

ASTROFISICA

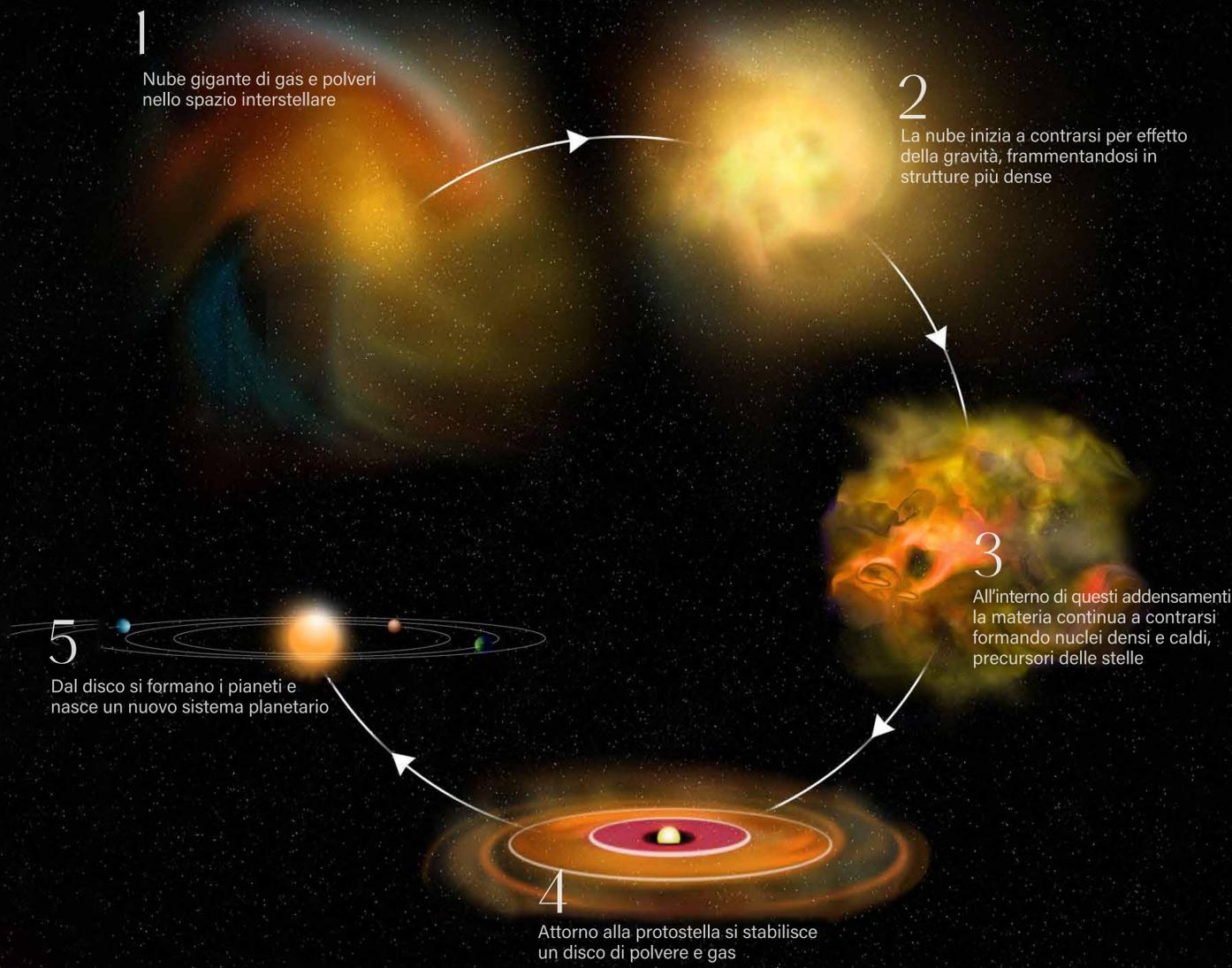
# SISTEMA SOLARE

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 <sub>J</sub> )	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	17h 14m	16h 6m

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%.

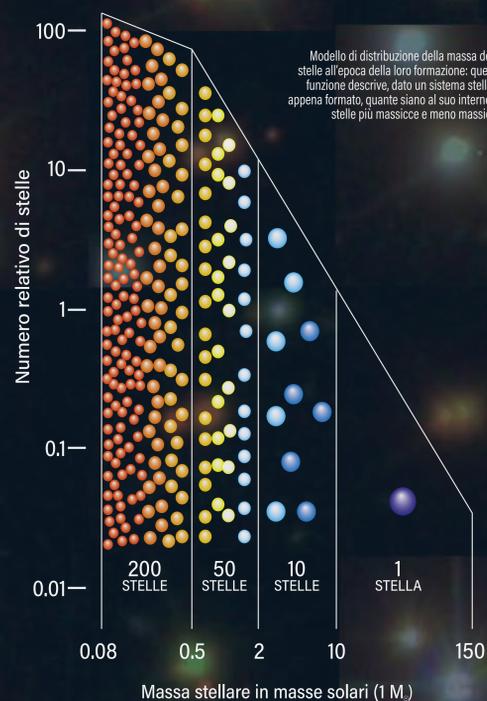
Il Sole appartiene alla categoria delle **nane gialle**, stelle che vivono in media 10 miliardi di anni e rappresentano circa il 3,5%.

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**:

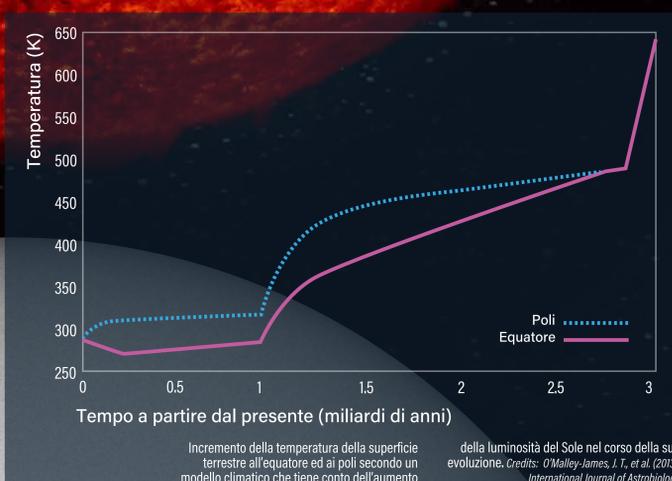
- Diminuirà l'**anidride carbonica** ( $\text{CO}_2$ ) presente in atmosfera, poiché essa sarà fissata nelle rocce per azione degli agenti atmosferici.

- Tra circa 200 milioni di anni la concentrazione di  $\text{CO}_2$  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  $200^\circ\text{C}$  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.

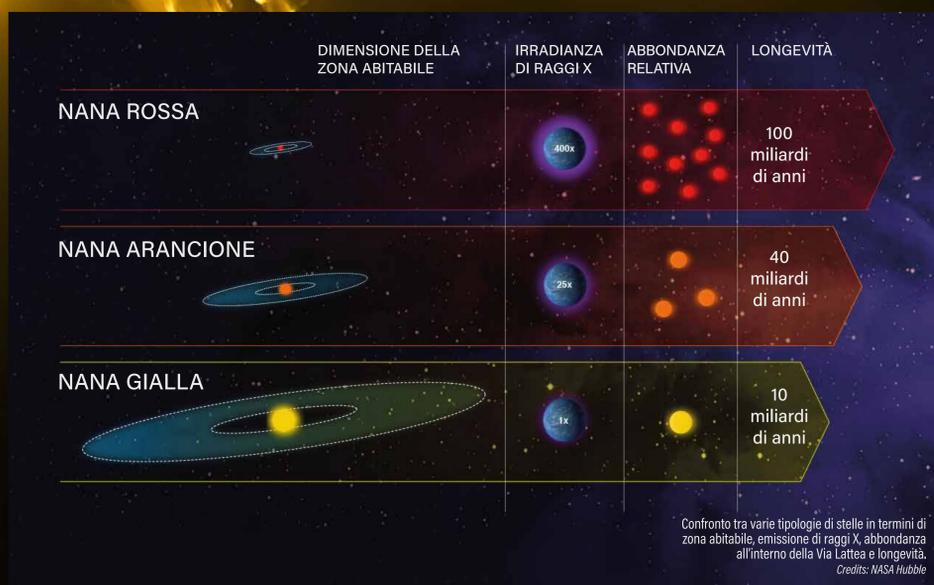
Ci sono due tipi di zone abitabili: conservativa e ottimistica.

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.

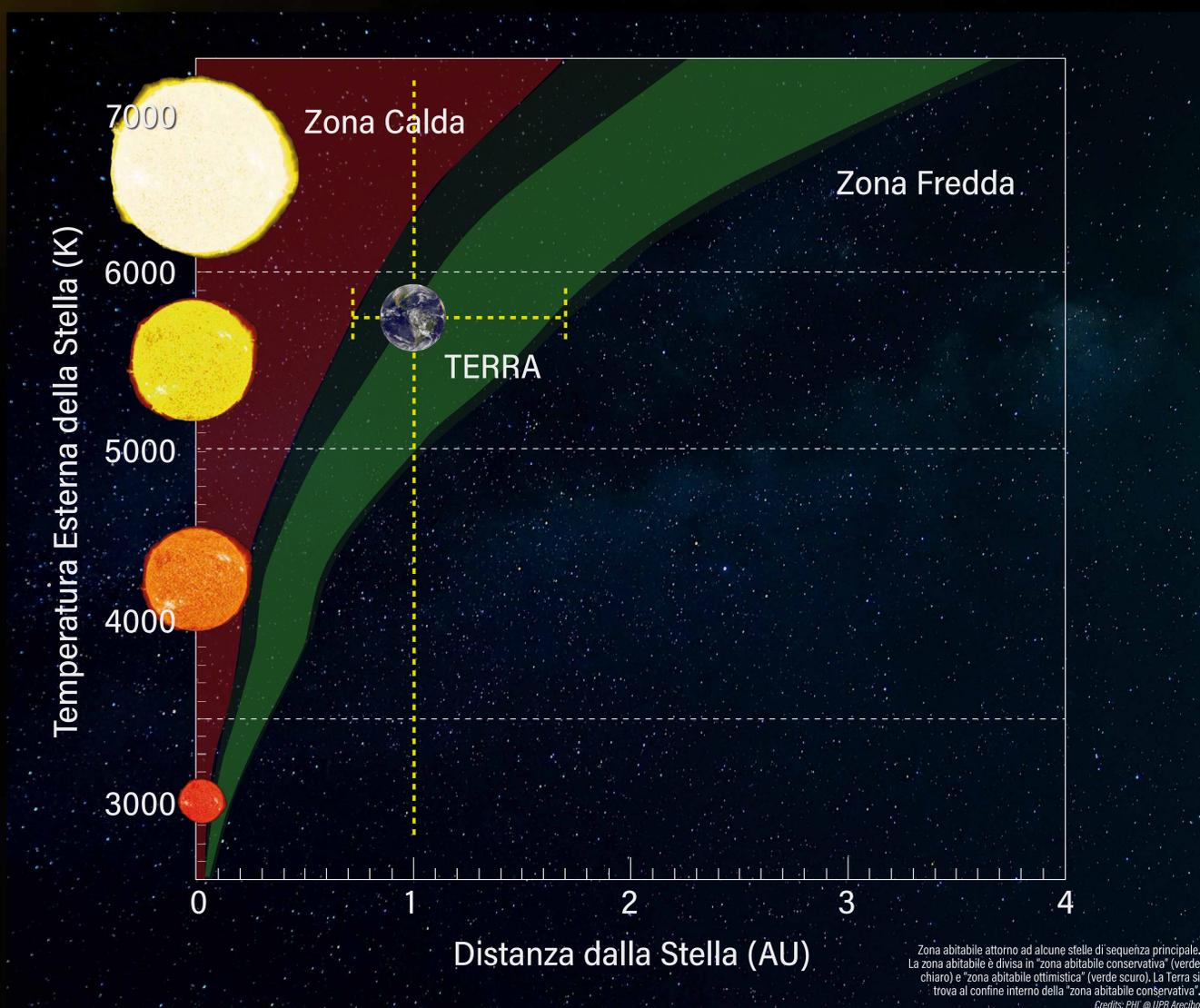
Per definire la **zona ottimistica** si utilizzano criteri meno stringenti, i quali assumono che su Venere e su Marte vi fosse acqua liquida in un remoto passato.

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 pianeti del sistema solare. Ad esempio, i **Gioviani caldi** sono pianeti gassosi grandi come Giove, ma hanno atmosfere molto calde, orbitando particolarmente vicini alla loro stella.

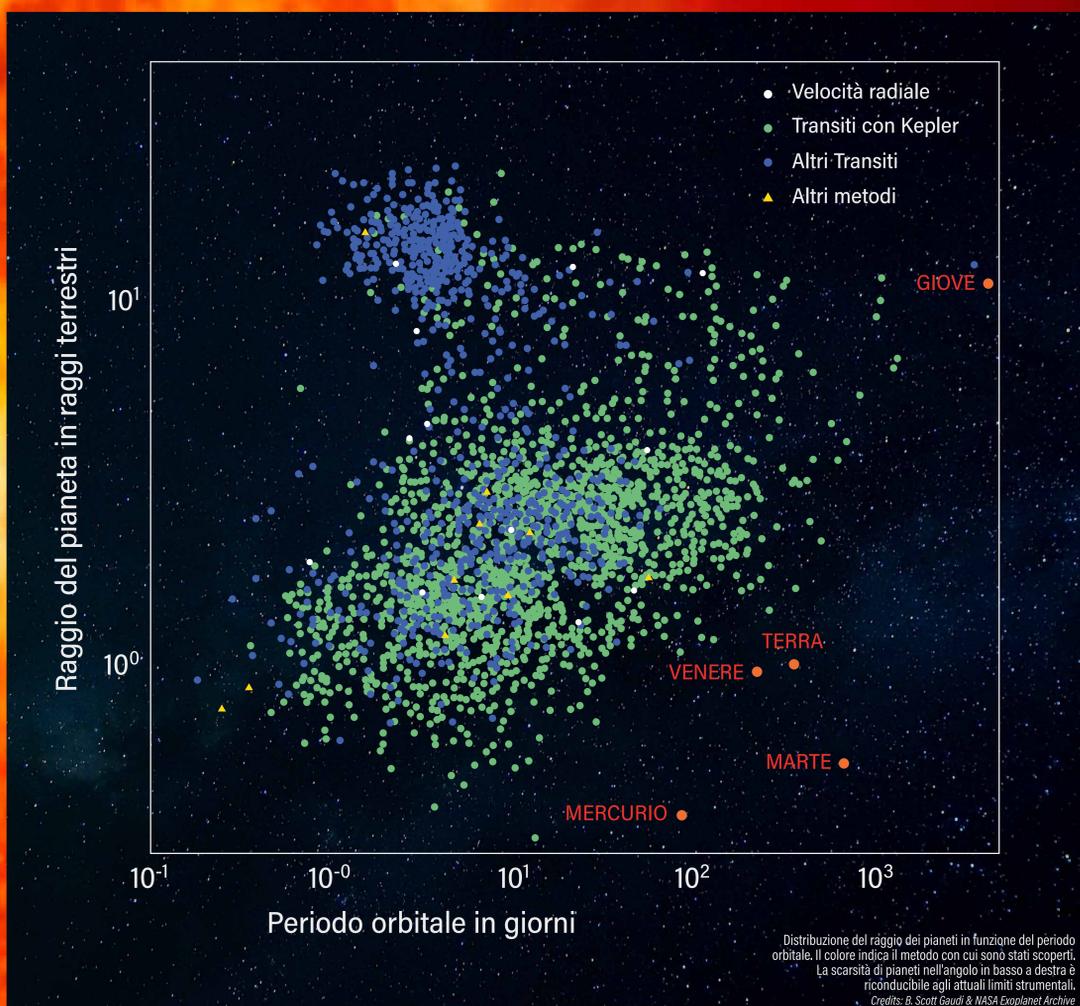
I **sub-Nettuni** e le **super-Terre** hanno dimensioni e masse comprese tra la Terra e Nettuno, con composizioni molto varie: i sub-Nettuni possono avere ghiaccio di acqua e/o atmosfere di idrogeno ed elio, mentre le super-Terre sono generalmente pianeti rocciosi.

La diversità dei pianeti 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 pianeti simili alla Terra attorno a nane gialle, come il Sole.

Attualmente i quattro pianeti 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 pianeti 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 pianeti 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 nutrienti 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.

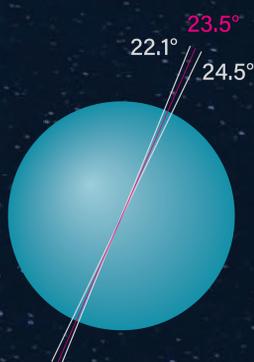
La Luna è anche responsabile della stabilità dell'asse terrestre, la cui inclinazione determina le stagioni, garantendo un clima adatto alla vita. Senza la Luna, l'obliquità dell'asse terrestre varierebbe in modo caotico con escursioni di decine di gradi che renderebbero instabile il clima terrestre 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.



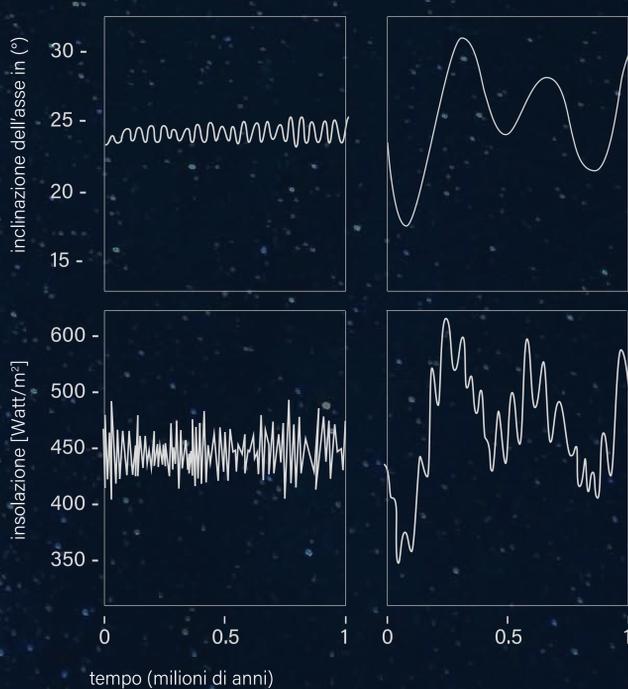
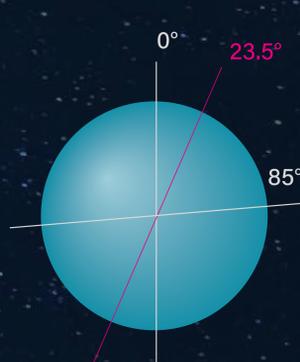
Mont Saint Michel durante la bassa marea (in alto) e durante l'alta marea (in basso). La conformazione particolare della baia in cui esso si trova

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 alla latitudine 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**.

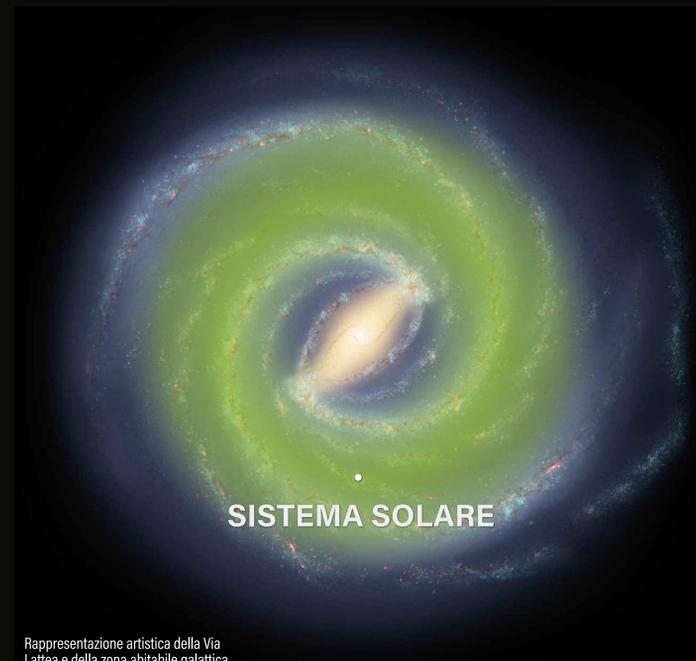
- **Età:** sufficientemente anziano perché generazioni precedenti di stelle ne abbiano arricchito la materia con elementi pesanti.

## 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.

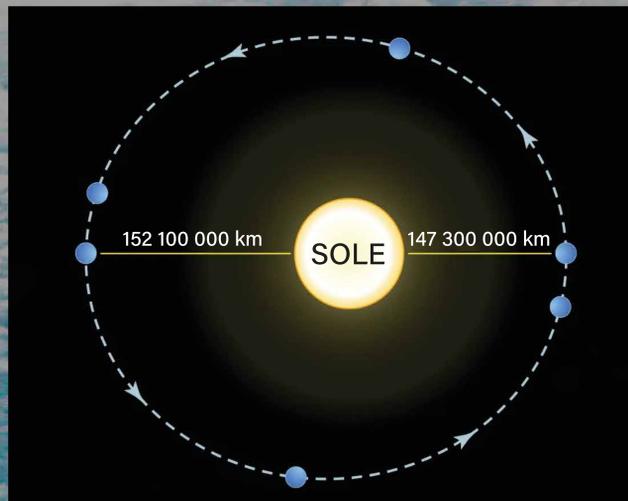
- **Energia:** attualmente ne fornisce la giusta quantità alla Terra, ma tra 200 milioni di anni la maggiore luminosità solare impedirà la fotosintesi.



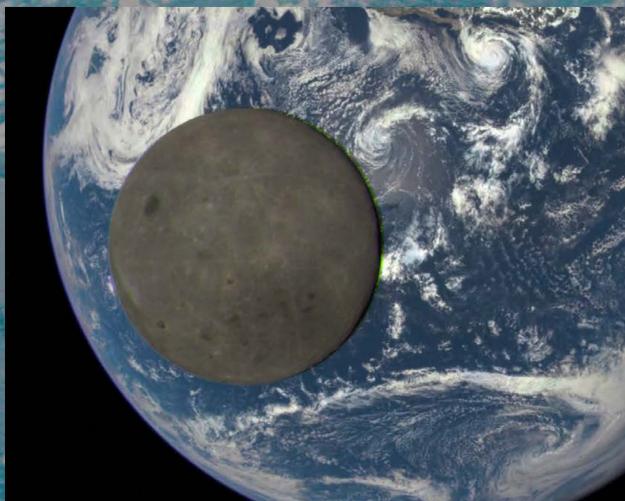
Rappresentazione artistica della Via Lattea e della zona abitabile galattica.  
Credits: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC/Caltech)



Sole osservato da Solar Orbiter nella luce ultravioletta da una distanza di circa 76 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/DSOVR 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.