

Grandi Idee dell'Astronomia

Una proposta per l'alfabetizzazione astronomica



Grandi Idee dell' Astronomia

Una proposta per l'alfabetizzazione astronomica

Autori della versione originale:

João Retrê (Institute of Astrophysics and Space Sciences, Portogallo), Pedro Russo (Leiden University, Paesi Bassi), Hyunju Lee (Smithsonian Science Education Center, USA), Eduardo Penteadó (Museu de Astronomia e Ciências Afins, Brasile), Saeed Salimpour (Deakin University, Australia), Michael Fitzgerald (Edith Cowan University, Australia), Jaya Ramchandani (The Story Of Foundation), Markus Pössel (Haus der Astronomie, Germania), Cecilia Scorza (Ludwig Maximilians University of Munich & Haus der Astronomie, Germania), Lars Lindberg Christensen (European Southern Observatory), Erik Arends (Leiden University, Paesi Bassi), Stephen Pompea (NOAO, USA) e Wouter Schrier (Leiden University, Paesi Bassi).

Prima Edizione, maggio 2019, Seconda Edizione, giugno 2020

ISBN/EAN: 978-94-91760-27-3

Licenza: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Ringraziamenti:

Ismael Tereno (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Pedro Figueira (European Southern Observatory), Sérgio Pereira (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Monica Bobra (Stanford University), Piero Benvenuti (Università di Padova) e Roy Bishop (Acadia University) per il loro commenti a questa versione. João Retrê ringrazia il finanziamento della Portuguese Science and Technology Foundation attraverso i research grants IA2017-09-BGCT e UID/FIS/04434/2013. Pedro Russo ringrazia il supporto da parte del NAOJ Sokendai project "Astronomy Literacy" coordinato dal Prof. Dr. Hidehiko Agata. NOAO è gestito dalla Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Inc. secondo il *cooperative agreement* con la National Science Foundation. Desideriamo ringraziare anche la comunità astronomica per i commenti in fase di revisione del documento.

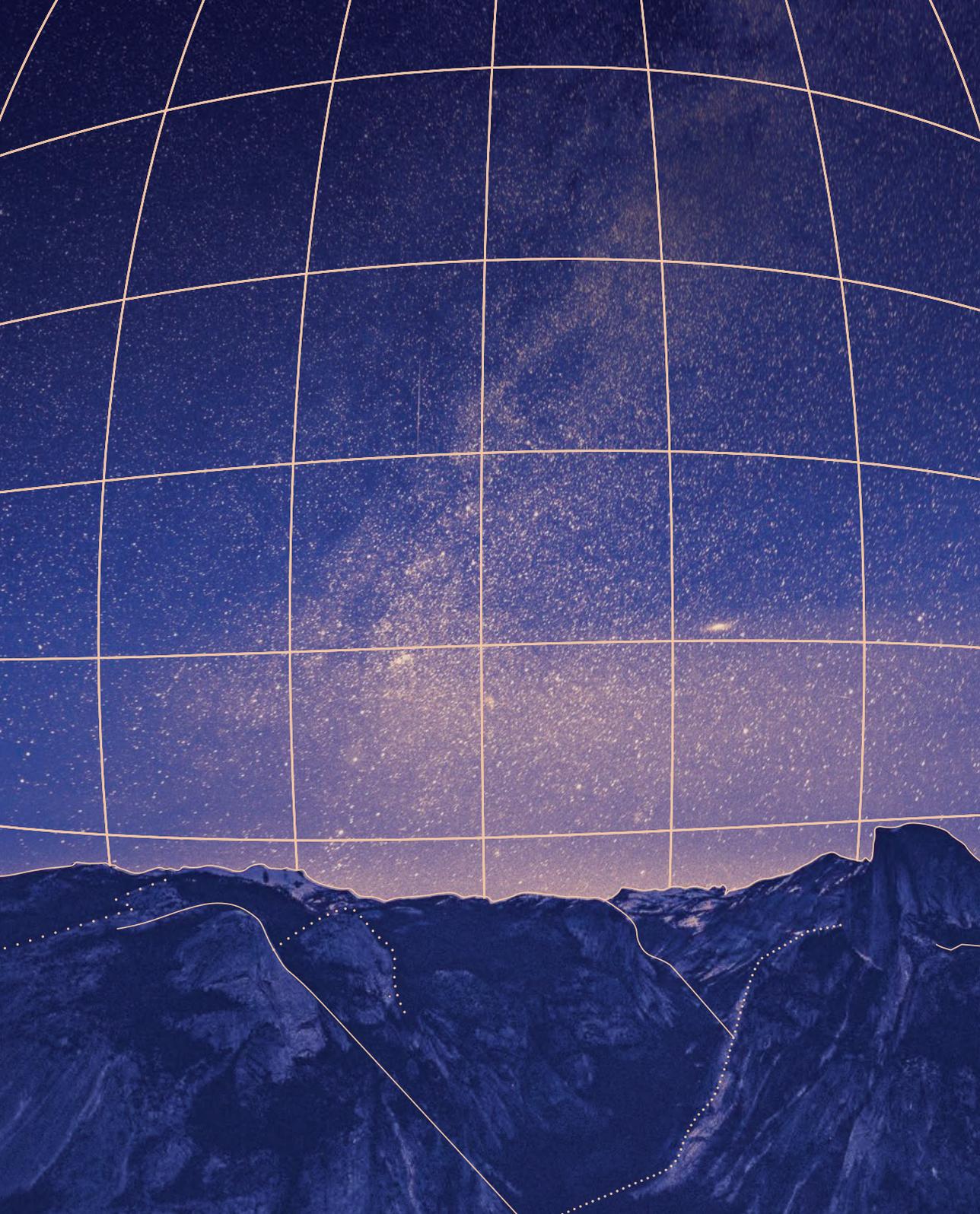
Astronomy Literacy Goals è un progetto del Leiden Observatory, Leiden University (Olanda) e dell'Institute of Astrophysics and Space Sciences (Portogallo) nell'ambito della IAU Commission C1: Working Group on Literacy and Curriculum Development.

IAU Commission C1 Astronomy Education and Development: President: Paulo Bretones

IAU C1 Working Group Literacy and Curriculum Development: Chair: Robert Hollow

Versione italiana a cura di: Piero Benvenuti, Rossella Spiga, Anna Wolter
con la collaborazione di Giuliana Giobbi, Giulio Mazzolo, Massimo Ramella, Monica Ponce-
tearso e Valentina La Parola





Indice dei Contenuti

06	Grandi Idee
08	Introduzione
10	Una breve introduzione ad alcune delle Grandi Idee dell'Astronomia <i>di Pedro Russo</i>
12	Una panoramica delle Grandi Idee
18	L'astronomia è una delle scienze più antiche nella storia dell'umanità
22	Alcuni fenomeni astronomici fanno parte della nostra vita quotidiana
26	Il cielo notturno è ricco e dinamico
30	L'astronomia è la scienza che studia gli oggetti celesti e i fenomeni nell'universo
34	L'astronomia stimola lo sviluppo tecnologico e insieme ne usufruisce
38	La cosmologia è la scienza dell'esplorazione dell'universo nel suo complesso
44	Viviamo su un piccolo pianeta del Sistema solare
48	Siamo polvere di stelle
54	Ci sono centinaia di miliardi di galassie nell'universo
60	Potremmo non essere soli nell'universo
64	È nostro dovere preservare la Terra, la nostra unica casa nell'universo

Grandi Idee

1

L'astronomia è una delle scienze più antiche nella storia dell'umanità

2

Alcuni fenomeni astronomici fanno parte della nostra vita

3

Il cielo notturno è ricco e dinamico

4

L'astronomia è la scienza che studia gli oggetti celesti e i fenomeni nell'universo

5

L'astronomia stimola lo sviluppo tecnologico e insieme ne usufruisce

6

La cosmologia è la scienza dell'esplorazione dell'universo nel suo complesso

7

Viviamo su un piccolo pianeta del Sistema solare

8

Siamo polvere di stelle

9

Ci sono centinaia di miliardi di galassie nell'universo

10

Potremmo non essere soli nell'universo

11

È nostro dovere preservare la Terra, la nostra unica casa nell'universo

Introduzione

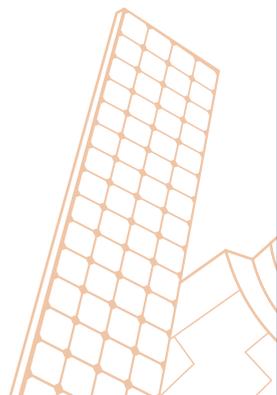
Astronomia per tutti.

È questo il motto dell'Office for Astronomy Outreach, la sezione dell'Unione Astronomica Internazionale (IAU) che si occupa della diffusione dell'astronomia nella società. Se "tutti" è un termine molto ampio che descrive la società nelle sue multiformi configurazioni, altrettanto lo è l'astronomia, intesa come insieme di conoscenze collegate all'astrofisica e allo spazio. Il progetto "Grandi Idee dell'Astronomia" si pone una domanda ambiziosa: «Quali aspetti dell'astronomia tutti gli abitanti della Terra dovrebbero conoscere?»

Come risultato di innumerevoli discussioni, incontri, presentazioni e teleconferenze, "Grandi Idee dell'Astronomia" propone una selezione di temi e spunti e rappresenta una mappa delle principali tappe dell'astronomia, le grandi idee e i concetti principali alla base di esse, idee che tutti noi - in qualità di cittadini del nostro pianeta - dovremmo sapere nel campo dell'astronomia.

"Grandi Idee" si basa sul pionieristico "Progetto 2061" lanciato dalla American Association for the Advancement of Science (AAAS) nel 1986, l'anno del passaggio della cometa di Halley. L'AAAS voleva scoprire quali sono i fattori che influenzano il legame dei bambini con il mondo naturale: coloro che in quel momento erano all'inizio del loro percorso scolastico e che avrebbero potuto assistere nuovamente al passaggio della cometa. Di quali cambiamenti scientifici e tecnologici sarebbero stati testimoni nel corso della propria vita? Come avrebbe potuto il percorso scolastico prepararli a comprendere come funziona il mondo, a pensare in modo critico e indipendente, a condurre vite stimolanti, responsabili e produttive in una cultura sempre più plasmata dalla scienza e dalla tecnologia? "Grandi Idee dell'Astronomia" prende le mosse anche dal lavoro svolto per altre discipline e progetti scientifici, per esempio nell'ambito delle scienze climatiche, per le scienze della Terra, gli oceani e le grandi idee della scienza.

"Grandi Idee dell'Astronomia" presenta undici macro-temi, affrontati poi nel dettaglio e con vari approfondimenti. Questo progetto è ideato per insegnanti e astronomi; è una guida per scegliere gli argomenti da trattare nei propri corsi, nei tirocini, nelle attività per il pubblico o nello sviluppo di risorse specifiche per diversi tipi di pubblico. In ogni caso, "Grandi idee" vuole essere uno strumento dinamico. Si invita quindi la comunità astronomica, degli insegnanti, dei comunicatori e degli educatori scientifici a sentirsi coinvolti nel processo di revisione e aggiornamento del testo e a inviare i propri commenti.

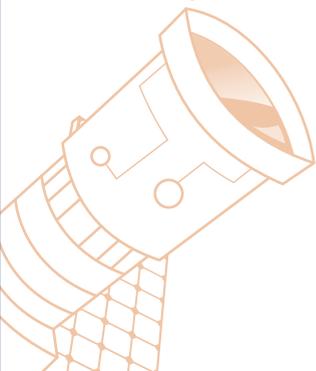


Fasi successive

Il passo successivo sarà l'ulteriore sviluppo di questo testo, verificando sistematicamente che rappresenti un'istantanea il più possibile accurata di ciò che gli esperti (in materia di diffusione dell'astronomia) intendono con alfabetizzazione astronomica. Con questo obiettivo ben chiaro in mente, saranno prioritari i seguenti punti:

- × *Lo sviluppo di un programma di studio allineato con le "Grandi idee dell'astronomia";*
- × *Lo sviluppo di strumenti di valutazione, didattica e non;*
- × *La preparazione di materiali educativi di riferimento;*
- × *La realizzazione di strumenti per l'aggiornamento professionale degli insegnanti;*
- × *La stesura di documenti per i decisori politici.*

Il piano strategico 2020-2030 dell'Unione Astronomica Internazionale colloca la diffusione della cultura astronomica al centro dello sforzo della comunità scientifica degli astronomi a livello globale, con l'obiettivo di promuovere l'astronomia nei percorsi scolastici di insegnamento e istruzione. Speriamo che il progetto "Grandi Idee" sia un contributo a questo obiettivo e fornisca un primo possibile punto riferimento nel processo generale di alfabetizzazione astronomica.



Una breve introduzione ad alcune delle Grandi Idee dell'Astronomia¹

di Pedro Russo

L'astronomia è la scienza che studia l'origine e l'evoluzione dell'universo e di tutto ciò che vi è contenuto. Questa definizione sembrerebbe semplice, ma l'universo è un luogo sconfinato, pieno di oggetti celesti affascinanti di tutte le dimensioni, forme ed età, nonché di fenomeni avvincenti e misteriosi.

L'astronomia fa parte della storia culturale e scientifica di tutta l'umanità: ha rivoluzionato più volte il nostro modo di pensare, di vedere il mondo e di concepire il nostro posto nell'immensità del cosmo. In passato, i progressi in campo astronomico sono stati sfruttati per sviluppare applicazioni pratiche come la misura del tempo o la navigazione degli oceani. Oggi, i risultati dello sviluppo scientifico e tecnologico in campo astronomico e spaziale sono diventati parte integrante della nostra vita quotidiana: computer, satelliti per le comunicazioni, sistemi di navigazione, pannelli solari, internet senza fili e molte altre applicazioni tecnologiche.

Come ogni altro ramo della scienza, l'astronomia compie passi avanti grazie ai risultati di volta in volta raggiunti. In certi casi, un progresso regolare della conoscenza viene improvvisamente accelerato da svolte tecnologiche inaspettate o da un modo di concepire il mondo: basti pensare all'idea rivoluzionaria della visione eliocentrica del Sistema solare o al modello del Big Bang che racconta la storia dell'evoluzione dell'universo. Circa 14 miliardi di anni fa, l'universo neonato era infinitamente piccolo e caldo. Un'espansione improvvisa e continua e il successivo raffreddamento portarono alla formazione degli elementi costitutivi della materia - le particelle atomiche e subatomiche - permettendo poi la formazione di galassie, stelle, pianeti e infine la vita. Stando ai dati a disposizione, gli astronomi ritengono che l'espansione dell'universo sia guidata principalmente da una forma di energia ancora sconosciuta chiamata "energia oscura".

Se alziamo gli occhi al cielo in una notte buia, notiamo una striscia luminosa che attraversa il cielo da un orizzonte all'altro. Questa fascia e tutte le stelle che osserviamo nel cielo fanno parte della galassia nella quale viviamo, la Via Lattea. Spesso le galassie si aggregano in filamenti e ammassi: gruppi di isole immerse nei mari vasti e vuoti dell'universo. La nostra ga-

1. Pubblicato in originale dalla rivista portoghese Visão, 3 gennaio 2012

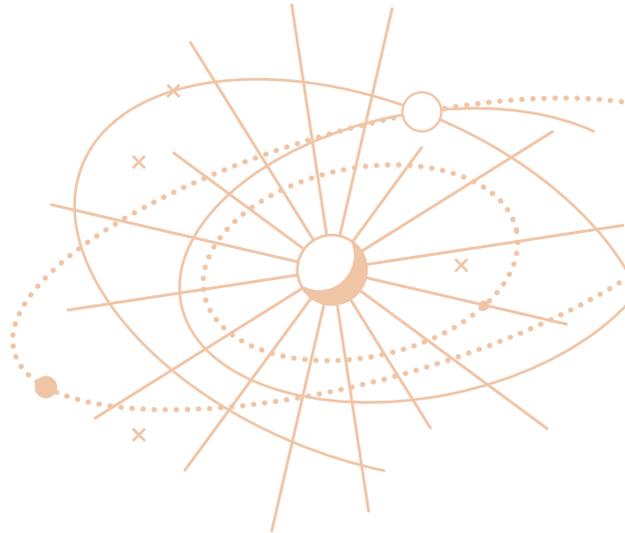
l'oceano contiene centinaia di miliardi di stelle, delle quali il Sole non è che una, anonima come un granello di sabbia nella spiaggia. Queste stelle orbitano armoniosamente, obbedendo alle leggi naturali della gravità, intorno al centro della Galassia, dove risiede un gigantesco buco nero. Questo oceano che è l'universo contiene molte altre isole; la nostra è solamente una delle centinaia di miliardi di galassie che lo popolano.

Il Sole, benché sia un tipo di stella relativamente comune, ha goduto fino a epoche recenti di uno status speciale per noi esseri umani: era l'unica stella che, secondo le nostre conoscenze, si riteneva fosse circondata da pianeti. Oggi conosciamo migliaia di stelle intorno a cui orbitano pianeti, detti esopianeti o pianeti extrasolari. Si stima che più del 20% delle stelle simili al Sole siano dotate di sistemi planetari o pianeti singoli, alcuni dei quali simili alla Terra. Molti di questi pianeti sono di piccole dimensioni e in orbita a distanza sufficientemente grande dalla propria stella madre da permettere la presenza di acqua liquida e quindi - chissà - della vita.

Ma di cosa è fatto l'universo? Ciò che vediamo - pianeti, stelle e galassie - è costituito di materia chiamata "barionica": protoni, elettroni, neutroni, quark. Ma c'è anche qualcos'altro, qualcosa di vasto, strano e misterioso, che nessuno sa cosa sia. Ci si aspetterebbe che le stelle si muovano in orbita intorno al centro delle galassie in maniera simile al moto dei pianeti intorno al Sole nel Sistema solare, in cui i pianeti più vicini al Sole si muovono a velocità maggiori rispetto ai pianeti più esterni. Ma ciò non accade: le stelle nelle galassie si muovono più o meno tutte con la stessa velocità intorno al centro della galassia. Ci deve essere qualcosa, che non siamo in grado di vedere, che le mantiene in orbita in questo modo: è ciò che gli astronomi chiamano "materia oscura". Si stima che siamo in grado di vedere solo una piccola frazione di tutto ciò che popola l'universo. Tutto il resto non è ben compreso o non è ancora stato osservato direttamente!

Astronomia non vuol dire solo progresso scientifico o applicazioni tecno-

logiche: l'astronomia ci dà l'opportunità di espandere i nostri orizzonti limitati, di scoprire la bellezza e la maestosità dell'universo e di capire quale sia il nostro posto al suo interno. Questo modo di vedere la realtà, comunemente noto come "prospettiva cosmica", è uno dei maggiori contributi dell'astronomia al genere umano.



Una panoramica delle Grandi Idee



1

L'astronomia è una delle scienze più antiche nella storia dell'umanità

- 1.1 La comprensione del cielo e dei movimenti del Sole e dei pianeti fu uno dei primi tentativi di capire il mondo naturale
- 1.2 Le prime civiltà immaginarono figure che collegassero le stelle nel cielo notturno
- 1.3 L'astronomia ha ispirato l'arte ed è rappresentata nella cultura di molte civiltà
- 1.4 L'astronomia ha fornito la capacità di misurare il tempo, fondamentale per l'agricoltura nell'antichità
- 1.5 L'astronomia fu strumento importante per i navigatori del passato
- 1.6 L'astronomia, basata sul metodo scientifico, è ben diversa dall'astrologia
- 1.7 Per gli Antichi, con poche eccezioni, la Terra era al centro dell'universo
- 1.8 La rivoluzione copernicana, durata circa un secolo, sostituì la Terra con il Sole al centro del Sistema solare
- 1.9 Più di 400 anni fa, gli astronomi effettuarono le prime osservazioni siste-

matiche nel campo dell'astronomia usando un telescopio

1.10

Il pianeta Terra ha una forma approssimativamente sferica e nei secoli è stato rappresentato in diversi modi

2

Alcuni fenomeni astronomici fanno parte della nostra vita quotidiana

- 2.1 L'alternanza di luce e buio è dovuta alla rotazione della Terra intorno al proprio asse
- 2.2 Le stagioni sono dovute all'inclinazione dell'asse terrestre nel moto annuo della Terra intorno al Sole
- 2.3 Osserviamo diverse fasi della Luna durante il ciclo lunare
- 2.4 Le eclissi si verificano in seguito a particolari allineamenti di Sole, Terra e Luna
- 2.5 Le maree terrestri sono dovute alla forza di gravità esercitata dal Sole e dalla Luna
- 2.6 La luce solare è fondamentale per la maggioranza delle forme di vita sulla Terra
- 2.7 Alcune particelle viaggiano dal Sole alla Terra e generano le aurore
- 2.8 La tecnologia sviluppata per la ricerca astronomica è parte della nostra vita quotidiana

3

Il cielo notturno è ricco e dinamico

- 3.1 A occhio nudo possiamo vedere alcune migliaia di stelle in una notte limpida e buia
- 3.2 Il cielo notturno può aiutarci a orientarci e spostarci sulla Terra
- 3.3 L'asse di rotazione della Terra oscilla (moto di precessione) nel corso dei millenni
- 3.4 Soltanto pochi corpi celesti sono sufficientemente brillanti per poter essere visti a occhio nudo quando il Sole è sopra l'orizzonte
- 3.5 Gli oggetti celesti sorgono a est e tramontano a ovest a causa della rotazione della Terra
- 3.6 Le stelle scintillano a causa dell'atmosfera terrestre
- 3.7 Milioni di meteore entrano ogni giorno nell'atmosfera terrestre

4

L'astronomia è la scienza che studia gli oggetti celesti e i fenomeni nell'universo

- 4.1 La luce (o radiazione elettromagnetica) è la principale fonte di informazioni per la ricerca astronomica
- 4.2 Su larga scala, la gravità è l'interazione dominante nell'universo
- 4.3 Le onde gravitazionali e le particelle subatomiche offrono nuovi metodi per studiare l'universo
- 4.4 L'astronomia utilizza i dati ottenuti dalle osservazioni e dalle simulazioni per modellare i fenomeni astronomici nell'ambito delle teorie correnti
- 4.5 La ricerca astronomica integra le conoscenze provenienti da diversi campi, quali fisica, matematica, chimica, geologia e biologia
- 4.6 L'astronomia è costituita da diversi filoni
- 4.7 Le scale di distanza e tempo in astronomia sono molto più ampie di quelle che usiamo nella vita di tutti i giorni
- 4.8 La spettroscopia è una tecnica importante che ci permette di studiare l'universo a distanza

5

L'astronomia stimola lo sviluppo tecnologico e insieme ne usufruisce

- 5.1 I telescopi e i rilevatori sono fondamentali per lo studio dell'astronomia
- 5.2 Alcuni telescopi possono lavorare in modo coordinato come se fossero un unico grande telescopio
- 5.3 Ci sono osservatori astronomici sia sulla Terra che nello spazio
- 5.4 Gli osservatori astronomici da terra sono spesso ubicati in zone isolate del mondo
- 5.5 L'astronomia odierna: "Big Science" con "Big Data"
- 5.6 Le simulazioni più complesse e l'enorme quantità di dati in astronomia richiedono lo sviluppo di potenti supercomputer
- 5.7 L'astronomia è una scienza globale, con gruppi di lavoro internazionali, in cui i dati e le pubblicazioni sono condivise con tutti
- 5.8 Numerosi veicoli spaziali sono stati lanciati nello spazio per studiare il Sistema solare

6

La cosmologia è la scienza dell'esplorazione dell'universo nel suo complesso

- 6.1 L'universo ha più di 13 miliardi di anni
- 6.2 L'universo è omogeneo e isotropo su grande scala
- 6.3 Gli astronomi osservano sempre il passato
- 6.4 Possiamo osservare direttamente solo una frazione dell'universo
- 6.5 L'universo è composto principalmente da energia oscura e materia oscura
- 6.6 L'universo si espande in modo accelerato
- 6.7 L'espansione dello spazio implica lo spostamento della luce verso il rosso
- 6.8 Le leggi naturali (come la gravità) che studiamo sulla Terra sembrano funzionare nello stesso modo in tutto l'universo
- 6.9 La struttura a grande scala dell'universo è composta da filamenti, piani e vuoti
- 6.10 La radiazione cosmica di fondo ci permette di esplorare l'universo primordiale
- 6.11 L'evoluzione dell'universo può essere spiegata dal modello del Big Bang

7

Viviamo su un piccolo pianeta del Sistema solare

- 7.1 Il Sistema solare si è formato circa 4,6 miliardi di anni fa
- 7.2 Il Sistema solare è costituito da Sole, pianeti, pianeti nani, lune, comete, asteroidi e meteoroidi
- 7.3 Nel Sistema solare ci sono otto pianeti
- 7.4 Ci sono molti pianeti nani nel Sistema solare
- 7.5 I pianeti si dividono in pianeti terrestri (rocciosi) e giganti gassosi
- 7.6 Alcuni pianeti hanno dozzine di satelliti naturali
- 7.7 La Terra è il terzo pianeta in orbita intorno al Sole e ha un solo satellite naturale, la Luna
- 7.8 Ci sono milioni di asteroidi, eredità dei primi stadi di formazione del Sistema solare
- 7.9 Una cometa è un oggetto ghiacciato che sviluppa una coda quando viene riscaldato dal Sole
- 7.10 La regione ai confini del Sistema solare viene chiamata Eliopausa





Siamo polvere di stelle

- 8.1 Una stella è un corpo celeste che emette luce propria e genera la propria energia per mezzo di reazioni nucleari interne
- 8.2 Le stelle si formano da nubi massicce di polvere e gas
- 8.3 La stella più vicina alla Terra è il Sole
- 8.4 Il Sole è una stella dinamica
- 8.5 Il colore di una stella ne indica la temperatura superficiale
- 8.6 Lo spazio tra le stelle può essere vuoto, oppure può contenere nubi di gas, che possono generare nuove stelle
- 8.7 Il ciclo vitale di una stella è determinato in gran parte dalla sua massa iniziale
- 8.8 Le stelle massicce possono concludere la propria esistenza come buchi neri di massa stellare
- 8.9 Le generazioni più recenti di stelle e i loro sistemi planetari sono nati da materia lasciata in quella regione di spazio da generazioni precedenti di stelle
- 8.10 Il corpo umano è formato da atomi che risalgono a stelle precedenti



Ci sono centinaia di miliardi di galassie nell'universo

- 9.1 Una galassia è un grande sistema formato da stelle, polvere e gas
- 9.2 Le galassie contengono una grande quantità di materia oscura
- 9.3 La formazione delle galassie è un processo evolutivo
- 9.4 Classifichiamo le galassie in tre categorie principali: spirali, ellittiche, irregolari
- 9.5 Viviamo in una galassia a spirale chiamata Via Lattea
- 9.6 I bracci a spirale delle galassie sono formati dall'accumulo di gas e polveri
- 9.7 La maggior parte delle galassie ha un buco nero supermassiccio al centro
- 9.8 Le galassie possono essere molto lontane tra loro
- 9.9 Le galassie si raggruppano in ammassi
- 9.10 Le galassie interagiscono tra loro per mezzo della forza di gravità

10

Potremmo non essere soli nell'universo

- 10.1 Sono state scoperte molecole organiche al di fuori della Terra
- 10.2 Si sono scoperti organismi viventi in grado di sopravvivere in condizioni ambientali estreme sulla Terra, ma anche nel vuoto spaziale
- 10.3 Tracce di acqua liquida suggeriscono la possibilità di forme di vita primitive su Marte
- 10.4 Alcuni satelliti naturali nel Sistema solare sembrano avere condizioni favorevoli alla vita
- 10.5 Esistono numerosi pianeti, detti esopianeti, che orbitano intorno a stelle diverse dal Sole
- 10.6 Gli esopianeti possono essere molto diversi e spesso formano dei sistemi
- 10.7 Siamo ormai vicini alla scoperta di un pianeta simile alla Terra
- 10.8 Gli scienziati sono alla ricerca di intelligenza extraterrestre

11

È nostro dovere preservare la Terra, la nostra unica casa nell'universo

- 11.1 L'inquinamento luminoso ha effetti sull'uomo, su molti animali e sulle piante
- 11.2 Intorno alla Terra orbita una gran quantità di detriti di origine artificiale
- 11.3 Gli oggetti spaziali potenzialmente pericolosi vengono monitorati
- 11.4 L'umanità ha un impatto significativo sull'ambiente terrestre
- 11.5 Il clima e l'atmosfera sono fortemente influenzati dall'attività dell'uomo
- 11.6 Per conservare il nostro pianeta è necessaria una prospettiva globale
- 11.7 L'astronomia ci fornisce una prospettiva cosmologica unica che rafforza la nostra coesione in quanto abitanti della Terra

1

*L'astronomia è una delle
scienze più antiche nella storia*



*I dipinti preistorici delle
grotte di Lascaux: un
gruppo di punti sopra la
groppa del bisonte ricorda
l'asterismo delle Pleiadi.*

*Crediti: Ministero
della Cultura/Centro
Nazionale della Preistoria/
Norbert Aujoulat*



1.1 **La comprensione del cielo e dei movimenti del Sole e dei pianeti fu uno dei primi tentativi di capire il mondo naturale**

Le prime testimonianze di osservazioni astronomiche sono rappresentate da disegni e oggetti realizzati da uomini preistorici che documentavano ciò che osservavano nel cielo. Presso le antiche civiltà, l'astronomia era legata a credenze religiose e mitologiche. I fenomeni astronomici erano usati per misurare il tempo e stilare calendari, permettendo a queste culture di pianificare eventi quotidiani o stagionali.

1.2 **Le prime civiltà immaginarono figure che collegassero le stelle nel cielo notturno**

Le figure visibili nel cielo notturno, formate collegando idealmente le stelle con linee immaginarie, sono dette costellazioni. Le prime costellazioni furono definite già dalle civiltà più antiche. Questi gruppi di stelle, facilmente riconoscibili, vennero spesso associati a racconti mitologici di antiche civiltà come i Greci, i Maya, i Nativi americani, i Cinesi. Nell'astronomia moderna le costellazioni sono regioni del cielo ben definite che includono e ridefiniscono sia le costellazioni antiche sia quelle definite tra il quindicesimo e il diciottesimo secolo. Alcune civiltà, come gli indigeni australiani e le popolazioni native del Sud America, identificarono alcune figure celesti anche nei profili scuri visibili nella Via Lattea.

1.3 **L'astronomia ha ispirato l'arte ed è rappresentata nella cultura di molte civiltà**

Per secoli e secoli artisti, poeti, scrittori e molti pensatori rivoluzionari hanno usato il cielo notturno come ispirazione e/o come soggetto del proprio lavoro. Si trovano temi astronomici nei dipinti, nelle sculture, nella musica, nei film e nella letteratura. In queste opere sono stati rappresentati fenomeni celesti osservabili, per comunicare direttamente o indirettamente l'essenza, la bellezza e il mistero del cielo notturno. L'universalità dell'arte e il suo intimo collegamento con la cultura possono essere pertanto uno strumento efficace in grado di fare apprezzare a tutti non solo l'innata bellezza dei corpi e dei fenomeni celesti, ma anche le conoscenze che siamo stati capaci di acquisire finora su di essi. Tutto questo contribuisce a rendere l'astronomia di grandissimo interesse generale e agevola una concezione interculturale dell'umanità riassumibile nel concetto di "essere tutti sotto lo stesso cielo".

1.4 **L'astronomia ha fornito la capacità di misurare il tempo, fondamentale per l'agricoltura nell'antichità**

Presso molte antiche civiltà, l'astronomia venne studiata proprio per aumentare l'accuratezza dei calendari agricoli. Per esempio, gli Egizi svilupparono un calendario basato sulle osservazioni della stella Sirio, usata per prevedere le piene annuali del fiume Nilo.

1.5 **L'astronomia fu strumento importante per i navigatori del passato**

Molte civiltà usarono la posizione degli astri e di altri oggetti celesti per orientarsi in terra e in mare. La navigazione astronomica è tuttora materia di insegnamento.

1.6 **L'astronomia, basata sul metodo scientifico, è ben diversa dall'astrologia**

Fino all'età pre-moderna, la distinzione tra astronomia e astrologia era vaga; oggi, invece, astronomia e astrologia sono chiaramente distinte l'una dall'altra. L'astronomia è una scienza, l'astrologia no. L'astrologia fa uso delle posizioni degli oggetti celesti per predire eventi futuri. Tuttavia, numerosi studi di come funziona l'astrologia e delle sue presunte previsioni mostrano come sia priva di qualsiasi fondamento scientifico.

1.7 **Per gli Antichi, con poche eccezioni, la Terra era al centro dell'universo**

Gran parte delle culture ancestrali, con illustri eccezioni rappresentate da alcuni astronomi greci del III secolo a.C., erano convinti che la Terra si trovasse al centro dell'universo. Questa visione geocentrica ha prevalso per oltre duemila anni nelle culture europee e asiatiche fino alla cosiddetta Rivoluzione Copernicana avvenuta nel XVI secolo. Gli astronomi moderni hanno stabilito che l'universo non ha un centro specifico.

1.8 **La rivoluzione copernicana, durata circa un secolo, sostituì la Terra con il Sole al centro del Sistema solare**

Nel Sedicesimo secolo, Copernico avanzò prove a sostegno della teoria eliocentrica, secondo la quale il Sole si trova al centro dell'universo e la Terra gli orbita intorno. Benché al giorno d'oggi sia risaputo che il Sole non è al centro dell'universo, sappiamo che si trova al centro del Sistema solare. Nel suo tempo, la teoria eliocentrica copernicana fu rivoluzionaria, contribuendo allo sviluppo dell'astronomia moderna.

1.9 **Più di 400 anni fa, gli astronomi effettuarono le prime osservazioni sistematiche nel campo dell'astronomia usando un telescopio**

Nonostante non abbia inventato il telescopio, Galileo fu il primo a impiegarlo per scopi scientifici. I suoi miglioramenti del telescopio rifrattore lo portarono a scoperte famose come le fasi di Venere e le quattro lune maggiori di Giove, tuttora note come satelliti galileiani. Le sue scoperte fornirono prove inconfutabili a supporto della visione eliocentrica dell'universo.

1.10 **Il pianeta Terra ha una forma approssimativamente sferica e nei secoli è stato rappresentato in diversi modi**

All'interno di una propria rappresentazione dell'universo, antiche civiltà in diverse regioni del mondo hanno descritto la Terra talvolta come un piano o come un disco. Tuttavia l'idea che il nostro pianeta sia sferico non è una novità ma è un'idea millenaria che ha giocato un ruolo importante nella visione del mondo per molte civiltà, affermandosi negli ultimi mille anni come idea dominante. Esistono diversi metodi empirici per verificare che la Terra sia, in forma approssimata, una sfera (o in linguaggio tecnico, uno sferoide oblatto). Sappiamo anche che uno dei primi metodi matematici di misura della dimensione della Terra venne sviluppato da Eratostene (III secolo a.C.) che misurò la circonferenza terrestre utilizzando la lunghezza delle ombre proiettate, alla stessa ora del giorno, da bastoncini identici conficcati perpendicolarmente nel terreno in alcune città dell'antico Egitto a diverse latitudini.

2

Alcuni fenomeni astronomici fanno parte della nostra vita quotidiana

Spettacolo di luci nel cielo notturno — l'Aurora Boreale nei cieli dell'Alaska.

Crediti: Jean Beaufort (pubblico dominio)



2.1 L'alternanza di luce e buio è dovuta alla rotazione della Terra intorno al proprio asse

.....

Il dì si verifica sulla faccia della Terra diretta verso il Sole, mentre in quella opposta è notte. Il tempo impiegato dalla Terra per compiere una rotazione completa intorno al proprio asse, in modo che il Sole ritorni nella stessa posizione in cielo, definisce la durata del giorno (solare), pari a circa 24 ore.

2.2 Le stagioni sono dovute all'inclinazione dell'asse terrestre nel moto annuo della Terra intorno al Sole

.....

L'asse di rotazione terrestre è inclinato di $23^{\circ} 27'$ rispetto alla perpendicolare al piano della propria orbita intorno al Sole. Per questa ragione, uno degli emisferi terrestri (alternativamente quello nord o quello sud) è inclinato verso il Sole, mentre l'altro è rivolto nella direzione opposta. Nel primo è estate, dato che la luce solare incide più direttamente sulla superficie e i giorni sono più lunghi in quanto il Sole raggiunge un'altezza maggiore nel cielo. Viceversa, nell'emisfero inclinato in direzione opposta al Sole è inverno, dato che la luce solare cade con un angolo più inclinato rispetto alla superficie, distribuendosi su un'area maggiore. I giorni sono più corti perché il Sole raggiunge un'altezza minore nel cielo.

2.3 Osserviamo diverse fasi della Luna durante il ciclo lunare

.....

Nel corso del suo moto intorno alla Terra, la posizione relativa della Luna rispetto al Sole e alla Terra varia. La regione della superficie lunare colpita dalla luce del Sole cambia, producendo le diverse fasi osservate dalla Terra – Luna nuova, Luna crescente, Luna piena e Luna calante – con un ciclo di 29,53 giorni tra una Luna piena e l'altra. Mentre le fasi lunari sono (all'incirca) le stesse per ogni osservatore terrestre, l'orientazione della Luna cambia a seconda dell'emisfero in cui si trova l'osservatore. Per esempio, alcuni osservatori potrebbero vedere la falce di Luna crescente aperta verso sinistra, mentre altri, osservandola nello stesso momento ma da un luogo diverso, vedrebbero la falce di Luna crescente aperta verso destra. In ogni caso vale sempre la regola mnemonica: «gobba a ponente, Luna crescente, gobba a levante, Luna calante».

2.4 Le eclissi si verificano in seguito a particolari allineamenti di Sole, Terra e Luna

.....

A volte, quando transita esattamente tra il Sole e la Terra, la Luna blocca la luce solare e proietta un'ombra sulla Terra, dando origine a un'eclisse solare. Altre volte è la Terra a frapporsi tra il Sole e la Luna. In questo caso, è la Terra a proiettare un'ombra sulla Luna, oscurandone la superficie e generando un'eclisse lunare. Le eclissi possono essere parziali o totali, a seconda che solamente una parte o tutto il corpo celeste sia eclissato. Un'eclisse lunare si verifica solamente con la Luna piena e, di conseguenza, può essere osservata solamente di notte. Le eclissi lunari sono visibili da qualunque punto della superficie terrestre, mentre quelle solari sono visibili in una fascia molto limitata. Ne consegue che in un qualsiasi luogo della Terra è più probabile osservare un'eclisse lunare che una solare. Inoltre, le eclissi lunari durano più a lungo di quelle solari.

2.5

Le maree terrestri sono dovute alla forza di gravità esercitata dal Sole e dalla Luna

Il Sole e, in misura maggiore, la Luna sono la causa delle maree sulla Terra. Sia dalla parte più vicina alla Luna sia su quella più vicina al Sole, così come su quelle più distanti da loro, si verificano leggeri innalzamenti della superficie terrestre, ma soprattutto del livello delle acque dei mari e degli oceani. Mentre la Terra ruota, questi innalzamenti raggiungono le coste, modificando il livello dell'acqua. Quando Sole, Terra e Luna sono allineati (nel momento della Luna piena e della Luna nuova) si verificano le "maree sigiziali" (di congiunzione o opposizione), più estreme. Al contrario, quando il Sole e la Luna sono disposti ad angolo retto tra loro e rispetto alla Terra (durante il primo e terzo quarto del ciclo lunare) abbiamo le "maree di quadratura", più modeste.

2.6

La luce solare è fondamentale per la maggioranza delle forme di vita sulla Terra

Il Sole è la principale fonte di energia per le forme di vita terrestri. Per esempio, la fotosintesi delle piante sfrutta la luce solare, permettendone la crescita e, come conseguenza, la produzione di ossigeno molecolare. L'ossigeno prodotto è usato dagli animali per respirare. Si pensa che la devastazione dell'ambiente in seguito alla collisione tra un asteroide e la Terra abbia causato l'estinzione dei dinosauri, tranne quelli alati, e della maggior parte delle specie che abitavano la Terra. L'esplosione che seguì all'impatto trasportò grandi quantità di polvere nell'atmosfera, bloccando la luce del Sole e causando un lungo inverno. La luce solare ha un impatto anche sulla nostra salute fisica e mentale. Quando siamo esposti al Sole il nostro organismo produce vitamina D, che gioca un ruolo importante nei processi biochimici del nostro corpo. Alcuni studi indicano una correlazione tra depressione e mancanza di esposizione alla luce solare.

2.7

Aleune particelle viaggiano dal Sole alla Terra e generano le aurore

Durante le eruzioni solari, le particelle cariche (soprattutto elettroni e protoni) provenienti dal Sole attraversano i 150 milioni di chilometri che separano la Terra dal Sole, si legano con il campo magnetico terrestre, fluiscono verso i poli magnetici e interagiscono con le particelle dell'atmosfera terrestre. Le più veloci particelle cariche possono raggiungere la Terra in circa mezz'ora, le più lente impiegano circa cinque giorni. Occasionalmente queste tempeste possono disturbare il campo magnetico della Terra, danneggiando i satelliti in orbita o i sistemi di alimentazione elettrica. Spesso le particelle cariche provenienti dal Sole interagiscono con l'ossigeno e l'azoto dell'atmosfera, dando origine alle aurore – fantastici spettacoli di luce notturna visibili intorno ai poli magnetici nell'emisfero nord (aurore boreali) o sud (aurore australi).

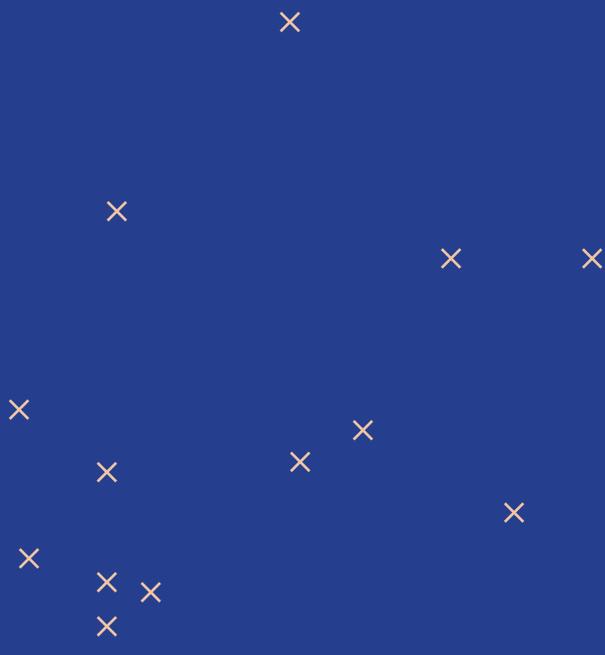
2.8

La tecnologia sviluppata per la ricerca astronomica è ormai presente nella nostra vita quotidiana

Gli strumenti e i metodi analitici impiegati per lo studio dei dati astronomici sono stati applicati anche all'industria, alle scienze mediche e alla tecnologia che usiamo ogni giorno. I rivelatori sviluppati originariamente per la ricerca astronomica sono ora impiegati anche per le macchine fotografiche digitali come quelle nei nostri telefoni cellulari. Un tipo di vetro speciale sviluppato per i telescopi astronomici è utilizzato per la produzione di schermi a cristalli liquidi e per i microprocessori dei computer, così come per i piani cottura a induzione. Il passaggio di conoscenze dall'astronomia alla medicina ha contribuito allo sviluppo di diversi dispositivi tra cui la tomografia a risonanza magnetica (RM) e computerizzata (TAC).

3

*Il cielo notturno è
ricco e dinamico*



*Tracce di stelle causate
dalla rotazione terrestre in
questa lunga esposizione,
scattata sulla piana di
Chajnantor nelle Ande cilene.*

Crediti: S. Otarola/ESO



x

x

x

3.1 **A occhio nudo possiamo vedere alcune migliaia di stelle in una notte limpida e buia**

Quando rivolgiamo lo sguardo verso il cielo notturno, lontano dall'inquinamento luminoso delle città in una notte di Luna nuova o comunque quando la Luna non brilla in cielo, possiamo vedere a occhio nudo circa 4000 stelle. Tutte le stelle che vediamo a occhio nudo appartengono alla nostra Galassia. Anche se esistono centinaia di miliardi di galassie nell'universo osservabile, ciascuna contenente miliardi di stelle, queste sono troppo lontane e perciò troppo deboli perché i nostri occhi le distinguano come singoli punti luminosi. In base al luogo in cui ci troviamo sulla Terra e al momento dell'osservazione, sono inoltre visibili a occhio nudo i cinque pianeti più brillanti del Sistema solare, la fascia luminosa della Via Lattea, due galassie satelliti della Via Lattea (la Grande e la Piccola Nube di Magellano) e la galassia di Andromeda (una grande galassia a spirale).

3.2 **Il cielo notturno può aiutarci a orientarci e spostarci sulla Terra**

Osservare il cielo notturno ci permette di individuare i punti cardinali. Nell'emisfero boreale, il modo più facile per trovare il nord è cercare la Stella Polare, nota anche come la Stella del Nord, molto vicina al polo nord celeste. Il metodo più semplice per trovare la Stella Polare è individuare le costellazioni dell'Orsa Maggiore e dell'Orsa Minore. Nell'emisfero sud, la stella Sigma Octantis, la stella più vicina al polo sud celeste, non è facilmente visibile. Un metodo veloce per trovare il sud è quello di usare la costellazione della Croce del Sud e le due stelle più brillanti nella costellazione del Centauro.

3.3 **L'asse di rotazione della Terra oscilla (moto di precessione) nel corso dei millenni**

La Terra ruota intorno al proprio asse, come una trottola. La direzione dell'asse di rotazione cambia con un lento moto di precessione che ha un periodo di circa 26.000 anni. Questo movimento fa sì che l'asse di rotazione punti in diverse direzioni nel tempo e, come conseguenza, i poli celesti nord e sud cambino lentamente posizione con il trascorrere del tempo. Per esempio, la Stella Polare in un certo momento non indicherà più il nord ma potrebbe farlo un'altra stella, in base alla direzione dell'asse terrestre in quel momento. Anche se attualmente non c'è nessuna stella luminosa vicino al polo sud celeste, in futuro potremmo avere una vera e propria "Stella del Sud"!

3.4 **Soltanto pochi corpi celesti sono sufficientemente brillanti per poter essere visti a occhio nudo quando il Sole è sopra l'orizzonte**

La maggior parte degli oggetti che popolano il cielo notturno sono troppo deboli per essere osservati durante il giorno, con un cielo così luminoso. Un effetto simile si verifica di notte nelle città, quando, a causa dell'inquinamento luminoso, possiamo vedere soltanto una piccola parte delle stelle per colpa dell'elevata luminosità del cielo dovuta all'illuminazione artificiale. Soltanto pochi corpi celesti sono abbastanza luminosi per poter essere visti a occhio nudo quando il Sole si trova sopra l'orizzonte. La Luna è a volte visibile di giorno, a seconda della propria fase. Talvolta Venere può essere osservata al mattino ("stella del mattino" o Lucifero), o di sera ("stella della sera" o Vespero) e, se sapete esattamente dove guardare, Venere può essere visibile anche in pieno giorno. Molto raramente, anche una cometa particolarmente brillante potrebbe essere visibile durante il giorno. Ancor più raramente, stelle appartenenti alla nostra galassia che esplodono come supernove possono diventare visibili anche di giorno: è accaduto per esempio negli anni 185, 1006, 1054 e per l'ultima volta nel 1572 d.C..

3.5

Gli oggetti celesti sorgono a est e tramontano a ovest a causa della rotazione della Terra

A causa della rotazione della Terra da ovest a est intorno al proprio asse, un osservatore sulla sua superficie vede il cielo muoversi nella direzione opposta, da est a ovest, come se esso ruotasse intorno al nostro pianeta. Questo movimento apparente del cielo intorno alla Terra è chiamato moto diurno (o moto diurno apparente). Questo è il motivo per il quale noi vediamo alcuni oggetti celesti sorgere dalla parte orientale dell'orizzonte e tramontare dalla parte occidentale e altri ruotare attorno ai poli senza mai tramontare.

3.6

Le stelle scintillano a causa dell'atmosfera terrestre

Quando la luce di una stella entra nella nostra atmosfera e ne attraversa i diversi strati, cambia costantemente direzione a causa della diversa rifrazione negli strati con temperatura e densità differenti. Di conseguenza, la luminosità di una stella e la direzione con la quale ci giunge sulla Terra cambiano continuamente, se pur di poco. Per un osservatore sulla Terra, le stelle sembrano dunque scintillare. Per i pianeti, l'effetto è molto meno evidente (o visibile). Il motivo è che i pianeti in realtà si vedono come piccoli dischi (la cosa è facilmente verificabile con un binocolo, per esempio). Le stelle, invece, ci appaiono come punti luminosi: poiché tutta la luce arriva da un singolo punto, la sua posizione apparente in cielo è molto sensibile ai cambiamenti di rifrazione.

3.7

Milioni di meteore entrano ogni giorno nell'atmosfera terrestre

Un meteoroido è un piccolo oggetto roccioso o metallico con una dimensione variabile da quella di un granello di sabbia fino a un metro. Quando entra nell'atmosfera terrestre si riscalda a causa dell'attrito con le particelle dell'aria formando così una scia di luce nel cielo notturno. Questo fenomeno è chiamato meteora (o stella cadente). Quando un meteoroido sopravvive al passaggio attraverso l'atmosfera terrestre e raggiunge la superficie, viene detto meteorite. Anche se milioni di meteore entrano nell'atmosfera terrestre ogni giorno, la maggior parte dei meteoroidi dai quali hanno origine vengono bruciati completamente e trasformati in gas e polvere prima di raggiungere il suolo.

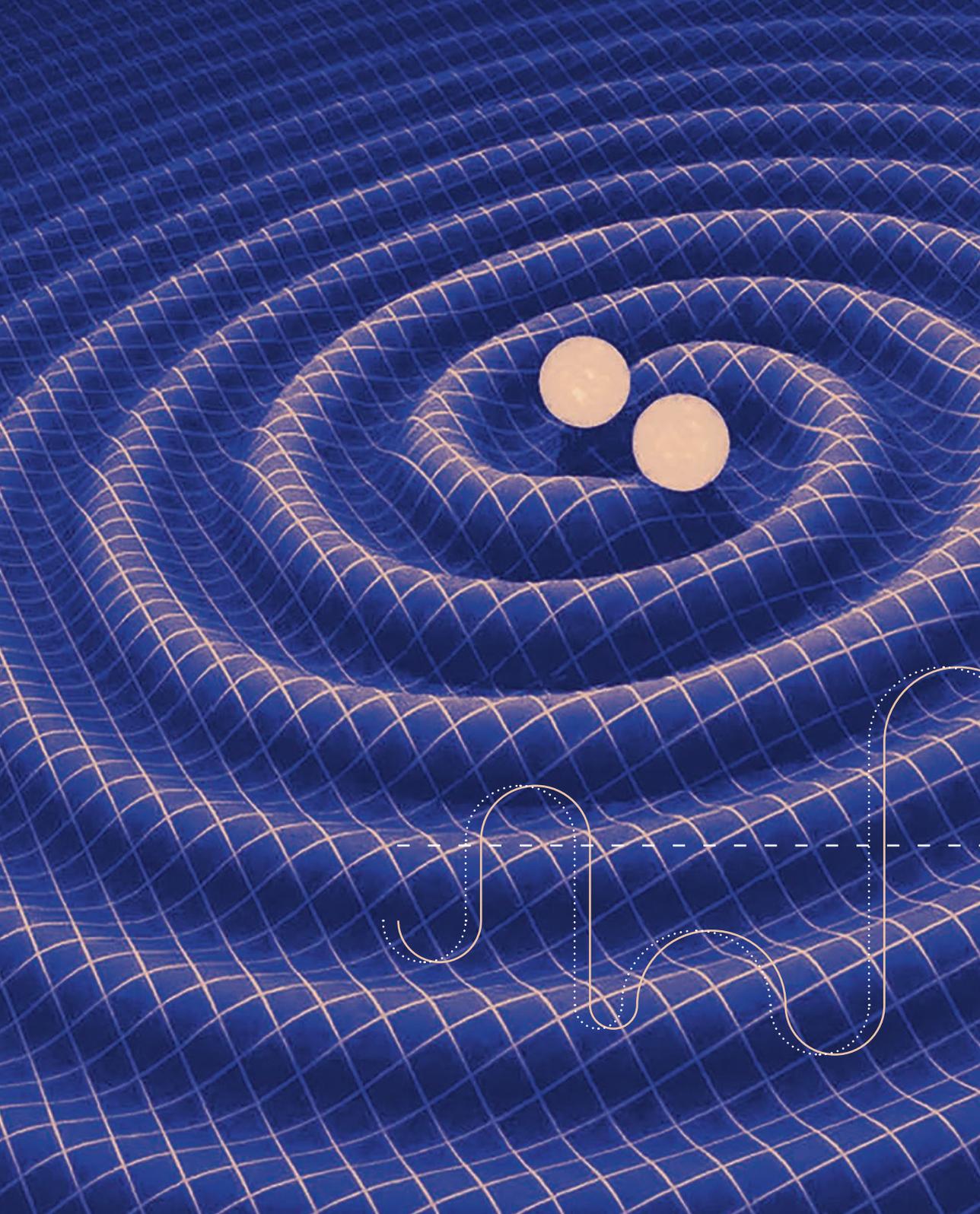


*L'astronomia è la scienza che studia gli
oggetti celesti e i fenomeni nell'universo*



*Rappresentazione artistica
delle onde gravitazionali
prodotte da un sistema
binario di stelle di neutroni,
che si avvicinano l'una
all'altra spiraleggiando
prima di fondersi.*

Crediti: R. Hurt/Caltech-JPL



4.1 La luce (o radiazione elettromagnetica) è la principale fonte di informazioni per la ricerca astronomica

Dal momento che quasi tutti i corpi celesti sono troppo lontani per essere visitati (anche con una sonda), dobbiamo affidarci alla radiazione elettromagnetica (luce) emessa da questi oggetti per studiarli. Lunghezze d'onda diverse dello spettro elettromagnetico forniscono informazioni sui vari meccanismi di emissione di energia/luce dei fenomeni astronomici e sulla natura degli oggetti celesti. Nell'astronomia moderna, lo studio dell'universo è principalmente condotto usando l'intero spettro elettromagnetico: radio, microonde, infrarosso, visibile, ultravioletto, raggi X e raggi gamma. Anche se nel linguaggio comune "luce" si riferisce alla luce visibile, in astronomia la parola "luce" può essere usata per l'intero spettro elet-

4.2 Su larga scala, la gravità è l'interazione dominante nell'universo

In media, gli oggetti astronomici non hanno una carica elettrica netta. Il modo principale con il quale gli oggetti astronomici interagiscono sulla lunga distanza è la forza di gravità. La gravità è ciò che fa orbitare i pianeti intorno al Sole e le stelle intorno al centro delle galassie, ma anche la forza che fa sì che il plasma caldo delle stelle abbia una forma sferica. Molti fenomeni astronomici possono essere descritti usando la legge di gravitazione universale di Newton, ma nelle situazioni più estreme la teoria della relatività generale di Einstein è necessaria per fornire una descrizione accurata dei fenomeni osservati.

4.3 Le onde gravitazionali e le particelle subatomiche offrono nuovi metodi per studiare l'universo

L'esistenza delle onde gravitazionali – increspature nello spazio-tempo – era stata prevista dalla teoria della relatività generale agli inizi del ventesimo secolo. La loro prima identificazione diretta risale al 2015. Ora gli scienziati possono usarle come una nuova finestra per studiare l'universo. Le onde gravitazionali sono generate da intense interazioni gravitazionali, come la fusione di due buchi neri massicci o di due stelle di neutroni. Inoltre gli astronomi utilizzano la rilevazione di diversi tipi di particelle subatomiche, come i neutroni, gli elettroni e i protoni, per studiare l'interno del Sole e alcuni dei processi più energetici dell'universo.

4.4 L'astronomia utilizza i dati ottenuti dalle osservazioni e dalle simulazioni per modellare i fenomeni astronomici nell'ambito delle teorie correnti

Gli astronomi creano modelli matematici degli oggetti astronomici, dei fenomeni a essi associati e della loro evoluzione. La struttura di questi modelli è data da teorie fondamentali di fisica e chimica. Alcuni modelli sono costituiti da semplici relazioni matematiche, mentre modelli più complessi si avvalgono di simulazioni numeriche. Le simulazioni più sofisticate vengono eseguite grazie ad alcuni dei supercomputer più potenti al mondo. I dati delle osservazioni ottenuti con telescopi e rilevatori sono usati per verificare e perfezionare i modelli teorici. Il confronto tra le prove osservative e i modelli teorici è un aspetto fondamentale della ricerca.

4.5

La ricerca astronomica integra le conoscenze provenienti da diversi campi, quali fisica, matematica, chimica, geologia e biologia.

La ricerca astronomica professionale riunisce conoscenze di matematica, fisica, chimica, ingegneria, informatica, così come di altri settori. Questa visione ampia tipica della scienza si è dimostrata essenziale per rivelare la natura degli oggetti astronomici e dei fenomeni a essi associati e produrre dei modelli che ne descrivano le caratteristiche. Per esempio, per capire le reazioni nucleari che avvengono all'interno delle stelle, gli scienziati utilizzano la fisica nucleare; per identificare gli elementi presenti nell'atmosfera delle stelle, usano la chimica. L'ingegneria è basilare per la costruzione dei telescopi e dei rilevatori, mentre lo sviluppo di software specifici è fondamentale per l'analisi dei dati forniti da questi strumenti.

4.6

L'astronomia è costituita da diversi filoni

Poiché una descrizione soddisfacente degli oggetti e dei fenomeni astronomici richiede una buona conoscenza di altri campi scientifici, la moderna astronomia è comunemente divisa in diversi filoni a seconda dei principali temi affrontati. Alcuni di questi filoni includono: l'astrobiologia, la cosmologia, l'astronomia osservativa, l'astrochimica e le scienze planetarie. Inoltre gli astronomi possono specializzarsi nello studio di un determinato tipo di oggetti, come per esempio le nane bianche. Dato l'importante ruolo che la fisica ricopre all'interno dell'astronomia, i termini "astrofisica" e "astronomia" sono oggi usati come sinonimi.

4.7

Le scale di distanza e tempo in astronomia sono molto più ampie di quelle che usiamo nella vita di tutti i giorni

La Luna è l'oggetto celeste più vicino alla Terra e si trova a una distanza di circa 384.400 chilometri da noi. Il Sole ha un diametro di circa 1,39 milioni di chilometri, una massa di circa 1989 miliardi di miliardi di miliardi di chilogrammi. Con una distanza di circa 150 milioni di chilometri (la distanza media tra la Terra e il Sole è definita come Unità Astronomica, o UA) il Sole è la stella più vicina alla Terra. La stella più vicina al Sole è Proxima Centauri, che dista circa 4,25 anni luce. Un anno luce è la distanza che la luce percorre (nel vuoto) in un anno, cioè più di novemila miliardi di chilometri. La nostra galassia ha un diametro di 100.000-120.000 anni luce. Le altre galassie possono essere lontane miliardi di anni luce. Le unità di misura in astronomia sono molto più grandi di quanto noi possiamo immaginare. Analogamente, le scale temporali astronomiche sono lunghe: durate di milioni o miliardi di anni sono comuni.

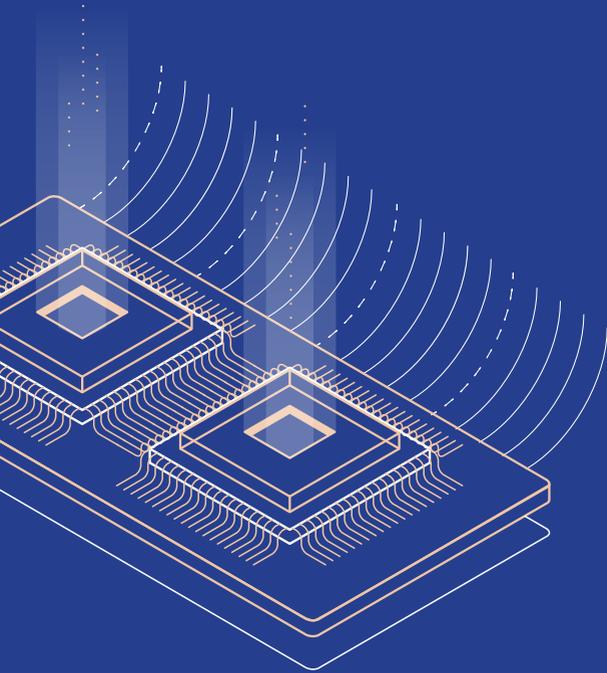
4.8

La spettroscopia è una tecnica importante che ci permette di studiare l'universo a distanza

Molteplici caratteristiche degli oggetti astronomici possono essere evidenziate semplicemente studiando il loro spettro, ovvero la scomposizione della loro luce, come accade per l'arcobaleno, in una miriade di colori diversi, ognuno contraddistinto dalla propria lunghezza d'onda. Analizzando la luce raccolta da questi oggetti, gli astronomi possono ricavare dettagli quali gli elementi che li compongono, la temperatura, la pressione, il campo magnetico e molte altre proprietà.

5

*L'astronomia stimola lo sviluppo
tecnologico e insieme ne usufruisce*



*Due dei quattro telescopi
della classe degli 8 metri
che formano il VLT (Very
Large Telescope), ubicato
nelle Ande cilene.*

Crediti: ESO/P. Horàlek



5.1 I telescopi e i rivelatori sono fondamentali per lo studio dell'astronomia

Poiché le onde elettromagnetiche rappresentano per gli astronomi la principale fonte di informazioni e di conoscenza diretta dell'universo, i telescopi e i rivelatori svolgono un ruolo cruciale per la raccolta e l'analisi di queste onde. I telescopi più grandi raccolgono più luce, permettendo agli astronomi di identificare e analizzare oggetti anche molto deboli. Inoltre, i telescopi più grandi hanno un potere risolutivo maggiore, consentendo una migliore precisione nello studio degli oggetti osservati. Mentre le prime osservazioni astronomiche venivano svolte soggettivamente guardando il cielo direttamente attraverso il telescopio, i rivelatori attuali consentono agli astronomi di effettuare le loro osservazioni, a diverse lunghezze d'onda, in modo oggettivo.

5.2 Alcuni telescopi possono lavorare in modo coordinato come se fossero un unico grande telescopio

Usando una tecnica chiamata interferometria, gli astronomi possono collegare più telescopi insieme, per farli funzionare come se fossero un unico telescopio più grande. Il potere risolutivo di questi strumenti combinati è quello di un telescopio singolo di diametro pari alla massima distanza tra due qualsiasi dei telescopi più piccoli collegati insieme. Questo permette agli astronomi di osservare i dettagli di singoli oggetti celesti ma anche di distinguere oggetti separati e vicini, come per esempio una stella e il suo sistema planetario.

5.3 Ci sono osservatori astronomici sia sulla Terra che nello spazio

L'atmosfera terrestre assorbe le radiazioni di gran parte dello spettro elettromagnetico. È trasparente infatti alla luce visibile, a una parte della radiazione ultravioletta e infrarossa e a una parte della banda radio, le onde corte, ma per il resto è per lo più opaca. Gran parte della banda ultravioletta e una parte consistente della luce infrarossa, così come i raggi X e gamma, non possono penetrare l'atmosfera. Per questo motivo, molti telescopi che raccolgono la luce al di fuori della banda del visibile, del radio e di un piccolo numero di altre bande di lunghezza d'onda devono essere collocati nello spazio. Inoltre, anche se la luce visibile può essere osservata dalla superficie terrestre, la turbolenza dell'atmosfera compromette la qualità delle immagini, cosicché anche alcuni telescopi ottici sono posti in orbita intorno alla Terra.

5.4 Gli osservatori astronomici da terra sono spesso ubicati in zone isolate del mondo

Pochi luoghi sulla Terra garantiscono condizioni osservative incontaminate, caratterizzate da elevate altitudini, assenza di inquinamento luminoso e trasparenza dell'atmosfera a specifiche lunghezze d'onda. Questi luoghi spesso possono essere ostili o difficili da raggiungere e di solito sono molto lontani dai principali insediamenti umani. Gli astronomi possono recarvisi per le loro osservazioni oppure possono lasciare che operatori esperti eseguano le osservazioni al loro posto, o anche fare uso di telescopi robotici con accesso remoto.

5.5

L'astronomia odierna: "Big Science" con "Big Data"

I programmi osservativi astronomici su larga scala (o survey astronomiche) producono grandi quantità di dati e ciò non potrà che aumentare notevolmente nei prossimi anni. Questa evoluzione è detta "Big Data Astronomy" (astronomia con grandi volumi di dati) e uno dei punti nodali è di trovare nuovi metodi per archiviare, trasportare e analizzare questi dati. Questo ha portato allo sviluppo di alcuni progetti di *citizen science* (cioè scienza fatta dai cittadini) per attingere alla notevole capacità di riconoscimento degli schemi da parte dell'occhio umano. Inoltre, i telescopi e gli strumenti moderni sono costosi e la loro costruzione richiede importanti e diverse competenze tecnologiche, cosicché, in questa era della Big Science, sono spesso costruiti da organizzazioni internazionali o da consorzi che coinvolgono numerosi istituti astronomici di diverse nazioni.

5.6

Le simulazioni più complesse e l'enorme quantità di dati in astronomia richiedono lo sviluppo di potenti supercomputer

L'elaborazione delle grandi quantità di dati provenienti sia da simulazioni che da osservazioni dirette richiede calcolatori in grado di effettuare analisi complesse in breve tempo. I supercomputer odierni possono eseguire calcoli a velocità elevatissime, nell'ordine di un paio di centinaia di milioni di miliardi al secondo. Questi supercomputer consentono agli astronomi di creare nuovi modelli di universi simulati e di paragonarli con le osservazioni ottenute dagli studi condotti su larga scala.

5.7

L'astronomia è una scienza globale, con gruppi di lavoro internazionali, in cui i dati e le pubblicazioni sono condivise con

I dati disponibili da molti osservatori professionali sono accessibili pubblicamente. Durante il corso della propria carriera gli astronomi spesso lavorano in nazioni diverse. I progetti astronomici più grandi, dalla costruzione di telescopi e strumenti alle campagne osservative coordinate, sono spesso intrapresi in collaborazione tra ricercatori e istituti provenienti da diversi Paesi. La ricerca astronomica è internazionale e su scala globale. Siamo tutti membri dell'equipaggio dell'"Astronave Terra", sotto un unico cielo, alla scoperta dell'universo.

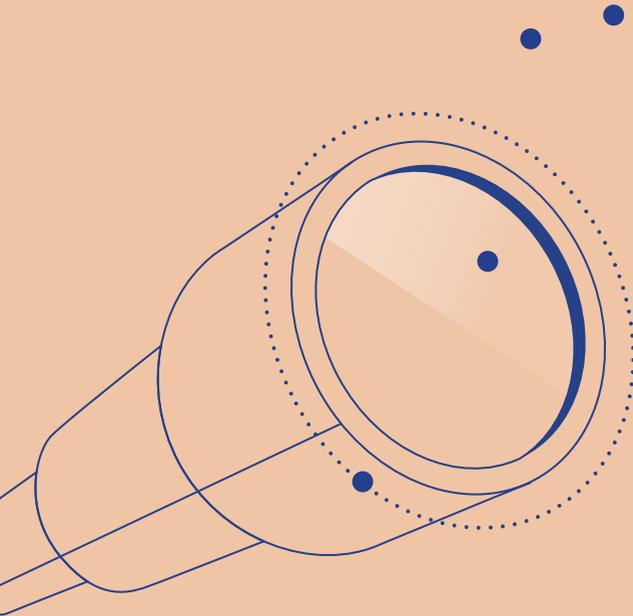
5.8

Numerosi veicoli spaziali sono stati lanciati nello spazio per studiare il sistema solare

Per esplorare e capire meglio quale sia il nostro posto nell'universo, oltre ai telescopi spaziali già menzionati stiamo inviando sonde robotiche nel Sistema solare. Alcune di queste sonde orbitano intorno a pianeti, lune e asteroidi, mentre altre vi sono persino atterrate. Tra i luoghi del Sistema solare visitati dalle sonde robotiche - in sorvolo ravvicinato, in orbita o in atterraggio - ci sono tutti i pianeti, i pianeti nani Plutone e Cerere, la Luna, alcuni satelliti di Giove e Saturno, comete e asteroidi.

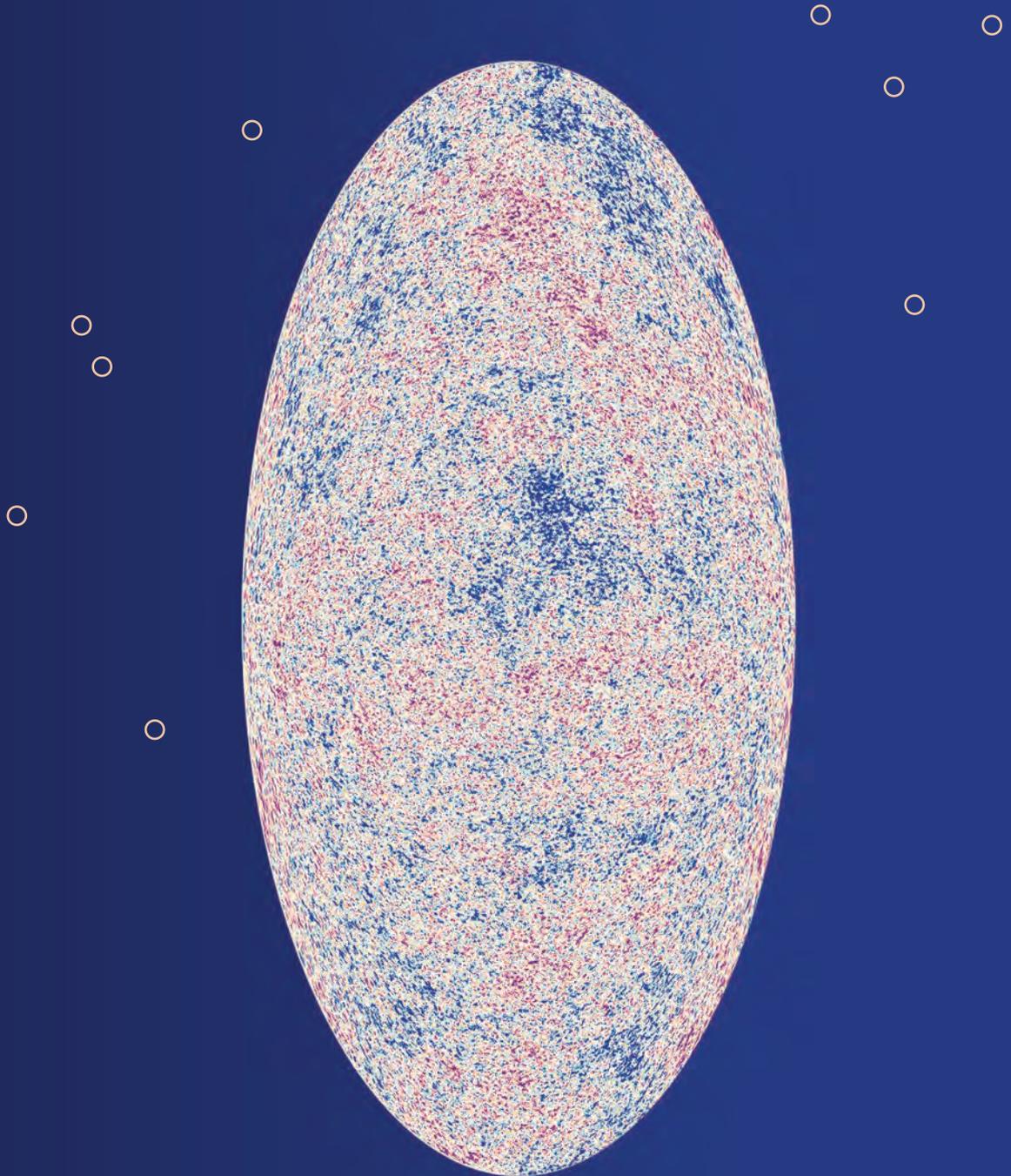
6

La cosmologia è la scienza dell'esplorazione dell'universo nel suo complesso



Un'immagine del fondo cosmico a microonde (CMB), l'eco di quando l'universo aveva solo 380.000 anni.

*Crediti: ESA e la
Collaborazione Planck*



6.1 L'universo ha più di 13 miliardi di anni

Sulla base di osservazioni moderne e di modelli cosmologici all'avanguardia per l'evoluzione primordiale, si stima che l'età dell'universo sia all'incirca di 13,8 miliardi di anni. La cosmologia è il campo di ricerca che studia l'evoluzione e la struttura dell'universo.

6.2 L'universo è omogeneo e isotropo su grande scala

Sulle scale più grandi (più di 300 milioni di anni luce), la materia nell'universo appare distribuita uniformemente. A causa di questa densità e struttura quasi uniformi, l'universo ci appare più o meno lo stesso in qualunque punto (omogeneo) e in ogni direzione (isotropo).

6.3 Gli astronomi osservano sempre il passato

A causa della velocità finita della luce, non vediamo mai gli oggetti come sono ora, ma sempre come erano nel passato. Possiamo vedere il Sole solo com'era otto minuti fa, poiché la luce del Sole impiega circa otto minuti per raggiungerci. Vediamo la galassia di Andromeda com'era 2,5 milioni di anni fa, il tempo necessario alla sua luce per arrivare fino alla Terra. In tal senso, gli astronomi osservano sempre il passato, anche fino a 13,8 miliardi di anni fa. Osservare quindi oggetti astronomici a varie distanze ci fornisce uno spaccato della storia cosmica in diverse epoche. Poiché l'universo ha in media le stesse proprietà ovunque, questo spaccato ci fornisce indizi fondamentali anche sulla nostra storia.

6.4 Possiamo osservare direttamente solo una frazione dell'universo

Poiché la luce viaggia nello spazio con velocità finita ci sono regioni distanti dell'universo che non possiamo ancora osservare. Questo accade solo perché la luce da quelle regioni non ha ancora avuto il tempo di raggiungerci i nostri rivelatori sulla Terra. Possiamo vedere solo gli oggetti contenuti entro una regione specifica, chiamata "universo osservabile", che include tutti gli oggetti la cui luce ha avuto il tempo necessario per raggiungerci. Di particolare interesse sono gli oggetti che si trovano ai confini più lontani di questa regione. Essi ci appaiono nella forma che avevano quando l'universo era appena iniziato.

6.5 L'universo è composto principalmente da energia oscura e materia oscura

Le stelle, l'aria che respiriamo, i nostri corpi e tutto quello che vediamo intorno a noi è composto da atomi, che a loro volta sono composti da protoni, neutroni ed elettroni. Questa materia è chiamata barionica ed è quella con cui interagiamo nella nostra vita quotidiana. Le osservazioni indicano che questa materia rappresenta solo il 5% del contenuto totale dell'universo, composto per la maggior parte da una forma

ancora sconosciuta di energia che va sotto il nome di energia oscura (circa il 68%) e da una forma insolita di materia chiamata materia oscura (circa il 27%). La natura dell'energia oscura e della materia oscura sono aree di ricerca molto attuali, soprattutto grazie all'osservazione dell'influenza che esse hanno sulla materia barionica.

6.6 L'universo si espande in modo accelerato

Ci sono evidenze osservative che il tasso di espansione dell'universo sia in accelerazione e ciò è attribuito alla presenza di energia oscura. Mentre l'universo si espande sistematicamente a grandi scale, gli ammassi di galassie si allontanano gli uni dagli altri. Nei modelli moderni, tutte le distanze tra gli ammassi di galassie crescono in proporzione con lo stesso fattore di scala dell'universo. Dati osservativi mostrano che più distanti sono le galassie da noi e più velocemente ci appaiono allontanarsi (legge di Hubble-Lemaître). Ipotetici osservatori alieni in altre galassie osserverebbero lo stesso fenomeno. Sistemi legati, come gli ammassi e i gruppi di galassie tenuti insieme dalla propria gravità, o anche le galassie stesse, non sono influenzati dall'espansione cosmica. All'interno di ammassi e gruppi, singole galassie possono trovarsi in orbita le une intorno alle altre, oppure trovarsi in rotta di collisione, come sta accadendo per la Via Lattea e la galassia di Andromeda.

6.7 L'espansione dello spazio implica lo spostamento della luce verso il rosso

L'espansione cosmica influenza le proprietà della luce nell'universo. La luce che ci raggiunge dalle galassie distanti risulta arrossata (*redshift* - spostamento verso il rosso) proporzionalmente all'aumentare della distanza. Questo redshift cosmologico può essere spiegato direttamente in termini di lunghezze d'onda della luce che aumentano con il fattore di scala cosmico. Per questo motivo le galassie lontane possono essere osservate solo nell'infrarosso o nella banda radio e la radiazione cosmica di fondo è più intensa nella banda delle microonde.

6.8 Le leggi naturali (come la gravità) che studiamo sulla Terra sembrano funzionare nello stesso modo in tutto l'universo

Sono stati ideati molti studi e verifiche per capire se le leggi fondamentali della fisica, come per esempio le leggi che governano la gravità, la termodinamica e l'elettromagnetismo, sono le stesse sulla Terra e nell'universo lontano. Finora, tutte queste verifiche indicano che le leggi fondamentali della fisica si applicano in tutto l'universo conosciuto.

6.9 La struttura a grande scala dell'universo è composta da filamenti, piani e vuoti

Grandi survey delle distanze nell'universo hanno rilevato che, a grandi scale, dell'ordine di alcune centinaia di milioni di anni luce, l'universo assomiglia a una rete tridimensionale di filamenti e vuoti simile a una spugna, che gli astronomi chiamano "la ragnatela cosmica". Filamenti e piani contengono milioni di galassie. Queste strutture a grande scala si estendono per centinaia di milioni d'anni luce e sono tipicamente spesse

decine di milioni di anni luce. I filamenti e i piani definiscono i vuoti, che hanno diametri dell'ordine del centinaio di milioni di anni luce e contengono solo pochissime galassie.

6.10

La radiazione cosmica di fondo ci permette di esplorare l'universo primordiale

La radiazione elettromagnetica più antica, emanata dalle regioni più distanti dell'universo che possiamo osservare, è detta "radiazione cosmica di fondo". È ciò che rimane dell'universo primordiale, caldo e denso, l'impronta delle informazioni che risalgono a un'epoca in cui l'universo aveva circa 380.000 anni. Il fondo cosmico a microonde ci permette di misurare alcune caratteristiche fondamentali dell'universo nel suo insieme: la quantità di materia oscura, di energia oscura e di materia barionica che esso contiene, la sua geometria e il suo tasso di espansione attuale. Il fondo cosmico a microonde mostra che l'universo è quasi isotropo e pertanto fornisce una prova indiretta di omogeneità.

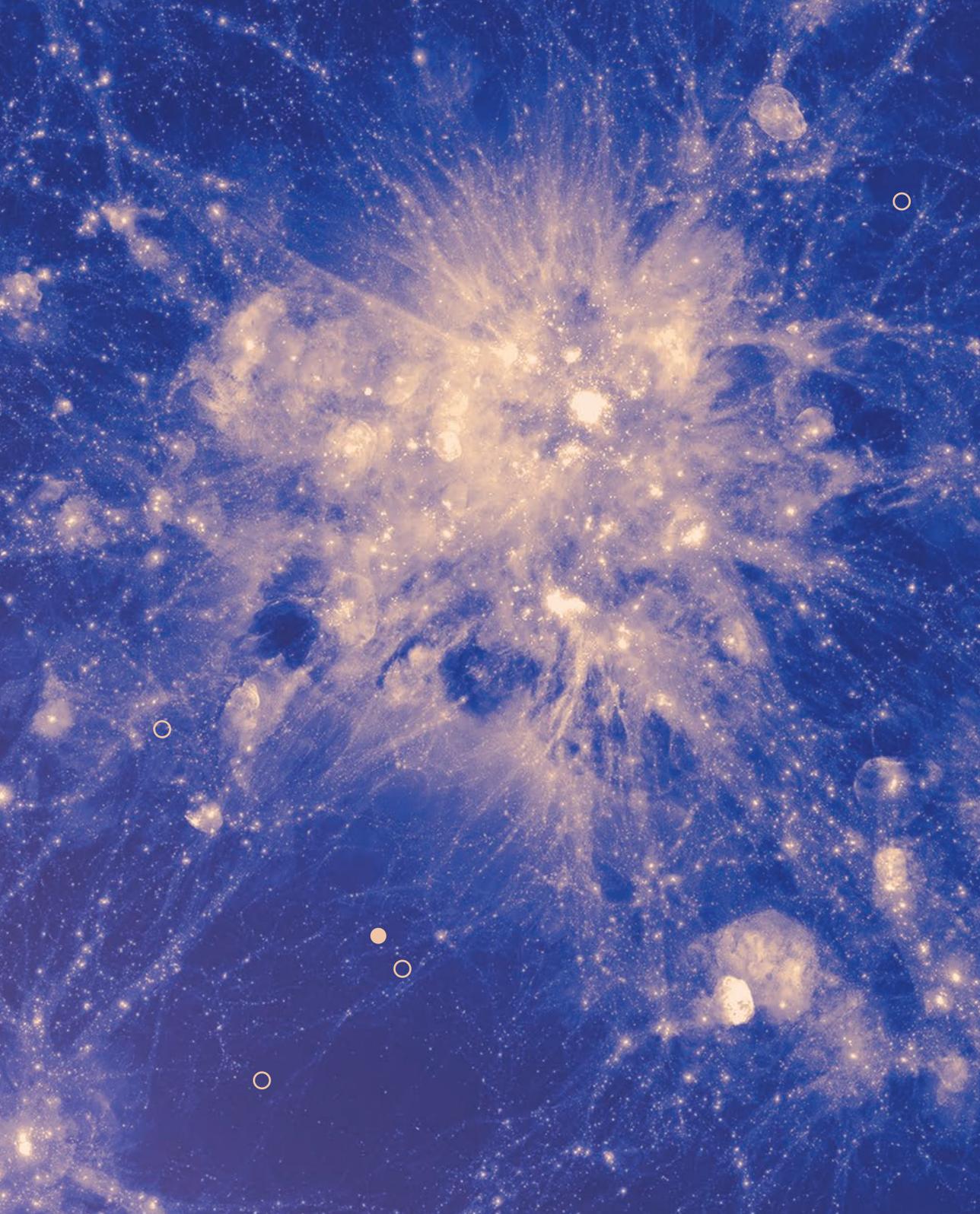
6.11

L'evoluzione dell'universo può essere spiegata dal modello del Big Bang

Secondo gli indizi più chiari finora a disposizione, più di 13 miliardi di anni fa tutta la materia e l'energia che vediamo intorno a noi erano contenute in un volume più piccolo di un atomo. L'universo si è espanso da questa fase di altissima densità e temperatura (fase del Big Bang) fino al suo stato attuale. I modelli che descrivono l'espansione dell'universo sono chiamati "LambdaCDM" (dove Lambda sta per la componente di energia oscura dell'universo e CDM per materia oscura fredda, Cold Dark Matter in inglese). La fase nota come Big Bang, nonostante il nome, non rappresenta un'esplosione in cui la materia viene scagliata in uno spazio preesistente vuoto. Tutto lo spazio disponibile era già pieno di materia fin dall'inizio ma la densità media di questa materia è diminuita a mano a mano che lo spazio si è espanso. A partire da quando le galassie si sono formate, la distanza media tra esse ha continuato ad aumentare. Il modello del Big Bang fornisce numerose previsioni verificabili sull'universo attuale: la maggioranza di esse è stata confermata dalle osservazioni.

Una simulazione cosmologica a grande scala che mostra l'evoluzione di un settore di universo, con la densità di materia oscura sovrapposta alla velocità del gas.

Crediti: La Collaborazione Illustris



7

*Viviamo su un piccolo
pianeta del Sistema solare*

*Rappresentazione artistica
di alcuni degli esopianeti
in orbita intorno alla stella
TRAPPIST-1, il cui sistema
contiene almeno sette
pianeti rocciosi di dimensioni
simili a quelle della Terra.*

Crediti: ESO/M. Kornmesser



7.1 Il Sistema solare si è formato circa 4,6 miliardi di anni fa

La datazione radiometrica delle meteoriti ci ha permesso di determinare l'età del Sistema solare. Questa età è coerente con la datazione dei campioni di rocce lunari e delle rocce più antiche trovate sulla superficie della Terra.

7.2 Il Sistema solare è costituito da Sole, pianeti, pianeti nani, lune, comete, asteroidi e meteoroidi

Il Sistema solare è formato da una stella centrale, che chiamiamo Sole, e da ogni altro oggetto che orbita intorno a esso, sotto l'influenza della gravità solare. Questi oggetti comprendono i pianeti e i loro satelliti naturali, i pianeti nani, gli asteroidi, i meteoroidi e le comete. Il Sole rappresenta più del 99,87% della massa totale del Sistema solare.

7.3 Nel Sistema solare ci sono otto pianeti

In base alla decisione presa nel 2006 dall'Unione Astronomica Internazionale, per essere considerato un pianeta un corpo celeste deve soddisfare tre criteri. Il primo è che deve essere in orbita intorno al Sole. Il secondo è che deve possedere una massa sufficiente affinché la gravità lo modelli fino a raggiungere una forma approssimativamente sferica. Infine, la sua influenza gravitazionale deve essere sufficiente a eliminare altri oggetti dalle vicinanze della sua orbita. Gli oggetti celesti, tranne i satelliti naturali, che soddisfano i primi due criteri, ma non il terzo, sono definiti pianeti nani. Contando a partire dal Sole, i pianeti del Sistema solare sono Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano e Nettuno.

7.4 Ci sono molti pianeti nani nel Sistema solare

I pianeti nani sono più piccoli della Luna, che ha un diametro di circa 3474 chilometri. Per ora, Plutone risulta essere il più grande dei pianeti nani, seguito da Eris, Haumea, Makemake e Cerere. Tutti questi oggetti sono solidi, possiedono una superficie ghiacciata e hanno una composizione simile. Cerere si trova tra le orbite di Marte e di Giove, mentre gli altri quattro pianeti nani orbitano in posizione più esterna rispetto all'orbita di Nettuno, nella cosiddetta fascia di Edgeworth-Kuiper.

7.5 I pianeti si dividono in pianeti terrestri (rocciosi) e giganti gassosi

I quattro pianeti più vicini al Sole sono definiti pianeti terrestri. Hanno tutti una superficie solida e sono composti per la maggior parte di rocce. Mercurio non ha un'atmosfera, invece Venere ha un'atmosfera più densa rispetto a quella della Terra e Marte una più rarefatta. In contrasto con i pianeti interni più piccoli, i quattro pianeti esterni, che sono definiti giganti gassosi, sono molto più grandi. Questi pianeti sono composti per la maggior parte di gas (in particolare, idrogeno ed elio) e le loro atmosfere sono molto dense. Tutti i giganti gassosi sono circondati da anelli. Saturno ha il sistema di anelli di gran lunga più spettacolare, visibile anche con telescopi abbastanza piccoli.

7.6

Alcuni pianeti hanno dozzine di satelliti naturali

Con l'eccezione di Mercurio e Venere, tutti i pianeti possiedono dei satelliti naturali. La Terra è l'unico pianeta del Sistema solare che possiede una sola luna, mentre Marte ne ha due. Tutti i giganti gassosi, invece, hanno un grande numero di oggetti celesti in orbita intorno a essi. Giove e Saturno, con più di 75 lune confermate, sono i pianeti che hanno più satelliti naturali, seguiti da Urano e Nettuno.

7.7

La Terra è il terzo pianeta in orbita intorno al Sole e ha un solo satellite naturale, la Luna

Il pianeta che ci ospita è il terzo pianeta a partire dal Sole e la sua orbita è quasi circolare. L'atmosfera terrestre è composta per la maggior parte di azoto e ossigeno. La temperatura media sulla superficie, ricoperta per il 70% da acqua, è di circa 15 gradi Celsius. La Luna è l'unico satellite naturale della Terra e l'unico oggetto celeste su cui abbiamo messo piede gli esseri umani.

7.8

Ci sono milioni di asteroidi, eredità dei primi stadi di formazione del Sistema solare

I resti delle prime fasi di formazione del Sistema solare si trovano soprattutto nella fascia degli asteroidi, ubicata tra le orbite di Marte e di Giove, e nella fascia di Edgeworth-Kuiper, oltre l'orbita di Nettuno. Le dimensioni degli asteroidi vanno da 10 metri a 1000 chilometri. La massa totale di tutti gli asteroidi contenuti nel Sistema solare è minore della massa della Luna.

7.9

Una cometa è un oggetto ghiacciato che sviluppa una coda quando viene riscaldato dal Sole

Le comete sono composte soprattutto di ghiaccio, ma contengono anche polvere e detriti rocciosi. Il ghiaccio è volatile ed evapora quando la cometa si avvicina al Sole, a causa del vento solare e della radiazione solare, cosicché si creano due code: una, composta soprattutto di polvere, è leggermente curvata nella direzione opposta a quella del moto della cometa e si estende per milioni di chilometri; l'altra, composta da plasma, è dritta e non sempre visibile a occhio nudo. Le code puntano sempre nella direzione opposta al Sole, indipendentemente dalla direzione del moto della cometa. Si ritiene che la maggior parte delle comete provenga da due regioni specifiche: la fascia di Edgeworth-Kuiper, oltre l'orbita di Nettuno, e la Nube di Oort, ai confini del Sistema solare.

7.10

La regione ai confini del Sistema solare viene chiamata Eliopausa

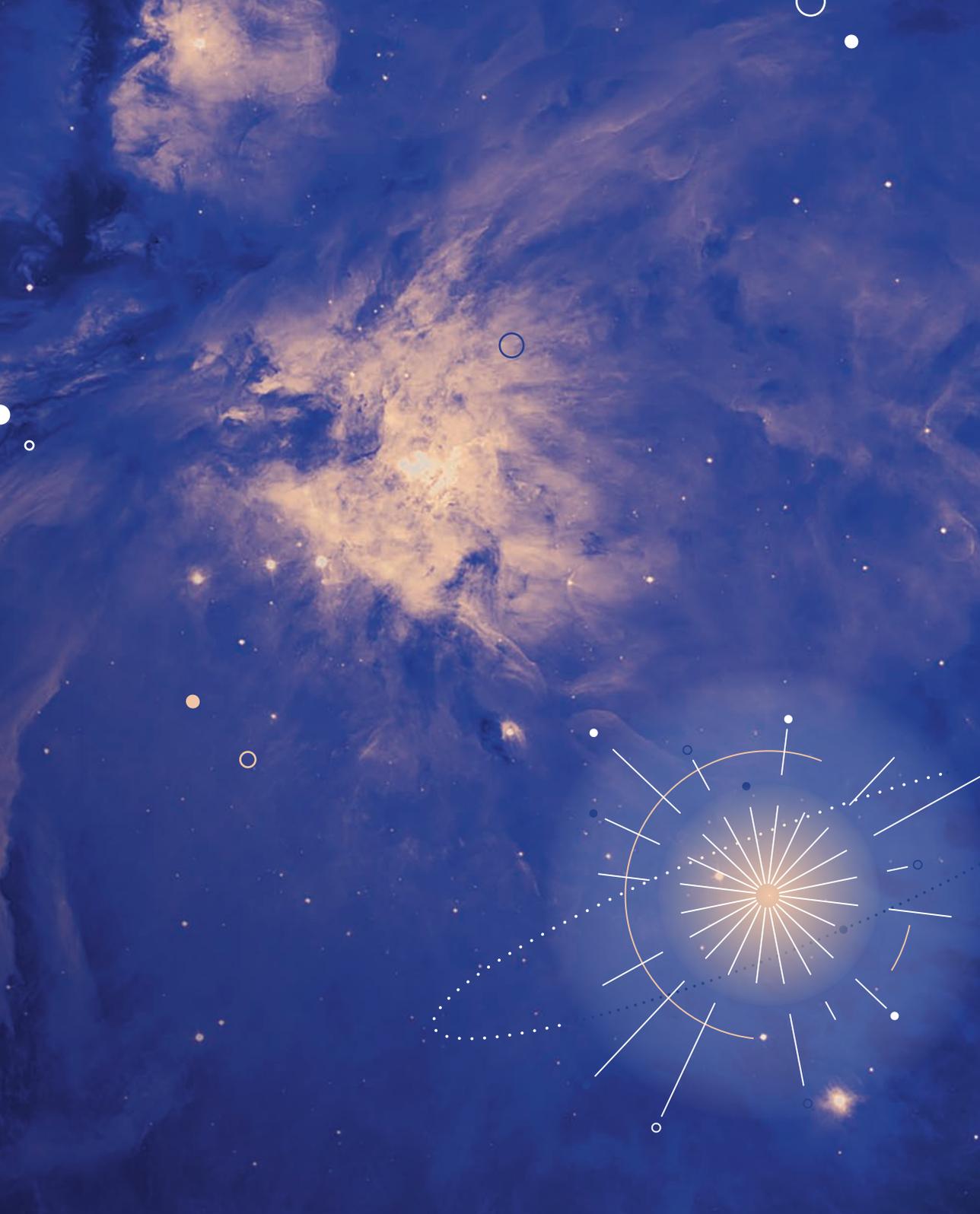
Il campo magnetico del Sole si estende molto al di là della superficie solare. Ciò produce una bolla che contiene l'intero Sistema solare. La regione in cui il campo magnetico del Sole interagisce con il campo magnetico di altre stelle viene chiamata Elioguaina. Il confine esterno di questa regione turbolenta viene detto Eliopausa, oltre la quale si estende lo spazio interstellare. Nel 2012, la navicella spaziale Voyager 1 è stato il primo oggetto creato dall'uomo ad attraversare l'Eliopausa.



*Siamo polvere di
stelle*

*La Nebulosa di Orione
(M42), la regione massiccia
di formazione stellare più
vicina a noi, a quasi 1500
anni luce di distanza.*

*Crediti: NASA, ESA, M.
Robberto (Space Telescope
Institute/ESA) e l'Hubble
Space Telescope Orion
Treasury Project Team.*



8.1

Una stella è un corpo celeste che emette luce propria e genera la propria energia per mezzo di reazioni nucleari interne

Le stelle sono composte di plasma caldissimo. Il plasma è un gas in cui gli elettroni e i nuclei degli atomi sono separati e che rimane coeso grazie alla propria forza di gravità. L'emissione di energia che sostiene la stella viene generata dalle reazioni nucleari che avvengono nel nucleo, con la fusione dell'idrogeno in elio attraverso la catena protone-protone (e per le stelle più massicce, attraverso il ciclo carbonio-azoto-ossigeno, detto ciclo CNO) e poi con la fusione di elementi di più alto peso atomico. Le stelle sono rese stabili dalla pressione esercitata dall'energia liberata durante i processi di fusione, che compensano la spinta a collassare a causa della forza di gravità della stella stessa. In questo modo, la maggioranza delle stelle di massa simile o minore di quella del Sole rimane stabile per alcuni miliardi o perfino per decine di miliardi di anni.

8.2

Le stelle si formano da nubi massicce di polvere e gas

Il collasso gravitazionale di gigantesche nubi molecolari fredde dà origine alle stelle. Quando la nube collassa, si frammenta in noccioli densi, le cui zone centrali diventano sempre più dense e calde. Oltre valori critici di temperatura e pressione, si innesca la fusione nucleare e nasce una stella. La stella giovane è inizialmente circondata da un disco proto-planetario di polvere e gas. Nel corso di milioni di anni, il disco si differenzia in pianeti e corpi minori.

8.3

La stella più vicina alla Terra è il Sole

Con un diametro equatoriale di circa 1,4 milioni di chilometri, il Sole, la stella più vicina alla Terra, è così grande che potrebbe contenere più di 1,3 milioni di Terre. Anche se la nostra stella ci appare enorme se confrontata al nostro pianeta, esistono nell'universo altre stelle molto più grandi. La supergigante VY Canis Majoris, per esempio, è la più grande stella conosciuta finora, con un diametro circa 1400 volte quello del Sole. Se la ponessimo al centro del Sistema Solare, la sua superficie si estenderebbe oltre l'orbita di Giove. D'altra parte ci sono anche stelle molto più piccole del Sole. La stella più vicina a noi, Proxima Centauri, è una nana rossa con un diametro di circa 200.000 chilometri, solo 16 volte il diametro della Terra.

8.4

Il Sole è una stella dinamica

Sebbene sia in apparenza uniforme, la superficie del Sole può essere cosparsa di macchie oscure. Queste macchie solari, o regioni caratterizzate da un forte campo magnetico, appaiono scure perchè sono più fredde del materiale circostante. Il Sole alterna fasi in cui produce molte macchie a fasi in cui ne produce poche, con un periodo di 11 anni. A volte il campo magnetico solare si attorciglia, raccoglie una notevole quantità di energia e poi la rilascia in un'esplosione di luce e particelle. Queste esplosioni sono chiamate brillamenti o eiezioni coronali di massa. Ma anche quando è calmo, il Sole lancia nello spazio ogni secondo circa 1,5 miliardi di chilogrammi di gas magnetizzato caldissimo. Questo vento solare fluisce liberamente nel Sistema solare e interagisce con i pianeti. Anche altre stelle producono brillamenti e venti stellari.

8.5

Il colore di una stella ne indica la temperatura superficiale

Le stelle possono avere temperature superficiali tra alcune migliaia e cinquantamila gradi Celsius. Le stelle calde emettono gran parte della loro energia mediante irraggiamento nella regione blu e ultravioletta dello spettro elettromagnetico (cioè caratterizzate da piccole lunghezze d'onda), cosicché ci appaiono azzurre. Le stelle più fredde invece appaiono rosicce, poiché irradiano la maggior parte della propria energia nelle zone rosse e infrarosse dello spettro elettromagnetico (cioè a lunghezze d'onda maggiori).

8.6

Lo spazio tra le stelle può essere vuoto, oppure può contenere nubi di gas, che possono generare nuove stelle

Lo spazio tra le stelle contiene piccole tracce di materiale sotto forma di gas, polvere e particelle di alta energia (i raggi cosmici). Questo materiale viene definito "mezzo interstellare" e può essere più o meno denso in zone diverse della galassia. In ogni caso, le regioni più dense del mezzo interstellare sono almeno mille volte meno dense del vuoto più spinto creato in laboratorio sulla Terra.

8.7

Il ciclo vitale di una stella è determinato in gran parte dalla sua massa iniziale

Le primissime stelle dell'universo, come mostrato da simulazioni numeriche, avevano vita breve, di solo qualche milione di anni. Le stelle piccole come il Sole, invece, hanno una vita media di circa 10 miliardi di anni. Le nane rosse, poco massicce, possono vivere anche alcune migliaia di miliardi di anni. Una stella di massa simile a quella del Sole evolverà in una gigante rossa, per poi espellere la maggioranza della propria massa nello spazio, riducendosi nella fase finale della propria vita a una nana bianca compatta, circondata da quella che viene definita una nebulosa planetaria. Una stella di massa pari ad almeno otto masse solari evolverà in una supergigante rossa prima di esplodere come supernova, lasciando come residuo una stella di neutroni, oppure un buco nero stellare.

8.8

Le stelle massicce possono concludere la propria esistenza come buchi neri di massa stellare

Un buco nero è una regione dello spazio il cui campo gravitazionale estremo impedisce a qualsiasi cosa – persino alla luce – di sfuggire, una volta attraversato l'orizzonte degli eventi. L'orizzonte degli eventi è un confine che circonda il buco nero, la distanza a cui la velocità necessaria per sfuggire al campo gravitazionale è maggiore della velocità della luce. I modelli teorici prevedono che al centro di questa struttura ci sia una singolarità, in cui la densità di materia e la curvatura dello spazio-tempo tendono all'infinito. La massa dei buchi neri stellari è dell'ordine di alcune decine di masse solari, contenute in una regione dal raggio che dipende dalla massa e va da alcuni chilometri ad alcune decine di chilometri.



8.9

Le generazioni più recenti di stelle e i loro sistemi planetari sono nati da materia lasciata in quella regione di spazio da generazioni precedenti di stelle

Escludendo l'idrogeno, gran parte dell'elio e una piccola quantità di litio, tutti gli elementi attualmente nell'universo sono stati prodotti all'interno delle stelle dalla fusione nucleare. Le stelle di piccola massa, come il Sole, producono gli elementi più leggeri, fino all'ossigeno, mentre le stelle massicce possono creare elementi più pesanti dell'ossigeno, fino al ferro. Gli elementi più pesanti del ferro, come per esempio l'oro e l'uranio, vengono creati durante le esplosioni di supernova ad alta energia e nelle collisioni tra stelle di neutroni. Quando muoiono, le stelle rilasciano gran parte della propria massa nel mezzo interstellare. Da questo materiale si formano nuove stelle, in un grande riciclo cosmico.

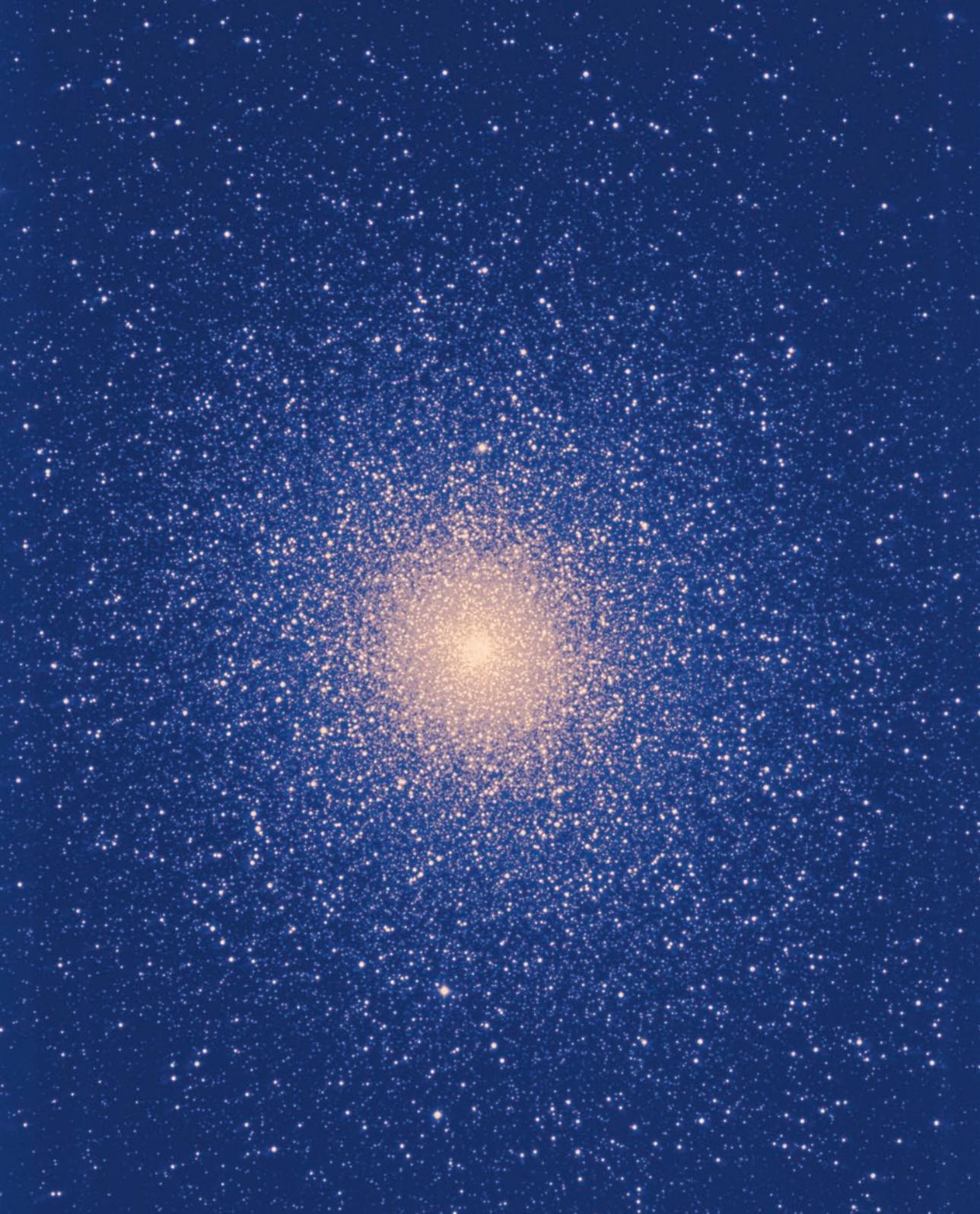
8.10

Il corpo umano è formato da atomi che risalgono a stelle precedenti alla formazione del Sole e del Sistema Solare

Gli elementi diversi dall'idrogeno, dall'elio e da una piccola quantità di litio furono creati all'interno delle stelle e rilasciati quindi nello spazio durante gli ultimi stadi della loro vita. Questa è l'origine della maggior parte degli elementi che costituiscono il nostro corpo, come per esempio il calcio nelle ossa, il ferro nel sangue, l'azoto nel DNA. Anche gli elementi che costituiscono gli altri animali, le piante e in generale la maggior parte di ciò che ci circonda sono stati prodotti dalle stelle miliardi di anni fa.

Un'immagine dell'ammasso globulare NGC 104, chiamato anche 47 Tucanae. È il secondo, sia per dimensioni che per luminosità, tra gli ammassi globulari, cioè gruppi di stelle molto densi che assumono forma quasi sferica, visibili nelle notti terrestri.

Crediti: ESO/r

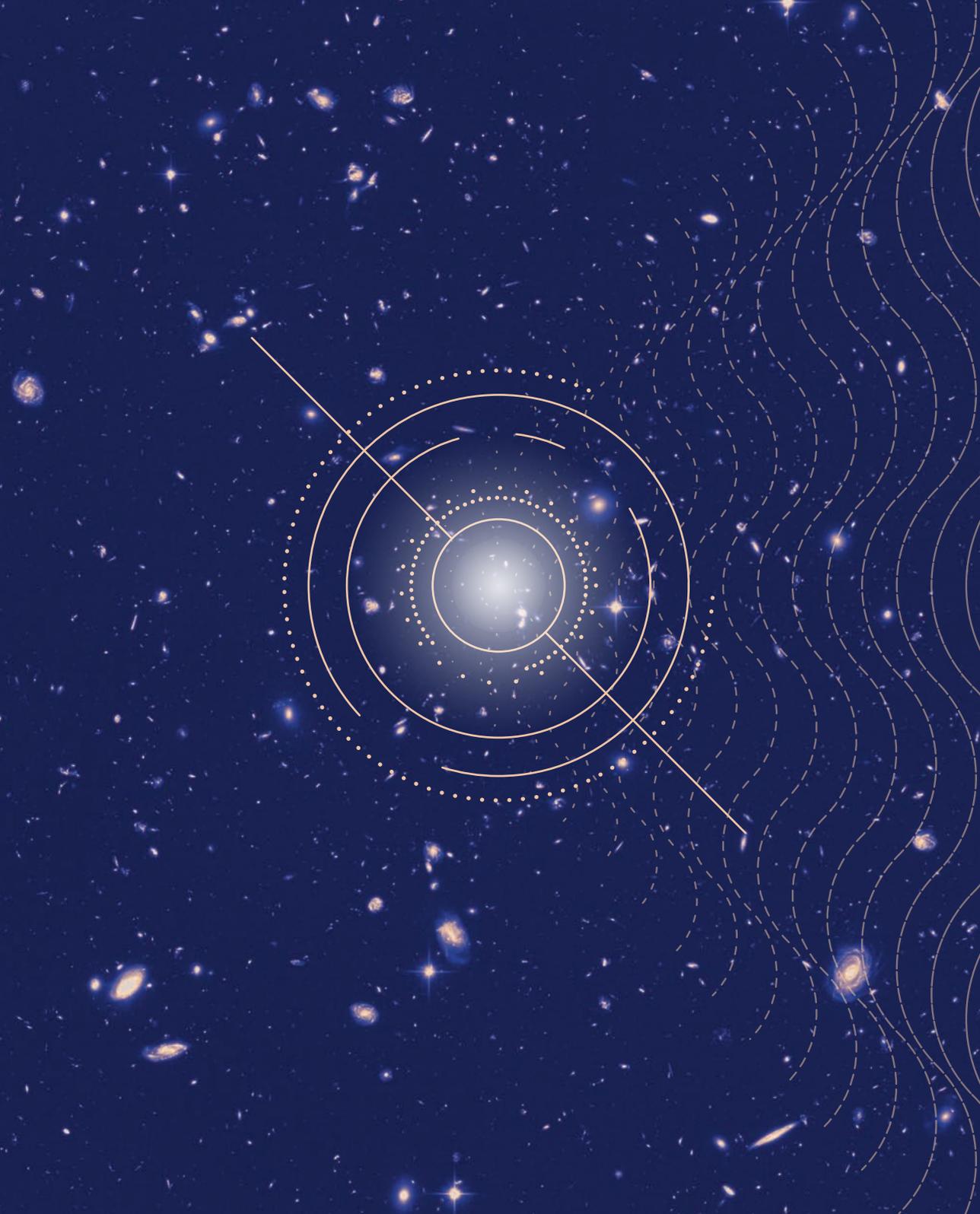


9

*Ci sono centinaia di miliardi
di galassie nell'universo*

*L'Hubble Ultra Deep Field
(campo ultra-profondo di
Hubble), fotografia di una
piccola regione di cielo (circa
un decimo del diametro della
Luna piena) che contiene
quasi diecimila galassie.*

*Crediti: NASA, ESA,
e S. Beckwith (STScI)
e l'HUDF Team.*



9.1 Una galassia è un grande sistema formato da stelle, polvere e gas

Una galassia contiene una quantità compresa tra alcuni milioni e alcune centinaia di miliardi di stelle, legate dalla forza di gravità reciproca. Le stelle di una galassia possono far parte di un ammasso stellare o di una più ampia popolazione di stelle singole distribuite nella galassia. Inoltre, una galassia contiene resti di stelle, polvere, gas e materia oscura. La maggior parte delle galassie ospita un buco nero supermassiccio nel nucleo.

9.2 Le galassie contengono una grande quantità di materia oscura

La materia oscura è quel tipo di materia che non emette radiazione elettromagnetica né interagisce con essa e quindi è impossibile da vedere direttamente. Pur essendo invisibile, la materia oscura ha una massa e la sua esistenza si deduce proprio grazie agli effetti gravitazionali che provoca sugli oggetti visibili, come l'alterazione del loro moto o la distorsione delle immagini dovuta a fenomeni di lente gravitazionale. Le galassie sono circondate da un alone molto esteso di materia oscura – in un certo senso, ciò che vediamo di una galassia è solo la punta dell'iceberg della massa totale.

9.3 La formazione delle galassie è un processo evolutivo

Nel corso delle prime centinaia di milioni di anni nella vita dell'universo, la materia oscura è evoluta in numerose regioni più dense, dette aloni. Con l'accumulo di idrogeno ed elio gassosi in questi aloni, si sono formate le prime galassie e le prime stelle. Le grandi galassie a spirale come la Via Lattea si sono evolute attirando e incorporando diverse galassie più piccole. Le grandi galassie ellittiche, invece, si sono formate dalla collisione e dalla fusione di galassie massicce. A seconda delle riserve di gas a disposizione e in seguito al riscaldamento dovuto alle esplosioni stellari o all'attività nucleare, in queste galassie si sono formate nuove stelle a ritmi più o meno elevati.

9.4 Classifichiamo le galassie in tre categorie principali: spirali, ellittiche, irregolari

In base alla loro morfologia, le galassie sono definite come spirali, ellittiche o irregolari. Questi tre tipi di galassie differiscono non solo per la forma, ma anche per ciò da cui sono costituite. Le galassie a spirale hanno bracci appiattiti a forma di spirale, formati soprattutto da stelle giovani e brillanti e da grandi quantità di polvere e gas. Al contrario, le galassie ellittiche contengono meno gas freddo; le loro stelle sono prevalentemente vecchie e hanno una distribuzione sferica o ovoidale. Alcune galassie, tra cui la maggior parte delle galassie nane, non mostrano nessuna di queste due forme di riferimento e sono chiamate irregolari.

9.5 Viviamo in una galassia a spirale chiamata Via Lattea

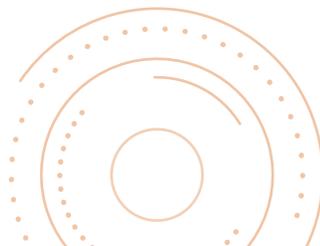
La Via Lattea è una galassia a spirale con una struttura a forma di barra al centro. Il Sistema solare si trova a circa 25.000 anni luce dal centro, in uno dei bracci a spirale. La parte visibile della nostra Galassia è una raccolta di stelle a forma di disco, con un diametro di circa 100.000 - 120.000 anni luce e uno spessore di soli 2.000 anni luce. In questo disco le stelle giovani e la polvere formano i bracci a spirale. In una notte buia, da un luogo non illuminato, possiamo vedere una piccola frazione degli oltre cento miliardi di stelle del disco galattico come un'enorme fascia diffusa che attraversa il cielo. Questo è come ci appare la Galassia vista all'interno.

9.6 I bracci a spirale delle galassie sono formati dall'accumulo di gas e polveri

Secondo una teoria comunemente accettata, i bracci a spirale sono il risultato di un'onda di compressione della materia che si sposta nel disco della galassia, spingendo le stelle, il gas e la polvere ad accumularsi come automobili in un ingorgo in una strada trafficata. Si formano così nel disco regioni più dense che appaiono come i bracci di una spirale. Queste regioni di alta densità contengono grandi quantità di polvere e gas, essenziali per la formazione di nuove stelle. Di conseguenza, i bracci delle spirali contengono molte stelle giovani e brillanti proprio a causa dell'alto tasso di formazione stellare.

9.7 La maggior parte delle galassie ha un buco nero supermassiccio al centro

Si stima che una tipica galassia contenga circa cento milioni di buchi neri di massa stellare. Questi si formano quando una stella massiccia termina la propria vita con un'esplosione di supernova. I buchi neri supermassicci invece si trovano nel nucleo della maggior parte delle galassie e sono i più grandi buchi neri conosciuti, con masse che vanno da alcuni milioni a più di un miliardo di masse solari. Il buco nero supermassiccio al centro della Via Lattea ha una massa pari a circa quattro milioni di volte la massa del Sole. La prima immagine diretta dell'ombra dell'orizzonte degli eventi di un buco nero, quello al centro dell'enorme galassia ellittica M87, è stata ottenuta nel 2019 combinando i dati di otto radiotelescopi distribuiti in diverse posizioni sulla superficie della Terra.



9.8

Le galassie possono essere molto lontane tra loro

La galassia più vicina alla Via Lattea è la galassia nana del Cane Maggiore, a una distanza di circa 25.000 anni luce. Le galassie più lontane ci appaiono molto deboli e sono quindi difficili da osservare. Per ottenere immagini di galassie lontane è necessario usare telescopi grandi e con alto potere risolutivo e impiegare tempi di esposizione lunghi per raccogliere una quantità sufficiente di luce.

9.9

Le galassie si raggruppano in ammassi

Le galassie non sono distribuite a caso nell'universo. Di solito una galassia fa parte di un ammasso di galassie. Questi ammassi contengono centinaia o addirittura migliaia di galassie tenute insieme dalla forza di gravità reciproca. Gli stessi ammassi di galassie sono raggruppati in strutture ancora più grandi chiamate superammassi. La Via Lattea fa parte di quello che viene chiamato Gruppo Locale, che contiene più di 54 galassie. Il Gruppo Locale si trova alla periferia dell'ammasso della Vergine a cui appartiene. A sua volta l'ammasso della Vergine appartiene al superammasso della Vergine, che a sua volta fa parte del superammasso Laniakea.

9.10

Le galassie interagiscono tra loro per mezzo della forza di gravità

Le interazioni tra galassie ne influenzano aspetto ed evoluzione. Nel passato si pensava che nel corso della propria vita una galassia potesse evolvere da un tipo a un altro. Tuttavia le attuali conoscenze scientifiche mostrano come all'origine di alcuni tipi di galassie ci siano le interazioni gravitazionali. Le galassie ellittiche potrebbero infatti essere formate dalla fusione di grandi galassie. Questi eventi inoltre potrebbero a loro volta innescare processi di formazione stellare nelle galassie interagenti.



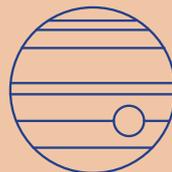


Immagine composta a colori di Centauro A, che mostra i lobi e i getti emessi dal buco nero attivo nel cuore della galassia.

Crediti: ESO/WFI (banda ottica); MPIfr/ESO/APEX/A. Weiss et al. (banda submillimetrica); NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (banda X).

10

*Potremmo
non essere soli*



*Un'immagine presa dalla
sonda Cassini: la Terra e
la Luna viste da Saturno,
a circa 1,5 miliardi di
chilometri da noi.*

*Crediti: NASA/JPL-Caltech/
Space Science Institute*



10.1

Sono state scoperte molecole organiche al di fuori della Terra

Le molecole organiche contengono carbonio, un elemento basilare per la vita così come la conosciamo. Le osservazioni del mezzo interstellare mostrano che alcune molecole organiche, per esempio i precursori di alcuni aminoacidi semplici, si trovano nello spazio. Molecole organiche, tra cui un aminoacido, sono state trovate anche su comete e meteoriti. È molto probabile che queste molecole fossero già presenti nel gas e nelle polveri da cui si è formato il Sistema solare.

10.2

Si sono scoperti organismi viventi in grado di sopravvivere in condizioni ambientali estreme sulla Terra, ma anche nel vuoto spaziale

La maggior parte delle forme di vita sulla Terra è sensibile alle condizioni ambientali. Tuttavia si è scoperto che alcuni organismi, detti estremofili, sono in grado di sopravvivere in condizioni estreme, dimostrando che la vita può esistere là dove meno ce l'aspettiamo. Questi organismi possono essere molto resistenti a un ampio intervallo di temperatura, pressione, acidità (pH) ed esposizione alle radiazioni. Alcuni vivono in luoghi inhospitali come i deserti, le calotte polari, le fosse oceaniche, l'interno della crosta terrestre e persino i vulcani. Sono state trovate molte specie resilienti che sopravvivono addirittura nelle condizioni di vuoto dello spazio. Questi fatti ci permettono di esprimere un cauto ottimismo sulla possibilità che esista vita su altri pianeti o lune, che spesso presentano condizioni ambientali più aspre rispetto alla Terra.

10.3

Tracce di acqua liquida suggeriscono la possibilità di forme di vita primitive su Marte

La presenza di acqua liquida è una condizione fondamentale per lo sviluppo della vita come la conosciamo. Per questa ragione la ricerca di acqua liquida su altri pianeti o sulle loro lune è da sempre un obiettivo importante nella ricerca di vita extraterrestre. Negli anni sono state trovate potenziali tracce di acqua allo stato liquido sulla superficie di Marte, continuando un dibattito di lunga data. Anche se l'evidenza della presenza odierna di acqua liquida su Marte non è accettata da tutti, anche le tracce potenziali suggeriscono che alcune forme semplici di vita possano esservi esistite. Se c'è acqua liquida nel sottosuolo di Marte, lì c'è la possibilità che si sviluppi la vita.

10.4

Alcuni satelliti naturali nel Sistema solare sembrano avere condizioni favorevoli alla vita

Alcune delle tante lune in orbita intorno ai pianeti giganti del Sistema solare presentano le stesse caratteristiche dei pianeti terrestri, come un'atmosfera densa o la presenza di attività vulcanica. Europa, una delle più grandi lune di Giove, ha una superficie ghiacciata che potrebbe nascondere un oceano liquido. Alcuni scienziati credono che in questo oceano possano esserci le condizioni adatte per l'esistenza di semplici forme di vita. Un altro candidato a ospitare semplici forme di vita è Titano, la luna più grande di Saturno. Titano è ricco di composti organici complessi, ha un'atmosfera densa e metano liquido sulla superficie: è stato ipotizzato che ospiti un oceano di acqua sotterraneo.

10.5

Esistono numerosi pianeti, detti esopianeti, che orbitano intorno a stelle diverse dal Sole

Dalla scoperta del primo pianeta in orbita intorno a un'altra stella (1992), sono stati già trovati migliaia di pianeti - gli esopianeti o pianeti extrasolari - in orbita intorno a stelle diverse dal Sole. Il loro numero continua ad aumentare sempre più velocemente e oggi siamo in grado di caratterizzare la popolazione di esopianeti nelle vicinanze del Sole.

10.6

Gli esopianeti possono essere molto diversi e spesso formano dei sistemi

Gli esopianeti che conosciamo mostrano una vasta gamma di proprietà fisiche e orbitali. La massa varia da quella di Mercurio a molte volte quella di Giove, con un raggio compreso tra qualche centinaio di chilometri e diverse volte il raggio di Giove. I periodi orbitali degli esopianeti possono essere anche di poche ore, mentre la loro eccentricità può essere elevata, al pari di una cometa del Sistema solare. La maggior parte degli esopianeti fa parte di sistemi planetari composti da più pianeti che orbitano intorno alla stessa stella.

10.7

Siamo ormai vicini alla scoperta di un pianeta simile alla Terra

Grazie al costante sviluppo della precisione dei metodi di osservazione, al giorno d'oggi siamo capaci di individuare pianeti di massa e raggio simili a quelli della Terra. Finora la nostra indagine, per quanto limitata, ha trovato tantissimi pianeti nei dintorni del Sistema solare. Alcuni di essi orbitano intorno alla propria stella nella cosiddetta zona abitabile, definita come l'intervallo di distanza dalla stella in cui un pianeta riceve la quantità di radiazione necessaria a permettere l'esistenza di acqua allo stato liquido sulla sua superficie.

10.8

Gli scienziati sono alla ricerca di intelligenza extraterrestre

Un modo per cercare civiltà extraterrestri è provare a individuare segnali che non potrebbero essere prodotti naturalmente da fenomeni astronomici noti. La ricerca sistematica di questi segnali è nota come Ricerca di intelligenza extraterrestre (Search for ExtraTerrestrial Intelligence, o SETI). Finora non sono stati trovati segnali di questo tipo ma SETI continua a esplorare il cielo alla ricerca di indizi di vita evoluta oltre la Terra.

11

*È nostro dovere preservare la Terra,
la nostra unica casa nell'universo*

*Una veduta notturna
della Terra dalla Stazione
Spaziale Internazionale,
in cui è possibile vedere le
luci artificiali dalla Corea
del Sud e dal Giappone.*

Crediti: NASA



11.1

L'inquinamento luminoso ha effetti sull'uomo, su molti animali e sulle piante

Per milioni di anni la vita sulla Terra si è evoluta in assenza di luce artificiale e la maggior parte delle specie viventi si sono adattate a vivere o di giorno oppure di notte. A partire dall'invenzione dell'elettricità, l'umanità ha ridotto sempre di più l'oscurità notturna grazie alle luci artificiali, provocando seri problemi di inquinamento luminoso, con diverse implicazioni sull'ambiente terrestre, sul comportamento degli animali e sulla salute delle persone. La maggior parte delle popolazioni animali basa il proprio comportamento su cicli diurni o notturni. Dalla fisiologia alla riproduzione, dall'orientamento alla caccia, le luci artificiali possono sconvolgere le popolazioni di animali selvatici su tutto il pianeta. Per di più, stiamo perdendo la possibilità che avevano i nostri antenati di godere del cielo notturno. In molti contesti urbani e suburbani la Via Lattea è ormai del tutto impossibile da vedere durante la notte.

11.2

Intorno alla Terra orbita una gran quantità di detriti di origine artificiale

Con lo sviluppo delle tecnologie spaziali l'umanità è stata in grado di lanciare numerosi satelliti nello spazio. Dall'inizio dell'era spaziale, la quantità di detriti artificiali in orbita, come frammenti di razzi o vecchi satelliti, è aumentata sempre di più. Attualmente si stima che ci siano circa 500.000 rottami di vario genere, la cosiddetta spazzatura spaziale, in orbita intorno alla Terra. Questi residui si muovono ad alta velocità e una collisione con un veicolo spaziale o con un satellite potrebbe causare danni molto seri. Questa situazione rappresenta un serio pericolo per la Stazione Spaziale Internazionale e per i veicoli spaziali con equipaggio. Il monitoraggio dei detriti spaziali e lo sviluppo di tecnologie per la raccolta di satelliti dismessi e di detriti rappresentano un'area molto intensa di ricerca scientifica di sviluppo tecnologico.

11.3

Gli oggetti spaziali potenzialmente pericolosi vengono monitorati

Nel corso delle prime fasi della formazione del Sistema solare, i pianeti appena formati erano spesso colpiti da corpi più piccoli, come gli asteroidi. Alcuni crateri sulla superficie terrestre e tutti quelli visibili sulla Luna sono la prova diretta della pericolosità di questi impatti. Sebbene la questione sia ancora oggetto di studio e dibattito, si pensa che l'estinzione dei grandi dinosauri senza ali e di numerose altre specie possa essere avvenuta in seguito all'impatto di un grande asteroide con la Terra, avvenuto circa 65 milioni di anni fa. Malgrado la probabilità di un impatto di questa portata sia oggi molto bassa, è importante tenere sotto controllo tutti gli oggetti celesti che potrebbero diventare una potenziale minaccia per la vita sulla Terra. Entro i prossimi anni, i programmi di sorveglianza delle agenzie spaziali, degli osservatori e di altre istituzioni dovrebbero essere in grado di identificare tutti gli asteroidi potenzialmente pericolosi di dimensioni maggiori o uguali a un chilometro di diametro medio. Nessuno degli asteroidi conosciuti è attualmente in rotta di collisione con la Terra.

11.4 **L'umanità ha un impatto significativo sull'ambiente terrestre**

La società industriale ci ha portato numerosi vantaggi ma ha anche causato importanti problemi ambientali. Con la deforestazione e l'inquinamento massiccio dei fiumi, degli oceani e dell'atmosfera stiamo danneggiando le sorgenti primarie di acqua, cibo e aria incontaminati, indispensabili per la vita sulla Terra. L'umanità ha causato l'estinzione di numerose specie viventi e continua a sfruttare senza sosta risorse minerarie ed energetiche mettendo a rischio alcuni ambienti. Il riscaldamento globale, il cambiamento climatico di origine antropica, sta cambiando il nostro ambiente su larga scala, mettendo in pericolo noi stessi e molte altre specie viventi.

11.5 **Il clima e l'atmosfera sono fortemente influenzati dall'attività dell'uomo**

Senza atmosfera il nostro pianeta sarebbe un mondo ghiacciato, con una temperatura media di -18°C . Invece, i gas serra dell'atmosfera assorbono parte del calore rilasciato dal suolo e lo irradiano verso la superficie della Terra, scaldandola e rendendola abitabile. Le attività umane hanno drasticamente aumentato i livelli dei principali gas serra nell'atmosfera, sbilanciando l'equilibrio energetico della Terra. L'aumento di questi gas fa sì che l'effetto serra aumenti e venga trattenuta molta più energia nell'atmosfera e di conseguenza si alzino le temperature medie sulla superficie. La Terra non è in grado di liberarsi di questo eccesso di energia in modo naturale e questo altera la distribuzione climatica globale, sensibile al bilancio energetico.

11.6 **Per conservare il nostro pianeta è necessaria una prospettiva globale**

Tutti noi siamo abitanti di questo pianeta. Il concetto di tutela e responsabilità a livello globale ci aiutano a capire che ognuno di noi può avere un ruolo attivo – sia individualmente che come parte di una comunità – per la soluzione di problemi globali. È necessario tutelare la Terra per chi verrà dopo di noi perché oggi la Terra è l'unico pianeta che conosciamo nell'universo in grado di ospitare la vita.

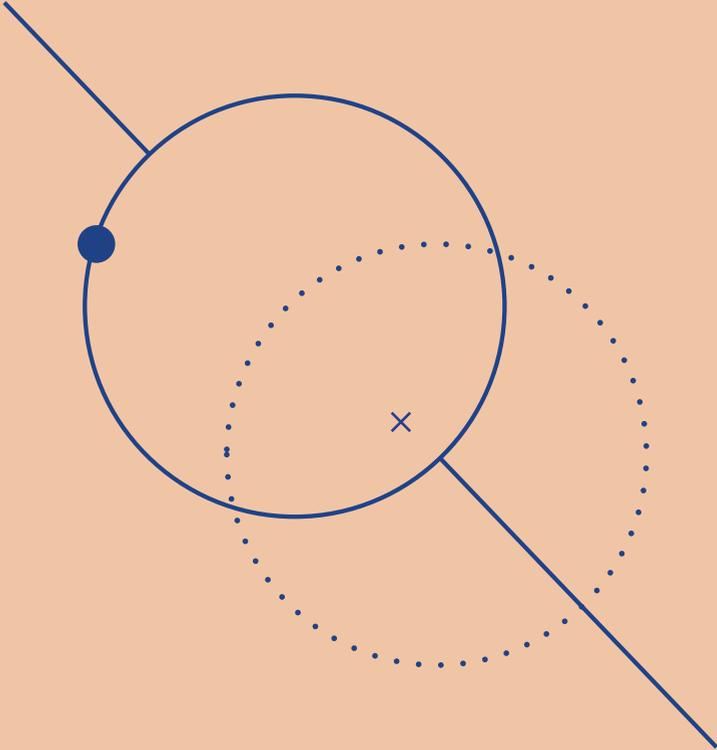
11.7 **L'astronomia ci fornisce una prospettiva cosmologica unica che rafforza la nostra coesione in quanto abitanti della Terra**

Tutti gli esseri umani vivono sotto lo stesso cielo e condividono la stessa prospettiva sulle profondità del cosmo. Le immagini dallo spazio che ci mostrano il pianeta Terra come una *blue marble* - una biglia blu - ci fanno intuire meglio la nostra comune appartenenza alla stessa "nave spaziale". Guardati dall'esterno, i confini tra Paesi diversi scompaiono. Le immagini scattate da sonde come Voyager 2 o Cassini ci aiutano a comprendere che quel "pallido puntino azzurro" non è altro che un granello nell'immensità dell'universo.

x

x

x



x

x

x

x

x



Universiteit
Leiden
The Netherlands



INAF
ISTITUTO NAZIONALE
DI ASTRONOMIA E FISICA



ISBN 978-94-91760-27-3



9 789491 760273 >