GIORDANO BALIA

SCIENZE NATURALI

Edizione 2012

La chimica

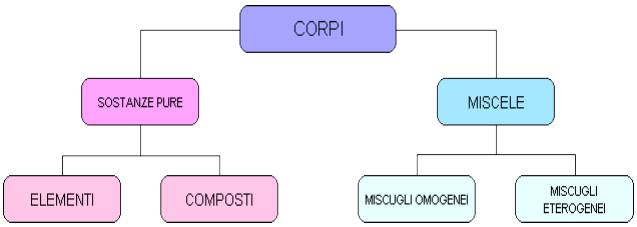
La chimica è la disciplina scientifica che si occupa dello studio della materia indagandone la struttura, le proprietà e le trasformazioni che ne modificano la composizione in modo permanente (es.: la combustione ma non la fusione).
La chimica è suddivisa in diversi settori:

- chimica **generale**: descrive le basi teoriche che regolano i fenomeni chimici, il comportamento e le proprietà delle sostanze;
- chimica **inorganica**: studia gli elementi e i loro composti, tranne che la maggior parte dei composti del carbonio;
- chimica **organica**: studia i composti del carbonio che sono i costituenti degli organismi;
- chimica **biologica**: studia gli aspetti chimici dei fenomeni che avvengono negli esseri viventi.

A questi settori si aggiungono: la chimica analitica, fisica, applicata, industriale, farmaceutica, agraria, nucleare.

La materia

Si intende per materia tutto ciò che esiste nell'Universo, occupa uno spazio, ha una massa e possiede energia.
La porzione di materia che può essere descritta e misurata si chiama **corpo**.
La materia si presenta sottoforma di diversi generi, che si chiamano **sostanze**, le quali in ogni loro parte presentano le stesse e definite proprietà chimiche e fisiche.



I **corpi** possono essere costituiti da **sostanze pure** o da **miscele**, cioè dall'unione di due o più sostanze pure.
La **sostanza pura** è quella parte di materia non separabile in altre sostanze con trasformazioni fisiche, formata da un unico tipo di particelle tutte uguali e con composizione fissa e ben definita, che si ripete in ogni punto.
Le sostanze pure si definiscono **elementi** quando non possono essere ulteriormente scomposte, e **composti** quando si possono dividere in due o più elementi mediante una trasformazione chimica. Il ferro, il carbonio, l'ossigeno sono esempi di elementi, mentre l'acqua e lo zucchero sono composti.
Le **miscele** possono dividersi in **miscele omogenee** (**soluzioni**), quando i componenti hanno le particelle distribuite in modo uniforme per cui non sono più distinguibili, presentano una sola **fase**, (porzione di materia fisicamente distinguibile, separata da una superficie definita e con proprietà costanti in ogni punto) e ogni parte ha sempre le stesse proprietà. Ne sono esempi l'aria o una soluzione salina.

Le **miscele eterogenee** o **miscugli**, invece, hanno le particelle distribuite in modo non omogeneo, i diversi componenti si possono distinguere e presentano due o più fasi e le proprietà variano da un punto all'altro del campione. Il latte, ad esempio, è un miscuglio eterogeneo contenente acqua e piccole gocce di grasso.

Separazione di miscele

Poiché i componenti di una miscela mantengono le proprie caratteristiche, è possibile separarli con opportuni mezzi.
Distillazione. Si usa per separare miscele omogenee liquido-solido o liquido-liquido, sfruttando il diverso punto di ebollizione. Nel primo caso si fa bollire la soluzione e il vapore che si forma viene fatto condensare e raccolto (distillato). Nel recipiente di distillazione rimane il soluto. Nel secondo caso, specialmente se i punti di ebollizione sono molto vicini, si opera mediante distillazione frazionata.
Cromatografia. Si fa assorbire la miscela omogenea su una carta porosa e poi si immerge l'estremità della carta in un apposito eluente. Risalendo, l'eluente trascina con sé i componenti della miscela a diverse velocità, perciò si ottiene una separazione.
Cristallizzazione. Si separano i componenti di una miscela omogenea sfruttando la diversa solubilità. Si fa evaporare il solvente finché la soluzione diventa satura del componente meno solubile, che si separa sottoforma di cristalli. Si procede poi nella concentrazione per separare gli altri soluti.
Estrazione con solventi. Sfruttando la diversa solubilità dei componenti di una miscela eterogenea liquido-liquido, si introduce il solvente in un miscuglio; questo scioglierà solo uno dei componenti permettendone la separazione. Si fa poi evaporare il solvente.
Filtrazione. Si separano i componenti di una miscela eterogenea solido-liquido sfruttando la differenza di dimensione delle particelle, facendo passare il miscuglio attraverso un setto poroso.
Centrifugazione. Si usa per separare i componenti di una miscela eterogenea aventi piccole differenze di densità. Facendo ruotare velocemente la soluzione all'interno di un contenitore posto in una centrifuga, si ottiene una stratificazione in base alla densità.
Decantazione. Se c'è una grande differenza di densità tra i componenti solidi e liquidi di una miscela eterogenea, è possibile separarli semplicemente facendo riposare la miscela in modo che il soluto sospeso si depositi sul fondo (sedimentazione).

Stati di aggregazione

La materia può avere **tre stati di aggregazione**, spiegabili con la **teoria cinetico-corpuscolare**.
Si ritiene che la materia sia costituita da piccolissime particelle dotate di energia cinetica, cioè si muovono continuamente. Le particelle sono attirate le une dalle altre da **forze di coesione** che tendono a mantenerle vicine, mentre l'**energia cinetica** tende ad allontanarle. Il prevalere di una

o dell'altra forza determina lo stato fisico di aggregazione, che è specifico di ogni sostanza a determinate condizioni di pressione e temperatura.

Solido: le particelle sono molto vicine e occupano uno spazio definito e fisso; a causa delle elevate forze di coesione possono solamente oscillare, perciò il solido ha un volume e una forma propria, una densità alta e una bassa dilatazione termica: un aumento di pressione ha un effetto praticamente nullo sul volume, il solido è cioè incomprimibile.

Lo stato solido **cristallino** si ha quando le sostanze assumono una forma poliedrica, anche se irregolare. Quando le particelle assumono una forma disordinata si parla di solido **amorfo** e, anche se le particelle non possono muoversi, si può considerare liquido ad altissima viscosità.

Liquido: le particelle sono meno vicine rispetto allo stato solido e hanno una minore forza di coesione, per cui possono scorrere; di conseguenza, la materia ha un volume proprio ma la forma del recipiente che la contiene; all'aumento della pressione, la diminuzione di volume è trascurabile e quindi il liquido è praticamente incomprimibile.

Aeriforme: le particelle sono separate e in continuo rapido movimento, per cui la materia assume forma e volume del recipiente che lo contiene; ha una bassa densità ed elevata dilatazione termica; con l'aumentare della pressione il volume diminuisce sensibilmente.

I corpi allo stato aeriforme si distinguono in **vapori** e **gas**: i primi sono sostanze che a temperatura ambiente esistono come solidi (naftalina) o liquidi (alcool), mentre i gas a temperatura ambiente esistono solo come aeriformi.

Passaggi di stato

La materia, se sottoposta a variazione di **temperatura** e **pressione**, subisce una trasformazione da uno stato fisico ad un altro, chiamato **passaggio di stato**, una **trasformazione fisica** e non chimica, perché non viene alterata la composizione della sostanza, ma solo il modo in cui sono legate le particelle.

Quando un corpo è riscaldato, l'energia delle particelle aumenta fino a superare le forze di coesione, determinando il passaggio di stato; viceversa, raffreddandolo, le particelle diminuiscono il loro movimento e si fanno più sentire le forze di coesione.

Per quanto riguarda la pressione, un suo aumento favorisce il passaggio da vapore a liquido e da liquido a solido, perché si ha l'avvicinamento delle particelle e quindi l'aumento delle forze di coesione. Al contrario, una diminuzione di pressione favorisce i passaggi di stato opposti: fusione, vaporizzazione, sublimazione.

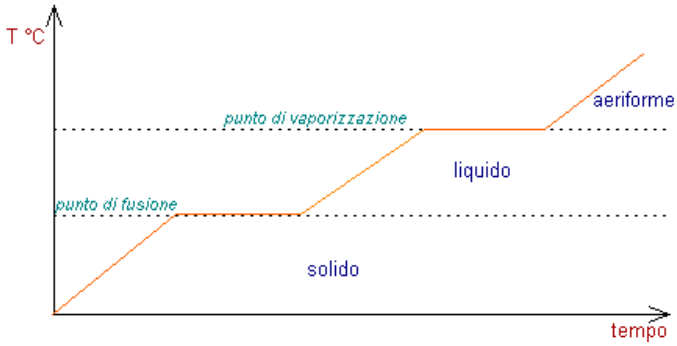
La tabella riassume i diversi passaggi di stato.

fusione	passaggio da solido a liquido
solidificazione	passaggio da liquido a solido
vaporizzazione	passaggio da liquido ad aeriforme
condensazione	passaggio da aeriforme a liquido
sublimazione	passaggio diretto da solido ad aeriforme
brinamento	passaggio diretto da aeriforme a solido

Fusione e solidificazione

Attraverso la somministrazione di calore, le particelle vincolate di un solido si muovono sempre più rapidamente fino ad allontanarsi e scorrere le une sulle altre, ottenendo la **fusione** del solido. Mediante la sottrazione di calore si ha il processo opposto di **solidificazione**, chiamato **cristallizzazione** se riguarda una massa di magma fluido, in cui le particelle progressivamente rallentano fino ad assumere una posizione fissa. Ogni sostanza ha un proprio punto di fusione (che coincide con quello di solidificazione): **temperatura o punto di fusione e di solidificazione**.

Durante il processo di fusione, quando coesistono i due stati, continuando a fornire calore (**calore latente di fusione**) la temperatura non aumenta finché non si è completato il passaggio di stato. Questo si verifica perché l'energia fornita è impiegata per rompere i legami tra le particelle e non per aumentarne la velocità. Analogamente, durante il raffreddamento la temperatura non diminuisce perché la formazione dei legami libera energia (**calore latente di solidificazione**), pari a quella assorbita durante il processo di fusione, che compensa il raffreddamento.



Vaporizzazione e condensazione

Fornendo ulteriore calore, le particelle si muovono così rapidamente fino a rompere definitivamente i legami, allontanandosi reciprocamente. L'energia termica necessaria per avere il passaggio di stato si chiama **calore latente di vaporizzazione**; la stessa energia viene restituita quando si ha il passaggio inverso (**calore latente di condensazione**).

La vaporizzazione comprende due fenomeni distinti.

L'**ebollizione** interessa tutta la massa del liquido e avviene per diretta somministrazione di calore. In prossimità della fonte di calore si formano delle bolle di vapore che si espandono e salgono in superficie dove si rompono. Ogni sostanza ha una specifica **temperatura o punto di ebollizione**, che dipende dalla pressione atmosferica: più alta è la pressione e più aumenta la temperatura di ebollizione; infatti, nella pentola a pressione l'acqua bolle a 110°C perciò i cibi si cuociono molto più rapidamente, mentre in montagna l'acqua bolle prima ma ad una temperatura più bassa perciò è più difficile cucinare.

L'**evaporazione** riguarda l'allontanamento spontaneo e graduale delle particelle che si verifica sulla superficie del liquido ad una temperatura inferiore a quella di ebollizione. Questo si verifica perché alcune particelle possiedono maggiore energia cinetica di altre, inoltre, le particelle superficiali risentono meno delle forze di coesione per cui possono più facilmente allontanarsi. Per questo motivo l'evaporazione è maggiore quando la temperatura è più alta, quando la

superficie è più ampia e quando la pressione è minore. Poiché ad allontanarsi sono le particelle con energia cinetica più alta, il liquido subisce un raffreddamento.
Anche per il fenomeno inverso si hanno due termini. Si usa il termine **condensazione** quando il passaggio di stato avviene mediante raffreddamento, mentre la **liquefazione** necessita un aumento di pressione superiore a quella ambientale. In questo caso, l'avvicinamento forzato delle particelle comporta il prevalere delle forze coesive. Per alcuni gas non basta il solo aumento di pressione ma serva anche una diminuzione della temperatura.
Come nella fusione e solidificazione, durante il passaggio di stato non c'è modificazione della temperatura e si verificano gli stessi fenomeni descritti nel caso precedente.

Sublimazione e brinamento

La **sublimazione** è il passaggio diretto da solido a vapore. La naftalina presenta questo fenomeno a temperatura e pressione ordinarie, mentre per altre sostanze è favorita da un aumento di temperatura e una diminuzione di pressione.
Il passaggio diretto da vapore a solido si chiama **brinamento** e si verifica quando il vapore viene a contatto con una superficie molto fredda, come avviene per la formazione della brina.

Le leggi ponderali

Legge della conservazione della massa (Lavoisier, 1774)

Lavoisier fu il primo a fare dei veri e propri esperimenti. Pesando accuratamente le sostanze, prima e dopo una reazione in ambiente chiuso, formulò la **legge della conservazione della massa**: **La somma delle masse delle sostanze prima della reazione è sempre uguale a quella dei prodotti ottenuti, perciò nulla si crea e nulla si distrugge.**
Ci sono casi in cui, apparentemente, la legge non sembra valida, come ad esempio quando si brucia un pezzo di carbone: alla fine della combustione rimane solo un po' di cenere. In realtà, come specificato sopra, occorre far avvenire la reazione in ambiente chiuso perché dalla combustione si libera anidride carbonica che si disperde nell'aria.

Legge delle proporzioni definite (Proust, 1806)

Proust, studiando la pirite, scoprì che presentava una composizione costante indipendentemente dal luogo di provenienza. In particolare, la pirite era formata sempre e solo da ferro e zolfo rispettivamente in una proporzione di 1 : 0.57.
Tale regolarità si presentava anche in altri minerali, per cui arrivo alla formulazione della **legge delle proporzioni definite**: **Quando gli elementi si combinano per formare un composto, il loro rapporto in massa è sempre definito e costante, specifico di quel composto.**

Legge delle proporzioni multiple (Dalton, 1803)

Dalton scoprì che, in alcuni casi, due elementi possono combinarsi in modo diverso per ottenere differenti composti, però il rapporto di combinazione era sempre esprimibile con numeri interi. La legge delle proporzioni multiple afferma che:
Quando due elementi si combinano per formare composti diversi, il rapporto tra la quantità in massa di un elemento che si combina con una quantità fissa di un altro elemento è esprimibile con numeri interi e piccoli.

La teoria atomica

Democrito

La prima teoria atomica è stata formulata dal filosofo greco **Democrito** (IV sec), il quale ha affermato che la materia era costituita da piccole **particelle indivisibili** di tipo diverso, gli **atomi** (il termine significa proprio *indivisibile*), e da *spazio vuoto*.
Si tratta di un'ipotesi filosofica, non sostenuta da alcuna verifica sperimentale.

Aristotele

La teoria atomica di Democrito è stata respinta fino al XVII secolo perché contraddiceva gli insegnamenti di **Aristotele** (384 – 322 a.C.). Per Aristotele lo spazio doveva essere pieno di materia per poter trasmettere gli effetti meccanici, di movimento da un corpo all'altro. Egli affermava che la natura ha orrore del vuoto, perciò sostenne che la materia doveva avere una **struttura continua**, cioè poteva essere suddivisa all'infinito senza perdere le sue caratteristiche.

Teoria atomica di Dal ton (1808)

Dalton (1766 – 1844) ha riproposto la teoria degli atomi quali **particelle indivisibili** costituenti la materia, ma le affermazioni si basavano su osservazioni sperimentali.
Dal fatto che, secondo la legge delle proporzioni definite, si osservava che il rapporto tra le quantità di un elemento che si combinavano con quantità fisse di un altro elemento era sempre esprimibile con numeri interi, significava che la materia non aveva una struttura continua, come affermava Aristotele, ma era costituita da particelle elementari indivisibili.
La **teoria atomica** proposta da Dalton, rispetti i criteri del metodo scientifico in quanto dava una giustificazione alle esperienze, pero la prova della reale esistenza degli atomi avvenne in realtà solo un secolo dopo grazie a nuove ricerche di fisici e chimici.
La teoria afferma che:

1. **la materia è costituita da atomi, particelle piccolissime, sferiche, indivisibili e indistruttibili;**
2. **gli atomi sono la parte più piccola di un elemento;**
3. **gli atomi di uno stesso elemento sono uguali tra loro e hanno la stessa massa; gli atomi dei diversi elementi sono differenti e non hanno la stessa massa;**
4. **in una reazione gli atomi non sono né creati né distrutti, né trasformati in altri elementi; restano inalterati ma si aggregano in modo diverso, conservandosi interi nel passaggio da un composto all'altro.**

Il linguaggio chimico

Con la teoria atomica siamo ora in grado di fornire una definizione più precisa di elementi e composti, atomi e molecole.

Elementi

Gli elementi sono sostanze che non possono essere decomposte in sostanze più semplici.
Essi sono costituiti da un **unico tipo di atomi**, caratterizzati da un nome e un simbolo. Nella foto c'è una lamina d'argento formata solo da atomi d'argento.
Non tutti gli elementi sono formati da atomi; ad esempio, il cloro gassoso è formato da molecole, ciascuna delle quali contiene due atomi uguali di cloro.
In natura esistono 90 elementi più alcuni creati artificialmente.

Composti

Un composto è formato da due o più atomi di elementi diversi legati tra loro.
I composti possono essere formati da molecole o da ioni.

Atomi

L'atomo è la più piccola particella di un elemento che possiede le proprietà chimiche caratteristiche di esso.
Un atomo è formato da un piccolissimo **nucleo** composto da **protoni** e **neutroni**, circondato da elettroni. Per i dettagli della struttura atomica si veda l'apposita sezione.

Molecole

La molecola è la più piccola unità di una sostanza semplice o composta, formata da due o più atomi dello stesso tipo o di tipo diverso.
Nei due esempi abbiamo una molecola di ossigeno formata da due atomi uguali di ossigeno e una molecola di anidride carbonica formata da tre atomi di due elementi: un atomo di carbonio e due di ossigeno.

Simbologia chimica

Il nome dell'elemento può derivare dal latino, dal greco o dalla regione di provenienza o da uno scienziato.
I simboli sono delle abbreviazioni per indicare gli elementi.
Nel 1814 **Berzelius** propose di nominare gli elementi in base alla **prima lettera del nome latino, scritta in maiuscolo**; se più elementi hanno la stessa iniziale, si aggiunge una **seconda lettera minuscola**.
Il simbolo non indica solo l'elemento ma anche 1 atomo dell'elemento.

Numero atomico e numero di massa

Il numero di protoni contenuto nell'atomo, detto numero atomico (Z), è tipico di ogni elemento e lo distingue dagli altri. Z si scrive a fianco del simbolo in basso a sinistra.

In un **atomo il numero di elettroni è uguale a quello dei protoni** e quindi, in condizioni normali, è elettricamente neutro.
La somma del numero dei protoni e dei neutroni si chiama numero di massa (A), e si scrive a fianco del simbolo in alto a sinistra.

Isotopi

Il numero dei protoni è tipico di ogni elemento, ma gli atomi di uno stesso elemento possono avere un diverso numero di neutroni.
Si chiamano isotopi di un elemento gli atomi che hanno lo stesso numero atomico ma diverso numero di massa.
Ad esempio, l'idrogeno possiede un protone e un elettrone ma esistono tre isotopi differenti ai quali, data la loro importanza, è stato assegnato un nome proprio.

Ioni

Gli atomi possono perdere o acquistare elettroni caricandosi elettricamente.
Se si allontana un elettrone da un atomo otteniamo uno ione positivo o catione; con l'acquisto, invece, di un elettrone abbiamo uno ione negativo o anione.
Rispetto all'atomo di partenza, ha acquisito **la configurazione stabile** (ottetto) del gas nobile che lo precede (ione positivo o che lo segue (ione negativo).
Per quanto riguarda il **volume**, lo ione positivo è più piccolo dell'atomo allo stato neutro, mentre quello negativo è più grande.
Il numero di elettroni acquistati o persi si indica a fianco del simbolo dell'elemento in alto a sinistra.

Formule chimiche

Un composto è rappresentato mediante una **formula chimica**, che è la **rappresentazione della sostanza mediante simboli**.
L'ordine in cui vengono scritti gli elementi è dettato da una serie di regole che affronteremo nella nomenclatura.
Nella formula bruta o molecolare sono indicati gli elementi che costituiscono il composto e il numero di atomi di ciascun elemento sotto forma di indice posto a fianco del simbolo in basso a destra.
Nei composti ionici ogni ione è in realtà circondato da diversi ioni di carica opposta, per cui non si può parlare di formula molecolare, ma di **formula minima, che indica il minimo rapporto tra gli elementi**.
A volte può essere utile conoscere anche **come sono legati tra loro gli atomi**. Per questo si usa la **formula di struttura**.

Massa atomica e molecolare

L'atomo è una particella molto piccola e non può essere direttamente pesata, per questo la sua massa si calcola in rapporto a quella di un altro atomo preso come riferimento.
In passato è stato preso come riferimento l'atomo più piccolo, quello dell'idrogeno; si è poi passati alla sedicesima parte dell'atomo di ossigeno, mentre dal 1961 è stato defi-

nitivamente fissato come riferimento la dodicesima parte della massa del carbonio-12.
Quando si scelse l'idrogeno, si denominò come unità di misura uma, unità di massa atomica. Oggi l'unità di misura è il **dalton** e indicata con **u**, e non il grammo.

$$1\ u = \frac{1}{12} \text{ della massa del } {}^{12}C$$

In chimica spesso si usano in modo indistinto i termini peso e massa; anche se ciò non è propriamente corretto, in questa sede abbiamo preferito utilizzare il peso invece della massa.
Il **peso atomico (PA) - o massa atomica relativa - di un elemento è la massa dei suoi atomi, espressa in dalton, degli atomi di quell'elemento.**
È espressa in dalton poiché è il rapporto tra la massa dell'elemento e l'unità di massa atomica, perciò relativa.
Il peso atomico si trova indicato nella tavola periodica. Ad esempio, il PA dell'idrogeno è 1.008 u.
Nel caso dei composti si usa il **peso molecolare (PM) o massa molecolare relativa, che deriva dalla somma dei pesi atomici**.
Il peso molecolare di H_2O è:

$PA_H = 1\ u$ $\qquad$ $PA_O = 16\ u$
Perciò: $PM_{H_2O} = 1 \times 2 + 16 = 18\ u$

Numero di Avogadro

In laboratorio non è possibile lavorare con misure così piccole, per questo è stato introdotto un numero particolare, il **numero di Avogadro** (*N*), che permette di passare da dalton a grammi, collegando così il mondo microscopico con quello macroscopico.

$$N = 6{,}023 \cdot 10^{23}$$

Se, ad esempio, un atomo di carbonio pesa 12 u, $6{,}023 \cdot 10^{23}$ atomi di carbonio pesano 12 g.

La mole

La mole è una quantità di sostanza (atomi o molecole), pari al peso atomico (o molecolare), costituita da un numero di Avogadro di atomi o molecole.

$$n = \frac{m\ (g)}{M\ (g/m}$$

m = massa del campione espressa in grammi
M = massa molare: PA o PM espressa in g/mol.

La mole si indica con **n** e l'unità di misura è **mol**.
Una mole di carbonio corrisponde a 12 g e contiene $6{,}023 \cdot 10^{23}$ atomi.
Una mole di idrogeno corrisponde a 1 g e contiene $6{,}023 \cdot 10^{23}$ atomi.

I Modelli Atomici

Scoperta dell'elettrone

Il fisico **W. Crookes** ha preso un tubo di vetro all'interno del quale ha inserito un gas. Alle due estremità del tubo erano poste due placche, l'anodo positivo e il catodo negativo. Se il gas veniva attraversato dalla corrente elettrica, non si verificava nulla; tuttavia, se il gas era rarefatto, compariva un fascio luminoso che partiva dal catodo (**raggi catodici**) per dirigersi verso l'anodo. Se sulla parte centrale del tubo si ponevano due piastre con carca opposta, si notava che i raggi erano deviati verso la piastra caricata positivamente.
Thomson ne dedusse che i raggi catodici erano delle particelle caricate negativamente, che furono chiamate **elettroni**. Essi hanno carica -1 e una piccolissima massa pari a $9.11 \cdot 10^{-31}$ kg.

Il modello di Thomson (1904)

Thomson, dopo la scoperta degli elettroni, formulò un modello atomico, detto "**a panettone**" o ad "anguria", secondo il quale l'atomo era costituito da una **massa positiva** all'interno della quale erano immersi gli **elettroni**.

Scoperta del protone

Utilizzando sempre il tubo di Crookes con un catodo forato, impiegando un'elevata differenza di potenziale, **Goldstein** scoprì che anche l'anodo emetteva dei raggi (**raggi anodici** o **raggi canale**). Essi venivano attirati da una piastra con carica negativa, perciò dovevano essere positivi. Le nuove particelle, chiamate **protoni**, hanno carica +1 e massa $1.673 \cdot 10^{-27}$ kg.

Il modello planetario di Rutherford (1911)

Rutherford, bombardando una sottilissima lamina d'oro con particelle positive α (protoni), grazie ad un rilevatore di queste particelle riuscì a stabilire la corretta disposizione dei componenti all'interno dell'atomo. Infatti, egli si accorse che la maggior parte delle particelle positive passava indenne attraverso la lamina, mentre poche venivano deviate o respinte.
Questo fenomeno poteva essere giustificato ammettendo che l'atomo dovesse essere sostanzialmente vuoto: la gran parte della massa, costituita dai protoni positivi, era concentrata in un piccolissimo **nucleo** centrale, attorno al quale ruotavano gli **elettroni** negativi con **orbite simili a quelle dei pianeti** che girano attorno al Sole. La forza centrifuga dovuta alla rotazione bilanciava l'attrazione delle particelle di carica opposta. Proprio perché l'atomo è sostanzialmente vuoto permette il passaggio delle particelle α; le poche che intercettano il piccolo nucleo, avente la carica dello stesso segno delle particelle α, sono respinte o deviate.

Il modello di Bohr - Sommerfield (1913)

Bohr nel 1913 ipotizzò che gli elettroni potessero occupare occupano solo **orbite stazionarie** (**quantizzate**), associate ad un definito **livello di energia**.

Le orbite sono tutte **circolari** e ognuna può contenere un certo numero di elettroni. Il livello non è una circonferenza ma una sfera e così l'atomo assume un aspetto a **strati** o **gusci**.

Scoperta del neutrone

Già Rutherford aveva intuito che il modello di nucleo da lui proposto non poteva essere valido, in quanto i protoni, tutti caricati positivamente, avrebbero dovuto respingersi. Per questo ipotizzò la presenza di altre particelle prive di carica che facevano da schermo ai protoni.

Il concetto di orbitale

Secondo i modelli precedenti l'elettrone si muoveva su **orbite** (circolari o ellittiche), intese come traiettorie curve, all'interno delle quali era possibile stabilirne esattamente la posizione e la velocità.
Oggi si parla di **orbitale**, inteso come quella regione dello spazio all'interno della quale c'è un'alta probabilità di incontrare l'elettone.

Il Sistema Periodico

La tavola di Mendeleev

Il chimico russo **Dmitrij Mendeleev** (1834-1907) non è stato il primo scienziato che è tentato di dare un ordine agli elementi, ma la sua proposta è quella che più si avvicina alla moderna tavola periodica. Egli, infatti, nel 1871 dispose i 63 elementi allora noti in ordine **crescente secondo la loro massa atomica**; quando incontrava un elemento che aveva proprietà chimiche e fisiche simili ad un altro lo metteva in colonna sotto quest'ultimo. Ottenne così una tavola di otto colonne e 12 file.
Gli elementi mostravano dunque **proprietà periodiche**, che si ripetono cioè ad intervalli regolari.
Alcuni elementi trovavano tuttavia difficoltà ad essere inseriti nella colonna corretta, corrispondente alle loro caratteristiche.

La moderna tavola periodica

Henry Moseley scoprì la corretta periodicità degli elementi disponendoli in ordine **crescente secondo il loro numero atomico**.
La tavola moderna è suddivisa in righe, i **periodi**, e in colonne, i **gruppi**. In ogni casella è sempre indicato il simbolo dell'elemento e il corrispondente numero atomico. Spesso nella casella si aggiungono altre caratteristiche come la massa atomica, i numeri di ossidazione, l'elettronegatività ecc.

Periodi

Le righe orizzontali della tavola periodica, cioè i **periodi**, sono indicati da un numero in cifre arabe sulla sinistra. In totale sono 7 perché 7 sono i livelli energetici in un atomo, corrispondenti al numero quantico principale.

Il periodo comincia sempre con l'elemento che ha un solo elettrone nel livello più esterno e termina con i gas nobili che hanno il livello elettronico completo, cioè con 8 elettroni, tranne che per il primo periodo che è completo con 2 elettroni.

Gruppi

Le colonne, cioè i **gruppi**, sono indicati tradizionalmente con numeri romani. Nei gruppi **A**, principali, gli elementi hanno gli elettroni esterni negli orbitali s e p, mentre nei gruppi **B**, di transizione, negli orbitali d e f. La nomenclatura IUPAC prevede invece una numerazione araba continua, da 1 a 18.
Nei gruppi sono collocati gli elementi che hanno la medesima configurazione elettronica esterna, dalla quale dipendono le proprietà chimiche e fisiche, perciò il gruppo IA ha un elettrone nel livello esterno, il IIA ha due elettroni, ecc. Dall'alto verso il basso le differenze chimiche e fisiche sono ridotte.

Stato degli elementi

Gli elementi sulla sinistra si trovano generalmente allo stato **solido**, mentre a destra gli elementi sono allo stato **gassoso**. Solo pochi sono **liquidi** alla temperatura ambiente. Alcuni non si trovano in natura, ma sono stati prodotti **artificialmente** in laboratorio.

Carattere metallico

Alla sinistra della tavola periodica ci sono gli elementi con caratteristiche **metalliche** e sono separati dai **non metalli**, disposti sulla destra, tramite una linea diagonale. In realtà gli elementi vicino alla diagonale sono dei **semimetalli**.
I metalli sono buoni conduttori di elettricità e calore, lucidi, duttili e malleabili. I non metalli, invece, sono cattivi conduttori di elettricità e calore, in genere sono gassosi a temperatura ambiente, pochi sono i solidi e ancora meno i liquidi. Si riducono in polvere e perciò non possono essere lavorati.

I legami chimici

In natura, come atomi isolati esistono solo i gas nobili, mentre gli altri si combinano per formare molecole di elementi o di composti.
Il legame chimico è la forza che tiene uniti gli atomi nei composti.
Il legame si forma se l'energia complessiva della molecola è inferiore a quella degli atomi separati.
Il composto che si ottiene ha perciò un contenuto energetico minore rispetto agli atomi di partenza, perciò ha una maggiore **stabilità**.
Lewis nel 1916 formulò una prima teoria che identifica gli elettroni del livello più esterno, elettroni di valenza, i responsabili della formazione dei legami.
Avendo notato che gli elementi che avevano otto elettroni nel livello più esterno, escluso l'elio, (gas nobili), erano particolarmente stabili, formulò la **regola dell'ottetto**:

Gli atomi che presentano elettroni spaiati tendono a raggiungere la configurazione stabile nel livello più esterno (ottetto) mediante la perdita, l'acquisto o la condivisione degli elettroni, per questo si uniscono con altri atomi per formare molecole.
La teoria dell'ottetto è di facile applicazione ma presenta alcune lacune; non spiega, infatti, perché alcune molecole sono ugualmente stabili senza avere il livello più esterno completo.
Pauling ha proposta la **teoria del legame di valenza**, secondo la quale **le molecole possono essere ugualmente stabili se non ci sono elettroni spaiati**.

Legame covalente

Gli atomi dei non metalli condividono uno o più doppietti elettronici per formare un legame covalente.
Quando gli atomi sono uguali si forma il **legame covalente puro**.
Questo legame può essere **semplice**, **doppio** o **triplo** in base a quanti elettroni sono condivisi tra i due atomi:
Quando gli atomi sono diversi, si forma un **legame covalente polare** perché gli elettroni vengono spostati verso l'elemento più elettronegativo.
Gli elettroni non sono equamente condivisi tra i due atomi, ma sono spostati verso l'elemento più elettronegativo che assumerà una carica parzialmente negativa, mentre l'altro sarà parzialmente positivo.
I legami polari possono rendere le **molecole polari** (dipoli).
Anche in questo caso possiamo avere legami semplici, doppi o tripli.

Legame ionico

Il legame ionico è un legame di natura elettrostatica tra ioni di segno opposto.
Un elettrone di un elemento viene strappato e trasferito all'elemento più elettronegativo: l'atomo che perde l'elettrone diventa uno **ione positivo**, mentre quello che lo acquista diventa uno **ione negativo**. I due ioni poi vengono attirati da forze elettrostatiche.
In realtà, ogni ione positivo è circondato da diversi ioni negativi e viceversa, in modo da formare un **reticolo cristallino** tipico dei sali, caratterizzati da durezza ma, contemporaneamente da fragilità, oltre che da elevata solubilità in acqua.
Complessivamente, un **composto ionico**, pur essendo formato da ioni, è neutro dal punto di vista elettrico.

Legame metallico

In prima approssimazione, i metalli possono considerarsi costituiti da un **reticolo dei nuclei atomici circondati dagli elettroni più interni, immersi in un "mare di elettroni" (o gas elettronico)**, messi in comune a tutta la struttura, che impedisce la repulsione delle cariche positive.
La particolare struttura conferisce le tipiche proprietà dei metalli, come la conduzione di corrente, la lucentezza, la duttilità e la malleabilità.

Legami intermolecolari

I legami visti in precedenza sono interatomici, cioè costituiti tra atomi per formare le molecole; qui invece sono trattati i legami tra molecole, **legami deboli di natura elettrostatica**.
Queste forze sono responsabili dello stato liquido e solido di molti composti.
Tra le interazioni deboli riveste particolare importanza il **legame idrogeno**, caratteristico di molti composti biologici, oltre a conferire specifiche proprietà all'acqua.
Il legame idrogeno si stabilisce tra una molecola che possiede un atomo di idrogeno legato covalentemente ad un atomo molto elettronegativo, e la parte negativa di un'altra molecola.

Nomenclatura

Idruri

Composti binari derivanti dall'unione dell'idrogeno con un metallo oppure con un non metallo (o semimetallo) non appartenente al gruppo VII.

metallo/non metallo + H_2 → **idruro**

Si riconoscono perché sono formati da due elementi e terminano con H.

Idracidi

Sono un particolare tipo di idruri derivanti dall'unione dell'idrogeno con un alogeno o con lo zolfo.

alogeno + H_2 → **idracido**

Sono formati da due elementi e iniziano con H.

Ossidi

Gli ossidi, o **ossidi basici**, derivano dall'unione di un metallo con l'ossigeno:

metallo + O_2 → **ossido**

Si riconoscono perché sono formati da due elementi e terminano con O.

Anidridi

Le anidridi, o **ossidi acidi**, derivano dall'unione di un non metallo con l'ossigeno:

non metallo + O_2 → **anidride**

Si riconoscono perché sono formati da due elementi e terminano con O.

Perossidi

Si tratta di ossidi particolari con **due atomi di ossigeno legati tra loro**. Sono composti instabili perché tendo a perdere l'ossigeno che hanno in più.

Idrossidi

Sono composti ternari che derivano dall'unione di un ossido basico con l'acqua:

ossido + H_2O → **idrossido**

Sono composti da tre elementi e terminano con OH.

Acidi

Gli acidi (**ossiacidi**) sono composti ternari che derivano dall'unione di un ossido acido (anidride) con l'acqua:

anidride + H_2O → **acido**

Sono composti da tre elementi e iniziano con H.

Sali

Sono composti da un metallo con un non metallo (sali binari) ed eventualmente l'ossigeno (sali ternari).

idrossido + acido → sale + H_2O

Soluzioni

La soluzione è una miscela omogenea di due o più componenti:

- il **solvente**, che è il componente in quantità maggiore (o quello che ha la stessa fase della soluzione finale);
- il **soluto**, presente in quantità minore.

Si chiama miscibilità la proprietà di due liquidi di sciogliersi uno nell'altro.
Per potersi sciogliere il soluto deve avere affinità con il solvente, infatti, «**il simile scioglie il suo simile**»: **un soluto polare si scioglie in un solvente polare**, mentre **un soluto non polare si scioglie in un soluto non polare**.
Si definisce solubilità la quantità massima di soluto che può essere sciolta nel solvente ad una determinata temperatura.
Una sostanza solida che si scioglie facilmente nel solvente è detta **solubile** per quel solvente; se non si scioglie è detta **insolubile**.
La solubilità dipende:

1. dalla **natura del solvente**;
2. dalla **natura del soluto**;
3. dalla **temperatura**.

Per quanto riguarda la temperatura, ciò dipende dall'energia cinetica delle molecole, la cui agitazione favorisce gli scontri tra particelle.

Non si può sciogliere una sostanza all'infinito: superato un certo limite, quando la soluzione è **satura**, il soluto in eccesso precipita come **corpo di fondo**.
Diversamente dai solidi e liquidi, la solubilità di un **gas** in un liquido diminuisca all'aumentare della temperatura.
Questo si spiega con il fatto che, all'aumentare della temperatura, le molecole di gas hanno una maggiore energia cinetica e perciò sfuggono più facilmente.
A parità di temperatura e quantità di soluto, la **velocità di solubilizzazione** dipende da diversi fattori:
Suddivisione dei cristalli: un composto suddiviso, avendo una maggiore superficie esposta, è più facilmente idratabile.
Agitazione: mescolare il soluto lo porta più rapidamente a contatto con le particelle di solvente, allontanando le particelle di soluto già in soluzione.
La velocità di solubilizzazione dipende anche dall'**energia cinetica** delle particelle perciò è direttamente proporzionale alla temperatura. In questo caso, aumentano gli urti in grado di spezzare i legami del soluto.
La concentrazione, indicata con il simbolo [ ], è la quantità di soluto presente nel solvente o nella soluzione.
In modo generico, una soluzione si dice **concentrata** se è presente una grande quantità di soluto in un certo volume di solvente; nella situazione opposta la soluzione è **diluita**.
Le unità di misura più comuni sono:

g/l,	Grammi di soluto presenti in un litro di soluzione.
molarità (M)	Esprime il numero di moli di soluto in un litro di soluzione. $M = \frac{n}{V}$ dove $n = \frac{g}{PM}$
molalità (m)	Indica il numero di moli di soluto in un chilogrammo di solvente. $m = \frac{n}{Kg_{(solv)}}$

Proprietà colligative

Quando un soluto viene sciolto in un solvente, quest'ultimo subisce dei cambiamenti per alcune proprietà. Le proprietà colligative dipendono dal **numero di particelle di soluto** presenti nella soluzione e non dalla loro natura.
L'acqua pura bolle a 100°C; se si aggiunge un soluto non volatile il suo punto di ebollizione aumenta (**innalzamento ebullioscopico**) in quanto il soluto interferisce con l'evaporazione delle molecole di solvente, trovandosi sulla superficie al posto del solvente. A parità di concentrazione, si ha un maggiore innalzamento se si aggiunge sale rispetto allo zucchero perché il primo si dissocia in due ioni mentre il secondo no.
Allo stesso modo, quando si aggiunge un soluto nell'acqua, che congela a 0°C, si ha un abbassamento del punto di congelamento (**abbassamento crioscopico**) in quanto la presenza del soluto ostacola la solidificazione del solvente; per questo motivo si aggiunge l'antigelo nel radiatore dell'automobile.

Acidi e Basi

La teoria di Arrhenius (1887)

Si definiscono acidi quelle sostanze che in soluzione acquosa si dissociano liberando ioni H^+ e basiche quelle che liberano ioni OH^-.

Ionizzazione dell'acqua

L'acqua pura, spontaneamente si trova ionizzata in piccolissima percentuale, costante per una data temperatura:

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

$[H^+] = 10^{-7}$ e $[OH^-] = 10^{-7}$

Acidità e basicità della soluzione

Poiché l'acqua pura ha una concentrazione di ioni H^+ uguale a quella degli ioni OH^- la soluzione si definisce **neutra**.
Se all'acqua aggiungo H^+, abbiamo H^+ maggiore di OH^- e la soluzione si dice **acida**.
Se aggiungiamo una base all'acqua la soluzione è **basica**.

$[H^+] = [OH^-]$	$[H^+] = 10^{-7}$	soluzione neutra
$[H^+] > [OH^-]$	$[H^+] > 10^{-7}$	soluzione acida
$[H^+] < [OH^-]$	$[H^+] < 10^{-7}$	soluzione basica

Il pH

Per indicare l'acidità o la basicità di una soluzione si fa riferimento alla concentrazione degli ioni H^+ utilizzando una grandezza particolare: il pH.
Il pH è il logaritmo decimale negativo della concentrazione degli ioni H^+.

$$pH = - \log [H^+]$$

Il pH dell'acqua pura è 7, infatti:

$pH = - \log [H^+] = - \log 10^{-7} = 7$

Aggiungendo un acido o una base forte all'acqua si modifica il valore del pH.

soluzione acida	$0 \leq pH \leq 6.99$	$[H^+] > 10^{-7}$ n/l	$[OH^-] < 10^{-7}$ n/l
soluzione neutra	$pH = 7$	$[H^+] = 10^{-7}$ n/l	$[OH^-] = 10^{-7}$ n/l
soluzione basica	$7.01 \leq pH \leq 14$	$[H^+] < 10^{-7}$ n/l	$[OH^-] > 10^{-7}$ n/l

Gli indicatori

Per conoscere sperimentalmente il valore del pH si usa uno strumento elettronico chiamato **piaccametro**; per misurazioni meno precise si possono usare gli **indicatori**, **acidi o basi organiche deboli che modificano il colore a seconda del pH**. Gli indicatori si versano direttamente nella soluzione oppure si trovano su apposite strisce di carta.

Il vulcano

Il vulcano è una spaccatura della crosta terrestre attraverso la quale vengono emessi, in modo continuo o discontinuo, materiali solidi e fluidi ad elevata temperatura.
I vulcani **attivi** manifestano la loro attività in modo continuo o ad intervalli brevi o lunghi anche centinaia di anni.
Sono invece vulcani **quiescenti** i vulcani che hanno avuto un'attività eruttiva negli ultimi secoli, come i Campi Flegrei, Ischia, ed emettono ancora gas e vapore acqueo.
Quando un vulcano non erutta da qualche millennio, si può considerare **estinto**. Ad esempio, si considerano estinti i vulcani dei Colli Laziali e il Monte Amiata.

Il magma e la lava

Un vulcano è alimentato dal **magma**, un fuso di silicati ad alta temperatura che, risalendo dalle zone superiori del mantello o dalla crosta profonda, assume il nome di **lava**.
I magmi possono essere ricondotti sostanzialmente a due tipologie: **acidi** e **basici**, in base alla percentuale di silice; tra i due estremi si possono avere tutte le composizioni intermedie.
La lava ha una composizione diversa rispetto a quella del magma di partenza, perché durante la risalita perde parte dei componenti volatili e ingloba materiale proveniente dal camino vulcanico.

Struttura del vulcano

Un tipico vulcano presenta una **camera magmatica**, dove si accumula la lava risalita dalle zone profonde. La camera è collegata con l'esterno tramite un **camino vulcanico**, che si apre in corrispondenza di una **bocca** centrale e, a volte di bocche laterali. Quando la bocca è di grandi dimensioni si chiama **cratere**. La forma specifica del vulcano, cioè l'**edificio vulcanico**, dipende dal tipo di lava.
I vulcani non sono soltanto **subaerei**, ma esistono anche quelli **sottomarini**, dove è più difficile seguirne l'evoluzione. I vulcani sottomarini possono far gorgogliare e intorbidare l'acqua, produrre onde sismiche e, in qualche caso, generare nuove isole.

Meccanismo e fasi di eruzione

L'**eruzione** si manifesta con l'emissione di materiali solidi o fluidi, di cui possiamo ricostruire le diverse fasi.

Risalita del magma e ristagno nel deposito

Il magma, una volta che si è originato, può rimanere per lungo tempo nel luogo dove si è formato, finché non intervengono alcuni fattori a modificare l'equilibrio. Ad esempio, a causa di un aumento di temperatura o di una diminuzione della pressione litostatica, il fuso si sposta in superficie. Il magma in risalita crea dei corpi a forma di goccia chiamati **diapiri magmatici**, che si intrudono sfruttando fratture preesistenti o creandone di nuove; vanno poi a fermarsi, per un periodo di tempo più o meno lungo, nella camera magmatica, dove trovano condizioni di equilibrio.
Durante il periodo di ristagno nella camera magmatica inizia la cristallizzazione del magma con conseguente modificazione della sua composizione.

Fase premonitrice

L'eruzione può essere preceduta da scosse sismiche, boati, rigonfiamento del terreno, modificazioni della temperatura del suolo, prosciugamento o riscaldamento di sorgenti, ecc.

Fuoriuscita degli elementi volatili con esplosioni

Soprattutto nei vulcani acidi si hanno esplosioni violente, dovute alla pressione dei vapori sotterranei, che sbloccano il camino vulcanico con la riapertura del cratere. Dalla bocca escono dense nubi di vapori insieme a ceneri e lapilli. Con la lava basica, invece, la fuoriuscita dei vapori è tranquilla.

Fase di eruzione

È la fase di fuoriuscita della lava che, trovando il condotto libero, può facilmente uscire dal cratere formando **colate** laviche più o meno grandi.
L'innesco dell'eruzione è dato dall'azione dei gas disciolti nel magma, che si comportano secondo un meccanismo analogo a quello che si verifica in una bottiglia di spumante quando viene stappata: l'anidride carbonica disciolta nello spumante, quando si toglie il tappo, viene a trovarsi improvvisamente ad una pressione inferiore, perciò forma bollicine che uscendo trascinano lo spumante. Allo stesso modo, il magma, quando diminuisce la pressione a causa di una fenditura, libera i gas che risalendo trascinano il magma stesso.
Pertanto, un'eruzione avviene quando si verifica una delle seguenti condizioni:
Aumento della tensione dei gas: è la conseguenza della solidificazione del magma perché la formazione dei cristalli riduce lo spazio disponibile.
Diminuzione della pressione esterna: si ottiene con la fessurazione delle rocce della camera sovrastante o per l'intrusione laterale di parte della colonna di lava che provoca una diminuzione di pressione della restante parte.

Fase di emanazione

Quando il vulcano entra in uno stato di quiete si ha un'emissione di gas e vapori a temperatura abbastanza elevata.

Prodotti dell'attività vulcanica

Prodotti solidi

I prodotti solidi dell'attività vulcanica si chiamano **materiali piroclastici**. Sono i frammenti di lava scagliati in aria dall'eruzione che, generalmente, si raffreddano prima di toccare il suolo.
I frammenti più grandi, da un decimetro a qualche metro, sono le **bombe vulcaniche**, strutture di forma arrotondata che, raffreddandosi in superficie mentre roteano velocemente in aria, esplodono a causa della pressione interna dei gas rimasti intrappolati.
I **lapilli** hanno una dimensione di qualche centimetro mentre, in ordine decrescente, abbiamo le **ceneri** (grandi come un granello di sabbia) e le **polveri**.
Quando le ceneri si depositano formano i *tufi*, mentre le rocce costituite da lapilli e bombe sono dette *brecce*.
In alcuni casi, si possono formare le **nubi ardenti**, dove i piroclasti, mescolati ad una grande quantità di gas, non vengono gettati in alto, ma ricadono rapidamente lungo i fianchi dell'edificio rotolando a grandissima velocità.

Prodotti liquidi

I prodotti liquidi sono le **lave**.
Le lave **basiche**, relativamente povere di silice (<52%) e gas, sono molto calde (1000-1200°C) e fluide, per cui si espandono facilmente formando estese colate.
Le lave **acide**, ricche di silice (>66%) e di componenti volatili, hanno una temperatura di 800-1000°C, relativamente più fredda rispetto alle precedenti. L'elevato contenuto in silice le rende molto viscose e per questo scorrono con difficoltà, ristagnando nei pressi dell'edificio vulcanico.
La lava **pahoehoe** (in hawaiano: ci si può camminare sopra a piedi nudi), tipica dei vulcani hawaiani, si forma quando è molto fluida e si presenta con superfici ondulate e molto levigate. Se la lava, solida ma ancora plastica, è trascinata da quella sottostante, si arriccia in pieghe e forma la **lava a corde**.
La **lava a scaglie o scoriacea**, in hawaiano "**aa**" (non si può camminare sopra a piedi nudi), è formata da piccole scaglie dovute al raffreddamento di una massa mediamente viscosa che rendono la superficie scabrosa e ricca di cavità.
Quando la lava è molto viscosa si raffredda formando la **lava a blocchi**, che vengono fatti rotolare dalla spinta del materiale ancora fluido che avanza.
La **lava a cuscini** (*pillow*) è costituita da grossi blocchi arrotondati, a volte con un peduncolo nella parte inferiore, che si formano durante le eruzioni basaltiche sottomarine.

Prodotti aeriformi

I prodotti aeriformi sono i **gas** emessi dai vulcani a causa della degassazione della lava.
Il componente volatile più comune è il vapore acqueo, seguito da anidride carbonica, anidride solforosa, monossido di carbonio, composti di azoto, cloro e fluoro.
Queste sostanze sono prodotte da vulcani attivi, ma anche da quelli quiescenti o in fase di estinzione.

Attività vulcanica

Attività effusiva

È tipica dei vulcani che emettono **lave basiche**. In genere i prodotti piroclastici sono scarsi, mentre c'è un'intensa produzione di lava fluida che scende velocemente dai pendii poco inclinati, espandendosi a grandi distanze. I gas si liberano facilmente in modo graduale.

Attività esplosiva

I **vulcani acidi** liberano poca lava che si accumula nei pressi dell'edificio, mentre sono abbondanti i prodotti piroclastici. L'attività è accompagnata da violente esplosioni.

Tipi di edifici vulcanici

Eruzioni a condotto centrale

Le eruzioni centrali derivano dalla fuoriuscita della lava dal camino vulcanico, per cui l'edificio ha una forma pressoché conica, la cui forma e composizione dipendono dal tipo di lava.
I **vulcani a scudo** si formano quando la lava è basica e viene eruttata tranquillamente dando luogo a veri e propri torrenti di lava, per cui presentano una base molto ampia e i versanti sono poco inclinati, come i vulcani hawaiani.
Quando c'è un'alternante emissione di lave e prodotti piroclastici, caso tipico di lave abbastanza acide, si origina uno **strato-vulcano**, con la base relativamente stretta e i pendii abbastanza ripidi, questo perché la lava tende a ristagnare nei pressi dell'edificio. Il Vesuvio e lo Stromboli hanno queste caratteristiche.
A volte può capitare che L'emissione di lava sia così ingente da provocare uno svuotamento della camera magmatica e conseguente sprofondamento dell'edificio vulcanico, perciò si forma una **caldera di sprofondamento**. In seguito la caldera può essere riempita d'acqua, andando a formare un lago. Ne sono un esempio i laghi di Nemi e di Vico.
Le **caldere di esplosione** si formano quando la lava acida si solidifica nel condotto provocando un tappo che viene fatto saltare, insieme al condotto, dalla pressione dei gas sottostanti.

Eruzioni lineari

In corrispondenza delle dorsali sottomarine o di fratture della crosta continentale (come in Islanda), risale direttamente dal mantello superiore lava basaltica molto fluida che si espande su ampie superfici formando, a volte **plateau basaltici**, dovuti alla sovrapposizione di colate successive.

Vulcanesimo secondario

Associati all'attività vulcanica si verificano frequentemente dei fenomeni definiti complessivamente **vulcanesimo secondario**. Le manifestazioni si hanno quando il vulcano è quiescente o in fase di estinzione.

Fumarole: Sono emissioni di vapore acqueo quasi puro, accompagnate da piccole quantità di anidride carbonica e altri gas. Le fumarole che emettono vapore purissimo all'interno di grotte o crepacci nel terreno si chiamano **stufe**.
Solfatare: Sono delle particolari fumarole ricche di acido solfidrico che si deposita attorno alla bocca come zolfo puro.
Mofete: Si tratta di emissioni di anidride carbonica che, essendo più pesante dell'aria, si accumula nella parte bassa vicino al terreno, come si verifica nella Grotta del Cane a Pozzuoli.
Geyser: Getti violenti di acqua bollente e vapore possono fuoriuscire in modo violento e intermittente da fenditure del terreno. Si pensa che si formino quando dell'acqua proveniente da una falda viene a contatto con rocce surriscaldate. A causa della pressione litostatica, non entra subito in ebollizione ma risale fino alla profondità di 10-13 metri dove, per la diminuzione di pressione, si trasforma rapidamente in vapore che esce violentemente.
Soffioni boraciferi: In Toscana c'è un'emissione continua di vapore ad alta temperatura e forte pressione, di ricco di acido borico, che sale sibilando fino ad un'altezza di 20 m. Viene impiegato per far funzionare le centrali geotermiche.
Sorgenti termali: Sono sorgenti d'acqua che sgorgano dal suolo con una temperatura più elevata di quella ambientale. In genere sono ricche di sali minerali provenienti dalla dissoluzione delle rocce che attraversano. Si originano da falde freatiche che scendono in profondità dove incontrano le rocce calde, oppure derivano dalla condensazione del vapore contenuto nel magma.

Distribuzione dei fenomeni vulcanici

La distribuzione dei 500 vulcani attivi non è uniforme, né casuale, ma è concentrata in ben precise fasce corrispondenti ai margini attivi delle placche, come illustrato nelle pagine sulla Tettonica delle Placche.

1. Attorno all'Oceano Pacifico, sul versante occidentale delle Americhe, quello orientale dell'Asia, negli archi insulari del Giappone e Filippine si ha la "**cintura di fuoco**" dove sono concentrati i due terzi dei vulcani attivi. Si tratta delle **zone di subduzione intraoceaniche** e **zone di margine continentale attivo**, dove il vulcanesimo presenta un'attività esplosiva o intermedia.
2. Altre zone ricche di vulcani sono le **dorsali oceaniche**, dove le eruzioni sono quasi totalmente sottomarine, con abbondante emissione di lava basica.
3. Un'area di emissione effusiva è quella delle **fratture intracontinentali** dell'Africa orientale.
4. Un'ultima area è quella dei **punti caldi** intraoceanici e intracontinentale.

Complessivamente si ha un dualismo nell'attività vulcanica:
- nelle **zone di distensione** e nei punti caldi si ha un'attività prevalentemente *effusiva*, con emissione di lave basiche e formazione di vulcani a scudo o eruzioni lineari;
- nelle **zone di compressione** c'è un'attività *mista o esplosiva*, emissione di lave intermedie o acide e formazioni di strato-vulcani.

I Terremoti

Definizione

Un terremoto (o sisma) è uno scuotimento del terreno dovuto al rilascio improvviso di energia elastica in precedenza accumulata dalle rocce.
In un anno si verificano oltre 100000 sismi, la maggior parte dei quali è percepita solo dagli strumenti, ma qualche decina produce danni e perdite umane.

Teoria del rimbalzo elastico

Lo scuotimento del suolo è spiegato tramite la **teoria del rimbalzo elastico**, secondo la quale le rocce, sottoposte a forze compressive, per un certo periodo si comportano da corpi elastici deformandosi impercettibilmente senza spostarsi; superato il *carico di rottura*, cioè la capacità di resistenza, la roccia si spezza oppure, se c'è una **faglia**, si spostano i due blocchi in modo improvviso, liberando istantaneamente tutta l'energia accumulata e producendo vibrazioni che sperimentiamo come terremoto.

Le scosse sismiche

Segni premonitori

Un sisma è preceduto, qualche giorno prima, da piccole **scosse premonitrici**; gli animali si fanno più irrequieti, ci possono essere deformazioni del suolo, cambiamento di regime, portata e torbidità delle sorgenti e dei pozzi, emissioni di radon, diminuzione della resistività elettrica delle rocce, variazione della frequenza dei microsismi, mutamenti anomali del campo elettrico e magnetico.
Spesso i terremoti sono accompagnati da **boati** e da variazioni del campo **magnetico** terrestre. Nel suolo si formano crepacci, dislivelli più o meno profondi, voragini, comparsa e scomparsa di sorgenti.

Evento sismico

Un terremoto si manifesta con una **scossa principale**, seguita da **scosse di assestamento** o **repliche**, in genere di debole intensità ma che possono provocare gravi danni agli edifici già lesionati dalla scossa principale. La durata delle scosse è sempre di pochi secondi.
In prossimità dell'epicentro le onde sismiche P ed S (vedi la pagina sulle onde), ma soprattutto le P perché la vibrazione è parallela alla direzione di propagazione, quando arrivano alla superficie producono oscillazioni in senso verticale percepite come **scosse sussultorie**; nelle zone più lontane si evidenziano maggiormente le onde superficiali che producono **scosse ondulatorie**.
Questi fenomeni nell'insieme costituiscono l'evento sismico.

Cause dei terremoti

1. La maggior parte dei sismi, e la più pericolosa, è di origine **tettonica**, cioè si formano lungo le faglie dei margini attivi delle placche a causa del loro reciproco spostamento (vedi le pagine sulla Tettonica).
2. In prossimità dei **vulcani**, il movimento di masse laviche sotterranee nell'imminenza di un'eruzione può produrre vibrazioni del terreno.
3. Una parte infinitesima dei sismi è dovuta a **crollo** di caverne, soprattutto nelle zone carsiche. Pur avendo ipocentro superficiale gli effetti sono limitati.
4. Pochissimi sono quelli provocati dalla caduta di **frane** o in genere, dallo spostamento di grandi masse rocciose. Si tratta di sismi di limitata estensione e intensità.

Ipocentro ed epicentro

Il punto in cui si origina il terremoto è detto **ipocentro**; il corrispondente punto in superficie sulla verticale si chiama **epicentro**. L'ipocentro può essere:

- **superficiale**, quando la profondità arriva fino a 70 km; in questa fascia si concentra il 75% dei sismi;
- **intermedio**, con profondità fino a 300 km; vi appartiene il 22% dei sismi;
- **profondo**, se si verifica da 300 km fino alla base del mantello superiore (circa 700 km); in questa zona si ha circa il 3% dei terremoti.

Un terremoto ad ipocentro superficiale dà fenomeni più intensi ma più localizzati rispetto a quello con ipocentro profondo.

Le onde sismiche

Dall'ipocentro hanno origine le **onde sismiche**, vibrazioni del terreno che si irradiano in tutte le direzioni, per questo sono chiamate **onde di volume**. Queste onde, a loro volta, si dividono in **onde P** ed **onde S**.
Le **onde P**, onde prime longitudinali molto veloci , sono prodotte dall'oscillazione della roccia nella stessa direzione della propagazione, provocandone cambiamenti di volume e di forma. Esse attraversano sia i solidi che i fluidi e sono le responsabili del rombo cupo che si avverte all'inizio del terremoto.
Le **onde S**, onde seconde traversali più lente delle precedenti, hanno la direzione di oscillazione perpendicolare alla direzione di propagazione e modificano solo la forma della roccia. Esse non si propagano nei fluidi.
Quando le onde di volume raggiungono la superficie danno origine sull'epicentro ad altre onde lente, le **onde superficiali**, anche queste divise in due categorie.
Le **onde R** (*Reyleigh*) oscillano perpendicolarmente al terreno, come le onde marine, producendo movimenti ellittici del terreno in piani orientati nella stessa direzione di propagazione dell'onda.

Le **onde L** (*Love*) oscillano trasversalmente rispetto alla direzione di propagazione (alcuni autori indicano come onde L, lunghe, quelle superficiali nel loro insieme).
Le onde superficiali sono molto più lente rispetto alle precedenti, ma sono le responsabili dei danni prodotti dal terremoto.

Il sismografo

Quando si verifica un sisma le onde si propagano su tutta la Terra e vengono registrati da strumenti detti **sismografi**.
Un sismografo è formato da una massa con un pennino, oscillante in una direzione, che scrive su un rullo di carta rotante solidale con il suolo, lasciando una traccia detta **sismogramma**. Poiché le onde possono arrivare da diverse direzioni, occorrono almeno tre sismografi in grado di registrare le oscillazioni secondo le tre direzioni dello spazio. Attraverso il sismogramma possiamo ricavare parecchie notizie utili riguardo al terremoto.

Localizzazione dell'epicentro

Per determinare l'epicentro si sfrutta la differenza di velocità tra le onde P e le onde S. Infatti, quanto più è elevato l'intervallo di tempo fra l'arrivo dei due tipi di onde, tanto più è distante l'epicentro del terremoto.
In pratica, la **distanza** si stabilisce utilizzando un grafico su cui sono riportati in ordinata i tempi e in ascissa le distanze; sul grafico sono tracciate due curve, dette **dromòcrone**, indicanti i tempi di propagazione in funzione della distanza. Sovrapponendo a questo grafico il sismogramma, si determina l'intervallo di tempo tra l'arrivo delle due onde, al quale corrisponde in ascissa la distanza del sisma dall'epicentro.
Rimane ora da stabilire la **posizione**. Per fare questo occorre prima conoscere la distanza da almeno tre stazioni di rilevamento sismico. Si tracciano poi, a partire dalle tre stazioni, tre circonferenze con il raggio corrispondente alla distanza stabilita: il punto d'intersezione indica l'epicentro.

La magnitudo e la scala Richter

Un terremoto libera una grande quantità di energia che può essere misurata in modo indiretto utilizzando la **magnitudo**. Si tratta di una grandezza che si ricava dal sismogramma confrontando l'ampiezza massima dell'onda registrata con quella di un terremoto campione, tenendo conto della distanza ricavata con il metodo delle dromocrone. Attraverso una formula empirica si giunge finalmente a ricavare la **quantità di energia** liberata dal terremoto. Poiché la magnitudo dà un'indicazione dell'energia liberata dal sisma, il suo valore risulta uguale indipendentemente dal luogo dove è stata effettuata la misurazione.
I valori della magnitudo sono riportati nella **scala Richter**, una scala logaritmica in cui tra un grado e il successivo c'è una differenza di 10 volte dell'ampiezza del movimento del terreno e di circa 30 volte dell'energia liberata. Questa scala non ha un limite superiore, ma finora i più grandi sismi registrati non hanno superato il valore di 8,9.

L'intensità e la scala Mercalli

Gli effetti di un terremoto non dipendono solamente dall'energia liberata ma anche dalla profondità dell'ipocentro, dalla natura del terreno, dalla distanza dall'epicentro, dalla quantità e tipo di edifici costruiti.
L'**intensità** del terremoto è perciò la misura dei suoi effetti distruttivi, rilevati attraverso la **scala Mercalli-Càncani-Sieberg** (**MCS**). Questa è costituita da 12 gradi dove i valori più piccoli non sono avvertiti dall'uomo, mentre il più grande porta alla distruzione di ogni opera umana. La scala non può ovviamente essere utilizzata dove non ci sono costruzioni, come ad esempio in mare aperto o in zone desertiche.
Quando si è avuto un terremoto, si procede alla rilevazione dei danni e si costruisce una carta delle **isosisme**, cioè delle linee che congiungono i punti con la stessa intensità sismica. Allontanandoci dall'epicentro l'intensità diminuisce, ma le linee non formano delle perfette circonferenze concentriche perché la struttura del terreno non è omogenea.

Da quanto detto sopra appare chiaro che le due scale non sono direttamente confrontabili perché la magnitudo è una valutazione oggettiva dell'energia liberata dal terremoto, mentre l'intensità si basa su una valutazione empirica basata sui danni e perciò più soggettiva e non applicabile ovunque.
Una corrispondenza tra i valori delle due scale non può perciò che essere approssimativa.

Effetti del terremoto

Scuotimento del terreno: L'effetto diretto evidente di un terremoto è lo scuotimento del suolo che provoca la distruzione dei manufatti umani la cui entità dipende, come detto in precedenza, dall'intensità e dalla durata delle vibrazioni, dalla natura del terreno, dalle caratteristiche degli edifici.
Formazione di crepacci: In presenza di un terremoti si possono avere dislocazioni verticali, orizzontali o oblique di imponenti tratti di terreno lungo le faglie.
Frane: Quando un terremoto si verifica in zone montuose, se i versanti non sono stabili, specialmente in situazioni di franappoggio, può innescare un movimento franoso, come si è verificato in Friuli e in Irpinia.
Liquefazione del terreno: Un terremoto può allontanare l'acqua presente nei pori dei sedimenti, facendo perdere la loro coerenza e trasformandoli in una specie di melma su cui sprofondano gli edifici.
Incendi: Alla distruzione dovuta alle onde sismiche si aggiungono spesso incendi prodotti dalla combustione delle strutture in legno, innescati anche dalla caduta delle linee elettriche e alimentati dall'esplosione delle tubature del gas.

Distribuzione dei terremoti

Il maggior numero di sismi si verifica in una fascia disposta lungo i bordi dell'Oceano Pacifico, detta **cintura di fuoco**, corrispondente anche alla distribuzione dei vulcani. L'ipo-

centro va da superficiale a profondo, come prevede la teoria della Tettonica delle Placche.
Una seconda fascia corrisponde alle **catene montuose** che vanno dal Mediterraneo all'Himalaya. L'ipocentro ha una profondità intermedia.
Infine, una terza fascia corrisponde alle **dorsali oceaniche**, dove gli epicentri sono superficiali.

Maremoto

Un'eruzione sottomarina o una frana prodotta da vibrazioni del fondale marino (**maremoto**) producono un'**onda anomala**, alta un metro circa ma con lunghezza d'onda di un centinaio di chilometri e molto veloce, che nel punto di origine appare di poco rilievo ma quando giunge in prossimità della costa, a causa dell'attrito, si solleva anche oltre i 30 metri (**Tsunami**) abbattendosi in modo violento sulla costa con effetti disastrosi.

Bradisismi

La superficie terrestre è soggetta a lentissime oscillazioni che diventano percettibili solo dopo lungo tempo. **Si tratta di movimenti di abbassamento e innalzamento di zone più o meno vaste della crosta terrestre che vengono denominati bradisismi**.
Si chiamano **bradisismi positivi** i movimenti che avvengono dall'alto verso il basso e quindi provocano un abbassamento del terreno o innalzamento del livello marino con cambiamento della linea di spiaggia. I **bradisismi negativi** si compiono dal basso verso l'alto con innalzamento delle terre emerse e quindi un ritiro del mare dalla costa primitiva. Quando un'area è interessata da un succedersi di abbassamenti e innalzamenti del terreno abbiamo i **bradisismi alternati**.

Bradisismi locali

I bradisismi locali interessano aree limitate che possono **sollevarsi** per:

- passaggio dallo stato anidro allo stato idrato di alcuni minerali con conseguente aumento di volume della massa rocciosa come ad esempio l'anidrite che diventa gesso;
- assorbimento di acqua da depositi di torba essiccata;
- assorbimento di acqua da rocce argillose;
- dilatazione di rocce a causa di reazioni chimiche esotermiche o di fenomeni vulcanici.

Gli **abbassamenti** sono dovuti a:

- passaggio dallo stato idrato a quello anidro di alcuni minerali, di torba o di argille con diminuzione di volume;
- assestamento di depositi alluvionali per compressione dovuta al carico degli strati sovrastanti; si parla allora di **subsidenza**;
- solubilità di alcuni minerali delle rocce;
- emanazioni gassose o idrotermali;
- prelevamento di ingenti quantità di liquidi o di gas.

Bradisismi regionali

I bradisismi regionali si manifestano su territori molto estesi e perciò vengono anche chiamati **movimenti epirogenetici**.
Questi movimenti possono essere causati da:

- aumento di volume di masse crostali per sviluppo di calore prodotto dal decadimento di minerali radioattivi;
- spostamento di correnti magmatiche;
- scioglimento o accumulo di grossi depositi glaciali (principio dell'**isostasia**).

Effetti

Conseguenze rilevabili dei bradisismi le ritroviamo in molte località della Terra. Sono stati infatti trovati, sotto il livello dei mare, resti di antiche città o di alberi di foreste ancora radicati, antiche valli glaciali come i fiordi della Norvegia, grotte litoranee completamente sommerse. Osserviamo invece sopra il livello marino rocce perforate da litodomi o abrase dal mare, costruzioni coralligene o depositi di conchiglie, antichi porti prosciugati.
Nelle coste l'azione erosiva del mare origina dei terrazzi marini; in molte località si trovano vecchie piattaforme a centinaia di metri sopra il livello marino.
Nella Pianura Padana, nella zona costiera tra Venezia e Ravenna, si ha uno sprofondamento di circa 1 millimetro all'anno. Questo fenomeno può essere accelerato dall'uomo per prelievo di acqua o gas.
Un esempio di bradisismo alternato è quello che possiamo vedere nei Campi Flegrei vicino a Pozzuoli. In questa località si trovano i ruderi di un tempio costruito nel II sec. d.C. e dedicato a Giove Se rapide. Nelle colonne si osservano fino ad un'altezza di 5.6 m, perforazioni di litodomi, cioè molluschi marini che scavano nicchie in rocce calcaree costiere. Il movimento sarebbe provocato da spostamenti di masse di magma poste solo a qualche chilometro di profondità.

L'interno della Terra

La crosta

La **crosta continentale**, che comprende la superficie dei continenti e la piattaforma continentale fino alla scarpata, presenta uno spessore medio di 30 – 40 km, ma può superare gli 80 km sotto le grandi catene montuose, con una densità media di 2,7 g/cm^3. La parte più superficiale è formata principalmente da rocce acide ricoperte da uno spessore variabile di sedimenti.
La **crosta oceanica** ha uno spessore di 6 – 8 km, con una composizione più basica rispetto alla crosta continentale, una densità più elevata, che si aggira intorno ai 3 g/cm^3, ed è abbastanza giovane, non raggiungendo i 200 milioni di anni.

Il mantello

Il mantello si estende da 30 a 2900 km di profondità. Esso può essere suddiviso in due parti: il **mantello superiore**, fino a circa 700 km, e il **mantello inferiore**, fino alla discontinuità di Gutenberg. Le onde sismiche hanno individuato un'ulteriore suddivisione del mantello superiore. Subito sotto la Moho c'è il **mantello litosferico**, molto rigido e denso; tra i 70 e i 200 km si trova lo **strato a bassa velocità**, dove le onde rallentano.

Il nucleo

A 2.900 km di profondità si trova il nucleo, che le onde sismiche evidenziano suddiviso dalla *discontinuità di Lehmann* in: **nucleo esterno**, allo stato fuso, con un raggio di circa 2270 km; **nucleo interno**, rigido ed elastico, dello spessore di 1200 km, con una temperatura prossima al punto di fusione, ma che si comporta come un solido per l'elevatissima pressione. Si suppone che il nucleo sia composto essenzialmente di ferro, probabilmente mescolato con silicio e zolfo e con altri metalli come il nichel.

Litosfera e astenosfera

Utilizzando la differenza di stato fisico, invece che quella di composizione, si possono distinguere i seguenti strati: litosfera, astenosfera, mesosfera e nucleo.
La **litosfera** è lo strato più superficiale mobile, rigido ed elastico della Terra, che comprende la crosta e il mantello litosferico. Ha uno spessore di circa qualche chilometro sotto i bacini oceanici e 110 - 130 km sotto i continenti.
Sotto la litosfera c'è uno strato che termina a 200 km di profondità, dal comportamento più plastico, l'**astenosfera**, in cui le rocce, della stessa composizione del mantello litosferico, si troverebbero allo stato parzialmente fuso.

Paleomagnetismo e apparente spostamento dei poli

Le informazioni sul campo magnetico del passato possono essere ricavate dallo studio delle rocce, in particolare di quelle che contengono minerali ferrosi (magnetite, ematite); questo fenomeno è detto **paleomagnetismo**.
Gli atomi possono orientarsi, se ne hanno la possibilità, secondo il campo magnetico del luogo in cui si trovano e la loro posizione rimane "fossilizzata" quando la roccia si è completamente solidificata. Se si osserva l'orientamento dei minerali ferrosi all'interno delle rocce, si nota che, nella successione delle epoche, essi presentano una disposizione differente, come se il polo nord magnetico si fosse progressivamente spostato. Da qui si possono formulare due ipotesi: o i poli magnetici si sono spostati nel corso del tempo, oppure si sono spostati i continenti. Effettivamente i poli possono spostarsi, ma senza allontanarsi di molto dai poli geografici. Se non sono stati i poli a **spostarsi devono necessariamente essersi spostati i continenti**, e questa è una delle prove a favore della Tettonica delle Placche.
Il campo magnetico non mantiene sempre la medesima orientazione, ma subisce una **inversione di polarità** (il polo nord diventa polo sud e viceversa) mediamente ogni mezzo milione di anni. Metà, infatti, delle rocce studiate presenta una magnetizzazione opposta a quella attuale.

La teoria della deriva dei continenti di Wegener

La scienza, che non poteva prescindere dalle indicazioni provenienti dalla Bibbia, nell'antichità e nel medioevo considerava le catene montuose assolutamente immutabili, create da Dio con il resto del mondo.
Alfred Wegener (1880 - 1930), geofisico e meteorologo tedesco, sistemando in modo organico i dati acquisiti dagli studi precedenti, formulò la **teoria della deriva dei continenti**, che espose nel 1912 a Francoforte.
Wegener supponeva che 200 milioni di anni fa esistesse un unico grande continente, la **Pangèa**, circondato dall'oceano **Panthàlassa**, che si sarebbe suddiviso in blocchi. Questi blocchi continentali avrebbero iniziato a migrare sulla superficie terrestre, comportandosi come delle **zattere** di crosta che galleggiano sul mantello andando alla deriva.
A causa dell'attrito e della compressione della crosta sul sial, i bordi continentali si sarebbero incurvati originando le **catene montuose**.
Tra le prove, ricordiamo la **combaciabilità fra le coste dei continenti**, la **correlazione tra le successioni stratigrafiche** e anche **tra le catene montuose**, la **testimonianza dei fossili** rinvenuti nei diversi continenti (si era in precedenza ipotizzata la presenza di ponti continentali), la presenza di **tracce della glaciazione** paleozoica anche all'equatore.
Le critiche all'ipotesi di Wegener erano dovute al fatto che il meccanismo proposto per lo spostamento dei continenti, cioè la **forza centrifuga prodotta dalla rotazione terrestre**, non era sostenibile.

L'ipotesi di Holmes

Arthur Holmes nel 1931 ipotizzò che la parte esterna della Terra fosse composta da tre involucri. Poiché l'attività vulcanica non riesce a dissipare il calore prodotto dal decadimento radioattivo, il calore in eccesso genera delle **correnti convettive** nel mantello, che risalgono sotto i continenti. Dove le correnti divergono si ha la frantumazione del continente, con l'allontanamento dei blocchi: è questo il modo in cui si sarebbe frantumata la Pangea, dando una spiegazione molto più convincente rispetto a quella fornita da Wegener per la deriva dei continenti.

L'ipotesi di Hess

Harry Hammond Hess (1906 - 1969), integrò i dati provenienti da nuove scoperte geofisiche e nel 1960 formulò la teoria della **espansione dei fondali oceanici**. Hess suppose che le dorsali corrispondessero alle correnti convettive ascendenti di Holmes, dove si verificava un fenomeno di divergenza, e si creava continuamente nuova crosta oceanica con la lava proveniente dal mantello. Le fosse, invece, corrispondevano al ramo discendente di una cella convettiva, dove la crosta veniva passivamente trascinata nel mantello per essere rifusa. Dal momento che la Terra non aumenta il suo volume complessivo, se c'è creazione di crosta, da qualche parte deve esserci consumazione di crosta in uguale misura.

La tettonica delle placche

J. Morgan, **D. McKenzie** e **R.L. Parker** (1967), riprendendo e organizzando in un quadro unitario le conoscenze sui fenomeni vulcanici e sismici, sulla struttura dell'interno della Terra, sul flusso di calore, sul magnetismo e sul paleomagnetismo sull'espansione dei fondali oceanici, hanno formulato la teoria della tettonica delle placche.
Nella teoria della tettonica delle placche trovano logica spiegazione i fenomeni orogenetici, la formazione dei bacini oceanici e delle fosse, i terremoti profondi e quelli superficiali, i vulcani a chimismo basico e quelli acidi, la nascita delle valli tettoniche e altri aspetti ancora.

Le placche litosferiche e i margini

La superficie terrestre è suddivisa in **sei grandi placche** (di Nazca, Somala, delle Filippine, Araba, di Cocos, Caraibica), e alcune **altre minori** (Cina, Persia, Turchia, Tonga, dell'Egeo, dell'Adriatico, Nuove Ebridi, Juan de Fuca, Rivera e Scotia). Le dimensioni sono quindi assai differenti.
Le placche litosferiche possono comprendere contemporaneamente aree continentali e aree oceaniche, oppure solo le une o le altre.
Ogni placca rigida si muove sull'astenosfera, più plastica, come un'unità a se stante rispetto alle altre, per cui le interazioni tra le placche avvengono lungo i loro margini. Quindi la teoria della tettonica delle placche non è una riformulazione della teoria di Wegener, perché non sono i continenti a spostarsi ma le placche, che possono avere o meno continenti.
Possiamo distinguere tre tipi diversi di margini delle placche.
Margini divergenti, lungo i quali due placche si **allontanano** l'una dall'altra, lasciando spazio per la risalita di magma dal mantello che **forma nuova crosta oceanica**, per questo sono detti anche *costruttivi*. I margini in accrescimento, sono delimitati dalle **dorsali** oceaniche.
Margini convergenti, lungo i quali due placche si muovono **l'una verso l'altra**, provocando la **subduzione** di una placca sotto l'altra, nel caso in cui almeno uno o entrambi i margini siano costituiti da litosfera oceanica I margini in consunzione, detti anche *distruttivi* perché si riassorbe litosfera (solo una delle due placche sprofonda), sono delimitati da **fosse** oceaniche o **catene montuose** recenti.
Margini trasformi, lungo i quali due placche scivolano **orizzontalmente l'una rispetto all'altra**, senza formazione o distruzione di litosfera, per questo si dicono anche *conservativi*. Siccome il movimento relativo lungo la **faglia** è esattamente parallelo alla direzione della faglia stessa, ne segue che le faglie trasformi sono le uniche linee che ci danno la direzione del moto relativo tra le placche.

I margini divergenti: la nascita di un oceano

La formazione di un oceano comprende varie fasi:
Inarcamento iniziale. A causa di una risalita di magma dalle zone profonde (pennacchio caldo), si forma un'area più calda del normale nel mantello e quindi una diminuzione di densità. Per il principio dell'isostasia si ha un inarcamento della crosta continentale sovrastante, che provoca numerose fratture.
Fossa tettonica. La divergenza sotto il continente tende ad allontanare i frammenti di litosfera fratturata, spinti anche dal magma in risalita. Si crea così uno spazio dove i blocchi fratturati sprofondano per il riequilibrio isostatico, formando grandi valli a gradinata, limitate da faglie, le **fosse tettoniche** (*rift valley* o *rift*). La grande Rift Valley dell'Africa orientale rappresenta una struttura di questo tipo.
Fiumi, laghi allungati, laghi salati. Lungo la fossa tettonica si formano corsi d'acqua che, localmente, si allargano a formare laghi di forma stretta e allungata. Nelle zone più depresse, se non c'è un emissario i bacini diventano salati a causa dell'evaporazione dell'acqua. Esempi di laghi tettonici allungati sono i grandi laghi dell'Africa orientale (Turkana, Edoardo, Alberto, Kivu, Tanganica, Niassa), e il lago Bajkal, in Siberia.
Terremoti superficiali e vulcanismo basico. In corrispondenza delle fosse tettoniche avvengono terremoti a ipocentro superficiale, mentre lungo le fratture tra i blocchi possono iniettarsi magmi di origine profonda, che fuoriescono dando luogo a manifestazioni vulcaniche basiche. In superficie si osservano eruzioni lineari con attività effusiva tranquilla.
Mare stretto. La *rift valley* procede nella sua espansione, giungendo fino all'oceano; perciò è invasa dalle acque marine, divenendo un braccio di mare lungo e stretto come il Mar Rosso, originato dalla separazione della Penisola Arabica dall'Africa.
I bordi dei due blocchi continentali ormai sono troppo lontani dal centro di espansione per cui, raffreddandosi, si abbassano, permettendo ai fiumi di riversare i loro sedimenti

nel fondo marino e provocando un'ulteriore sprofondamento del fondale. Il fondo si accresce continuamente perché nuova lava basaltica proveniente dall'astenosfera occupa lo spazio lasciato vuoto dall'allontanamento delle placche.
Dorsale oceanica. È la struttura vulcanica lungo la quale avviene l'allontanamento delle due placche con velocità che va dai 2 ai 10 cm all'anno, e luogo di risalita del magma che va a formare il pavimento del nuovo mare. Proprio a causa del magma, la dorsale si presenta rilevata rispetto al fondale.
Espansione del fondo oceanico. Successivi allontanamenti e riempimenti aggiungono continuamente nuova litosfera oceanica tra le due placche divergenti, formando un ampio bacino oceanico, come l'Oceano Atlantico.

I margini trasformi: faglie trasformi

La dorsale è interrotta e dislocata da zone di frattura, le **faglie trasformi**, che in alcuni luoghi determinano alte e scoscese pareti sottomarine. Nel **margine trasforme** le due placche scivolano l'una rispetto all'altra, senza che vi sia né produzione di crosta, come avviene nelle dorsali oceaniche, né distruzione di crosta, come nelle zone di subduzione.
Queste faglie non sono la causa della dislocazione dei vari tronconi di dorsale, ma rappresentano la conseguenza dell'espansione dei fondali oceanici avvenuta in corrispondenza di ciascun troncone, e dimostrano che l'espansione dei fondali oceanici avviene per fasce separate.
Oltre all'**attività sismica superficiale**, non si verificano fenomeni endogeni di rilievo tranne che a volte è presente qualche vulcano sottomarino.
I margini trasformi sono presenti solamente nelle aree oceaniche, con un'unica eccezione: la faglia di S. Andreas, in California.

I margini convergenti

Convergenza tra due placche con crosta oceanica: sistemi arco-fossa

Quando due placche presentano entrambe crosta oceanica, una delle due, quella un po' più densa, **subduce** sotto l'altra in corrispondenza di una **fossa**.
La rigida placca che sprofonda (si pensa che scenda fino a 700 km prima di essere completamente assimilata nel mantello) si riscalda a causa del gradiente geotermico, diventando più plastica. Il materiale fuso tende a salire perché è diventato meno denso rispetto alla zona circostante, generando un'**attività plutonico-vulcanica** caratterizzata da **eruzioni esplosive** con magma medio-acido sopra il piano di Benioff, accompagnata da **terremoti** con ipocentro che si approfondisce man mano che ci si allontana dalla fossa. In questo modo, sulla placca rimasta in superficie, si forma una serie di vulcani allineati, chiamata **arco magmatico**. L'associazione di fossa di subduzione e arco magmatico è detta **sistema arco-fossa**, come la cintura di fuoco circumpacifica.

Convergenza tra una placca oceanica e una continentale: sistema fossa-cordigliera

Lungo il margine continentale passivo si accumula uno spesso prisma di sedimenti. Il margine continentale si trasforma in una zona attiva di **subduzione**, quando una placca con crosta oceanica comincia a sprofondare sotto il continente. Il limite della zona di sprofondamento è rappresentato da una **fossa oceanica**, lungo la quale si verificano **terremoti a ipocentro sempre più profondo**, man mano che ci si allontana dalla fossa e si è all'interno del continente.
La placca che discende fonde, generando lava di tipo andesitico. Il magma che giunge in superficie dà origine ad **effusioni esplosive andesitiche**. Si forma così un **arco vulcanico** lungo il bordo del continente.
Nella subduzione vengono raschiati i sedimenti accumulati lungo il margine continentale, quando era passivo, e sono compressi e sollevati, dando origine a una catena a pieghe, la **cordigliera** (Ande, Montagne Rocciose canadesi).

Convergenza fra placche continentali: montagne intracontinentali

Quando entrano in collisione due placche continentali, a causa di correnti discendenti di celle convettive, nessuna delle due subduce completamente sotto l'altra, perché la crosta continentale è troppo leggera per affondare nelle rocce dense del mantello. Il risultato di questa convergenza è l'**orogenesi** di una catena montuosa intracontinentale.
Lungo questa fascia l'**attività vulcanica è molto attenuata** e quasi ovunque estinta, mentre rimane forte quella sismica. Si tratta evidentemente di assestamenti delle masse rocciose recentemente sollevate, che si manifestano con **sismi poco profondi** o di profondità intermedia.

Il meccanismo che muove le placche

Si ritiene che la causa fondante del movimento sia una disomogenea distribuzione del calore all'interno della Terra, che provoca la formazione di **celle di convezione** all'interno del mantello. Non si sa però quante siano, se interessino l'intero spessore del mantello, solo lo strato superficiale, oppure celle nel mantello superiore coesistenti con quelle del mantello inferiore.
Alcuni studiosi vedono nei **pennacchi** ascendenti, che sulla superficie terrestre sono evidenziati dai **punti caldi**, la causa della spinta laterale che muove le placche. Si tratta di vulcani isolati all'interno delle placche dove si ha la formazione di un cono che emette lava basaltica. Quando una placca si sposta sopra un punto caldo, che si ritiene immobile, genera una fila di vulcani subaerei che formano isole. Man mano che la placca si muove, trascina le isole, perciò, quelle più lontane, non più alimentate, hanno vulcani spenti. Con il passare del tempo, le strutture diventano meno elevate, vengono sommerse dalle acque e diventano **guyot**, rilievi dalla cima appiattita. L'esempio più interessante è quello delle Hawaii, le cui isole si sono formate a partire da un unico punto caldo. La prima della serie ha vulcani attivi, mentre nelle altre isole sono spenti e geologicamente più antichi.

Le prove della Tettonica

1. **Localizzazione degli ipocentri**. Andando a ricostruire le posizioni calcolate di ipocentri, si è visto che danno la forma di una placca che va in subduzione.
2. **Hot spot**. Se consideriamo le Hawaii, si ha un'isola vulcanica attiva che si sviluppa sopra un punto caldo e una serie di edifici non attivi che si sviluppano nella direzione in cui si sposta la placca. Gli edifici più antichi sono i più lontani.
3. **Datazione dei fondi oceanici**. I sedimenti più giovani sono i più vicini al margine divergente. Non ci sono sedimenti marini più vecchi di 160 milioni di anni, mentre la crosta continentale può arrivare a 4 miliardi di anni. Lo stesso vale per l'età della crosta oceanica, che non supera i 190 milioni di anni.
4. **Paleomagnetismo**. I magnetometri hanno rilevato la presenza dell'alternanza di fasce con polarità, alternativamente inversa e normale, simmetriche rispetto all'asse della dorsale. Inoltre, le rocce continentali indicano una direzione diversa del Nord rispetto all'attuale.

Il modellamento del territorio

Processi morfogenetici

Nel rilievo terrestre esistono elementi strutturali le cui forme sono state create dalle **forze endogene**; sono le cosiddette **strutture primarie:** catene montuose, edifici vulcanici, faglie, dorsali ecc. L'aspetto di questi elementi strutturali però muta nel tempo ad opera degli **agenti esogeni**. L'azione sulle strutture primarie viene definita **modellamento** e **i processi mediante i quali si giunge a una particolare forma del rilievo sono chiamati processi morfogenetici**.
I processi esogeni, come quelli endogeni, richiedono **energia**: mentre l'energia per la dinamica endogena proviene dal calore residuo e dal decadimento degli elementi radioattivi della crosta e del mantello, quella spesa nei processi esogeni proviene dal Sole.

Degradazione fisica

La **degradazione fisica**, detta anche **disgregazione**, essa comporta la **fratturazione** e lo **sgretolamento** della roccia compatta e dà luogo alla formazione di frammenti con una composizione chimica identica a quella della roccia da cui derivano, detta roccia madre.
Il termoclastismo. È provocato da rapide variazioni di **temperatura** durante la giornata. Esse modificano il volume dei minerali della roccia: a un aumento di temperatura corrisponde una *dilatazione termica,* mentre a un rapido raffreddamento fa seguito una *contrazione.* Il processo può avvenire in modo non omogeneo, perché la parte esterna di una roccia si scalda e si raffredda molto più rapidamente della parte interna. Inoltre, le rocce sono miscele di minerali, il cui comportamento, per quanto concerne dilatazione e contrazione, può essere molto diverso.
Il crioclastismo. Detto anche **gelivazione**, è la degradazione causata dal ripetersi di **cicli di gelo e disgelo**. L'alternarsi di fasi di gelo e disgelo può provocare effetti vistosi su rocce impregnate di acqua; infatti questa penetra negli interstizi e, gelando, aumenta di volume ed esercita una pressione notevole nelle cavità che riempie, contribuendo ad aprirle ulteriormente.
L'aloclastismo. È la degradazione operata dai **sali**, che talvolta sono disciolti in concentrazione notevole nelle acque superficiali o sotterranee che penetrano nelle fratture e nei pori delle rocce. Quando l'acqua evapora intensamente, i sali disciolti precipitano e cristallizzano, esercitando una pressione che allarga le fratture, frantumando nel tempo la roccia. E un fenomeno importante lungo le coste battute dal vento.
Il bioclastismo. È la disgregazione meccanica dovuta all'azione degli **organismi**, in particolare dei vegetali. Importante è l'azione delle radici, che si infiltrano nel suolo e nelle spaccature delle rocce, esercitando un'azione meccanica e anche, con le loro secrezioni, un'azione chimica, Tuttavia, le radici stesse impediscono il distacco dei detriti e ne ritardano la rimozione.
Il bioclastismo è anche un processo di alterazione chimica, perché le radici possono sciogliere le rocce per recuperare sali minerali.
A questi processi possiamo aggiungere la **corrasione**, cioè l'azione del **vento**, di cui parleremo più avanti.

Alterazione chimica

La **disgregazione** o **alterazione chimica**, detta anche **disfacimento**, avviene quando i gas atmosferici o le acque reagiscono con i minerali delle rocce, causando la formazione di nuove specie mineralogiche. Si tratta quindi di reazioni chimiche.
Azione dell'acqua. L'**idratazione** di un minerale consiste nell'inglobamento, nella sua struttura, di molecole d'acqua facendone aumentare il volume. L'**idrolisi** è un processo di scissione di un minerale operato dall'acqua. I fenomeni più importanti di idrolisi riguardano i silicati che vengono trasformati in minerali argillosi. La **dissoluzione** è l'azione operata dall'acqua nei confronti di minerali molto solubili, come il salgemma e il gesso.
L'azione dell'ossigeno. L'ossigeno produce l'**ossidazione** di alcuni minerali ferrosi presenti nelle rocce formando patine che conferiscono una tipica colorazione giallastra o rossastra alla superficie esposta della roccia.
L'azione dell'anidride carbonica. La dissoluzione è facilitata dalla presenza di altre sostanze disciolte nell'acqua, per esempio **acido carbonico** derivante dallo scioglimento dell'anidride carbonica in acqua. Le acque che lo contengono esercitano un'azione solvente molto più efficace dell'acqua pura, specialmente sul carbonato di calcio dei calcari. Si realizza così la **dissoluzione dei calcari** con il fenomeno carsico.

Il carsismo

Una particolare forma di modellamento superficiale e sotterraneo causata dall'azione delle acque meteoriche, sorgive e profonde sulle rocce è il carsismo. Il fenomeno prende il nome dal *Carso,* un altopiano delle Alpi orientali, al confine tra Slovenia e Italia, in cui è particolarmente evidente questo tipo di processo. Le regioni in cui si manifesta il carsismo hanno in comune due caratteristiche:

- la presenza di **rocce solubili** (calcari, dolomie o evaporiti);
- **precipitazioni meteoriche abbondanti**.

L'**erosione** carsica è causata dalla **dissoluzione del carbonato di calcio**. Il carbonato di calcio è poco solubile nell'acqua pura, ma le acque meteoriche sono sempre debolmente acide, perché contengono una certa quantità di anidride carbonica ($C0_2$), che in acqua forma acido carbonico (H_2CO_3). L'acido scioglie il calcare ($CaCO_3$) formando il bicarbonato di calcio solubile ($Ca(HCO_3)_2$). Dall'erosione superficiale abbiamo diverse forme caratteristiche.
Le **doline** sono depressioni concave a fondo chiuso (profondità variabile dai 2 ai 200 m e diametro compreso tra i 10 e i 1000 m) che si formano in seguito alla solubilizzazione del

calcare, oppure per il crollo o la subsidenza del terreno, quando nel sottosuolo c'è una cavità.
Spesso sul fondo delle doline vi è un **inghiottitoio**, una sorta di imbuto naturale attraverso il quale l'acqua meteorica penetra nelle cavità sotterranee. Particolarmente note sono le **foibe**, inghiottitoi particolarmente profondi, con pareti verticali
L'erosione allarga continuamente le doline, che molte volte si fondono, producendo depressioni di maggiori dimensioni, chiamate **uvala**.
Nelle zone carsiche si possono osservare anche i **polje**, bacini allungati e molto estesi, con pendii ripidi e fondo piano, che talvolta ospitano piccoli laghi.
I **campi carreggiati** si formano dove il terreno calcareo non è esposto in modo omogeneo all'azione delle acque meteoriche, a causa della presenza di discontinuità, oppure quando l'acqua ristagna su alcune superfici, o ancora quando scorre su un pendio lungo linee preferenziali. Si verifica così un'erosione differenziata, che porta alla formazione di piccoli solchi paralleli, separati da creste appuntite.
L'acqua, penetrando nelle fratture o lungo i piani di stratificazione, ingrandisce le cavità, formando **grotte** e **gallerie** più o meno complesse, all'interno delle quali si può stabilire una circolazione idrica di una certa entità, fino alla costituzione di veri e propri **fiumi sotterranei**, L'acqua allarga le fessure per dissoluzione, ma agisce anche erodendo meccanicamente e causando il crollo del tetto delle cavità in cui scorre. Molte grotte carsiche hanno dimensioni enormi, sono collegate tra loro in modo da formare sistemi che si estendono per molti chilometri e su vari livelli.
La **formazione di depositi** calcarei avviene quando si realizza la **precipitazione del carbonato di calcio**, cioè la reazione inversa rispetto a quella descritta: il bicarbonato di calcio, disciolto nelle acque circolanti in superficie o nel sottosuolo, viene trasformato in carbonato di calcio insolubile che precipita, dando luogo alla formazione di depositi e concrezioni calcaree. Ciò si verifica quando la concentrazione di $C0_2$ contenuto nell'acqua del suolo o sottosuolo diminuisce oppure quando l'acqua evapora secondo la reazione inversa. Nelle grotte carsiche si formano facilmente concrezioni calcaree di suggestiva bellezza. Le **stalattiti** sono prodotte dal lento stillicidio delle gocce d'acqua che cadono dal soffitto della grotta e perdono $C0_2$; hanno in genere una forma conica o cilindrica e si accrescono intorno a un canalino centrale dal cui apice fuoriesce lentamente l'acqua. Le gocce d'acqua che cadono sul pavimento della grotta creano concrezioni chiamate **stalagmiti**, che si accrescono verso l'alto e hanno una forma più tozza delle corrispondenti stalattiti. Stalattiti e stalagmiti possono crescere fino a saldarsi formando **colonne di alabastro**.
Le zone carsiche sono sempre caratterizzate da una notevole **aridità**, perché **manca una circolazione superficiale**, dal momento che l'acqua, erodendo, penetra nello strato roccioso e crea una circolazione sotterranea. Un fenomeno che si osserva spesso nelle regioni carsiche è l'improvvisa scomparsa di corsi d'acqua superficiali che vengono inghiottiti in profondità per riemergere poi in superficie (**risorgenza**), anche a parecchi chilometri di distanza; classico è l'esempio del fiume *Recca* in Friuli, che dopo un percorso sotterraneo di 37 km risorge a 2 km dal mare, con il nome di *Timavo*.

Il suolo

Se i detriti prodotti durante la degradazione delle rocce non vengono asportati, si accumulano in posto formando una colte incoerente, chiamata **regolite**, che ricopre la roccia inalterata, letta **roccia madre**. La parte superiore di questo mantello detritico può poi arricchirsi di **sostanze organiche**, provenienti dalla decomposizione dei testi e dei prodotti di rifiuto degli esseri viventi; in tal modo il mantello detritico evolve in *suolo*.**Il suolo è lo strato incoerente di detriti minerali e di materia organica, ricco di acqua e aria, che sovrasta la roccia madre inalterata**. Si forma per le interazioni chimiche e fisiche, che esistono tra biosfera, litosfera, idrosfera e atmosfera.
Un suolo maturo è sempre formato da:

- una **frazione inorganica**, costituita dai minerali derivanti dalla degradazione della roccia madre, da sali, ossidi, idrossidi ecc., o da detriti trasportati da luoghi diversi;
- una **frazione organica**, che deriva dall'attività e dalla decomposizione degli organismi; il residuo finale della degradazione dei resti vegetali e animali è l'**humus**: una miscela di sostanze di varia natura, prevalentemente organiche in cui non è più riconoscibile alcuna struttura biologica. L'humus è un componente essenziale per la fertilità del suolo e dalla sua presenza dipende la possibilità di sviluppo della vita vegetale. Infatti, contiene molte sostanze nutrienti indispensabili per la vita delle piante e aumenta la capacità del suolo di assorbire acqua. L'humus impedisce che l'acqua scorra via e la restituisce nei periodi secchi, assicurando in questo modo l'umidità necessaria alla vita dei vegetali. L'humus, inoltre, riduce le perdite di acqua per evaporazione e protegge il suolo da variazioni eccessive di temperatura.
- **acqua** e **gas** (O_2 e CO_2) in quantità variabile.

Un suolo maturo presenta una tipica **stratificazione verticale** con una distribuzione caratteristica dei diversi componenti. Gli strati che compongono il suolo sono detti **orizzonti**.
Nel profilo verticale di un suolo ben sviluppato si riconoscono **quattro orizzonti**, indicati dall'alto in basso con le lettere 0, A, B, C.

- L'**orizzonte O** contiene resti organici in una fase iniziale di decomposizione e ancora riconoscibili. La frazione minerale è quasi assente. Nell'orizzonte O vivono una miriade di microrganismi (batteri, funghi, protozoi), insetti, vermi ecc.
- L'**orizzonte A** contiene humus in quantità notevoli, mescolato con una frazione inorganica, costituita prevalentemente da minerali argillosi, quarzo e altre sostanze insolubili. L'humus di questo strato deriva dalla trasformazione dei materiali presenti nell'orizzonte O. Mancano, invece, i composti chimici solubili, che vengono asportati dall'acqua, che durante le piogge penetra nel terreno.
- L'**orizzonte B** non contiene quasi sostanza organica, mentre sono presenti minerali solubili e alterati, provenienti dallo strato sovrastante e portati dall'acqua. Nell'orizzonte B si concentrano facilmente silice e ossidi che colorano il suolo.
- L'**orizzonte C** è formato prevalentemente da argilla e materiali disgregati, derivanti dall'alterazione in posto

della roccia madre sottostante, su cui poggia direttamente. Solitamente i frammenti sono debolmente alterati e scarsamente cementati.
- Il suolo termina sulla **roccia madre** inalterata.

La genesi del suolo, o **pedogenesi**, è influenzata da numerosi fattori.

- La **composizione mineralogica della roccia madre** determina le dimensioni dei minerali presenti nel suolo e la composizione dei detriti e dei materiali inorganici.
- Le **forme del rilievo** (la pendenza del terreno, l'altezza e la conformazione dei rilievi, l'esposizione dei versanti ecc.) influenzano la velocità con cui agiscono gli agenti esogeni nel processo di degradazione meteorica.
- Il **clima** determina l'intensità e il tipo di degradazione prevalente. I fattori climatici più importanti sono *l'umidità* e la *temperatura.*
- Il **regime delle precipitazioni** influisce in particolare sulla *fertilità* del suolo. Infatti, i suoli sono permeabili, anche se in misura diversa, e l'acqua meteorica li attraversa procedendo dall'alto verso il basso. Maggiore è il flusso di acqua, maggiore è la probabilità che i minerali reagiscano e che gli ioni solubili vengano trasportati sempre più in profondità.
- Le **temperature** elevate accelerano la formazione del suolo, perché favoriscono l'alterazione chimica e lo sviluppo dei microrganismi che decompongono e rimineralizzano i resti organici. Nelle *zone tropicali,* dove i batteri hanno uno sviluppo notevole, i detriti sono decomposti e rimineralizzati velocemente, per cui lo strato di humus è molto sottile o manca del tutto; nelle *zone temperate,* dove la decomposizione batterica è ridotta, lo strato di humus può essere discreto e il suolo risulta più fertile. Un tipo particolare di suolo, la **laterite**, si forma nelle regioni a clima caldo umido, con piovosità stagionale elevata. Tutti i silicati vengono alterati, si formano ossidi di alluminio e ferro, mentre argille e quarzo vengono dilavati. L'humus è molto scarso, per la rapida decomposizione dei resti organici. Il suolo è in genere poco fertile e povero di sostanze organiche, manca inoltre una vera stratificazione verticale. Dove la roccia madre non è ricca di ferro si forma, al posto della laterite, la **bauxite**, un minerale costituito da ossidi idrati di alluminio.
- Il **vento** incrementa l'evaporazione dell'acqua e asporta i materiali più fini, soprattutto in ambienti aridi e poveri di copertura vegetale.
- La **presenza e l'abbondanza di esseri viventi** micro e macroscopici è il fattore da cui dipende la quantità di sostanza organica e di humus presente nel suolo. I **decompositori** riciclano la materia e gli organismi **scavatori** dissodano il terreno migliorandone l'aerazione.
- Il **tempo** è il fattore da cui dipendono la *potenza,* la *maturità* e le caratteristiche di un suolo. Il tempo necessario alla formazione di un suolo può essere anche dell'ordine di **migliaia di anni**, e quanto più tempo è trascorso, tanto maggiori sono le differenze dalla roccia madre da cui ha avuto origine, perché è stata più intensa l'azione di degradazione.

Le frane

Il principale agente dell'erosione è la **forza di gravità** che agisce sui pendii inclinati, provocando la caduta dei frammenti di roccia, che si accumulano ai piedi dei versanti e delle pareti rocciose e formano il cosiddetto **detrito di falda**, costituito da elementi di varie dimensioni a spigoli vivi. La gravità è responsabile anche delle **frane, caduta o movimento veloce di materiale lungo i versanti quando si rompe l'equilibrio tra la forza di gravità e le forze di coesione**.

La stabilità di un versante dipende da molti parametri.

Natura delle rocce. Le argille, se assorbono acqua, diventano strati molto scivolosi. Anche le rocce calcaree scivolano facilmente.

L'inclinazione degli strati. Gli strati a **reggipoggio** sono stabili, mentre quelli a **franappoggio**, che possono essere più o meno inclinati del pendio, franano più facilmente.

La presenza di acqua. Il fattore più importante che condiziona la stabilità di un versante è la presenza di acqua che può permeare e lubrificare i detriti, diminuendone la coesione e favorendo lo scivolamento dei materiali incoerenti.

Responsabilità umane. Se è fuor di dubbio che in Italia vi è una predisposizione naturale al dissesto idrogeologico e alle frane in particolare, è altrettanto evidente che l'estendersi del fenomeno è da imputare all'intervento umano. Nel corso dei secoli passati vaste zone collinari e montane sono state **diboscate**: i terreni sono diventati così più instabili, più soggetti all'erosione delle acque e alle frane perché è venuta a mancare l'azione di coesione svolta dalle radici delle piante. Il fenomeno si accentua con la presenza di **incendi** dolosi. Lo **spopolamento delle zone montane** ha privato proprio le aree bisognose di maggior controllo di quel complesso di opere di manutenzione su pendii e corsi d'acqua svolto dalla popolazione residente. La **costruzione di strade**, ponti e gallerie su terreni incoerenti montani o collinari può provocare instabilità nel terreno e causare frane di notevoli dimensioni. **Opere edilizie** che sovraccaricano i versanti possono provocare frane. Identiche conseguenze si hanno con **sbancamenti** che aumentano eccessivamente la pendenza dei versanti.

Tipi di frane

I movimenti in massa lungo i versanti possono essere distinti in diverse categorie.

Frane da crollo: si tratta di distacchi improvvisi di massi rocciosi lungo pareti ripide, che provocano disgregazione alla base del versante e dispersione dei detriti anche a notevole distanza.

Frane da scivolamento: come dice il termine, sono parti di terreno che scivolano lungo superfici inclinate, quasi sempre rappresentate da piani di stratificazione, faglie, fratture.

Frane di smottamento: sono frane di ridotte dimensioni, che interessano solo la copertura detritica superficiale.

Frane da scoscendimento: sono discese di materiali rocciosi con movimenti rotazionali, lungo superfici di frattura concave verso l'alto.

Frane da colamento o **colate**: sono movimenti su superfici molto estese di masse argillose imbibite d'acqua.

Le acque sotterranee

L'acqua sotterranea proviene quasi esclusivamente dalle acque meteoriche, che penetrano nel terreno.
La **permeabilità** del substrato dipende principalmente:

- dal **grado di fratturazione**, cioè dall'esistenza nella roccia compatta di fessurazioni, che favoriscono la penetrazione dell'acqua;
- dalla **porosità**, cioè dagli spazi vuoti esistenti tra le particelle di un sedimento o di una roccia detritica, o dalla presenza di minuscole cavità nella struttura delle rocce compatte;
- la permeabilità è condizionata anche dalle **dimensioni dei pori**: più sono piccoli, minore è la possibilità di movimento per l'acqua.

Dove la superficie del suolo è permeabile, parte delle acque meteoriche si infiltra in profondità, finché non incontra uno strato impermeabile, che ne ferma la discesa. Qui le acque diffondono, se lo strato impermeabile è orizzontale, o ristagnano, se è concavo, e si forma una falda acquifera. **Una falda acquifera è uno strato sotterraneo di terreni permeabili, entro cui tutte le cavità, le fessure e i pori sono in permanenza completamente saturi d'acqua**.
Esistono due tipi di falde acquifere.
Le **falde freatiche** sono limitate solo inferiormente da uno strato impermeabile. Il limite superiore dello strato completamente imbevuto d'acqua (*strato acquifero)* è chiamato **superficie freatica** e al di sopra di questa esiste in genere uno strato non saturo (*strato di aerazione* o *strato vadoso)* in cui oltre all'acqua è presente anche aria.
Le **falde imprigionate** sono limitate sia verso l'alto sia verso il basso da uno strato di rocce impermeabili. Esse vengono alimentate solo dalle acque meteoriche che cadono nell'area in cui lo strato acquifero non è sovrastato da uno strato impermeabile. L'acqua intrappolata nello strato acquifero si muove come se fosse confinata in una condotta, tanto che la sua pressione può raggiungere livelli notevoli. A causa di tale pressione, se lo strato impermeabile superiore viene perforato, l'acqua della falda imprigionata tende a salire verso l'alto. La superficie alla quale arriverebbe l'acqua se non vi fosse lo strato impermeabile superiore è detta **superficie piezometrica**. Se la superficie piezometrica sale a una quota superiore a quella del suolo, la falda imprigionata è chiamata **falda artesiana**.
Le acque delle falde freatiche e imprigionate vengono utilizzate dall'uomo mediante la costruzione rispettivamente di *pozzi freatici* e *pozzi artesiani***.** I pozzi possono essere profondi fino a poche decine di metri e funzionano con meccanismi diversi a seconda delle caratteristiche della falda.
Nei **pozzi freatici** l'acqua resta al livello della superficie freatica, poiché è in condizioni di equilibrio con la pressione atmosferica esterna e, portarla a un livello superiore, richiede l'uso di pompe. Nel caso di falde imprigionate, invece, lo strato acquifero, come abbiamo detto, è spesso inclinato e l'acqua, sotto pressione, può salire spontaneamente fino anche a zampillare in superficie: si ottiene così un **pozzo artesiano**. Il livello massimo a cui sale l'acqua corrisponde al livello della superficie piezometrica e dipende dalla quota cui si trova la superficie di ricarica.

Le sorgenti

Quando le acque sotterranee tornano spontaneamente in superficie, formano le sorgenti. Le cause di questo fenomeno sono molteplici, il caso più semplice si ha quando la superficie topografica del terreno interseca una falda acquifera. Le sorgenti hanno caratteristiche diverse a seconda della composizione chimica del terreno, della temperatura e del regime.
Composizione chimica. Alcune acque sotterranee possono venire a contatto con rocce ricche di sali solubili e tornano in superficie ricche di bicarbonati, cloruri, solfuri, ferro ecc. Si parla di **sorgenti minerali**.
In base alla concentrazione dei sali minerali, misurabile come **residuo fisso a** 180 °C, distinguiamo tra acque **minimamente mineralizzate** (residuo fisso < 50 mg/1), **oligominerali** (residuo fisso tra 50 e 500 mg/1), **minerali** (residuo fisso tra 500 e 1500 mg/1), **ricche sali minerali** (residuo fisso > 1500 mg/1).
Se consideriamo la **temperatura** delle acque, le sorgenti si distinguono in **fredde** (con temperatura inferiore a quella esterna e sempre al di sotto dei 20 °C), **termali** (con temperatura superiore a quella esterna e compresa tra 20 °C e 50 °C). L'elevata temperatura di queste acque può dipendere dal fatto che, scendendo in profondità, si sono avvicinate a una massa magmatica non ancora del tutto raffreddata; esse possono anche riscaldarsi semplicemente a causa del gradiente geotermico.
In base al **regime**, cioè alla variazione annua della portata, le sorgenti possono essere distinte in:

- **sorgenti perenni**, attive per tutto l'anno, come quelle alimentate dai ghiacciai, attraverso la fusione della neve o del ghiaccio;
- **sorgenti stagionali**, la cui portata varia durante l'anno; sono quelle alimentate dalle piogge;
- **sorgenti intermittenti**, attive solo saltuariamente, esse comunicano con l'esterno mediante un condotto ripiegato a gomito. L'acqua fuoriesce soltanto quando il suo livello sale oltre tale piega.

In base alla **modalità d'emersione** le sorgenti si possono suddividere in:

- **sorgenti di deflusso**, quando uno strato impermeabile suborizzontale o inclinato nella stessa direzione del versante affiora sul fianco di una valle facendo scolare all'esterno l'acqua accumulata nella roccia permeabile soprastante;
- **sorgenti di trabocco:** l'acqua che si raccoglie nel sottosuolo, al di sopra di uno strato impermeabile concavo verso l'alto, trabocca quando è presente in eccesso;
- **sorgenti di sbarramento:** si formano quando una barriera impermeabile molto inclinata come una superficie di faglia, un filone, un'eteropia di facies (un passaggio laterale da una roccia permeabile ad una impermeabile depostesi contemporaneamente) obbliga l'acqua ad accumularsi davanti ad essa fino a farle raggiungere la superficie con riversamento all'esterno;
- **sorgenti carsiche:** nelle cavità sotterranee a di origine carsica si raccoglie solitamente molta acqua che fuoriesce quando trova un'apertura verso l'esterno.

sorgenti di emergenza: sono dovute all'affioramento, in una zona depressa come una conca naturale o il fondo di

una valle, della superficie freatica o di una falda artesiana. Sono di questo tipo le **risorgive** o fontanili, tipiche della Pianura Padana, e delle pianure alluvionali in genere**,** che si formano al confine tra l'alta pianura pedemontana, costituite da sedimenti grossolani di origine glaciale e la bassa pianura, costituita prevalentemente da sedimenti più fini (sabbie, silt e argille).

Le acque dilavanti

Le **acque piovane** non scorrono entro un alveo, ma tendono a muoversi disordinatamente lungo le linee di massima pendenza, con una velocità che dipende dall'inclinazione del versante. Le piogge, specie se intense, esercitano sui terreni un'*azione battente* (di tipo meccanico), più efficace se questi sono poveri di vegetazione e disposti lungo pendii. Le acque piovane che non penetrano nel sottosuolo iniziano a scorrere disordinatamente su di esso, formando dapprima un velo superficiale uniforme che asporta il materiale incoerente e poi dividendosi in tanti rivoli, che defluiscono lungo le linee di massima pendenza e scavano un gran numero di piccoli solchi intrecciati tra loro, che in una prima fase si modificano di continuo, ma successivamente diventano più profondi e durevoli. Questo processo, chiamato **ruscellamento**, è responsabile della rimozione di notevoli quantità di sedimenti dai suoli; le acque di deflusso superficiale, non incanalate in nessun alveo, sono dette **acque selvagge** (o **di ruscellamento**).
L'effetto erosivo più consistente dove le rocce sono formate da detriti argillosi o comunque a grana fine e poco cementati. In tal caso, l'azione erosiva trova una scarsa resistenza e i versanti appaiono solcati da canali stretti, profondi e molto fitti, intercalati a creste appuntite. Queste strutture, molto frequenti nell'Appennino tosco-emiliano, in Abruzzo e in altre regioni italiane, vengono denominate **calanchi**. Quando l'acqua scorre su materiali poco omogenei e scarsamente coerenti possono formarsi vere e proprie **piramidi di terra**, dovute al fatto che l'acqua incontra massi e ostacoli che aggira scavando tutto intorno sempre più profondamente. Si formano così dei pinnacoli, sovrastati dai blocchi rocciosi che li proteggono dalla pioggia e dal ruscellamento. Le acque di ruscellamento confluiscono in solchi via via più grandi, che a loro volta possono unirsi formando *alvei* veri e propri, in cui scorrono i ruscelli.

I corsi d'acqua

L'acqua che zampilla da una sorgente, quella di scolo di un ghiacciaio o l'acqua piovana che scorre su un pendio tendono a scegliere la via di massima pendenza, cioè la più breve, per giungere a valle. Si forma così una serie di piccoli rigagnoli, che incidono i versanti e che, unendosi, determinano un aumento della forza erosiva dell'acqua.
A seconda dell'inclinazione del pendio, della resistenza dei materiali e del grado di fratturazione delle rocce, l'acqua opera una lenta erosione. Con il passare del tempo, incide un solco, l'**alveo** o **letto**, che diventa il suo percorso definitivo, fino alla **foce**, cioè il punto in cui termina, che può essere la confluenza con un altro corso d'acqua, un mare, un lago ecc. A queste **acque che scorrono, sotto la spinta della gravità, incanalate entro un alveo, si dà il nome di corsi d'acqua**, che presentano caratteristiche molto differenti a seconda delle regioni in cui scorrono.
Il bacino idrografico di un corso d'acqua è il territorio le cui acque prima o poi confluiscono nello stesso alveo, esso è delimitato da una linea immaginaria di **spartiacque** che lo separa dai bacini contigui**.** La linea dello spartiacque principale coincide normalmente con la linea delle vette che separa due versanti della stessa montagna.
Nei bacini dei grandi fiumi, si riconoscono un **corso principale** e una rete di **affluenti**, che nel loro insieme formano un **reticolo idrografico**.

Le caratteristiche di un corso d'acqua

La **pendenza** è il rapporto tra il dislivello compiuto dal corso d'acqua e la sua lunghezza. Dipende a sua volta dalla pendenza del rilievo, perciò varia notevolmente anche in uno stesso corso d'acqua.
La **portata** di un fiume o di un torrente è il volume d'acqua che attraversa una sezione trasversale del corso d'acqua nell'unità di tempo. Si esprime in metri cubi al secondo e varia sia da punto a punto sia nelle diverse stagioni dell'anno. Numerosi fattori influenzano la portata di un fiume: il clima, il tipo di terreno su cui scorre, il regime delle precipitazioni, la pendenza del bacino ecc.
La **velocità** di un corso d'acqua dipende dai fattori sopra illustrati, in particolare dalla pendenza dell'alveo. In genere nel tratto superiore il corso d'acqua si muove in modo impetuoso, ma il greto accidentato e stretto rallenta il moto dell'acqua e ne impedisce un flusso regolare. Nel tratto medio e inferiore, l'alveo diventa più ampio, il fondo è costituito da sedimenti più fini e il flusso dell'acqua incontra minor resistenza, perciò la velocità aumenta e insieme a essa crescono portata e profondità dell'alveo.
Il **regime** di un corso d'acqua indica il complesso delle variazioni di portata nel tempo (giorno, mese, anno). Non esistono, infatti, corsi d'acqua che hanno portata costante nell'arco dell'anno: tutti alternano *periodi di magra* (che seguono la stagione più secca) e *periodi di piena* (che seguono la stagione più piovosa o in cui si verifica il disgelo). A seconda del tipo di regime, possiamo operare una distinzione tra i vari corsi d'acqua. Quando la portata non è costante, perché non alimentata da una sorgente perenne, ma è funzione delle precipitazioni o dello scioglimento delle nevi, tanto che si alternano periodi in cui l'alveo è quasi secco e periodi di piena, si parla di **regime torrentizio**. I **torrenti** sono tipici delle regioni montuose, hanno un corso breve e ripido, con alveo roccioso e ciottoloso. Se, invece, un corso d'acqua ha una portata abbastanza regolare e non vi è un forte dislivello tra i periodi di magra e i periodi di piena, si parla di **regime fluviale**. Il **fiume** in genere ha sorgenti perenni ed è alimentato da vari affluenti che garantiscono una portata costante.

L'erosione

L'erosione operata dalle acque e dai detriti sull'alveo in cui scorrono un fiume o un torrente si realizza attraverso tre diversi processi:

- l'**asportazione** dei materiali dal letto e dagli argini a causa dell'azione dinamica delle acque correnti;
- l'**abrasione**, effettuata dai detriti trasportati dalla corrente sui materiali del fondo e delle sponde. A causa dell'abrasione, le rocce del fondo vengono levigate e smussate per il continuo sfregamento dei detriti trasportati. Qualche volta l'abrasione provocata dai ciottoli che si muovono in vortici sul fondo porta alla formazione di buche quasi circolari, molto profonde e con un diametro anche di alcuni metri, chiamate **marmitte**;
- i processi chimici di **dissoluzione** dei minerali solubili.

Nei rilievi e in corrispondenza del percorso di un fiume, si aprono depressioni concave di forma allungata, longitudinale o trasversale, che vengono chiamate **valli** con **una sezione trasversale a V**. Quando il corso d'acqua scorre su pendii molto ripidi l'erosione verticale può produrre solchi con pareti a strapiombo, detti **gole**, caratteristici delle valli scavate in rocce molto resistenti, come basalti e porfidi. Quando il fondovalle è irregolare le gole vengono chiamate **forre**. Negli ambienti aridi, le valli fluviali tendono ad avere pareti verticali poiché mancano quasi completamente movimenti franosi dovuti all'azione dell'acqua superficiale. Queste valli, dette **canyon**, sono più ampie quando sono scavate in rocce tenere, più ripide e simili alle gole dove le rocce sono più dure. L'**erosione regressiva** è un tipo di erosione fluviale che, a partire dal livello di base, regredisce verso monte, facendo retrocedere, e via via eliminando, gli eventuali gradini del letto. Spettacolari esempi di erosione regressiva sono le **cascate**.

Il trasporto

Il trasporto dei materiali erosi avviene essenzialmente in tre modi:

- In **soluzione** vengono trasportati ioni, sali, gas e molecole organiche. Benché in genere sia molto ridotto, è importante, perché nell'arco di anni trasporta agli oceani ingenti quantità di ioni e sali.
- In **sospensione**, normalmente, si trovano i detriti più fini, come sabbie, argille e silt. La maggior quantità dei detriti di un fiume è trasportata in sospensione.
- Per **trascinamento**, **saltazione** e **rotolamento** vengono trasportati le sabbie, i ciottoli e i detriti di maggiori dimensioni, troppo pesanti per restare in sospensione.

La sedimentazione

Quando la pendenza è meno ripida, diminuisce anche la velocità dell'acqua, che non riesce a trasportare i materiali più pesanti, che si depositano perciò sul fondo. I sedimenti deposti sono detti **alluvioni** e nelle regioni pedemontane danno origine alle **pianure alluvionali**.
Nelle pianure alluvionali, dove il fiume scorre più lentamente, si possono formare anse molto ampie, dette **meandri**. I meandri si modificano continuamente e si spostano sul fondo della pianura a causa delle differenze di velocità della corrente sulle due sponde dell'ansa. L'acqua preme maggiormente sulla sponda esterna e la erode, mentre sulla riva interna l'azione erosiva è minima.
Tutti i fiumi terminano sfociando in un altro corso d'acqua, oppure in un lago o in mare.
Se il fiume sfocia in un lago o in un mare soggetto a maree di scarsa ampiezza, mentre la corrente fluviale va smorzandosi e diminuisce la sua capacità di trasporto, i materiali si depositano gradatamente, accumulandosi in una serie di strati con giacitura orizzontale che formeranno un **delta**, con una caratteristica struttura a ventaglio. I delta si formano solo quando il fiume sfocia in un bacino tranquillo, nel quale le onde e le correnti non hanno energia sufficiente per disperdere i sedimenti trasportati dal corso d'acqua.
Se un fiume sfocia in un mare aperto, dove la marea ha una notevole ampiezza, questa ha un'energia sufficiente per asportare i depositi fluviali, la foce del corso d'acqua si allarga e assume una forma a imbuto, generando un **estuario** povero di sedimenti.
I **conoidi alluvionali**, simili ai delta ma presenti sulla terraferma, si formano quando i corsi d'acqua di montagna raggiungono la pianura.

I laghi

Le acque piovane, di un corso d'acqua o sotterranee possono sostare per un periodo più o meno lungo in una **depressione naturale**, prima di riprendere il loro cammino verso il mare formando così un **lago**.
Ogni lago è alimentato dalle acque del bacino idrografico circostante attraverso uno o più **immissari**, e l'acqua defluisce verso il mare tramite un **emissario**. Non sempre però questi elementi sono presenti, talvolta il lago è alimentato dalle acque piovane, da una sorgente freatica. Anche l'emissario può mancare: in tal caso le uscite sono rappresentate dall'evaporazione o da un flusso sotterraneo. Quando le acque di un lago non fluiscono verso il mare si possono formare laghi salati.

Classificazione dei laghi

I laghi si possono classificare in base all'origine in base alla loro origine:
Laghi relitti: sono residui di antichi mari in terni (ad es. il Mar Caspio e il Mar Morto) oggi separati dal mare aperto da una soglia di terre emerse formatasi per sollevamento tettonico.
Laghi tettonici: occupano depressioni create da particolari strutture tettoniche, come le fosse tettoniche (in questo caso assumono forme allungate; es. lago Bajkal in Russia e i grandi laghi dell'Africa orientale) e le pieghe (es. laghi di Neuchàtel, in Svizzera, lago di Santa Croce, presso Belluno).
Laghi vulcanici: occupano i crateri di vulcani allo stato quiescente (rari), le ampie conche formate dalle caldere (es. laghi di Bracciano e Bolsena in Lazio) e quelle molto più piccole dei diatremi (es. i «maare» dell'Eifel, Germania). Sono privi di emissario ed immissario.
Laghi costieri: sono bracci di mare isolati da un cordone sabbioso litorale (es. laghi di Lesina e Varano, in Puglia) oppure si formano per sbarramento di corsi d'acqua ad opera di dune di spiaggia.
Laghi di pianura e fluviali: si formano in depressioni dove emerge la falda freatica (es. cave abbandonate) o quando un fiume straripa in occasione di una piena oppure sono alvei abbandonati dai corsi d'acqua.

Laghi alluvionali si formano quando la quantità di materiali trasportati da un fiume è tale da impedire il deflusso delle acque. Sono laghi in genere vasti e poco profondi, ne è un esempio il lago Trasimeno.
Laghi carsici: occupano cavità nel sottosuolo o depressioni superficiali prodotte dall'azione solvente delle acque su calcari e gessi. Hanno notevoli variazioni di livello.
Laghi di sbarramento: si formano nelle quando queste vengono sbarrate da una frana (es. lago di Alleghe, in Cadore), da una colata di lava, dai depositi dì un affluente o da un ghiacciaio (es. lago di Combal, massiccio del Monte Bianco).
Laghi glaciali: si formano sopra ai ghiacciai per fusione degli stessi, in conche scavate ghiacciai alla testata delle valli (la maggior parte dei laghetti d'alta montagna nelle Alpi) o al termine delle valli glaciali vallivi (lago di Garda, lago Maggiore) tra i depositi morenici lasciati dai ghiacciai (laghi di Avigliana, Viverone e Candia in Piemonte).
Laghi artificiali: creati dall'uomo sbarrando le valli con dighe e sono utilizzati per l'irrigazione, per usi domestici o per la produzione di energia elettrica.

L'estinzione dei laghi

I laghi non sono elementi perenni del paesaggio: nascono, evolvono e si estinguono. La sedimentazione dei detriti trasportati dai fiumi immissari finisce, prima o poi, per colmare il bacino lacustre.
L'interramento è progressivo e graduale: in un primo tempo il lago si trasforma in uno **stagno**, quindi in una **palude**, poi in una **torbiera** (in cui si verificano processi di carbonizzazione dei vegetali in decomposizione), e alla fine in una **pianura alluvionale**.

I ghiacciai

I ghiacciai sono accumuli di neve compatta e ghiaccio, che formano un vero e proprio ammasso, simile per caratteristiche a un corpo roccioso.
I ghiacciai si formano solo nelle regioni in cui si creano accumuli permanenti di masse nevose. Quando la neve cade al di sopra del **limite delle nevi persistenti**, forma un manto nevoso permanente per tutto l'anno che, con il passare del tempo, si trasforma in ghiaccio.
La quota del limite delle nevi persistenti varia sulla Terra in funzione: della **latitudine** e **dell'esposizione al Sole**.
Gli accumuli di neve che non si sciolgono completamente durante l'estate danno origine ai ghiacciai, attraverso un processo lento e graduale. La **neve** caduta è inizialmente **farinosa** e include volumi notevoli di aria ma, restando al suolo per lungo tempo, si compatta perciò i cristalli perdono la forma caratteristica e diventano più piccoli. Si forma così la **neve granulare**, che con il passare del tempo diventa più densa e compatta. Nel giro di un anno, sotto il carico degli strati sovrastanti, la neve granulare si trasforma in **firn**: diventa stabile, densa e rigida, l'aria contenuta negli interstizi viene espulsa e i pori si riducono. Con il passare degli anni, la neve degli strati più profondi è sottoposta a una sempre maggiore pressione di carico; per tale motivo i cristalli di neve fondono parzialmente, ricristallizzano e l'acqua fusa circolante li cementa. Si forma così il **ghiaccio compatto**, a contenuto d'aria ridotto, che si comporta come un blocco roccioso e nel quale si distinguono diversi strati, corrispondenti ad anni differenti e a condizioni di deposizione leggermente diverse.

Come è fatto un ghiacciaio

In un ghiacciaio si distinguono tre elementi strutturali fondamentali:
- il **bacino di alimentazione**, o bacino collettore, la parte più elevata, che si trova sopra il limite delle nevi persistenti, in cui si accumula neve che in seguito si trasformerà in ghiaccio.
- il **bacino ablatore**, o **lingua glaciale**, collocato sotto il limite delle nevi persistenti; è la zona in cui la fusione del ghiaccio prevale sull'accumulo. E la parte che si muove verso il basso, trascinando con sé detriti di roccia ed esercitando un'azione erosiva;
- la **fronte**, cioè la parte terminale del ghiacciaio, dove l'ablazione non è più compensata dall'alimentazione. Spesso presenta la cosiddetta "porta" del ghiacciaio, dalla quale esce il torrente glaciale che trasporta, insieme alle acque di fusione, il limo derivante dall'azione erosiva del ghiacciaio.

La classificazione dei ghiacciai

I ghiacciai possono essere classificati in base al loro **aspetto**. Da questo punto di vista se ne distinguono due tipi principali.
Nelle **regioni polari**, i **ghiacciai continentali**, denominati **inlandsis**, sono formati da estese calotte, coltri di ghiaccio di forma lenticolare, quasi completamente immobili, presenti in Antartide, Groenlandia e Islanda. Questo tipo di ghiacciaio si sviluppa sotto forma di piattaforme ampie centinaia di chilometri, spesse centinaia di metri che terminano con alte pareti a strapiombo sul mare dove i movimenti di marea e le onde staccano enormi blocchi, detti **iceberg**. Nelle regioni polari, il ghiaccio può derivare direttamente anche dal congelamento delle acque salate del mare. Si forma così la **banchisa**, costituita da lastre di ghiaccio spesse poche decine di centimetri che nella stagione fredda vengono sospinte dalle onde e si ammassano originando banchi spessi qualche metro. Durante l'estate nella banchisa si aprono crepe e fessure che la frantumano in lastre mobili (**pack**) che vanno alla deriva.
Nelle **regioni temperate** abbiamo i **ghiacciai di montagna**, diffusi a tutte le latitudini e possono presentare forme diverse perché, in ciascuna località, il manto nevoso e il ghiaccio che ne deriva si adattano alla conformazione del territorio.

L'erosione glaciale

Grazie al loro movimento, i ghiacciai e le acque di fusione esercitano un'azione erosiva potente ed efficace sulle rocce del fondo e dei versanti.
L'estrazione di detriti dalle rocce del fondo, detta anche **esarazione**, consiste principalmente nell'abrasione meccanica e nel raschiamento delle rocce del fondo e delle sponde, operata dalla massa del ghiaccio e dai materiali solidi

che trasporta, con il contributo delle acque di fusione, che scorrono sul fondo. Tipico esempio sono le **valli glaciali**, che presentano una **sezione trasversale a U**, che le differenzia nettamente dalle valli a V, incise dai fiumi. Infatti, il ghiaccio non erode linearmente, come i fiumi, ma agisce su tutta la superficie del fondovalle e sui versanti, creando un fondo piatto e pareti ripide.
Altre forme tipiche dell'erosione glaciale sono i **circhi**, che corrispondono alla zona di accumulo della neve e si originano per l'erosione progressiva di nicchie o irregolarità sui versanti sui quali si forma il ghiaccio. Spesso sembrano una poltrona a braccioli e si aprono a valle con una contropendenza, detta soglia. Molti circhi oggi abbandonati dai ghiacciai sono occupati da laghi (laghi di circo).

Il trasporto dei ghiacciai

Blocchi di roccia e detriti di ogni dimensione, a spigoli vivi, cadono sul ghiacciaio ed entrano a far parte del materiale che esso trascina a valle con i materiali erosi dal fondo e dalle sponde. Una parte dei detriti viene trasportata sulla superficie, o all'interno dalla massa del ghiacciaio; questi frammenti hanno spigoli vivi e sono poco modellati.
Insieme ai frammenti più piccoli può smuovere massi e blocchi molto pesanti che vengono poi depositati a distanza enorme dal loro luogo di origine. Sono chiamati **massi erratici** e sono facilmente riconoscibili perché, in genere, sono costituiti da rocce differenti rispetto al substrato su cui poggiano.

I depositi glaciali

Quando il ghiacciaio scende a quote in cui la temperatura è superiore a 0°C, il ghiaccio fonde e tutto il materiale che in esso è inglobato, blocchi di roccia, detriti di ogni dimensione, sabbia, argilla e limo, viene abbandonato. Si formano così i **depositi glaciali**. Tutto il materiale che viene depositato direttamente dal ghiacciaio costituisce le **morene**: cordoni, colline, e piccoli rilievi costituiti dal till, un materiale estremamente eterogeneo, come forma e granulometria, disposto caoticamente, senza alcun cenno di stratificazione.
Quando un grosso ghiacciaio non avanza o non arretra per molti anni e le acque di fusione non asportano molto materiale, le morene frontali formano veri e propri argini disposti a semicerchio, che si uniscono, costituendo un **anfiteatro morenico**.

Le valanghe

Collegate ai ghiacciai e in generale agli ammassi nevosi sono le **valanghe,** dette anche impropriamente **slavine.** Esse consistono nel **franamento improvviso di masse più o meno voluminose di neve, eventualmente mista a ghiaccio e a sassi, adagiate su un pendio**.
Le valanghe, che possono raggiungere la velocità di 100 m/sec e uno spessore di 100 m, hanno sempre una **causa scatenante** accidentale, spesso imprevedibile: il passaggio di un animale, di uno sciatore, il riscaldamento operato dal sole e persino un forte rumore.
Le valanghe si verificano quando la neve, depositatasi dopo abbondanti nevicate o tormente, esercita un carico eccessivo sul manto nevoso sottostante.

Il mare erode, trasporta e sedimenta

Le acque marine esercitano la loro azione modellatrice della superficie terrestre attraverso processi di erosione, trasporto e sedimentazione.
L'azione erosiva del mare è detta **abrasione** ed è provocata dalle correnti, dalle maree e soprattutto dal moto ondoso, la cui azione, però, si fa sentire solo fino a una certa profondità e lungo la fascia costiera, in corrispondenza della zona litorale, che comprende la zona di marea e la fascia raggiunta dagli spruzzi.
L'azione del moto ondoso ha effetti sia lungo le coste rocciose, sia lungo le coste sabbiose.
Contro le **coste rocciose**, le onde si abbattono con una forza che, durante le tempeste, può raggiungere il valore di diverse tonnellate per metro quadrato, e finiscono per disgregare le rocce, grazie alla sabbia e alla ghiaia che trasportano. Le onde urtano le rocce e, attraverso fasi di compressione e decompressione, allargano le fratture e agiscono lungo i piani di stratificazione, facilitando il distacco di detriti, o di veri e propri blocchi rocciosi.
Lungo le **coste sabbiose** con mare profondo, laddove si formano i **frangenti** di spiaggia, l'acqua subisce un vero e proprio moto traslazionale; essa si scaglia in modo turbolento lungo la costa (**flusso**), e poi rifluisce verso il mare creando una corrente di ritorno (**risacca**). La zona di costa che subisce gli effetti del moto alterno dei frangenti è la **battigia**, lungo la quale i frangenti asportano continuamente i sedimenti che vengono alternativamente trasportati verso il largo e riportati a riva.
Le acque marine non svolgono soltanto un'azione erosiva: onde e correnti trascinano i detriti, depositandoli poi sia in mare, sia lungo la costa. Le sabbie e i fanghi più fini in genere vengono trasportati al largo e si depositano in mare; i frammenti più grossolani vengono invece accumulati lungo la riva, dove formano le **spiagge**.

Le coste alte

Lungo le coste alte l'azione erosiva del mare è molto intensa ed è determinata principalmente dalla violenza del moto ondoso e dall'azione meccanica di ciottoli e sabbia scagliati contro la costa.
Se l'abrasione è uniforme, si forma un solco continuo, il solco di battigia, che con il tempo può provocare il cedimento della roccia sovrastante e determinare così la formazione di pareti a picco sul mare. La spiaggia in queste aree è in genere assente o ridotta a una stretta fascia discontinua. I materiali franati vengono portati in profondità dai frangenti e possono accumularsi sul fondale in prossimità della costa.
Le coste alte caratterizzate da scarpate rocciose a picco sul mare sono chiamate **falesie**. Alla loro base, il mare produce anfratti e grotte scavando nelle rocce più tenere o nei punti più fratturati. Le grotte di abrasione sono molto frequenti lungo le coste italiane e, col tempo, i cedimenti delle pareti

si susseguono e la falesia subisce progressivamente un fenomeno di arretramento.
L'abrasione del mare, a seconda della resistenza offerta dai materiali della costa, crea insenature più o meno pronunciate, capi e promontori, o l'isolamento di porzioni rocciose, come **scogli** e **faraglioni**.
Particolari coste rocciose alte sono le **coste a fiordi**; esse sono antiche valli glaciali invase dal mare. Appaiono come profonde insenature con i fianchi molto ripidi e presentano spesso varie ramificazioni. I fiordi sono frequenti nelle regioni nordiche e si sono formati in massima parte durante le glaciazioni del Pleistocene (nel Quaternario), quando il livello del mare era più basso e le calotte glaciali si estendevano con lingue imponenti dai rilievi costieri fino al mare. Le **coste a rias** sono alte, molto frastagliate e articolate e si osservano in Corsica, Grecia e Galizia. Le rias sono insenature profonde e strette, che si allargano verso il mare; sono in realtà estuari e valli fluviali invasi dal mare, in seguito a un innalzamento del livello marino.

Le coste basse

Le **coste basse** si formano nei luoghi dove la sedimentazione prevale sull'erosione. Lungo le coste basse, più protette dall'azione di correnti e maree, il materiale eroso e trasportato dal mare si deposita e si formano ampie spiagge sabbiose. Le spiagge sono costituite di detriti, in genere sabbie e ghiaie trasportate dal moto ondoso, da resti di organismi (per esempio coralli), frantumati dall'azione del mare oppure da sabbie di origine fluviale o da frammenti di rocce vulcaniche.
Durante le mareggiate più violente la spiaggia può essere in parte erosa e la sabbia, asportata, viene depositata al largo, dove forma le **barre sabbiose sottomarine**, accumuli più o meno potenti, disposti perpendicolarmente alla direzione delle onde. Se queste barre si accrescono, ostacolano il moto ondoso e ne riducono la capacità di trasporto. L'accumulo progressivo di sabbie può accrescere le barre fino a farle emergere: si formano così i **cordoni litoranei**, o lidi, che in genere hanno un andamento allungato e parallelo alla linea di costa. Questi cordoni si formano con facilità di fronte alle baie e alle insenature. Barre e cordoni si creano spesso anche davanti alle foci dei fiumi e contribuiscono a isolare un lembo di mare, formando così le **lagune**.

L'azione del vento

Il vento erode, trasporta e sedimenta in modo simile a un fiume. Il vento da solo non riesce quasi mai a erodere rocce integre, mentre può asportare materiali già disgregati. Solo le rocce più tenere possono essere disgregate direttamente con una certa facilità; si formano allora **nicchie di disfacimento**, **cavità**, o **grotte**.
L'azione di erosione e trasporto operata dal vento si chiama deflazione ed è un processo selettivo. Infatti le particelle a granulometria fine, come sabbie e silt, vengono sollevate e trasportate, mentre le ghiaie restano al suolo.
Le particelle più piccole, come silt, ceneri e sabbie molto fini, vengono trasportate in **sospensione** nell'aria e durante le tempeste possono essere sollevate a grandi altezze. In queste condizioni impiegano molto tempo per depositarsi al suolo e possono essere portate anche a grande distanza dal luogo di origine. Le polveri del deserto del Sahara, per esempio, spesso vengono trasportate oltre il Mediterraneo e possono spingersi nelle regioni meridionali e insulari del nostro Paese, e talvolta fino alle zone alpine. In queste regioni non è raro osservare *piogge* o *nevi rosse,* a causa della presenza nell'aria di polveri del deserto, ricche di ossidi e idrossidi di ferro.
I granuli di sabbia sono composti prevalentemente da **silice**, minerale molto duro con un'alta capacità abrasiva, perciò **quando vengono lanciati dal vento contro le rocce le smerigliano e le erodono. Questo processo si chiama corrasione**.
Quando la velocità e l'energia del vento diminuiscono, i materiali trasportati si depositano, creando forme di accumulo dette **depositi eolici**. I depositi eolici tipici sono costituiti di sabbie e polveri, disposti in genere in lamine o lenti sottili con una stratificazione incrociata.
Le **dune** sono le forme più caratteristiche di deposito eolico. Sono rilievi di sabbia comuni nei deserti e lungo le coste sabbiose battute da un vento persistente. Occasionalmente si formano anche lungo le sponde di grandi fiumi.
In molti casi le **dune sono mobili**: si spostano costantemente nella direzione in cui spira il vento. La sabbia accumulata sul versante sottovento scivola verso il basso per gravità, formando un fianco più ripido rispetto a quello esposto. Di conseguenza le **dune sono asimmetriche** e con il tempo raggiungono un equilibrio tra erosione e deposizione. Il movimento delle dune può essere impedito dove si forma una copertura vegetale sul substrato sabbioso, o quando le sabbie vengono cementate; in tal caso si hanno le cosiddette **dune morte**.

I deserti

I deserti sono gli ambienti continentali in cui le forme eoliche sono più evidenti. I depositi eolici sono comuni nei **deserti sabbiosi** (**erg**), mentre i **deserti ciottolosi** (**serir**) e i **deserti rocciosi** (**hammada**) rappresentano ciò che resta di quello che la forza viva del vento non riesce a sollevare.
L'aspetto dei deserti è molto più vario di come siamo abituati a pensare: solo una parte minima è costituita da distese sabbiose e dune, gli altri hanno molte caratteristiche strutturali in comune con aree non desertiche. Molti deserti, per esempio, sono costituiti da rilievi rocciosi, altopiani e vallate.
Le piogge occasionali e violente possono portare alla formazione di **corsi d'acqua effimeri** (**uadi**) che scorrono sui detriti, senza alcun impedimento a causa della mancanza di vegetazione. I corsi d'acqua del deserto, nella maggior parte dei casi, non defluiscono verso il mare, ma penetrano nel sottosuolo o evaporano.
Non tutti i deserti sono caldi; esistono **deserti caldi** e **freddi**. I primi sono localizzati nelle fasce tropicali e hanno temperature medie levate, con forte escursione termica giornaliera. I secondi, invece, hanno forti escursioni termiche annue con inverni molto rigidi.

Storia dell'astronomia

Il cosmo nella Bibbia

L'Antico Testamento raccoglie le conoscenze dei **popoli mesopotamici** e dei limitrofi paesi orientali. In questi testi la Terra è rappresentata come un **disco piatto** con rilievi montuosi, circondata dal mare, al centro della quale si trova Gerusalemme. Il disco è ben fissato sulle acque inferiori mediante colonne, che Dio scuote per provocare i terremoti. Sempre sotto la superficie si trova lo *sheol*, sede delle ombre dei morti.
Sopra la superficie, appoggiata alle montagne, si trova la grande cupola rigida del firmamento che trattiene le acque superiori; l'apertura di grandi sportelli, cioè delle cateratte, fa riversare sulla Terra le acque superiori provocando il diluvio. Dio manovra anche l'apertura di saracinesche per l'uscita di pioggia, vento e grandine. Sul firmamento sono incastonate le stelle e si muovono in modo misterioso i due grandi luminari. Sopra tutto questo c'è il trono di Jhwh.
La chiesa cristiana, fino all'epoca moderna ha proposto questo modello ma, poiché non sono citati direttamente i pianeti, tranne Saturno e Venere, è stato integrato con il Sistema Tolemaico che era in accordo con la Scrittura.

Il Sistema Geocentrico Tolemaico

Tolomeo era un astronomo egizio vissuto nel II secolo d.C. Il **Sistema Geocentrico Tolemaico considera il pianeta Terra, immobile e piccolissimo rispetto all'Universo, occupante la posizione centrale, attorno alla quale ruotano il Sole, la Luna, i pianeti e le stelle incastonati in sfere.** Poiché sono ammessi solo movimenti circolari, per spiegare le anomalie nel moto dei pianeti, Tolomeo ha elaborato un complesso meccanismo che prevede il loro movimento su un piccolo cerchio, *l'epiciclo*, il cui centro si muove su un cerchio più grande, il *deferente*; quest'ultimo non ha al centro la Terra, che si trova in posizione eccentrica.
La prima sfera è quella della Luna e non ha l'epiciclo; è seguita da quelle di Mercurio e Venere che si muovono secondo epicicli. La successiva sfera solare ha un movimento eccentrico senza epicicli. Dopo il Sole si trovano Marte Giove, Saturno, tutte con movimenti epiciclici, e la sfera delle stelle fisse riunite in 48 costellazioni.

Sistema Eliocentrico Copernicano

Nel 1543, anno della sua morte, il canonico polacco **Nicolò Copernico** (1473-1543) pubblicò il *De revolutionibus orbium coelestium*, proponendolo come semplice ipotesi di lavoro, non come modello rispondente alla realtà.
Il suo sistema eliocentrico pone il Sole al centro del cosmo, attorno al quale ruotano, incastonati in sfere, i pianeti allora conosciuti: Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove e Saturno, alla fine c'è la sfera immobile delle stelle fisse.
Questo modello spiega in modo migliore i moti dei pianeti, tuttavia si aggiungevano nuovi problemi perché non erano ammessi movimenti ellittici ma solo circolari.
Per una sessantina d'anni il sistema copernicano non ha destato scalpori, ma quando **Galileo** lo propose come rappresentazione reale del cosmo fu condannato dal Sant'Uffizio nel 1633. Bisogna attendere il 1994 per la "riabilitazione" di Galileo, ma ormai i danni che il pronunciamento aveva fatto alla credibilità della chiesa nel campo scientifico erano decisamente grandi.

Keplero

Il tedesco **Giovanni Keplero** (1571 - 1630) a partire dal 1609 formulò le sue leggi.
Prima legge. I pianeti compiono delle orbite ellittiche e il Sole occupa uno dei due fuochi.
Conseguenza: il pianeta si può trovare più vicino (**perielio**) o lontano (**afelio**) dal Sole.
Seconda legge. Il raggio vettore che unisce il pianeta al Sole compie aree uguali in tempi uguali.
Conseguenza: il pianeta si muove più lentamente in afelio e più velocemente in perielio.
Terza legge. Il quadrato del tempo che il pianeta impiega a compiere la rivoluzione intorno al Sole è direttamente proporzionale al cubo della sua distanza media dal Sole stesso.
Conseguenza: più il pianeta è lontano e più lento è il movimento di rivoluzione.

Newton

Le osservazioni astronomiche e il metodo sperimentale di Galileo, e le intuizioni matematiche di Keplero, hanno permesso a **Isaac Newton** (Inghilterra, 1643 - 1727) di formulare nel 1688 la legge della gravitazione universale:
Due corpi si attirano con una forza che è direttamente proporzionale al prodotto delle loro masse e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza.
Conseguenza: la forza gravitazionale diminuisce rapidamente all'aumentare della distanza.

Le caratteristiche della Terra

Sulla sfera terrestre è possibile identificare alcuni elementi di riferimento importanti: l'asse terrestre e l'equatore.
L'**asse terrestre** è la linea immaginaria, passante per il centro della Terra, intorno a cui avviene il moto di rotazione. Esso interseca la superficie in due punti, i **poli geografici**, che durante la rotazione restano fissi: il **polo nord** e il **polo sud.**
L'**equatore** è l'intersezione con la superficie terrestre del piano perpendicolare all'asse, passante per il centro della Terra.
La Terra ruota su se stessa a velocità notevole intorno al suo asse. Su di essa, quindi, agisce una **forza centrifuga,** che produce un **rigonfiamento equatoriale** e uno **schiacciamento polare**.
Il modello che più si avvicina alla forma della Terra è l'**ellissoide di rotazione** *(sferoide),* un solido generato dalla rota-

zione di un'ellisse intorno a uno degli assi. Un'approssimazione più efficace può essere ottenuta utilizzando l'**ellissoide a tre assi**, con due diversi raggi sul piano equatoriale. E ovvio che una figura del genere non può essere costruita per rotazione.
Per superare i limiti dei modelli geometrici, in molti casi è più conveniente rappresentare la forma della Terra mediante un modello, detto *geoide,* costruito utilizzando i dati forniti dallo studio della forza di gravità.
Il geoide è il solido ideale la cui superficie fittizia passa per il livello medio del mare ed è perpendicolare in ogni suo punto alla direzione della forza di gravità, cioè del filo a piombo.
Assomigliando a una sfera leggermente schiacciata, la Terra ha un raggio variabile da luogo a luogo. Il suo valore medio è pari a **6368 km**, dato che il raggio equatoriale vale 6378 km, mentre quello polare si ferma a 6357 km. La differenza fra i due valori estremi, pari a circa **21 km**, è comunque minima rispetto alle dimensioni del pianeta, ed è per questo che la Terra appare, vista dallo spazio, come una sfera. La circonferenza media di circa **40000 km**.

Il reticolato geografico

Sulla superficie terrestre si possono poi individuare paralleli e meridiani geografici.
I paralleli geografici sono i circoli determinati dall'intersezione con la superficie terrestre di piani paralleli al piano dell'equatore e perpendicolari all'asse terrestre.
Teoricamente essi sono infiniti, tuttavia è consuetudine considerare solo i circoli posti alla distanza angolare di 1° l'uno dall'altro. I paralleli di riferimento sono quindi 180, 90 a nord e 90 a sud dell'**equatore**, che è il **parallelo 0**. I paralleli sono circonferenze di diametro sempre minore via via che ci si avvicina ai poli, che non sono più circoli ma punti.
I meridiani geografici sono le semicirconferenze passanti per i poli, determinate dall'intersezione con la superficie terrestre di un piano che contiene l'asse terrestre.
Anche i meridiani sono infiniti, ma convenzionalmente si considerano meridiani di riferimento quelli posti a una distanza angolare di 1° uno dall'altro: sono quindi 360. Vengono numerati a partire dal **meridiano di Greenwich**, presso Londra, assunto come **meridiano fondamentale** o meridiano 0. Partendo dal meridiano di Greenwich si contano 179 meridiani a est e 179 a ovest; il 180° meridiano è detto *antimeridiano di Greenwich.* Ogni meridiano ha un suo **antimeridiano,** posto a una distanza angolare di 180°: meridiano e antimeridiano formano una circonferenza (*circolo meridiano)* passante per i poli.
Sulle carte che rappresentano la superficie terrestre, **l'intersezione di meridiani e paralleli forma un reticolato ideale, detto reticolato geografico**.

Le coordinate geografiche

Latitudine

La latitudine di un punto P è la distanza angolare tra il parallelo passante per P e l'equatore; è uguale alla misura dell'angolo al centro sotteso all'arco di meridiano compreso tra il raggio terrestre passante per *P* e l'equatore. La latitudine si misura in gradi o frazioni di grado e varia da 0° (equatore) a 90° N (polo nord) nell'emisfero boreale, e da 0° a 90° S (polo sud) nell'emisfero australe. Tutti i punti che si trovano sul medesimo parallelo hanno la stessa latitudine.
La latitudine di un punto nel nostro emisfero può essere determinata misurando, di notte, l'altezza della Stella.

Longitudine

La longitudine di un punto P è la distanza angolare tra il meridiano passante per P e il meridiano fondamentale; è l'angolo al centro sotteso all'arco di parallelo compreso tra il meridiano passante per *P* e il meridiano di Greenwich. La longitudine varia da 0° a 180° E (*antimeridiano di Greenwich),* per i punti posti a est del meridiano di Greenwich, e da 0° a 180° O (antimeridiano di Greenwich), per i punti che si trovano a ovest. Tutti i punti che si trovano sullo stesso meridiano hanno la stessa longitudine.
La longitudine di un punto si determina calcolando l'intervallo di tempo che intercorre tra la culminazione del Sole sul meridiano del luogo e la culminazione del Sole sul meridiano di Greenwich (15° per ogni ora di differenza).

Altitudine

L'altitudine, o quota, indica la distanza verticale del punto considerato dal livello medio del mare. L'altitudine di un punto si determina con appositi strumenti, gli *altimetri,* e con particolari tecniche di **triangolazione.** Può essere positiva (sopra il livello del mare) o negativa (sotto il livello del mare).

I punti cardinali

Per orientarsi occorre stabilire le direzioni dei **4 punti cardinali**: **est**, **ovest**, **nord**, **sud**. Per stabilire la posizione del **sud** si cerca la direzione del **Sole** al momento della sua **culminazione** sul meridiano locale, si traccia il semicerchio verticale che unisce lo **zenit** al Sole e interseca il piano dell'orizzonte: il punto di intersezione così trovato corrisponde al punto cardinale sud.
La direzione del **nord** si può individuare di notte utilizzando la **Stella Polare**: il semicerchio verticale che unisce lo zenit alla Stella Polare interseca il piano dell'orizzonte in un punto che corrisponde al **nord.**
Le direzioni dell'**est** e dell'**ovest** possono essere determinate con precisione solo nei **giorni di equinozio**, quando il Sole sorge esattamente a est e tramonta esattamente a ovest, descrivendo una semicirconferenza sopra l'orizzonte. Negli altri giorni dell'anno, i punti in cui sorge e tramonta il Sole si spostano verso nord (semestre estivo) o verso sud (semestre invernale).
Uno strumento principe per l'orientamento è stato in passato, ma in parte ancora oggi, la **bussola**. Essa sfrutta la proprietà di un sottile ago magnetico di allinearsi con le linee del campo magnetico prodotto dal nostro pianeta.
I poli magnetici e i poli geografici non coincidono esattamente. La direzione indicata dall'ago della bussola e la dire-

zione del meridiano geografico del luogo formano un angolo chiamato **declinazione magnetica,** che varia da luogo a luogo e nel tempo.
Oggi per determinare l'esatta posizione di un punto non si usano più stelle e orologi. Il più moderno sistema di orientamento è quello detto **GPS** (*Sistema di Posizionamento Globale*), che utilizza i segnali radio ricevuti da un gruppo di 24 satelliti in orbita attorno alla Terra.

Il moto di rotazione

La Terra ruota su se stessa intorno al suo asse, che passa per i poli. Il periodo di rotazione si chiama **giorno sidereo** ed è di $23^h\ 56^m\ 4^s$. Il moto di rotazione è un *moto periodico* che avviene in **verso diretto,** cioè *da ovest verso est* e, osservato dal polo nord celeste, si compie in senso antiorario.
La **velocità angolare** è uguale in ogni luogo della Terra: ogni punto della superficie terrestre, infatti, percorre un angolo di 360° in 1 giorno. La **velocità lineare di rotazione**, al contrario di quella angolare, varia sulla superficie terrestre. Infatti, il suo valore aumenta via via che ci si allontana dall'asse di rotazione.

Prove del moto di rotazione

L'esperienza di Guglielmini. Dalla fisica sappiamo che un corpo sospeso a un filo assume, come posizione di equilibrio, la direzione verticale. Se, invece, *un corpo* è *libero di cadere*, per esempio dalla sommità di una torre, non cade seguendo la verticale, ma **devia spostandosi verso est**. un corpo che si trovi sulla sommità di una torre si sposta da ovest a est più velocemente di un corpo alla base (perché la sommità della torre è a una distanza maggiore dall'asse di rotazione terrestre). Un corpo in caduta libera tende a mantenere per inerzia la velocità lineare di rotazione iniziale, perciò giungerà al suolo (che si muove con velocità di rotazione minore) in un punto spostato verso est rispetto alla verticale. Questo fenomeno è stato dimostrato sperimentalmente da **Domenico Guglielmini**, nel 1791 a Bologna.
L'esperienza di Foucault. Nel 1851, il fisico **Léon Foucault** verificò che il piano di oscillazione del pendolo rimane costante, anche quando il pendolo viene fatto ruotare. Utilizzò questa scoperta, appese alla volta del *Panthéon* di Parigi un pendolo molto lungo e, perciò, dotato di oscillazioni molto lente. In alto il pendolo era collegato a un perno girevole pressoché privo di attrito, in basso la punta del pendolo sfiorava un sottile strato di sabbia sparsa sul pavimento, imprimendovi una traccia. Dopo un certo tempo fu facile constatare che la punta del pendolo non ripassava mai nel solco prodotto durante una delle oscillazioni precedenti, ma tracciava nuovi solchi, come se il piano di oscillazione ruotasse da est verso ovest rispetto al suolo. Tenendo presente che il piano di oscillazione del pendolo non si sposta, se ne deve dedurre che era il suolo a spostarsi, da ovest verso est.

Le conseguenze della rotazione terrestre

Il moto diurno del Sole e l'alternarsi del dì e della notte. Dal momento che la Terra ha forma pressoché sferica, in ogni istante solo metà della sua superficie riceve luce e calore dal Sole. Perciò, essa risulta divisa in una *zona illuminata* e in una *zona buia,* separate da una linea, detta **circolo di illuminazione**. Ogni punto della superficie terrestre, a causa della rotazione, passa da una zona all'altra e vede alternarsi ogni giorno un periodo di luce, il **dì**, e un periodo di buio, la **notte**. Per la presenza dell'atmosfera, che provoca fenomeni di **diffusione**, il passaggio dal dì alla notte non avviene bruscamente (come accade invece sulla Luna), ma gradualmente. Di conseguenza il circolo di illuminazione non è una linea netta, ma una fascia in cui la luminosità compare o si attenua progressivamente, così che notte e dì sono separati da un periodo di debole chiarore, detto **crepuscolo**.
Il moto apparente della sfera celeste. Un secondo effetto significativo della rotazione terrestre è l'apparente movimento diurno delle **stelle** sulla sfera celeste. In questo contesto, ricordiamo che ogni giorno le stelle compiono una **rotazione da est verso ovest** intorno a un asse immaginario che coincide con l'asse terrestre. Al moto apparente giornaliero della sfera celeste partecipano anche i **pianeti,** la **Luna** e il **Sole,** ma il loro tragitto si modifica giornalmente.
La forza centrifuga. Dal momento che la Terra ruota su se stessa, tutti i corpi che si trovano sulla sua superficie sono soggetti all'azione della **forza centrifuga**. Questa forza è una **forza apparente**, che agisce in direzione perpendicolare all'asse di rotazione ed è diretta verso l'esterno. Il suo **valore aumenta allontanandosi dall'asse**, perciò cresce con l'altitudine e diminuisce con la latitudine.
La forza di Coriolis. La rotazione terrestre produce un'altra **forza apparente**, la **forza di Coriolis,** che agisce sui corpi in movimento. A causa della forza di Coriolis, **ogni corpo che sulla superficie terrestre si muova liberamente dall'equatore ai poli, viene deviato dalla sua direzione iniziale: verso la sua destra (nell'emisfero settentrionale) o verso la sua sinistra (nell'emisfero meridionale), nello stesso verso del movimento**. La forza di Coriolis ha una notevole influenza sulla direzione dei grandi circuiti delle *correnti oceaniche* e della *circolazione atmosferica*.

Il moto di rivoluzione

La Terra, come tutti i pianeti del Sistema Solare, compie un moto di rivoluzione intorno al Sole, muovendosi in **verso diretto** e descrivendo un'**orbita ellittica**. Il piano dell'orbita della Terra intorno al Sole è detto piano dell'**eclittica**. Il pianeta impiega $365^d\ 6^h\ 9^m\ 9{,}5^s$ per compiere una rivoluzione: tale periodo prende il nome di **anno sidereo**. Poiché l'orbita terrestre è un'ellisse, la distanza tra la Terra e il Sole è variabile; si chiamano:

- **afelio** il punto in cui la Terra si trova più distante dal Sole (circa 152 milioni di kilometri);
- **perielio** il punto dell'orbita più vicino al Sole (147 milioni di kilometri).

La **velocità di rivoluzione non è costante** (in accordo con la seconda legge di Keplero: la Terra è più veloce quando si trova presso il perielio ed è più lenta in afelio.
L'asse di rotazione terrestre è inclinato rispetto al piano dell'eclittica di 66° 33' e durante il moto di rivoluzione si può considerare che si **mantenga sempre parallelo a se stesso**.

Il circolo di illuminazione è tangente ai poli solo quando la Terra si trova in due punti dell'orbita, che vengono raggiunti il **21 marzo** e il **23 settembre**. Tali giorni sono detti rispettivamente **equinozio di primavera** ed **equinozio di autunno**. Nei giorni di equinozio il Sole è allo **zenit** a mezzogiorno sull'equatore. Esistono poi due posizioni in cui il circolo di illuminazione passa alla massima distanza dai poli. Ciò avviene il **21 giugno** e il **22 dicembre**, giorni che sono chiamati rispettivamente **solstizio d'estate** e **solstizio d'inverno**. Durante i solstizi il circolo di illuminazione è tangente a due paralleli, posti rispettivamente a 66° 33' di latitudine N e S, denominati **circolo polare artico** e **circolo polare antartico**. Nel solstizio d'estate, il polo nord è rivolto verso il Sole che è allo zenit a mezzogiorno sul parallelo di latitudine 23° 27' N, detto **tropico del Cancro.** Nel solstizio d'inverno, invece, il polo sud è rivolto verso il Sole che è allo zenit a mezzogiorno sul parallelo di latitudine 23° 27' S, detto **tropico del Capricorno**.

Le conseguenze della rivoluzione terrestre

A causa del moto di rivoluzione, la Terra modifica periodicamente la sua posizione rispetto al Sole. Gli effetti più significativi di questo cambiamento di posizione sono due, strettamente connessi tra loro.

Diversa durata del giorno solare e giorno sidereo. **Il giorno sidereo corrisponde all'intervallo di tempo che intercorre tra due passaggi successivi della medesima stella sul meridiano del luogo. La durata del giorno sidereo è costante: $23^h\ 56^m\ 4^s$.**

Il giorno solare è l'intervallo di tempo tra due culminazioni consecutive del Sole sullo stesso meridiano. La durata media del giorno solare è di 24^h.

Giorno solare e giorno sidereo **non hanno la stessa durata**, perché bisogna considerare che la Terra, mentre ruota su se stessa, si muove anche intorno al Sole, spostandosi ogni giorno di un angolo di circa 1°.

Il movimento apparente del Sole sullo sfondo dello zodiaco. Lo sfondo di stelle lungo il quale il Sole si muove nell'arco dell'anno si chiama **zodiaco**. Lo zodiaco occupa una fascia larga circa 20° intorno al piano dell'eclittica e comprende **12 costellazioni** che nel corso dell'anno vengono "attraversate" una dopo l'altra dal Sole.

Le stagioni

Durante l'anno in tutti i luoghi della Terra si osservano mutamenti periodici delle condizioni di illuminazione e riscaldamento della superficie terrestre. Osservando tali variazioni, è possibile suddividere l'anno in quattro periodi, le **stagioni astronomiche** (*primavera, estate, autunno, inverno*), caratterizzati nei due emisferi da condizioni diverse. A determinare il susseguirsi delle stagioni concorrono alcune importanti **cause**:

- il movimento di **rivoluzione** della Terra intorno al Sole;
- **l'inclinazione dell'asse** di rotazione terrestre rispetto al piano dell'eclittica;
- il fatto che **l'asse di rotazione si mantiene parallelo a se stesso** durante il moto di rivoluzione.
- Le stagioni, dunque, non dipendono tanto dal fatto che la Terra si muove intorno al Sole (condizione comunque necessaria), quanto piuttosto dal particolare orientamento dell'asse durante la rivoluzione.

Stagioni meteorologiche

Per convenzione, si è stabilito di far **iniziare la stagione meteorologica il primo giorno del mese in cui cade il solstizio o l'equinozio** che segnano l'inizio della corrispondente stagione astronomica: la primavera, per esempio, ha inizio il 1° marzo e termina il 1° giugno.

I moti millenari della Terra

Il più importante tra i moti millenari della Terra è il **moto conico dell'asse** che **causa il fenomeno della precessione degli equinozi**. Il moto conico dell'asse terrestre è relativamente lento (si compie in circa 26000 anni) e comporta uno spostamento dell'asse terrestre in verso orario. A causa del movimento conico dell'asse, la *posizione del polo nord* non è stata e non sarà sempre indicata dalla *Stella Polare*: tra 13 000 anni il nord sarà indicato dalla stella V*ega,* per tornare solo tra 25 700 anni a coincidere con la Stella Polare. Il movimento conico dell'asse provoca un altro effetto: gli **equinozi anticipano ogni anno di circa 20 min**. Il fenomeno prende il nome di **precessione degli equinozi,** anche se in realtà non riguarda solo gli equinozi: anche i solstizi e tutte le altre posizioni astronomiche anticipano.

Tra gli altri moti millenari ricordiamo la **variazione dell'eccentricità** e la **variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre** che oscilla, assumendo inclinazioni diverse da quella attuale.

I dati disponibili dimostrano che in passato i vari tipi di clima sulla Terra si sono più volte modificati e molto probabilmente i **moti millenari** sono, almeno in parte, responsabili delle oscillazioni climatiche che sono state registrate. Infatti, tali moti hanno come principale **conseguenza il periodico variare della distanza Terra-Sole** nelle diverse stagioni.

La misura del tempo

Il giorno civile

Il **giorno civile è il giorno solare medio**, il cui valore è la media della durata di tutti i giorni solari di un anno, diviso per convenzione in **24 ore.** Poiché l'ora è suddivisa in **60 min** e il minuto in **60 s**, 1 s astronomico corrisponde a 1/86400 del giorno.

L'ora civile e il sistema dei fusi orari

L'ora astronomica è l'ora determinata prendendo come riferimento il mezzogiorno astronomico e varia quindi con la longitudine. È evidente che non è possibile utilizzare, come riferimento per la misura del tempo, astronomica: se così fosse si verificherebbero continui inconvenienti nei rapporti e negli scambi tra località diverse, anche della stessa Nazio-

ne. Per facilitare i rapporti e le comunicazioni tra tutti i Paesi del mondo, fin dal XIX secolo, è stato fissato un sistema orario comune convenzionale, basato sui **fusi orari**. La Terra compie una rotazione di 360° in circa 24 ore, quindi in 1 ora ruota di 15° di longitudine. Questo vuol dire che in 1 ora passano davanti al Sole 15 meridiani in successione. Sulla superficie terrestre, quindi, sono stati tracciati **24** spicchi immaginari, chiamati **fusi orari**. Ognuno ha un'ampiezza di 15° in longitudine e comprende **15** meridiani (15 x 24 = 360°). Tutti i luoghi della Terra compresi in un determinato fuso orario assumono per convenzione **l'ora astronomica del meridiano passante per il centro del fuso** (**ora civile convenzionale**). Il meridiano scelto come riferimento universale in questo sistema è il **meridiano di Greenwich** e il fuso corrispondente, assunto come **fuso 0**.
Nella maggior parte dei casi le linee che delimitano i fusi orari non seguono esattamente l'andamento dei meridiani e hanno in molti tratti una forma irregolare, per adattarsi il più possibile ai confini degli Stati che attraversano. In questo modo si evita di adottare ore diverse nel territorio di uno stesso Stato.
Inoltre, non bisogna dimenticare che in molti Paesi, come l'Italia, ripristinando una consuetudine adottata durante le guerre mondiali, è stata introdotta l'**ora legale**. Durante i mesi in cui viene adottata si fanno avanzare gli orologi di 1 ora, in modo da guadagnare 1 ora di luce e ridurre i consumi energetici.
Nel sistema dei fusi orari, *l'antimeridiano di Greenwich* (180° meridiano) ha un significato particolare, perché è stato scelto convenzionalmente come **linea internazionale del cambiamento di data**. Se, quindi, una nave o un aereo attraversano la linea del cambiamento di data, procedendo dall'Asia verso l'America, devono ripetere la data del giorno, mentre se attraversano la stessa linea, provenendo dall'America e diretti verso l'Asia, si troveranno in ritardo di un giorno e dovranno spostare l'orologio avanti di 24 ore. È stato scelto l'antimeridiano di Greenwich come linea di cambiamento di data, perché questo attraversa prevalentemente l'Oceano Pacifico e non regioni abitate.

L'anno civile e il calendario

Dal momento che le variazioni stagionali regolano l'illuminazione e la quantità di calore ricevuto dalla Terra, è utile misurare il tempo riferendosi all'**anno solare** che dura **365^{d} 5^{h} 48^{m} 46^{s}**. L'anno solare però non comprende un numero intero di giorni, quindi non è possibile basare il calendario su di esso. Si ricorre perciò all'**anno civile** che, secondo il calendario adottato nel mondo occidentale dura **365 giorni**, 6 ore circa in meno rispetto all'anno solare.
Giulio Cesare, nel 46 a.C., procedette a una riforma (**calendario giuliano**): stabilì che la durata dell'anno sarebbe stata di **365** giorni, e ogni 4 anni si aggiunge all'anno civile 1 giorno (6 h x 4 = 24 h). Si alternano così 3 anni della durata di 365 giorni e 1 **anno bisestile** che dura **366 giorni**.
Tuttavia, neanche l'anno bisestile ripetuto ogni 4 anni permette di sincronizzare perfettamente anno civile e anno solare. La differenza di durata infatti non è 6 ore esatte, ma 5^{h} 48^{m} 46^{s}. L'anno civile successivo a quello bisestile inizia quindi in ritardo rispetto all'anno solare (6 h - 5 h 48 min 46 s = 11 min 14 s di ritardo per ogni anno).
Alla fine del XVI secolo, il divario tra calendario civile e anno solare era di circa 10 giorni, tanto che l'equinozio di primavera cadeva l'11 anziché il 21 marzo. Per questa ragione il **papa Gregorio XIII** propose una nuova riforma del calendario (riforma gregoriana) e, nel 1582, introdusse l'uso del **calendario gregoriano**, il calendario tuttora in uso nel nostro Paese Per ristabilire un accordo tra anno astronomico e anno del calendario, in quell'anno fu necessario eliminare 10 giorni dal calendario saltando direttamente da martedì 5 ottobre 1582 a venerdì 15 ottobre 1582. Fu scelto tale periodo perché in esso non ricorrevano feste solenni. Per evitare il ripetersi dell'errore, nel calendario tra gli *anni secolari* (1600, 1700, 1800 ecc.), sono bisestili solo quelli le cui cifre siano divisibili per 400. Il 2000 quindi è stato un anno bisestile, mentre il 1900 no.

La sfera celeste

Se osserviamo la **volta celeste** da una zona con pochi ostacoli, ci appare come una cupola nella quale si trovano incastonati dei piccoli punti luminosi, le **stelle**, accanto ad altri astri, in alcuni casi molto luminosi, che modificano la loro posizione nel corso dell'anno, i **pianeti**. In montagna, dove l'aria è più secca e non c'è l'inquinamento luminoso, è possibile individuare oggetti poco luminosi e dai contorni non ben definiti: le **galassie**. Inoltre, nelle notti d'estate il cielo è attraversato da una striscia luminosa punteggiata di stelle: è la **Via Lattea**. Due astri molto luminosi sono poi visibili: la **Luna**, il nostro satellite e il **Sole**, che appare molto luminoso perché è vicino a noi.
Una volta si riuscivano a vedere ad occhio nudo almeno 6000 stelle; oggi nelle città, anche quando il cielo è sereno, se ne può contare al massimo qualche decina.

Le costellazioni

L'immagine che noi abbiamo della sfera celeste è solo un'illusione ottica: gli oggetti non si trovano tutti alla stessa distanza da noi come se fossero sulla superficie di una sfera, ma occupano uno spazio tridimensionale.
Anche le **costellazioni** sono un'illusione; le stelle che ci appaiono come proiettate sulla volta celeste, si trovano in realtà a distanze diverse.
Le costellazioni sono figure immaginarie che si ottengono unendo con linee le stelle visibili apparentemente vicine, alle quali gli antichi astronomi hanno dato dei nomi mitologici.
Vista la loro utilità per l'osservazione del cielo, l'Unione Astronomica Internazionale ne ha riconosciute in modo ufficiale **88**. Fra queste, le **12** costellazioni dello **zodiaco** sono importanti non solo per fare gli oroscopi, ma perché sono quelle che si trovano nella fascia del cielo attraversata dal Sole nel corso dell'anno.

Distanze astronomiche

Anche gli oggetti più vicini a noi sono comunque lontanissimi e l'uso dei chilometri per misurare le distanze può risultare scomodo: per questo sono state introdotte altre unità di misura.

Unità astronomica: si usa per le distanze degli oggetti che si trovano all'interno del Sistema Solare e corrisponde a quasi 150 milioni di chilometri, pari alla distanza media della Terra dal Sole.
Anno luce: corrisponde alla distanza che la luce percorre in un anno viaggiando a quasi 300000 km/s ed è pari a circa 9500 miliardi di chilometri.
Parsec: è la distanza alla quale un osservatore vede il semiasse maggiore dell'orbita terrestre sotto l'angolo di 1'' e corrisponde a 30900 miliardi di chilometri.

Le Stelle

Le stelle sono corpi celesti che emettono energia grazie alle reazioni termonucleari che le rendono luminose nel cielo.
La **luminosità** non è la stessa per tutte le stelle che noi osserviamo e dipende da fattori diversi: dall'energia emessa dalla stella, dalla temperatura, dall'estensione della superficie e dalla distanza rispetto alla Terra. Così una stella molto grande può apparirci poco luminosa se è molto lontana e, viceversa, una stella piccola come il Sole ci appare estremamente luminosa perché molto vicina a noi.
La misura della luminosità è data dalla **magnitudine**. La *magnitudine apparente* è la luminosità con cui ci appare la stella. La *magnitudine assoluta* è la luminosità che ci apparirebbe si fosse posta ad una distanza di 10 parsec.
Se osserviamo le stelle nel cielo ci accorgiamo che mostrano colori diversi. Il **colore** è in relazione con la **temperatura**: le stelle rosse hanno una temperatura superficiale di circa 3000°K; le stelle gialle come il Sole raggiungono i 6000°K, mentre quelle bianco-azzurre superano i 30000°K.

Diagramma di Hertzsprung e Russel

Il diagramma H-R prende in considerazione contemporaneamente la temperatura della stella, il suo colore e la luminosità assoluta.
Se noi rappresentiamo le stelle su questo grafico, vediamo che la maggioranza si colloca sulla diagonale, nella zona chiamata **sequenza principale**. Questo è facilmente spiegabile perché una stella molto calda è luminosa e di colore azzurro, mentre una stella fredda è rossastra e poco luminosa. Sul grafico si notano altri due raggruppamenti; in alto a destra si trovano le **giganti rosse** che, pur avendo una bassa temperatura, sono luminose a causa della loro grande superficie. In basso a sinistra ci sono le **nane bianche**, caldissime ma poco luminose perché sono piccole. Il Sole si trova quasi a metà della sequenza principale.
Una stella non mantiene sempre la medesima posizione nel diagramma ma si sposta a seconda dello stadio della sua evoluzione.

Evoluzione stellare

Nascita

Le stelle nascono da una nebulosa di fredde polveri e gas. Disturbate nella loro posizione di equilibrio gravitazionale si mettono a ruotare vorticosamente formando un primo nucleo di condensazione, attorno al quale si addensano altre polveri attirate dalla forza di gravità. Il compattarsi del materiale, oltre che far aumentare la forza gravitazionale, fa progressivamente aumentare la velocità di rotazione e questo compatta ulteriormente il nucleo in un ciclo che si autoalimenta.
Contemporaneamente, la pressione, l'attrito fra le particelle e la liberazione di energia gravitazionale provocano un aumento della temperatura: nasce la **protostella**.

Fase di stabilità

Quando la temperatura raggiunge il valore tale da far innescare le reazioni termonucleari si ha la **stella** vera e propria.
La stella rimane nella fase di stabilità finché sussiste l'equilibrio tra la forza gravitazionale che tende a farla collassare, e il calore che la fa dilatare. Il calore continuerà ad essere emesso finché ci sono le reazioni termonucleari, ma il combustibile non è illimitato. Quanto più una stella è grande, tanto più rapidamente consuma le sue scorte perché le reazioni avvengono a temperature altissime. Stelle piccole come il Sole bruciano l'idrogeno in circa 10 miliardi di anni, mentre le stelle giganti lo consumano in poche centinaia di migliaia di anni.

Gigante rossa

Quando il combustibile nel nucleo si esaurisce prevale la forza di gravità sull'espansione ed esso collassa su se stesso. A questo punto, un nuovo aumento di temperatura permette la combustione dell'elio trasformandolo in carbonio. Le reazioni, inoltre, si trasferiscono negli strati più esterni che fanno dilatare enormemente la stella facendola diventare una **gigante rossa**.
A questo punto la fine della stella dipende dalla sua massa.

Massa piccola: nana bianca

Se la massa è simile a quella del Sole, gli strati esterni bruciano il combustibile fino all'esaurimento per poi disperdersi sotto forma di un anello di polveri: **nebulosa planetaria**.
La parte interna, dopo il collasso si riscalda nuovamente innescando nuove reazioni termonucleari che utilizzano elementi più pesanti rispetto alle reazioni precedenti. Si forma così una piccola stella, la **nana bianca**, che in lunghissimi tempi brucerà il combustibile diventando una stella **rossa** e poi **nera**.

Massa media: supernova e stella a neutroni

Con una massa almeno una decina di volte quella solare, la parte superficiale non è in grado di mantenere a lungo il suo equilibrio ed esplode diventando molto luminosa, siamo nella fase di **supernova**. I residui dell'esplosione formano una **nebulosa irregolare**, da cui possono formarsi altre stelle più piccole.
La parte interna collassa molto di più rispetto alla stella precedente e diventa un corpo molto compatto formato da neutroni: **stella a neutroni**.

Se emette un fascio di radiazioni non coincidente con l'asse di rotazione, dalla Terra appare come un oggetto pulsante che si comporta come un faro: è una **pulsar**.

Massa grande: buco nero

Quando la massa è qualche decina di volte quella solare, dopo l'esplosione della supernova, il collasso gravitazionale andrà a formare un corpo talmente denso che non lascerà sfuggire alcun oggetto dalla superficie, neanche la luce; per questo ci appare come un **corpo nero**.

Il Sistema Solare

Il Sistema Solare è costituito da una **stella**, il Sole, attorno alla quale ruotano **8 pianeti**.
I pianeti di tipo **terrestre**, cioè rocciosi come la Terra, sono: Mercurio, Venere, Terra e Marte. Quelli **gioviani**, gassosi e molto più grandi di quelli terrestri sono: Giove, Saturno, Urano, Nettuno. Attorno a molti pianeti ruotano dei **satelliti**.
Tra Marte e Giove si trova la fascia degli **asteroidi** e al di là del pianeta più lontano si trova la zona delle **comete**.
I pianeti hanno un movimento di rotazione attorno a se stessi, quasi tutti in senso antiorario, inoltre, tutti compiono movimenti di rivoluzione in senso antiorario attorno al Sole, con orbite poco ellittiche complanari.

Origine del Sistema Solare

Il Sistema Solare si è originato, come le altre stelle, circa 4,7 miliardi di anni fa da una fredda nebulosa di idrogeno, elio e polveri di materiali più pesanti. A causa della forza gravitazionale o disturbata da un corpo celeste passato nelle vicinanze, la nebulosa cominciò a collassare su se stessa, aggregando le particelle nella zona centrale. La contrazione fece aumentare la velocità di rotazione che, oltre a compattare ulteriormente la nebulosa, ne provocò l'appiattimento. Si è formato così un disco esteso oltre 10 miliardi di chilometri, dello spessore di 100 milioni di chilometri.
Il nucleo, a causa della pressione gravitazionale e dell'attrito delle particelle, si è riscaldato progressivamente fino a formare il **protosole**. L'innesco delle reazioni termonucleari porta finalmente alla nascita del **Sole**, che da allora irradia l'energia che permette la vita sulla Terra, e lo farà per altri 5 miliardi di anni, fino a quando ci sarà combustibile nel nucleo.
Nelle zone più lontane del disco si formarono altri vortici con il materiale residuo, che si condensarono in pezzi di roccia chiamati **planetesimi**. Questi si aggregarono per formare i **pianeti**, accrescendosi con il materiale circostante che cadeva sulla loro superficie, formando grandi crateri.
I residui della nebulosa, infine, sono stati spazzati dal vento solare, che ha ripulito l'area circostante.

Il Sole

La nostra stella, il Sole, è una stella di medie dimensioni (il diametro è di circa 1400000 km), giallo arancio, che ruota su se stesso in circa 25 giorni all'equatore. Sappiamo che è una stella di seconda generazione, formata cioè dai resti dell'esplosione di una precedente stella, per la presenza di materiali pesanti che non sarebbe stato in grado di produrre con le reazioni termonucleari. Per il 90% è formato da idrogeno.
La parte più interna, il **nucleo**, ha una temperatura di 15 milioni di gradi Kelvin, e in esso avvengono le reazioni di fusione termonucleare.
Questa reazione consiste nell'unione di 4 nuclei di idrogeno per formare un nucleo di elio; la differenza di massa è convertita in energia.
Sopra il nucleo c'è la zona **radiativa**, dove avviene il trasporto dell'energia tramite i fotoni, seguita dalla zona **convettiva**, nella quale colonne di gas incandescente salgono verso la superficie.
La superficie solare è detta **fotosfera**; in essa si trovano le **macchie solari**, aree che appaiono più scure perché sono più fredde rispetto alle zone circostanti (circa 4500°K contro i 6000°K della superficie). Sono sede di intensi campi magnetici e di moti convettivi e variano nel numero e dimensioni secondo un ciclo di circa 11 anni. I fenomeni magnetici solari, soprattutto quando sono molto intensi, generano un flusso di particelle, il **vento solare**, che raggiunge la Terra interagendo con il campo magnetico terrestre per formare le *aurore polari*.
Accanto alle macchie solari si trovano delle aree più luminose, le **facole**, e i *flares* o **brillamenti**, dovuti a brevi esplosioni. I **granuli**, invece, sono la parte superiore delle celle convettive.
L'atmosfera è costituita da due strati; quello inferiore, la **cromosfera**, così chiamata per il colore che conferisce al Sole, ha una struttura irregolare per la presenza delle **spicole**, piccole lingue di idrogeno, e delle **protuberanze**, enormi getti di gas che si innalzano per migliaia di chilometri.
Lo strato superiore dell'atmosfera è la **corona solare**, visibile durante le eclissi o con appositi strumenti.

I pianeti

Mercurio

Mercurio è il pianeta più piccolo e il più vicino al Sole, per questo la sua osservazione è difficile. Una sonda recentemente inviata ci svelerà i suoi segreti nel 2011. Le immagini fornite dal Mariner 10 ci mostrano un pianeta piccolo con una superficie rocciosa piena di crateri e scarpate che lo fa assomigliare alla Luna.
L'assenza di atmosfera, oltre ad aver permesso la caduta e conservato l'impatto di moltissimi meteoriti, rende la temperatura superficiale elevatissima nelle aree esposte al Sole e la fa scendere a –170°C dalla parte opposta, anche a causa del moto di rotazione molto lento (58 giorni).
Mercurio non ha satelliti.

Venere

Considerato in passato il gemello della Terra per dimensioni e densità, in realtà ha una superficie che raggiunge una temperatura di 400°C, non solo perché è più vicino al Sole, ma soprattutto a causa dell'effetto serra prodotto dalla spessa atmosfera di anidride carbonica.

La superficie è abbastanza pianeggiante, con alcune depressioni e rilievi montuosi, ma priva di crateri meteorici, ed è nascosta dalle spesse nubi contenenti acido solforico e cloridrico.
Il pianeta ruota in senso retrogrado, cioè orario, attorno ad un asse inclinato di 177° rispetto al piano dell'eclittica.
Venere non ha satelliti.

Terra

La Terra è l'unico pianeta del nostro Sistema Solare dove sia presente con certezza la vita. Pur non essendo molto grande, riesce a trattenere un'atmosfera ricca di ossigeno e l'acqua allo stato liquido dove si è sviluppata la vita.

Marte

Marte, il pianeta rosso a causa della presenza di ossidi di ferro, è circa la metà della Terra, con una superficie rocciosa, con canali e grandi vulcani come il Monte Olimpo.
Le calotte polari sono coperte di ghiaccio di anidride carbonica e di acqua che modificano la loro estensione al variare delle stagioni. La temperatura del pianeta rimane comunque per tutto l'anno abbondantemente sotto lo zero.
L'atmosfera è rarefatta e composta prevalentemente di anidride carbonica.
Non è presente acqua allo stato liquido in superficie, ma doveva esserci stata in passato vista la presenza di canali di origine fluviale.
Ha due asteroidi, Phobos e Deimos, di forma irregolare, forse due asteroidi catturati.

Giove

Giove, il più grande pianeta del Sistema Solare, è un gigante gassoso di idrogeno ed elio, che emette più energia di quanta ne riceva dal Sole. Se fosse stato un po' più grande, nel suo nucleo avrebbero potuto innescarsi le reazioni termonucleari facendolo diventare una stella.
L'atmosfera è sede di intensi fenomeni che le danno l'aspetto di bande parallele. Interessante è la "grande macchia rossa", un ciclone che da almeno 400 anni continua a imperversare sulla superficie del pianeta.
Oltre a sottilissimi anelli, possiede almeno una sessantina satelliti, 4 dei quali, i satelliti medicei, sono stati scoperti da Galileo. Ricordiamo in particolare Io che è sede di intensa attività vulcanica.

Saturno

Più piccolo di Giove, il pianeta gassoso Saturno possiede un sistema di anelli visibili anche dalla Terra; già Galileo, infatti, con il suo cannocchiale, aveva notato delle protuberanze attorno al pianeta.
Particolarmente schiacciato a causa dell'elevata velocità e della bassa densità, ha una superficie che, come negli altri pianeti gassosi non è solida, formata da idrogeno, avvolta da un'atmosfera suddivisa in bande parallele.
Fra la sessantina di satelliti vale la pena segnalare Titano, più grande di Mercurio, che è avvolto da una spessa atmosfera simile a quella che aveva la Terra in passato.

Urano

Urano è un pianeta gigante formato da un'atmosfera di idrogeno che si estende fino ai sottili anelli; la superficie contiene essenzialmente metano che gli conferisce un colore azzurrognolo.
L'asse di rotazione è inclinato di quasi 90°, perciò il pianeta, che praticamente rotola in senso retrogrado lungo il piano orbitale, mostra alternativamente i due poli al Sole.
Urano ha cinque satelliti più grandi e almeno una ventina di satelliti minori.

Nettuno

Nettuno è un gigante pianeta azzurro per la presenza di metano nell'atmosfera, con un sottile sistema di anelli. Nell'atmosfera si verificano intensi fenomeni ciclonici come la grande macchia blu, analoga alla macchia rossa di Giove, fotografata dal Voyager 2 nel 1989.
Possiede almeno 13 satelliti, due dei quali conosciuti da tempo.

Corpi minori

Pianeti nani e fascia di Kuiper

La **fascia di Kuiper** è una regione del Sistema Solare, esterna all'orbita i Nettuno, che si estende fra 30 e 1000 UA. Secondo le attuali conoscenze, comprende più di 1000 oggetti, indicati con la sigla **KBO** (*Kuiper Belt Objects*). I KBO sono asteroidi e corpi ghiacciati di composizione simile a quella delle comete.
Il più vicino è **Plutone** che dal 2006 è stato declassato da nono pianeta a pianeta nano sia per l'esigua massa, sia per l'inclinazione dell'orbita e per la sua eccentricità, che lo porta in alcuni periodi ad essere più vicino al Sole rispetto a Nettuno.
Si conosce molto poco di questo planetoide, data la lontananza che rende estremamente difficili le osservazioni; probabilmente è formato per la maggior parte di roccia con un po' di acqua ghiacciata, avvolto da una tenue atmosfera di azoto, metano e monossido di carbonio. Ha un satellite, Caronte, molto grande rispetto al pianeta, tanto da farne un sistema doppio.
Sempre in questa fascia si trova **Eris**, un corpo con massa maggiore di Plutone. Oltre la fascia di Kuper è stato scoperto un oggetto sferico, **Sedna**, di oltre 200 km di diametro, inizialmente ritenuto un pianeta e forse potrebbe essere classificato tra i pianeti nani. Anche **Cerere** è stato promosso da asteroide a pianeta nano, pur non appartenendo a questa fascia.

Asteroidi

Gli asteroidi sono migliaia di piccoli corpi rocciosi orbitanti tra Marte e Giove, nella zona detta **fascia degli asteroidi**,

anche se alcuni hanno delle orbite particolari che possono farli avvicinare alla Terra.
Il più grande di questa fascia è Cerere, che raggiunge il diametro di 1000 km, anche se ora è considerato un pianeta nano, mentre molti raggiungono a malapena i 10 km.
Si pensa che siano frammenti della nebulosa primordiale che non sono riusciti a condensarsi in un pianeta a causa della loro bassa densità. In passato, invece, si riteneva si trattasse di resti di un pianeta esploso.

Comete e Nube di Oort

Ai confini del Sistema Solare si trova la **Nube di Oort**, una fascia estesa tra 20000 e 100000 UA, residuo della nebulosa originaria, ed è il serbatoio delle comete. Si tratta di blocchi di ghiaccio e polveri con un po' di sostanza organica che, se vengono disturbate dalla loro posizione, entrano nel Sistema Solare. Quando si avvicinano al Sole il calore le fa sublimare, per cui si forma una *chioma* e una *coda*, che si estende per milioni di chilometri dalla parte opposta rispetto al Sole a causa del vento solare.
Se l'orbita è parabolica o iperbolica le comete passano una sola volta vicino al Sole per poi perdersi nello spazio; se invece compiono un ellisse ritornano periodicamente, come la famosa cometa di Halley che ritorna ogni 76 anni.
Ad ogni passaggio diventano più piccole perché perde un po' del suo materiale il quale, se interseca l'orbita terrestre, forma le piogge di stelle cadenti.

Meteore e Meteoriti

Le **meteore** sono piccoli oggetti che, attirati dalla gravità terrestre, entrano nell'atmosfera bruciandosi a causa dell'attrito e formando una scia luminosa (stella cadente). Sono famose le Perseidi che possiamo osservare nella notte di San Lorenzo il 10 agosto.
Se i frammenti raggiungono la superficie terrestre, abbiamo le **meteoriti**, che possono avere una composizione ferrosa, rocciosa o mista.
Ogni anno arriva sulla Terra una massa di questo materiale compresa tra 10 e 200 milioni di chilogrammi, per lo più sotto forma di **polvere cosmica** o di **micrometeoriti**.
Per quanto riguarda l'origine, la maggior parte deriva da **frammenti di asteroidi**; in parte sono frammenti che le **comete** lasciano lungo la loro orbita. Alcune particelle derivano da rocce lunari o di Marte, giunte fino alla Terra probabilmente a causa di un **impatto** con un asteroide o per un'eruzione esplosiva. Infine, alcuni detriti sono il **residuo della nebulosa primordiale** da cui si è formato il Sistema Solare.

La Luna

La Luna, l'unico satellite della Terra, ha un raggio di 1738 km, un quarto di quello terrestre. È priva di atmosfera e di acqua allo stato liquido. La temperatura può raggiungere i 117°C di giorno e i -170°C di notte.

Origine

Sono state formulate diverse ipotesi per spiegare la formazione della Luna.

1. Ipotesi della **fissione**. La Luna si sarebbe staccata dalla Terra, quando era ancora allo stato fuso, a causa dell'elevato forza centrifuga un tempo maggiore di quella attuale. Questo giustifica la differente densità dei due corpi ma non la diversa composizione delle rocce, né l'inclinazione della sua orbita.
2. Ipotesi della **cattura**. La Luna sarebbe un corpo formato in un altro luogo del Sistema Solare e catturato dalla Terra. Questo spiegherebbe la diversa composizione delle rocce ma non il modo della cattura, che sembra abbastanza improbabile.
3. Ipotesi dell'**impatto**. La Luna sarebbe una parte della Terra staccatasi quando era ancora fluida a causa dell'impatto con un corpo celeste. Le giustificazioni sono le stesse della prima ipotesi. Attualmente è tra le più accreditate.
4. Ipotesi dell'**accrescimento**. La Luna si è formata attorno alla Terra, contemporaneamente e nello stesso modo del nostro pianeta. Come la precedente ha un buon credito, anche se non risolve alcuni problemi.

Aspetto superficiale

La Luna è formata da rocce silicatiche come l'**anortosite**, poco comune sulla Terra. La superficie è costellata da **crateri** di origine meteorica perché quelli vulcanici sono stati cancellati dai successivi impatti. Sono molto più numerosi sulla faccia nascosta perché non protetta dalla Terra e si conservano per l'assenza dell'atmosfera.
Nella faccia a noi visibile si notano delle grandi estensioni scure chiamate **mari**, che in realtà sono espandimenti di lava basaltica. Le regioni lunari chiare sono le **terre alte** o **altopiani**. Lungo i bordi dei mari si trovano dei **rilievi**, alcuni dei quali raggiungono i 5000 m.
La superficie è ricoperta da una fine polvere, il **regolite**.

Moti

Rotazione

La Luna ruota in senso antiorario attorno ad un asse inclinato di 6° 41' in un **giorno lunare** della durata di $27^d\,7^h\,43^m\,11^s$.
Il suo periodo di rotazione è uguale a quello di rivoluzione, per questo noi vediamo sempre la medesima faccia della Luna.

Rivoluzione

Il moto di rivoluzione attorno alla Terra avviene sempre in senso antiorario su un piano orbitale inclinato di 5° 9' rispetto all'eclittica e la interseca in due punti chiamati **nodi**.
Il punto di minima distanza è il **perigeo** e quello di massima distanza è l'**apogeo**.
L'intervallo di tempo necessario per compiere un'intera rivoluzione prende il nome di **mese**. Il **mese sidereo** corrisponde all'intervallo tra due successivi allineamenti della Luna e di una stella su un meridiano e dura $27^d\,7^h\,43^m\,11^s$.

Questo valore indica il tempo reale di rivoluzione e anche il periodo vero di rotazione.
Il **mese sinodico** è l'intervallo tra due uguali allineamenti (congiunzioni od opposizioni) Luna-Sole e dura **29^{d} 12^{h} 44^{m} 3^{s}**. Le differenze tra mese sidereo e sinodico derivano dal fatto che mentre la Luna ruota intorno alla Terra, questa si è spostata per il moto di rivoluzione intorno al Sole. Per ritrovare l'allineamento con Terra e Sole, è necessario che la Luna compia un ulteriore arco intorno alla Terra, corrispondente all'angolo che la Terra ha compiuto nel corso dei 27 giorni trascorsi girando intorno al Sole. Tale arco corrisponde a un angolo di 27° circa e, per compierlo, la Luna impiega 2 giorni. Questo fa sì che ogni giorno la Luna sorga 50 minuti più tardi, perciò noi osserviamo la Luna culminare sullo stesso meridiano ogni **24^{h} 50^{m} 28^{s}** (**giorno lunare** inteso come moto apparente della Luna attorno alla Terra).

Traslazione

La **traslazione** è il movimento che compie insieme alla Terra attorno al Sole, rivolgendo verso di esso sempre la concavità.

Fasi lunari

Il Sole illumina continuamente metà della superficie lunare, ma noi vediamo modificarsi la parte illuminata a causa del variare della nostra posizione rispetto ad essa.
Quando La Luna si trova in congiunzione, cioè fra la Terra e il Sole, la parte illuminata non è a noi visibile e si ha il **novilunio**. Dopo 7 giorni noi vediamo illuminata metà della faccia visibile: **primo quarto**. Dopo altri sette giorni, quando è in opposizione, la metà illuminata è quella che noi possiamo osservare e abbiamo il **plenilunio**. Ancora 7 giorni e la luna è di nuovo in quadratura e vediamo l'altra metà della superficie illuminata: **ultimo quarto**. Infine si conclude il ciclo delle fasi lunari in 29 giorni e mezzo detto mese sinodico.

Eclissi

Ogni volta che la Luna si trova in congiunzione o in opposizione dovremmo avere un'eclissi, invece in un anno si verificano da 2 a 7 eclissi. Questo perché il piano dell'orbita lunare e quello terrestre non coincidono. Solo quando la Luna si trova in questi momenti in uno dei nodi è possibile l'eclisse.
In particolare, quando la Luna è in congiunzione si ha un'**eclissi solare**, parziale, totale o anulare, visibile in zone limitate della Terra.
Quando la Luna è in opposizione si ha un'**eclissi di Luna** parziale o totale.

Galassie e nebulose

Le galassie

La **galassia** è un insieme di miliardi di stelle, le quali, reciprocamente attratte dalla forza gravitazionale, nel loro moto possono assume forme diverse.
Le galassie **irregolari** contengono principalmente stelle giovani con nubi di gas e polveri interstellari.
Le galassie **a spirale** sono dotate di bracci che partono dal nucleo galattico o da una specie di barra centrale; hanno sia stelle giovani che vecchie.
Le galassie **ellittiche** non contengono polvere interstellare e sono formate soprattutto da stelle vecchie.
L'età delle stelle presenti nei diversi tipi di galassie fa supporre che ci sia una relazione tra la forma e la loro età.

Le galassie non sono isolate ma riunite a migliaia a costituire **ammassi**, a loro volta raggruppati in **superammassi**, circondati da immensi spazi vuoti, che fanno assomigliare l'Universo a una spugna. A grandissima scala, tuttavia, l'Universo è praticamente omogeneo.

La Via Lattea

La nostra **Galassia** è costituita da milioni di stelle di cui noi ne vediamo una parte nel cielo estivo: la **Via Lattea**. Ha la forma di un disco molto appiattito, del diametro di circa 100000 anni luce, con un rigonfiamento centrale (*nucleo galattico*) dello spessore di 15000 anni luce. Dall'alto sono evidenti i *bracci a spirale* e su uno di essi, in posizione abbastanza periferica si trova il nostro Sistema Solare.
Attorno alla Galassia si trovano degli ammassi stellari, a formare un *alone galattico*.
La Galassia, insieme ad altre 30 è riunita nel **Gruppo Locale**.

Gli ammassi stellari

Le stelle possono essere riunite in **ammassi stellari** (da non confondere con gli ammassi di galassie), raggruppamenti più piccoli rispetto alle galassie.
Gli **ammassi aperti** hanno forma irregolare e sono costituiti da poche centinaia di stelle giovani con abbondante materia interstellare.
Gli **ammassi globulari**, invece, sono formati da migliaia di stelle vecchie con scarsa materia interstellare.

Le nebulose

La materia interstellare spesso si trova concentrata in ammassi di polveri finissime e gas. Si tratta delle **nebulose** che hanno origine e caratteristiche diverse.
Le nebulose **oscure** sono ammassi di polveri fredde prive di sorgenti luminose.
Le nebulose **a riflessione** mostrano una debole luminescenza a causa di una sorgente luminosa posta al loro interno o nelle vicinanze.
Le nebulose **ad emissione** sono dotate di luce propria che deriva da un fenomeno di fluorescenza dovuta alla ionizzazione dei loro gas.
Le nebulose **planetarie** sono anelli di polveri che derivano dalla dispersione degli strati più esterni di una stella che ha raggiunto lo stadio di gigante rossa.
Le nebulose **da supernova** sono strutture di aspetto irregolare che derivano dalla violenta esplosione degli strati superficiali di una supernova.

Origine ed evoluzione dell'Universo

L'espansione dell'Universo

L'osservazione dello spazio con i più potenti telescopi ha mostrato che, dovunque si volga lo sguardo, si vedono galassie. Le galassie non sono immobili ma sembrano tutte allontanarsi dalla Terra, cose se essa fosse al centro dell'Universo (**recessione delle galassie**).
L'allontanamento delle galassie è stato dimostrato mediante l'**effetto Doppler**: se osserviamo una sorgente luminosa con uno spettroscopio, scopriamo che se la sorgente si allontana le righe dello spettro sono spostate verso il rosso e verso il blu se si avvicina.
Per spiegare questo fenomeno occorre immaginare il nostro Universo come la superficie di un palloncino sulla quale si trovano disegnati dei pallini che rappresentano le galassie; uno di essi indica la galassia dove si trova il nostro Sistema Solare. Il modello richiede l'eliminazione della terza dimensione, cioè il volume dell'Universo tridimensionale è ridotto alla superficie bidimensionale del palloncino. Il raggio del palloncino rappresenta la dimensione temporale.
Se noi gonfiamo il palloncino, scopriamo che tutti i pallini si allontanano tra loro e quello della nostra galassia non ha nulla di particolare rispetto agli altri: l'**espansione dell'Universo** non è dunque un allontanamento delle galassie in uno spazio vuoto, ma l'aumento reciproco delle distanze tra le galassie.

Il Big Bang

Se le galassie si allontanano, vuol dire che in passato erano più vicine tra loro e, andando a ritroso nel tempo possiamo immaginare che c'è stato un momento in cui tutta la materia e l'energia dell'Universo era concentrata in un unico punto detto **singolarità**. È l'istante zero del **Big Bang**, del tutto inaccessibile alla fisica che noi conosciamo.
L'inizio descrivibile dalla fisica corrisponde al tempo di Planck: 10^{-43} sec. Da quel momento, circa 12-15 miliardi di anni fa, che è all'origine dello spazio e del tempo, inizia l'espansione della singolarità. Come ho spiegato sopra, non c'è un'espansione *nello* spazio, ma *dello* spazio.
10^{-36} secondi dopo il Big Bang si creano le prime particelle e antiparticelle che si annichilano tra loro producendo una grande quantità di radiazioni, ma si deve arrivare a 3 minuti per avere i primi nuclei di elio e a 380000 anni per avere i primi atomi stabili di idrogeno ed elio. Un eccesso di materia rispetto all'antimateria ha permesso di avere le particelle che formano l'attuale Universo.
Bisogna attendere poi 100 milioni di anni per avere le protogalassie e 4 miliardi di anni per le prime stelle.

Le prove del Big Bang

Attualmente le prove addotte a sostegno della teoria del big bang sono **tre**.
La prima prova è il **moto di recessione delle galassie**.
La seconda prova è l'analisi delle **percentuali di idrogeno e di elio** nell'Universo attuale. Tali percentuali concordano con quelle previste dalla teoria e non sarebbero facilmente giustificabili senza tale teoria. La materia appare, infatti, costituita per il 75% da idrogeno e per poco meno del 25% da elio. Se non si fosse verificato il big bang, tutto l'elio attualmente presente nell'Universo deriverebbe dalle reazioni di fusione nucleare avvenute nelle stelle. Ma la quantità di elio rilevata risulta troppo elevata rispetto alle previsioni (specialmente nelle regioni in cui non ci sono stelle che lo producono) e uniforme ovunque: ciò è in accordo con l'ipotesi che si sia formato nell'Universo primordiale, prima della nascita delle stelle e delle galassie.
La terza prova è l'esistenza della cosiddetta **radiazione cosmica di fondo**. Nel 1965 è stata scoperta una radiazione, distribuita in modo uniforme nello spazio, che disturbava le trasmissioni satellitari. Si tratta di una radiazione di 2,7°K che non proviene da un particolare corpo celeste, ma dall'intero Universo. Si ritiene sia il residuo del Big Bang e questa è una delle prove più importanti. Il satellite COBE nel 1989 ha mostrato che la radiazione è uniformemente distribuita in tutto l'Universo ma non è del tutto omogenea. Le piccole variazioni sono da interpretare coma la prova dell'inizio della formazione delle galassie.

Cosa c'era prima?

Non ha senso chiedersi cosa sia successo prima del Big Bang perché, se con esso ha avuto origine il tempo, non esiste un "prima". Rimane tuttavia una domanda: **perché esiste l'Universo?** qual è l'origine della singolarità? Questa domanda va oltre la fisica, è tipo metafisico, perciò lo scienziato può indagare sugli avvenimenti accaduti dopo il Big Bang, ma non può risolvere il problema della sua esistenza.

La fine dell'Universo

L'espansione dell'Universo continuerà per sempre? Per rispondere a questa domanda occorre prima sapere quanta materia c'è, poiché in buona parte nell'Universo si trova **materia oscura**.
Se la densità della materia è al di sotto di un valore definito densità critica, la forza di gravità non riuscirà a prevalere sull'espansione e l'Universo si espanderà per sempre. Si avrà perciò una **morte fredda**, perché tutti gli oggetti consumeranno progressivamente la loro energia, diventando corpi freddi e l'Universo si dice **aperto** ed è infinito.
Al contrario, se la densità della materia supera il valore critico, ad un certo momento la forza gravitazionale farà rallentare progressivamente le galassie fino a fermarle, per poi invertire la direzione del movimento. Si ritornerà così alla singolarità iniziale (**Big Crunch**) con una **morte calda** e l'Universo è **chiuso** e finito. In questo caso è stato anche ipotizzato che questa fase di vita dell'Universo sia una fra le tante che si sono succedute e si succederanno nel ciclo di espansione-collasso; si avrebbe allora un Universo **pulsante**.
Se, infine, la densità corrisponde al valore critico, l'espansione rallenta fino a fermarsi all'infinito e l'Universo assume una struttura **euclidea**: è l'Universo **piatto**.