Occorre del tempo perché l'idrogeno primordiale si condensi facendo accendere le prime stelle.



Regione di formazione stellare nella Grande Nube di Magellano, osservata dal Very Large Telescope.
Credits: ESO

TEMPO

100-200 mln di anni dopo il Big Bang

RAGGIO FINALE

1/10 R_0

COMPOSIZIONE

stelle, gas, fotoni

FORMAZIONE DELLE PRIME GALASSIE

Dopo un miliardo di anni dal Big Bang, le prime stelle si organizzano per effetto della forza di gravità costituendo le prime galassie.

Galassie lontane osservate dal James Webb Space Telescope, risalgono a quando l'universo aveva un'età di 900 milioni di anni.
Credits: NASA, ESA, CSA

TEMPO

400 mln - 1 mld di anni dopo il Big Bang

RAGGIO FINALE

1/5 R_0

COMPOSIZIONE

galassie, gas, fotoni

COMPOSIZIONE UNIVERSO ATTUALE

68%
DARK ENERGY: universo in espansione accelerata, origine ignota

27%
DARK MATTER: interagisce solo gravitazionalmente con la materia ordinaria, composizione ignota

5%
VISIBLE MATTER: Gas o elementi contenuti nelle stelle e nelle galassie

Schema della composizione dell'universo attuale.
Credits: NASA

BIG BANG | STELLE DI PICCOLA MASSA | ESPLOSIONE STELLE MASSICCE | ESPLOSIONE NANE BIANCHE | FUSIONE STELLE DI NEUTRONI | RAGGI COSMICI

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo		44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi			
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd		62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
				90 Th		92 U		94 Pu	Altri elementi sintetizzati artificialmente								

2

COSMOLOGIA

TAVOLA PERIODICA

Origine degli elementi chimici presenti nel Sistema Solare.

Il 6 marzo 1869 il chimico russo Dmitrij Mendeleev presentò ai colleghi la tavola periodica degli elementi: la sessantina di elementi conosciuti all'epoca erano disposti in ordine secondo il peso atomico, permettendo di prevedere le caratteristiche degli elementi chimici ancora da scoprire, come fu poi verificato in breve tempo.
Attualmente, la tavola contiene 118 elementi noti, gli ultimi quattro dei quali –tutti prodotti in laboratorio– sono stati inseriti nel novembre 2016.

Jennifer Johnson dell'Ohio State University ha sviluppato una nuova versione astrofisica della tavola, identificando l'origine cosmica degli elementi.

«*Una delle cose che trovo più interessanti è vedere come siano necessari diversi processi affinché le stelle producano tutti gli elementi chimici, ed è interessante notare come questi processi siano distribuiti lungo la tavola periodica. Quando pensiamo a tutti gli elementi presenti nell'universo, è stimolante pensare a quante stelle li hanno forgiati. […] A ben pensarci, ci vuole una discreta varietà di stelle per avere tutti gli elementi chimici*».

Jennifer Johnson

Nebulosa planetaria Occhio di gatto.
Credits: NASA, Hubble Space Telescope

Nebulosa planetaria

Attraverso una lenta cattura neutronica ("processo s"), vengono prodotti elementi più pesanti.

1000 anni

4

COSMOLOGIA

FUCINA DI ELEMENTI

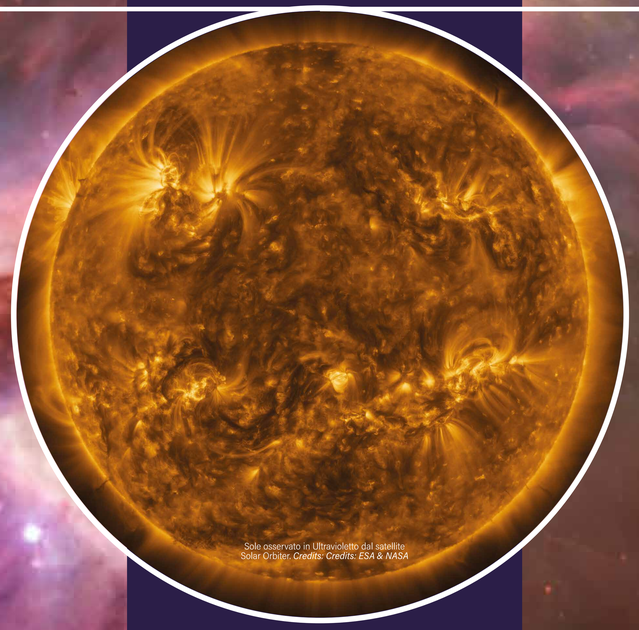
Processi responsabili della nucleosintesi degli elementi evidenziati all'interno del ciclo di vita stellare.

NUBE MOLECOLARE

Una regione densa della nube di gas e polvere per gravità inizia a contrarsi e riscaldarsi fino a diventare una protostella.

Nebulosa di Orione.
Credits: NASA, ESA, Hubble Space Telescope

STELLE



Sole osservato in Ultravioletto dal satellite Solar Orbiter. *Credits: Credits: ESA & NASA*

SUPERNOVA di tipo II

Superata la massa di 1.4 $M_\odot$, il nucleo implode. Il collasso comprime una parte della stella, "sbriciolando" i nuclei di ferro nei loro costituenti elementari, fino a formare neutroni. La stella esplode formando una grande varietà di nuovi elementi e lasciando come residuo una stella di neutroni o un buco nero.

secondi

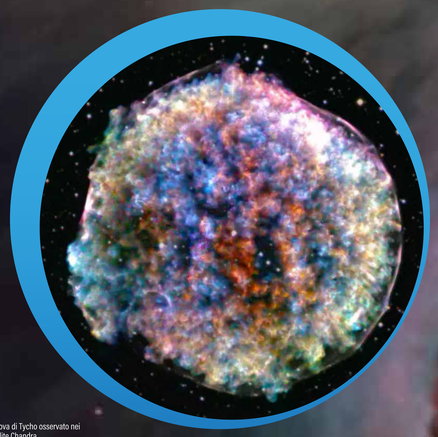
Resto di supernova Nebulosa del Granchio, fotografato in infrarosso dal telescopio James Webb.
Credits: NASA, ESA, CSA, STScI, Tea Temim (Princeton University)

$0.5\ M_\odot < M < 8\ M_\odot$

STELLE di piccola massa

Una volta esaurito l'elio nel nucleo, il nucleo della stella non è più in grado di produrre energia e si contrae. Successivamente gli strati esterni della stella vengono espulsi come nebulosa planetaria lasciando come residuo un nucleo inerte: una nana bianca, che si raffredda per miliardi di anni.

Nana bianca



Sirio A e B osservato dal satellite Hubble.
Credits: NASA, ESA, H. Bond (STScI), and M. Barstow (University of Leicester)

Resto di Supernova di Tycho osservato nei raggi X dal satellite Chandra.
Credits: NASA, Chandra, DSS, Sato et al. (2019)

Sistema binario: se almeno una stella è una nana bianca

SUPENOVA di tipo Ia

Una nana bianca può accrescere materiale strappandolo dalla stella compagna.
Quando supera il limite di massa di 1.4 $M_\odot$, la pressione e la gravità della stella non sono più in equilibrio e ciò scatena una reazione nucleare esplosiva che crea elementi più pesanti.

secondi

Nel cuore della stella si accende la reazione di fusione nucleare dove 4 nuclei di idrogeno si uniscono a formare un nucleo di elio, producendo energia. La stella spende il 90% della sua vita in questa fase.

$1M_\odot$ — 10 miliardi di anni

$10M_\odot$ — 7 milioni di anni

Esaurito l'idrogeno disponiblile nel nucleo, la temperatura e la pressione aumentano al centro della stella: nel nucleo si innesca la reazione di fusione dell'elio in carbonio e nello strato superiore riprende la fusione dell'idrogeno in elio.

$1M_\odot$ — 1 miliardo di anni

$10M_\odot$ — 100 mila anni

$M > 8\ M_\odot$

STELLE massicce

Nel tempo sviluppano una struttura a cipolla, nella quale ogni strato "brucia" gli elementi via via più pesanti andando verso l'interno, fino al ferro.

600 anni

6 mesi

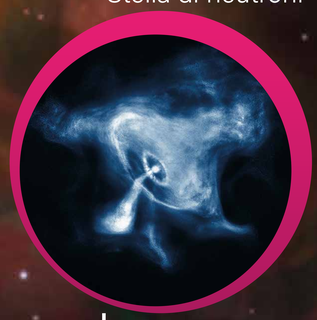
1 giorno

secondi

Buco Nero

Simulazione della visualizzazione di un buco nero.
Credits: NASA's Goddard Space Flight Center/Jeremy Schnittman

Stella di neutroni



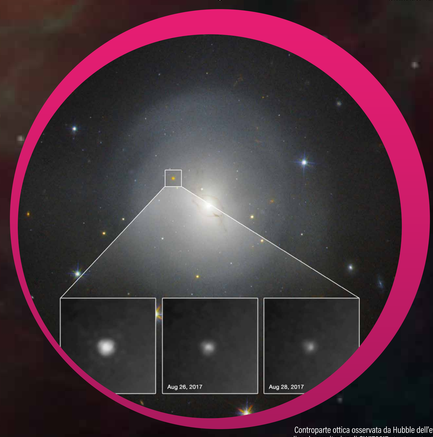
Crab Nebula osservata nei raggi X dal telescopio Chandra. Al centro di questo resto di supernova è presente una giovane stella di neutroni.
Credits: NASA/CXC/SAO

Sistema binario: se entrambe sono stelle di neutroni

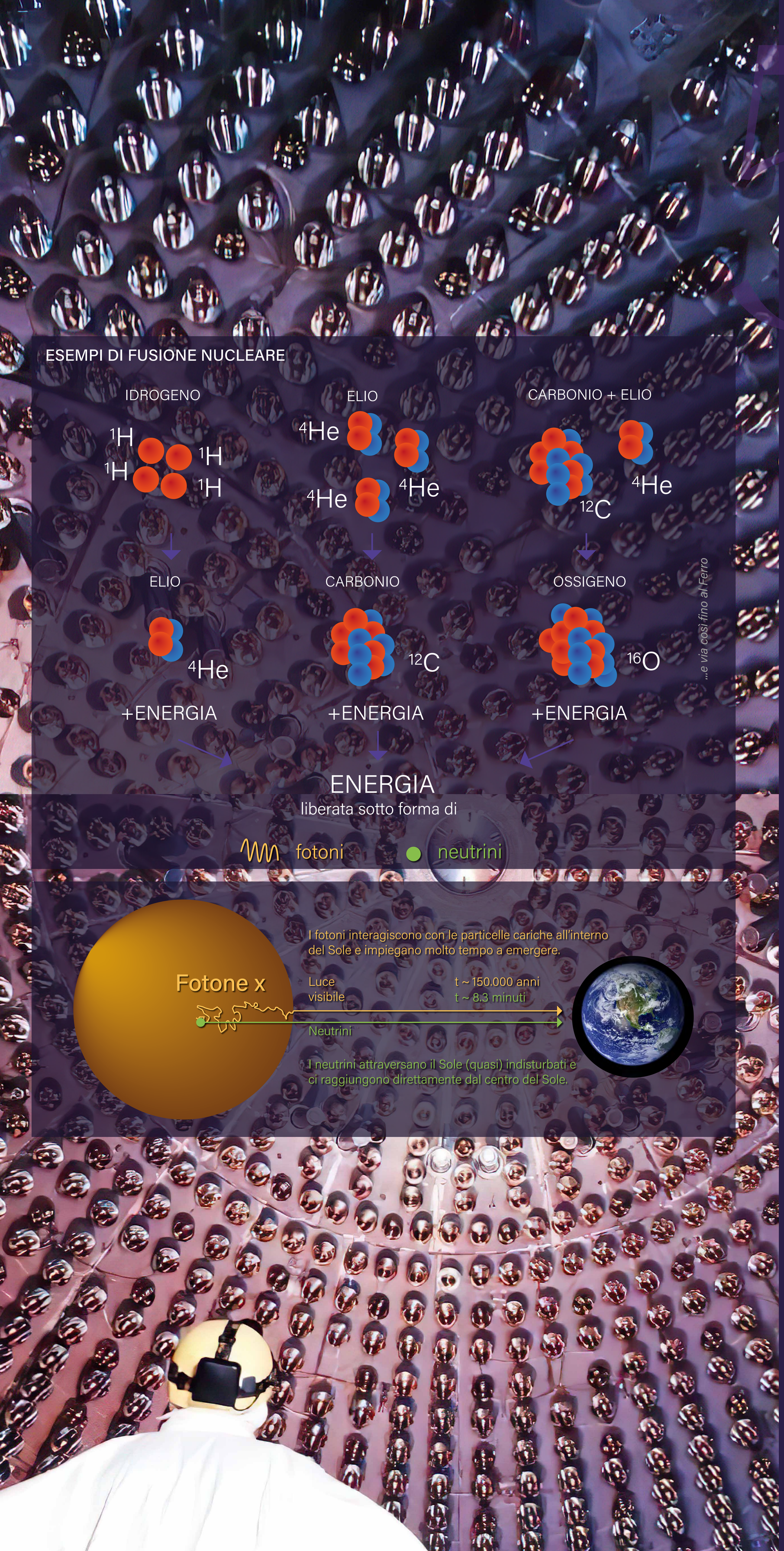
Fusione di stelle di neutroni

Le due stelle di neutroni perdono energia sotto forma di onde gravitazionali e si avvicinano inesorabilmente una all'altra fino a scontrarsi. Fondendosi, generano un flusso di neutroni che vengono rapidamente catturati dai nuclei presenti, formando nuovi elementi ("processo r"). Questo processo permette la nucleosintesi di circa la metà degli elementi più pesanti del ferro.

secondi



Controparte ottica osservata da Hubble dell'evento di onde gravitazionali GW170817. *Credits: NASA, ESA, A.J. Levan (University of Warwick), N.R. Tanvir (University of Leicester), A. Fruchter & G. Fox (STScI)*



COSMOLOGIA

NASCITA DEGLI ELEMENTI VITALI

Nelle regioni centrali delle stelle le condizioni estreme di temperatura e densità permettono il processo di fusione nucleare. Nuclei atomici di elementi leggeri si uniscono (vengono «fusi» insieme) per formare elementi più pesanti.

In questo processo viene liberata energia sotto forma di **fotoni** (la radiazione che mantiene la luminosità della stella) e di **neutrini.**

La teoria permette di prevedere la quantità e l'energia dei neutrini prodotti dalla fusione nucleare al centro delle stelle.

LA PROVA DIRETTA: NEUTRINI DAL SOLE

Ogni secondo, 60 miliardi di neutrini solari attraversano ogni centimetro quadrato della Terra (e di noi stessi): sono difficili da «prendere»!

I fisici sono riusciti a rilevare i neutrini prodotti nel centro del Sole.

I risultati sono in pieno accordo con le previsioni basate sulle reazioni di fusione nucleare all'interno del Sole.

Oggi abbiamo quindi la prova diretta che gli elementi vitali si producono nel cuore delle stelle.

BOREXINO

Borexino è un rivelatore a scintillatore liquido di grandi dimensioni il cui scopo primario è lo studio delle proprietà di neutrini solari a bassa energia.

Laboratori Nazionali del Gran Sasso, INFN (2007-2021)

-1300 tonnellate di scintillatore,

-2200 fotomoltiplicatori schermati da 1.4km di roccia e da un vasto serbatoio di acqua.