



TERRA!

UN'OASI NELL'UNIVERSO

Il mondo è più delle cose.

È quell'intero, entro il quale compaio io.

E non compaio soltanto
come una qualsiasi altra entità che si presenti,
bensì in modo essenziale.

R. Guardini, Mondo e persona



COSMOLOGIA

La premessa cosmica

Ammasso di Pandora (Abell 2744), fotografato dal James Webb
Telescopio. Credits: NASA, ESA, CSA, Ivo Labbe (Swinburne),
Rachel Bezanson (University of Pittsburgh), Alyssa Pagan (STScI)

Credits: Felix Fharand-Deschene/Globaia, Adam Nieman

COSMOLOGIA

TERRA

NOME
Terra

TIPOLOGIA
Pianeta roccioso

SIMBOLO ASTRONOMIC



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

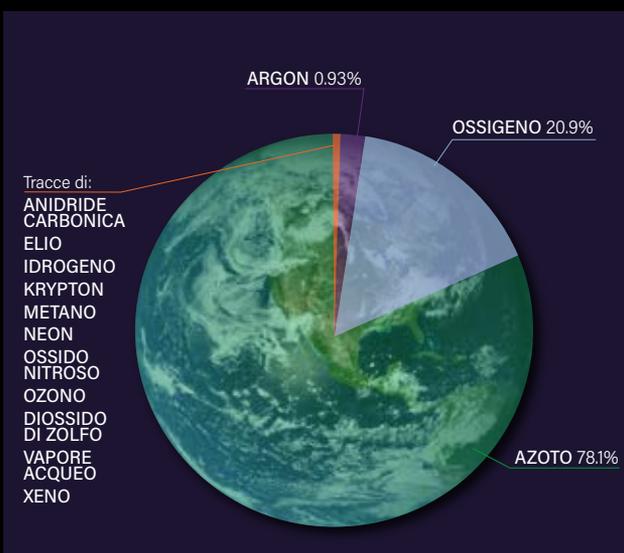
TEMPERATURA
minima -88 °C
massima 58 °C
media 15 °C

PERIODO DI ROTAZIONE
23 ore 56 minuti

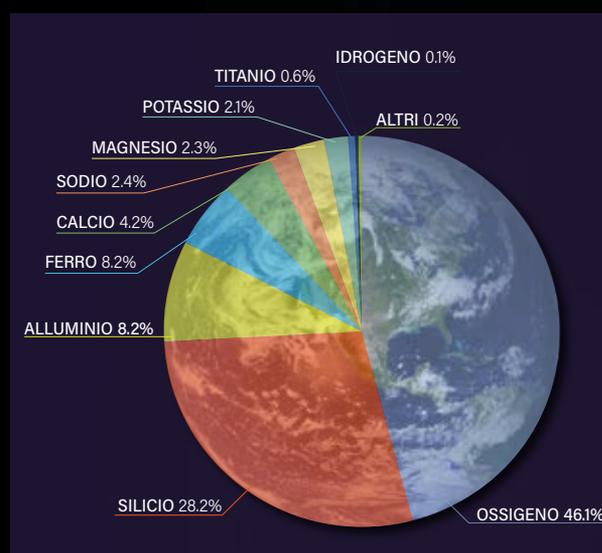
PERIODO DI RIVOLUZIONE
365 giorni 6 ore

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

COMPOSIZIONE ATMOSFERA



COMPOSIZIONE CROSTA TERRESTRE



COSMOLOGIA

STORIA COSMICA

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

BIG BANG E INFLAZIONE

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

TEMPO
 *0-10⁻³⁵ sec dopo il Big Bang*

RAGGIO FINALE
 *10⁻²⁴ R₀*

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 milionesimo 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.

TEMPO
 *10⁻¹² -10⁻⁶ sec dopo il Big Bang*

RAGGIO FINALE
 *10⁻¹⁶ R₀*

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.

TEMPO
 *3 min - 380 000 anni dopo il Big-Bang*

RAGGIO FINALE
 *1/1000 R₀*

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.

TEMPO
 *100-200 mln di anni dopo il Big Bang*

RAGGIO FINALE
 *1/10 R₀*

COMPOSIZIONE
 *stelle, gas, fotoni*

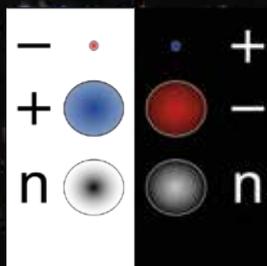
FORMAZIONE DELLE PRIME GALASSIE

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

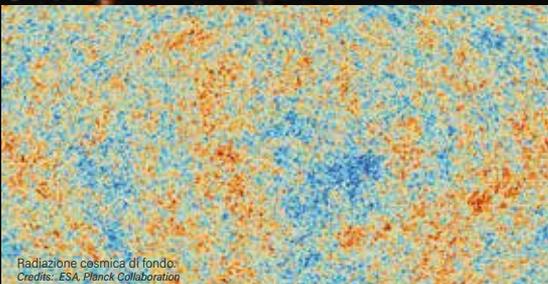
TEMPO
 *400 mln - 1 mld di anni dopo il Big Bang*

RAGGIO FINALE
 *1/5 R₀*

COMPOSIZIONE
 *galassie, gas, fotoni*



Schema particella e antiparticella.
Credits: Wikipedia



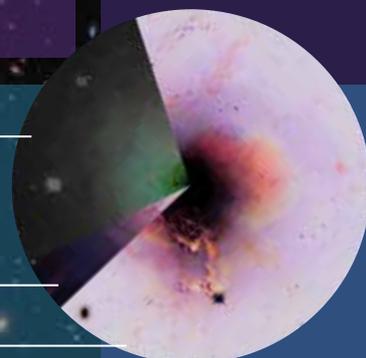
Radiazione cosmica di fondo.
Credits: ESA, Planck Collaboration



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



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



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

COSMOLOGIA TAVOLA PERIODICA

Origine degli elementi chimici presenti nel Sistema Solare.

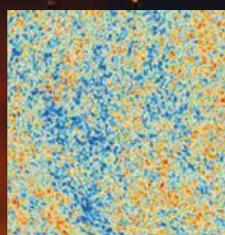
Il 6 marzo 1869 il chimico russo Dmitrij Mendeleev presentò ai colleghi la tavola periodica degli elementi: la sessantina di elementi conosciuti all'epoca erano disposti in ordine secondo il peso atomico, permettendo di prevedere le caratteristiche degli elementi chimici ancora da scoprire, come fu poi 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



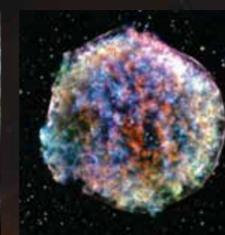
BIG BANG



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	43 Tc	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	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	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									

Nebulosa planetaria

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

38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd
51 Sb	52 Sn	53 In	54 Sn	55 Te	56 Sb	57 Sn	58 In	59 Hg	60 Tl	61 Pb
76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk
98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs

🕒 1000 anni

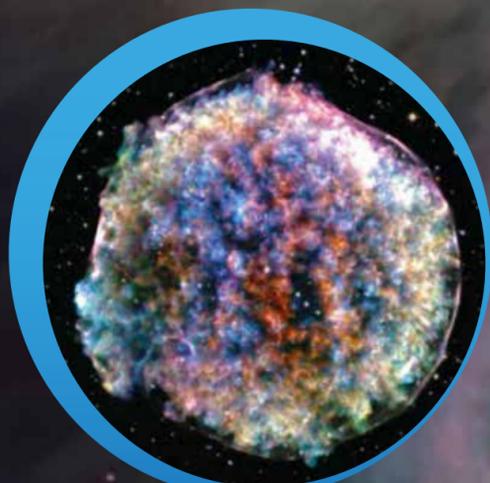


Nebulosa planetaria Occhio di gatto. Credit: NASA, Hubble Space Telescope



Nana bianca

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



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

SUPENOVA di tipo Ia

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

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
-----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

🕒 secondi

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.



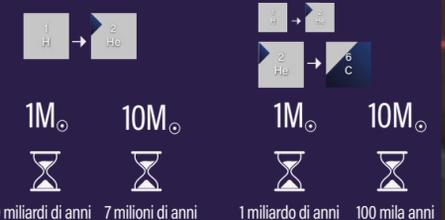
Nebulosa di Orione. Credit: NASA, ESA, Hubble Space Telescope

STELLE



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

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.



Esaurito l'idrogeno disponibile 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.

SUPERNOVA di tipo II

Superata la massa di 1.4 M_☉, 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 esplose formando una grande varietà di nuovi elementi e lasciando come residuo una stella di neutroni o un buco nero.

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
-----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	-------	-------	------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

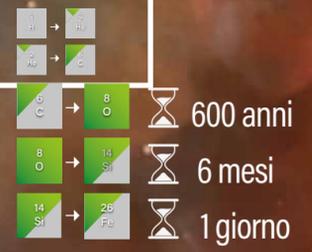
🕒 secondi



Resto di supernova Nebulosa del Granchio, fotografato in infrarosso dal telescopio James Webb. Credit: NASA, ESA, CSA, STScI, The Tenison-Peterson University

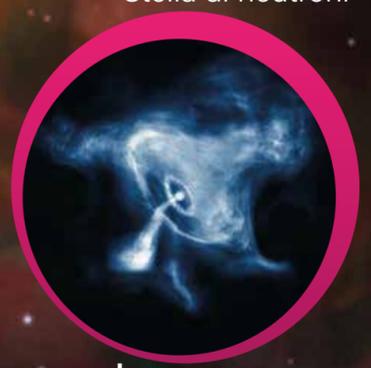
M > 8 M_☉ STELLE massicce

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.



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

Buco Nero



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

Stella di neutroni

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.

38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Sn	53 Te	54 I	55 Xe	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm
-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

🕒 secondi

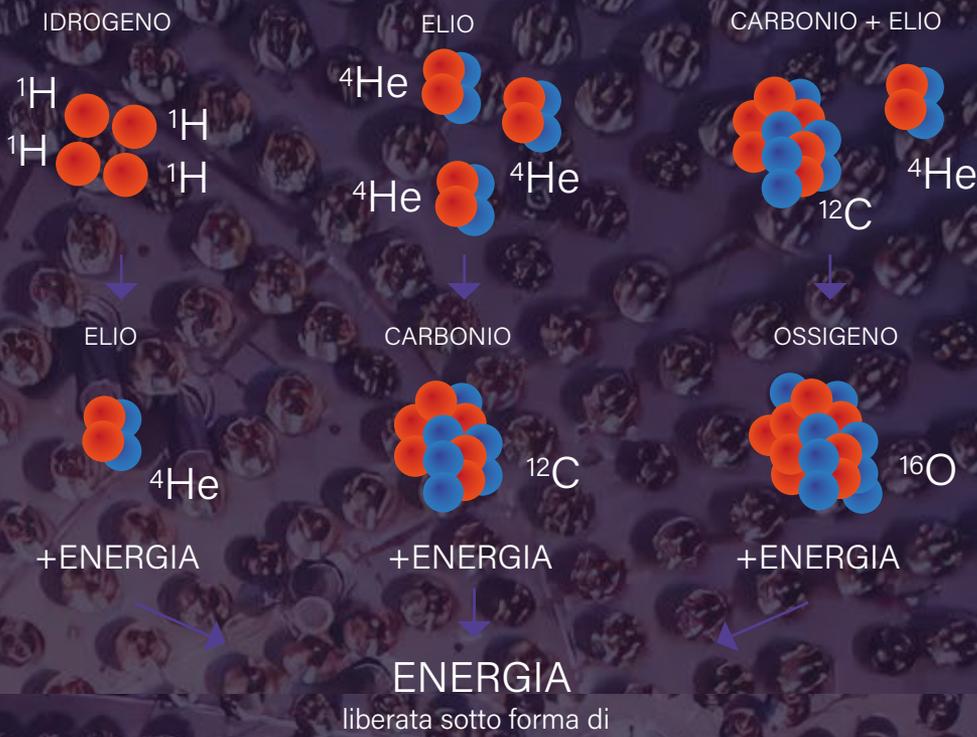


Controparte ottica osservata da Hubble dell'evento di onde gravitazionali GW170817. Credit: NASA, ESA, A. Loin (University of Warwick), N.S. Tamir (University of Leicester), A. Fruchter & D. Fox (STScI)

COSMOLOGIA

NASCITA DEGLI ELEMENTI VITALI

ESEMPI DI FUSIONE NUCLEARE



fotoni ● neutrini

...e via così fino al Ferro

Fotone x

I fotoni interagiscono con le particelle cariche all'interno del Sole e impiegano molto tempo a emergere.

Luce visibile

$t \sim 150.000$ anni
 $t \sim 8,3$ minuti

Neutrini

I neutrini attraversano il Sole (quasi) indisturbati e ci raggiungono direttamente dal centro del Sole.

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.



ASTROFISICA

La dipendenza da ciò che è al di là del nostro pianeta

ASTROFISICA

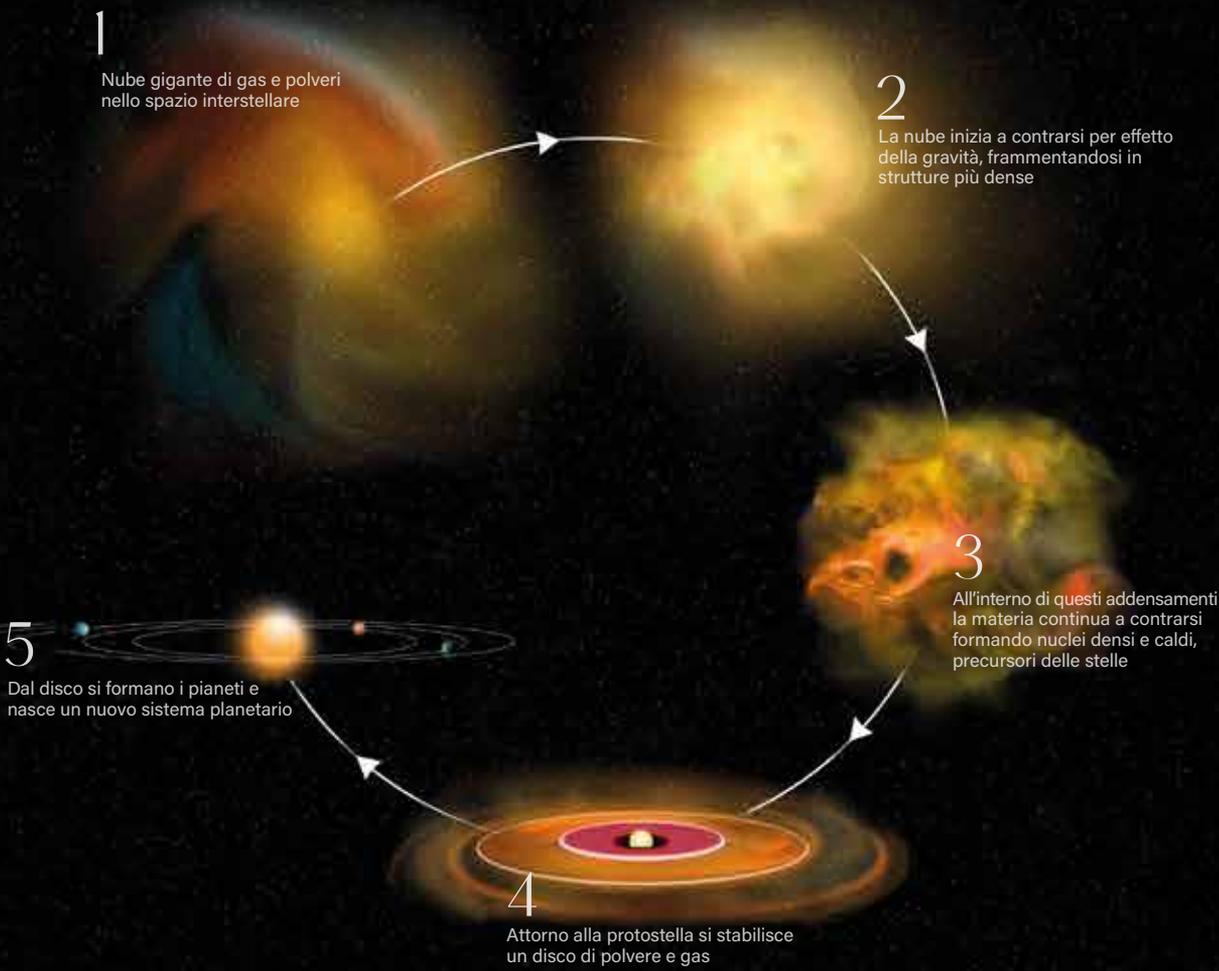
SISTEMA SOLARE

Il sistema solare si è formato a partire dal collasso di una nube gigante di gas e polveri. La maggior parte della massa ha formato il Sole, attorno a cui si è stabilito un disco di polvere e gas da cui sono nati i pianeti.

I pianeti del sistema solare si dividono in due categorie: i più vicini al Sole sono i **pianeti rocciosi** (Mercurio, Venere, Terra e Marte), pianeti piccoli e dotati di una superficie solida e rocciosa, mentre i più lontani sono i **grandi pianeti gassosi** (Giove, Saturno, Urano e Nettuno). Giove e Saturno sono pianeti più grandi, composti principalmente da idrogeno ed elio, mentre Urano e Nettuno sono più piccoli, composti principalmente da una miscela di elementi volatili come acqua, ammoniaca e metano.

I pianeti sono circondati da corpi celesti minori, detti **satelliti naturali**, che orbitano intorno a essi. A oggi sono stati identificati più di 250 **satelliti naturali** all'interno del sistema solare, 146 dei quali orbitano intorno a Saturno e 95 intorno a Giove.

All'interno del sistema solare sono presenti altri corpi legati gravitazionalmente al Sole, quali **asteroidi e comete**. In particolare, nella regione situata fra l'orbita di Marte e quella di Giove, si trova la fascia degli asteroidi, composta da corpi rocciosi con dimensioni che variano dai granelli di polvere ai pianeti nani con diametri di centinaia di chilometri.



Fasi della formazione del sistema solare. Credits: Bill Saxton, NRAO/AUI/NSF

	MERCURIO	VENERE	TERRA	MARTE	GIOVE	SATURNO	URANO	NETTUNO
	♿	♀	♁	♂	♃	♄	♅	♆
Distanza media dal sole (AU)	0.39	0.72	1	1.52	5.21	9.54	19.28	30.06
Massa (M _⊕)	0.05	0.81	1	0.11	317.8	95.2	14.5	17.2
Temperatura media (°C)	167	464	15	-65	-110	-140	-195	-200
Anno (unità terrestri)	88 giorni	225 giorni	365 giorni	687 giorni	12 anni	29 anni	84 anni	165 anni
Lunghezza del giorno (unità terrestri)	58.6 giorni	243 giorni	23h 56m	24h 37m	9h 56m	10h 34m	17h14m	16h6m

Rappresentazione grafica non in scala del Sistema Solare. Credits: NASA

ASTROFISICA

STELLE

Durante la loro vita le stelle attraversano diversi stadi nei quali le loro caratteristiche variano considerevolmente. Per la maggior parte del tempo, le stelle si trovano nella fase di **sequenza principale**, nella quale traggono energia dalla fusione termonucleare di H in He all'interno del nucleo.

Il Sole si trova attualmente in questa fase, al termine della quale diventerà una gigante rossa.

Nei pressi del nostro Sole, circa il 76% delle stelle è nella fase di sequenza principale. Le stelle di sequenza principale hanno proprietà che dipendono dalla loro massa. All'aumentare della massa, crescono le dimensioni e aumenta la temperatura interna e superficiale.

Inoltre, più una stella è massiccia, minore è la durata della sua vita.

Le **nane rosse** sono le stelle più piccole e fredde. Sono le più comuni e rappresentano circa l'82% delle stelle di sequenza principale entro 65 anni luce dal Sole. Sono anche le più longeve, con un tempo di vita che supera i 14 miliardi di anni (età dell'universo). Queste stelle attraversano una fase di elevata attività cromosferica e coronale, caratterizzata da una notevole emissione di raggi X e UV, per un periodo più lungo rispetto alle stelle di tipo solare.

Le **nane arancioni**, più grandi e calde delle nane rosse, sono presenti nelle vicinanze del Sole con una percentuale del 12%.

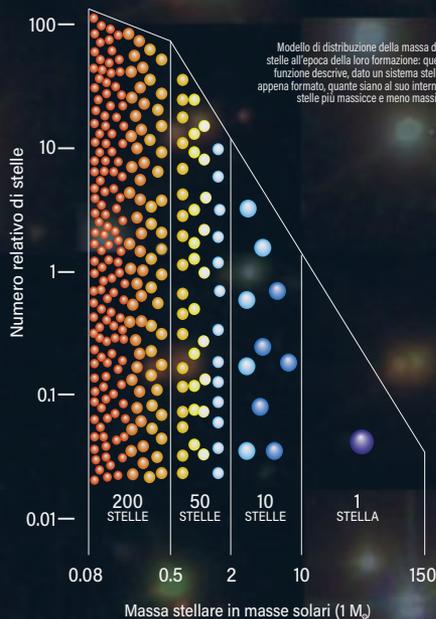
Il Sole appartiene alla categoria delle **nane gialle**, stelle che vivono in media 10 miliardi di anni e rappresentano circa il 3,5%.

Le **stelle blu** di sequenza principale sono molto più rare e hanno una vita estremamente breve: appena 1 milione di anni nel caso di una stella di 40 masse solari.

Circa la metà delle stelle osservate fanno parte di sistemi stellari multipli.

Immagine artistica di confronto delle dimensioni delle stelle. Credits: NASA

DISTRIBUZIONE DI SALPETER:
NUMERO DI STELLE IN FUNZIONE DELLA MASSA



Sistemi binari osservati dal telescopio Gaia.
Credits: ESA/Gaia/DPAC

ASTROFISICA

SOLE: STELLA IN EVOLUZIONE

Il Sole produce energia tramite reazioni termonucleari che, nel corso del tempo, accelerano provocando un lento ma costante aumento della sua luminosità.

Attualmente la luminosità solare cresce del 10% ogni miliardo di anni.

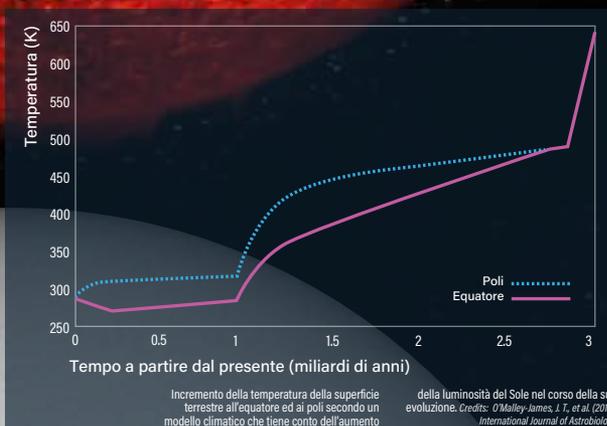
Questo aumento avrà importanti **conseguenze su clima ed ecosistemi**:

- Diminuirà l'**anidride carbonica** (CO₂) presente in atmosfera, poiché essa sarà fissata nelle rocce per azione degli agenti atmosferici.

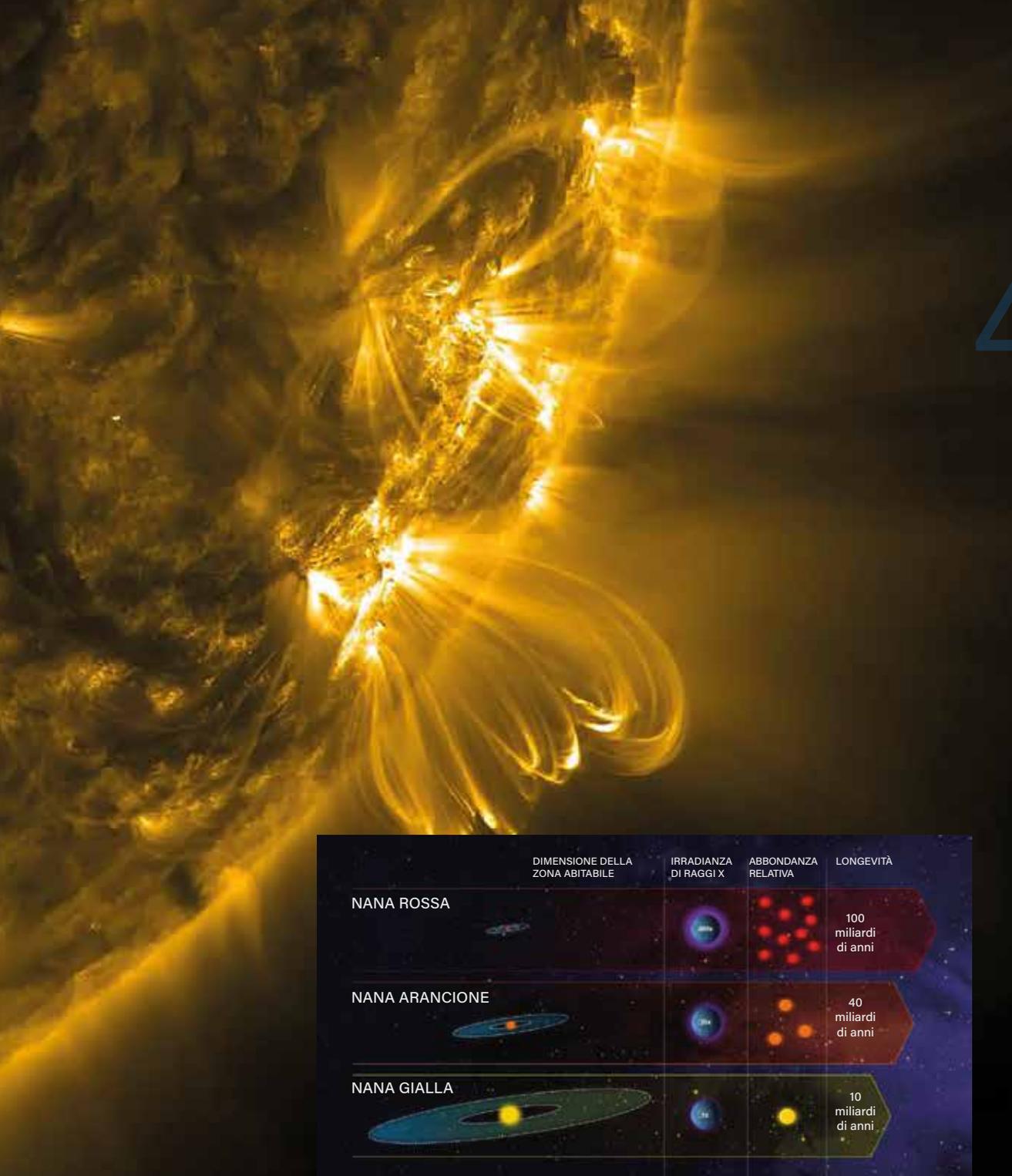
- Tra circa 200 milioni di anni la concentrazione di CO₂ sarà talmente bassa che il 95% delle specie di piante oggi conosciute non sarà in grado di fare la **fotosintesi**. Tra circa 900 milioni di anni anche le piante più resistenti nei climi caldi e aridi non sopravviveranno. La fine della fotosintesi provocherà il collasso della catena alimentare e l'estinzione non soltanto delle piante, ma anche degli animali superiori.

- Tra circa 950 milioni di anni, l'**evaporazione dell'acqua** degli oceani aumenterà in modo sempre più marcato, determinando un notevole effetto serra. Tra 2.8 miliardi di anni la temperatura della superficie della Terra sarà intorno ai 200°C e l'evaporazione diventerà catastrofica tanto da causare la perdita di tutta l'acqua del nostro pianeta che, dissociata dalla radiazione ultravioletta del Sole, si disperderà nello spazio sotto forma di idrogeno e ossigeno.

- Anche le forme di vita batterica più adattabili e resistenti non potranno resistere al continuo **aumento di temperatura** e si estingueranno al più tardi tra circa 1.5-2 miliardi di anni rendendo la Terra un pianeta sterile.



SOLE FOTOGRAFATO DAL SOLAR DYNAMIC OBSERVATORY NEL SETTEMBRE 2014.
In alto: immagine ripresa nell'ultravioletto (riga di emissione dell'elio ionizzato a 304 Å) mostra la parte più bassa della corona solare.
In basso: immagine simultanea in banda visibile mostra lo strato detto fotosfera, dove in nero sono evidenti gruppi di macchie solari.
Credits: NASA/SDO



ASTROFISICA

ZONA ABITABILE

La **zona abitabile** è la regione intorno a una stella nella quale l'acqua eventualmente posseduta da un pianeta può essere mantenuta nella fase liquida sulla sua superficie. I confini della zona abitabile sono determinati dalla luminosità della stella.

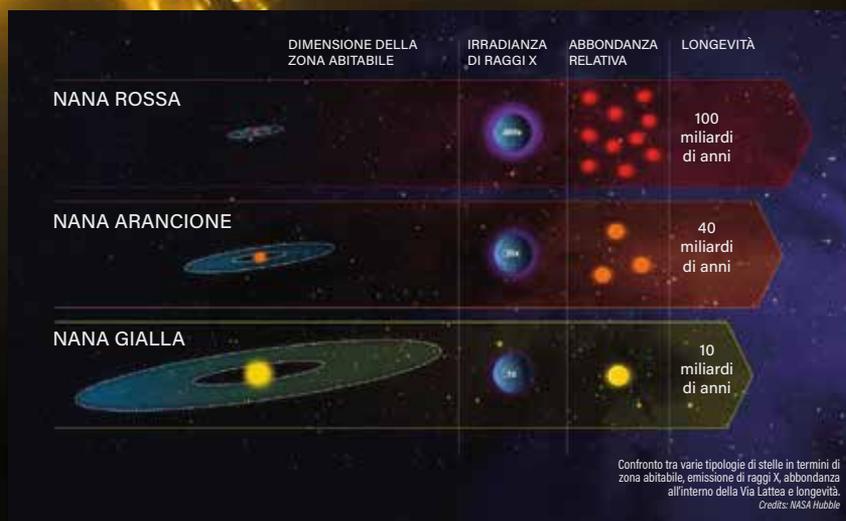
Ci sono due tipi di zone abitabili: conservativa e ottimistica.

Per la **zona conservativa**, il limite più interno è la distanza alla quale l'effetto serra causa l'evaporazione dell'acqua; il limite più esterno è la distanza alla quale il riscaldamento dovuto all'effetto serra non è più sufficiente a mantenere l'acqua liquida.

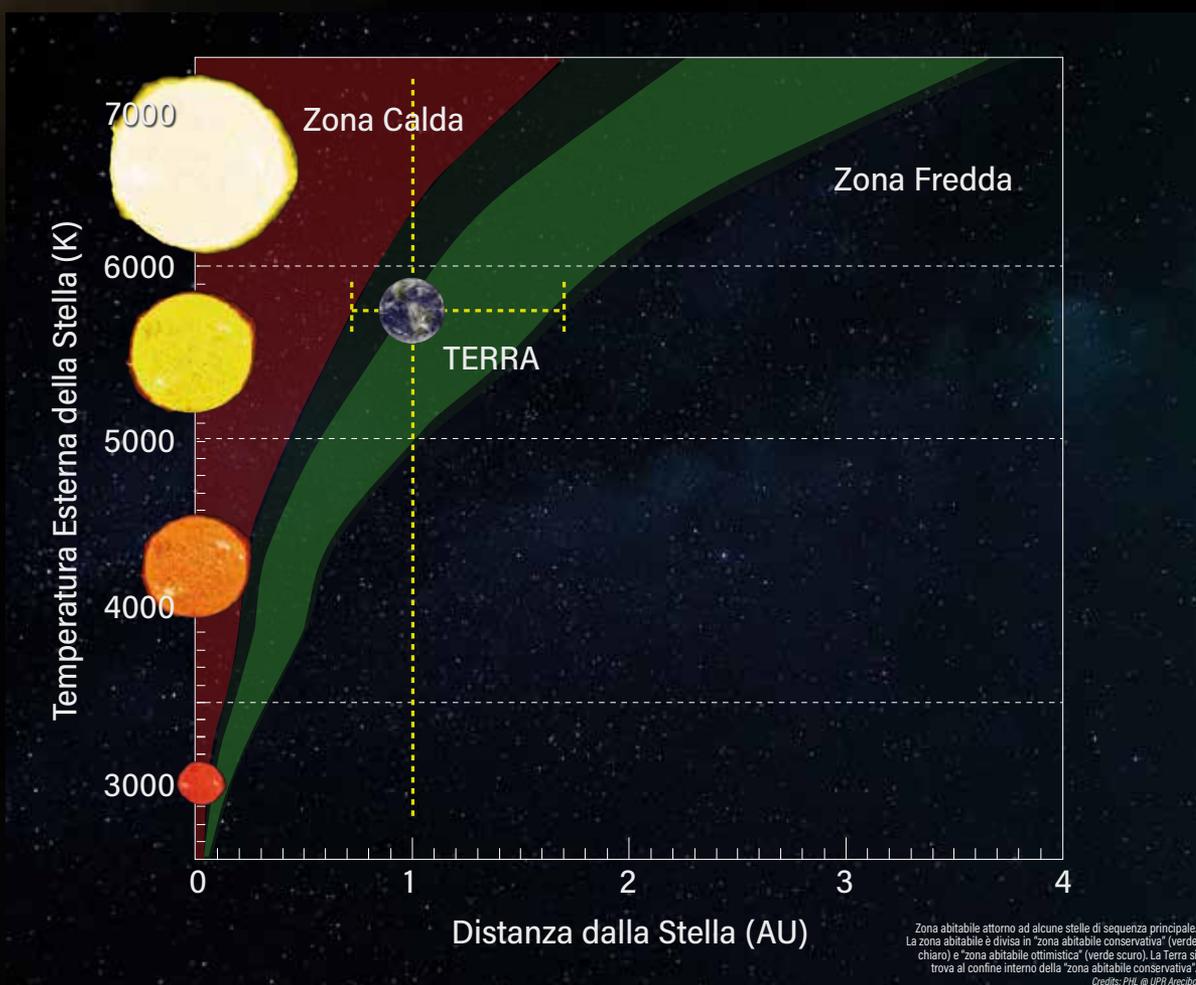
Per definire la **zona ottimistica** si utilizzano criteri meno stringenti, i quali assumono che su Venere e su Marte vi fosse acqua liquida in un remoto passato.

Per le **stelle blu**, essendo più luminose, la zona abitabile è più distante dalla stella. Queste stelle hanno una vita troppo breve per garantire la stabilità necessaria allo sviluppo della vita biologica sul pianeta.

Le **nane rosse** presentano una zona abitabile molto vicina, ma a tali distanze l'interazione gravitazionale fa sì che il pianeta, generalmente, rivolga la medesima faccia alla stella. In tali casi si avrebbe una faccia dove è sempre giorno e l'altra in eterna notte. Tale condizione potrebbe determinare importanti differenze di temperatura che renderebbero difficile lo sviluppo della vita. L'emissione di raggi X e UV delle stelle potrebbe causare una significativa perdita atmosferica nei pianeti con atmosfere sottili, riducendo la capacità di trattenere l'acqua. L'elevata radiazione ad alta energia potrebbe danneggiare le molecole biologiche, come DNA o RNA, limitando la possibilità di sviluppo di forme di vita complesse. In particolare per le nane rosse tale emissione è ancora maggiore a causa dell'intensa e prolungata attività cromosferica e coronale.



Attività coronale del Sole, fotografata ai raggi UV.
Credits: NASA/SDO



ASTROFISICA

PIANETI EXTRASOLARI

Negli ultimi trent'anni sono stati scoperti più di 5500 **planeti extrasolari**. Questo numero è destinato a crescere in quanto si stima che attorno a ogni stella orbiti in media almeno un pianeta.

La maggior parte degli esopianeti scoperti è diversa dai planeti del sistema solare. Ad esempio, i **Gioviani caldi** sono planeti gassosi grandi come Giove, ma hanno atmosfere molto calde, orbitando particolarmente vicini alla loro stella.

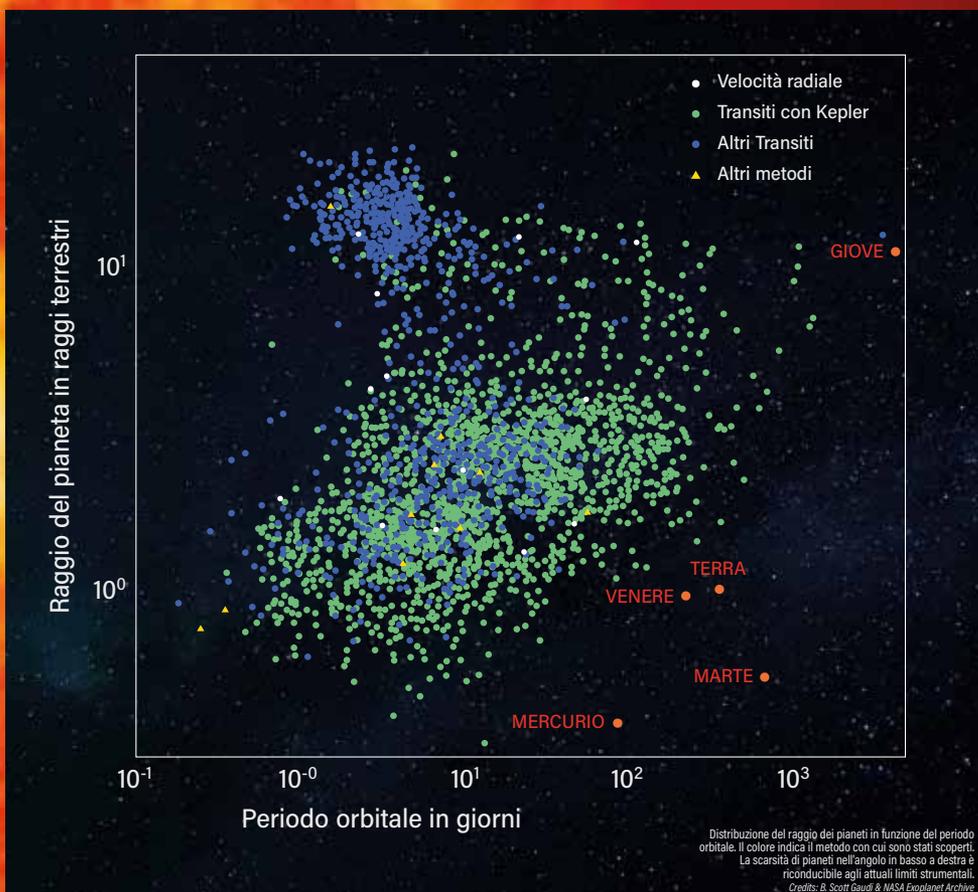
I **sub-Nettuni** e le **super-Terre** hanno dimensioni e masse comprese tra la Terra e Nettuno, con composizioni molto varie: i sub-Nettuni possono avere ghiaccio di acqua e/o atmosfere di idrogeno ed elio, mentre le super-Terre sono generalmente planeti rocciosi.

La diversità dei planeti scoperti è dovuta alle innumerevoli condizioni relative alla loro formazione nei dischi protoplanetari e alla loro successiva evoluzione. Inoltre, a causa degli attuali limiti strumentali, è molto difficile individuare planeti simili alla Terra attorno a nane gialle, come il Sole.

Attualmente i quattro planeti più piccoli scoperti nelle zone abitabili di nane gialle hanno raggi significativamente più grandi della Terra (tra 1.6 e 2.1 raggi terrestri) e non è detto che siano rocciosi. Tra i planeti più piccoli nelle zone abitabili delle nane arancioni, due hanno dimensioni più simili alla Terra (1.3 e 1.4 raggi terrestri). Per essere certi che un pianeta sia roccioso, occorre misurarne la massa e la densità media; tuttavia questi parametri non sono ancora stati determinati per i planeti di piccola dimensione che si trovano nelle zone abitabili di nane gialle e arancioni.



Immagine artistica di un gioviano caldo.
Credits: ESA



TIPOLOGIE DI ESOPIANETI OSSERVATI

30%
GIGANTI GASSOSI

Hanno la dimensione di Saturno o Giove o parecchie volte più grande. I "Gioviani caldi" raggiungono temperature estremamente elevate, orbitando molto vicini alla stella.

31%
**SUPER TERRE
E SUB-NETTUNI**

Pianeti dalle dimensioni comprese tra la Terra e Nettuno. Possono essere rocciosi oppure gassosi, e non sono presenti nel sistema solare.

4%
TERRESTRI

Pianeti piccoli e rocciosi, di dimensione simile alla Terra o più piccoli. Possono avere un'atmosfera oppure esserne privi.

35%
NETTUNIANI

Con dimensioni simili a Urano e Nettuno, hanno atmosfere dominate da idrogeno o elio. Possono essere giganti ghiacciati oppure più caldi, anche se i "Nettuniani caldi" sono più rari.



La Luna fotografata dalla sonda Galileo della NASA mentre era in viaggio verso il sistema di Giove
Credits: NASA

ASTROFISICA

CHE FAI TU LUNA IN CIEL?

La Luna è l'unico satellite naturale della Terra e la sua massa è circa un 1/81 di quella del nostro pianeta. E' un rapporto di massa davvero grande per un satellite, perciò la sua presenza è rilevante per la dinamica del nostro globo.

L'attrazione gravitazionale tra la Luna e la Terra causa le **maree**, ovvero il ciclico innalzamento (alta marea) e abbassamento (bassa marea) del livello del mare con un periodo di circa 12 ore.

Anche il Sole contribuisce alle maree, ma l'azione della Luna è oltre due volte più intensa, tanto da provocare variazioni del livello del mare di diversi metri, ad esempio nella baia di Mont Saint Michel in Bretagna. Le maree regolano la dinamica degli estuari dei fiumi che trasportano in mare le sostanze nutritive prodotte sulla terraferma, fertilizzando il mare e rendendo possibile la vita per gran parte degli organismi marini.

Le maree stanno anche **rallentando la rotazione della Terra**: 500 milioni di anni fa, un giorno durava solo 22 ore! Inoltre l'interazione mareale spinge la Luna sempre più lontano da noi, alla velocità di 38 mm all'anno. Un tempo la Luna era molto più vicina e le maree erano molto più intense di quanto non siano oggi.

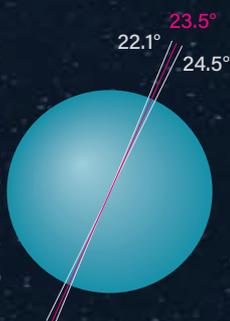
La Luna è anche responsabile della stabilità dell'asse terrestre, la cui inclinazione determina le stagioni, garantendo un clima adatto alla vita. Senza la Luna, l'obliquità dell'asse terrestre varierebbe in modo caotico con escursioni di decine di gradi che renderebbero instabile il clima terrestre ed influirebbero negativamente sulla vita. Questa azione stabilizzatrice durerà ancora per circa 1,5 miliardi di anni, dopo di che cesserà quando la Luna si sarà allontanata sensibilmente.



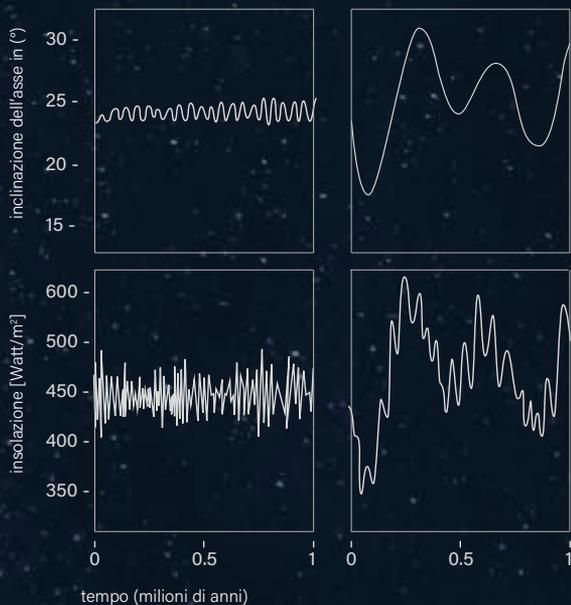
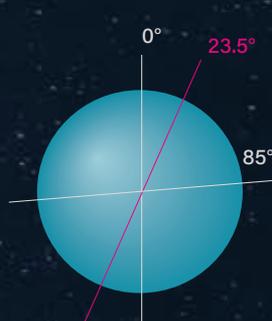
Mont Saint Michel durante la bassa marea (in alto) e durante l'alta marea (in basso). La conformazione particolare della baia in cui esso si trova

amplifica le maree che raggiungono un'altezza di diversi metri sommergendo l'area circostante l'antico borgo durante le fasi di alta marea

TERRA + LUNA



TERRA



Simulazioni numeriche che mostrano come l'assenza della Luna influirebbe sulla variazione dell'obliquità dell'asse di rotazione della Terra e sul calore solare ricevuto alle latitudini di 65 gradi Nord (insolazione). L'angolo di 23,5 gradi evi-

denziato in rosa è il valore attuale dell'inclinazione dell'asse terrestre rispetto alla perpendicolare al piano della sua orbita intorno al Sole. Credits: Osservatorio di Parigi, Jacques Laskar

ASTROFISICA

UNA MIRIADE DI CONDIZIONI

L'esistenza della Terra e le sue caratteristiche dipendono da numerose condizioni astrofisiche esterne:

SISTEMA SOLARE

Posizione galattica favorevole: non eccessivamente periferica, dunque con abbondanza di elementi pesanti, ma anche ad adeguata distanza dal centro galattico, dunque con ridotta probabilità di eventi cosmici esplosivi (supernove). La regione della galassia con tali caratteristiche è detta **zona di abitabilità galattica**.

- **Età:** sufficientemente anziano perché generazioni precedenti di stelle ne abbiano arricchito la materia con elementi pesanti.

SOLE

- Moderata attività **cromosferica e coronale**: l'emissione di energia varia solo del 0.1% durante il ciclo di attività di 11 anni.

- **Intensità radiazione UV**: sufficiente per formare l'ozono, ma non per danneggiare le molecole biologiche.

- **Energia**: attualmente ne fornisce la giusta quantità alla Terra, ma tra 200 milioni di anni la maggiore luminosità solare impedirà la fotosintesi.

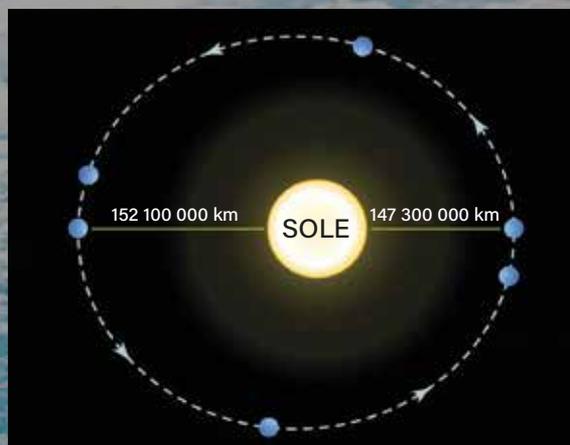


SISTEMA SOLARE

Rappresentazione artistica della Via Lattea e della zona abitabile galattica.
Credits: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)



Sole osservato da Solar Orbiter nella luce ultravioletta da una distanza di circa 75 milioni di chilometri.
Credits: ESA & NASA/Solar Orbiter/EUI team



Orbita della Terra intorno al Sole.
Credits: Encyclopædia Britannica, Inc.



Luna fotografata dal Deep Space Climate Observatory nel 2015 mentre passava tra la sonda e la Terra.
Credits: NASA/DSO/VR EPIC team



Foto di Giove della sonda Cassini.
Credits: NASA/JPL/Space Science Institute

ORBITA TERRESTRE

- **Distanza ottimale** tra Terra e Sole: si mantiene l'acqua liquida sulla superficie terrestre ed è possibile la presenza di ghiaccio e vapore.
- **Bassa eccentricità** dell'orbita terrestre: tollerabili fluttuazioni di temperatura nel ciclo orbitale annuale.

LUNA

- Satellite insolitamente **grande** per un pianeta roccioso, originata da un **impatto** statisticamente poco probabile: ha favorito la concentrazione di elementi pesanti sulla Terra.
- **Asse terrestre**: la Luna lo mantiene stabile.
- **Maree**: la Luna causa questo fenomeno, che rende possibile la vita a gran parte degli organismi marini.

GIOVE e SATURNO

- No **Gioviani Caldi**: la presenza dei due pianeti ha evitato la formazione di Gioviani Caldi nella zona di abitabilità del sistema solare.
- **Influenza gravitazionale**: grazie all'influenza di Giove e Saturno la Terra 4 miliardi di anni fa ha subito un bombardamento di asteroidi e comete, che hanno portato acqua e materiali organici sulla sua superficie.