

**Origini:** Chicken Invaders è una serie di videogiochi sparatutto a schermata fissa sviluppata da InterAction Studios. La serie rappresenta una parodia del famoso videogioco Space Invaders. Il primo Chicken Invaders è stato pubblicato nel 1999, e ha avuto 4 sequel.

**Modalità di gioco:** Per completare i livelli è necessario sparare a dei polli volanti (i quali salendo di livello diventano più potenti) e cercare di non farsi colpire da essi, dalle loro uova o da altri oggetti pericolosi come asteroidi o UFO (guidati dai polli stessi). **Chicken Invaders (1999)** Chicken Invaders ha un gameplay semplice, con la possibilità di giocare con uno o due giocatori. I livelli sono composti da dieci tappe che aumentano progressivamente di difficoltà. In tutte le tappe, le galline fanno cadere delle uova, che se non vengono evitate causano la distruzione della navetta del giocatore. Alcune delle galline uccise contengono al loro interno dei doni che servono per ricevere punti o aumentare l'intensità dell'arma. L'arma del giocatore dispone di 8 livelli di potenza e la navetta ha inizialmente 5 vite.

**Chicken Invaders 2 -> The Next Wave (2002):** In Chicken Invaders 2 viene introdotta la modalità multigiocatore -> due giocatori possono giocare sullo stesso computer controllando due astronavi (distintamente con la tastiera ed il mouse) e dunque aumentando notevolmente la potenza di fuoco. Dispone di 110 livelli (di cui 10 segreti), divisi in 11 "sistemi". Gli 11 sistemi corrispondono agli 8 pianeti del Sistema solare, con l'aggiunta di Plutone, del Sole e della fascia di asteroide situata tra Marte e Giove. In tutti i sistemi, ad eccezione di "Fascia di asteroidi", il nono livello funge da bonus e fornisce di solito un aumento di potenza per l'arma del giocatore. Nel decimo livello è necessario sconfiggere un boss (in tutti i sistemi ad eccezione di "Fascia di asteroidi"). A differenza del gioco precedente in cui era disponibile solo un tipo di arma, qui ne sono presenti tre. Il giocatore può quindi cambiare da un'arma all'altra raccogliendo dei bonus lasciati cadere dai nemici. Le armi hanno 10 livelli, e un ulteriore livello segreto, che può essere raggiunto solo attraverso la raccolta di altri 10 potenziamenti dopo aver raggiunto il 10° livello. In tutti i livelli, il giocatore ha la possibilità di raccogliere delle cosce di pollo lasciate cadere dai nemici. Dopo averne raccolto una certa quantità verrà sbloccato un missile. Il missile è un'arma più potente del fuoco primario, ed è in grado di distruggere tutti i polli presenti nel livello. Tuttavia, i missili vengono spesso conservati dai giocatori ed utilizzati per infliggere un danno maggiore ai boss di fine capitolo.

**Chicken Invaders 3 -> Revenge of the Yolk (2006):** Il gameplay di Chicken Invaders 3 è simile a quello della seconda edizione. Esso dispone di 120 livelli divisi in 12 capitoli. Vengono introdotti altri tipi di armi e le medaglie: per ciascun livello di difficoltà (Recluta, Veterano ed Eroe Superstar) il giocatore può ricevere delle medaglie per aver completato dei compiti speciali. Ad esempio, completare un intero capitolo o un'intera missione senza utilizzare missili. Inoltre è disponibile per la prima volta una modalità multigiocatore online, oltre alla già presente modalità di gioco cooperativo sullo stesso computer. Le armi hanno 11 livelli di potenza e un livello segreto, che può essere raggiunto solo attraverso l'acquisizione di 9 ulteriori potenziamenti dopo aver raggiunto l'undicesimo livello. Questa volta i polli decidono di prendere il controllo della galassia grazie alla loro nuova arma: il Tuorlo Stella.

**Chicken Invaders 4 -> Ultimate Omelette (2010):** Si tratta del quarto episodio della saga dei polli invasori. Questo gioco ha migliorato la grafica e apportato numerose innovazioni al gameplay, tra cui: rotazione dell'astronave (l'azione non si svolge necessariamente dal basso verso l'alto ma può anche svolgersi orizzontalmente o in obliquo); spalla per il giocatore: soltanto nel secondo capitolo il giocatore viene aiutato da un'altra astronave (guidata dal computer) che risulta essere una copia del Millennium Falcon di Guerre stellari. I polli sono pronti a conquistare l'universo grazie al Cannone Uovo; nuove armi; introduzione dei satelliti: oltre ai missili e al fuoco primario sono disponibili i satelliti. Si tratta di armi speciali che infliggono un danno maggiore rispetto al fuoco primario, ma non così esteso come quello dei missili; introduzione delle chiavi: le chiavi possono essere raccolte dal giocatore durante la partita e consentono di sbloccare delle impostazioni speciali, ad esempio la personalizzazione dell'astronave o l'utilizzo di mine al posto dei missili. È necessario raccogliere le chiavi anche per sbloccare il livello di difficoltà "Eroe Superstar"; nuovi nemici. Questa volta il giocatore dovrà affrontare non solo i polli ma anche i pulcini e alcuni polli più grandi e resistenti (ma più piccoli dei boss di fine capitolo e quindi non considerati come tali); capitoli speciali: nel gioco sono presenti tre "capitoli speciali" in cui il giocatore deve affrontare dei nemici fuori dal comune come piume giganti o nemici "retro" in stile Space Invaders. Lo scopo di questi capitoli è recuperare degli artefatti che serviranno al giocatore per sconfiggere il boss finale dell'ultimo capitolo. L'introduzione di queste nuove funzionalità ha migliorato notevolmente l'esperienza di gioco, che ormai si discosta notevolmente da Space Invaders e dal primo Chicken Invaders che rappresentava una parodia di quest'ultimo. Inoltre questo capitolo è stato il primo di cui è stata sviluppata una versione per dispositivi mobili.

**Chicken Invaders 5 -> Cluck of the Dark Side (2014):** È il quinto episodio della saga, uscito il 22 novembre 2014, e disponibile su diverse piattaforme, tra cui anche i dispositivi mobili. In questo capitolo l'eroe dovrà vedersela con la Henterprise-CK-01, un'astronave costruita dai polli che spargerà milioni di piume davanti al sole per far congelare la Terra. L'ultima speranza è costruire Il Più Grande Ventilatore Mai Creato, un macchinario in grado di spazzare via le piume dal sole. Il gameplay è molto simile a quello del quarto gioco, ma le missioni per il recupero degli artefatti sono state ulteriormente migliorate. Analogamente al gioco precedente è necessario raccogliere le tre parti da tre pianeti diversi, tuttavia stavolta è anche necessario tornare sulla Terra per montare il dispositivo: i "capitoli speciali" dunque non sono più tre ma quattro. Inoltre, la prima missione speciale si svolge interamente sott'acqua (infatti la navetta atterra su un pianeta oceano) e fornisce un'esperienza di gioco completamente diversa rispetto al primo Chicken Invaders e ad altri giochi basati su Space Invaders. Il giocatore dovrà sconfiggere un gran numero di meduse ed evitare tentacoli di piovre giganti. La seconda missione speciale si svolge invece all'interno di caverne in cui il giocatore dovrà combattere i soliti polli ed evitare di scontrarsi con le pareti. La terza missione speciale invece si svolge normalmente nell'atmosfera ma risente di condizioni climatiche particolari. È in corso infatti una tempesta e il giocatore dovrà evitare fulmini

e blocchi di ghiaccio giganti. Vengono introdotti anche due nuovi tipi di polli e tre nuove armi. Inoltre il numero massimo di giocatori nella modalità Multiplayer viene aumentato da 2 a 4. La lingua italiana è stata aggiunta con la versione 5.04 del gioco uscita il 3 giugno.

**Edizioni speciali:** Nel corso degli anni, la serie è stata arricchita da alcune versioni alternative del gioco distribuite in occasione di varie festività in particolare Natale, Pasqua, Halloween e il Giorno del Ringraziamento. Di seguito è elencata la lista completa delle edizioni speciali di ciascun gioco della saga: Queste edizioni non differiscono dai giochi standard per il gameplay, ma soltanto per l'aspetto. Nelle versioni natalizie del gioco, il giocatore deve affrontare dei polli agghindati o vestiti da Babbo Natale, e per ottenere missili deve raccogliere degli rami di abete invece di cosce di pollo. Nelle versioni pasquali, i polli vengono sostituiti da conigli pasquali o grossi pulcini. In Chicken Invaders 4: Ultimate Omelette Thanksgiving Edition la maggior parte dei polli viene sostituita da tacchini. In Chicken Invaders 5: Cluck of the Dark Side Halloween Edition la maggior parte dei polli è travestita da mostri, scheletri o zombie.



# Clicca QUI per scaricare Chicken Invaders 🐔



Clicca QUI per il mirror alternativo 📄



**[Easter Egg]: Spiegazione limbo inception:** Hai mai fatto un sogno tanto realistico da sembrarti vero? E se da un sogno così non ti potresti più svegliare? Come distingueresti il mondo dei sogni da quello della realtà?

È un ex-membro specializzato di un tipo di sicurezza molto particolare, quella dell'inconscio e del subconscio, il suo lavoro è entrare nei sogni altrui tramite una valigetta che usava delle droghe particolari e delle connessioni neurali che permette di unire la propria mente a quella della vittima dove poi lui cercherà di rubare i segreti più oscuri e preziosi.

**Edit:** Il tesoro principale è costituito da un'idea ripetendo il tema della proprietà intellettuale, essi stesso vive con i furti di idee che sono diversi dai furti materiali in quanto si copia qualcosa senza privare il proprietario dell'idea originale (se io copio l'idea di una ricetta il creatore originario potrà comunque continuare ad usarla, mentre se gli rubassi gli ingredienti gli farei un danno materiale=[Equivalente alla pirateria informatica]).

Le idee (secondo la trama) sono come i virus, sono i parassiti più efficaci, perché si diffondono da mente in mente, si trasmettono tramite i media, si impiantano nell'inconscio e ci influenzano affinché le trasmettiamo migliorate, è il concetto di "meme" scoperto da Richard Dawkins che tratta le idee intese come meme=unità antropologica e culturale come dei virus il cui compito è quello di vivere in un cervello, le idee si modificano se la mente che le ospita viene modificata a sua volta, e le migliori sono quelle che sopravvivono meglio, che si riproducono e ossessionano meglio il cervello.

Sempre secondo questa metafora nella trama il cervello ha delle vere e proprie difese immunitarie, entrando nei sogni degli altri si trovano dei personaggi immaginari, proiezioni mentali che difendono il soggetto che sta sognando da attacchi esterni, sono come degli anticorpi che aggrediscono le nuove idee e mantengono rafforzato lo status vigente.

Nella trama è anche possibile fare un sogno nel sogno e così via, è molto comune svegliarsi in un sogno e scoprire che in realtà si sta ancora dormendo solo quando si sveglia un'altra volta, si chiama: "falso risveglio".

Il tempo nei sogni scorre più lentamente rispetto al mondo reale, un secondo equivale ad un minuto nei



sogni e ogni sogno nel sogno aumenta esponenzialmente questo effetto. In un sogno nel sogno un secondo dura un'ora, in un sogno nel sogno nel sogno un secondo dura un giorno.

Sappiamo che il tempo mentale è distinto dal tempo fisico, è un tempo personale e soggettivo, che rallenta o accelera a seconda di come pensiamo e che può essere distorto, molte persone sognando percepiscono il tempo alterato, pensano di sognare per tantissimo tempo e poi si risvegliano e si accorgono che è passato poco tempo e viceversa.

Dato che il tempo è neuroscientificamente gestito dalla "crono-cezione", che è influenzata da tutta una serie di fattori neuronali, ormonali e chimici il flusso del tempo può essere alterato se ci stiamo divertendo oppure no, se siamo giovani o anziani, se stiamo dormendo o meno. È possibile con certi farmaci alterare questa percezione del tempo, rallentarlo o accelerarlo, soprattutto è l'ansia a farci sembrare che il tempo rallenti e il divertimento a farlo accelerare.

Nel "salto", quella sensazione alla quale si causa la sensazione di caduta per svegliare qualcuno è basato su un reale effetto neurologico, avete presente quando siete assonati e avete la testa poggiata sul braccio e quando la testa vi si abbassa subito vi svegliate? È il vostro cervello che percependo l'equilibrio nell'orecchio che quando viene alterato attiva subito i muscoli per rizzare il collo ed evitare che vi facciate male e vi fa anche svegliare.

Inoltre il dolore nel sogno è assolutamente reale e ciò è dimostrato dato che si attivano le stesse aree cerebrali.

*I sogni sono una rappresentazione del nostro inconscio!*

Non a caso l'ultimo livello del sogno nel sogno nel sogno o il "limbo" è proprio il luogo più profondo della coscienza, il cervello umano che è diviso in livelli sempre più profondi accessibili tramite i sogni, e più si sprofonda nell'inconscio più si manifesta ciò che vediamo, il sogno è come una rappresentazione nella nostra mente che si può esplorare, non a caso è suddiviso in livelli come in un videogioco. Non a caso il sogno è un teatro in cui il nostro inconscio manifesta i desideri e i pensieri repressi in modo metaforico, e per questo uno dei protagonisti può cambiare il proprio aspetto e assumere la forma del sognatore.

Nei sogni inoltre i nostri sensi sono ancora attivi, e quindi ciò che succede al corpo del sognatore influenza il sogno stesso. Ad esempio quando uno si addormenta con la vescica piena, sogna moltissima pioggia (che nell'interpretazione dei sogni rappresenta il bisogno impellente di urinare), oppure quando il camion si sbalza la gravità del sogno inferiore si perde e tutti i personaggi fluttuano nella stanza, e proprio come nei sogni veri spesso ci troviamo in una situazione senza ricordarci di come siamo arrivati, lo accettiamo e basta, ma se ci guardiamo indietro notiamo un notevole senso di vuoto, un "deja-vu"="L'inconscio è come un labirinto".

Quindi serve un architetto: colui che dona forma al labirinto dell'inconscio dove si svolgerà il furto, e dato che l'inconscio non segue la ragione nel sogno sono possibili architetture fantastiche e paradossi.

"Come si fa a disegnare un mondo con tutti quei dettagli?" È l'inconscio del sognatore a riempirlo con i suoi ricordi!

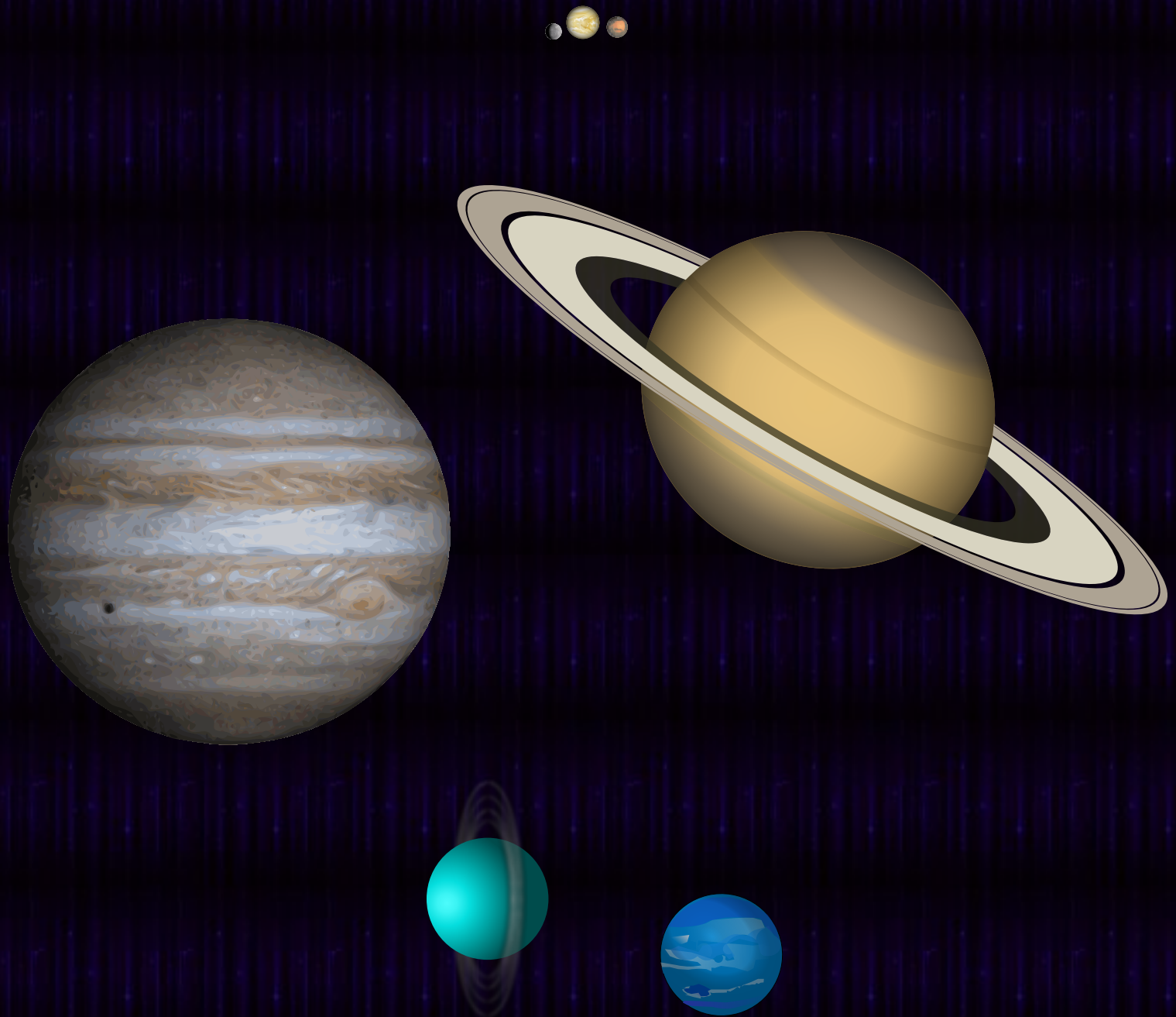
Per i sogni lucidi funzionano in maniera tale da far sì che l'autore di esso sia cosciente di star sognando e di conseguenza plasmare il sogno a piacimento in maniera sia positiva che negativa, però è detto anche che: non potete fregarvi da soli, il vostro inconscio è furbo.

Gli specchi sono un simbolo utile nei sogni, e i riflessi sono spesso alterati: mostrano il nostro volto reale.

Nella trama viene messa in dubbio la realtà stessa, perché potrebbe essere tutto un sogno, qualcosa di creato dalla nostra mente, non da uno spinotto attaccato alla mente o da qualcosa di esterno. Quando noi sogniamo non sappiamo di vivere in un sogno, pensiamo sia reale, e allora come sappiamo che anche adesso non stiamo sognando? E allora ciò che percepiamo anche ai sensi è fasullo, e tutto ciò che ricordiamo (dato che i ricordi sono alterati nei sogni) è irrilevante?

**Cogito ergo sum**





## Pianeti (livelli) nel gioco:

I pianeti sono oggetti astronomici in orbita attorno a una stella. In Chicken Invaders, appare solo la Terra. The Next Wave vengono introdotti gli altri pianeti del Sistema Solare. In Cluck of the Dark Side il giocatore può anche esplorarli.

**Mercurio:** È il pianeta più vicino al Sole e anche il più piccolo, ma leggermente più grande della Luna terrestre. Non ha atmosfera, causando una variazione selvaggia della temperatura tra circa 450°C di giorno e -170°C di notte. È apparso solo in The Next Wave, ed è qui che si svolge il decimo capitolo.

**Venere:** È il secondo pianeta dal Sole ed è il più caldo nonostante la sua distanza dal Sole rispetto a Mercurio. Ciò è dovuto alla sua densa atmosfera fatta di CO<sub>2</sub> e alla sua superficie piena di acido solforico. Stranamente, l'atmosfera non è presente nel rendering di The Next Wave. È apparso solo in The Next Wave, ed è qui che si svolge il 9° capitolo.

**Terra:** La Terra è il pianeta natale dell'Eroe e di ogni essere umano e l'obiettivo principale delle invasioni dei Polli. Un negozio Space Burger può essere trovato in orbita attorno ad esso. Aveva molte onde dedicate ad esso. È qui che si svolge l'8° capitolo in The Next Wave, e in Cluck of the Dark Side puoi entrarci.

**Marte:** È il quarto pianeta dal Sole. Il suo colore rosso deriva dagli ossidi di ferro sulla superficie del pianeta. È apparso solo in The Next Wave. È qui che si svolge il 7° capitolo.

**Giove:** È il quinto pianeta dal Sole e anche il più grande. Giove ha più massa di tutti gli altri pianeti messi insieme, ma è circa 99 volte meno massiccio (in peso) del Sole. È apparso solo in The Next Wave. È qui che si svolge il 5° capitolo.

**Saturno:** È il sesto pianeta dal Sole ed è noto per i suoi grandi anelli spessi, a differenza di qualsiasi altra cosa nel Sistema Solare. È

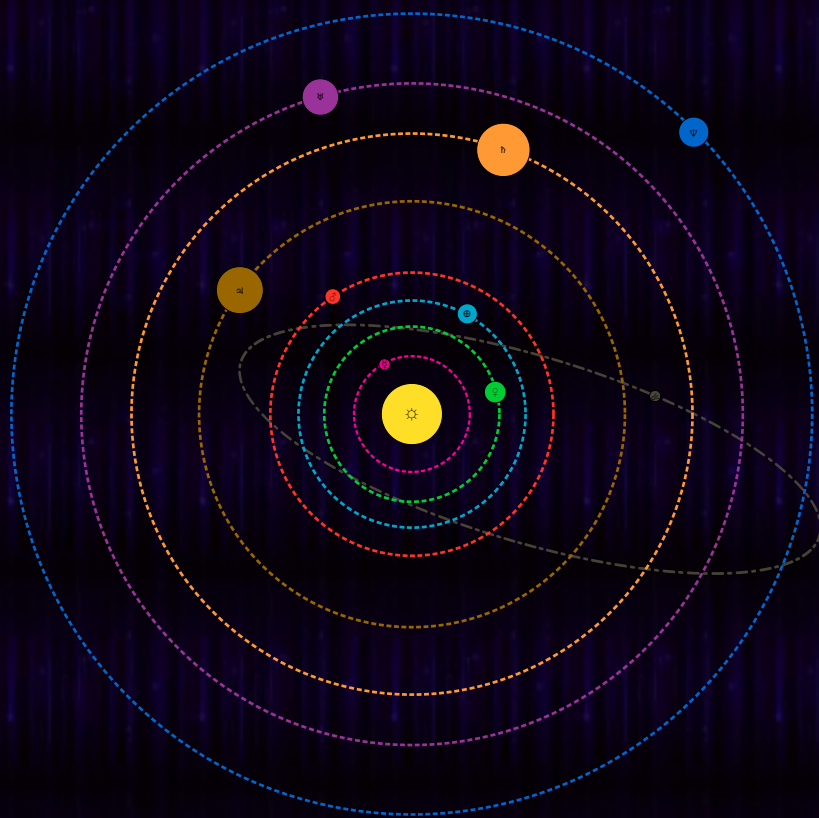


apparso in The Next Wave e ha avuto un cameo in La vendetta del tuorlo. In The Next Wave, il 4° capitolo si svolge qui.

**Urano:** È il settimo pianeta dal Sole che ruota su un lato, inclinato di 98 gradi, una sorta di vincolo di marea rispetto al Sole, con il giorno e la notte che in genere impiegano metà di un anno uraniano ciascuno. È apparso solo in The Next Wave. È qui che si svolge il 3° capitolo.

**Nettuno:** È l'ottavo e attualmente il pianeta conosciuto più lontano dal Sole. È apparso solo in The Next Wave. È qui che si svolge il secondo capitolo.

**Plutone:** È considerato un pianeta nei giochi Chicken Invaders, ma dal 2006 è classificato come pianeta nano. È apparso solo in The Next Wave. È qui che si svolge il primo capitolo.



## Il sistema solare:

Il Sistema Solare, nato quattro miliardi e mezzo di anni fa da una nube di gas e polveri in rotazione, si estende per oltre sei miliardi di chilometri. È formato dal Sole e dai corpi che gravitano attorno a esso: si tratta dei pianeti a noi familiari – Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano, Nettuno, ~~Plutone~~ – e dei loro satelliti, degli asteroidi, dei pianetini e delle comete.

Il Sistema Solare è formato dal Sole, da nove pianeti ‘ufficiali’ – un decimo è ancora controverso – e dai loro satelliti, da asteroidi e pianetini, da comete e da minuscoli granelli di polvere.

I pianeti possono essere divisi in due grandi categorie: i pianeti terrestri (o interni) e i pianeti giganti (o esterni). I pianeti di tipo terrestre sono Mercurio, Venere, la Terra e Marte. Sono i più vicini al Sole, hanno piccole dimensioni, massa ridotta, densità elevata, pochi satelliti naturali e nessun anello.

I pianeti giganti – Giove, Saturno, Urano e Nettuno – si trovano a grande distanza dal Sole; sono molto grandi ma poco densi; risultano privi di una superficie solida e di un’atmosfera molto estesa, hanno numerosi satelliti e presentano un sistema di anelli. ~~Plutone~~ resta escluso da questa classificazione: piccolo e poco denso, è difficilmente assimilabile sia alla prima sia alla seconda categoria. Va forse aggiunto ai componenti del Sistema Solare anche il pianeta Sedna, solo recentemente individuato dagli astronomi.

Tra Marte e Giove esiste una fascia di asteroidi e pianetini: il più grande è Cerere, con un diametro di alcune migliaia di chilometri; gli altri, invece, sono molto più piccoli e messi tutti insieme avrebbero un diametro totale appena doppio di quello di Cerere. L’estensione complessiva del Sistema Solare è di circa 6 miliardi di chilometri, pari a circa 39 UA (l’abbreviazione UA indica l’unità astronomica, pari a circa 150.000.000 km, la distanza media tra la Terra e il Sole), ma i corpi celesti che lo formano occupano in realtà un volume molto piccolo rispetto alle dimensioni complessive. Per esempio, se immaginiamo un modello del Sole con il diametro di 1 m dobbiamo pensare a una Terra grande come un pisello e lontana dal Sole circa 108 m!

La formazione del Sistema Solare risale a 4,5 miliardi di anni fa: in questa epoca tutti i suoi attuali protagonisti si sono formati da una stessa nube di gas e polveri in rotazione nello spazio. Grazie alla forza di gravità il materiale si raggruppò intorno a un nucleo centrale che divenne poi il Sole. I piccoli ammassi che si andavano formando nel disco cominciarono a scontrarsi per allontanarsi

nuovamente, oppure a fondersi per formare ammassi più grandi. Proprio da questi ammassi, dopo milioni di anni, hanno avuto origine gli attuali pianeti. Dalle componenti di dimensioni minori sono nati invece le comete e gli asteroidi. Inizialmente alcuni astronomi pensavano che i pianeti si fossero formati dopo il Sole. Oggi invece è stato scoperto che i pianeti si sono formati quasi contemporaneamente al Sole. L'abbondanza di certi elementi presenti nelle atmosfere dei pianeti giganti e nelle meteoriti, infatti, è più simile a quella che si trova tra le stelle piuttosto che a quella attuale del Sole e quindi i pianeti non possono derivare da materia già trasformata nelle reazioni nucleari che avvengono all'interno della nostra stella. Inoltre, visto che la materia da cui sono nati i pianeti era più calda nelle vicinanze del Sole, nei pianeti interni – i più vicini alla stella, appunto – si sono condensati elementi poco volatili, cosa che ha portato alla formazione di pianeti rocciosi.

I pianeti ruotano attorno al Sole – oltre che su sé stessi – e risentono della sua grande forza di gravità (gravitazione). Le orbite seguite sono ellissi, anche se nella maggior parte dei casi l'orbita dei pianeti è quasi circolare. I pianeti più lontani dal Sole sono quelli più lenti: Plutone, il più esterno, è dieci volte più lento di Mercurio, il pianeta che si trova più vicino al Sole: la velocità angolare media del primo è infatti 4,7 km/s mentre quella del secondo è di 48,0 km/s. Le orbite dei primi otto pianeti sono molto vicine, complanari e praticamente concentriche. Soltanto l'orbita di Plutone è spostata sensibilmente: rispetto al piano delle orbite individuato dagli altri pianeti – chiamato eclittica e definito dal piano dell'orbita terrestre – forma un angolo di 17°.



### La fascia degli asteroidi:

La fascia principale degli asteroidi è la regione del sistema solare situata grossomodo tra le orbite di Marte e di Giove. È occupata da numerosi corpi di forma irregolare chiamati asteroidi o pianeti minori. Circa metà della massa della fascia è contenuta nei quattro asteroidi più grandi, Cerere, Vesta, Pallade, e Igea. Gli ultimi tre hanno diametri medi di oltre 400 km, mentre Cerere, l'unico pianeta nano della fascia, ha un diametro medio di circa 950 km. I restanti corpi hanno dimensioni più ridotte, fino a quelle di un granello di polvere. Il materiale asteroidale è distribuito in modo estremamente diradato; numerosi veicoli spaziali senza equipaggio l'hanno attraversato senza incidenti.

La fascia di Kuiper (IPA: /'kaip.ə/) o fascia di Edgeworth-Kuiper (dal nome dei due astronomi Kenneth Edgeworth e Gerard Peter Kuiper) è una regione del sistema solare che si estende dall'orbita di Nettuno (alla distanza di 30 UA) fino a 50 UA dal Sole. Si tratta di una fascia costituita da corpi minori del sistema solare esterna rispetto all'orbita dei pianeti maggiori, simile alla fascia principale degli asteroidi, ma 20 volte più estesa e da 20 a 200 volte più massiccia. Inoltre, mentre la fascia principale è costituita in gran parte da asteroidi di natura rocciosa, gli oggetti della fascia di Kuiper sono composti principalmente da sostanze volatili congelate, come ammoniaca, metano e acqua.

La nube di Oort è una nube sferica di comete posta tra 20 000 e 100 000 au o 0,3 e 1,5 al dal Sole, cioè circa 2 400 volte la distanza tra il Sole e Plutone.

Questa nube non è mai stata osservata perché troppo lontana e buia perfino per i telescopi odierni, ma si ritiene che sia il luogo da cui provengano le comete di lungo periodo (come la Hale-Bopp e la Hyakutake, avvistate alla fine del XX secolo) che attraversano la parte interna del sistema solare. Nel 1932, l'astronomo estone Ernst Öpik ipotizzò che le comete avessero origine da una nube situata al bordo esterno del sistema Solare.

Un oggetto transnettuniano è un corpo celeste appartenente al sistema solare la cui orbita si trova interamente o per la maggior parte oltre a quella di Nettuno. I termini fascia di Kuiper o nube di Oort sono comunemente utilizzati per designare alcune regioni dello spazio situate oltre l'orbita di Nettuno.



!! CNTRL + Mouse scroll !!





## IL SOLE:

Sole La stella più vicina alla Terra, per la quale, direttamente o indirettamente, costituisce la fonte unica ed essenziale di energia e quindi di vita.

Per analogia, il nome di s. è usato dagli astronomi anche come sinonimo di stella in genere, specialmente in quanto questa si consideri come centro di un sistema planetario.

La distanza che separa la Terra dal S. è variabile e passa, nel corso dell'anno, da un minimo di 147.100.000 km a un massimo di 152.100.000 km, con un valore medio di 149.598.000 km (unità astronomica, UA). Di conseguenza, la luce solare impiega circa 8 minuti per giungere sulla Terra. Alle variazioni di distanza corrispondono variazioni del diametro angolare del S., che oscilla fra 32'35" (quando la Terra è al perielio) e 31' (quando è all'afelio), con un valore medio di ≈32'. Il S. ha raggio  $R_{\odot}=695.970\text{ km}$  (109 volte quello della Terra), massa  $M_{\odot}=1.989\cdot10^{30}\text{ kg}$  (3,3·105 volte quella della Terra) e densità media  $\rho_{\odot}=1,409\text{ g/cm}^3$  (1/4 di quella della Terra). Non è stato fino a oggi rivelato un eventuale schiacciamento del disco: comunque, il diametro polare differisce da quello equatoriale per meno di 1/100.000. In superficie, l'accelerazione di gravità è  $274\text{ m/s}^2$  (28 volte quella terrestre) e la velocità di fuga  $618\text{ km/s}$ . La luminosità del S., cioè l'energia che esso irradia nell'unità di tempo, è  $L_{\odot}=3,85\cdot10^{26}\text{ W}$ . Le principali grandezze fotometriche del S. sono: magnitudine visuale apparente (media)  $m_{V\odot}=-26,8$ ; magnitudine bolometrica assoluta  $M_{bol\odot}=+4,74$ ; correzione bolometrica  $BC_{\odot}=0,08$ ; indici di colore  $(B-V)_{\odot}=0,66$ ;  $(U-V)_{\odot}=0,56$ .

Il S. viene classificato come una stella di popolazione I di disco, appartenente alla classe di luminosità V (formata dalle stelle nane o di sequenza principale) e al tipo spettrale G2 (→ stella). Ha un'età di ≈4,6 miliardi di anni. Si trova nel braccio di Orione della Via Lattea, a una distanza di circa 10 kpc (≈3·10<sup>17</sup> km) dal centro galattico; ruota intorno a questo punto con una velocità di 220-250 km/s, compiendo una rivoluzione completa in circa 250 milioni di anni. Rispetto alle stelle circostanti, ha una velocità peculiare di 19,7 km/s diretta verso un punto della sfera celeste, detto apice solare, situato in prossimità della costellazione di Ercole. Il nucleo avente raggio di ≈0,25 $R_{\odot}$ , sede delle reazioni di fusione nucleare che riforniscono l'astro di energia; b) la regione radiativa, lo strato intermedio, compreso fra ≈0,25 $R_{\odot}$  e ≈0,7 $R_{\odot}$ , dove l'energia, prodotta nel nucleo, viene trasmessa soprattutto per irraggiamento; c) la regione convettiva, lo strato esterno, compreso fra ≈0,7 $R_{\odot}$  e  $R_{\odot}$ , dove l'energia viene trasmessa soprattutto per convezione. Al di sopra della superficie solare di raggio  $R_{\odot}$  (la cui definizione verrà precisata oltre), si estende l'atmosfera. Questa, a sua volta, viene divisa in tre zone: la fotosfera, uno strato sottile, avente uno spessore di ≈500 km, attraverso quale la temperatura diminuisce da ≈7000 K, alla sua base, fino a un minimo di ≈4200 K; la cromosfera, avente uno spessore di ≈2500 km, caratterizzata da un rapido aumento della temperatura, che raggiunge circa 106 K al confine con la corona; la corona, che si estende nello spazio interplanetario confondendosi con il vento solare, nella quale la temperatura, dopo avere raggiunto un massimo di ≈2·10<sup>6</sup> K, decresce molto lentamente con la distanza (a 1 UA, il vento solare ha ancora una temperatura dell'ordine di 105 K). La massima parte della luce solare proviene dalla fotosfera, che, in condizioni normali, è l'unica regione visibile del Sole. La cromosfera e la corona sono osservabili soltanto durante le eclissi, sia naturali sia prodotte artificialmente con il coronografo, oppure a lunghezze d'onda al di fuori della banda visibile.

L'emissione elettromagnetica del S., essenzialmente di origine fotosferica, consiste di uno spettro continuo, al quale sono sovrapposte numerose righe oscure di assorbimento, che costituiscono lo spettro di Fraunhofer. Solo alle lunghezze d'onda più corte (ultravioletto e X) lo spettro è dominato da righe di emissione, prodotte dai gas molto caldi della cromosfera e dalla corona. Lo spettro solare, osservato al di fuori dell'atmosfera terrestre, con quelli di un corpo nero a varie temperature. A parte la presenza delle righe di assorbimento, l'emissione solare corrisponde a quella di un corpo nero che si trovi alla temperatura di 5780 K detta temperatura efficace della superficie solare. Il massimo dell'emissione cade nella banda giallo-verde dello spettro. L'energia irradiata è compresa per il 40% nel visibile, per oltre il 50% nell'infrarosso e solo per il 7% nell'ultravioletto. La quantità di energia che attraversa, nell'unità di tempo, l'unità di superficie, disposta perpendicolarmente ai raggi del S. al di fuori dell'atmosfera terrestre, prende il nome di costante solare. Il valore della costante solare,  $S=1367\text{ W/m}^2$ , permette di calcolare la luminosità del S.; infatti:  $L_{\odot}=4\pi d^2S$ , dove  $d$  è l'unità astronomica. Le misure di precisione, condotte a bordo dei satelliti artificiali, hanno rivelato che la costante solare varia, sia pur di poco, nel tempo: dunque, a rigore, il S. è una stella variabile.

La rotazione del S. fu scoperta nel 1610 da Galileo, il quale notò come le macchie comparissero da un bordo del disco solare e si spostassero poi gradualmente, scomparendo dal bordo opposto dopo 13-14 giorni. Nel 1630, C. Scheiner, avendo osservato come le macchie vicine all'equatore ruotassero più rapidamente di quelle poste a latitudini più elevate, propose che la rotazione del S. non fosse rigida. Tuttavia, solo intorno alla metà del 19° sec. si stabilì con certezza che la velocità di rotazione del S. diminuisce, andando dall'equatore verso i poli, per il fenomeno della rotazione differenziale.

La velocità angolare siderale del S. varia con la latitudine  $\lambda$ , secondo la legge:  $\Omega=14,55-2,87\text{sen}2\lambda$ , dove  $\Omega$  è espressa in gradi/giorno. Tale rotazione corrisponde, all'equatore, a una velocità di ≈2 km/s. Il periodo di rotazione siderale è di 25,6 giorni all'equatore, di 26,6 giorni alle latitudini di ±30°, e di ≈33 giorni nelle regioni polari, con  $\lambda>70^\circ$ . Il periodo di rotazione sinodico, vale a dire il periodo osservato dalla Terra, è più lungo (≈27 giorni all'equatore), a causa del moto di rivoluzione del nostro pianeta. L'asse di rotazione del S. è quasi perpendicolare all'eclittica: il piano equatoriale forma un angolo di 7°5' con tale piano. I valori precedenti della velocità di rotazione e del periodo si riferiscono alla superficie del Sole.

Informazioni sulla rotazione degli strati interni sono state ottenute studiando le oscillazioni solari. Si è trovato che la rotazione differenziale persiste attraverso la maggior parte della regione convettiva: solo alla base di questa, cioè a profondità di ≈0,3 $R_{\odot}$ , la rotazione diventa rigida, con una velocità angolare dell'ordine di quella che in superficie si osserva alle latitudini di ±30°.

Le sorgenti dell'energia solare. L'energia solare è prodotta dalla fusione nucleare dell'idrogeno in elio. Questo processo può compiersi attraverso due cicli diversi di reazioni, detti, rispettivamente, ciclo CNO (H. Bethe, 1938), e il ciclo protone-protone o p-p (W. Fowler e T. Lauritsen, 1950). Quest'ultimo ciclo si articola, a sua volta, in tre catene di reazioni, dette pp-I, pp-II e pp-III: in tutti i casi, il risultato finale è la fusione di 4 protoni in un nucleo di elio, 4He, con la liberazione, fra l'altro, di 2 neutrini e di un'energia di 26,7 MeV. Le reazioni dei due cicli sono descritte. Lo svilupparsi dell'uno o dell'altro ciclo di reazioni in una stella dipende, oltre che dalla sua composizione chimica, dalla temperatura centrale: si trova che, in una stella di sequenza principale qual è il S., al di sopra di circa 20·10<sup>6</sup> K domina il ciclo CNO, mentre a temperature inferiori prevale quello p-p. Nel S., secondo la teoria comunemente accettata (detta del modello solare standard), la temperatura centrale si aggirerebbe intorno a 1,6·10<sup>7</sup> K e, di conseguenza, circa il 99% dell'energia verrebbe prodotta con il ciclo p-p. Ci si aspetta anche che, nell'ambito di questo ciclo, la catena pp-I sia dominante, producendo da sola oltre il 90% dell'energia solare. È importante sottolineare come la fusione nucleare dell'idrogeno, con qualunque modalità avvenga, assicuri al S. un adeguato rifornimento di energia. Infatti, assumendo che il 10% della massa del S., costituito principalmente di idrogeno, possa convertirsi in elio, si trova che l'energia sviluppata nel processo di fusione può permettere all'astro di brillare con la luminosità attuale per 10 miliardi di anni, un tempo assai più lungo di quello trascorso dall'epoca della sua formazione (4,6 miliardi di anni).

Modelli solari. Il modello più comunemente accettato, modello solare standard, parte dall'ipotesi che il S. sia sfericamente simmetrico, che il nucleo ruoti abbastanza lentamente e i campi magnetici interni non siano più



giungere al S. attuale. Il modello finale deve soddisfare le proprietà osservabili del S., e cioè fornire valori corretti per la sua massa, luminosità e temperatura superficiale. I risultati del modello standard sono sintetizzati, dove i parametri fondamentali (densità  $p$ , temperatura  $T$  e abbondanza dell'idrogeno  $X$ ) sono in grafico, in funzione della distanza radiale  $r$ , dal centro alla superficie. I valori di  $p$  e di  $T$  sono normalizzati a quelli esistenti al centro del S., rispettivamente di 150 g/cm<sup>3</sup> e 1,6·10<sup>7</sup> K. Si può notare come  $X$  dal valore centrale di ≈35% aumenti rapidamente raggiungendo, alla distanza di ≈0,25R<sub>☉</sub>, il valore del 71%, che poi rimane costante fino alla superficie. Questo andamento si spiega tenendo conto del fatto che le reazioni nucleari, che provocano la progressiva distruzione dell'idrogeno, hanno luogo soltanto nel nucleo, avente un raggio di ≈0,25R<sub>☉</sub>. D'altra parte, la materia solare si rimescola nella regione più esterna, sede di moti convettivi, ma non in quella intermedia (0,25R<sub>☉</sub>). La validità del modello standard può essere verificata misurando il flusso dei neutrini generati nel nucleo che, a causa della loro debolissima interazione con la materia, fuoriescono dal S. praticamente indisturbati. Le misure fino a oggi effettuate sembrano contraddire il modello: infatti, il flusso dei neutrini più energetici, prodotti nelle catene pp-II e pp-III del ciclo p-p, risulta nettamente inferiore a quello atteso. Poiché l'efficienza delle catene pp-II e pp-III diminuisce fortemente al decrescere della temperatura, il disaccordo sembrerebbe implicare che il nucleo del S. sia più freddo di quanto predetto dal modello standard. Sono stati allora sviluppati modelli solari non standard, che, abbandonando alcune delle ipotesi sopra citate, assumono, per es., che il nucleo del S. si trovi in rotazione rapida oppure che esso sia permeato da campi magnetici assai intensi. Per questa via si riescono a ottenere temperature centrali più basse, sanando così la discrepanza con le osservazioni dei neutrini. Tuttavia, tali teorie appaiono poco plausibili. Oggi, perciò, ci si orienta ad accettare il modello standard e a ricercare la soluzione del problema dei neutrini nell'ambito della fisica della propagazione di queste particelle (→ neutrino).

**Generalità.** Sulla superficie del S. si distinguono campi magnetici localizzati in aree più o meno ristrette e un campo globale di tipo dipolare. I campi localizzati, di gran lunga i più intensi (con induzione magnetica fino ad alcune migliaia di gauss), vennero scoperti nel 1908 da G. Hale sfruttando l'effetto Zeeman. L'esistenza del campo generale fu a lungo sospettata per spiegare il fenomeno dei raggi coronali (filamenti luminosi che si estendono nella corona al di sopra delle regioni polari, la cui forma richiama quella delle linee di forza uscenti dalle estremità di un dipolo magnetico). Tuttavia, soltanto nel 1955 H. Babcock riuscì a misurare questo campo, che ha un'induzione magnetica dell'ordine di 1 gauss (10<sup>-4</sup> tesla).

**Pori, nodi magnetici, punti facolari.** Le strutture magnetiche più piccole, che si individuano nella fotosfera, sono di tre tipi: i pori, aree oscure aventi diametri ≥1000 km, permeate da campi di 1500 gauss o più; i nodi magnetici, aventi dimensioni leggermente minori, ≈700 km, che hanno la luminosità fotosferica normale e si distinguono soltanto per la presenza di campi magnetici di induzione fra 1000 e 2000 gauss; i punti facolari, aree brillanti ancora più piccole, ≈200 km, che si raggruppano formando le facole. Per quanto riguarda i punti facolari, le loro dimensioni sono così piccole che non esistono ancora magnetogrammi in grado di risolverli singolarmente: tuttavia, la loro natura magnetica è rivelata dal fatto che il campo medio di una facola, dell'ordine di 100 gauss, è all'incirca proporzionale al loro numero per unità di area. Si pensa che pori, nodi e punti facolari siano strutture sostanzialmente simili: essi rappresenterebbero la sezione di tubi di forza magnetici, di dimensioni più o meno grandi, che emergono dalla superficie del Sole. La loro diversa luminosità dipenderebbe da due fattori: una temperatura più bassa di quella fotosferica ordinaria e una maggiore trasparenza dell'atmosfera. Nei pori, più grandi, l'effetto della temperatura sarebbe dominante, determinando una luminosità inferiore a quella della fotosfera circostante più calda. Nei punti facolari, più piccoli, prevalebbe, invece, l'effetto della trasparenza, che renderebbe visibili gli strati solari più interni e, quindi, più caldi e luminosi. Nei nodi, che hanno dimensioni intermedie, i due effetti si compenserebbero.

**Macchie.** Sono regioni oscure della fotosfera, con diametri fra ≈7000 km e ≈50.000 km (→ macchia). Differiscono dai pori, dai quali peraltro derivano, non soltanto per le dimensioni maggiori, ma anche perché hanno una struttura più complessa, nella quale si distingue una zona centrale più oscura (ombra) e una zona periferica (penombra), formata da filamenti radiali alternativamente luminosi e oscuri. Esse di solito si presentano in gruppi aventi dimensioni di ≈105 km o più. Sono permeate da campi magnetici con una polarità coerente: positiva, cioè uscente dalla superficie solare, o negativa, entrante. Nell'ombra, l'induzione del campo magnetico può raggiungere 3000 o 4000 gauss; nella penombra, decresce fino a ≈1000 gauss. Dal valore della luminosità, che nell'ombra si riduce a ≈15% di quella della fotosfera ordinaria, si deduce che la temperatura centrale è di ≈3700 K; nella regione periferica essa sale a ≈5000 K. Si pensa che la bassa temperatura delle macchie, così come quella dei pori, sia legata alla presenza di intensi campi magnetici. **Regioni attive.** Sono le aree della superficie solare, dove si manifestano le macchie e gli altri fenomeni che vanno sotto il nome di attività solare (facole, brillamenti, protuberanze ecc.). Sono anche chiamate regioni magnetiche bipolari (BMR, bipolar magnetic region), perché in esse il campo magnetico, più intenso che nella fotosfera ordinaria, presenta una caratteristica struttura, con le linee di forza che escono da una zona della superficie solare (polarità positiva) e vi rientrano in una zona adiacente (polarità negativa).

Sul disco solare ogni giorno appaiono centinaia di piccole regioni magnetiche bipolari (regioni attive effimere), che, in genere, si dissolvono in breve tempo. Alcune di quelle che si trovano a latitudini comprese fra -40° e +40° possono però evolvere in una regione attiva. In questo caso, il flusso magnetico concatenato con la BMR aumenta rapidamente e in essa si formano una facola e numerosi pori. I pori hanno una vita media di poche decine di minuti: qualcuno di essi, però, si ingrandisce e diventa una macchia. La prima macchia si forma solitamente nel secondo giorno di vita della regione attiva. Nei giorni successivi compaiono altre macchie, brillamenti e protuberanze a rapida evoluzione (→ protuberanze solari). Intorno al decimo giorno, macchie e brillamenti raggiungono il massimo sviluppo, dopo di che la regione attiva comincia lentamente a decadere. Circa la metà delle macchie ha una vita di meno di 2 giorni; le altre sopravvivono più a lungo e la prima, che è la più longeva, può durare anche oltre 60 giorni. Nella fase di declino della regione attiva, si forma una protuberanza quiescente. La superficie della BMR, intanto, si allarga: il flusso magnetico che essa concatena rimane all'incirca costante, sicché i campi magnetici si indeboliscono. Una volta cessati i brillamenti ed estintesi tutte le macchie, le uniche manifestazioni di attività rimangono la facola, che permane per circa 100 giorni, e la protuberanza quiescente, che può sopravvivere anche per 7 o 8 mesi.

**Brillamenti.** Sono fenomeni esplosivi, che si verificano nelle regioni attive, nei quali si liberano fino a ≈3·10<sup>25</sup> J, sotto forma di onde elettromagnetiche e, spesso, di particelle energetiche (→ brillamento). Schematizzando l'andamento dell'emissione di un brillamento in alcune bande dello spettro elettromagnetico: le microonde, la riga H $\alpha$  dell'idrogeno (che cade nel visibile alla lunghezza d'onda di ≈656 nm), i raggi ultravioletti e X (XUV). Basandosi sulla riga H $\alpha$ , si distinguono due fasi: la fase lampo (flash phase), che può durare da ≈5 minuti a ≈1 ora, nella quale si verifica un forte aumento dell'emissione, e la fase principale (main phase), che dura da ≈1 ora a ≈1 giorno, nella quale l'emissione ritorna gradualmente ai valori normali. Considerando le altre bande dello spettro, si nota che all'inizio della fase lampo vi è un improvviso impulso di radiazione sia alle basse frequenze (microonde) sia a quelle più alte (XUV). La fase lampo, inoltre, è preceduta da un aumento della emissione XUV (fase di pre-brillamento).

I brillamenti maggiori sono spesso accompagnati dall'emissione di una nube di plasma e da quella di protoni, particelle  $\alpha$  e altri nuclei atomici con energie di 10 MeV o più. In casi eccezionali, i protoni raggiungono energie maggiori di 500 MeV e si parla, allora, di raggi cosmici solari. I protoni più energetici possono dar luogo a reazioni nucleari nel sito del brillamento. I brillamenti sono quasi certamente alimentati dall'energia magnetica, immagazzinata nelle regioni attive. Il fatto che essi si presentino generalmente nella zona di confine fra le aree di polarità positiva e negativa di una BMR fa pensare che l'energia si sviluppi a causa dell'annichilazione di campi magnetici di opposta polarità.

Il fenomeno ha origine ad alta quota, in una zona della corona ( riquadro arancione in basso in fig.) dove si incontrano campi magnetici opposti che si annichilano a vicenda. Il riquadro in alto mostra la struttura del campo in questa regione. Intorno al punto neutro N, dove il campo si annulla, le linee di forza di opposta polarità (come AA' e BB' o CC' e DD') si saldano insieme dando luogo al fenomeno della riconnessione magnetica. Le linee di forza che così si formano (PP' o QQ') tendono a contrarsi come corde elastiche per effetto della tensione magnetica e spingono le particelle cariche che ivi si trovano nelle direzioni indicate dalle frecce. La regione dove avviene la annichilazione e riconnessione del campo si riscalda (trasformazione di energia magnetica in energia termica) a temperature dell'ordine di 10<sup>7</sup> K. Ciò spiega l'aumento dell'emissione nella banda XUV, che è la prima manifestazione del brillamento. Dalla zona di riconnessione, detta regione calda del brillamento, vengono espulsi fasci di elettroni che viaggiano, a velocità relativistiche, lungo le linee di forza sia verso l'interno sia verso l'esterno del Sole. I primi vanno a eccitare la bassa cromosfera, o regione fredda del brillamento, provocando l'emissione nella riga H $\alpha$ . I secondi sono responsabili delle radioemissioni (radiobursts) di tipo V, che accompagnano solitamente i brillamenti: si tratta di impulsi radio, di frequenze da qualche decina a qualche centinaio di megahertz, emessi dagli elettroni in moto nel campo magnetico con il meccanismo di sincrotrone. In certi casi, il S. espelle anche, dal sito del brillamento, una nube di plasma che, comprimendo davanti a sé il mezzo circostante, genera un'onda d'urto. Questa si propaga attraverso la corona con velocità di oltre 1000 km/s, causando un'ulteriore radioemissione (di tipo II e IV), e poi attraverso il mezzo interplanetario fino, eventualmente, a raggiungere la Terra (→ vento).

**Ciclo di attività e campo dipolare.** Nel 1844, S.H. Schwabe notò per primo che il numero delle macchie solari variava periodicamente nel tempo. Negli anni successivi, il fenomeno fu studiato più quantitativamente da R. Wolf, introducendo un parametro,  $R$ , chiamato numero di Wolf, che descrive il numero giornaliero delle macchie presenti sul disco solare.

Quando le macchie furono scoperte da Galileo. Va precisato che i conteggi anteriori al 1818 sono stati ricostruiti in base alle cronache degli osservatori dell'epoca e quindi, oltre che lacunosi, sono soggetti a notevoli errori. Dal grafico emerge che, almeno dal 1700 in poi,  $R$  ha oscillato con relativa regolarità fra valori vicini a zero, minimo di attività, e valori dell'ordine di 100, massimo di attività, con un periodo di ≈11 anni. A queste variazioni periodiche di  $R$  si dà il nome di ciclo di attività solare, o, più precisamente, di ciclo delle macchie, dal momento che l'attività solare si estrinseca in varie altre forme il cui andamento temporale si discosta alquanto da quello delle macchie. Si nota d'altra parte che, fra il 1650 e il 1700,  $R$  si è mantenuto costantemente al di sotto di 10: anche se i dati, come si è detto, non sono privi di incertezze, sembra sicuro che in tale periodo, detto minimo di Maunder, l'attività solare sia stata nettamente inferiore a quella verificatasi in seguito.

L'esistenza di epoche caratterizzate da un'attività solare assai bassa è stata confermata da un'analisi, su un arco di tempo di quasi un millennio, che utilizza due indicatori indiretti del numero di macchie: i conteggi delle aurore boreali, ricostruiti in base alle cronache degli osservatori dell'epoca, e le misure del rapporto isotopico <sup>14</sup>C/<sup>12</sup>C negli anelli di alberi molto vecchi (→ vento). Questi studi hanno permesso di individuare altri due periodi di ridotta attività della durata di parecchi decenni: il minimo di Wolf, verificatosi intorno al 1300, e il minimo di Spörer, fra il 1450 e il 1540.

Il campo magnetico generale del S., osservabile soltanto nelle regioni polari, ha una struttura dipolare, che si inverte periodicamente. Esso compare subito dopo un massimo di attività con una data polarità (per es., linee di forza che escono dal polo nord ed entrano nel polo sud), si annulla al massimo di attività successivo e quindi ricompare con polarità invertite (linee di forza che escono dal polo sud ed entrano nel polo nord). Si trova anche che, all'inizio di ogni ciclo, i campi delle regioni polari hanno la medesima polarità di quelli delle zone p delle BMR, che si formano nello stesso emisfero. Il ciclo magnetico del S. ha un periodo di ≈22 anni.

Si pensa che il campo magnetico del S. sia generato con il meccanismo di una dinamo autoeccitata (teorie dinamo, → dinamo). Le teorie più accreditate, dette dinamo  $\alpha$ - $\Omega$ , si basano su due processi: il primo, dipendente dalla rotazione differenziale del S., conduce alla generazione di un campo magnetico azimutale, cioè diretto lungo i paralleli, a partire da un campo poloidale, diretto lungo i meridiani; il secondo, legato alle forze di Coriolis, conduce alla rigenerazione del campo poloidale da quello azimutale. La linea di forza ABC coincide inizialmente con un meridiano; poiché l'equatore ruota più rapidamente dei poli e il campo magnetico è 'congelato' nel mezzo, essa viene progressivamente 'stirata', assumendo, dopo un certo numero di rotazioni solari, la forma AMNC, in cui il campo ha acquistato una componente azimutale. Il campo magnetico risulta anche amplificato, perché la sua intensità aumenta proporzionalmente all'allungamento delle linee di forza (→ congelamento). Il secondo fenomeno è illustrato. Un tubo di forza magnetico, diretto lungo un parallelo, sale per effetto della convezione magnetica e, a causa della diminuzione della pressione esterna, si espande. Le forze di Coriolis producono allora una rotazione del tubo nel verso orario o



entratario, a seconda che questo si trovi nell'emisfero nord, come nel caso in fig., o in quello sud. Il risultato dell'analisi di entrambi i casi, è la generazione di una componente poloidale del campo. Il nome di *dinamo  $\alpha$ -Q* dato a queste teorie discende dal fatto che la velocità angolare del S. si usa indicare con  $\Omega$ . Viene chiamato effetto  $\alpha$ .

**Attività e luminosità del Sole.** La luminosità del S. varia con la sua attività. L'andamento della costante solare (S) in un periodo di circa sei mesi del 1980: si distinguono un minimo, in coincidenza con la massima estensione raggiunta dalle macchie, e un massimo, in un momento in cui le macchie erano quasi assenti. La modulazione della luminosità solare viene attribuita a tre fattori, tutti legati all'attività del S.: le macchie, le facole e la rete magnetica fotosferica, formata da contorni, corrispondenti a quelli della rete cromosferica ( $\rightarrow$  cromosfera), dove il campo magnetico è più intenso. Le macchie, essendo più fredde della fotosfera ordinaria, irraggiano meno energia, producendo un deficit di luminosità. Le facole e la rete fotosferica hanno, invece, una luminosità accentuata. Sia l'effetto delle macchie sia quello delle facole e della rete fotosferica sono più marcati nei periodi di maggiore attività: tuttavia, il secondo fenomeno prevale sul primo, determinando l'aumento di S in corrispondenza del massimo del ciclo. D'altra parte, poiché le facole e i contorni della rete fotosferica evolvono su tempi di qualche mese, mentre le macchie hanno, solitamente, una vita di pochi giorni, le variazioni di S a breve termine sono controllate soprattutto dalle macchie: di qui la maggiore variabilità di S che si riscontra nei periodi di alta attività solare, quando le macchie sono più numerose.

Le variazioni della costante solare vengono studiate con grande interesse anche per le ripercussioni che esse possono avere sul clima della Terra: è stato suggerito, per es., che la mini-glaciazione verificatasi nel 1793 sec. sia stata causata da una diminuzione della luminosità del S. in concomitanza con il minimo di attività di Maunder. Fra il minimo e il massimo di attività si hanno variazioni cospicue dell'emissione solare (anche del 100% e oltre) nella porzione XUV dello spettro, con effetti significativi sull'ambiente terrestre (per es., modifiche dell'equilibrio dell'ozono nella stratosfera).

Il S., essendo costituito da materia allo stato gassoso, non ha un confine ben determinato. Come superficie solare si assume allora una superficie tale che l'intensità della radiazione elettromagnetica che essa emette viene ridotta a una frazione  $1/e$  ( $e=2,178\dots$ ) del suo valore dall'assorbimento dei gas sovrastanti. Gli strati del S. che si trovano al di sopra della sua superficie prendono il nome di atmosfera solare e vengono suddivisi, come già detto, in fotosfera, cromosfera e corona.

È riportato un grafico della temperatura in funzione della distanza dal centro. Si nota che la temperatura dapprima diminuisce verso l'esterno, raggiungendo un minimo di  $\approx 4200$  K al confine fra la fotosfera e la cromosfera, e poi aumenta rapidamente attraverso la cromosfera fino a raggiungere nella corona un valore di  $\approx 2 \cdot 10^6$  K. Poiché il calore, come è noto, fluisce soltanto da punti a temperatura maggiore a punti a temperatura minore, la cromosfera e la corona non possono essere riscaldati da un flusso di calore proveniente dalla fotosfera. Per spiegare le alte temperature di queste regioni, occorre invocare meccanismi di riscaldamento 'non termici', cioè processi in cui forme diverse di energia (per es., energia cinetica o energia magnetica) vengono dissipate in calore. Le regioni del S. osservabili direttamente, e delle quali è quindi possibile determinare la composizione chimica, sono la fotosfera, la cromosfera e la corona. Il maggiore interesse è rivestito dalla composizione della fotosfera, perché, come si è detto, essa dovrebbe rispecchiare quella della nube di gas primordiale dalla quale trasse origine il Sole.

Le abbondanze fotosferiche degli elementi si ottengono dallo spettro di Fraunhofer. Alcune righe oscure, sovrapposte all'emissione continua della fotosfera, furono notate già nel 1802 da W.H. Wollaston il quale tuttavia le interpretò come 'confini' fra i colori fondamentali. J. Fraunhofer, nel 1814, compì le prime osservazioni sistematiche su questo spettro (che in seguito da lui prese il nome), catalogandone le righe più intense. Mezzo secolo più tardi, G.R. Kirchhoff interpretò lo spettro di Fraunhofer come il risultato dell'assorbimento di un'atmosfera relativamente fredda, sovrastante la superficie solare incandescente. Egli identificò anche le righe del sodio, del ferro e del magnesio, aprendo così la strada allo studio della composizione chimica del Sole. L'interpretazione moderna delle righe di Fraunhofer è più complessa di quella proposta a suo tempo da Kirchhoff. Infatti, i gas fotosferici non si limitano ad assorbire la radiazione proveniente dagli strati sottostanti, ma, a loro volta, la riemettono. La ragione per cui le righe di Fraunhofer appaiono oscure è che la radiazione a tali lunghezze d'onda, alle quali l'atmosfera solare è più opaca, proviene dagli strati più alti della fotosfera i quali, essendo più freddi, emettono con minore efficienza.

In linea di principio, dall'analisi di ciascuna riga dello spettro di Fraunhofer si può risalire all'abbondanza dell'elemento che l'ha prodotta: allo scopo, si confronta la sua intensità con il valore dato da una curva teorica (detta curva di crescita), che descrive come 'cresce' l'intensità della riga, all'aumentare del numero di atomi assorbenti. Si incontrano, tuttavia, varie difficoltà: per es., il calcolo della curva di crescita richiede la conoscenza delle condizioni fisiche della fotosfera (densità, temperatura ecc.), sulle quali esistono notevoli incertezze. Inoltre, le righe vicine spesso si sovrappongono fra loro, sicché diventa necessario analizzare non già una singola riga, ma un'intera porzione dello spettro determinando simultaneamente le abbondanze di tutti gli elementi che contribuiscono all'assorbimento della radiazione in quell'intervallo di lunghezze d'onda. Sintetizza in forma di grafico i risultati di questi studi. Le abbondanze (A) degli elementi, riportate in funzione del loro numero atomico, sono espresse in una scala logaritmica, che ha per base l'abbondanza dell'idrogeno, posta convenzionalmente uguale a 12 (per es.: se  $A=11$ , gli atomi dell'elemento considerato sono il 10% di quelli di idrogeno; se  $A=10$ , sono l'1%; e così via). L'elio, l'elemento più abbondante nel S. dopo l'idrogeno, non dà luogo a righe di assorbimento apprezzabili, sicché il valore riportato nel grafico ( $A(\text{He})=10,9$ , corrispondente a  $\approx 8\%$  in numero di atomi e a  $\approx 27\%$  in massa) è quello ipotizzato dal modello solare standard. Fra le lacune che si riscontrano in figura, le più notevoli sono quelle degli altri gas nobili, anch'essi non osservabili spettroscopicamente nella fotosfera. Dall'analisi del grafico emerge che: a) in generale, le abbondanze degli elementi tendono a diminuire all'aumentare del loro numero atomico; b) il ferro, che è l'elemento più stabile, presenta un picco assai marcato rispetto agli elementi adiacenti; c) il litio, il berillio e il boro hanno abbondanze fortemente depresse. Le prime due caratteristiche dipendono dai processi di nucleosintesi, che hanno condotto alla formazione degli elementi nell'Universo ( $\rightarrow$  elemento). La terza deriva dal fatto che litio, berillio e boro sono stati lentamente distrutti, nel corso della vita del S., in reazioni nucleari che si sviluppano alla base della regione convettiva, dove la temperatura supera  $2 \cdot 10^6$  K. Per quanto riguarda la cromosfera e la corona, le osservazioni spettroscopiche della radiazione che esse emettono hanno permesso di stimare le abbondanze di parecchi elementi: i valori ottenuti, entro le notevoli incertezze delle misure, sono in generale consistenti con quelli fotosferici. Informazioni sulla composizione chimica del plasma coronale si ottengono anche dalle osservazioni del vento solare, condotte dai satelliti artificiali nello spazio interplanetario.



## Mercurio:

Mercurio è il primo pianeta del Sistema Solare. È poco ospitale: la sua superficie rugosa è cosparsa di bacini e crateri e le sue condizioni ambientali sono proibitive. È difficilmente osservabile dalla Terra e solo di recente gli astronomi ne hanno scoperto alcune caratteristiche.

Mercurio è il pianeta più vicino al Sole, da cui dista in media poco meno di 58 milioni di km. Il suo diametro, pari a circa 1/3 di quello terrestre, è di 4.878 km. Percorre la sua orbita in appena 88 giorni terrestri, mentre gira molto lentamente su sé stesso: per compiere una rotazione attorno al suo asse impiega circa 59 giorni terrestri. Malgrado la sua grande somiglianza con la Luna, Mercurio è molto più denso: infatti secondo gli astronomi è composto da un grosso nucleo di ferro, parte del quale forse allo stato liquido, con un raggio di 1.800-1.900 km, che contiene circa l'80% della massa del pianeta. Questo nucleo è circondato da un mantello e da una crosta simili a quelli della Terra e di spessore complessivo pari a 500-600 km.

Mercurio è praticamente privo di atmosfera. Durante il giorno le regioni vicine all'equatore raggiungono temperature di 430 °C, che la notte scendono sotto i -185 °C. Questa grande differenza fra il giorno e la notte si deve proprio alla mancanza di un'atmosfera che, come quella terrestre, per la sua capacità di trattenere il calore, attenui cambiamenti di temperatura troppo bruschi.

La superficie di Mercurio è costellata da crateri ed enormi scarpate, alcune delle quali possono raggiungere anche centinaia di chilometri. L'aspetto del pianeta ricorda quello della Luna proprio per i crateri e i bacini, per la superficie rugosa ricoperta di polvere e per l'assenza di atmosfera.

I crateri si sono formati, in epoche molto remote, per l'impatto di meteoriti. I crateri più piccoli di Mercurio hanno un diametro inferiore a 10 km, quelli più grandi superano i 200 km e prendono il nome di bacini.

Il più grande di questi crateri, battezzato Caloris planitia («Pianura del calore»), ha un diametro di 1.340 km ed è circondato da una serie di catene montuose disposte in modo concentrico, generate probabilmente dallo stesso impatto che formò il bacino. Mentre sulla Luna il nome scelto per i crateri è spesso quello di scienziati, per Mercurio sono stati preferiti nomi di artisti, musicisti e scrittori: così abbiamo i crateri Omero, Beethoven, Raffaello, Mozart e Mark Twain.

È difficile scorgere Mercurio perché questo pianeta si trova molto vicino al Sole e non è quindi possibile individuarlo al buio, in piena notte. Il pianeta va quindi osservato quando il Sole è basso sull'orizzonte. Copernico, per esempio, alla fine della sua vita si lamentava di non averlo mai potuto osservare.

Mercurio è un mondo davvero poco ospitale, bruciato dal Sole, privo di acqua e di aria (entrambe evaporate per il calore), pieno di crateri come la Luna. Al pari di Venere e della Luna, anche Mercurio presenta il fenomeno delle fasi. Nonostante le difficoltà d'osservazione, Mercurio era già noto agli antichi.

Mercurio si trova fra il Sole e la Terra e quindi è possibile talvolta osservarne il passaggio davanti al disco solare, una caratteristica che condivide con Venere, perché questi sono gli unici pianeti che orbitano fra la Terra e il Sole (sono infatti detti pianeti interni). Quando Mercurio si trova perfettamente allineato tra il Sole e la Terra, il che accade, in media, una dozzina di volte al secolo, è possibile vederlo transitare come un puntino oscuro che per breve tempo si sovrappone al disco del Sole. Naturalmente per ammirare l'evento è assolutamente necessario utilizzare schermi che proteggano gli occhi dall'intensa radiazione solare e non guardare direttamente verso il Sole.





## Venere:

Venere è il pianeta più luminoso nel cielo e per questa ragione è stata ammirata fin dall'antichità. Per massa e dimensioni è simile alla Terra, ma il suolo arido e l'atmosfera corrosiva – una spessa coltre di nubi formate da acido solforico avvolge il pianeta – la rendono un ambiente del tutto inospitale, raggiunto con difficoltà anche dalle sonde spaziali.

Venere – il secondo pianeta del Sistema Solare in ordine di distanza dalla nostra stella – ha dimensioni simili a quelle della Terra. È nota fin dalla preistoria perché molto brillante e forse proprio per il suo splendore ha preso nome dalla dea dell'amore e della bellezza. Si può vedere facilmente a occhio nudo: al massimo del suo splendore è 12 volte più brillante di Sirio, la stella più luminosa del nostro cielo. Venere dista in media dal Sole 108.200.000 km, la sua massa è di  $4,869 \times 10^{24}$  kg, pari all'80% circa di quella terrestre, e il diametro raggiunge 12.103 km, il 95% di quello terrestre. Venere, caso unico del Sistema Solare insieme a Mercurio, non possiede satelliti.

Trattandosi di un pianeta interno, cioè più vicino al Sole della Terra, quando viene osservata dal nostro pianeta V. presenta fasi diverse: la sua superficie appare cioè illuminata totalmente o parzialmente oppure del tutto oscura, a seconda delle posizioni relative Terra-Sole-Venere. Fu Galileo Galilei il primo a osservare il fenomeno delle fasi di Venere, come scrisse in un carteggio tenuto con Giovanni Keplero sul finire del 1610: «va mutando le figure nell'istesso modo che fa la Luna...».

La rotazione del pianeta è molto lenta: servono 243 giorni terrestri per completare un giorno venusiano, mentre il periodo di rivoluzione è di 224,7 giorni. Su Venere quindi un giorno dura più di un anno! Il moto è inoltre retrogrado, da est a ovest, contrario quindi al senso di moto della Terra e di quasi tutti gli altri pianeti del Sistema Solare. Il periodo di rotazione e l'orbita di Venere sono sincronizzati, tanto che questo corpo celeste rivolge sempre la stessa faccia verso la Terra quando i due pianeti sono alla minima distanza.

Venere è priva di acqua: probabilmente il pianeta possedeva un tempo come la Terra mari e oceani, che poi sono evaporati, e ora il suolo appare arido e roccioso. La maggior parte della superficie di Venere è occupata da pianure desertiche e almeno per l'85% è ricoperta da colate laviche, tanto che la sonda Magellano ha riscontrato tracce di fiumi di lava lunghi più di 6.000 km. Sul pianeta ci sono almeno 156 grandi vulcani a scudo – che si estendono per più di 100 km – a cui si sommano molti altri vulcani più piccoli. Al livello del suolo, la pressione che si raggiunge è così elevata (92 atm) che un valore analogo si incontra sul nostro pianeta solo in mare, a circa 1 km di profondità.

Venere possiede un'atmosfera molto densa e calda, e nei suoi strati superiori è presente una spessa coltre di nubi. L'atmosfera è composta per il 96% di anidride carbonica e per il 4% di azoto, con tracce di biossido di zolfo, argo e vapore acqueo. L'anidride carbonica trattiene il calore del Sole mantenendo la temperatura media del pianeta a 480 °C. Proprio la corrosività dell'atmosfera e le temperature elevate hanno reso difficile l'avvicinamento delle sonde al pianeta e per molti anni non si sono avute informazioni sulla sua superficie.

Le nubi di Venere fluttuano a circa 60 km dal suolo – le più alte possono arrivare intorno ai 95 km – e la loro temperatura si aggira sui 30 °C, sia di giorno sia di notte. Sono costituite per lo più da acido solforico e in minima parte da idrogeno, ossigeno, zolfo, fluoro e cloro. Riescono a riflettere circa il 70% della luce proveniente dal Sole e per questa ragione Venere è uno degli oggetti più splendidi del nostro cielo. Proprio queste nubi, però, impediscono di osservare la superficie. Al di sopra di esse i venti sono molto forti (350 km/h), mentre al suolo sono assai deboli.



## Marte:

Marte ha da sempre attirato l'attenzione dell'uomo perché è il pianeta a noi più vicino e perché assomiglia sia alla Terra sia alla Luna. La sua superficie è rossa, per la presenza di minerali ferrosi, e un tempo, oltre quattro miliardi di anni fa, c'era acqua allo stato liquido. Oggi le sonde inviate su Marte raccontano agli astronomi di una realtà ben diversa, inadatta a ospitare esseri viventi, come invece si credeva.

Marte è il quarto pianeta del Sistema Solare, in ordine di crescente distanza dal Sole: segue infatti Mercurio, Venere e la Terra stessa. Paragonato alla Terra, Marte è piuttosto piccolo: il suo diametro all'equatore è di 6.787 km, circa la metà di quello terrestre. L'orbita di Marte intorno al Sole è ellittica con distanza media di 228 milioni di chilometri. Per percorrere la sua orbita Marte impiega circa due anni, cioè 687 giorni. Il periodo di rotazione marziano, e cioè il giorno marziano, è invece assai vicino a quello terrestre: dura infatti 24h 37m 22s. L'asse attorno al quale ruota Marte è inclinato rispetto al Sole all'incirca come l'asse terrestre, quindi la successione delle stagioni su Marte, benché queste siano leggermente più lunghe, assomiglia a quella sulla Terra.

Visto che Marte è molto più piccolo della Terra, quando si è formato si è raffreddato molto rapidamente. I minerali ferrosi non hanno fatto in tempo a precipitare nel nucleo del pianeta, ma sono rimasti sulla superficie in percentuale superiore a quanto è avvenuto sulla Terra: col tempo, a contatto con l'ossigeno e con il vapore acqueo presente nell'aria, si sono ossidati, diventando rossi. Insomma, potremmo dire che Marte è un pianeta 'arrugginito'.

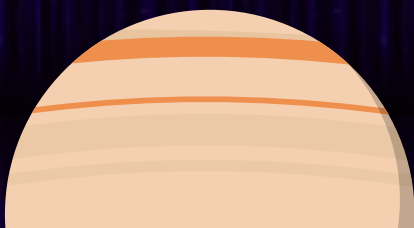
Intorno a Marte girano due piccole lune, Phobos e Deimos, scoperte nel 1877.

Sulla superficie di Marte sono ancora ben visibili i segni lasciati dall'acqua allo stato liquido: canali con affluenti, fondi di laghi asciutti con depositi di detriti portati dai fiumi, pezzi di scarpate continentali generate dal moto ondoso dell'Oceano Boreale. Una parte di Marte è più liscia dell'altra proprio perché un tempo era il fondo dell'antico oceano marziano. Un'altra prova dell'esistenza dell'oceano è la scarpata di circa 8 km di altezza che separa dai terreni circostanti il Monte Olimpo, il più grande vulcano del Sistema Solare, alto 27 km e con un diametro alla base di 600 km. La scarpata è stata scavata con ogni probabilità dal moto ondoso. Gli astronomi sono comunque abbastanza sicuri che da circa 4 miliardi di anni su Marte non ci sia più acqua allo stato liquido.

Su Marte non piove da vari miliardi di anni, la temperatura media è inferiore a quella terrestre, ed è molto alta la variazione di temperatura tra giorno e notte: durante l'estate la temperatura superficiale delle zone equatoriali raggiunge 25 °C, mentre nella notte cade rapidamente a circa -70 °C. Marte è circondato da una tenue atmosfera formata quasi esclusivamente di anidride carbonica (CO<sub>2</sub>) e la pressione al suolo è circa 1/150 di quella esercitata dall'atmosfera terrestre. Nonostante la rarefazione dell'atmosfera sul pianeta i venti possono raggiungere grandi velocità, grazie alla bassa gravità (è solo il 38% di quella terrestre), e sollevare nubi di polvere che danno origine a vere e proprie tempeste di sabbia. Lo spostamento della sabbia modifica le caratteristiche geologiche del pianeta.

Per lungo tempo l'uomo ha fantasticato l'esistenza di forme di vita aliena su Marte. Queste idee furono a un certo punto sostenute da alcune osservazioni fatte alla fine dell'Ottocento dall'astronomo Giovanni V. Schiaparelli, che misero in evidenza strutture particolari sulla superficie del pianeta, i cosiddetti canali, i quali furono erroneamente interpretati come opera di esseri intelligenti. In realtà, ricerche successive hanno mostrato che questa rete di solchi era dovuta a effetti degli strumenti con cui si osservava il pianeta.

Oggi possiamo affermare con relativa certezza che non ci sono forme di vita intelligente, anche se lo studio di meteoriti marziane non ha ancora permesso di escludere completamente l'ipotesi che su Marte esistano forme di vita non evolute al di sotto della crosta del pianeta.







## Giove:

Giove è il pianeta più grande del Sistema solare e con il suo diametro di 142.984 km occuperebbe quasi la metà dello spazio che separa la Terra dalla Luna. È un gigante gassoso circondato da anelli, satelliti e da una famiglia di comete. Su Giove i venti soffiano alla velocità di centinaia di chilometri l'ora e la grande macchia rossa che si vede dalla Terra è una perturbazione atmosferica.

Giove, il quinto pianeta in ordine di distanza dal Sole, è certamente il gigante del Sistema solare, talmente grande che potrebbe contenere la Terra al suo interno 1.300 volte. Anche la massa di Giove è notevole, pari a 318 volte la massa della Terra e se sommassimo la massa di tutti gli altri corpi del Sistema solare, escluso il Sole, otterremmo un valore che supera solo del 30% la massa di Giove! Non è un caso che questo pianeta abbia preso addirittura il nome del dio dell'Olimpo.

La superficie di Giove non è solida come quella di Marte o della Terra e, se atterlassimo su di esso, sprofonderemmo al suo interno. Il pianeta fa un giro completo attorno al Sole in circa 12 anni terrestri (ciò significa che un anno su Giove dura come 12 anni terrestri), ma per compiere un giro su sé stesso il grande pianeta impiega solo 10 ore, contro le circa 24 della Terra. Giove è circondato da due anelli, da almeno sedici satelliti e da una famiglia di comete.

Grazie alle sonde spaziali che lo hanno avvicinato – Pioneer 10 e 11, Voyager 1 e 2, Ulisse e Galileo – oggi abbiamo una conoscenza più dettagliata di Giove. Con le sonde Voyager gli astronomi hanno scoperto un sottile anello intorno al pianeta, simile a quelli che circondano Saturno. Nel 1995 una sonda portata nello spazio dalla Galileo, riuscì a raggiungere l'atmosfera di Giove e mentre scendeva attraverso le nubi inviò moltissime informazioni verso la Terra.

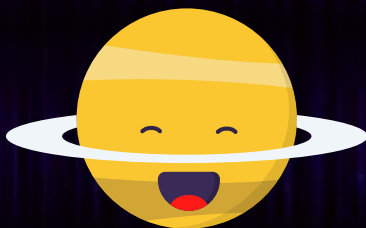
È sufficiente anche un telescopio di dimensioni modeste per vedere attorno a Giove alcune bande scure. Si tratta di sistemi nuvolosi a strisce: è il calore sprigionato dal nucleo del pianeta, ancora incandescente, a far salire i gas dell'atmosfera che successivamente si raffreddano e ricadono verso il basso.

Giove è decisamente un pianeta nuvoloso e ventoso. La sonda Galileo ha misurato nella sua atmosfera venti che viaggiano a velocità strabilianti, fino a 650 km all'ora. I venti sono così forti anche perché il pianeta gira su sé stesso molto rapidamente e soffiano più velocemente all'Equatore che vicino ai Poli.

Giove è circondato da campi magnetici intensi che vicino alla sommità delle nubi superano il campo terrestre di oltre 20 volte. Il campo magnetico del pianeta è invertito rispetto a quello terrestre, per cui le nostre bussole su Giove indicherebbero il sud e non il nord.

Molte sono le macchie rotondeggianti che si possono osservare sul grande pianeta, ma una ha dimensioni veramente straordinarie: è la grande macchia rossa di Giove. È così grande che potrebbe contenere comodamente un pianeta come il nostro. Questa macchia è in realtà una tempesta gigante e permanente che si muove alla velocità di un metro ogni secondo, verso est o verso ovest, senza mai spostarsi a nord oppure a sud.

Osservando Giove, Galilei si accorse che intorno al pianeta vi erano quattro piccoli astri che sembravano ruotargli attorno, così come la Luna fa con la Terra. Sono stati i primi satelliti di Giove a essere individuati e hanno ricevuto i nomi mitologici di Io, Europa, Ganimede e Callisto. In onore del loro scopritore sono detti satelliti galileiani, ma prendono anche il nome di satelliti medicei perché Galilei li dedicò a Cosimo II de' Medici, granduca di Toscana. Io, Europa, Ganimede e Callisto hanno caratteristiche tra loro molto diverse. Su Io, per esempio, gli astronomi hanno evidenziato l'esistenza di montagne alte decine di chilometri e di potenti vulcani attivi che lanciano nello spazio ingenti quantità di zolfo. Europa è invece ricoperto di ghiacci e non è escluso che sotto tutto quello strato ghiacciato si nasconda acqua allo stato liquido e forse qualche forma di vita. I più piccoli satelliti di Giove, invece, sono stati evidenziati solo recentemente dalle sonde spaziali.



## Saturno:

Saturno, il sesto pianeta del Sistema Solare in ordine di distanza dalla nostra stella, è noto per i suoi anelli. Ha caratteristiche davvero sorprendenti: è spazzato da venti fortissimi, è freddo e inospitale e il suo satellite maggiore, Titano, è l'unico pianeta nel Sistema Solare provvisto di atmosfera.

Saturno si trova fra Giove e Urano ed è quindi il sesto pianeta del Sistema Solare. Dopo Giove è il pianeta più grande e la sua distanza dal Sole è circa nove volte maggiore di quella della Terra. E infatti, rispetto alla Terra, Saturno impiega molto più tempo per girare attorno al Sole: mentre fa un solo giro intorno al Sole – un anno saturniano – il nostro pianeta ne fa ben 29 e mezzo! Come Giove, Saturno è un pianeta gassoso ma è molto più leggero: la sua densità media, appena 1/8 di quella terrestre, la più piccola fra quelle dei pianeti, è addirittura inferiore a quella dell'acqua.

I venti soffiano fortissimi e sono ancora più veloci di quelli che spazzano Giove; la temperatura media in superficie è di -186 °C. Si tratta insomma di un pianeta veramente inospitale e per questo gli astronomi hanno escluso la possibilità di trovare su Saturno forme di vita.

Il nome deriva dalla divinità romana Saturno, identificata dai Greci con Crono. Saturno era uno dei Titani e proprio per questo il satellite più grande del pianeta prende il nome di Titano.

Gli anelli sono la caratteristica più nota di Saturno che, proprio per questo, viene spesso soprannominato il signore degli anelli. Basta un piccolo telescopio per vederli e ammirare uno spettacolo veramente strabiliante. Nel 1610 Galilei fu il primo ad accorgersi che Saturno aveva qualcosa di strano, una sorta di rigonfiamento laterale, e disse in proposito che il pianeta sembrava avere le orecchie! Ma lo studio effettivo degli anelli di Saturno cominciò solo con Christiaan Huygens e Gian Domenico Cassini. Oggi sappiamo che gli anelli sono frammenti di polvere, ghiaccio e piccole rocce e sono collocati in una fascia che dista 10.000-70.000 km dalla superficie del pianeta. In alcune circostanze gli anelli, visti dalla Terra, sembrano rimpicciolirsi. Ciò accade perché in quel momento il nostro pianeta e Saturno si trovano in posizione tale che un osservatore terrestre vede gli anelli di taglio proprio come succede quando si guarda in obliquo un piccolo anello da dito: è più difficile osservarlo in questa posizione rispetto a quando se ne ha una visione laterale. Dalla Terra sono visibili facilmente tre anelli, ma in realtà le sonde Voyager hanno mostrato che gli anelli sono molti di più: il motivo è che alcuni si riuniscono in modo da formare le tre strutture principali che osserviamo dalla Terra. Gli anelli di Saturno non sono altro che piccolissimi satelliti di dimensioni variabili, che vanno da quelle di una palla da tennis a 1 km di diametro. Fra un anello e l'altro si intravedono raggi scuri, costituiti probabilmente di polvere che resta allineata per azione del campo magnetico del pianeta.

Saturno ha almeno 18 lune – Atlante, Calipso, Dione, Encelado, Epimeteo, Elena, Iperione, Giapeto, Giano, Mimas, Pan, Pandora, Phoebe, Prometeo, Rea, Telesto, Teti e Titano – a cui si aggiungono quattro altri oggetti rivelati nel 1995 dal telescopio spaziale Hubble e che potrebbero essere nuovi satelliti. Il satellite maggiore di Saturno è Titano che non a caso ha il nome di un gigante: è infatti ancora più grande del pianeta Mercurio. A differenza di tutti gli altri satelliti del Sistema Solare, Titano ha anche una densa atmosfera formata prevalentemente da azoto. Gli altri satelliti di Saturno, invece, essendo privi di atmosfera, sono letteralmente crivellati di crateri, più della nostra



Luna. Come il nostro satellite, infatti, non sono protetti dallo scudo dell'atmosfera e inoltre si trovano in una zona dell'Universo nella quale sono presenti molti più meteoriti e altri oggetti celesti in grado di provocare violenti impatti.



## Urano:

Molto più grande della Terra, ma da essa davvero lontano, Urano è il settimo pianeta del Sistema Solare. Difficilissimo da vedere a occhio nudo, è un regno di rocce, ghiacci e nubi. È stato individuato sul finire del Settecento dal musicista e astronomo William Herschel grazie a un telescopio di sua costruzione. Urano è il settimo pianeta del Sistema Solare. Si trova dopo Saturno e completa la sua orbita attorno al Sole in 84 anni. Il diametro medio di Urano è quattro volte maggiore di quello della Terra, ma Urano è talmente lontano dal nostro pianeta che non è molto facile vederlo a occhio nudo. Ha una massa di 87 mila miliardi di miliardi di tonnellate (8,7 x 10<sup>28</sup> g), pari a 14 volte e mezzo quella della Terra, e come Saturno presenta diversi anelli, seppure molto più tenui. È composto principalmente da roccia e ghiaccio e ha una densità media piuttosto bassa, pari a circa 1,3 g/cm<sup>2</sup>. Urano ha una caratteristica tutta sua: l'equatore del pianeta è molto inclinato rispetto al piano dell'orbita, tanto che la sua rotazione appare, come quella di Venere, retrograda (da est a ovest, mentre gli altri pianeti del Sistema Solare si spostano da ovest a est). Urano ha una ventina di satelliti e, a differenza degli altri corpi del Sistema Solare che hanno nomi tratti dalla mitologia classica, i satelliti di Urano richiamano i personaggi delle opere di William Shakespeare e Alexander Pope.

Urano è stato raggiunto fino a oggi da una sola sonda spaziale, il Voyager 2, che l'ha sorvolato il 24 gennaio 1986; negli ultimi anni il telescopio spaziale Hubble e i grandi telescopi a terra hanno permesso di studiarlo in modo sistematico.

L'atmosfera di Urano, spessa 7.600 km, è composta per l'83% di idrogeno, per il 15% di elio e per il 2% di metano, con tracce di altri idrocarburi. Come su Giove e Saturno anche su Urano ci sono nuvole, probabilmente formate da cristalli di metano, spinte da forti venti, che soffiano a gran velocità (da 140 fino a 570 km/h). Dallo spazio Urano appare di colore azzurro. Le molecole di metano presenti nell'alta atmosfera, infatti, assorbono la componente rossa della luce e riflettono quella blu dando al pianeta la caratteristica colorazione. La temperatura media sulla superficie di Urano è molto bassa, inferiore a -200 °C, e non subisce variazioni apprezzabili da una stagione all'altra. Nel 1781, scrutando le stelle con un telescopio, il tedesco William Herschel individuò un pianeta fino ad allora sconosciuto, appunto Urano. Herschel in realtà non era un astronomo, ma un musicista professionista di Hannover trasferitosi in Inghilterra e appassionato di osservazioni celesti. Costruiva telescopi per diletto e proprio con uno di questi strumenti riuscì a scorgere il pianeta mentre redigeva una rassegna sistematica degli oggetti celesti. Herschel individuò un corpo che sembrava avere la forma di un disco e che si muoveva sensibilmente tra le stelle nel corso dei giorni: inizialmente pensò che si trattasse di una cometa, ma ben presto capì che quell'insolito oggetto era un pianeta, il primo non visibile a occhio nudo. Herschel chiamò quel corpo celeste Georgium Sidus («astro georgiano») in onore di re Giorgio III d'Inghilterra; altri lo chiamarono invece Herschel in omaggio al suo scopritore. Il nome Urano fu proposto per la prima volta nel 1850 come richiamo a Urano, la divinità della mitologia greca. La luminosità di Urano è al limite inferiore di quella che l'occhio umano può cogliere in cieli limpidi e senza luci artificiali; nel periodo dell'opposizione, quando Urano è alla minima distanza dalla Terra, la luminosità si accresce un po'. In queste circostanze e in situazioni ottimali, del tutto prive di inquinamento luminoso, si può provare a individuarlo a occhio nudo. In generale, per osservare il pianeta serve però un binocolo o un piccolo telescopio, ma anche usando potenti strumenti ottici, Urano rimane all'osservazione sempre un piccolo e pallido disco privo di dettagli.



## Nettuno:

Nettuno è uno dei giganti del Sistema Solare, ancora oggi poco conosciuto data la sua distanza dal Sole. Non a caso la sua scoperta è avvenuta grazie a laboriosi calcoli più che tramite osservazioni del cielo. Nettuno è formato principalmente da gas che forse circondano un nucleo solido, e probabilmente il suo colore azzurro è dovuto all'interazione tra il metano dell'atmosfera e i raggi solari.

Nettuno, grande circa quattro volte la Terra, viene considerato solitamente l'ottavo pianeta in termini di distanza dal Sole, ma può anche accadere che l'orbita di Plutone, molto schiacciata, si spinga all'interno di quella di Nettuno relegando quest'ultimo al nono posto, come accaduto tra il 1979 e il 1999.

Forse già Galileo Galilei osservò nel 1613 il pianeta, ma senza rendersi conto della natura di questo oggetto celeste. Nettuno fu ufficialmente individuato nel 1846 da due astronomi dell'Osservatorio di Berlino, Johann Gottfried Galle e Henrich Ludwig d'Arrest, ma, in buona parte, il merito della sua scoperta va ai matematici che autonomamente ne avevano previsto la collocazione con laboriosi calcoli. Urbain J. J. Le Verrier in Francia e John Couch Adams in Inghilterra supposero infatti che le piccole perturbazioni dell'orbita di Urano fossero provocate da un pianeta ancora sconosciuto.

Del pianeta Nettuno non si è saputo quasi nulla fino al 1989, quando è stato raggiunto dalla sonda spaziale Voyager II che ne ha scoperto molti dettagli. Nettuno ha probabilmente un piccolo nucleo roccioso, ma è principalmente formato da uno strato gassoso e sarebbe proprio il metano nella parte superiore della sua atmosfera, interagendo con i raggi solari, a conferirgli quel caratteristico colore blu. Per questa sua particolarità il pianeta ha preso nome dalla divinità romana del mare (Nettuno). Nettuno ruota sul proprio asse in sedici ore e sette minuti. I suoi venti superano i 1.500 km orari e sono i più violenti mai rilevati su un pianeta. Come Giove e Saturno, questo pianeta possiede una sorgente di calore interno che irraggia un'energia doppia rispetto a quella che riceve dal Sole.

Anche Nettuno ha anelli che, come quelli di Urano e di Giove, risultano molto scuri e la cui composizione ci è ancora ignota. Il più esterno è Adams (apparentemente formato da tre archi, chiamati Libertà, Uguaglianza e Fratemità); più internamente c'è un anello attualmente privo di nome che orbita insieme al satellite Galatea, poi c'è Le Verrier, le cui estensioni più esterne sono chiamate Lassell e Arago, e infine l'ampio anello Galle.

Nettuno ha due satelliti principali: Tritone e Nereide. Il Voyager II è riuscito a individuare altri sei satelliti minori: Naiade, Thalassa, Despina, Galatea, Larissa e Proteo. La superficie di Tritone è ghiacciata, paragonabile per dimensioni a quella della Terra, ricca di montagne, spaccature e crateri. La sua temperatura, inferiore ai 2235 °C, è la più bassa mai misurata nel Sistema Solare. Tritone ha anche geyser che proiettano azoto gassoso fino a oltre 8 km dalla sua superficie, composta da azoto e da metano.

Nel 1989 il Voyager II osservò una grande macchia scura su Nettuno simile alla più famosa macchia scura di Giove. Si trattava evidentemente di una tempesta, incredibilmente estesa visto che era paragonabile alla Terra per dimensione. Quando nel 1994 il telescopio spaziale Hubble riuscì a fotografare ancora una volta Nettuno la macchia scura era del tutto scomparsa. Insomma, dopo cinque anni la grande tempesta era finalmente terminata!

## La Terra:





### Il terzo pianeta del Sistema solare in ordine di distanza dal Sole.

La parte compatta, solida, della superficie terrestre, che emerge dalle acque, oppure la parte superficiale, esterna, della crosta terrestre, intesa come suolo, o come strato d'una certa profondità. L'orbita della T. ha un raggio medio di circa 150 milioni di km e si svolge fra quella di Venere, all'interno, e quella di Marte, all'esterno. La T. ha un unico satellite, la Luna. Per dimensioni e per massa, si colloca al quinto posto fra i pianeti, dopo Giove, Saturno, Urano e Nettuno. Il suo diametro equatoriale misura 12.756 km e la sua massa 5,974-10<sup>24</sup> kg. Corrispondentemente, la sua densità media è 5,515 g/cm<sup>3</sup>, la più elevata fra quelle di tutti i pianeti e satelliti del Sistema solare.

L'accelerazione di gravità media alla superficie è 9,8 m/s<sup>2</sup>; la velocità di fuga all'equatore 11,2 km/s. Fornisce la composizione chimica globale del pianeta Terra.

Per quanto riguarda il nucleo, si pensa che esso sia costituito da ferro (~90 % nichel (~6 % e zolfo (~4 %). Per le sue analogie con Mercurio, Venere e Marte, la T. costituisce, insieme a questi corpi, il gruppo dei pianeti interni (o terrestri. Essa, tuttavia, si differenzia da tutti gli altri pianeti per le condizioni ambientali esistenti sulla sua

superficie (per es., la presenza di una grande quantità di acqua allo stato liquido che vi hanno reso possibile lo sviluppo della vita. Varie circostanze favorevoli hanno messo la T. in questa situazione, unica nel Sistema solare: la sua massa notevole, che le ha consentito di trattenere intorno a sé un'atmosfera abbastanza densa; una giusta

distanza dal Sole, per cui l'irradiazione solare non è né troppo intensa, né troppo scarsa; un periodo di rotazione sufficientemente breve, tale da rendere non troppo forti gli sbalzi di temperatura fra il giorno e la notte; un'orbita quasi circolare e una moderata inclinazione dell'asse di rotazione, per cui le variazioni climatiche nel corso dell'anno

non risultano troppo marcate. Nella remota antichità, la T. era pensata come una sorta di disco terracqueo, circondato dall'oceano e ricoperto dalla volta celeste. Per quanto si sa, l'idea che la T. fosse una sfera venne introdotta nel 6° sec. a.C. dai Pitagorici, soprattutto in base alla supposta perfezione geometrica della forma sferica. Nel 4° sec. a.C., Aristotele enunciò, forse riprendendole da altri, le prove della sfericità della T.: la forma circolare dell'ombra che il nostro pianeta proietta sulla Luna durante le eclissi e

la graduale scomparsa di una nave al di sotto dell'orizzonte. La prima stima delle dimensioni della T. venne effettuata da Eratostene, che dedusse valori della circonferenza terrestre abbastanza vicini al vero (da 39.000 a 46.000 km. Nel 16° sec. i viaggi di circumnavigazione intorno al globo fornirono la prova diretta della sfericità della Terra. Nel

1670, J. Picard, con misurazioni effettuate fra Parigi e Amiens, ottenne per la circonferenza terrestre un valore di 40.023 km, un dato di grande importanza storica perché I. Newton lo adottò nei calcoli che lo portarono alla formulazione della legge di gravitazione universale. Intorno alla metà del Settecento, l'Accademia delle Scienze di Parigi

portò a compimento il progetto, assai ambizioso per l'epoca, di misurare la lunghezza di un arco di 1° in tre zone diverse del pianeta (all'equatore, alle medie latitudini e nelle regioni polari): risultò che la T., come era già stato ipotizzato da Newton e C. Huygens, non era perfettamente sferica, ma presentava un lieve schiacciamento ai poli.

Un salto di qualità nelle misure si è avuto nella seconda metà del 20° sec. con il lancio dei satelliti artificiali e l'utilizzazione di tecniche radar e orologi atomici. Le irregolarità della superficie terrestre, vale a dire le altezze dei monti e le profondità degli abissi marini, sono relativamente piccole: in proporzione, inferiori alla rugosità di

una buccia d'arancia. Nella geodesia, comunque, per descrivere la forma del nostro pianeta, non si prendono in considerazione i rilievi topografici. La T. viene rappresentata dal geoide, che è il solido limitato dalla superficie equipotenziale (corrispondente al livello medio dei mari prolungata al di sotto dei continenti) del campo della gravità,

risultante dalla forza gravitazionale e dalla forza centrifuga dovuta alla rotazione terrestre. La superficie del geoide è dunque, in ogni punto, perpendicolare alla verticale (individuata localmente dalla direzione di un filo a piombo. La forza centrifuga è, mediamente, solo lo 0,3% della forza di gravità. Essa però varia dall'equatore (dove è massima) ai poli (dove si annulla) giocando così un ruolo essenziale nel determinare la forma della Terra. Se il nostro pianeta fosse fluido, la sua forma sarebbe quella di un

ellissoide di rivoluzione con l'asse minore diretto lungo l'asse di rotazione. Ciò, in prima approssimazione, si verifica.

Fornisce anche i parametri dell'ellissoide che più si avvicina al geoide. Se la T. fosse un ellissoide di rotazione perfetto, un satellite descriverebbe un'orbita ellittica, soggetta a un moto uniforme di precessione. In realtà si osservano piccole perturbazioni nelle orbite, che indicano uno scostamento del geoide dalla forma dell'ellissoide

ideale. L'interpretazione dei dati, tuttavia, non è semplice perché occorre tener conto di parecchi altri effetti perturbativi, legati alla pressione di radiazione solare, ai campi gravitazionali del Sole e della Luna e all'attrito esercitato dalle tracce dei gas atmosferici presenti alla quota del satellite. Misure più dirette della forma del geoide sono state

ottenute con osservazioni radar dell'altezza dei satelliti sul livello degli oceani. I risultati di queste ricerche sono riportati nella

Gli scostamenti del geoide dall'ellissoide: si vede che le massime deviazioni non superano 50-60 m. Le deformazioni del geoide (o, come anche si dice, le anomalie del campo gravitazionale) possono trarre origine sia da una distribuzione statica, non sfericamente simmetrica, delle densità delle rocce, sia da fenomeni dinamici (correnti convettive nel mantello) anche se il secondo effetto risulta dominante nel produrre le anomalie su grande scala.

Sulla superficie terrestre si adotta un sistema di coordinate sferiche (latitudine e longitudine) costituito con riferimento al piano equatoriale (origine delle latitudini) e al semipiano meridiano passante per Greenwich (origine delle longitudini): si ha così sulla superficie terrestre un sistema di riferimento, che consiste di meridiani (luogo dei punti aventi uguale longitudine) e paralleli (luogo dei punti aventi uguale latitudine. La lunghezza del grado di parallelo, cioè dell'arco di parallelo sotteso da un angolo al centro

avente l'ampiezza di 1°, varia al variare della latitudine; ma, per il fatto che il geoide non è una sfera, varia, con la latitudine, anche il grado di meridiano: il valor medio comunemente assunto per quest'ultimo è 111,13 km. In molte applicazioni, poi, la T. viene assimilata a una sfera, il cui raggio (RT~6370 km) prende il nome di raggio

terrestre medio o, semplicemente, raggio terrestre. I moti della T. sono molteplici. In primo luogo, essa è animata da una rotazione intorno a un asse, detto asse terrestre o asse polare, quasi coincidente con un suo asse principale di inerzia, in 23h 56m 4,09s (giorno sidereo o siderale. Tale rotazione, per un osservatore che si trovi al polo Nord

si svolge in senso antiorario, da O verso E, ed è osservata dalla T. come un'apparente rotazione diurna della sfera celeste in senso opposto, per cui il Sole e gli altri corpi celesti sono visti spostarsi da E verso O. In particolare, da essa dipende l'alternarsi del giorno e della notte. Benché la velocità angolare di rotazione sia la stessa in tutti i

punti della superficie terrestre, la velocità periferica varia con la latitudine, essendo massima (465 m/s) all'equatore e nulla ai poli. La rotazione della T. è perturbata dalle azioni attrattive esercitate dal Sole, dalla Luna e, in misura assai minore, dai pianeti sul rigonfiamento equatoriale. Di conseguenza, l'asse terrestre è soggetto a due moti,

illustrati in un moto di precessione, che si svolge in senso antiorario, con un periodo di ~26.000 anni, intorno all'asse perpendicolare al piano dell'eclittica, e un moto di nutazione consistente in una oscillazione intorno alla posizione media con un periodo di ~18,6 anni. La precessione dell'asse è accompagnata dalla corrispondente

variazione della giacitura del piano equatoriale terrestre, con conseguente spostamento della linea equinoziale in senso orario, opposto al moto orbitale apparente del Sole, che quindi anticipa ogni anno il suo ritorno alla linea degli equinozi: è il fenomeno noto come precessione degli equinozi. L'asse di rotazione terrestre, come accennato, non

coincide esattamente con l'asse d'inerzia polare dell'ellissoide. Esso, di conseguenza, non rimane fisso rispetto alla T., ma oscilla intorno a una posizione media, dando luogo alla migrazione dei poli (→ poloe, quindi, a una variazione periodica delle latitudini sull'intera superficie terrestre. Il fenomeno, previsto da L. Euler nel 1765, fu

scoperto nel 1891 da S.C. Chandler e prende perciò il nome di oscillazione di Chandler, avente un periodo di ~430 giorni (periodo chandleriano. Inoltre, il periodo di rotazione della T. non è perfettamente costante. Esso è soggetto, innanzi tutto, a un aumento secolare di ~0,02 ms all'anno, prodotto dalle maree, dagli oceani, dall'atmosfera e dalla

T. nel suo insieme. Oltre che dalla rotazione, la T. è animata da un moto traslatorio di rivoluzione intorno al Sole, che viene compiuto in un anno sidereo, cioè in 365g 6h 9m 9,54s. L'orbita descritta dalla T. è un'ellisse, con piccola eccentricità (≈0,017) e semiasse maggiore di 149.598.000 km (1 UA che viene percorsa con la velocità media di 29,8

km/s. La massima e la minima distanza della T. dal Sole sono rispettivamente ~152.000.000 km (1,017 UA) e ~147.000.000 km (0,983 UA). L'asse di rotazione terrestre è inclinato di 66° 34' rispetto al piano dell'orbita (eclittica) dove risulta per l'equatore un'inclinazione di 23° 26'. A tale inclinazione è dovuto l'alternarsi delle stagioni e la

variabilità della durata del giorno e della notte nel corso dell'anno. Come il moto di rotazione, anche quello di rivoluzione è affetto da perturbazioni: conseguenza di esse sono le lievi variazioni secolari nell'eccentricità, nell'inclinazione dell'orbita e nello spostamento della linea degli apsi, che avviene in senso contrario al moto

precessionale della linea equinoziale, abbreviando quindi il periodo della precessione degli equinozi da ~26.000 anni a ~21.000 anni. Tali perturbazioni, insieme alla stessa precessione degli equinozi, modificano periodicamente i contrasti stagionali sulla superficie terrestre e possono aver contribuito all'avvicinarsi, attraverso i millenni, dei

periodi glaciali e interglaciali. Infine, la T. partecipa ai moti da cui è animato il Sistema solare nel suo complesso: e cioè alla traslazione, con la velocità di ~20 km/s, verso un punto della sfera celeste, situato in prossimità della costellazione di Ercole, e alla rotazione intorno al centro della Via Lattea (→ sole. La t., intesa come superficie terrestre, è considerata dalla teoria economica classica, insieme al lavoro e al capitale, fattore di produzione. Talvolta nel fattore t. si includono impropriamente anche le

materie prime e le energie naturali: però, mentre la t., come sede della produzione, è un elemento indistruttibile, alcune delle sue risorse sono più o meno limitate. Il valore economico della t. è determinato dalla scarsità dell'offerta di t. (soprattutto di quella fertile) rispetto alla domanda. Il prezzo della t., comprensivo del valore originario e di tutto

il capitale permanentemente investito in essa, dipende dal valore attuale della rendita che frutta. La t. è stata a lungo tra i settori preferiti dal risparmio soprattutto perché, nel periodo storico preindustriale, la proprietà fondiaria era fonte di potere economico e politico oltre che di prestigio sociale. Per tale motivo, le prime teorie economiche e in

particolare la concezione fisiocratica attribuiscono al fattore t. un ruolo di rilievo nella determinazione della ricchezza di uno Stato. L'età di una roccia (cioè l'epoca in cui essa si è formata) si determina con il metodo delle datazioni radiometriche. Fino alla metà del 20° sec., nessuno dei campioni analizzati superava l'età di 2,5-3 miliardi di anni.



Successivamente, in certe regioni rimaste quasi immuni alle sconvolgimenti geologici che, attraverso il tempo, hanno plasmato e riplasmato la superficie terrestre, sono stati rinvenuti grani di minerali che risalgono fino a 4-4,2 miliardi di anni fa. Si pensa, però, che la T. sia ancora più antica, essendosi formata circa 4,6 miliardi di anni fa insieme agli altri corpi che costituiscono il Sistema solare. Come gli altri pianeti, la T. ha tratto origine dalla nebulosa solare (→ solare, Sistemaaattraverso un processo, detto di accrescimento collisionale, che si è svolto in due fasi: dapprima grani di polvere microscopici, urtandosi, si sono aggregati, sotto l'azione di forze di natura elettrostatica, in corpi di dimensioni sub-planetary (i planetesimi); in un secondo momento, i planetesimi, attirandosi per effetto della forza gravitazionale, hanno subito ulteriori collisioni fra loro e si sono uniti fino a formare la T. e gli altri pianeti. Nel corso del tempo sono state proposte diverse suddivisioni dell'interno della Terra. Una prima classificazione prevedeva una litosfera rigida, una pirofera calda e fusa, e una barisfera densa; successivamente, la T. è stata suddivisa, in base alle conoscenze petrografiche, in sial (essenzialmente silicati di alluminio) e nife (lega in Fe-Ni poi in crosta, mantello e nucleo. In seguito alla constatazione dell'affidabilità del modello sulle teorie della deriva dei continenti e della estesa mobilità della crosta, l'interno terrestre è stato poi suddiviso in litosfera, astenosfera, mesosfera, nucleo esterno fluido e nucleo interno solido.

Dal punto di vista petrografico, la crosta oceanica può essere suddivisa in tre strati principali: lo strato più superficiale (strato 1) costituito da sedimenti di mare aperto, con uno spessore variabile; in prossimità delle dorsali è molto sottile o del tutto assente, mentre può raggiungere uno spessore di diversi chilometri in vicinanza delle fosse; è composto in particolare da sedimenti calcarei e silicei, misti a fanghi, a globigerina, a pteropodi, radiolari e diatomee, ed è caratterizzato da una velocità delle onde sismiche longitudinale (onde P) di 2-3 km/s; lo strato intermedio (strato 2) o strato vulcanico costituito da basalti a pillows, da dicchi basaltici e da intrusioni gabbiche, con uno spessore dell'ordine di qualche kilometro; in esso la velocità delle onde P risulta di 5-6 km/s; lo strato più profondo (strato 3) o strato oceanico composto ancora da gabbri e da rocce ultrabasiche probabilmente molto vicine a quelle che costituiscono il mantello superiore, con densità intorno a 3,3-3,5 g/cm<sup>3</sup> e con valori di velocità delle onde P di 6-7 km/s.

La crosta continentale, più spessa (30-70 km) di quella oceanica, risulta petrograficamente più complessa. Essa è divisa in due strati: la crosta continentale superiore, spessa 20-25 km, ha una densità di 2,5-2,7 g/cm<sup>3</sup> ed è costituita da rocce di tipo granitico e da metamorfiti silicatiche, sulle quali poggia una sottile copertura di rocce sedimentarie; quella inferiore ha una densità di circa 2,8 g/cm<sup>3</sup> ed è costituita da rocce di tipo gabbroico. Questo modello di crosta viene attualmente considerato appropriato solo per le aree continentali più antiche (cratoni). La differenziazione tra i due tipi di crosta sarebbe legata alla presenza, intorno a una profondità di circa 20 km, di una variazione nell'andamento della velocità delle onde sismiche che viene fatta coincidere con la discontinuità di Conrad. I dati in possesso, corroborati soprattutto dalla profonda perforazione eseguita nella Penisola di Kola (Russia) indicano tuttavia che la variazione della velocità di propagazione delle onde sismiche riscontrata nella crosta continentale è da attribuirsi alla presenza di un materiale simile al granito sovrastante, che, a causa delle elevate pressioni e temperature, presenta una fase più compatta del granito di superficie e quindi un diverso comportamento nei confronti delle onde sismiche. Come tale, secondo alcuni ricercatori, la discontinuità di Conrad, intesa come diversità di composizione chimica, risulterebbe inesistente.

Il mantello si estende sotto la crosta continentale da una profondità fra i 10 (aree oceaniche) e 40 km (aree continentali) fino a 2885 km e la sua composizione è conosciuta direttamente solo mediante i prodotti vulcanici. La parte superiore è costituita da rocce ultrafemiche, caratterizzate dall'avere nella composizione chimica generale una grande percentuale di ferro e magnesio e minore quantità di SiO<sub>2</sub> rispetto alle rocce cristalline; la sua densità (3,3 g/cm<sup>3</sup>) può far pensare a una composizione peridotitica, costituita cioè da olivina, enstatite e diopside; un mantello di natura eclogitica (roccia in gran prevalenza costituita da granato e clinopirosseno) è riscontrabile nelle aree di zone altamente metamorfosate, come nel nucleo delle catene montuose, sotto forma di lenti o bande, e nei basalti di origine profonda. Il materiale costituente il mantello può quindi essere considerato come la somma di due termini, cioè l'unione di una peridotite e di un basalto olivino. Sulla base di queste considerazioni è stata determinata teoricamente una roccia, detta pirolite, formata da tre parti di roccia ultrafemica e da una parte di basalto. Fino a una profondità di circa 300 km è, quindi, ipotizzabile la presenza della pirolite; al di sotto possono essere presenti gli stessi elementi che, a causa delle elevate pressioni, tenderebbero a comprimersi, a ridursi di volume e ad aumentare di densità. Nell'andamento della densità all'interno della T., dedotto da dati sismologici (

Si possono osservare due salti piuttosto netti. Il primo alla profondità di circa 400 km, relativo probabilmente al cambiamento di fase dell'olivina in spinello con un aumento della densità dell'8%; il secondo alla profondità di circa 700 km, dove si suppone avvenga la dissociazione del pirosseno in ossido di magnesio e ossido di silicio (rispettivamente periclasio e stishovite) con densità rispettivamente di 3,7 e di 4,5 g/cm<sup>3</sup>. Al di sotto di 700 km questi materiali possono assumere fasi ancora più compatte, che provocherebbero un ulteriore aumento di densità. Le informazioni provenienti sia da esperimenti sia da modelli teorici indicano infatti che nel mantello inferiore la pressione è circa 200.000 volte la pressione atmosferica; in queste condizioni sarebbe presente una sola fase mineralogica di alta pressione. Questo minerale sarebbe una forma densa di silicato di ferro e magnesio, con una struttura cristallina simile alla perovskite ed è chiamato perovskite a silicato di magnesio. Nel mantello inferiore dovrebbero inoltre essere presenti minori quantità di magnesio-wüstite, una combinazione di ossido di magnesio e wüstite.

Le informazioni sul nucleo sono ancora scarse: si conoscono la densità, i moduli di comprimibilità e, sempre dalle informazioni ottenute dallo studio delle onde sismiche, si sa che la parte esterna è fluida e la parte interna solida. Questa differenza è strettamente legata alla composizione del nucleo stesso; le conoscenze fisico-chimiche e le teorie sulla formazione del Sistema solare indicano che il ferro deve essere il principale componente del nucleo. La sua presenza rende altresì possibile che esso contenga la sorgente del campo magnetico terrestre, che si originerebbe tramite un moto di convezione del materiale fluido presente nel nucleo esterno (modello della dinamo autoeccitata). Allo stato delle conoscenze si propende pertanto per un nucleo differenziato, con la parte interna composta principalmente da una lega di ferro-nichel e quella esterna composta da un miscuglio a base di ferro, con un correttivo in grado di diminuire la densità costituito da zolfo e silicio. Gli avanzati studi che sono stati condotti grazie alla tomografia sismica e mediante l'analisi delle caratteristiche del fronte d'onda sismico, hanno inoltre rilevato come la zona di passaggio tra nucleo e mantello svolga un ruolo particolarmente importante per la comprensione dell'evoluzione chimica e termica del pianeta. Le variazioni che avvengono nella regione nucleo-mantello (chiamata strato D e spessa tra 200 e 400 km) influenzano infatti i moti di convezione del mantello terrestre (che sono responsabili dei movimenti dei continenti e delle zone litosferiche) producono l'alterazione nell'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre (la cosiddetta nutazione) e hanno ripercussione anche nel campo geomagnetico. Al passaggio dal mantello al nucleo (a 2800 km di profondità ca. e dal nucleo esterno a quello interno (a 5000 km ca.) corrispondono tutte discontinuità della densità. La litosfera, nel modello dinamico, comprende sia la crosta terrestre fino alla moho (la superficie di discontinuità che costituisce il confine tra la crosta e il mantello, individuata da A. Mohorovičić alla profondità di ~7 km nella crosta oceanica e di 40-50 km nella crosta continentale, sia parte del mantello superiore. Essa presenta un comportamento rigido, testimoniato dall'elevata velocità delle onde sismiche e dalla capacità di produrre terremoti, e ha uno spessore variabile, funzione anche dello spessore della crosta sovrastante. Il suo spessore al di sotto delle zone continentali di età recente (più giovani di 200-300 milioni di anni) raggiunge una profondità di circa 100 km, mentre nelle aree continentali più antiche risulta molto più spessa, con zone senza un limite netto, come negli scudi continentali. Al di sotto delle zone oceaniche la litosfera ha uno spessore piuttosto costante di 60-80 km. I valori della temperatura indicano un flusso di calore per la litosfera oceanica con valori differenti, dipendenti dall'età delle formazioni, compresi tra 40 e 320 mWm<sup>-2</sup>. Il flusso termico risulta massimo in corrispondenza delle dorsali oceaniche per diminuire, dapprima bruscamente poi regolarmente, con l'aumentare della distanza dalla dorsale. La composizione litologica della litosfera oceanica è caratterizzata dai tre strati principali della crosta oceanica, mentre la litosfera subcrostale (lid) è probabilmente costituita da rocce ultrabasiche o da eclogiti (velocità delle onde P=8 km/s; densità di 3,2-3,4 g/cm<sup>3</sup>). Il lid continentale, come la crosta, risulta più complesso di quello oceanico. Il flusso geotermico del lid deriva, essenzialmente, dal decadimento di elementi radioattivi. Per la composizione del lid si parla nuovamente di una transizione da basalto in eclogite o in una composizione ultrabasica con all'interno formazioni eclogitiche.

L'astenosfera presenta un comportamento meno rigido della litosfera, da considerare cioè plastico, sottolineato da una brusca diminuzione della velocità delle onde sismiche a una profondità compresa tra 80 e 200 km. Riguardo alla sua composizione chimica, e più in generale a quella di tutto il mantello, si può proporre nuovamente la pirolite. Un problema che rimane del tutto aperto è la natura fisica dell'astenosfera. L'ipotesi più probabile è che la peridotite di cui è costituita contenga piccole quantità di acqua e anidride carbonica (la cui presenza è stata dimostrata dall'esistenza di minerali idratici) sono sufficienti a produrre un abbassamento della curva del solidus (cioè della curva di solidificazione della peridotite) verso temperature minori e perciò a creare zone del mantello parzialmente fuse, e quindi plastiche. Circa il 71% della superficie terrestre, pari a 361 milioni di km<sup>2</sup>, è occupata da acque; le terre emerse (il restante 29% ca., pari a 149 milioni di km<sup>2</sup>) si raggruppano principalmente nell'emisfero boreale, sebbene (

La calotta antartica sia occupata da una vasta estensione di terre. L'esame della curva ipsografica (Evidenza che l'8,4% delle terre emerse ha altitudini superiori ai 1000 m e che il 28,8% ha altitudini comprese tra i 1000 m e il livello del mare. I rapporti esistenti tra movimenti tettonici ed erosione, oltre a rendere conto dei caratteri topografici locali e regionali, sono fondamentali per capire la distribuzione, su scala mondiale, delle altitudini. Infatti, se da una parte le forze tettoniche spingono per originare rilievi, dall'altro sono esse stesse a mettere in moto i processi erosivi, i quali tendono a portare la superficie dei continenti quasi a livello del mare. Sempre dalla curva ipsografica si può dedurre come l'attività tettonica recente, che ha dato luogo alle attuali catene montuose e alle fosse oceaniche, sia ristretta a fasce poco estese che occupano aree piuttosto limitate della superficie terrestre; queste fasce coincidono con i margini delle zolle litosferiche, dove sia i fenomeni di erosione sia quelli di sedimentazione sono piuttosto intensi, tanto che i margini di zolla più antichi sono stati ampiamente



obliterati da questi processi, anche se in alcuni casi essi sono ancora individuabili.

Le superfici emerse di maggior estensione, dette continenti, si raggruppano in tre principali masse: una è formata dall'Europa e dall'Asia saldate insieme (Eurasia) dall'Africa e dall'Australia, legata all'Asia da vastissimi arcipelaghi di isole grandi e piccole; la seconda è formata dalle due Americhe; la terza dal Continente Antartico o Antartide, che mostra tuttavia un collegamento con l'America Meridionale. Usualmente però si distinguono il Continente Antico (l'insieme dell'Europa, dell'Asia e dell'Africa: 84 milioni di km<sup>2</sup>) il Continente Nuovo (l'insieme delle due Americhe: 42 milioni di km<sup>2</sup>) il Continente Nuovissimo (l'Australia con le isole vicine: 9 milioni di km<sup>2</sup>) l'Antartide (13,6 milioni di km<sup>2</sup>). Gli oceani, cioè le più estese superfici acquose, sono tre: Oceano Pacifico (o Grande Oceano) tra l'Asia, l'Australia e le Americhe; l'Oceano Atlantico, tra le Americhe, l'Europa e l'Africa; l'Oceano Indiano, tra l'Asia, l'Africa e l'Australia. Nell'emisfero australe questi oceani si fondono in una massa unica, che fa da corona all'Antartide e viene da taluni chiamata Oceano Australe. Le minori distese di acqua si chiamano mari; tra questi hanno particolare importanza i mediterranei, circondati da terre emerse. Risulta ormai sempre più evidente che la disposizione delle terre emerse e dei mari non è stata sempre la stessa; dall'esame della corrispondenza dei contorni delle coste delle Americhe con quelle dell'Eurasia e dell'Africa, nonché dalla somiglianza delle strutture geologiche, della flora e della fauna, già A. Wegener nel 1910 aveva formulato la teoria della deriva dei continenti, secondo la quale gli attuali continenti si sarebbero staccati, verso la fine dell'era paleozoica, da un unico grande continente (Pangea) contornato da un unico grande mare (Pantalassa) a portarsi, migrando sopra gli oceani, nelle attuali posizioni.

Tale teoria fu a lungo considerata una mera ipotesi, finché nei primi anni 1960 i dati paleomagnetici, permettendo di ricostruire il moto relativo dei continenti nel corso dei tempi geologici, le conferirono piena dignità di teoria scientifica. Attualmente si ritiene accertato che la distribuzione delle terre e dei mari sia cambiata e cambi in continuazione, con periodi dell'ordine di centinaia di milioni di anni, a seguito di moti convettivi circolatori che avvengono nel mantello e che sono responsabili dei movimenti dei continenti e delle zolle litosferiche (→ tettonica).

## La Luna:



Unico satellite naturale della Terra, di cui costituisce anche l'oggetto celeste più vicino, è un corpo opaco che risplende per luce riflessa del Sole.

La L. è, dopo il Sole, l'oggetto più luminoso del cielo: la sua magnitudine (alla L. piena) è -12,7. Per dimensioni, essa si colloca al quinto posto fra i satelliti del Sistema solare: sono più grandi della L. soltanto 3 satelliti di Giove (Ganimede, Callisto e Io) e un satellite di Saturno (Titano). Il suo diametro medio misura 3476 km, cioè ~27/100 di quello terrestre; la sua forma è quasi esattamente sferica (il diametro polare è inferiore a quello equatoriale medio di soli 2 km). La massa della L. (7,35·10<sup>22</sup> kg) è 81,3 volte più piccola di quella della Terra; la densità media (3,33 g/cm<sup>3</sup>) circa il 60% di quella terrestre (5,52 g/cm<sup>3</sup>). L'accelerazione di gravità alla superficie è 1,63 m/s<sup>2</sup>, cioè ~1/6 di quella terrestre. La velocità di fuga è 2,38 km/s. La riflettività media della superficie ~12%. Il moto della L. rispetto al Sole risulta dalla composizione di due principali moti diversi, uno di rivoluzione intorno alla Terra e uno, insieme alla Terra, di rivoluzione intorno al Sole; la L. è poi animata, come la Terra, di un moto di rotazione. Il moto proprio della L. sulla volta celeste è in senso diretto, cioè da O verso E, con una velocità di circa 13°11' al giorno; la L. compie il giro completo della volta celeste in riferimento alle stelle fisse in 27d7h43m11,5s (rivoluzione siderale o mese siderale). Il periodo di rotazione della L. intorno al suo asse uguaglia esattamente quello della rivoluzione intorno alla Terra. Questa configurazione dinamica, chiamata rotazione sincrona, è stata prodotta dalle forze mareali esercitate dalla Terra: pertanto la L. rivolge sempre lo stesso emisfero verso la Terra. Tuttavia, a causa dei moti di librazione della L. in longitudine e in latitudine, i contorni dell'emisfero visibile cambiano leggermente nel tempo, sicché, nel complesso, dalla Terra si riesce a osservare quasi il 60% della superficie lunare. Durante la rivoluzione della L. intorno alla Terra, il Sole si muove lungo l'eclittica, per cui il tempo impiegato dalla L. per ritornare nella medesima posizione rispetto alla Terra e al Sole è maggiore del mese siderale, e precisamente uguale a 29d12h44m2,8s (rivoluzione sinodica o mese sinodico, o lunazione). Nel corso del mese sinodico varia la posizione reciproca della L. rispetto al Sole e alla Terra (fig. 1), sicché l'emisfero visibile della L. passa con continuità dalla fase di completo oscuramento (L. nuova o novilunio: la L. è in congiunzione col Sole, nasce e tramonta con esso) alla fase di completa illuminazione (L. piena o plenilunio: la L. è in opposizione col Sole, nasce al tramonto, tramonta all'alba), attraverso fasi intermedie (primo quarto, quando è illuminata solo la metà occidentale del disco e ultimo quarto quando è illuminata solo la metà orientale); le quattro fasi lunari sono spaziate regolarmente tra loro di circa una settimana. Va notato che al novilunio il disco lunare appare debolmente luminoso per la luce su di esso rinviata dalla Terra (luce cinerea); 12 lunazioni formano un anno lunare, corrispondente 354 giorni, 8 ore, 48 minuti e 36 secondi. La rivoluzione sinodica ha una grande importanza pratica, poiché dipendono da essa le fasi lunari e quindi le feste mobili del calendario.

Il punto dell'orbita lunare più vicino alla Terra è detto perigeo, il più lontano apogeo. A causa delle perturbazioni gravitazionali dovute al Sole e ai pianeti, le distanze della L. al perigeo e all'apogeo non rimangono costanti nel tempo: i loro valori estremi, nel corso dell'ultimo millennio, sono stati rispettivamente 356.371 km e 406.720 km. La distanza media Terra-L. è ~384.400 km. Il diametro angolare (apparente) della L. varia fra ~33'30" al perigeo e ~29'30" all'apogeo. La retta che congiunge il perigeo e l'apogeo (detta linea degli apsidi) subisce, a motivo delle perturbazioni, un moto nel senso diretto con periodo di circa 9 anni. La L. è stata osservata con grande interesse fin dalla più remota antichità. I Greci furono fra i primi a indagare sulla natura di questo corpo celeste. Già i filosofi della Scuola eleatica (5° sec. a.C.) e forse, ancor prima di loro, Anassimene da Mileto (6° sec. a.C.) si erano resi conto che la L. non brilla di luce propria, ma si limita a riflettere quella del Sole. Uno dei risultati più brillanti dell'astronomia greca fu ottenuto da Ipparco (2° sec. a.C.); questi, con un metodo proposto in precedenza da Aristarco di Samo, riuscì a misurare la distanza Terra-L., ottenendo un valore (386.000 km) che differisce di appena 1400 km da quello oggi accettato. Tra i romani va ricordato Plutarco (2° sec. d.C.) che, osservando le macchie che appaiono sul disco lunare, capì che la L. rivolge verso la Terra sempre lo stesso emisfero e che la sua superficie non è 'liscia', ma tormentata da valli e montagne. Furono le osservazioni al telescopio, iniziate da Galileo nel 1609, a rivelare in modo inequivocabile le caratteristiche del suolo lunare. Galileo stesso vi individuò catene montuose, vallate, crateri e vaste regioni oscure, che chiamò mari (lat. maria), per la loro apparente rassomiglianza agli oceani terrestri. Nei secoli successivi, gli astronomi, servendosi di telescopi sempre più potenti, giunsero a produrre carte notevolmente dettagliate della topografia lunare. Venne anche introdotta, a cominciare da G.B. Riccioli (1651), la nomenclatura, usata ancora oggi, per indicare le varie strutture lunari: i nomi latini dei mari (per es., Mare Imbrium, Oceanus Procellarum, Mare Serenitatis, Mare Tranquillitatis) e dei crateri (questi ultimi scelti, in generale, fra nomi di scienziati famosi: Aristarco, Copernico, Ipparco, Keplero ecc.). Le osservazioni telescopiche si rivelarono però inadeguate per stabilire la reale natura e l'origine di molte strutture osservate, come i mari e i crateri. Progressi sostanziali in questa direzione si ebbero soltanto con l'avvento dei veicoli spaziali.

L'esplorazione diretta della L. fu iniziata dall'Unione Sovietica. Le prime sonde a visitare la L. furono Lunik I (il primo oggetto fabbricato dall'uomo a sfuggire all'attrazione terrestre), Lunik II e Lunik III. Ai successi sovietici fece, inizialmente, riscontro una serie di fallimenti delle missioni spaziali statunitensi: solo fra il 1964 e il 1965 la L. venne raggiunta dalle sonde Ranger VII, Ranger VIII e Ranger IX che, prima di schiantarsi al suolo, trasmisero fotografie della superficie lunare da distanza ravvicinata, esami poi approfonditi nel 1966-67 dalle sonde Lunar Orbiter. Intanto gli USA fin dal 1961 si erano impegnati nel progetto Apollo, che avrebbe dovuto portare, entro la fine degli anni 1960, un uomo sulla Luna. Ci limitiamo qui a ricordarne le tappe essenziali (→ Apollo, Programma). Dopo alcuni voli di prova senza uomini a bordo e un volo circumterrestre con 3 astronauti (Apollo 7, ottobre 1968), nel dicembre del 1968 fu lanciato Apollo 8, che portò per la prima volta 3 astronauti in orbita intorno alla Luna. Seguirono altri 2 lanci di prova e il 20 luglio 1969 il modulo lunare dell'Apollo 11 si posò sul Mare Tranquillitatis; da esso scesero 2 astronauti (N. Armstrong e poi E. Aldrin) che, nel corso della loro 'passeggiata' lunare, durata circa 2 ore e mezzo, scattarono fotografie, raccolsero campioni di rocce e misero in opera esperimenti scientifici, destinati a funzionare anche dopo la loro partenza. Le missioni successive portarono astronauti in zone diverse della L. e permisero esperimenti sempre più complessi. Con rientro dell'equipaggio di Apollo 17 (19 dicembre 1972), si conclude il programma esplorativo delle missioni Apollo. Nel 1994 la sonda americana Clementine ha ottenuto la mappa topografica di quasi tutta la superficie lunare.

Una nuova fase di esplorazione lunare è iniziata nei primi anni del 21° sec., con l'invio di missioni, oltre che dagli Stati Uniti, dalla Cina, dal Giappone e dall'India. Nel 2003 è stata lanciata la sonda spaziale europea SMART, che ha concluso la sua attività nel settembre 2006: è stata ottenuta una mappa della superficie lunare nella banda dei raggi X e dell'infrarosso, ed è stata analizzata la composizione chimica della superficie del satellite tramite spettroscopia a raggi X. Nel 2009 gli strumenti montati a bordo di tre sonde (l'indiana Chandrayaan-1 e quelle della NASA Cassini ed Epoxi) hanno rivelato sulla superficie del satellite, in particolare nelle zone vicine ai poli, molecole d'acqua allo stato solido e di idrossile. Mari e altopiani. - La superficie della L. (

Consiste essenzialmente di due tipi di terreno: uno, relativamente chiaro, che riflette il 15-18% della luce solare; l'altro, più scuro, che ha una riflettività del 7-8%. Le zone



chiare, che coprono circa il 70% dell'emisfero visibile da Terra, sono in generale più elevate e vengono perciò chiamate altopiani. Le zone oscure, più levigate, sono dette mari. Esse si trovano quasi esclusivamente nell'emisfero rivolto verso la Terra, sicché, nel complesso, costituiscono poco più del 15% della superficie lunare. La diversa riflettività degli altopiani e dei mari dipende dalla loro differente composizione chimica. Le rocce tipiche degli altopiani sono le anortositi, costituite principalmente da ossidi di silicio, alluminio, calcio e magnesio. I mari sono costituiti da basalti, simili ai loro analoghi terrestri (salvo il fatto di essere più poveri di elementi volatili e più ricchi di ferro, titanio e magnesio).

La superficie lunare è costellata da crateri di ogni dimensione. In passato sulla loro origine sono state formulate due ipotesi: l'ipotesi vulcanica, secondo cui i crateri si sarebbero formati (come le caldere terrestri) in seguito allo sprofondamento di vulcani spenti; e l'ipotesi degli impatti, secondo cui essi sarebbero stati scavati da meteoriti. Le missioni spaziali hanno dimostrato che i crateri da impatto costituiscono l'enorme maggioranza dei crateri lunari; ciò è indicato dalle caratteristiche morfologiche di molti di essi: per es., dalla loro struttura a 'raggi' (prodotta dai detriti scagliati intorno nell'impatto) e dalla presenza, intorno ai crateri maggiori, di crateri secondari più piccoli, scavati dai materiali espulsi nell'urto principale. I crateri aventi diametri maggiori di 300 km vengono più propriamente chiamati bacini: ne sono stati identificati una trentina, anche se molti di essi sono strutture assai antiche, quasi completamente cancellate dagli impatti successivi. Nelle regioni polari sono stati individuati alcuni crateri, il cui fondo, per la posizione geografica e la profondità, non è mai illuminato dal Sole. Alcuni studiosi ritengono che qui, nel suolo, possano trovarsi quantità considerevoli di acqua ghiacciata (che altrove, come è noto, è del tutto assente). Si tratterebbe di acqua depositata, attraverso centinaia di milioni di anni, dagli impatti delle comete (corpi ricchi di acqua e altre sostanze volatili), che non sarebbe sublimata, disperdendosi nello spazio, a causa delle bassissime temperature ivi esistenti.

Il suolo lunare. - L'intera superficie della L. è ricoperta da uno spesso strato di pietre e polvere, chiamato regolite. La regolite è derivata dalla frammentazione delle rocce originarie a opera delle meteoriti. Pur essendo incoerente, questo materiale è abbastanza resistente (gli scarponi degli astronauti vi affondavano solo per qualche centimetro). Lo spessore del manto di regolite varia da una regione all'altra: nei mari esso è di 5-10 m, mentre negli altopiani può raggiungere i 100 m. Il rimescolamento del suolo lunare è un processo lentissimo: data l'assenza di agenti atmosferici esso è prodotto soltanto dalla caduta delle meteoriti; in media, l'accumulo di 2 m di regolite, data l'attuale intensità della 'pioggia' meteoritica, richiede circa un miliardo di anni. La componente più fine della regolite è una polvere consistente essenzialmente di minuscoli granelli di vetro. Il vetro, come è noto, si forma da un silicato fuso, che si raffredda abbastanza rapidamente da non riuscire a cristallizzare. Nel caso della L., sono i continui impatti delle micrometeoriti a provocare la fusione di frammenti di roccia, che poi subito solidificano trasformandosi in vetro (sulla Terra questo fenomeno non si verifica per

l'azione protettiva dell'atmosfera nella quale si dissolvono tutte le meteoriti più piccole). La L. è praticamente sprovvista di atmosfera. D'altra parte, ha un campo gravitazionale troppo debole per aver trattenuto intorno a sé, durante la sua lunga vita, quantità apprezzabili di gas. Nonostante queste considerazioni, si riteneva (e le missioni Apollo hanno confermato) che intorno alla L. vi fossero delle tenui tracce di atmosfera. La densità dei gas atmosferici (essenzialmente l'argo, il cripto e lo xeno) è soggetta a una forte escursione giornaliera (da ~500.000 atomi/cm<sup>3</sup> durante la notte a ~10.000.000 di atomi/cm<sup>3</sup> durante il giorno). Si tratta, comunque, di valori piccolissimi: la pressione al suolo è, infatti, dell'ordine di appena 10-14-10-13 bar. La debole intensità del campo gravitazionale della L. spiega anche perché questa sia priva di acqua: tutte le rocce lunari sono completamente disidratate, né, intorno alla L., vi è traccia di vapore acqueo. Sulla superficie lunare vi è una fortissima escursione termica giornaliera. Ciò dipende da due fattori: la mancanza di atmosfera e la lunghezza del giorno e della notte (che durano circa due settimane ciascuno). Nella fascia equatoriale, esplorata nelle missioni Apollo, la temperatura, durante il giorno, sale fino a ~110 °C mentre, durante la notte, scende a ~-170 °C. Intorno ai poli, dove i raggi del Sole giungono sempre molto bassi sull'orizzonte, la temperatura è relativamente mite e costante. L'esplorazione diretta ha confermato che sulla L. non vi sono organismi viventi, nemmeno fossili. Non è stata trovata traccia neanche di molecole organiche complesse, che possano essere considerate precursori della vita. La mancanza di atmosfera e di acqua, insieme alle fortissime variazioni di temperatura, rendono l'ambiente lunare del tutto inospitale per qualsiasi forma di vita. La struttura interna della L.

In essa si distinguono i tre strati principali: la crosta, il mantello e l'astenosfera. La crosta è più sottile dalla parte della Terra, dove in media è spessa ~60 km, che non sul lato opposto, dove è spessa ~100 km; in essa sono inglobati i mari, aventi uno spessore di 5-20 km. Il mantello, di uno spessore medio di poco inferiore a circa 1000 km, è costituito da materiali (peridotiti) di maggiore densità (3,3 g/cm<sup>3</sup>). Sotto il mantello è l'astenosfera, che probabilmente ha una composizione chimica simile a quella del mantello, ma dove le rocce si trovano in uno stato semifuso (ciò è dimostrato dal fatto che le onde sismiche trasversali subiscono forti attenuazioni quando attraversano questo strato). Le incertezze maggiori riguardano la regione più interna della Luna. Non è chiaro, infatti, se questa possieda, come la Terra, un nucleo di ferro e nichel; se esiste, esso è certamente molto piccolo, dato il basso valore della densità media. La L. è stata sede, nel passato, di una intensa attività vulcanica. I mari, infatti, altro non sono che immense colate laviche, che hanno riempito i grandi bacini, scavati in precedenza dall'impatto delle meteoriti. L'attività vulcanica più intensa ebbe luogo fra 3,9 e 3,2 miliardi di anni fa, come testimoniato dall'età delle rocce basaltiche che costituiscono i mari. All'azione della lava viene anche attribuita la formazione delle valli sinuose dette rill. Probabilmente si tratta di canali di lava sotterranei che, svuotatisi, sarebbero crollati dando origine alle valli. Riguardo all'origine del vulcanismo lunare, si pensa che il magma eruttato provenisse da zone situate a profondità di 100-400 km. La L. costituisce un caso anomalo nel Sistema solare. La Terra, infatti, è l'unico pianeta interno a possedere un satellite così grande: Mercurio e Venere non ne hanno, mentre Marte ne ha due, ma piccolissimi. Solo corpi giganteschi come Giove, Saturno o Nettuno, hanno satelliti grandi quanto la Luna. Già da lungo tempo sono state proposte tre diverse teorie per spiegare l'origine del nostro satellite: a) l'ipotesi della fissione, secondo la quale in origine si sarebbe formato un unico pianeta, la Terra; la L. si sarebbe poi distaccata dalla Terra, mentre questa ruotava più velocemente di oggi ed era ancora in uno stato semifluido; b) l'ipotesi del pianeta doppio, secondo la quale la Terra e la L. si sarebbero formate in modo autonomo e simultaneamente, nel luogo ove oggi si trovano, per 'accrezione' (cioè aggregazione) del materiale della nebulosa primordiale; c) l'ipotesi della cattura, secondo la quale la L. si sarebbe formata in qualche altra regione del Sistema solare (o addirittura al di fuori di esso) e sarebbe poi passata nelle vicinanze della Terra, facendosi catturare dal campo gravitazionale di questa. Ciascuna di queste teorie si imbatte in serie difficoltà. Per esempio, l'ipotesi della fissione, proposta da G. Darwin nel 1898, sembrò inizialmente essere avvalorata da due fatti: la quasi coincidenza fra la densità della L. e quella degli strati esterni della Terra e il lento moto di allontanamento della L. dalla Terra (moto causato dalle forze mareali che agiscono fra i due corpi). Tuttavia, ricerche più recenti hanno messo in evidenza che la L. ha una composizione chimica significativamente diversa da quella del mantello terrestre (per es., è più ricca di titanio). Un'ipotesi che ha guadagnato parecchi consensi è una variante della teoria della fissione proposta da A.E. Ringwood nel 1986. Ringwood suggerisce che la Terra, ai primordi della sua storia, sia stata investita da una gigantesca meteorite. Parte dei materiali espulsi nell'impatto (specie quelli più volatili) sarebbero andati dispersi nello spazio; altri invece, rimasti in orbita intorno alla Terra, si sarebbero successivamente aggregati, formando la Luna. La L. provoca sulla Terra le maree marine, atmosferiche e della crosta solida (→ marea). L'interazione mareale ha avuto l'effetto di rallentare, attraverso il tempo, sia la rotazione della

Terra sia quella della L.: il giorno terrestre si allunga di ~2 millesimi di secondo ogni secolo; quello lunare si è allungato assai di più fino a portare il nostro satellite nell'attuale stato di rotazione sincrona, in cui il suo periodo di rotazione uguaglia quello di rivoluzione intorno alla Terra. Un'ulteriore conseguenza dinamica di questo fenomeno è che, dovendosi conservare il momento angolare complessivo del sistema Terra-L., questi due corpi si allontanano lentamente l'uno dall'altro (alla velocità di ~2 cm all'anno). La periodica crescita, diminuzione, scomparsa e ricomparsa della L. è alla base di importanti miti e culti presso i più diversi popoli. La riapparizione della L. è considerata come promessa di immortalità o risurrezione anche presso popoli primitivi di cacciatori (per es., boscimani del Sudafrica) e d'altra parte presto si forma l'antitesi tra la L. immortale e l'uomo mortale: perciò spesso i miti dell'origine della morte hanno per protagonista la Luna. Alle stesse radici risalgono le credenze, in certe religioni, secondo cui le anime dei morti dimorano nella Luna. A queste e simili idee è dovuta presso numerosi popoli primitivi la regolare celebrazione del novilunio e del plenilunio, per mezzo della quale la L. diventa un elemento fondamentale del computo del tempo (→ calendario).



**I computer a 32-bit sono supportati**