

1

L'UNIVERSO E IL SISTEMA SOLARE

Il telescopio spaziale James Webb, lanciato nel 2021 e oggi in orbita intorno al Sole, ha prodotto l'immagine a infrarossi più profonda e nitida dell'Universo lontano. L'immagine mostra un insieme di galassie tra le quali la più distante si trova a oltre 13 miliardi di anni-luce dalla Terra: ci appare come era meno di un miliardo di anni dopo la «nascita» dell'Universo.

FLIPPED CLASSROOM

1 Fatti un'idea di che cosa studierai in questa unità

Guarda il video e rispondi alle domande interattive.

2 Disegna una costellazione



 **ORIENTAMENTO**

Fin dal lontano passato, gli esseri umani hanno iniziato a «unire» le stelle in gruppi, chiamati *costellazioni*, cercando di costruirne delle immagini e associandole a miti e leggende.

L'obiettivo di questa attività è realizzare un'animazione in cui le stelle principali di una costellazione compaiano sullo schermo del PC riproducendo le posizioni reciproche che possiamo osservare nel cielo notturno. Per farlo potrai utilizzare Scratch, un linguaggio di programmazione semplice e intuitivo.

Scegli una costellazione e raccogli informazioni in Internet sui miti a essa collegati: potrai arricchire la tua animazione inserendo, per esempio, i nomi delle stelle che la costituiscono o immagini che raccontano le interpretazioni delle diverse civiltà. Quando sarai soddisfatto del risultato potrai condividere l'animazione con i tuoi compagni e le tue compagne.

Leggi le istruzioni in digitale per disegnare la costellazione che hai scelto.



Video

Quali corpi celesti conosciamo?



Pdf

Istruzioni per disegnare una costellazione



1

Che cos'è l'Universo

PER FARSI UN'IDEA

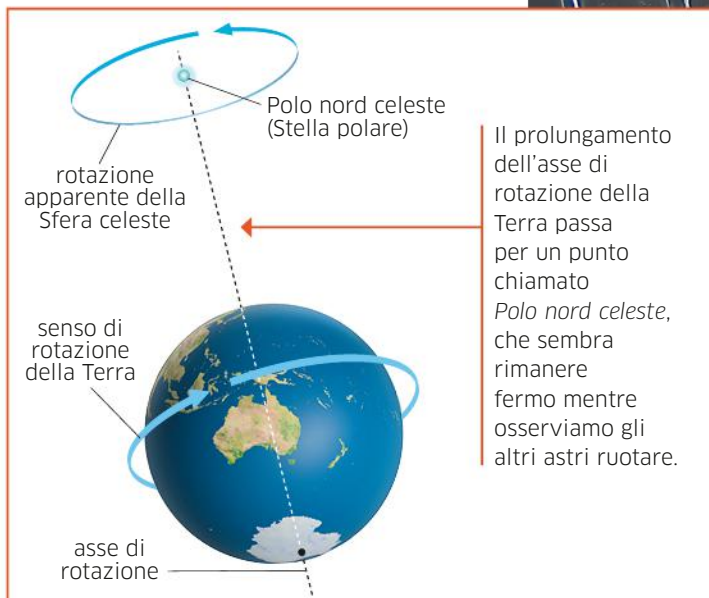
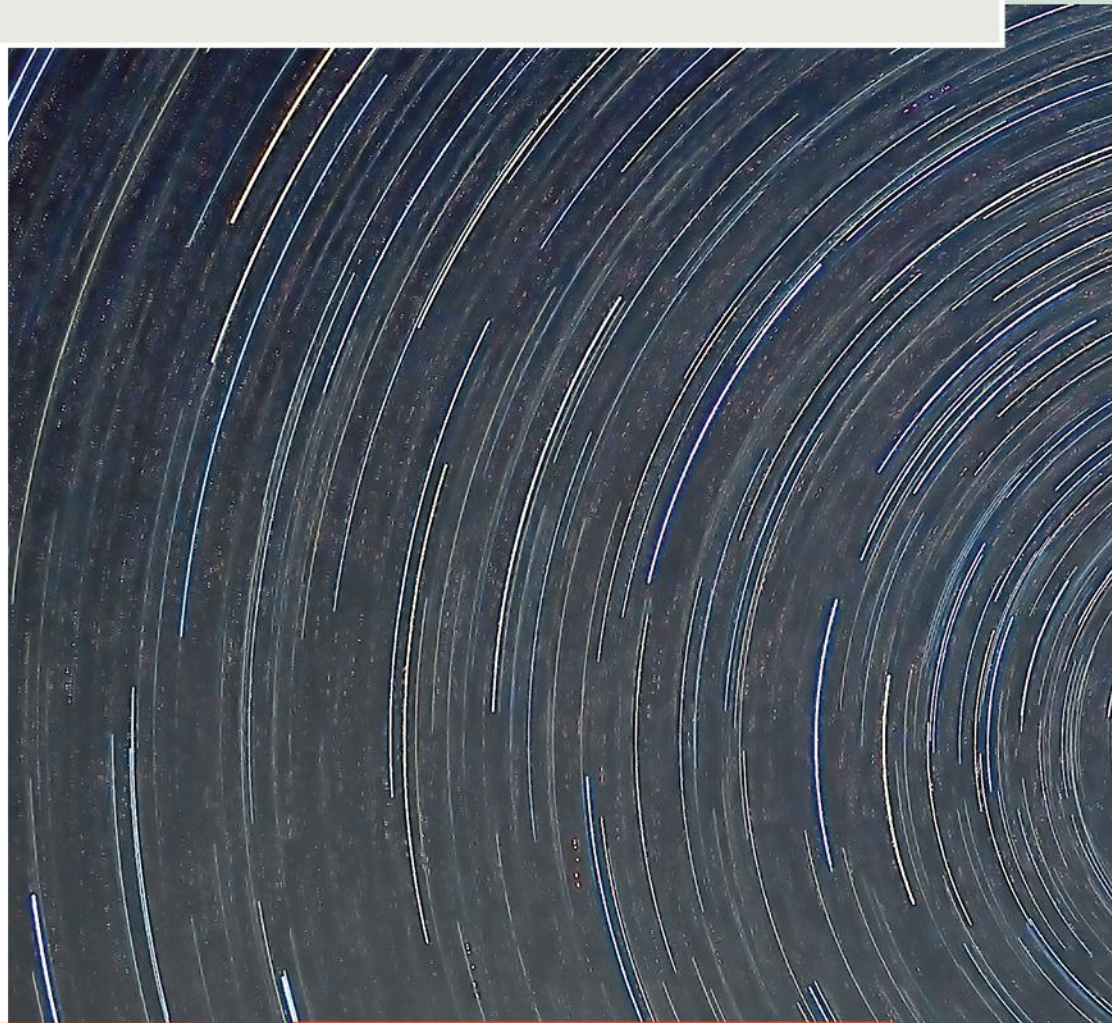
L'Universo è l'insieme di tutto ciò che esiste: uno spazio sterminato in cui si trovano miriadi di corpi celesti di diverse dimensioni, origini e composizioni.

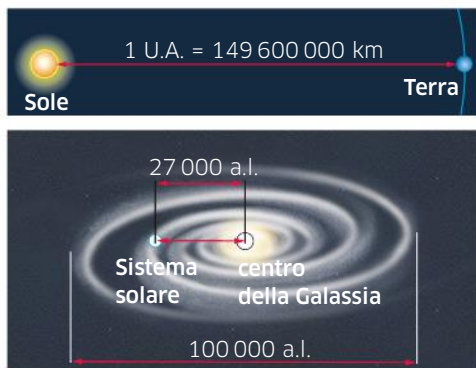
Quando osserviamo il cielo notturno abbiamo l'impressione di trovarci sotto una volta scura sulla quale sono proiettati miriadi di punti luminosi. Questi punti sono i **corpi celesti**, come le *stelle* e i *planeti*, e dalla loro osservazione possiamo capire come è fatto lo spazio in cui si muovono e in cui si muove anche la Terra.

Durante la notte le stelle si muovono tutte insieme, dando l'impressione di far parte di un'enorme sfera – la **Sfera celeste** – che ruota attorno a noi.

Se potessimo seguire per 24 ore il percorso delle stelle (cosa impossibile a causa della luce del Sole durante il dì) vedremmo che solo un punto della Sfera celeste – detto **Polo nord celeste** – resta fermo, mentre le stelle nei suoi dintorni compiono una rotazione completa attorno a esso.

In realtà è la Terra che si muove in senso contrario a quello apparente della Sfera celeste, compiendo in un periodo di circa 24 ore una rotazione completa attorno a un asse ideale che passa per il centro della Terra. Il moto dei corpi celesti è quindi un **moto apparente**.





In Astronomia le distanze sono talmente grandi che per esprimerle sono state definite nuove unità di misura della lunghezza. L'**unità astronomica** (U.A.) corrisponde alla distanza media tra la Terra e il Sole, cioè a $1,496 \times 10^{11}$ m, e si usa all'interno del Sistema solare. Per esprimere distanze molto maggiori si è presa come riferimento la distanza percorsa dalla luce in un anno, detta **anno-luce** (a.l.). Questa distanza è pari a $9,461 \times 10^{15}$ m. Poiché la luce emessa da una stella impiega a raggiungere la Terra un numero di anni che corrisponde alla sua distanza in anni-luce, vediamo la stella com'era quando la luce è partita da tale distanza. Per esempio, se osserviamo un oggetto celeste lontano un miliardo di anni-luce, vediamo com'era un miliardo di anni fa.



Questa immagine è stata ottenuta lasciando l'obiettivo della camera aperto molto a lungo per registrare il percorso apparente compiuto dalle stelle in cielo nel corso di diverse ore.

GUARDA IL VIDEO



Stelle in rotazione



PRIMA DI GIRARE PAGINA

1. Quanto tempo impiega la Sfera celeste a compiere una rotazione apparente completa?
2. Perché non vediamo muoversi la Stella polare durante la notte?

2

Le stelle

PER FARSI UN'IDEA

Per la maggior parte, i punti luminosi che vediamo nel cielo notturno sono stelle, cioè corpi gassosi ad altissima temperatura, che emettono energia sotto forma di onde elettromagnetiche.

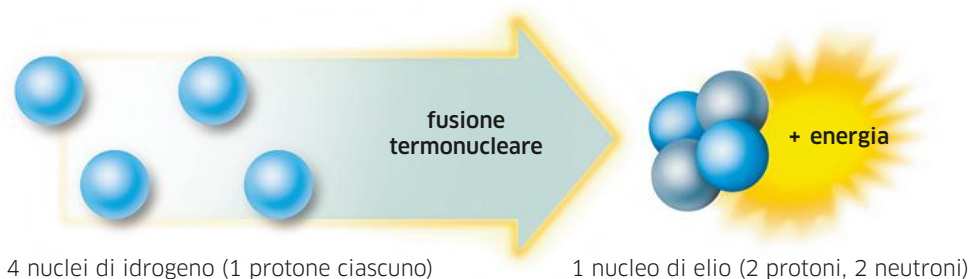


A ■ Reazioni termonucleari

Le stelle emettono energia in conseguenza delle reazioni nucleari che avvengono al loro interno.

Per capire che cosa accade nel centro delle stelle dobbiamo ricordare che la materia è costituita da atomi, nei quali c'è il nucleo, formato da protoni e neutroni.

Nella **fusione termonucleare** 4 nuclei di idrogeno danno origine a un solo nucleo di elio. Nel corso della reazione, viene emessa una grandissima quantità di energia.



B ■ Luminosità e magnitudine

La quantità di energia elettromagnetica emessa dalla superficie di una stella è detta **luminosità** e dipende dalle sue dimensioni e dalla sua temperatura superficiale.

La luminosità di una stella è espressa dalla **magnitudine assoluta**.

Più una stella è luminosa, più la sua magnitudine è bassa. Tra due successivi gradi di magnitudine esiste una differenza di luminosità pari a 2,5 volte: quindi una stella di magnitudine 1 è 2,5 volte più splendente di una stella di magnitudine 2. Per oggetti molto luminosi sono state introdotte anche magnitudini negative.

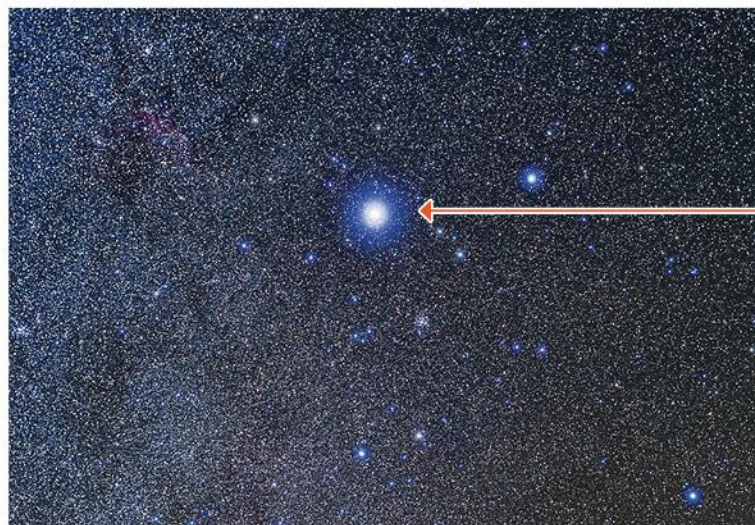
Poiché ai nostri occhi le stelle appaiono di diversa luminosità, anche a causa della distanza che ci separa da esse, è necessario considerare, oltre alla **magnitudine assoluta**, anche la **magnitudine apparente**.

La **magnitudine apparente** indica la luminosità di una stella come *appare* dalla Terra: per esempio, il Sole ha magnitudine apparente $-26,8$. Ma questa non è la misura della sua effettiva luminosità.

Per confrontare la luminosità di stelle poste a distanze differenti da noi va misurata la magnitudine assoluta, cioè la quantità di energia luminosa effettivamente emessa. Per fare ciò, una volta misurata la magnitudine apparente di una stella, si calcola quale magnitudine essa avrebbe se si trovasse a una distanza standard dalla Terra (fissata in 32,6 anni-luce). Si è sco-

perto così che la magnitudine assoluta del Sole è appena 4,8: se il Sole si trovasse a 32,6 a.l. di distanza dal nostro pianeta, apparirebbe simile alle più fioche stelle che riusciamo a distinguere a occhio nudo.

Calcola Quante volte è più luminosa una stella di magnitudine 1 rispetto a una stella di magnitudine 3?



Sirio, la stella più luminosa del cielo notturno con $-1,4$ di magnitudine apparente, deve questo primato alla vicinanza con la Terra e non a una luminosità effettivamente maggiore delle altre stelle (la sua magnitudine assoluta è solo 1,4).

C ■ Temperatura e colore

Dalla *temperatura superficiale* di una stella dipende, oltre che la sua luminosità, anche il suo **colore**.

Le stelle di colore blu sono quelle più calde: la loro temperatura superficiale arriva a 30 000 °C. Nella scala delle temperature sono seguite dalle stelle bianche, nelle quali si raggiungono i 10 000 °C. Le stelle bianche sono più calde, in superficie, di quelle gialle, che a loro volta sono più calde delle arancioni. Le stelle rosse, con la loro temperatura superficiale di 3000 °C, sono le stelle più fredde.



Le stelle della costellazione di Orione hanno tutte temperature superficiali elevatissime e colori molto simili (azzurro e blu); l'unica eccezione è *Betelgeuse*, che ha una temperatura superficiale più bassa, evidenziata dal colore rosso/arancio.

D ■ Le costellazioni

Fin dall'antichità, alcune delle stelle più brillanti del cielo notturno sono state associate in gruppi, per individuarle più facilmente. Questi raggruppamenti si chiamano **costellazioni** e sono indicate con nomi di fantasia. Non hanno alcun significato reale, in quanto mettono assieme, per un effetto dovuto alla prospettiva, stelle tra loro lontanissime e indipendenti.

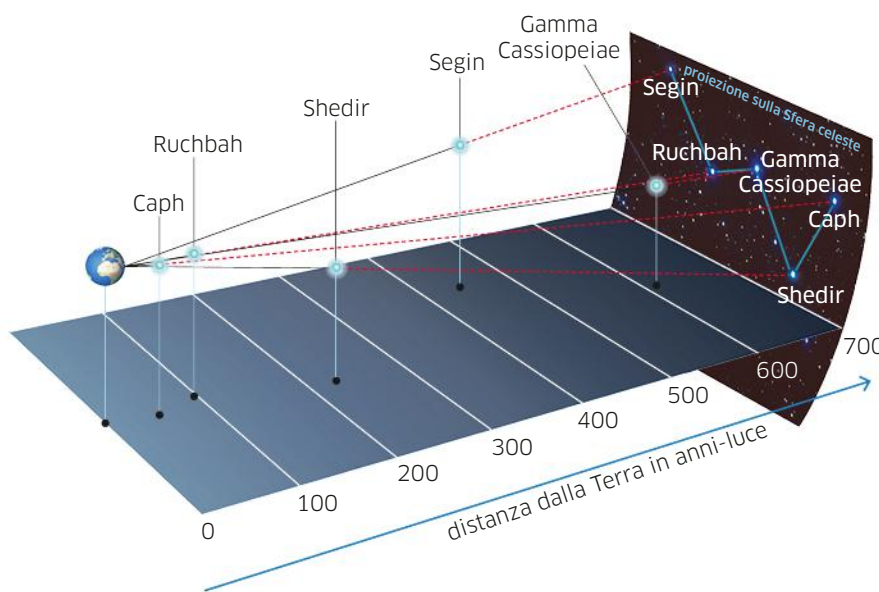
Nel corso dell'anno il Sole sembra assumere posizioni diverse sullo sfondo delle stelle che appaiono fisse, ritornando dopo un anno esatto al punto di partenza. Que-

sto spostamento è dovuto al moto della Terra lungo la sua orbita attorno al Sole.

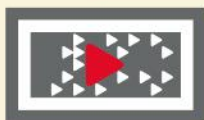
La traiettoria apparente descritta dal Sole sulla sfera celeste è detta **Eclittica** e «attraversa» le 12 costellazioni dello **Zodiaco**.

La divisione dello Zodiaco in 12 zone equivalenti, dette «segni», che prendono il nome dalle costellazioni, è stata stabilita dall'astronomo greco Ipparco attorno al 150 a.C. Oggi i periodi dell'anno che vengono fatti corrispondere ai diversi segni non rispecchiano più il moto apparente del Sole rispetto alle costellazioni, a causa di complesse variazioni nei movimenti della Terra.

DENTRO L'IMMAGINE La costellazione di Cassiopea vista dalla Terra



GUARDA IL VIDEO



Luminosità delle stelle



PRIMA DI GIRARE PAGINA

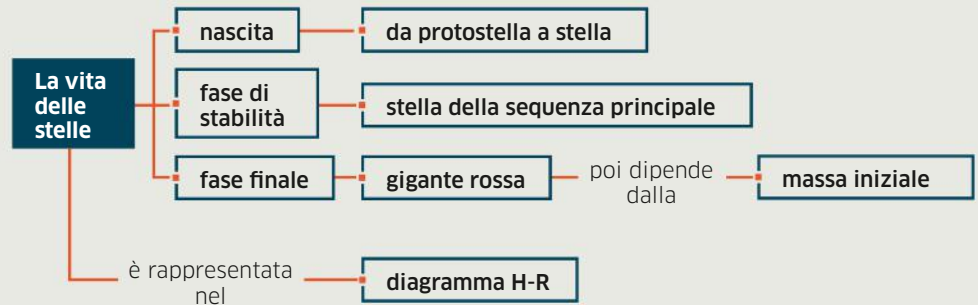
1. Come si produce energia durante la reazione termonucleare nelle stelle?
2. Qual è la differenza tra la magnitudine apparente e la magnitudine assoluta di una stella?
3. Da che cosa dipende il colore di una stella?
4. Che cosa sono le costellazioni?
5. Perché per catalogare alcune stelle è stato necessario aggiungere magnitudini negative?
6. Perché la magnitudine apparente del Sole è più piccola della sua magnitudine assoluta?

3

L'evoluzione delle stelle

PER FARSI UN'IDEA

Le stelle si originano da aggregazioni di polveri e gas nelle nebulose. Nel corso della loro vita evolvono in una serie di stadi successivi che dipendono dalla loro massa iniziale.



A ■ Le nebulose e la nascita delle stelle

Le stelle nascono nelle **nebulose**, nubi costituite da polveri finissime e gas freddi (dei quali il 90% è idrogeno) diffuse nello spazio cosmico.

Se in una nebulosa si innescano dei moti turbolenti, le particelle di alcune sue zone si aggregano in nuclei oscuri, detti **globuli di Bok**, nei quali avviene il processo di formazione stellare. All'interno dei globuli la contrazione fa aumentare la

temperatura e la nube si trasforma in una **protostella**. A causa della forza di gravità, la contrazione prosegue e il nucleo della protostella si riscalda sempre più.

Se la massa dei gas aggregati è scarsa (molto inferiore a quella dei gas che formano il Sole) non si forma una stella, bensì una **nana bruna**, o «stella mancata».

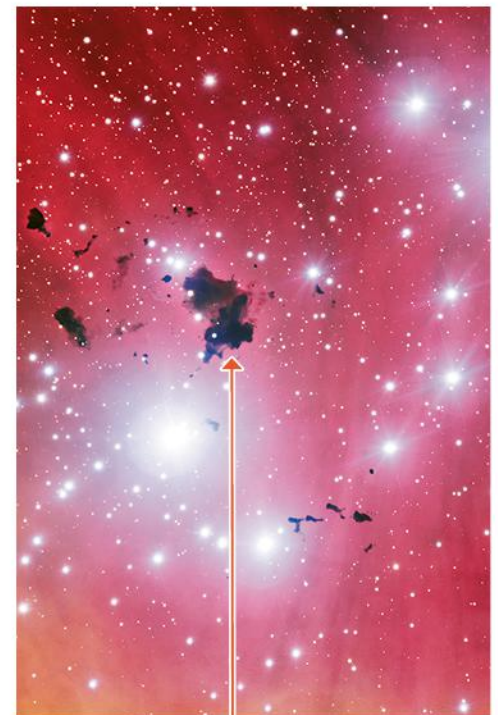
Se invece la massa è sufficientemente elevata, la temperatura al centro della protostella diventa così alta (fino a 15 milioni di gradi) da innescare le reazio-

ni termonucleari che trasformano l'idrogeno in elio e avviano l'emissione di energia che fa espandere i gas verso l'esterno, fino a compensare la forza di gravità. L'astro raggiunge così una **fase di stabilità** – la fase più lunga della sua evoluzione – che può durare da milioni a miliardi di anni.

Collega Perché, in una protostella, quando l'idrogeno si trasforma in elio si produce una grande quantità di energia che provoca l'espansione dei gas verso l'esterno?



Immagine di una regione di formazione stellare nella Nebulosa della Carena (a 7600 a.l. dalla Terra), catturata dal telescopio spaziale James Webb. A questa zona della nebulosa è stato dato il suggestivo nome di *Scogliere Cosmiche*.



Globulo di Bok nella costellazione del Centauro.

B ■ Stadi dell'evoluzione stellare

Una volta terminata la fase della formazione, la **stella adulta**, cioè in fase di stabilità, emette energia derivata dalla combustione nucleare dell'idrogeno.

Quando quasi tutto l'idrogeno è consumato e l'elio si è accumulato nel nucleo della stella, le reazioni termonucleari rallentano. La forza di gravità non è più bilanciata dall'energia emessa dalla stella e il nucleo si contrae.

La contrazione provoca un aumento della temperatura nella zona centrale della stella, sufficiente a innescare nuove reazioni termonucleari che trasformano l'elio in carbonio e liberano una quantità di energia maggiore di quella prodotta precedentemente. A causa dell'elevata temperatura, la stella si dilata e la sua superficie – allontanandosi dal centro dell'astro – si

raffredda, finché la forza di gravità ferma l'espansione e si raggiunge un nuovo equilibrio. La stella è entrata così nella fase di **gigante rossa**.

Quando anche l'elio è esaurito, l'evoluzione dipende dalla *massa iniziale* della stella (cioè quella che aveva nella fase di stabilità): se la massa è piccola la stella rimane meno calda e vive più a lungo; se la massa è grande diventa più calda e consuma l'idrogeno più rapidamente. Vediamo quattro casi rappresentativi.

1. Stelle con una massa iniziale di poco inferiore a quella del Sole collassano trasformandosi in **nane bianche**, sfere delle dimensioni della Terra, destinate a raffreddarsi lentamente.

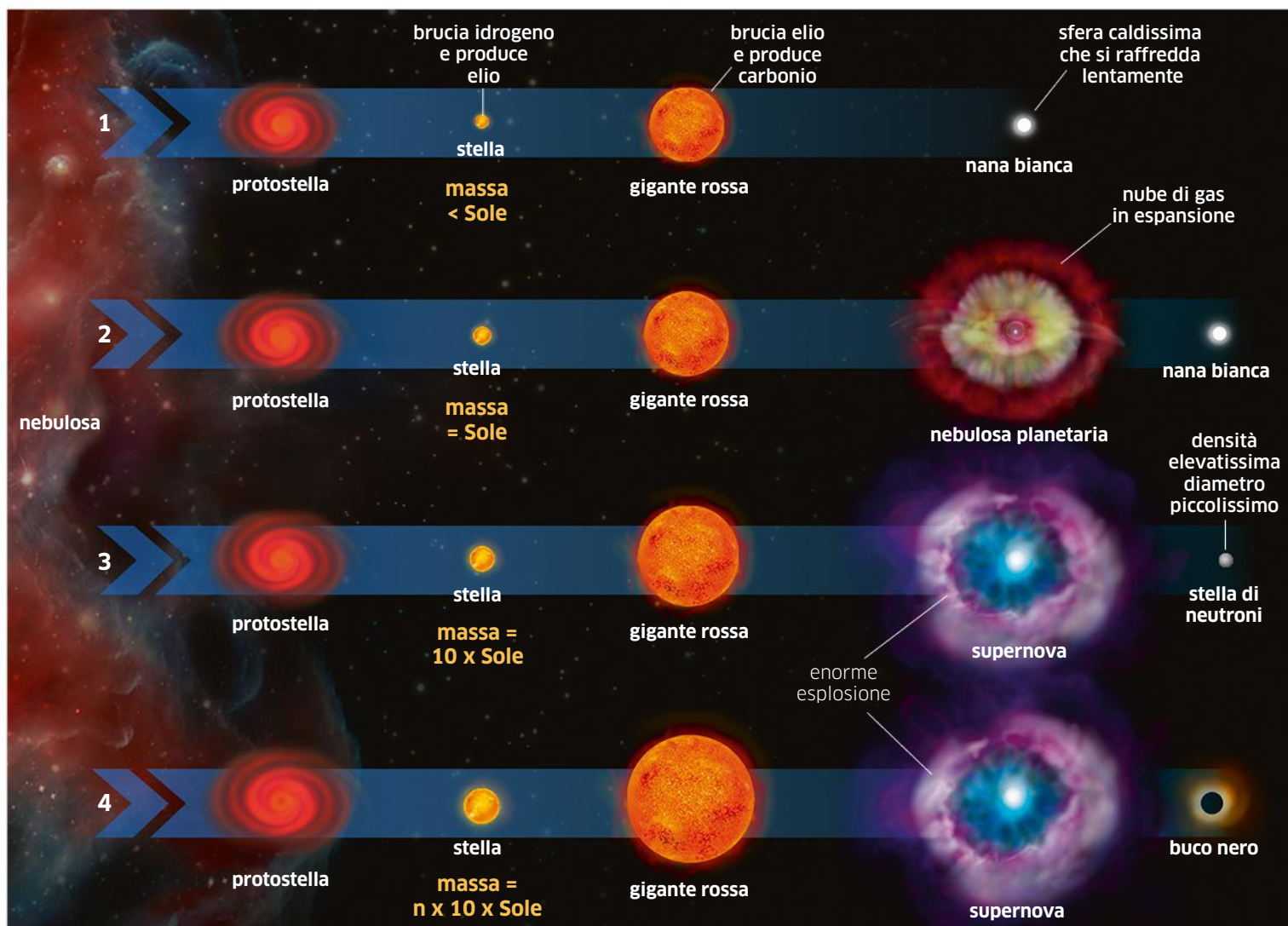
2. Se la massa iniziale è come quella del Sole o di poco superiore, prima di diventare nane bianche le stelle possono espellere i loro strati più esterni, dando origine

a nubi di gas in espansione che sono dette **nebulose planetarie**.

3. Una stella con massa iniziale 10 volte quella del Sole, collassando esplose in modo violentissimo: gran parte del materiale della stella, definita **supernova**, è disperso nello spazio. Il materiale rimasto assume densità elevatissima e diventa una **stella di neutroni**, del diametro di soli 20-30 km.

4. Se la massa della stella iniziale è superiore a decine di masse solari, la stella di neutroni che resta dopo l'esplosione della supernova è così densa che si forma un **buco nero**.

Rifletti Le trasformazioni che una stella subisce dipendono dalla massa iniziale di materia. Perché tale massa è espressa con riferimento a quella del Sole? Pensa a che cosa si intende per «massa iniziale».



C ■ I buchi neri

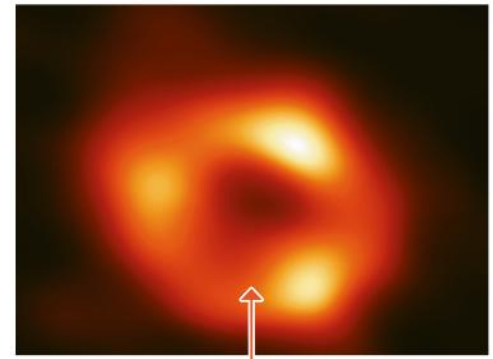
Alla fine della vita di una stella la cui massa iniziale è pari ad alcune decine di volte quella del Sole, dopo la fase di supernova, il collasso dei materiali causato dalla forza di gravità è inarrestabile e prosegue oltre lo stadio di stella di neutroni: si forma un corpo estremamente denso e freddo, detto **buco nero**. È come se una piccola porzione di spazio si trasformasse in un **vortice gravitazionale** in grado di attirare e far scomparire dentro di sé qualunque oggetto o particella entri nel suo campo d'azione.

Poiché questo vale anche per la luce, tale corpo non può essere osservato direttamente: la sua presenza può essere rilevata soltanto a causa delle perturbazioni che il suo campo gravitazionale fortissimo provoca nello spazio circostante.

Nell'aprile 2019 una rete di 8 radiotelescopi distribuiti sulla Terra ha fornito per la prima volta l'immagine di un buco nero. Viene dal cuore della galassia M87, lontana 57 milioni di anni-luce da noi. Non è una fotografia, perché da quello che appare come un cerchio nero all'interno della zona illuminata non esce nulla. La materia che il buco nero attrae in un gigantesco vortice, però, viene accelerata a tal punto che l'attrito tra le particelle coinvolte libera enormi quantità di energia, che si irradia nell'Universo e che i telescopi hanno raccolto.

Il 12 maggio 2022, dopo anni di attesa, è stata presentata al mondo l'immagine di Sagittarius A*, il buco nero supermassiccio che si trova al centro della nostra Galassia a 26 000 a.l. dalla Terra. Questa immagine, ottenuta dalla rete internazionale di radio-

telescopi chiamata Event Horizon Telescope, è la prima prova visiva diretta a sostegno dell'ipotesi della presenza di un buco nero al centro della Via Lattea.



Prima immagine del buco nero al centro della nostra Galassia. L'energia irradiata e raccolta dai telescopi è rappresentata in rosso; la zona scura al centro è dove il vortice scompare e non riemerge nulla.

D ■ Il diagramma H-R

Il rapporto tra luminosità e temperatura superficiale delle stelle (dalla quale dipende il loro colore) può essere rappresentato con un grafico: il **diagramma H-R**, il cui nome viene dalle iniziali dei due astronomi, Hertzsprung e Russell, che lo hanno ideato.

La posizione delle stelle sul diagramma H-R dipende dalla fase di evoluzione in cui esse si trovano. Occorre fare attenzione e non equivocare: i vari gruppi di stelle che sono riportate nel diagramma corrispondono a stelle che si trovano in questo momento in fasi diverse dell'evoluzione stellare.

Durante la fase «adulta» della loro vita, che è la *fase di stabilità*, le stelle si raccolgono in grandissima parte in una fascia, in diagonale nel diagramma, che viene chiamata **sequenza principale**.

Nella sequenza principale le stelle risultano disposte secondo un ordine regolare, da quelle blu, più calde e con massa maggiore (circa 50 volte quella del Sole), in alto a sinistra, fino a quelle rosse, più fredde e di massa minore (1/10 di quella del Sole), in basso a destra.

Il Sole si trova in una posizione intermedia della sequenza principale, come una *stella gialla*.

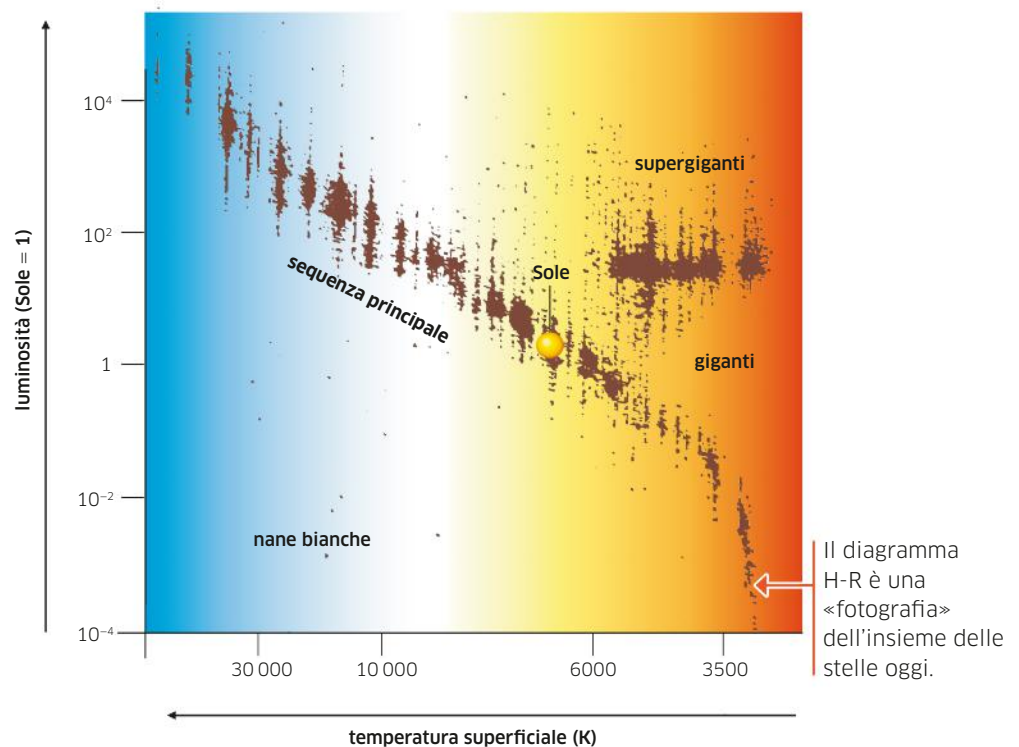
Nella parte in alto a destra del diagram-

ma H-R compaiono le stelle *giganti rosse*: esse hanno la stessa temperatura superficiale, e quindi lo stesso colore, delle stelle rosse che si trovano nella sequenza principale, ma rispetto a queste sono molto più grandi e più luminose. Alcune di queste stelle sono così grandi da essere chiamate *supergiganti rosse*.

Le *nane bianche* infine occupano la par-

te in basso a sinistra del diagramma: hanno la stessa temperatura delle stelle bianche della sequenza principale, ma sono molto meno luminose, perché sono molto più piccole.

Collega Perché nel diagramma H-R le stelle sono disposte per la maggior parte lungo la sequenza principale?

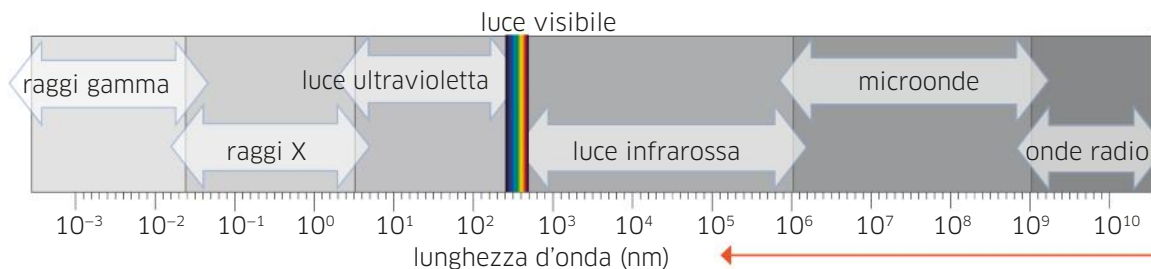


Il diagramma H-R è una «fotografia» dell'insieme delle stelle oggi.

E ■ La radiazione elettromagnetica

Per conoscere la composizione e le altre caratteristiche dei corpi celesti, gli astronomi studiano le **onde elettromagnetiche** che i vari oggetti emettono oppure riflettono.

Il grafico della radiazione elettromagne-



Le radiazioni vengono suddivise in funzione della loro *lunghezza d'onda*, cioè la distanza tra un punto qualsiasi di un'onda e il suo corrispondente nell'onda successiva. La lunghezza d'onda può variare da molti metri a frazioni di nanometri (nm), cioè miliardesimi di metro.

tica ci mostra che la luce visibile ai nostri occhi corrisponde solamente a una piccola parte dello spettro elettromagnetico conosciuto.

Gli oggetti celesti emettono infatti anche radiazioni che hanno lunghezze d'onda minori della luce violetta (luce ultravioletta, raggi X, raggi gamma) e maggiori

della luce rossa (luce infrarossa, microonde, onde radio).

Gli strumenti moderni permettono agli astronomi di osservare l'Universo anche a tutte queste lunghezze d'onda, che i nostri occhi non sono in grado di percepire direttamente.

F ■ Strumenti astronomici

Per lo studio dell'Universo sono stati costruiti strumenti diversi a seconda del tipo di onde elettromagnetiche che si sono volute rilevare.

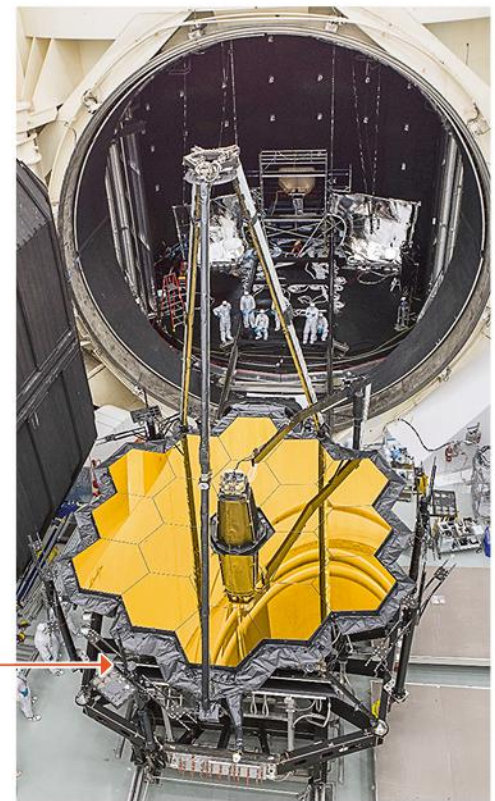
I **telescopi ottici**, per esempio, permettono di distinguere i dettagli di corpi celesti molto lontani ma operano soltanto nelle frequenze della luce visibile. Altri tipi di telescopi rilevano la presenza di onde elettromagnetiche con lunghezze d'onda più piccole o più grandi della luce visibile, e quindi invisibili ai nostri occhi: per esempio, per registrare le onde radio sono stati costruiti i **radiotelescopi**.

Per studiare le onde elettromagnetiche, bisogna anche tener conto di come queste interagiscono con l'atmosfera della Terra. I raggi gamma, per esempio, vengono bloccati dalla nostra atmosfera e non riescono a raggiungere il suolo. Questo è stato un bene per la nascita della vita sulla Terra, però significa che un telescopio che

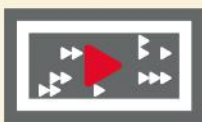
voglia rilevarli non può essere posizionato sulla superficie terrestre. Per questo motivo i telescopi **spaziali** si trovano in orbita intorno alla Terra. Tra questi, ricordiamo il Telescopio Spaziale Hubble che è in orbita dal 1990 ed è stato il primo ad «allargare» la nostra visione dell'Universo e il telescopio James Webb, il più grande telescopio mai inviato nello spazio.

Nel 2023 è stato mandato in orbita il telescopio spaziale **Euclid**, realizzato dall'Agenzia Spaziale Europea, che produrrà una grande mappa dell'Universo osservando galassie distanti fino a 10 miliardi di anni luce da noi.

Il telescopio spaziale James Webb è un telescopio a raggi infrarossi. Contiene uno specchio di 6,4 metri di diametro, formato da 18 pannelli esagonali, e dal 2022 invia alla Terra immagini estremamente dettagliate dell'Universo profondo.



GUARDA I VIDEO



L'evoluzione di una stella



Il diagramma H-R



PRIMA DI GIRARE PAGINA

1. Che cos'è una nebulosa?
2. Che cosa sono i globuli di Bok?
3. Che cosa accade a una stella quando consuma tutto l'idrogeno contenuto nel suo nucleo?
4. Quali saranno i due possibili stadi evolutivi di una stella come il Sole prima di diventare una nana bianca?
5. Perché non è possibile osservare direttamente un buco nero?
6. Perché nella fase di stabilità le dimensioni di una stella rimangono abbastanza costanti?
7. Quali sono le due principali caratteristiche con cui possiamo descrivere una stella?

4

Le galassie e l'Universo lontano

PER FARSI UN'IDEA

Nell'Universo esistono enormi aggregati di stelle, formati da centinaia di miliardi di corpi. Questi aggregati sono chiamati galassie e sono circondati da grandi distese di spazio vuoto.

Le galassie

sono

aggregati di stelle e materia interstellare

hanno

forme diverse

sono raggruppate in

ammassi o superammassi

A ■ Come sono fatte le galassie

Le **galassie** contengono centinaia di miliardi di stelle, tenute insieme dall'attrazione gravitazionale. Anche la Terra (con il Sistema solare) fa parte di una galassia.

L'esistenza di altre galassie fuori dalla nostra fu una scoperta dell'astronomo

Edwin Hubble negli anni Venti del Novecento. Con le sue osservazioni Hubble scoprì che le galassie possono avere varie forme, distinguendo tra galassie **ellittiche** e galassie **a spirale**.

La classificazione venne in seguito completata dalle galassie che hanno una for-

ma di **spirale barrata** e da quelle cosiddette **irregolari**.

Negli spazi apparentemente vuoti tra una stella e l'altra, polveri e gas formano la **materia interstellare** che, come abbiamo visto, spesso è concentrata in nebulose.



Galassia ellittica



Galassia a spirale



Galassia a spirale barrata



Galassia irregolare

B ■ La nostra Galassia

La galassia di cui fa parte il Sistema solare, insieme a tutte le stelle e le nebulose visibili dal nostro pianeta a occhio nudo, è chiamata **Galassia** (con la «g» maiuscola) o **Via Lattea**. Questo è anche il nome che diamo alla fascia luminosa che si vede in cielo nelle notti più buie, data dalla luminescenza delle stelle che fanno parte della Galassia ma sono troppo lontane per essere distinte singolarmente.

La nostra è una galassia a spirale barrata: ha la forma di un disco con un nucleo allungato, da cui partono lunghi bracci a spirale. Il suo diametro misura 100 000 a.l. circa.

La Galassia comprende oltre 100 miliardi di stelle. Tutte le stelle – del nucleo e

dei bracci – ruotano intorno al centro della galassia. Il Sole si trova in un braccio, detto «di Orione», e impiega circa 225 milioni di anni per fare un giro completo.

Rifletti In quanto pianeta del Sistema solare, anche la Terra ruota attorno al centro della Galassia: quanti milioni di anni impiega, all'incirca, per compiere un giro completo?

DENTRO L'IMMAGINE La Via Lattea

La Via Lattea vista dalla Terra nel cielo notturno.



La Galassia vista «di taglio»



C ■ Galassie in gruppo e in interazione

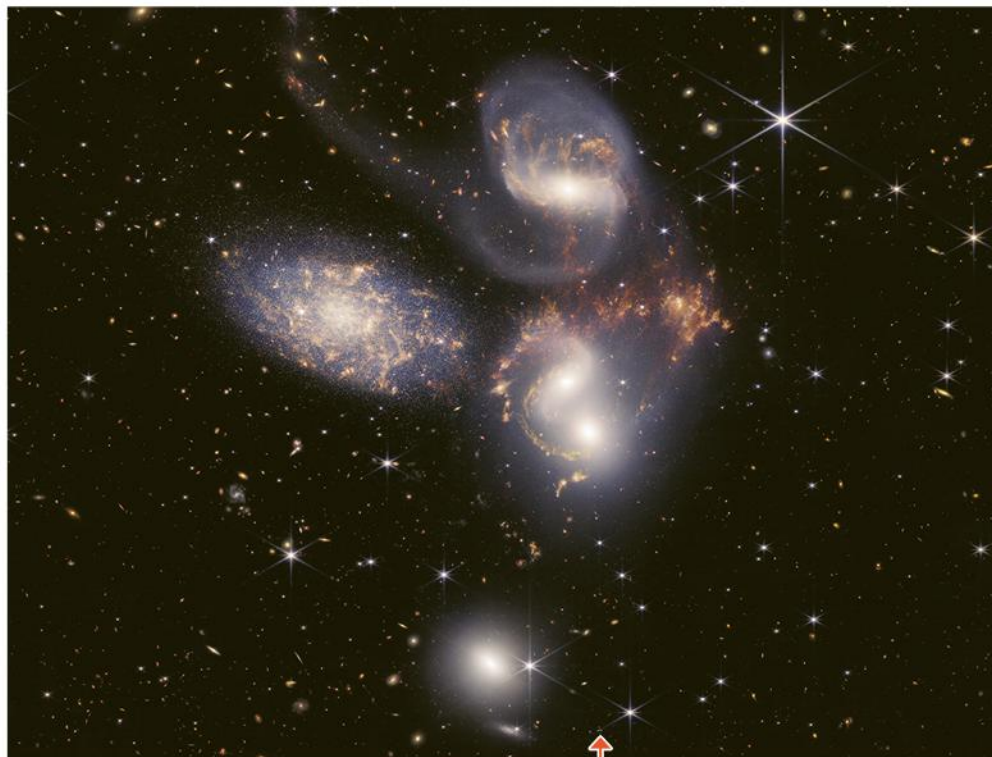
A causa dell'attrazione gravitazionale, le galassie tendono a riunirsi in **ammassi**.

Nel raggio di 3 milioni di anni-luce da noi è stata scoperta una ventina di galassie, che formano uno di questi ammassi, chiamato **Gruppo Locale**.

Gli ammassi di galassie sono, a loro volta, riuniti in gruppi: i **superammassi**, circondati da immensi spazi vuoti.

Uno dei campi di studio dell'astronomia indaga le posizioni reciproche delle galassie e dei loro ammassi. Da questi studi è emerso che la distribuzione nello spazio di ammassi e superammassi di galassie non è uniforme: è come se le galassie fossero distribuite lungo la superficie di enormi «bolle» di spazio vuoto, componendo su scala globale un Universo dalla struttura «spugnosa».

Molte galassie mostrano inoltre segni evidenti di **interazione** con le galassie vicine. Quando due galassie sono abbastanza vicine da risentire della reciproca attrazione gravitazionale, si mettono in orbita l'una attorno all'altra e man mano cominciano a deformarsi e disgregarsi reciprocamente. In alcuni casi, le due galassie possono



sono fondersi, dando origine a una galassia più grande e generalmente con una forma diversa.

La galassia più vicina alla nostra, e destinata molto probabilmente a unirsi a essa, è Andromeda.

Le galassie del Quintetto di Stephan, in un'immagine costruita combinando migliaia di scatti prodotti dal telescopio spaziale James Webb. Sebbene sia chiamato quintetto, solo le quattro galassie nella parte superiore dell'immagine, a circa 290 milioni di anni-luce da noi, sono in interazione tra loro.

D ■ Oggetti lontani

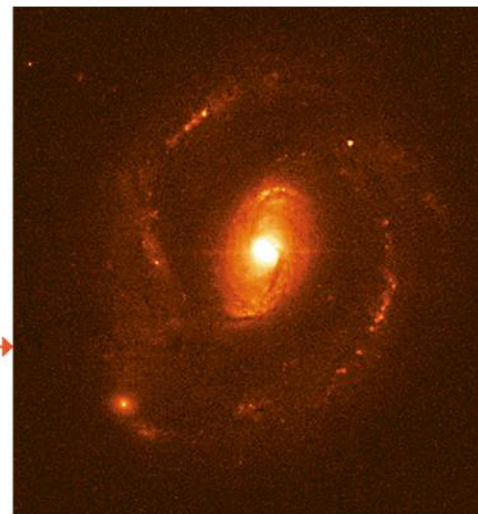
Dallo spazio arrivano segnali che hanno rivelato la presenza di oggetti straordinari, alcuni dei quali si trovano addirittura al di là delle galassie più lontane finora scoperte. Quei segnali sono emissioni di onde elettromagnetiche diverse dalla luce, in particolare onde radio, di grandissima intensità e fortemente concentrate, provenienti da corpi che sembrano stelle e per questo sono stati denominati **quasar** (*quasi stellar radio source*); il più lontano finora osservato si trova a oltre 10 miliardi di anni-luce.

Secondo alcuni modelli, l'emissione di onde da parte di questi oggetti è dovuta alla presenza di un «motore» centrale responsabile dell'enorme energia prodotta. Questo motore potrebbe essere un buco nero con massa miliardi di volte più grande di quella del nostro Sole.

Si suppone che ce ne sia uno al centro di ogni galassia.

I buchi neri di questo tipo sono detti *supermassicci*, come quello che si troverebbe al centro della nostra Galassia. Potrebbero essersi formati per *accrescimento* di materia (il processo per cui il buco nero continua a «inglobare» oggetti intorno a sé) o per *collisione e fusione* di buchi neri più piccoli, generati alla fine della vita delle stelle.

Un'immagine di quasar ripresa dal telescopio spaziale Hubble. Questo quasar si trova a 1,5 miliardi di anni-luce dalla Terra; si riconoscono i bracci della galassia all'interno della quale è collocato.



PRIMA DI GIRARE PAGINA

1. Quali sono le quattro forme in cui si classificano le galassie?
2. Dove si trova il Sistema solare all'interno della Via Lattea?
3. Come si dispongono le galassie nell'Universo?
4. Che cos'è un quasar?

5

L'origine dell'Universo

PER FARSI UN'IDEA

Per indagare l'origine e l'evoluzione dell'Universo si possono soltanto avanzare ipotesi: quella più accreditata è la teoria del *big bang*.

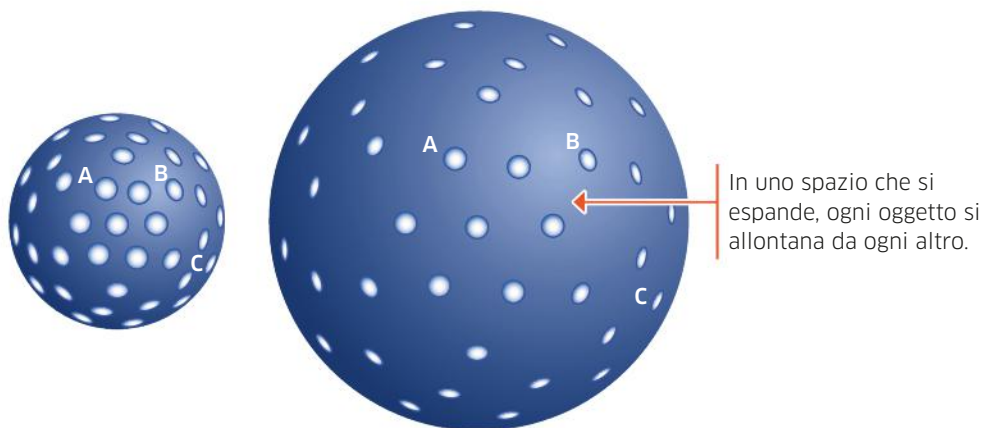


A ■ L'espansione dell'Universo

La **Cosmologia** è la scienza che studia l'origine e l'evoluzione dell'Universo. La Cosmologia è una scienza particolare: si basa su dati e ipotesi scientifiche, ma non permette la piena applicazione del metodo scientifico, perché le manca la possibilità di verificare la correttezza delle ipotesi formulate attraverso la verifica sperimentale. Quelle che vengono elaborate sono dunque teorie che rimangono valide finché non si scopre qualcosa che è in disaccordo con le previsioni teoriche. Quando questo succede si costruisce un nuovo modello, che di nuovo sarà valido fino a prova contraria.

Nel XX secolo sono state formulate diverse ipotesi sull'origine dell'Universo, basate sulle scoperte dell'astronomo Edwin Hubble.

Nel 1929, osservando alcune decine di galassie, Hubble fece una delle più grandi



scoperte del secolo: lo scienziato dedusse infatti che le galassie si stanno allontanando alla velocità di migliaia di km/s. Inoltre *le galassie si stanno allontanando con velocità tanto più alta quanto più sono lontane* (questa è la **legge di Hubble**).

Ciò può essere spiegato se si ammette che l'Universo sia in **espansione** nella sua globalità, per cui ogni oggetto che ne fac-

cia parte si allontana da ogni altro per il progressivo dilatarsi dello spazio. La legge di Hubble si è rivelata uno strumento formidabile; essa permette, tra l'altro, di calcolare distanze nello spazio più profondo e ha fornito un contributo fondamentale per stimare l'età dell'Universo.

Recenti scoperte hanno mostrato che l'espansione è in accelerazione.

B ■ Il big bang

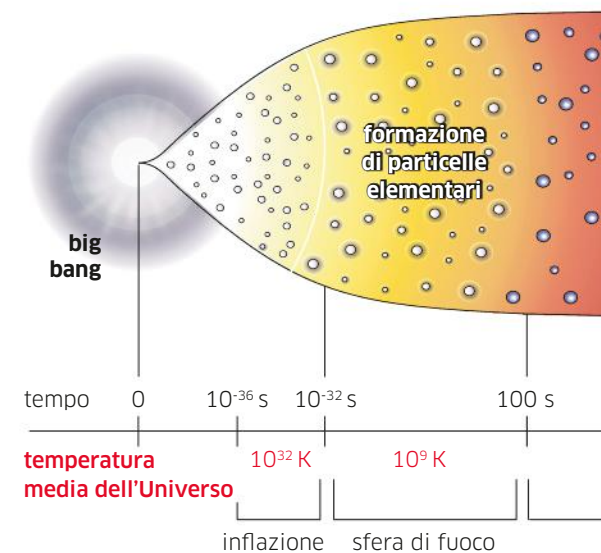
L'ipotesi più accreditata sull'origine dell'Universo, cioè quella che spiega meglio ciò che osserviamo, è la *teoria del big bang*.

La teoria – messa a punto alla fine degli anni Ottanta del secolo scorso – sostiene che l'allontanamento delle galassie e l'espansione dell'Universo sono dovuti a una «grande esplosione», il **big bang**, avvenuta circa 13,8 miliardi di anni fa. Prima del big bang, nell'*istante zero*, tutto ciò che oggi forma l'Universo si trovava in condizioni estreme e inimmaginabili: concentrato in un volume piccolissimo, con densità quasi infinita e temperature altissime. A un certo punto l'Universo ha cominciato a **espandersi** come dopo un'esplosio-

ne, dilatandosi e raffreddandosi miliardi e miliardi di volte.

Secondo la teoria, quando l'espansione rallentò, si formarono prima particelle elementari (elettroni, protoni e neutroni), poi, dopo i primi 3 minuti (a una temperatura di 10^9 K), i primi **nuclei atomici** (idrogeno ed elio).

L'Universo rimase a lungo un'impenetrabile nebbia di radiazioni e di particelle, finché, circa 380 000 anni dopo l'inizio – con temperature che erano scese attorno ai 3000 K – elettroni e nuclei si unirono, formando i primi **atomi** di idrogeno ed elio. Da allora, la materia si è separata dalla radiazione e ognuna ha seguito un destino diverso.



C ■ La radiazione cosmica di fondo

Dopo la separazione tra materia e radiazione, la materia si è sempre più raffreddata andando a formare strutture come le stelle e le galassie. Anche la radiazione primordiale di cui tutto l'Universo era «impregnato» si è raffreddata.

Nel 1964-65 due astrofisici americani, usando un'antenna molto sensibile, captarono casualmente un'emissione che proveniva con uguale intensità da tutte le direzio-

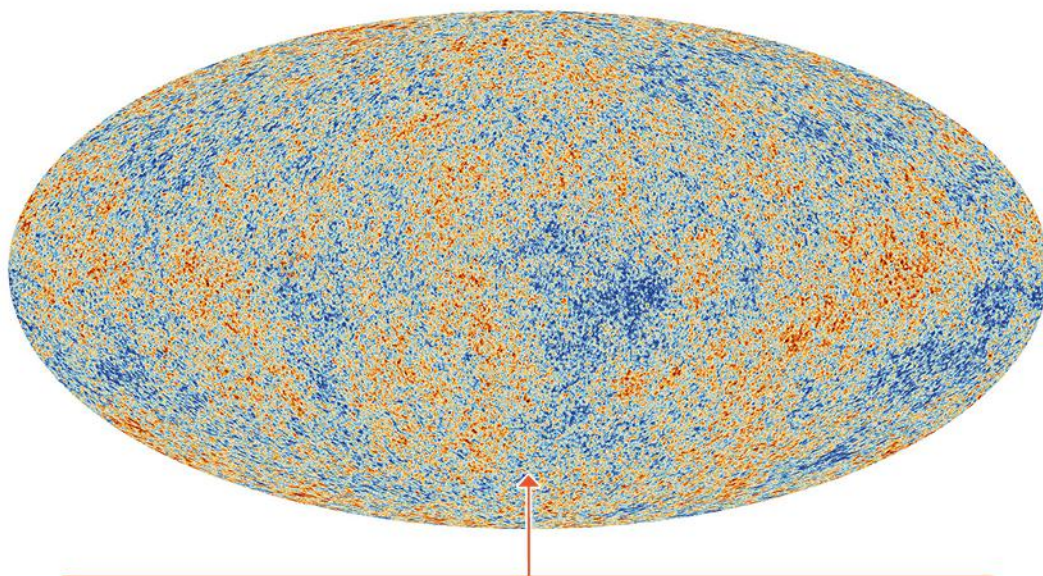
ni dello spazio, senza una sorgente specifica.

Quello che ai due scopritori era sembrato in un primo momento un «rumore» è la **radiazione cosmica di fondo**: la radiazione primordiale, che oggi si è raffreddata fino a circa 3 kelvin (-270 gradi centigradi). In un certo senso è l'immagine dell'Universo quando aveva «solo» 380 000 anni.

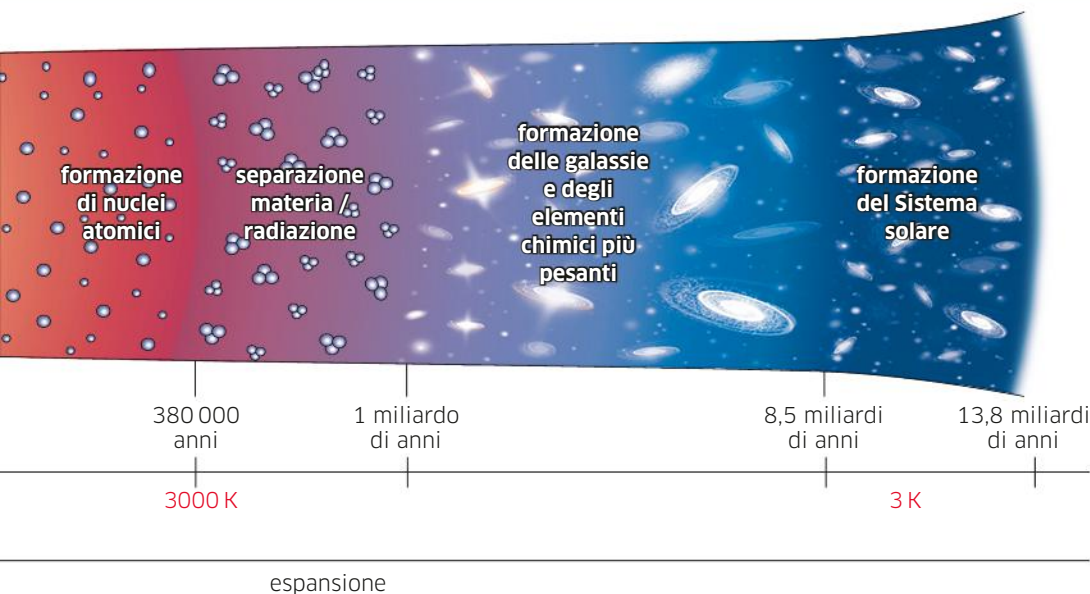
Dalla scoperta della radiazione cosmica di fondo, gli astronomi hanno cercato di individuare minuscole differenze di temperatura in questa radiazione che sembra-

va dovunque uguale, perché quelle differenze sono le «tracce» delle piccolissime **variazioni di densità** che la materia aveva prima di separarsi dalla radiazione e che l'hanno portata ad aggregarsi in strutture, come le galassie, invece di rimanere uniformemente distribuita.

Rifletti Perché le differenze di densità che la materia aveva prima di separarsi dalla radiazione hanno portato alla formazione delle galassie?



La radiazione cosmica, che all'inizio emetteva luce, oggi è molto più fredda ed emette microonde. Questa immagine dell'Universo, costruita raccogliendo microonde da ogni direzione dello spazio, mostra che la radiazione non è uniforme. Le aree in blu, a minore temperatura rispetto alla media, corrispondono a zone in cui la materia era un po' più densa; quelle in giallo e rosso, a temperatura maggiore, sono zone in cui la materia era un po' meno densa. Queste irregolarità sarebbero all'origine dello sviluppo delle galassie.



ATTIVITÀ

Universo di studenti in espansione

Dividendovi in classe in gruppi di sette persone, potete simulare l'espansione dell'Universo.

1. Posizionatevi su una linea, con le braccia lungo i fianchi, rimanendo a contatto.
2. Fate tutti insieme un passo alla vostra sinistra e osservate la situazione. Questo è ciò che accadrebbe se l'Universo si muovesse in maniera lineare.
3. Ora, restando allineati, con la persona al centro che rimane ferma, allargatevi in modo da aprire le braccia all'altezza delle spalle e da toccarvi solamente con la punta delle dita. Muovetevi tutti insieme, impiegando circa 2 secondi.
4. Osservate che cosa è successo, prendendo come riferimento la posizione centrale:
 - la persona a fianco di quella centrale si è spostata della distanza di 2 braccia in 2 secondi; quindi la sua velocità è 1 braccio al secondo;
 - la persona successiva si è spostata di 4 braccia in 2 secondi, dunque la sua velocità è 2 braccia al secondo;
 - con quale velocità si è spostata la persona ancora successiva?
5. Che relazione c'è quindi fra la distanza e la velocità? Immagina che l'«espansione» che avete simulato avvenga in ogni direzione: così si espande l'Universo.

PRIMA DI GIRARE PAGINA

1. Che cosa afferma la legge di Hubble?
2. Secondo la Teoria del big bang, quali erano le dimensioni dell'Universo nell'istante zero?
3. Che cosa accadde circa 380 000 anni dopo il big bang?
4. Quale tipo di onde emette la radiazione cosmica di fondo?

6

Che cos'è il Sistema solare

PER FARSI UN'IDEA

Il Sistema solare è un insieme di corpi celesti che comprende una stella - il Sole - attorno alla quale orbitano 8 pianeti e diversi corpi minori. Il Sistema solare si trova in uno dei bracci della nostra Galassia.



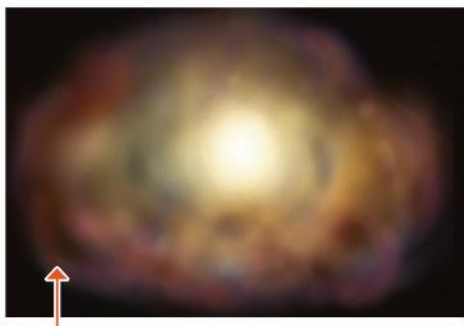
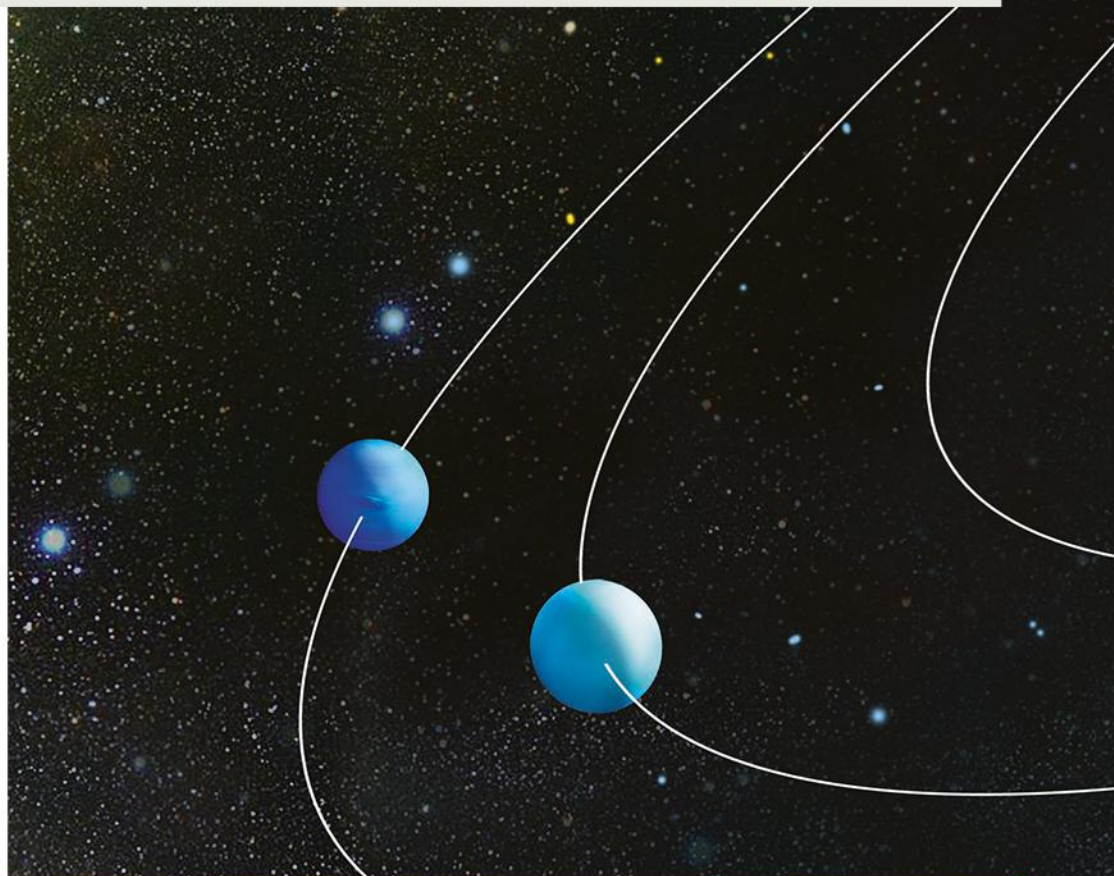
Il Sistema solare comprende:

- il **Sole**;
- 8 **pianeti**, che orbitano attorno a esso;
- oltre 100 **satelliti** che ruotano intorno ai pianeti;
- milioni di **asteroidi**, corpi prevalentemente rocciosi;
- innumerevoli masse ghiacciate che occasionalmente originano le **comete**.

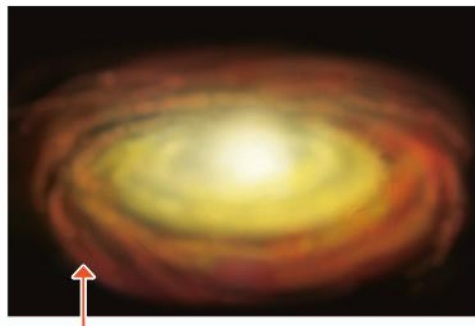
Lo spazio che si estende tra questi corpi del Sistema solare non è vuoto: vi si trova la **materia interplanetaria**, formata da gas e polveri rarefatte.

Il Sistema solare ha la forma di una nube sferica con un diametro di circa 3 anni-luce (circa 30 000 miliardi di chilometri). Il Sole e il sistema dei pianeti sono al centro della nube, dove ruotano in uno spazio a forma di disco.

Il Sistema solare ha iniziato a formarsi 4,6 miliardi di anni fa: è questa l'età massima dei frammenti arrivati sulla superficie terrestre (i **meteoriti**).



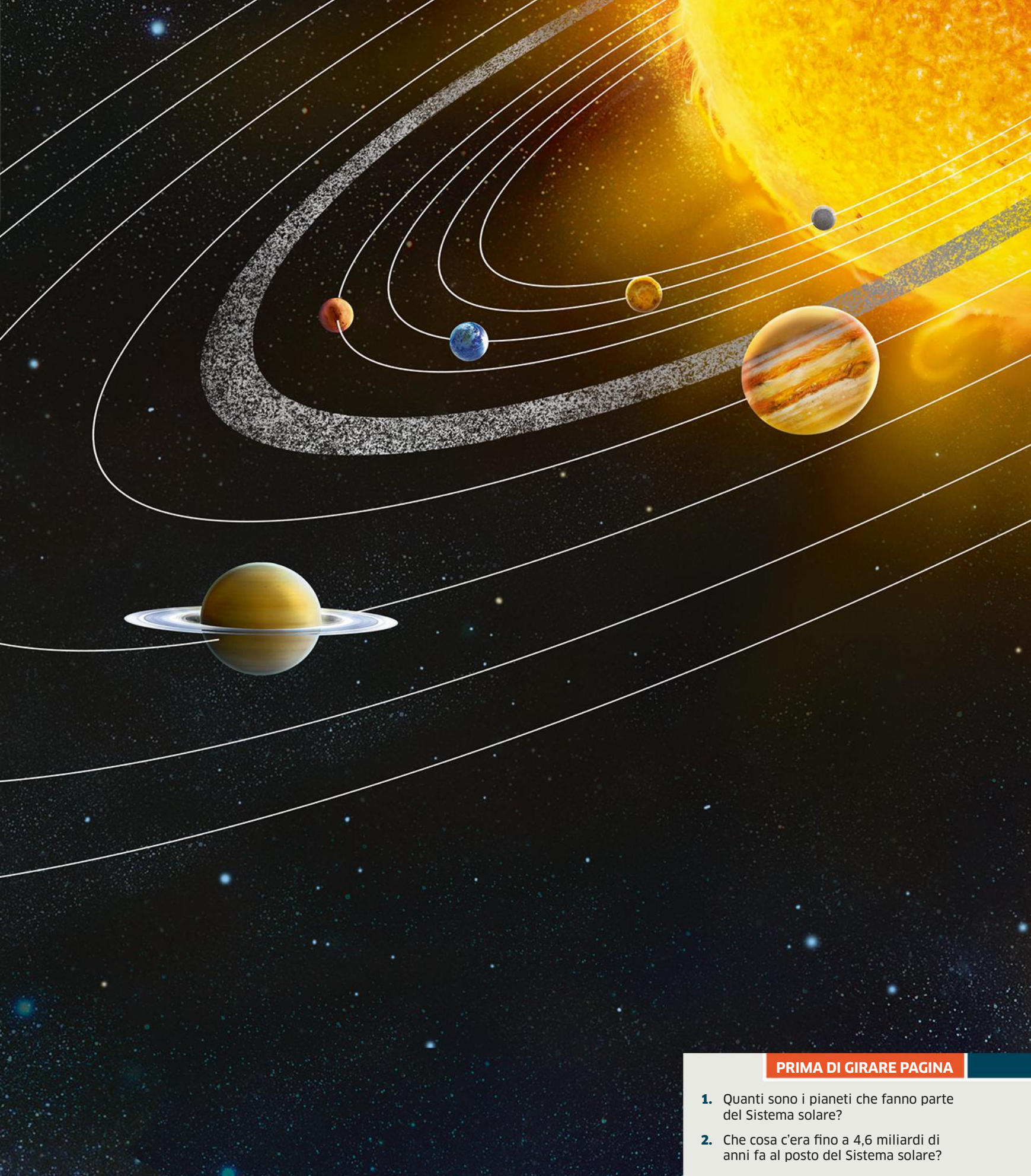
1 Si pensa che, fino a circa 4,6 miliardi di anni fa, dove oggi si trova il Sistema solare si trovasse una grande nebulosa: una fredda e rarefatta nube di gas e polveri finissime. La composizione chimica della nebulosa comprendeva idrogeno ed elio (diffusissimi nell'Universo).



2 Probabilmente l'esplosione di una supernova vicina fece collassare una porzione della nebulosa, trasformandola in un disco appiattito, al centro del quale crebbe un nucleo sempre più denso e caldo (il *proto-Sole*). Temperatura e densità aumentarono fino all'accensione di una stella (il *Sole*).



3 Nel disco, le collisioni tra granuli di ghiacci e polveri provocarono l'aggregazione di particelle e quindi la formazione di corpi di dimensioni via via maggiori: i *proto-pianeti*, che si aggregarono formando i *pianeti*. Il processo di formazione dei pianeti durò circa 10 milioni di anni.



PRIMA DI GIRARE PAGINA

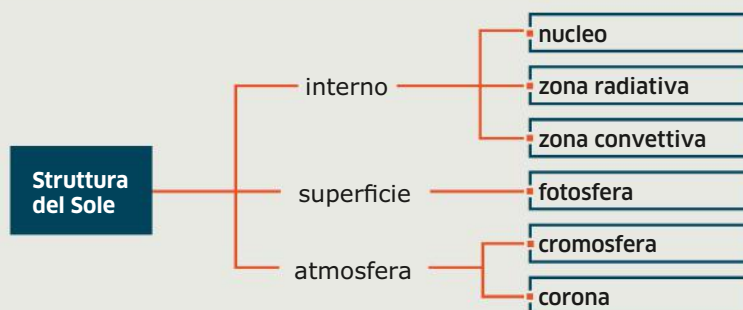
1. Quanti sono i pianeti che fanno parte del Sistema solare?
2. Che cosa c'era fino a 4,6 miliardi di anni fa al posto del Sistema solare?

7

Il Sole

PER FARSI UN'IDEA

Come tutte le stelle, il Sole è una grande sfera costituita da sostanze gassose, soprattutto idrogeno ed elio. Con la trasformazione dell'idrogeno in elio, il Sole produce un'elevatissima quantità di energia.



A ■ Com'è fatto il Sole

Il Sole ha un **raggio** di 700 000 km (circa 110 volte più grande di quello terrestre), un **volume** di $1,4 \times 10^{18} \text{ km}^3$ (1 300 000 volte quello della Terra) e una **densità media** di $1,4 \text{ g/cm}^3$ (circa 4 volte inferiore a quella della Terra).

In questi ultimi decenni numerose osservazioni hanno permesso di individuare la *struttura esterna* del Sole, cioè quella visibile. Le leggi della Fisica, applicate ai dati raccolti (su dimensioni, massa, densità ecc.), hanno consentito di ipotizzarne la *struttura interna*, che risulta costituita da una serie di involucri concentrici.

Complessivamente, dall'interno verso l'esterno si distinguono le seguenti parti.

1. Il nucleo è la sede delle reazioni termoneucleari che convertono idrogeno in elio e producono energia termica. Le temperature raggiungono i 15 milioni di kelvin.

2. La zona radiativa è quella in cui l'energia prodotta dal nucleo viene assorbita dagli atomi di gas, che la trasferiscono verso lo strato più esterno.

3. La zona convettiva è attraversata da flussi di materia calda che salgono dalla parte a contatto con la superficie della zona radiativa e risprofondano dopo essersi raffreddati.

4. La fotosfera è la superficie del Sole e presenta una struttura a *granuli* costituiti da masse di gas (di circa 1000 km di diametro) il cui centro è più caldo delle zone

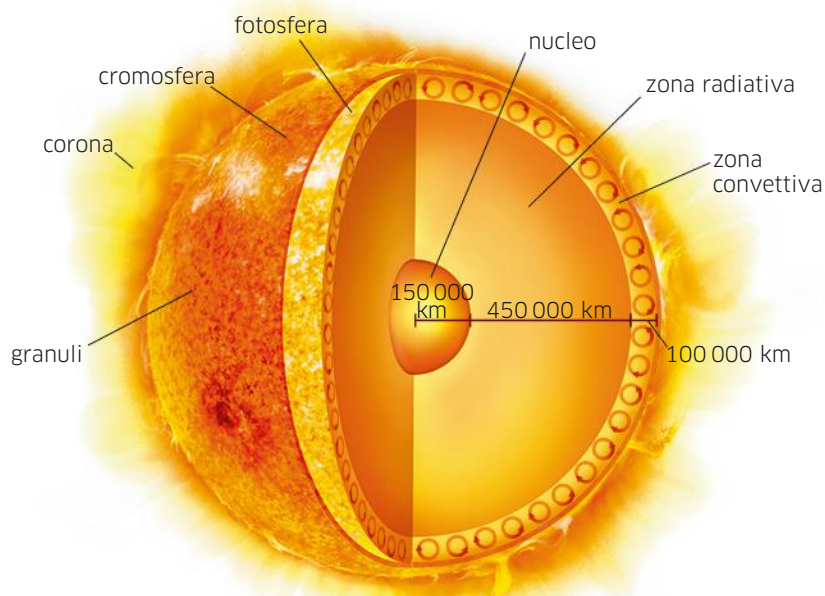
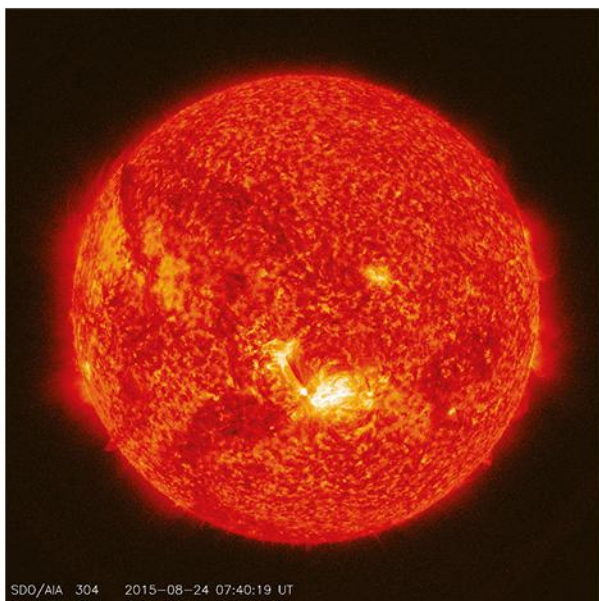
circostanti; essi corrispondono alla porzione superficiale di «colonne» di materiale caldo che risale attraverso la zona convettiva. La temperatura media della fotosfera è di 5785 K.

L'*atmosfera* del Sole è distinta in due strati.

5. La cromosfera è un involucro di gas incandescenti che avvolge la fotosfera. È possibile osservarla durante le eclissi totali di Sole, quando la Luna si trova tra la Terra e il Sole e nasconde la fotosfera.

6. La corona è la parte più esterna dell'atmosfera solare ed è un involucro di gas ionizzati (cioè gas i cui atomi possiedono una carica elettrica) che si estende per migliaia di chilometri. È visibile anch'essa soltanto durante le eclissi totali di Sole.

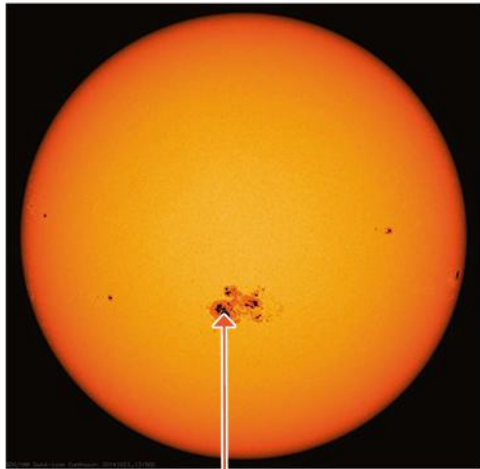
DENTRO L'IMMAGINE La struttura del Sole



B ■ L'attività solare

Esistono alcuni aspetti osservabili dell'attività della parte più esterna del Sole.

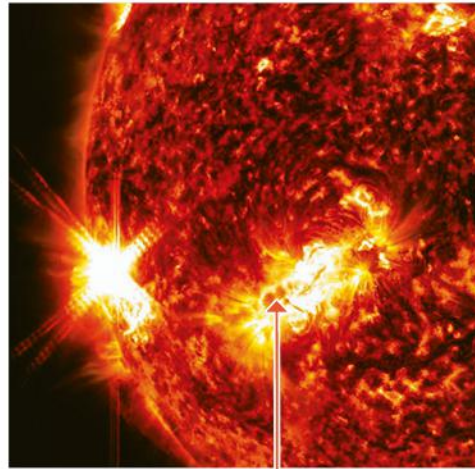
- Tra i granuli della *fotosfera* si possono vedere le **macchie solari**, aree meno calde che appaiono di colore più scuro per contrasto con il resto della fotosfera. Le macchie sono riunite in gruppi e hanno una vita di circa una settimana: dopo la comparsa aumentano di dimensioni, poi si riducono e si estinguono, mentre iniziano



Macchie solari sulla superficie del Sole

a svilupparsi nuovi gruppi. Il numero di macchie non è costante, ma passa da valori minimi (fino all'assenza di macchie) a valori massimi in cicli di 11 anni; sono abbondanti quando l'attività del Sole è più intensa.

- I **brillamenti** sono violente emissioni di energia alle quali si associano potenti scariche elettriche e un intenso flusso di particelle atomiche. Essi si generano nella fotosfera e possono arrivare a causare di-

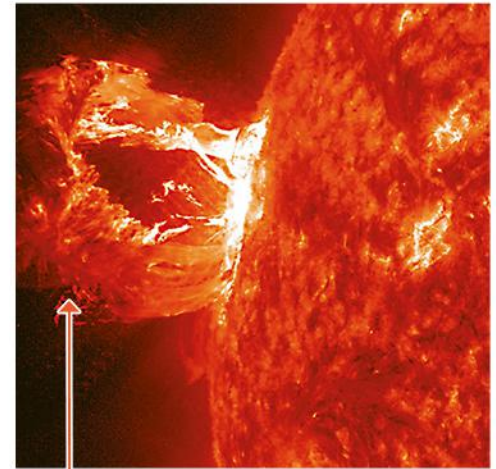


Due grandi brillamenti

sturbi alle telecomunicazioni sulla Terra.

- Le **protuberanze** sono lingue luminose di gas che si innalzano dalla *cromosfera* e raggiungono altezze variabili, spingendosi fino a 40 000 km.

- Il **vento solare** consiste in un flusso di elettroni, protoni e nuclei di elio o di altri elementi leggeri, emessi dal Sole, che viaggiano – in assenza di atmosfera – a una velocità piuttosto elevata (normalmente intorno ai 500 km/s).



Una protuberanza solare

C ■ L'energia solare

AGENDA 2030
7 La radiazione solare è la fonte primaria di **energia** per tutti gli esseri viventi: è indispensabile per la fotosintesi ed è il motore dei fenomeni atmosferici e di gran parte delle trasformazioni che avvengono sulla Terra.

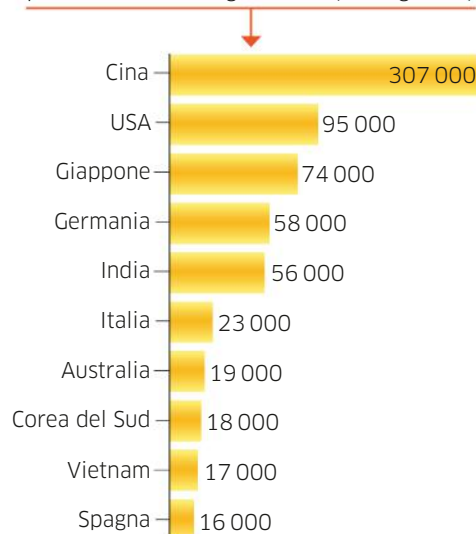
Il Sole emette in un secondo più energia di quanto l'umanità ne abbia consumata in tutta la storia. Purtroppo siamo in grado di sfruttarla per i nostri scopi solo in piccolissima parte. Sono stati ideati tre modi di utilizzo dell'energia solare.

1. I pannelli solari termici sono dispositivi che catturano l'energia solare per produrre acqua calda.

2. Le centrali termoelettriche convertono l'energia solare in energia meccanica tramite *collettori solari*: apparecchiature che concentrano la radiazione solare, grazie a lenti o specchi, sul contenitore di un fluido che viene riscaldato e trasformato in vapore. Il vapore aziona una turbina accoppiata con un alternatore, che produce energia elettrica.

3. Le centrali fotovoltaiche sfruttano la proprietà che hanno alcuni materiali semiconduttori (come il silicio) di generare energia elettrica quando vengono colpiti dalla radiazione solare. I generatori che utilizzano questa proprietà si chiamano *celle fotovoltaiche*.

I 10 Paesi con la maggiore capacità di produzione di energia solare (in Megawatt)



GUARDA IL VIDEO



L'interno del Sole e la sua superficie



PRIMA DI GIRARE PAGINA

1. Che cosa avviene nel nucleo del Sole?
2. Da quali strati è costituita l'atmosfera solare?
3. Riassumi in una tabella le attività solari indicando per ciascuna le caratteristiche principali.
4. Qual è la caratteristica delle centrali fotovoltaiche?
5. Che differenza c'è tra i modi in cui si sono ricavate le informazioni sulla superficie del Sole e quelle sul suo interno?
6. Che cosa accade nella zona radiativa del Sole?

8

Le leggi che regolano il moto dei pianeti

PER FARSI UN'IDEA

Il moto dei pianeti è descritto dalle tre leggi di Keplero. La legge di gravitazione universale di Newton spiega quali forze sono responsabili di questi movimenti.

Il moto dei pianeti

avviene

- attorno al Sole
- lungo orbite ellittiche
- a una velocità variabile
- a causa della forza di attrazione gravitazionale

A ■ Prima legge di Keplero

Nei primi anni del XVII secolo, l'astronomo tedesco Johannes Kepler (1571-1630, in italiano **Keplero**) descrisse il moto dei pianeti mediante tre leggi che portano il suo nome. Sulla base delle osservazioni di altri astronomi che lo avevano preceduto, Keplero intuì che i pianeti si muovono attorno al Sole disegnando non delle circonferenze, ma delle **ellissi**.

La **prima legge** di Keplero infatti afferma che: *i pianeti si muovono su orbite ellittiche aventi il Sole in uno dei due fuochi.*

Un pianeta si trova quindi a distanze diverse dal Sole durante la sua rivoluzione:

- il punto in cui la distanza è massima è detto *afelio*;
- il punto in cui la distanza è minima è detto *perielio*.

In realtà, quasi tutte le orbite dei pianeti del Sistema solare, se disegnate alla scala della pagina di un libro, sono difficilmente distinguibili da circonferenze. La posizione del Sole è in uno dei fuochi, ma la

distanza del fuoco dal centro è ben percepibile su un disegno soltanto per le orbite di Mercurio e di Marte, che hanno un'eccentricità maggiore (cioè sono più «schiacciate»).



L'ellisse è una figura piana in cui è costante la somma delle distanze tra ogni suo punto e due punti fissi, detti fuochi.

B ■ Seconda legge di Keplero

Keplero osservò che la velocità con cui i pianeti si muovono lungo l'orbita non è costante.

La **seconda legge** deriva da questa osservazione e dice che: *il segmento che congiunge un pianeta con il Sole, detto raggio vettore, «spazza» aree uguali in intervalli di tempo uguali.*

Aree uguali corrispondono però a tratti dell'ellisse diversi: più corti quando il pianeta si trova in un settore dell'orbita lontano dal Sole e più lunghi quando il pianeta si trova in un settore dell'orbita vicino al Sole.

Perché questi tratti dell'orbita diversi siano percorsi nello stesso intervallo di tempo bisogna che il pianeta si muova a una velocità minore quando è distante dal

Sole e a una velocità maggiore quando si trova più vicino. La qual cosa corrisponde alle osservazioni di Keplero.

Per visualizzare meglio il significato della seconda legge di Keplero utilizziamo

un'ellisse molto eccentrica, con semiasse maggiore molto più grande del semiasse minore («schiacciata») e con il Sole molto spostato dal centro (cioè con i due fuochi dell'ellisse molto distanti tra loro).



C ■ Terza legge di Keplero

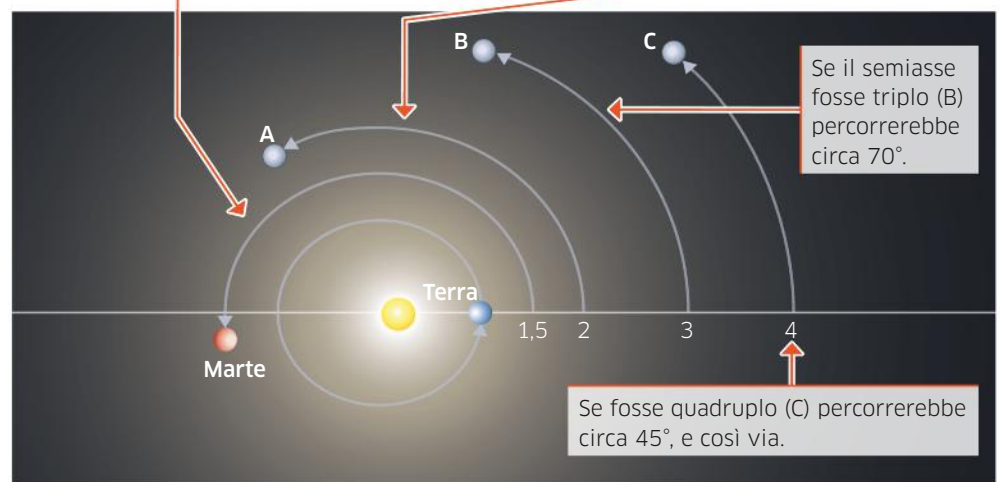
La **terza legge** dice che: *i quadrati dei tempi impiegati dai pianeti a compiere le loro orbite sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle orbite.*

In sostanza, la legge mette in relazione il tempo impiegato da un pianeta a percorrere l'orbita intorno al Sole con la sua distanza da esso. Maggiore è la distanza media di un pianeta dal Sole, più lungo sarà il suo periodo di rivoluzione e minore la sua velocità media.

Rifletti Secondo la terza legge di Keplero, il periodo di rivoluzione di Venere è maggiore o minore di quello della Terra?

Mentre la Terra compie una rivoluzione completa attorno al Sole, **Marte** (la cui orbita ha il semiasse maggiore 1,5 volte quello dell'orbita della Terra) compie un arco di circa 190°.

Se l'orbita di un pianeta (A) avesse semiasse maggiore doppio rispetto a quello della Terra, nello stesso tempo di un anno percorrerebbe circa 120°.



D ■ La legge della gravitazione universale

Keplero descrisse il moto dei pianeti, ma non riuscì a comprendere quali forze costringono i pianeti a ruotare attorno al Sole senza allontanarsene.

Fu il fisico inglese **Isaac Newton** (1642-1727) a dare una giustificazione al moto dei pianeti. Grazie agli studi compiuti da Galileo, Newton comprese che i pianeti sono trattenuti da una forza che bilancia la forza centrifuga dovuta al moto di rivoluzione.

Newton stabilì che questa forza di attrazione tra i corpi (la **forza di gravità**) si manifesta sia nella caduta degli oggetti sulla Terra, sia nel modo in cui i corpi celesti si attraggono reciprocamente. Egli descrisse le caratteristiche di questa forza nella **legge della gravitazione universale**:

due corpi si attraggono in modo direttamente proporzionale alla loro massa e inversamente proporzionale alla loro distanza elevata al quadrato. Se, per esempio, raddoppia la massa, raddoppia anche la forza di attrazione, mentre se raddoppia la distanza, la forza di attrazione diventa un quarto.

La legge spiega come ciascun pianeta del Sistema solare sia attratto verso il Sole con una forza direttamente proporzionale sia alla massa del Sole, sia alla massa del pianeta e inversamente proporzionale al quadrato della sua distanza dal Sole.

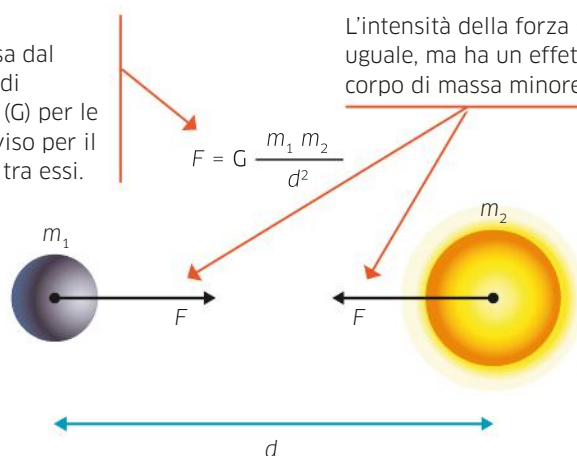
L'attrazione gravitazionale impedisce al pianeta di perdersi nello spazio, e lo costringe a seguire l'orbita ellittica, in un gioco di equilibrio tra l'attrazione gravitazionale e la forza centrifuga dovuta al moto di rivoluzione.

Oltre che dal Sole, un pianeta è anche

attratto dagli altri pianeti (debolmente, perché questi sono di piccola massa) e dalle stelle circostanti (ancora più debolmente, perché esse sono lontanissime).

Rifletti In quale punto dell'orbita terrestre la forza di attrazione gravitazionale tra il Sole e la Terra è massima?

La forza di attrazione gravitazionale è espressa dal prodotto della costante di gravitazione universale (G) per le masse dei due corpi, diviso per il quadrato della distanza tra essi.



L'intensità della forza sui due corpi è uguale, ma ha un effetto maggiore sul corpo di massa minore.

GUARDA IL VIDEO



Le leggi di Keplero



PRIMA DI GIRARE PAGINA

1. Quale posizione occupa il Sole in relazione a un pianeta che si muove attorno a esso?
2. Qual è il punto dell'orbita in cui il pianeta ha velocità minima?
3. Riassumi in una tabella tre caratteristiche del moto dei pianeti scoperte da Keplero.
4. Che cosa spiega la legge della gravitazione universale applicata al Sistema solare?
5. Che cosa osservò Keplero riguardo la velocità con cui i pianeti si muovono lungo la propria orbita?
6. Che cosa afferma la terza legge di Keplero?