

# L'universo lontano

## Le costellazioni e la Sfera celeste

I grandi popoli dell'Asia minore hanno radunato le stelle visibili ad occhio nudo in **costellazioni**, alle quali hanno dato nomi che talvolta derivano dall'immagine suggerita alla fantasia dalla disposizione delle stelle. In realtà le figure attribuite alle costellazioni non hanno alcun significato reale, in quanto i singoli gruppi riuniscono stelle lontanissime tra loro e con movimenti indipendenti, che per un effetto prospettico appaiono associate sullo sfondo della volta celeste.

La sfera celeste è suddivisa in un mosaico di *88 aree poligonali ognuna delle quali contiene una costellazione*. L'esatta posizione degli astri è indicata in atlanti per mezzo di coordinate celesti.

Rimane comunque uso comune degli astronomi indicare un astro col nome della costellazione a cui appartiene in latino (al genitivo), preceduto da una lettera dell'alfabeto greco, usando  $\alpha$  per la più brillante,  $\beta$ ,  $\gamma$  ecc. Le stelle più brillanti hanno conservato il nome tradizionale che gli era stato dato dagli antichi.

Guardando il firmamento si ha l'impressione che la Terra stia al centro di un'enorme sfera sulla quale vediamo proiettati tutti gli astri. Questa **Sfera celeste** sembra ruotare intorno a noi da Est verso Ovest; in realtà è il nostro pianeta che ruota in senso contrario, girando su se stesso attorno a un ideale *asse terrestre* che passa per i poli, il cui prolungamento nello spazio, dal lato del Polo nord, sfiora la *Stella Polare*.

Nonostante si sappia bene che la Sfera celeste è soltanto un'astrazione, in Astronomia si usa prenderla in considerazione per determinare la posizione di un astro rispetto alla Terra.

L'asse terrestre, prolungato nello spazio (*asse del mondo*), incontra la Sfera nei due poli celesti Nord e Sud. Lo *Zenit* è il punto in cui la verticale innalzata sopra la testa di un osservatore qualunque incontra la volta celeste, mentre il punto opposto si chiama *Nadir*.

Se l'osservatore immagina di tracciare un piano perpendicolare alla sua verticale, la Sfera celeste verrà tagliata in due emisferi dall'*orizzonte celeste*.

Polo sud e Polo nord celesti, Zenit e Nadir si trovano su una stessa circonferenza massima che viene chiamata *meridiano celeste* del luogo di osservazione. Nel caso in cui un osservatore sia al polo, la verticale coincide con l'asse terrestre e quindi lo Zenit corrisponde con un polo celeste; a sua volta l'orizzonte celeste coinciderà con l'*Equatore celeste*.

Quando l'Equatore celeste e l'orizzonte celeste non coincidono, la loro intersezione individua due punti, *Est* e *Ovest*, che segnano rispettivamente la posizione da cui sembra sorgere e tramontare un astro che percorra l'Equatore celeste. L'orizzonte è tagliato in altri due punti dal meridiano del luogo: *Nord* e *Sud*. Questi quattro punti sono i **punti cardinali**.

Si può indicare la posizione di un astro per mezzo di due sistemi di riferimento: il sistema *altazimutale* e il sistema equatoriale. Il sistema altazimutale fa uso di due misure, l'*altezza* e l'*azimut*, dove la prima è l'arco dell'angolo sotteso tra l'orizzonte dell'osservatore e l'astro stesso, mentre il secondo è l'arco di angolo sotteso tra il meridiano passante per l'astro e la direzione Sud. Il sistema *equatoriale* invece usa come misure l'*ascensione retta* e la *declinazione*, dove la prima è l'arco di angolo sotteso tra il meridiano che passa per l'astro e il meridiano celeste principale (che passa per il punto  $\gamma$ , o punto d'Ariete), mentre la seconda è l'arco di angolo sotteso tra l'astro e l'equatore celeste.

## Misurare le distanze astronomiche

Le più usate **unità di misura delle distanze** sono:

*Unità astronomica* (U.A.): corrisponde alla distanza media tra Terra e Sole. 149,6 milioni di Km

*Anno-luce* (a.l.): è la distanza percorsa in un anno dalla radiazione luminosa (300 000 km/s) 9461 miliardi di Km

*Parsec* (pc): è la distanza di un punto dal quale un osservatore vedrebbe il semiasse maggiore dell'orbita terrestre, perpendicolarmente, sotto l'angolo di 1" e corrisponde a 3,26 anni-luce. Sono usati anche il kiloparsec e il megaparsec (Mpc = 1 000 000 pc).

La determinazione *dell'angolo di parallasse* è alla base del metodo normalmente utilizzato per calcolare la **distanza** delle stelle. Il termine *parallasse* indica lo spostamento apparente di un oggetto quando lo si osserva cambiando posizione. Nel caso di corpi lontani come le stelle, occorre scegliere, come punti di osservazione, due luoghi più distanti possibile (due punti diametralmente opposti dell'orbita terrestre), altrimenti l'angolo P è troppo piccolo e risulta impossibile misurare la distanza della stella prescelta. Con questo metodo si misurano solo le distanze delle stelle non molto lontane dalla Terra, altrimenti l'angolo non è apprezzabile.

## La magnitudine

Le stelle che si vedono a occhio nudo appaiono come punti luminosi di diverso splendore, ed è per questo che si decise di dividerle in gruppi di diverso splendore. Tolomeo introdusse sei ordini di grandezze: nel 1° ordine vi erano le stelle più splendide e nel 6° quelle appena visibili ad occhio nudo. Oggi il termine grandezza è stato sostituito da **magnitudine** e la luminosità di una stella viene misurata con appositi *fotometri elettrici*, apparati a cellula fotoelettrica che vengono puntati da un telescopio verso una stella e trasformano l'energia luminosa ricevuta in energia elettrica, che viene poi amplificata e misurata.

In questo caso ci riferisce alla *magnitudine apparente*, che descrive la luminosità di una stella così come ci appare dalla Terra. Per mettere in evidenza le reali differenze di luminosità bisogna misurare la loro *magnitudine assoluta*. Una volta misurata la magnitudine apparente di una stella, si calcola perciò quale magnitudine avrebbe la stessa stella se si trovasse ad una distanza di 10 pc dalla Terra.

Non tutte le stelle hanno una magnitudine costante: ve ne sono diverse la cui luminosità diminuisce e aumenta a intervalli regolari; sono le **variabili pulsanti** o variabili **intrinseche**, che a cicli regolari emettono maggiore o minore energia.

## Stelle doppie e sistemi di stelle

L'astronomo inglese Goodricke scoprì che la stella *Algol* splendeva di meno ogni 2 giorni e 21 ore, e ne dedusse che in realtà è un sistema di due stelle che ruotano entrambe attorno a un baricentro comune, in un piano tale che, viste dalla Terra, si eclissano a vicenda a intervalli regolari.

Oggi conosciamo decine di migliaia di **stelle doppie**: in alcuni casi è possibile distinguere al telescopio i due componenti del sistema (*binarie visibili*), altre volte una stella in apparenza singola si riconosce come doppia per le variazioni di luminosità (*variabili a eclissi*); esistono anche dei **sistemi multipli**, con tre o più stelle associate.

Dall'analisi delle loro orbite è possibile risalire alla loro massa, mentre dall'analisi dei periodi di occultamento è possibile ricavarne il diametro.

## Colori, temperature e spettri stellari: di cosa sono fatte le stelle

Lo studio dei corpi celesti avviene in buona parte attraverso **esami spettroscopici**, ottenuti con la scomposizione della luce emessa dai corpi che si rifrange attraverso un prisma di vetro e dà una striscia con tutti i colori, dal rosso al violetto.

Le basi dell'analisi spettrale possono essere riassunte in tre punti:

1. Un corpo incandescente, solido o liquido oppure gas ad alta pressione, presenta uno *spettro continuo* (arcobaleno di colori completo).
2. Un gas incandescente a bassa pressione presenta uno *spettro discontinuo* formato da una serie di *righe di emissione*, corrispondenti a varie lunghezze d'onda.
3. Se la luce proveniente da un corpo che emette uno spettro continuo passa attraverso un gas a bassa pressione, questo "sottrae" alcune lunghezze d'onda. Si produce così uno spettro continuo interrotto da righe oscure, le *righe di assorbimento*, che corrispondono alle lunghezze d'onda delle righe luminose che quello stesso gas emetterebbe in stato di eccitazione.

Esaminando gli spettri emessi dai corpi celesti, possiamo determinare la loro composizione, anche se questi risultano influenzati in parte dalla temperatura.

## Stelle in fuga e stelle in avvicinamento

La *velocità* di una stella che si sposta può essere calcolata se la direzione del movimento è perpendicolare alla linea che unisce l'occhio dell'osservatore alla stella stessa. Ma alcuni corpi si allontanano o si avvicinano a noi: in questo caso si ricorre alla spettroscopia. Gli spettri di molti corpi celesti appaiono infatti spostati verso il rosso o verso il blu a causa dell'*effetto Doppler*. Se il corpo celeste si avvicina, le righe del suo spettro si spostano verso il violetto. Più le righe sono deviate, maggiore è la velocità di spostamento del corpo.

## Tra stella e stella: materia interstellare e nebulose

Negli immensi spazi tra le stelle sono diffusi polveri finissime e gas. Questa *materia interstellare* risulta spesso concentrata in ammassi di materia che hanno un aspetto simile alla nebbia e vengono quindi chiamati **nebulose**. Le nebulose possono essere:

- *Oscure*, se prive di luce
- *A riflessione*, se debolmente illuminate dalla luce di stelle vicine e molto luminose

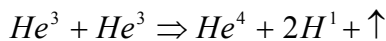
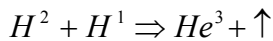
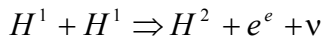
– *Ad emissione*, se brillano di luce propria

Nelle nebulose sono presenti molecole di acqua, ammoniaca, ossido di carbonio, anidride solforosa, alcool metilico, acido formico.

## L'EVOLUZIONE DEI CORPI CELESTI

### La fornace nucleare del Sole

L'enorme massa di gas ad alta temperatura che forma il Sole è in **equilibrio meccanico**, equilibrio dato dalla compensazione tra la forza di gravità e la pressione dei gas che tende a far dilatare i gas nello spazio e che aumenta con la temperatura. L'equilibrio del Sole è dato da un continuo aumento della temperatura dei gas con la profondità. Procedendo verso il nucleo di esso, la materia cambia caratteristiche: non esistono più legami molecolari ma elettroni liberi e nuclei atomici essenzialmente di idrogeno ed elio. Poiché carichi positivamente tra loro esiste una repulsione elettrostatica, ma ogni tanto avvengono collisioni tali da provocare *fusioni termonucleari* date dalla catena protone-protone. Tale catena porta a trasformazioni di idrogeno in elio e a piccole formazioni di N, C, O, spiegando la continua perdita di massa.



### Il diagramma H-R

Le stelle presentano una loro **evoluzione** che viene schematizzata nel diagramma H-R. Sulle ascisse vi sono le temperature, sull'ordinata la luminosità in scala logaritmica, con quella del Sole posta uguale a 1. Le stelle che si trovano nella loro lunga fase stabile, cadono lungo una diagonale del diagramma, detta *sequenza principale*. Nella parte in basso a destra vi sono le stelle a massa minore, più fredde e rosse; in alto a sinistra quelle a massa più elevata, più calde e a luce azzurra. A destra in alto i campi delle *giganti rosse*, a sinistra in basso i campi delle *nane bianche*.

### Le stelle nascono e invecchiano: dalle nebulose alle giganti rosse

Le fucine delle stelle sono le nebulose, formate da polveri e gas freddi. Al loro interno possono innescarsi moti turbolenti che, con il progressivo addensamento dei corpuscoli, portano alla trasformazione dell'energia gravitazionale in en. cinetica con conseguente aumento della temperatura del corpo gassoso che si trasforma in una *protostella*. Proseguendo la contrazione il nucleo si riscalda fino alla temperatura di 15 milioni di K, necessari alla trasformazione di idrogeno in elio. Il calore liberato porta all'aumento della pressione dei gas fino alla compensazione della forza di gravità, la stella entra così in una *fase di stabilità* (seq. princ. H-R), la cui durata dipende dalla massa della nebulosa iniziale.

Quando tutto l'idrogeno si trasforma in elio, il nucleo di elio che si è formato, molto più denso del nucleo di idrogeno originario, finisce per *collassare*, contraendosi su se stesso. Si ha un continuo aumento di temperatura fino a una nuova trasformazione di elio in carbonio. L'involucro esterno si espande e si contrae fino a giungere ad un nuovo equilibrio. La stella è entrata in una nuova fase e appare come una **gigante rossa**. Ma anche questa, esaurirà il suo combustibile e per effetto della forza gravitazionale incontrastata si avvierà alla fine, determinata dalla sua massa.

- Stelle con massa iniziale poco inferiore a quella del Sole collassano per gravità, divenendo corpi di dimensioni simili a quelle della Terra ad alta densità con nuclei di atomi immersi in un mare continuo di elettroni, è questo l'origine delle **nane bianche** che, riscaldate dal processo di contrazione ma prive di una fonte di energia nucleare sono destinate a raffreddarsi gradualmente fino a divenire *nane nere*.
- Stelle con massa iniziale come quella del Sole, prima di diventare nane bianche e superato lo stadio di giganti rosse, espellono il loro strato più esterno con un'esplosione (**novae**) che trascinato dal *vento stellare* dà vita alle **nebulose planetarie**. Espulso l'involucro la gigante rossa si trasforma in un nucleo rovente, che continua a espandersi e contrarsi a spese dell'idrogeno residuo. Cessata la fusione nucleare, il vento si esaurisce e la nebulosa planetaria, prima fluorescente, perde luminosità scomparendo e la stella centrale si trasforma in una nana bianca.

- Se la massa della stella supera di almeno una decina di volte quella del Sole, all'esaurirsi del combustibile nucleare si ha un collasso tale da liberare un'immane esplosione: gran parte della stella, definita *supernova*, si disintegra e viene lanciata nello spazio. Il materiale rimanente si concentra in un corpo molto piccolo ma con una grande massa e altissima densità: tale corpo genera un campo gravitazionale talmente elevato da far fondere elettroni e protoni in neutroni, dando vita a una **stella di neutroni**; spesso grazie alla contrazione e al forte campo magnetico creatosi, la stella ha un'elevata velocità di rotazione, apparendo come una rapida pulsazione ritmica: tali oggetti sono detti *pulsar*.  
Se la massa delle stelle è decine di volte quella del Sole, il collasso gravitazionale non trova forze che lo contrastino e aumentando la densità si forma un corpo sempre più piccolo che esercita una forza gravitazionale immensa, in grado di attirare e far sparire qualunque corpo o particella nel suo raggio d'azione, luce compresa: è il caso del **buco nero**.

### Una stella muore, una stella nasce: atomi riciclati

L'energia della stella è dovuta a reazioni termonucleari che producono anche nuovi elementi:  $H \rightarrow He \rightarrow C$ . In stelle con massa maggiore a quella del Sole si può raggiungere la produzione di tutti gli elementi della tavola periodica fino al ferro.

Gli elementi più pesanti vengono prodotti solo nella fase iniziale della formazione di una stella (supernova) e dopo l'esplosione, sbalzati nello spazio, costituiranno delle nebulose e verranno così "riciclati" per entrare a far parte di un nuovo astro.

## LE GALASSIE E LA STRUTTURA DELL'UNIVERSO

Lo spazio celeste, visto da un osservatore idealmente posto al centro dell'Universo, non apparirebbe uniforme ma mostrerebbe grandi vuoti e numerose macchie biancastre di varie dimensioni: le *galassie*, ognuna formata da una grandissima quantità di stelle e da materia interstellare, qua e là concentrata in nebulose.

### L'Universo "meno lontano": la nostra Galassia

Stelle e nebulose della **Via Lattea**, la galassia di cui fa parte la Terra, formano nel complesso un enorme disco, il cui spessore è circa un quinto del diametro; dal disco centrale (*nucleo galattico*) si dipartono lunghi *bracci a spirale*. Tutte le stelle dei bracci ruotano intorno al centro della Galassia, con velocità decrescenti andando verso la periferia. Alcune stelle presentano inoltre un movimento proprio.

Vi sono poi gli *ammassi stellari*, gruppi di stelle relativamente vicine tra loro, che si muovono tutte insieme. Possono essere *aperti*, con le stelle distribuite in modo irregolare, o *globulari*, con le stelle disposte a disegnare una sfera. Gran parte degli ammassi si trova al di fuori del disco della Galassia e forma una specie di nuvola sferica molto rarefatta, chiamata *alone galattico*. Qui a differenza della Galassia mancano le polveri per cui non si possono formare nuove stelle.

### Galassie e famiglie di galassie: un Universo "a bolle"

Oltre alla nostra galassia esistono **altre galassie**, che possono essere di vario tipo: *ellittiche*, *a spirale*, *a spirale barrata* (il cui nucleo sembra essere attraversato da una sbarra da cui partono le spire), *globulari*, *irregolari* e *peculiari* (distorte forse per l'attrazione con le galassie vicine).

Le Galassie tendono a unirsi in gruppi e ammassi di galassie. La Via Lattea fa parte dell'Ammasso della Vergine, attorno al cui baricentro essa ruota insieme ad altre galassie e al *Gruppo Locale*. Sono stati identificati anche *superammassi* di galassie, disposti in maniera irregolare. L'Universo presenta quindi una *struttura cellulare o spugnosa*.

## Radiosorgenti

Nell'Universo sono presenti numerose radiosorgenti: alcune corrispondono a supernovae, altre a galassie molto lontane ma con emissione così intensa da venire indicate come **radiogalassie**.

Altri segnali sono arrivati, sotto forma di onde radio di grandissima intensità e fortemente concentrate, da corpi d'apparenza stellare denominati **quasar** le cui righe spettrali risultano fortemente spostate verso il rosso: questo fenomeno viene imputato, con qualche controversia, all'effetto Doppler, anche se più probabilmente dipende dall'incurvatura dello spazio tempo causato dal forte campo gravitazionale, secondo la Teoria della Relatività Generale di Einstein. Tali corpi sono tutti molto lontani da noi e sono gli oggetti più lontani osservati a circa 15 miliardi di a.l..

Ma nonostante la distanza dall'intensità dei segnali si può presupporre l'esistenza di un quasar mille miliardi di volte più luminoso del Sole e molto più splendente: un'intera galassia formata da centinaia di miliardi di stelle.

## La legge di Hubble e l'espansione dell'Universo

Il quadro dell'Universo che siamo venuti via via scoprendo non ci offre un'istantanea di come è oggi l'Universo, ma piuttosto un'immagine composta in relazione alla distanza del corpo osservato. In base allo studio degli spettri delle galassie più lontane, che tendono tutti verso il rosso, possiamo dedurre che le galassie si stanno allontanando con velocità tanto più alta quanto più sono lontane, e ciò si può spiegare ammettendo l'espansione dell'Universo. La legge che descrive tale fenomeno fu teorizzata da Hubble con la formula  $V=H \cdot d$ . (palloncino)

Una prima teoria si basava sul concetto di **Universo stazionario**, dove il reciproco allontanamento delle galassie sarebbe compensato da una continua creazione di nuova materia, con la creazione di nuove galassie per la sostituzione di quelle lontane.

Tale teoria fu abbandonata per la mancata conferma della creazione di nuova materia e poi perché il conteggio degli oggetti più lontani, e quindi più vecchi, sembra smentirla. Questa fu soppiantata dalla **teoria evolutiva del Big Bang**. In virtù di tale teoria l'Universo doveva essere inizialmente un *corpo più piccolo di un atomo* con una densità infinita e a temperatura elevatissima. Si sarebbe verificata poi una fortissima esplosione, aumentando di miliardi di volte il suo volume. Dopo ciò la "sfera di fuoco" si sarebbe raffreddata rallentando la sua espansione.

L'energia ha iniziato a condensarsi prima in quark ed elettroni, poi in neutroni, protoni e nuclei di elio, finché si sono formati i primi nuclei atomici (H, Li, He) e, in seguito ad un aumento di temperatura fino a 3000 K, un gas neutro composto da idrogeno ed elio.

Terminata la fase dominata dalla *radiazione*, la materia si avvia all'attuale formazione e dopo il primo milione di anni l'Universo assume condizioni fisiche più vicine a quelle attuali.

Dove il gas è più denso, la gravità fa condensare l'idrogeno in grandi nebulose entro le quali iniziano a lampeggiare le violente espansioni dei *quasar*. Con l'espansione essi diventano più rari e si fanno numerose le galassie a spirale.

Circa il proseguimento di tale evoluzione sono state formulate due ipotesi:

- Se la densità è troppo bassa, l'espansione continuerà senza fine e quando le stelle finiranno il loro combustibile il Cosmo diventerà un immenso cimitero buio.
- Se la forza di gravità frenerà tale espansione, le galassie arresteranno la loro fuga dando origine a una contrazione dell'Universo. E tutto precipiterebbe allo stato primordiale.

## Il sistema solare

Il **Sistema Solare**, di cui fa parte il nostro pianeta, è un insieme di corpi diversi tra loro per natura e dimensioni ma accomunati per l'origine e costretti a muoversi in uno spazio ben definito dal reciproche forze di attrazione. Esso comprende:

- il *Sole*, una stella di modeste dimensioni
- i suoi *nove pianeti*
- almeno *54 satelliti* principali e numerosi anelli di materiali in frammenti che vi ruotano intorno
- *migliaia di asteroidi*, piccole masse concentrate in un'ampia fascia che circonda il Sole.
- moltissimi *frammenti* che, se attratti dalla Terra, attraversano l'atmosfera, si arroventano per attrito e possono o bruciare completamente, come le *meteore*, o in parte, come i *meteoriti*
- numerose piccole *masse ghiacciate* che si muovono all'estrema periferia del sistema solare e che solo occasionalmente si avvicinano al centro, manifestandosi sotto forma di *comete*.

Infine vi è la *materia interstellare*, formata da pulviscolo, gas e frammenti subatomici. Il Sole occupa, tuttavia, il 99,85% della massa di materia presente nel Sistema.

## LA STELLA SOLE

Il Sole è una sfera gigantesca, con una densità media molto vicina a quella dell'acqua. Esso ruota intorno al proprio asse con una velocità maggiore verso l'equatore e decrescente verso i poli.

La potenza per unità di superficie con cui il Sole emette calore è detta **costante solare**.

Possiamo distinguere l'interno del Sole (formato a sua volta dal *nucleo* avvolto dalla *zona radiativa*), la superficie visibile (*fotosfera*) e la sua atmosfera (distinta in due strati: *cromosfera* e *corona*).

## Il nucleo

Nel cuore del Sole è stato individuato un nucleo, che è la zona di vera produzione dell'energia e in cui aumenta continuamente l'elio a spese dell'idrogeno. L'energia prodotta si trasmette verso l'esterno con un processo di radiazione che interessa l'involucro gassoso circostante, chiamato **zona radiativa**, in cui gli atomi dei gas assorbono ed emettono energia, ma non danno luogo a reazioni nucleari. Il trasporto di energia avviene per *convezione* e interessa un involucro di gas più esterno, chiamato **zona convettiva** dove si verifica un effetto simile all'ebollizione dell'acqua, cioè le masse di gas cariche di energia salgono verso gli strati alti della cromosfera e, liberando energia, ridiscendono per ripetere il fenomeno.

## La fotosfera

La **fotosfera** è l'involucro che irradia quasi tutta la luce solare e corrisponde, quindi, al disco luminoso del Sole.

La superficie della fotosfera non è liscia, ma presenta una struttura a **granuli** brillanti, formati da masse di gas da 100° C a 200°C più calde rispetto alla zona circostante. Tali masse riscaldandosi salgono in superficie e poi raffreddate riscendono. Ogni granulo dura solo pochi minuti, ma il movimento di tutti i granuli fa sembrare la superficie della fotosfera in continua ebollizione.

La superficie brillante della fotosfera non è omogenea ma costellata da **macchie solari**. Queste sono piccole aree scure, depresse rispetto alla superficie circostante, nelle quali si distingue una zona centrale più scura circondata da una fascia più chiara. Esse si presentano in gruppi della durata media di 2 settimane, che generano intorno a loro un forte campo magnetico che ostacola i moti convettivi. Nascono nei due emisferi del Sole fino ad incontrarsi in prossimità dell'equatore fino a sparire (le macchie di un emisfero avranno la polarità rivolta in senso opposto a quelle dell'altro emisfero e si invertono ogni 11 anni).

## La cromosfera e la corona

La **cromosfera** è un involucro trasparente di gas incandescente che avvolge la fotosfera. E' visibile per un breve tempo durante un'eclissi totale di Sole, quando la luna nasconde completamente il disco della fotosfera: la cromosfera appare allora come un sottile alone roseo, il cui bordo esterno è sfrangiato in numerose punte luminose dette *spicole*.

La **corona** è la parte più esterna dell'atmosfera solare ed è formata da un involucro di gas ionizzati sempre più rarefatti man mano che ci si allontana dalla cromosfera. Data la sua bassa luminosità è visibile solo durante un'eclissi totale.

Le particelle ionizzate più esterne hanno una velocità tale da sfuggire all'attrazione gravitazionale e disperdersi come *vento solare*. La corona presenta una temperatura molto più elevata della superficie del Sole, ciò a causa dei moti convettivi della fotosfera, dai quali si propagano a velocità supersonica onde d'urto che raggiungono la corona: i gas assumono l'energia di tali onde aumentando di temperatura.

## L'attività solare

Le **protuberanze** sono grandi nubi filamentose di idrogeno che si innalzano dalla cromosfera e penetrano ampiamente nella corona, hanno una temperatura tra i 15.000 e i 25.000 K, molto più calde rispetto alla cromosfera ma fredde rispetto alla corona. Esse si manifestano sotto forma di pioggia o come **protuberanze** (eruttive o quiescenti), si possono osservare durante un'eclissi totale come lingue luminose o contro il disco del Sole come *filamenti*.

I **brillamenti** sono violentissime esplosioni di energia con potenti scariche elettriche e un'ampia gamma di radiazioni dai raggi-x alle onde radio, che rafforzano notevolmente la radiazione stazionaria del Sole. Viaggiando alla velocità della luce, questi improvvisi aumenti di radiazioni investono gli strati più esterni dell'atmosfera terrestre, provocando perturbazioni che influiscono sulle trasmissioni radio. In particolare lo strato D della *ionosfera* viene tanto rafforzato da assorbire tutte le onde radio corte e gran parte delle medie.

I **flares** emettono inoltre un intenso *flusso di particelle atomiche* e un'*ultraradiazione* formata da particelle ad altissima energia che si propagano ad una velocità prossima a quella della luce. Giungendo in prossimità dell'atmosfera terrestre le particelle ionizzate vengono soffiate verso la bassa atmosfera dando luogo alle *aurore polari* che si originano, a causa del campo magnetico terrestre, nella zona prossima ai poli, con colori che vanno dal rosso al blu al verde. Contemporaneamente alle aurore polari, si verificano nel campo magnetico terrestre forti perturbazioni, le *tempeste magnetiche*.

La periodicità di tali fenomeni si spiega con una comune origine: i flares sarebbero prodotti dagli stessi periodici rafforzamenti del campo magnetico che, generati all'interno del Sole, risalirebbero fino alla fotosfera, provocando le macchie solari, e si estenderebbero fino alla corona, divenuti instabili collasserebbero, con grande rilascio di energia sotto forma di flares. Si hanno così periodi di "Sole calmo" alternati a periodi in cui alla radiazione stazionaria si sovrappongono radiazioni ondulatorie e radiazioni corpuscolari.

L'attività solare influenza, inoltre, l'accrescimento delle piante: lo spessore degli anelli del tronco è maggiore nei periodi di massima attività e minimo nelle fasi di calma.

## Cosa brucia nel Sole?

Considerazioni tecniche hanno portato a concludere che l'interno del Sole è costituito per il 98% di idrogeno ed elio allo stato di plasma, sotto forma di una miscela di elettroni liberi e nuclei atomici. Elementi più pesanti rappresentano il 2% della massa totale, e poiché per formarsi essi richiedono temperature più elevate di quelle raggiunte dal Sole si presuppone che esso sia una stella riciclata. La parte esterna del Sole è inoltre caratterizzata da una violenta attività che sembra dovuta ad un'interazione tra il moto dei gas e il campo magnetico solare.

## I pianeti e gli altri componenti del sistema solare

I pianeti visibili ad occhio nudo si distinguono dalle stelle perché cambiano sensibilmente e con regolari periodi la loro posizione nella volta celeste rispetto agli altri corpi. Il primo a riconoscere chiaramente che i pianeti ruotano intorno al Sole fu **Copernico**, ma egli postulò che il loro moto fosse circolare. Fu **Keplero** a stabilire che i pianeti percorrono invece delle orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei fuochi, enunciando tre leggi:

1. I pianeti descrivono intorno al Sole orbite ellittiche, quasi complanari, aventi tutte un fuoco comune in cui si trova il Sole. (senso antiorario)
2. Il raggio vettore che unisce il centro del Sole al centro di un pianeta descrive superfici con aree uguali in tempi uguali. (ciò significa che quando il pianeta è più lontano si muove più lentamente)
3. I quadrati dei periodi di rivoluzione (i tempi che i pianeti impiegano a percorrere le loro orbite) sono proporzionali ai cubi delle loro distanze medie dal Sole. (le distanze sono misurate in U.A., i periodi in anni). Più il pianeta è vicino al Sole, maggiore è la velocità.

Keplero descrisse il moto dei pianeti, ma non riuscì a comprendere quali forze costringano i pianeti a muoversi secondo le leggi da lui scoperte. Fu **Newton** a intuire l'esistenza di una forza di attrazione tra i corpi e a descriverne gli effetti attraverso la **legge di gravitazione universale**, in base alla quale *due corpi si attirano in modo direttamente proporzionale alla loro massa e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza*.

La forza d'attrazione è espressa dalla seguente formula:

$$F = G \frac{(M \cdot m)}{R^2}$$
 dove G è la costante di gravitazione Universale, M e m sono le masse dei due corpi e R è la distanza tra di essi.

A causa della forza di gravità, quindi, ogni corpo celeste viene attratto dalle masse circostanti. Un pianeta subisce perciò una forte attrazione da parte del Sole, mentre è debolmente attratto dagli altri pianeti e dalle stelle circostanti; tali azioni impediscono al pianeta di muoversi con velocità costante e in linea retta, ma lo costringono a muoversi in un gioco di equilibrio di cui l'orbita ellittica è il risultato. L'influenza dei pianeti si rivela inoltre nelle perturbazioni (deviazioni della forma delle orbite da ellissi perfette).

## Tra fuoco e ghiacci: i pianeti

I pianeti del sistema solare sono molto diversi tra loro. Si usa così distinguere la famiglia dei pianeti di **tipo terrestre** (*Mercurio, Venere, Terra e Marte*) e la famiglia dei pianeti giganti o **gassosi** (*Giove, Saturno, Urano e Nettuno*); **Plutone** non appartiene a nessuna delle due categorie. La differenza più evidente è nel diametro (il diam. del pianeta terrestre più grande è circa  $\frac{1}{4}$  di quello del pianeta gioviano più piccolo), ma anche la densità è diversa: 5 volte quella dell'acqua nei pianeti terrestri, massimo 1,5 volte in quelli giganti.

Mercurio, Venere, Terra e Marte sono piccole sfere di rocce e metalli che orbitano vicino al Sole e che hanno poco peso nell'economia del sistema solare. Hanno atmosfere tenui o ne sono privi poiché riescono a trattenere solo le molecole di gas più pesanti. Hanno pochi o nessun satellite.

I pianeti giganti hanno una massa maggiore e risultano composti in prevalenza da idrogeno ed elio con quantità variabili di ghiacci assieme ad una certa quantità di materiale roccioso, hanno atmosfere molto dense (H ed He) sia per la grande massa ma anche per la bassa temperatura che non consente grandi movimenti. Hanno numerosi satelliti, e altre strutture particolari, come "anelli".

## Asteroidi, meteore e comete

Del sistema solare fanno parte anche numerosi corpi delle dimensioni di minuscoli pianeti che descrivono orbite ellittiche: è il caso degli **asteroidi** (fasce di anelli tra Marte e Giove). Il maggiore è Cerere, vi sono poi Pallade, Giunone, Vesta ecc. Quanto alla loro origine si pensa che siano resti del materiale da cui ha avuto origine il sistema solare, che non hanno potuto aggregarsi in un corpo di maggiori dimensioni a causa delle perturbazioni provocate dalla gigantesca massa di Giove. La loro composizione chimica è analoga a quella delle meteoriti: un nucleo costituito da ferro e nichel alleggerito da ossigeno e zolfo e lo strato più esterno da silicati.

Le **meteore** sono corpi solidi ad alta velocità, quando attratti dalla Terra penetrano nell'atmosfera e bruciano rapidamente lasciando una scia luminosa. Se non bruciano completamente precipitano sulla superficie in frammenti come *meteoriti* o micrometeoriti, che cadono sulla Terra come polvere.

Le **comete** sono gli oggetti più affascinanti, formate da gas e vapori congelati misti a frammenti di rocce e metalli. Avvicinandosi al Sole i gas congelati evaporano e rimane attorno al nucleo un alone rarefatto e luminoso, la chioma. Successivamente si svilupperà la coda, un velo brillante che si estende in senso opposto alla direzione del Sole, che gradualmente si esaurirà. Ad ogni passaggio intorno al Sole, una cometa perde una parte di massa fino ad estinguersi. Le comete hanno origine dalla *nube di Oort* che circonda il sistema solare.

## L'origine del sistema solare

Numerose sono le ipotesi circa l'origine del sistema solare. Una monistica, elaborata da **Cartesio**, fa derivare tutto da un solo ammasso nubiforme. **Leclerc de Buffon** ne sostenne, invece, una dualistica: da un Sole già esistente, una cometa strappa, passandogli vicino, grossi frammenti che poi diventano pianeti e satelliti.

La più attendibile è quella che afferma che 5 miliardi di anni fa il materiale destinato a costituire il sistema solare faceva parte di una nube diffusa in uno dei due bracci della Via Lattea. A seguito di perturbazioni dovute a cause sconosciute, una parte della nube comincia a collassare su se stessa. Nel collasso assume la forma di un disco appiattito al centro del quale si va addensando un protoSole sempre più denso. Ripetute collisioni tra granuli di ghiacci e di polveri portano all'aggregazione di corpi via via più grandi. Nella fase T-Tauri il vento solare "pulisce" lo spazio tra polveri e gas residui. La fornace solare si è ormai innescata e i pianeti sono nel pieno della loro evoluzione.