



SCIENZE DELLA TERRA

per le prime

degli Istituti professionali

LORENZO PANTIERI

Questo lavoro, scritto per gli alunni dell'Istituto "Versari-Macrelli" di Cesena, spiega il programma di scienze della Terra degli Istituti professionali italiani. Ringraziamo la Dirigente scolastica Lorenza Prati per aver sostenuto questo progetto, e il nostro collega Carlo Zoffoli per le idee e i consigli grafici. Un "grazie" altrettanto speciale va ai nostri studenti, per i consigli durante la stesura di un'opera che senza il loro contributo non avrebbe mai assunto la forma attuale: questo libro è più loro che nostro. Se avete idee su argomenti da aggiungere, togliere o modificare in questo documento, o se vi dovesse capitare di notare un errore, sia di battitura che di sostanza (ed è probabile che ce ne siano parecchi, soprattutto del primo tipo, ma anche del secondo), ci fareste un favore comunicandocelo, così che noi possiamo apportare le opportune correzioni in versioni successive. Ci interessano specialmente i commenti degli studenti su quali parti di questo lavoro si potrebbero spiegare meglio. In particolare, se vi sembra di notare un errore è anche nel vostro interesse discuterne con noi per chiarire se si tratta di un'incomprensione vostra o di uno sbaglio nostro.

È con questo spirito che abbiamo scritto questo lavoro: speriamo che possiate studiare le scienze della Terra con il nostro stesso piacere.



Lorenzo Pantieri & Gino Sacchetti
Scienze della Terra per gli Istituti professionali

Copyright © 2017-2018

✉ lorenzo.pantieri@gmail.com

✉ sacchetti.gino@libero.it

INDICE

1	SCIENZA	1	
1.1	Metodo sperimentale	1	
1.2	Scienza antica e scienza moderna	2	
1.3	Scienza e tecnica	3	
1.4	Scienza e società	4	
1.5	Origini dell'universo	7	
1.6	Teoria atomica della materia	9	
1.7	Esercizi	18	
2	STELLE E PIANETI	29	
2.1	Osserviamo il cielo	29	
2.2	Sistema solare	30	
2.3	Stelle	37	
2.4	Evoluzione stellare	42	
2.5	Galassie	50	
2.6	Esercizi	51	
3	TERRA E LUNA	63	
3.1	Orientarsi sulla Terra	63	
3.2	Moti della Terra	68	
3.3	Luna	79	
3.4	Esercizi	84	
4	MINERALI E ROCCE	103	
4.1	Minerali	103	
4.2	Rocce	114	
4.3	Esercizi	128	
5	VULCANI E TERREMOTI	143	
5.1	Vulcani	143	
5.2	Terremoti	149	
5.3	Struttura interna della Terra	154	
5.4	Tettonica delle placche	157	
5.5	Esercizi	161	

1

SCIENZA

La *scienza* è lo studio razionale della realtà e delle leggi che la regolano, fondato sull'esperienza. Questa definizione è piuttosto vaga: solo dopo aver studiato le varie discipline in cui è tradizionalmente suddivisa (tabella 1) si può avere un'idea di che cosa sia la scienza.

1.1 METODO SPERIMENTALE

Nello studio dei fenomeni naturali, gli antichi filosofi greci (Democrito, Aristotele, Archimede) fondarono le loro ricerche quasi esclusivamente sul ragionamento, cadendo spesso in errore.

La scienza moderna si basa invece sul *metodo sperimentale*: si osserva un fenomeno, si individuano le grandezze misurabili che lo descrivono, si formula un'ipotesi che lo spiega e la si controlla mediante esperimenti riproducibili in laboratorio. Se gli esperimenti confermano l'ipotesi, essa diventa *legge*. In caso contrario, si modifica l'ipotesi e si procede con nuovi esperimenti (figura 1). Questo metodo fu codificato per la prima volta da Galileo Galilei, all'inizio del XVII secolo.

La fisica e la chimica si basano direttamente sul metodo sperimentale appena descritto. Le altre scienze si basano a loro volta sulla fisica e sulla chimica per formulare le proprie leggi.

Una *teoria scientifica* è un insieme di leggi che descrivono un insieme di fenomeni. Ne sono esempi la teoria della gravitazione, la teoria del *big bang* e la teoria dell'evoluzione delle specie.

Tabella 1: Discipline scientifiche

Disciplina	studia
Fisica	i fenomeni naturali
Chimica	la materia e le sue trasformazioni
Astronomia	gli oggetti osservabili nel cielo
Cosmologia	l'universo nel suo insieme
Geologia	la struttura del nostro pianeta
Idrologia	le masse d'acqua del nostro pianeta
Climatologia	il clima del nostro pianeta
Biologia	gli organismi viventi

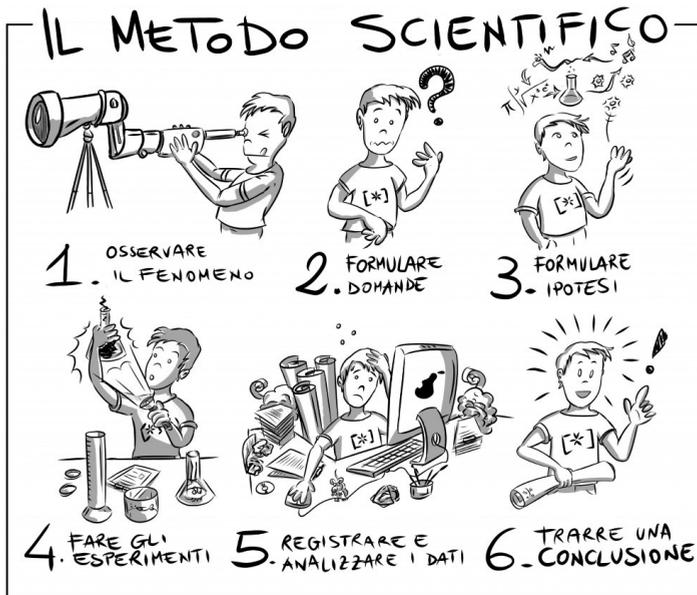


Figura 1: Metodo sperimentale

1.2 SCIENZA ANTICA E SCIENZA MODERNA

Vi è mai capitato di dire o di sentir dire: «l'hanno detto al telegiornale» oppure «c'è scritto sul libro» o ancora «se lo dice lui allora è sicuramente vero»? Bene, se vi è successo almeno una volta, allora avete esercitato o subito il principio di autorità, o *ipse dixit* (dal latino, "l'ha detto lui").

Il principio di autorità fu usato inizialmente dai pitagorici per riferirsi a Pitagora, loro massima guida. Affidandosi completamente a lui, mettevano da parte l'esperienza, la capacità di ragionare e di considerare l'opinione altrui. Nel Medioevo i due cardini diventarono Aristotele, l'autorità culturale, e la Bibbia, autorità religiosa.

L'ipse dixit, così inteso, sopravvisse fino al XVII secolo, quando venne messo in discussione da Galileo Galilei durante la rivoluzione scientifica. La grandezza di Galileo sta più nell'averci dato un metodo di pensare che nell'aver formalizzato alcune leggi fisiche. Con il metodo sperimentale si può dominare il fenomeno in esame: non solo replicarlo ma anche prevederlo; non c'è più bisogno di un'autorità che stabilisca per tutti cosa è giusto e cosa sbagliato: ogni individuo ora può provare o smentire l'idea che gli viene presentata, sulla base della sperimentazione.

La scienza è stata la prima delle attività umane a non poter più accettare il principio d'autorità. Più precisamente, è nata proprio dal rifiuto di questo: ogni divergenza di opinione va risolta non in base alla fama dei contendenti, ma in base ai risultati di verifiche sperimentali. In altre parole è la natura l'unico arbitro adatto a rispondere alle questioni scientifiche.

Attraverso il ragionamento logico e l'esperienza, la conoscenza scientifica migliora nel tempo, grazie a continui e sempre nuovi apporti intellettuali e tecnici. Anche se le leggi che regolano la natura sono sempre le stesse, le conoscenze degli antichi erano limitate, legate alle esperienze che avevano potuto fare e agli strumenti tecnici che possedevano, quindi migliorabili.

Nella scienza si è dunque assistito alla rinuncia del principio di autorità, per passare al principio di responsabilità. Siamo responsabili in prima persona di ciò che facciamo e affermiamo: da un lato la natura con le sua evidenza, dall'altro chiunque voglia e ne abbia le capacità può smentire le nostre idee se non riproducibili o dimostrabili. L'errore presente nel principio di autorità non è l'appoggiarsi su qualcosa detto qualcun altro, ma rifiutare qualsiasi alternativa, limitandosi a pensare esclusivamente come l'autorità di riferimento. Non è importante solo il risultato ma anche il modo in cui lo si raggiunge: il principio di responsabilità insegna a pensare.

Inoltre il metodo con cui si procede richiede creatività nelle ipotesi, ma anche un rigido controllo pubblico. La scienza è pubblica grazie al metodo, e non può essere altrimenti. Riferendosi a quantità misurabili, la scienza permette di controllare pubblicamente le sue affermazioni: anzi, lo richiede affinché vengano verificate. Gli esperimenti devono essere ripetibili da tutti, le dimostrazioni controllabili. Il sapere scientifico non è elitario, privato, ma è di tutti.

Allo stesso tempo, il rifiuto del principio di autorità non deve far entrare in un grottesco circolo vizioso. Non è pensabile mettere in discussione ogni cosa, sistematicamente: siamo pur sempre nani sulle spalle di giganti. Perché passare la vita a verificare ciò che altri già hanno provato, in un eccesso di zelo anti-autoritario? Se tutti avessero ragionato in questo modo staremmo ancora ri-dimostrando i teoremi di Pitagora ed Euclide, e che la Terra è tonda e gira attorno al Sole.

1.3 SCIENZA E TECNICA

La *tecnica* è l'insieme delle attività di costruzione di strumenti per svolgere specifiche funzioni. Gli strumenti scientifici nascono per estendere i sensi dello scienziato, permettendogli di avere informazioni sulla realtà altrimenti impercettibili. Galileo, per esempio, compie le sue rivoluzionarie scoperte astronomiche servendosi del cannocchiale appena inventato.

Scienza e tecnica sono profondamente intrecciate. Spesso la tecnica nasce prima della scienza: un esempio è quello della costruzione delle catapulte in epoca romana.

Accade addirittura che la scienza si rivolga alla tecnica per trarne materiale di studio. È il caso per esempio della termodinamica, la branca della fisica che spiega le trasformazioni legate al calore. Molte applicazioni della termodinamica (motori, frigoriferi) nascono in realtà prima della termodinamica. Quando Carnot, uno

dei padri fondatori di questa branca della fisica, muove i suoi primi passi alla ricerca di principi teorici, le macchine termiche sono già esistenti e funzionanti. La termodinamica nasce per spiegare il funzionamento di macchine già costruite con metodi empirici.

Diverso è il caso dell'elettromagnetismo: le macchine elettriche vengono infatti sviluppate di pari passo con le teorizzazioni scientifiche del fenomeno. Sfogliando un libro di fisica dell'Ottocento si nota come gran parte dei capitoli dedicati a elettricità e magnetismo sono descrizioni di macchinari. In altri casi questa sincronia non c'è, e lo sviluppo tecnologico segue di parecchi anni le teorie scientifiche: per esempio Einstein pone la basi teoriche per la costruzione del laser nel 1917, ma il primo laser viene costruito solo nel 1960. La tecnica può dunque precedere la scienza, seguire la scienza o procedere di pari passo con la scienza.

L'esempio della termodinamica ci offre lo spunto per un'altra riflessione: la scienza non è indipendente dal contesto socio-economico in cui si sviluppa. Spesso le conoscenze scientifiche sono legate a necessità commerciali o addirittura militari. La termodinamica nasce dalla rivoluzione industriale, e i grandi progressi della fisica nucleare nascono dall'urgenza di costruire armi atomiche con il "progetto Manhattan". Le stesse catapulte greche nascono da necessità militari, e lo studio newtoniano del moto parabolico dei proiettili è contemporaneo all'arrivo in Occidente della polvere da sparo e alla conseguente necessità di sviluppare competenze sull'uso delle armi da fuoco. La scienza non è un'impresa puramente conoscitiva svincolata dal resto: scienza e tecnica sono profondamente intrecciate tra loro e con la politica e l'economia.

Negli ultimi decenni scienza e tecnica sono legate fra loro molto più strettamente di quanto mai accaduto in passato. L'astrofisica e la genetica, per esempio, sono vincolate dallo sviluppo delle tecnologie necessarie all'analisi scientifica: anzi, lo sviluppo stesso di queste scienze è lo sviluppo delle tecnologie da esse usate. La costruzione di un nuovo telescopio a raggi X è un progresso dell'astrofisica, mentre una nuova tecnica di manipolazione del DNA è un progresso della genetica.

1.4 SCIENZA E SOCIETÀ

La scienza è legata alla società che la esprime: maggiore è lo sviluppo tecnico-scientifico, maggiore è lo sviluppo sociale (e viceversa).

Ne è un esempio emblematico la grande evoluzione della Corea del Sud, in testa a tutti gli indici di crescita sociale ed economica, soprattutto se paragonata alla confinante Corea del Nord (figura 2). Questo "dragone asiatico" supera tutti i Paesi dell'Unione europea negli investimenti in ricerca e sviluppo e nella quantità di brevetti internazionali registrati. Dietro questi risultati ci sono dei colossi industriali che non hanno risparmiato risorse per essere all'avanguardia mondiale nelle invenzioni. Ogni anno, per esempio, la Samsung stanziava decine di miliardi di



(a) Una scena quotidiana in una strada di Seoul (Corea del Sud)



(b) Una scena quotidiana in una strada di Pyongyang (Corea del Nord)

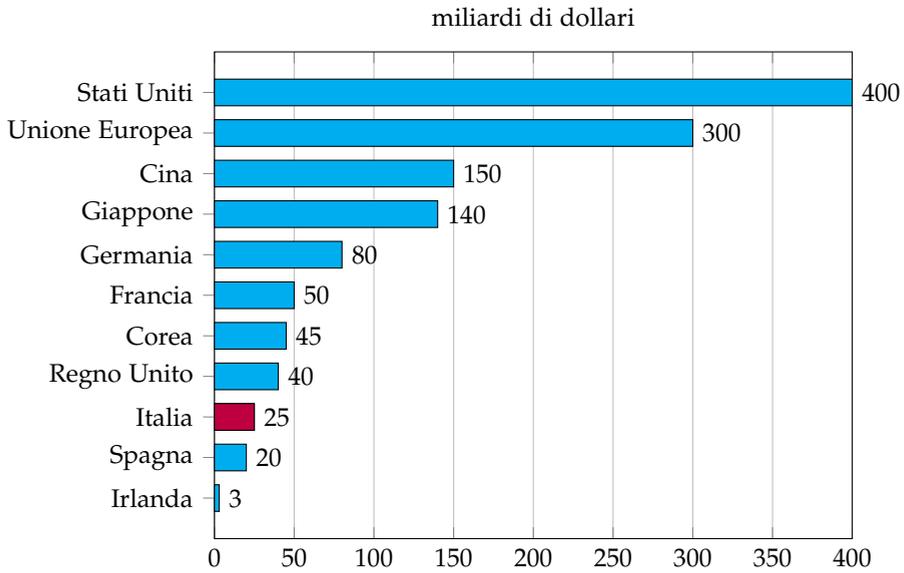
Figura 2: Corea del Sud e Corea del Nord a confronto

dollari per investimenti nella ricerca e assume decine di migliaia di nuovi addetti (è il secondo produttore mondiale di *smartphone* dopo Apple).

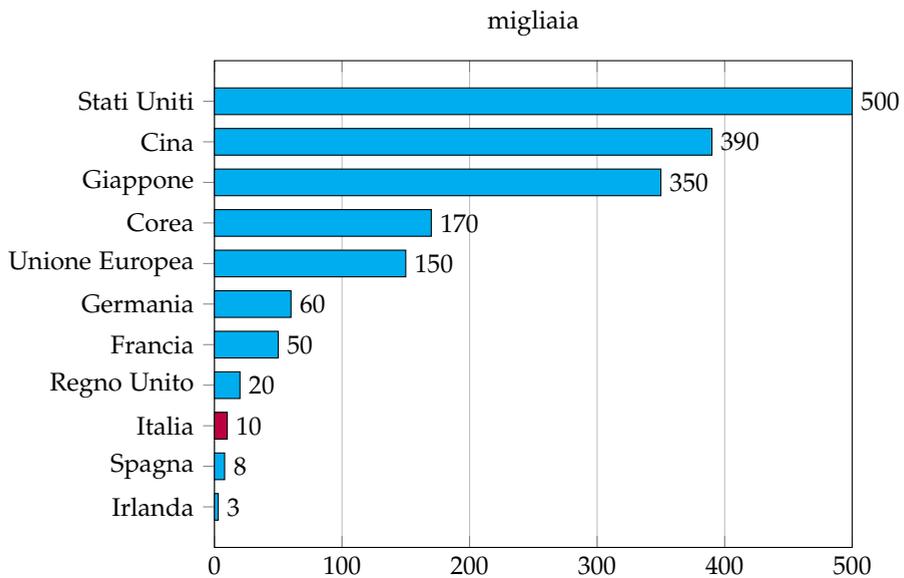
Alla base della rinascita sudcoreana ci sono forti investimenti nell'istruzione: senza di essi, non basterebbero neppure gli investimenti fatti da Samsung e altri colossi industriali nella ricerca. Gli uni sono la condizione per il successo degli altri. Nella Corea del Sud c'è un vero e proprio "culto della scuola". Ogni anno, nel giorno dell'esame nazionale di ammissione alle università, una nazione intera si ferma: gli aeroporti interrompono le operazioni di decollo e atterraggio, gli uffici ritardano l'apertura, i pendolari non si mettono in viaggio, la polizia e le ambulanze sono mobilitate per assistere gli studenti che si sostengono il test. Una selezione molto competitiva è l'approdo finale di anni di dedizione allo studio. È un sistema severo, ma che ha un grande merito: la meritocrazia vige incontrastata, e anche i giovani coreani delle famiglie più povere possono arrivare al top. Con oltre i due terzi della sua popolazione giovane che ha una laurea, nella competizione della materia grigia Seoul ci sta dando molte lunghezze di distacco.

Attualmente l'Europa si colloca, purtroppo, dietro gli Stati Uniti e il Giappone, in termini di spesa per la ricerca (figura 3): in Europa solo il 2% circa del PIL è destinato alla ricerca contro il 3% circa degli USA e del Giappone. Inoltre siamo indietro anche in termini di numero di ricercatori, brevetti ed esportazione di alta tecnologia pro capite.

In Italia la situazione è drammatica: per la ricerca la spesa è pari a circa l'1% del Prodotto Interno Lordo (PIL), ben al di sotto della media europea (siamo addirittura all'ultimo posto sia per gli investimenti nella ricerca di base che per le esportazioni di alta tecnologia). Nel nostro Paese ci sono 3 ricercatori ogni 1000 lavoratori. La media europea è di 6, con punta in Finlandia di 14: ne mancano circa 100 000. La quantità di brevetti prodotti, che rappresenta uno specchio dello sforzo di innovazione di un paese, è allarmante. Negli ultimi anni ne sono stati registrati 60 per ogni milione di abitante. La media europea è 100.



(a) Spesa per ricerca e sviluppo



(b) Brevetti internazionali

Figura 3: Dati sullo sviluppo tecnico-scientifico in alcuni Paesi del mondo

1.5 ORIGINI DELL'UNIVERSO

La *cosmologia* è la scienza che studia l'universo nel suo insieme, di cui spiega l'origine e l'evoluzione. La cosmologia contemporanea nacque nel 1915, quando il fisico tedesco Albert Einstein pubblicò il primo articolo sulla teoria della relatività generale, che generalizzava la gravitazione universale newtoniana. Poco tempo dopo la pubblicazione della sua teoria, Einstein per primo la applicò al calcolo dell'evoluzione dell'universo. Gli fu subito chiaro che la teoria implica che lo spazio-tempo non può fare a meno di espandersi o collassare su se stesso. Einstein non era pronto per questa verità: modificò quindi le sue equazioni inserendovi la *costante cosmologica*, un artificio che permette al modello del cosmo di restare in equilibrio fra il collasso e l'espansione.

Nel 1922 un oscuro professore di matematica russo, Aleksandr Friedmann, decise di risolvere le equazioni di Einstein così come sono e prevede, ignorato da tutti, un cosmo in espansione. Cinque anni dopo, il matematico belga Georges Lemaître arrivò allo stesso risultato in modo indipendente.

Nel 1929 l'astronomo statunitense Edwin Hubble, misurando la velocità delle galassie e la loro distanza, scoprì che esse si allontanano da noi a una velocità tanto più grande quanto più sono lontane. Ciò si spiega ammettendo che l'universo sia in *espansione*, per cui ogni oggetto che ne fa parte si allontana da ogni altro per il progressivo dilatarsi dello spazio, proprio come dei puntini disegnati sulla superficie di un palloncino che viene gonfiato si allontanano gli uni dagli altri (figura 4). Se l'universo si espande, in passato la distanza fra le galassie doveva essere minore di quella attuale. Se girassimo a rovescio il film dell'universo vedremmo che, per la contrazione dello spazio, tutte le galassie si avvicinano le une alle altre, con conseguente aumento della densità e della temperatura. Era nata la teoria del *big bang*. Ma furono in pochi a farci caso.

Nel 1948 il fisico russo George Gamow decise di studiare che cosa accade alla materia alle densità altissime dell'universo primordiale. Se nelle stelle, ipotizzò, si costruiscono elementi chimici a partire dai nuclei di idrogeno, anche il cosmo giovanissimo, caldo e denso, deve essere stato in grado di sintetizzare i nuclei dei

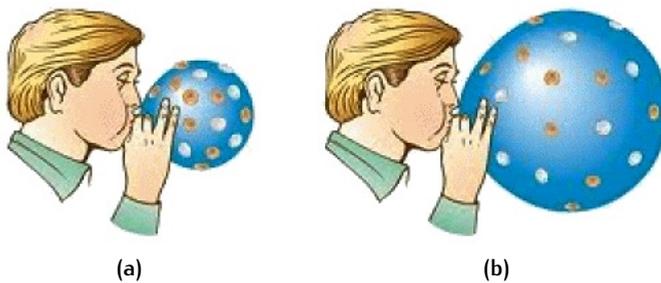


Figura 4: La legge di Hubble si spiega ammettendo che l'universo sia in espansione

primi elementi chimici. Gamow mise a punto assieme a un suo studente, Ralph Alpher, i calcoli per prevedere l'entità di questa nucleosintesi primordiale. E con ironia, per rendere l'evento solenne, invitò il fisico nucleare Hans Bethe a firmare l'articolo, una sorta di ABC delle origini, firmato appunto con le prime tre lettere dell'alfabeto greco: alfa, beta, gamma. Alpher e Gamow non si limitarono a prevedere la sintesi dei nuclei atomici leggeri nei primi minuti di vita del cosmo. Intuirono che la radiazione termica di quell'epoca rovente deve vagare ancora per l'universo. Attenuata, raffreddata, ma presente.

La teoria del *big bang*, però, piaceva a pochi. L'idea che lo spazio e il tempo abbiano avuto un'origine sapeva troppo di genesi divina. Non a caso Lemaitre esultò, fiero dell'accordo tra la sua vocazione di scienziato e quella di sacerdote. E nel 1951 la Chiesa cattolica dichiarò il *big bang* in accordo con la Bibbia.

È a questo punto che appave sulla scena il grande avversario della teoria *big bang*. Nel 1948, infatti, vide la luce anche la *teoria dello stato stazionario*. A proporla furono tre scienziati: Fred Hoyle, Thomas Gold e Herman Bondi.

Secondo questa teoria non c'è alcuna evoluzione dell'universo, che si mantiene circa sempre uguale a se stesso; di conseguenza non vi sarebbe mai stato alcun *big bang*, ma l'universo sarebbe eterno e nel complesso immutabile (*stazionario*, appunto). Ciò sembra in contrasto con l'osservazione dell'espansione dell'universo, perché tale espansione comporta che l'universo diventi sempre meno denso e che quindi non possa apparire sempre uguale in ogni epoca della sua storia. I tre astrofisici fecero però notare che basterebbe che la materia si crei dal nulla nello spazio vuoto a un tasso molto basso (così basso che nessun esperimento sarebbe in grado di evidenziare il fenomeno) perché lo spazio che si espande venga progressivamente riempito da nuova materia e nuove galassie, in modo che la densità media si mantenga costante. Ciò è in contrasto con il principio di conservazione della massa e dell'energia, ma Hoyle, Bondi e Gold fecero notare che accettare tale violazione è un obbligo anche per i sostenitori della teoria del *big bang*, perché al momento dell'origine ve ne fu una palese e gigantesca violazione.

La "guerra delle origini dell'universo" era ufficialmente aperta. E fu proprio Hoyle che in un trasmissione radiofonica faccia a faccia con Gamow definì sarcasticamente la teoria dell'avversario come la teoria del "grande botto": il *big bang* era stato quindi battezzato dal suo peggior nemico.

Nel 1964 i fisici americani Arno Penzias e Robert Wilson, cercando l'origine di disturbi nelle trasmissioni radio, scoprirono una debole radiazione cosmica di fondo, che riempie tutto l'universo. Secondo la teoria dello stato stazionario è molto difficile spiegare il perché di una radiazione diffusa e omogenea nel cosmo, se essa non si è originata da una "palla di fuoco". Essa si interpreta invece come residuo della radiazione prodotta dal *big bang*, che si è raffreddata fino a circa 3 kelvin.

Secondo la teoria del *big bang*, dopo l'origine dell'universo lo spazio si è allargato, la materia si è diradata e la temperatura è diminuita fino allo stato attuale; il processo continua. La tabella 4 mostra la cronologia del *big bang*, cioè la storia, in parte ipotetica, dei primi istanti di vita dell'universo, che vanno dall'inizio del

Tabella 2: Cronologia del *big bang* (t indica il tempo dopo il *big bang*, T la temperatura e D il diametro dell'universo)

t	T (K)	D (km)	Compaiono
10^{-43} s	10^{33}	?	
10^{-9} s	10^{15}	10^9	quark ed elettroni
10^{-6} s	10^{15}	10^{11}	protoni e neutroni
100 s	10^{10}	10^{12}	i primi nuclei deuterio e di elio-4
380 000 anni	3000	10^{21}	i primi atomi, soprattutto idrogeno ed elio
10^9 anni			le prime stelle e le prime galassie

tempo (avvenuta circa 13,7 miliardi di anni fa), alla formazione dei primi atomi (avvenuta circa 380 000 dopo il *big bang*), quando i fotoni sono riusciti per la prima volta a propagarsi liberamente e l'universo, fino ad allora opaco, è diventato "trasparente" alla radiazione. Questa radiazione cosmica di fondo permea da allora tutto l'universo. Oggi la teoria del *big bang* è quella che meglio giustifica ciò che si osserva.

1.6 TEORIA ATOMICA DELLA MATERIA

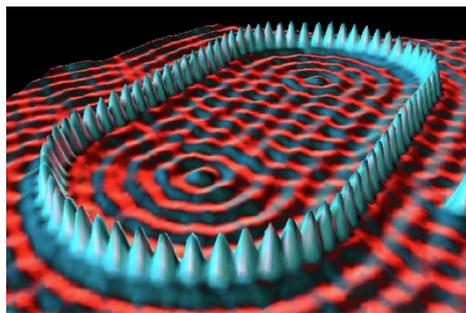
Questo paragrafo presenta i concetti di base della struttura microscopica della materia, indispensabili per capire il paragrafo successivo. L'argomento sarà affrontato per esteso nel corso di Chimica.

1.6.1 Atomi e molecole

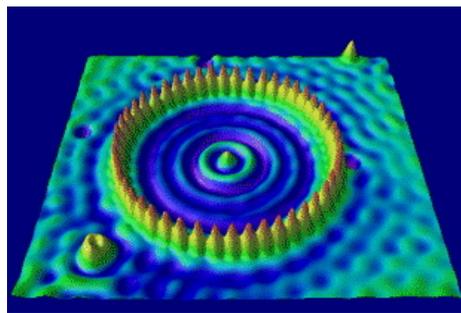
La materia che appare ai nostri occhi è formata da particelle microscopiche, gli *atomi*. Il primo a intuirlo fu il filosofo greco Democrito (V secolo a. C.), che chiamò *atomi* le particelle molto piccole e indivisibili che costituiscono la materia (in greco, *atomo* significa "indivisibile"). Nel XIX secolo lo scienziato inglese John Dalton formulò la prima teoria atomica su basi sperimentali. Oggi, con l'aiuto di microscopi molto potenti, gli atomi si possono anche "vedere" (figura 5).

Secondo la teoria atomica, un oggetto di rame, per esempio, è costituito solo da atomi di rame, tutti uguali tra loro. In natura esistono 92 tipi diversi di atomi, che possono essere ordinati nella *tavola periodica degli elementi*.

Più atomi possono legarsi insieme e costituire una *molecola*. Per esempio, una molecola d'acqua è formata dall'unione di due atomi di idrogeno e uno di ossigeno (figura 6).



(a) Recinto di atomi di cobalto (coni chiari) su una superficie di rame



(b) Anello di atomi di ferro (coni chiari) su una superficie di rame

Figura 5: Atomi al microscopio elettronico

1.6.2 Nuclei ed elettroni

In base alle conoscenze acquisite nel corso del Novecento, alcuni punti della teoria atomica di Dalton sono stati modificati. Oggi infatti sappiamo che gli atomi *non* sono indivisibili, ma sono costituiti da particelle più piccole: elettrone, protone e neutrone. Il protone è *carico positivamente*, l'elettrone è *carico negativamente*, mentre il neutrone è *elettricamente neutro* (i corpi dotati di carica elettrica dello stesso segno si respingono, mentre i corpi dotati di carica elettrica di segno opposto si attirano). La tabella 3 riporta sinteticamente le loro caratteristiche principali.

1.6.3 Esperimento di Rutherford

Anche se all'inizio gli elettroni vennero associati unicamente alle correnti elettriche, nel giro di pochi anni si capì, attraverso le misure di radioattività, che essi dovevano essere parte integrante degli atomi. Emerse di conseguenza l'ipotesi che

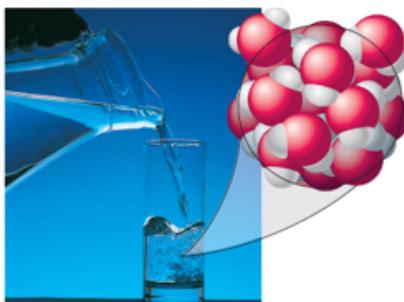
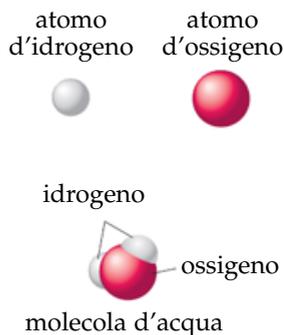


Figura 6: Una molecola d'acqua è formata da due atomi di idrogeno e uno di ossigeno

Tabella 3: Le particelle fondamentali che compongono l'atomo (e è la carica elettrica elementare, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C; m_p è la massa del protone, $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ kg)

Particella	Carica elettrica	Massa (kg)	Massa/ m_p
elettrone (e)	$-e$	$9,109 \cdot 10^{-31}$	1/1837
protone (p)	$+e$	$1,673 \cdot 10^{-27}$	1
neutrone (n)	0	$1,675 \cdot 10^{-27}$	≈ 1

all'interno dell'atomo dovesse esistere una corrispondente carica positiva. Il fisico inglese Joseph Thomson suggerì l'idea che l'atomo fosse costituito da una sfera di carica positiva, in cui gli elettroni erano disseminati "come l'uvetta nel panettone".

Lo scienziato neozelandese Ernest Rutherford, dopo aver determinato la natura delle radiazioni α (atomi di elio privi di due elettroni), le usò per bombardare gli atomi d'oro di una sottilissima lamina (figura 7). Dopo l'urto con gli atomi d'oro, le particelle α , circa 10000 volte più pesanti di un elettrone, venivano raccolte da un apposito schermo capace di evidenziare la loro presenza. I risultati dell'esperimento furono i seguenti:

- gran parte delle particelle α attraversa la lamina senza subire alcuna deviazione;
- alcune particelle vengono deviate di angoli più o meno grandi rispetto alla direzione iniziale;
- pochissime rimbalzano indietro, erano cioè riflesse dalla lamina, con grande violenza.

Per spiegare questi risultati sperimentali, Rutherford propose per l'atomo il seguente modello, detto *modello planetario* (figura 10):

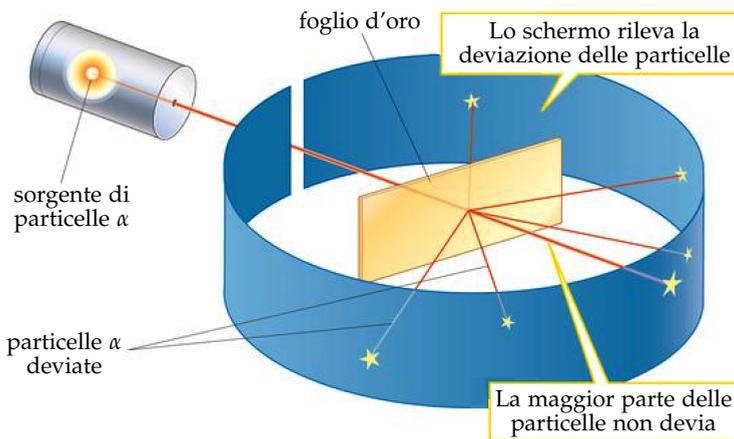


Figura 7: Esperimento di Rutherford

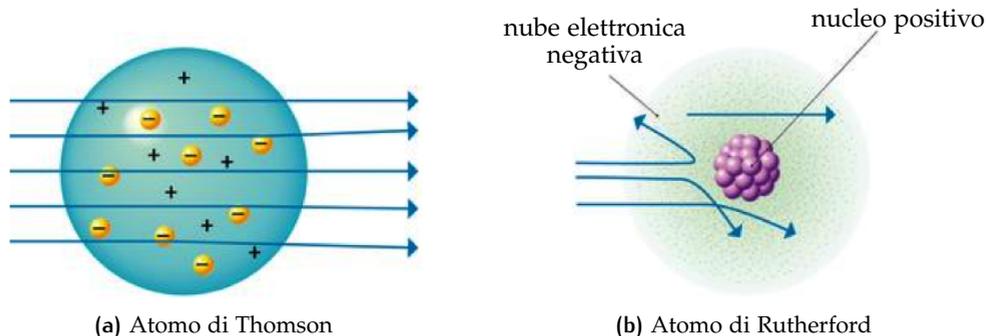


Figura 8: Modelli di Thomson e Rutherford a confronto

- l'atomo è composto da un nucleo centrale in cui sono concentrate la carica positiva e la massa dell'atomo; il diametro del nucleo (10^{-15} m) è circa 100 000 volte più piccolo del diametro dell'atomo (10^{-10} m);
- i leggerissimi elettroni occupano lo spazio vuoto intorno al nucleo;
- gli elettroni, carichi negativamente, ruotano intorno al nucleo come pianeti intorno al Sole;
- il numero degli elettroni è tale da bilanciare la carica positiva del nucleo.

A differenza del modello proposto da Thomson (figura 8a), l'atomo di Rutherford spiega i dati sperimentali (figura 8b). Infatti, le poche particelle α che arrivano molto vicino al nucleo sono respinte violentemente dalla sua carica positiva, come se fosse un muro impenetrabile, e tornano indietro. Quasi tutte le altre sono invece soltanto deflesse, o proseguono indisturbate, perché lontano dal nucleo la forza repulsiva è minore ed è attenuata dalla presenza degli elettroni.

Anche se il modello atomico planetario è stato abbandonato poco tempo dopo, la struttura nucleare dell'atomo è tutt'oggi valida. Il nucleo è la parte più significativa dell'atomo, perché atomi di elementi diversi hanno diversa struttura del nucleo.

I protoni e i neutroni, che si trovano al centro dell'atomo, cioè nel *nucleo*, sono chiamati *nucleoni*. La figura 9 mostra i nuclei di alcuni atomi.

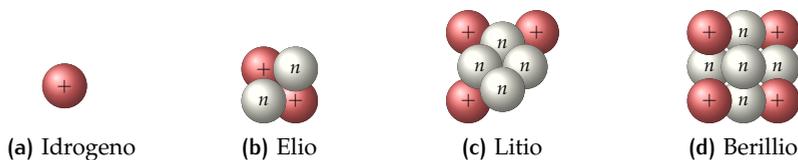


Figura 9: Nuclei di alcuni atomi

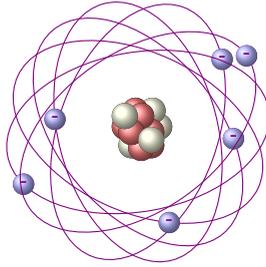


Figura 10: Modello atomico nucleare

1.6.4 Numero atomico e numero di massa

Definizione 1. Il *numero atomico* di un atomo è il numero dei protoni presenti nel suo nucleo.

Questo numero identifica ogni elemento. Tutti gli atomi con uno, due e sei protoni nel nucleo sono rispettivamente atomi di idrogeno, elio e carbonio. Se l'atomo è elettricamente neutro, il numero atomico è uguale al numero degli elettroni.

Definizione 2. Il *numero di massa* di un atomo è la somma del numero dei protoni e del numero di neutroni contenuti nel nucleo.

Per esempio:

- un atomo di idrogeno-2 (detto anche *deuterio*) ha 2 nucleoni, di cui 1 protone e 1 neutrone.
- un atomo di elio-4 ha 4 nucleoni, di cui 2 protoni e 2 neutroni;
- un atomo di carbonio-14 ha 14 nucleoni, di cui 6 protoni e 8 neutroni.

Atomi dello stesso elemento con un diverso numero di neutroni si chiamano *isòtopi* (dal greco *isòtopos*, “nello stesso luogo”, perché si trovano nella stessa casella della tavola periodica).

1.6.5 Modello atomico a strati

Secondo il *modello atomico nucleare*, proposto dallo scienziato neozelandese Ernest Rutherford e affinato dal danese Niels Bohr e dal tedesco Max Born, i nucleoni occupano uno spazio enormemente ridotto rispetto al volume totale dell'atomo. L'atomo è essenzialmente vuoto e gli elettroni, la cui massa è praticamente trascurabile, ruotano attorno al nucleo come i pianeti del sistema solare ruotano attorno

al Sole (figura 10). Gli elettroni percorrono orbite *stazionarie*: quando un elettrone percorre un'orbita stazionaria non emette energia. L'atomo è pertanto stabile, e gli elettroni (negativi) non cadono sul nucleo (positivo).

Livelli energetici

Nell'atomo, gli elettroni sono sistemati in livelli di energia crescenti via via che ci si allontana dal nucleo. Questi livelli sono chiamati anche *strati* o *gusci*. Il livello più esterno è detto *livello di valenza*. Gli elettroni sul livello di valenza si chiamano *elettroni di valenza*. Il comportamento chimico di un atomo è determinato dai suoi elettroni di valenza.

1.6.6 Sistema periodico degli elementi

Nel 1869, circa sessant'anni dopo l'ipotesi atomica di Dalton, il chimico russo Dmitrij Mendeleev ordinò gli elementi allora noti (una sessantina) per numero atomico crescente. Ecco come Mendeleev sintetizzò il risultato del suo lavoro: «Gli elementi disposti secondo il loro numero atomico mostrano chiaramente proprietà periodiche».

La figura 11 mostra la moderna tavola periodica (gli elementi successivi al 103 sono stati omessi per semplicità):

- le colonne verticali formano i *gruppi*; gli elementi che sono nello stesso gruppo hanno proprietà chimiche comuni: per esempio, gli elementi del primo gruppo reagiscono violentemente con l'acqua;
- ci sono otto *gruppi principali*, indicati con numeri romani (I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII); al numero romano corrisponde il numero degli elettroni di valenza degli elementi del gruppo;
- le righe orizzontali formano sette *periodi*; il numero di ciascun periodo indica il livello energetico degli elettroni di valenza degli elementi del periodo;
- gli elementi dal numero 57 al 71 fanno parte di un insieme omogeneo per proprietà chimiche, detto dei *lantànidi* (o) *terre rare*, che sono perciò raggruppati in una sola casella; così accade anche per gli elementi da 89 a 103, che formano la serie degli *attinidi*;
- al centro ci sono gli *elementi di transizione*, le cui proprietà chimico-fisiche sono molto simili, tanto che è difficile separarli;
- tutti gli elementi successivi all'uranio (U, $Z = 92$) sono artificiali.

1.6.7 Conseguenze del modello atomico a strati

I livelli energetici degli elettroni di valenza corrispondono esattamente ai periodi del sistema periodico.

Gli elettroni di valenza determinano il comportamento chimico (il numero di legami chimici, per esempio) dell'elemento: gli elementi che hanno lo stesso numero di elettroni di valenza hanno proprietà chimiche simili e si trovano sullo stesso gruppo. Per esempio, tutti gli elementi del primo gruppo, che reagiscono violentemente con l'acqua, hanno atomi con un solo elettrone di valenza.

1.6.8 Legame chimico

Le molecole sono le unità fondamentali che costituiscono i composti chimici. Una molecola è un aggregato elettricamente neutro di atomi, tenuti insieme da forze chiamate genericamente *legami*.

Perché si formano i legami chimici?

Perché due atomi si legano fra loro? Proprio come accade per una coppia umana, due atomi possono stare insieme per diverse ragioni: nel caso umano per amore, per interessi condivisi o semplicemente per abitudine. Nel caso degli atomi la situazione è più semplice, perché tutti i tipi di legame situati all'interno delle molecole (detti *legami intramolecolari*) si formano perché l'energia della molecola è inferiore a quella dei due atomi isolati.

Definizione 3. *L'energia di legame* è l'energia per mole necessaria a rompere un dato legame.

Una molecola è tanto più stabile quanto maggiore è la sua energia di legame. Un legame chimico tra due atomi si forma solo quando i loro nuclei sono sufficientemente vicini; alla formazione del legame sono interessati per primi gli elettroni più esterni dei due atomi.

Legame covalente

Il legame covalente è quello più diffuso nei composti esistenti in natura.

Definizione 4. Il *legame covalente* si forma quando due atomi mettono in comune una o più coppie di elettroni.

Il primo a darne un'interpretazione elettronica fu il chimico statunitense Gilbert Lewis. Osservando il gruppo dei gas nobili Lewis notò che, a parte l'elio il cui

livello più esterno è costituito da due elettroni, per tutti gli altri cinque gas il livello esterno presentava sempre otto elettroni. Lewis attribuì la stabilità chimica di questi gas al loro *ottetto elettronico* esterno e ipotizzò che gli altri elementi, che non presentano la stessa configurazione elettronica esterna, tendono a realizzarla *condividendo* elettroni tra loro. Il legame covalente nasce quindi dalla condivisione da parte di due atomi di una o più coppie di elettroni di valenza. In questo modo, entrambi gli atomi realizzano l'ottetto di stabilità, se tali elettroni vengono conteggiati per ciascuno degli atomi collegati.

Legame ionico

Finora ci siamo limitati a considerare come due atomi possano legarsi, sfruttando i loro elettroni di valenza per realizzare l'ottetto stabile dei gas nobili, senza considerarne le proprietà energetiche. In realtà tra i due atomi si scatena una "contesa" per la "conquista della stabilità", che ha esiti diversi a seconda delle loro caratteristiche energetiche. Il fine di questa "lotta" è il possesso della coppia elettronica di legame. Introduciamo un concetto nuovo, che permette di prevedere la natura del legame chimico che si stabilisce tra due atomi: l'elettronegatività.

Il *legame ionico* si stabilisce tra due atomi che hanno una differenza Δe di elettronegatività superiore a 1,9. Consideriamo per esempio il cloruro di sodio (NaCl). In questo caso le caratteristiche energetiche dei due atomi in gioco sono nettamente diverse. Infatti $\Delta e = 3,2 - 0,9 = 2,1 > 2,3$. Nella "contesa" per la coppia di elettroni di legame c'è un "vincitore", Cl, e un "vinto", Na. L'elettronegatività di Cl è così grande rispetto a quella di Na da lasciarlo privo del suo elettrone di legame: Il cloro realizza così la struttura dell'argo e il sodio quella del neon. Si sono formati *due ioni di segno opposto* tra cui si esercita una reciproca forza di attrazione elettrostatica. Ogni ione Na^+ si circonda di sei ioni Cl^- (nelle tre direzioni dello spazio), generando un reticolo cristallino cubico.

1.6.9 Fusione e fissione nucleare

La *fusione nucleare* è un processo attraverso cui i nuclei di due o più atomi vengono avvicinati a tal punto da superare la repulsione elettrica e unirsi tra loro generando il nucleo di un nuovo elemento.

Per esempio, quattro protoni possono fondersi per formare un nucleo di elio-4 (due protoni legati assieme a due neutroni). Poiché quest'ultimo ha una massa del 7 per mille inferiore a quella dei 4 protoni originari, la massa mancante si trasforma in energia secondo l'equazione di Einstein $E = mc^2$. La fusione di elementi fino al ferro-56 è una reazione *esotermica*, cioè emette energia, essendoci una perdita di massa; per numeri atomici superiori la reazione è invece *endotermica*, assorbendo energia per la costituzione di nuclei atomici di massa maggiore.

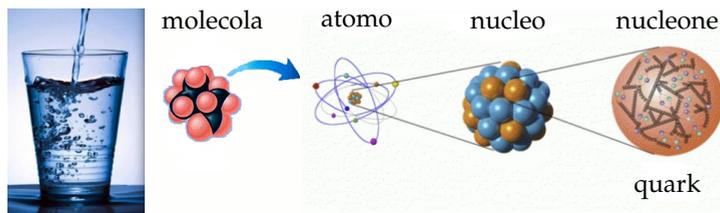


Figura 12: Dalle sostanze ai quark

La *fissione nucleare* è un processo in cui il nucleo di un elemento pesante (l'uranio-235 o il plutonio-239, per esempio) decade in nuclei di atomi con numero atomico minore, con emissione di energia e radioattività.

1.6.10 Quark

La teoria dei quark venne avanzata negli anni Sessanta del Novecento dai fisici statunitensi Murray Gell-Mann e George Zweig, che ipotizzarono di poter spiegare le proprietà dei protoni e dei neutroni considerandoli composti da quark elementari (figura 12).

1.7 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara le scienze della Terra.

Metodo sperimentale

1 Indica la risposta corretta.

a. Il metodo scientifico sperimentale:

A compare nel 1600

C va contro la Chiesa

B è sempre esistito

D è una scoperta abbastanza recente

b. La scienza in generale può essere considerata:

A un insieme di studi sui fenomeni naturali

B un insieme di teorie e leggi scientifiche

C un insieme di ipotesi scientifiche

- D un insieme di osservazioni fatte dagli scienziati
- c. Possono esistere più leggi per spiegare lo stesso fenomeno naturale:
- A sì, se si riferiscono a due fenomeni diversi
- C sì, alcune volte
- D no, mai
- D sì, ma solo se sono vere
- d. La legge scientifica:
- A è ritenuta una verità da tutti gli scienziati
- B costituisce una ipotesi da confermare
- C non si può più modificare
- D è la più valida spiegazione di un fenomeno naturale
- e. Per avere teorie valide dal punto di vista scientifico bisogna:
- A ricercare la verità nei fatti naturali C osservare i fenomeni naturali
- B insistere nell'attività sperimentale D essere padroni della materia
- f. Se dopo 100 esperimenti favorevoli uno contraddice la legge:
- A si trascurano i risultati dell'esperimento sfavorevole
- B si trasforma la legge in teoria
- C si scarta la legge
- D si ritorna all'ipotesi originaria
- g. La scienza antica si fermava:
- A all'ipotesi C alla teoria
- B all'osservazione D alla sperimentazione
- h. La temperatura può essere considerata come:
- A il volume occupato dalle particelle C lo spazio occupato dalle particelle
- B la velocità delle particelle D la massa delle particelle
- i. Se la sperimentazione conferma un'ipotesi, questa ipotesi:

- A diventa una legge C rimane un'ipotesi
 B viene cambiata con un'altra ipotesi D diventa una teoria

j. Ci possono essere più teorie per spiegare lo stesso fenomeno naturale?

- A sì B no C no, mai D solo se vere

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

2 Indica la risposta corretta.

a. Il metodo scientifico sperimentale fu inventato da:

- A Galilei B Einstein C Newton D Gamow

b. La scienza moderna nasce nel:

- A 1400 B 1600 C 1700 D 1900

c. Galileo Galilei riteneva che per lo sviluppo della scienza fosse fondamentale:

- A l'ipotesi C la sperimentazione
 B lo studio D l'osservazione

d. Il metodo scientifico sperimentale fu inventato da:

- A Aristotele B Newton C Einstein D Galilei

e. La temperatura può essere considerata come:

- A un movimento delle particelle nello spazio
 B un tempo
 C uno spazio occupato dalle particelle
 D un rapporto tra tempo e spazio

f. Per confermare le teorie occorre:

- A osservare un fenomeno naturale C fare calcoli matematici
 B sperimentare D studiare attentamente i particolari

g. Se la sperimentazione conferma due ipotesi, queste ipotesi:

- | | | | |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------|
| <input type="checkbox"/> A | diventano una legge | <input type="checkbox"/> C | diventano teorie |
| <input type="checkbox"/> B | una delle due viene eliminata | <input type="checkbox"/> D | rimangono ipotesi |

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

Origine dell'universo

3 Indica la risposta corretta.

a. La radiazione fossile deriva da:

- | | |
|----------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> A | energia liberata al momento iniziale dell'universo |
| <input type="checkbox"/> B | al moto delle particelle presenti all'inizio dell'universo |
| <input type="checkbox"/> C | alla presenza degli elettroni e quark |
| <input type="checkbox"/> D | dalla trasformazione materia energia |

b. L'universo all'inizio era formato solo da:

- | | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------|----------------------------|---------|
| <input type="checkbox"/> A | protoni | <input type="checkbox"/> B | elettroni | <input type="checkbox"/> C | neutroni | <input type="checkbox"/> D | energia |
|----------------------------|---------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------|----------------------------|---------|

c. L'ipotesi che l'universo si fosse originato da un punto invisibile fu avanzata da:

- | | | | | | | | |
|----------------------------|---------|----------------------------|--------|----------------------------|-------|----------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> A | Galileo | <input type="checkbox"/> B | Newton | <input type="checkbox"/> C | Gamow | <input type="checkbox"/> D | Einstein |
|----------------------------|---------|----------------------------|--------|----------------------------|-------|----------------------------|----------|

d. L'universo, secondo gli ultimi studi, è nato:

- | | | | |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> A | 2000 anni fa | <input type="checkbox"/> C | 17,3 miliardi di anni fa |
| <input type="checkbox"/> B | 2 miliardi di anni fa | <input type="checkbox"/> D | 13,7 miliardi di anni fa |

e. La scoperta della radiazione fossile è avvenuta:

- | | | | | | | | |
|----------------------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|
| <input type="checkbox"/> A | nel 1965 | <input type="checkbox"/> B | nel 1965 | <input type="checkbox"/> C | nel 2005 | <input type="checkbox"/> D | nel 1195 |
|----------------------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|----------------------------|----------|

f. La prima materia è apparsa nell'universo è stata:

- | | | | |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------|
| <input type="checkbox"/> A | atomi di idrogeno ed elio | <input type="checkbox"/> C | nuclei atomici |
| <input type="checkbox"/> B | elettroni | <input type="checkbox"/> D | elettroni e quark |

g. La radiazione fossile che pervade l'universo è uscita solo dopo:

- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> A | i primi secondi di vita dell'universo |
|----------------------------|---------------------------------------|

- B dopo i primi tre minuti
- C dopo la formazione degli atomi
- D dopo un miliardo di anni

h. L'universo nel *primitivo* istante era formato solo da:

- A elettroni
- B protoni
- C neutroni e protoni
- D energia

i. Le prime nebulose apparse nell'universo erano formate da:

- A atomi di idrogeno ed elio
- B elettroni
- C nuclei atomici
- D elettroni e quark

j. L'universo è diventato trasparente alla luce dopo:

- A 2000 anni
- B 380 000 anni
- C 10 miliardi di anni
- D 13,7 miliardi di anni

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

4 Indica la risposta corretta.

a. Le dimensioni dell'universo:

- A a un iniziale allargamento veloce è seguito un'espansione più lenta
- B sono rimaste più o meno uguali nel corso del tempo
- C sono diminuite nel tempo
- D a un iniziale allargamento è seguita una contrazione lenta

b. La nascita degli atomi si è avuta solo dopo 380 000 anni perché:

- A erano troppo piccoli per esistere prima
- B la velocità degli elettroni era troppo elevata
- C la temperatura era troppo bassa
- D non si erano ancora formati gli elettroni

- c. L'universo dopo alcuni minuti non poteva contenere atomi perché:
- A non esistevano i protoni
 - B mancavano gli elettroni
 - C non si erano ancora formati i neutroni
 - D la temperatura era troppo elevata
- d. La teoria del *big bang* venne confermata da Arno e Penzias nel 1965 che scoprirono:
- A l'origine dell'universo
 - B la trasformazione energia materia
 - C la radiazione fossile
 - D l'allontanamento delle galassie
- e. L'universo dopo alcuni minuti era formato da:
- A nuclei atomici
 - B protoni
 - C elettroni
 - D atomi
- f. Le dimensioni dell'universo:
- A sono rimaste più o meno uguali nel corso del tempo
 - B a un iniziale allargamento veloce è seguito un'espansione più lenta
 - C sono diminuite nel tempo
 - D a un iniziale allargamento è seguita una contrazione lenta
- g. La teoria del *big bang* venne confermata da Arno e Penzias nel 1965 che scoprirono:
- A l'origine dell'universo
 - B la trasformazione energia materia
 - C la radiazione fossile
 - D l'allontanamento delle galassie
- h. Secondo la teoria del *big bang* l'universo:
- A si origina nel 1300
 - B è sempre esistito
 - C è solo una invenzione matematica
 - D nasce da un punto invisibile

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 2 D]

La materia è fatta di particelle

5 Indica la risposta corretta.

- a. I protoni e i neutroni sono formati da:

A 3 quark C 3 elettroni e 3 quark B 2 quark e 1 elettrone D 2 quark e 2 elettroni

b. La velocità delle particelle è diminuita passando da:

 A atomi, elettroni e quark C nuclei atomici, quark e atomi B elettroni, quark e atomi D atomi nuclei atomici quark

c. La presenza dei neutroni nel nucleo degli atomi serve:

 A ad aumentare la carica elettrica C a mantenere uniti i protoni B a diminuire la massa dell'atomo D a mantenere separati gli elettroni

d. Per eguagliare il peso di un protone quanti elettroni servono?

 A 1 B 2 C 10 000 000 D 1840

e. Gli atomi di idrogeno sono formati da:

 A 1 protone e 1 elettrone C 1 protone e 2 neutroni B 2 protoni e 2 neutroni D 2 protoni e 1 neutrone

f. L'atomo di elio ha numero atomico pari a 2 mentre il suo numero di massa sarà :

 A 2 B 4 C 6 D 8

g. La trasformazione dell'energia in materia:

 A non è possibile realizzarla B è sempre vantaggiosa C è svantaggiosa D non presenta differenze rispetto alla trasformazione inversa

h. Per completare gli orbitali di un atomo che ha numero atomico pari a 8 servono:

 A 8 neutroni C 4 neutroni e 4 elettroni B 4 protoni e 4 elettroni D 8 elettroni

i. Il deuterio è un isotopo dell'idrogeno per cui avrà:

- A 1 protone B 3 elettroni C 4 protoni D 2 protoni

j. La differenza tra atomi e isotopi è legata a:

- A numero atomico C numero di elettroni
 B numero di massa D numero di protoni

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

6 Indica la risposta corretta.

a. Gli atomi di idrogeno sono formati da:

- A 1 protone e 1 elettrone C 1 protone e 2 neutroni
 B 2 protoni e 2 neutroni D 2 protoni e 1 neutrone

b. Gli isotopi radioattivi sono quelli in cui c'è molta differenza tra:

- A gli elettroni C i protoni e gli elettroni
 B i protoni e i neutroni D i neutroni e gli elettroni

c. La fusione nucleare interessa solo i nuclei degli atomi perché:

- A sono maggiormente dotati di energia
 B sono più densi degli atomi
 C gli elettroni si allontanano dai nuclei
 D i neutroni sono più pesanti

d. Se a un atomo tolgo un protone dal nucleo, questo diventa:

- A un isotopo C un elettrone
 B uno ione D un altro atomo

e. I neutroni sono formati da:

- A 3 quark C 3 elettroni e 3 quark
 B particelle diverse D 2 quark e 2 elettroni

f. Il modello atomico attuale prevede l'esistenza di orbitali definiti come:

- A orbite circolari su cui si muovono gli elettroni
- B linee ellittiche su cui orbitano gli elettroni
- C linee tratteggiate su cui si muovono gli elettroni
- D spazi tridimensionali nei quali si possono trovare gli elettroni

g. Per rendere neutro un atomo che ha 2 protoni devo aggiungere:

- A lo stesso numero di neutroni
- B la stessa quantità di elettroni
- C una quantità maggiore di neutroni
- D una quantità minore di neutroni

h. La presenza degli elettroni negli atomi serve:

- A ad aumentare la carica elettrica
- B a diminuire la massa dell'atomo
- C a rendere neutri gli atomi
- D a mantenere separati gli elettroni

i. Il deuterio è un isotopo dell'idrogeno per cui avrà

- A 1 protone
- B 3 elettroni
- C 4 protoni
- D 2 protoni

j. La presenza dei neutroni nel nucleo degli atomi serve:

- A ad aumentare la carica elettrica
- B a mantenere uniti i protoni
- C a diminuire la massa dell'atomo
- D a mantenere separati gli elettroni

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

7 Indica la risposta corretta.

a. L'equazione $E = mc^2$ dice che:

- A è vantaggioso trasformare la materia in energia
- B è vantaggioso trasformare l'energia in materia
- C è vantaggioso trasformare la luce in materia
- D c'è uguaglianza perfetta tra materia ed energia

b. L'evoluzione delle nebulose in protostelle è legata a:

- A contrazione dell'universo

- B contrazione gravitazionale
- C diminuzione della velocità degli atomi
- D aumento delle dimensioni della nebulosa
- c. L'atomo di litio ha numero atomico pari a 3 mentre il suo numero di massa sarà :
- A 2 B 4 C 6 D 8
- d. La fusione nucleare dell'idrogeno avviene a temperature maggiori di:
- A 10°C B 100°C C 10 000°C D 10 000 000°C
- e. Nella fusione nucleare per produrre un solo atomo di elio servono:
- A 4 atomi di idrogeno C 4 atomi di elio
- B 2 atomi di idrogeno D 2 atomi di elio
- f. La massa di un nucleo di elio è:
- A uguale a quella di 2 protoni
- B minore di quella di 4 protoni
- C minore di quella dell'idrogeno
- D uguale a quella di 2 protoni e 2 elettroni
- g. La trasformazione dell'energia in materia:
- A non è possibile realizzarla
- B è sempre vantaggiosa
- C è svantaggiosa
- D non presenta differenze rispetto alla trasformazione inversa
- h. Nella fusione nucleare per produrre un solo atomo di elio servono :
- A 2 atomi di elio C 4 atomi di elio
- B 2 atomi di idrogeno D 4 atomi di idrogeno
- i. La forza di gravità diminuisce:
- A al diminuire della massa
- B all'aumento della massa

C al diminuire della distanza

D all'aumentare del prodotto delle masse

j. Le particelle contenute nel nucleo di un atomo sono:

A protoni ed elettroni

C neutroni ed elettroni

B protoni e neutroni

D protoni, elettroni, neutroni

k. Gli isotopi sono atomi che differiscono dall'atomo originale per:

A numero di protoni

C numero di neutroni

B numero atomico

D numero di neutrini

l. La fusione nucleare è difficile da realizzare perché:

A è difficile avvicinare i neutroni

B occorre vincere la forza di repulsione tra protoni ed elettroni

C occorre vincere la forza di repulsione tra protoni e neutroni

D occorre vincere la forza di repulsione tra protoni e protoni

m. Durante la fusione nucleare dell'idrogeno avviene la seguente trasformazione :

A $4\text{H} \longrightarrow 1\text{He}$

C $4\text{He} \longrightarrow 1\text{H}$

B $2\text{H} \longrightarrow 4\text{He}$

D $1\text{H} \longrightarrow 1\text{He}$

[4 risposte A, 3 B, 3 C e 3 D]

2 | STELLE E PIANETI

Prima di affrontare lo studio della Terra e dei fenomeni che vi si svolgono, cerchiamo di dare un'occhiata all'ambiente celeste che circonda il nostro pianeta. Immaginiamo, dunque, di intraprendere un viaggio per conoscere le stelle, la nostra Galassia, gli altri ammassi stellari più lontani, fino ai confini del cosmo.

2.1 OSSERVIAMO IL CIELO

Osserviamo il cielo dimenticando quello che già sappiamo: fingiamo di essere un nostro antenato, che già più di 5000 anni fa osservava il cielo con una certa attenzione.



Figura 13: La costellazione di Orione

Di giorno vediamo il Sole sorgere e tramontare. Di notte vediamo una moltitudine di stelle e in certi periodi anche la Luna. Se osserviamo per un po' di tempo vediamo che le stelle hanno un moto simile a quello del Sole: sorgono e tramontano. Non tutte però. Una stella rimane fissa: è la stella polare, intorno a cui tutte le altre ruotano. Alcune stelle, vicine alla stella polare, ruotano senza tramontare mai.

Le stelle sono disposte in modo casuale, ma il nostro cervello è portato a individuare alcune disposizioni più regolari, dei disegni formati dalle stelle più luminose: sono le *costellazioni*, cui sono stati dati dei nomi fin dall'antichità.

Se ripetiamo le osservazioni nei giorni e mesi successivi noteremo altri cambiamenti. Il Sole non percorre sempre lo stesso arco: d'estate sorge prima, tramonta più tardi e si alza di più sull'orizzonte rispetto all'inverno. La Luna cambia forma nell'arco di circa un mese.

Molte stelle che vediamo nelle sere estive non sono quelle visibili nelle sere invernali. Per esempio, la costellazione di Orione (figura 13) è visibile d'inverno, ma non d'estate.

Nel loro moto le costellazioni mantengono la stessa forma. Le stelle non variano dunque le loro posizioni relative, ma ruotano tutte insieme come se fossero attaccate a una cupola girevole: lo si è creduto per millenni. Alcuni corpi celesti, però, si spostano rispetto agli altri: non sono stelle, ma pianeti (dal greco "erranti").

Tutti questi fenomeni si possono spiegare con i moti all'interno del *sistema solare*: i moti giornalieri dipendono dalla rotazione della Terra su se stessa, mentre quelli annuali dal moto della Terra (e degli altri pianeti) intorno al Sole e della Luna intorno alla Terra. Cominciamo allora ad esaminare il luogo in cui ci troviamo: il sistema solare.

2.2 SISTEMA SOLARE

Il *sistema solare* è costituito dal Sole e da tutti gli oggetti che gli ruotano attorno: i pianeti (assieme ai loro satelliti), gli asteroidi e altri corpi celesti.

2.2.1 Corpi del sistema solare

La figura 14 rappresenta il sistema solare così come oggi lo conosciamo. Esso comprende, oltre al Sole:

- otto *pianeti* (Mercurio, Venere, Terra, Marte, Giove, Saturno, Urano e Nettuno), ciascuno dei quali ha forma approssimativamente sferica, ruota attorno al Sole con un moto detto *di rivoluzione* e ruota attorno a un asse inclinato rispetto al piano dell'orbita;
- decine di *satelliti* che ruotano intorno ai pianeti, come per esempio la Luna attorno alla Terra;
- migliaia di *asteroidi*, piccoli corpi solidi che orbitano attorno al Sole;
- milioni di *meteoroidi*, frammenti più piccoli degli asteroidi che se entrano in contatto con l'atmosfera terrestre si riscaldano e formano una scia luminosa detta *meteora*;
- miliardi di masse ghiacciate che formano una nube sferica alla periferia del sistema solare e possono originare comete.

Sole

Il Sole è un'enorme massa di sostanze gassose, soprattutto idrogeno ed elio. Dall'interno verso l'esterno si distinguono (figura 15):

- il *nucleo*, che ha una temperatura di 15 milioni di gradi kelvin ed è la sede delle reazioni termonucleari che trasformano l'idrogeno in elio e producono energia;
- la *zona radiativa*, dove l'energia prodotta nel nucleo viene assorbita dagli atomi di gas che la emettono verso l'esterno;

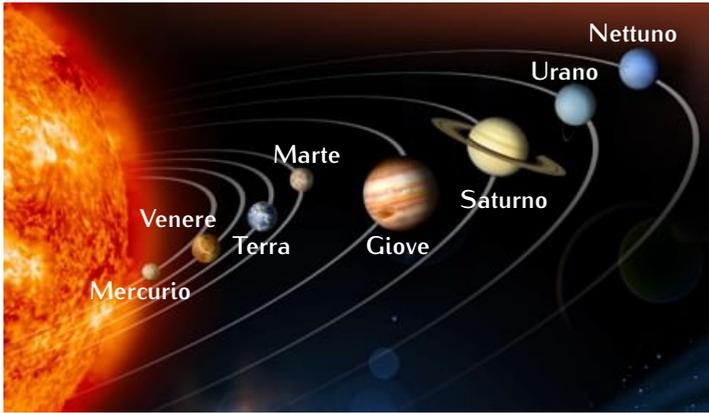


Figura 14: Rappresentazione del sistema solare (le dimensioni non sono in scala)

- la *zona convettiva*, attraversata da flussi di materia calda che salgono dalla zona radiativa verso la superficie solare e risprofondano dopo essersi raffreddati.

La superficie visibile del Sole è chiamata *fotosfera* (dal greco “sfera di luce”). La fotosfera, che ha una temperatura di 6000 gradi kelvin, è una struttura a granuli brillanti e sulla sua superficie sono distribuite le *macchie solari*, piccole aree scure.

L’atmosfera solare è suddivisa in due strati: la *cromosfera* (dal greco “sfera di colore”), un involucro di gas incandescenti che avvolge la fotosfera, e la *corona*, un involucro di gas ionizzati. La trasformazione dell’idrogeno in elio è in atto da almeno 5 miliardi di anni e si ritiene che ne saranno necessari ancora altrettanti prima che tutto l’idrogeno del nucleo si trasformi in elio.

Energia solare

Il Sole fa luce e scalda. L’energia emessa dal Sole ci permette di vivere: la catena alimentare parte dalla sintesi clorofilliana fatta dalle piante, che è possibile solo grazie alla luce del Sole. Quasi tutta l’energia che usiamo ha origine nel Sole:

- il petrolio si è formato milioni di anni fa dalla decomposizione di sostanze organiche, provenienti da microrganismi e alghe;
- il carbone si è formato dalla trasformazione delle antiche foreste;
- le centrali idroelettriche funzionano facendo cadere grandi quantità di acqua, che viene riportata in alto dall’evaporazione provocata dal calore solare;
- anche per l’energia eolica dobbiamo ringraziare il Sole, perché i venti sono generati dal riscaldamento del terreno;
- nei pannelli solari, lo dice il nome stesso, è sempre il Sole a fornire l’energia.

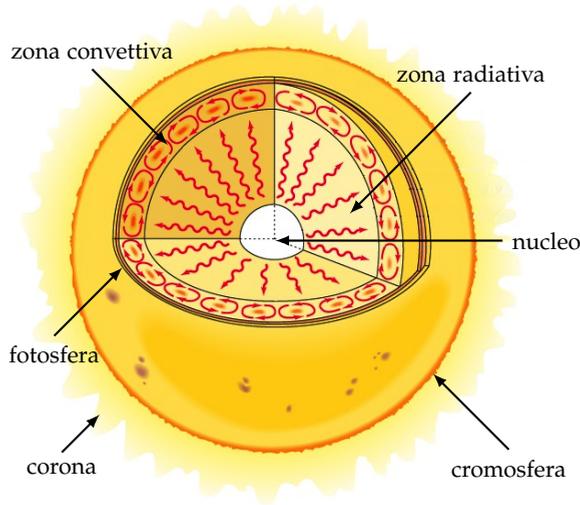


Figura 15: Sole

In questi ultimi decenni una piccola parte dell'energia a nostra disposizione viene prodotta in modo indipendente dal Sole: è l'energia nucleare, ma questa per il Sole non è una novità, come vedremo in seguito. L'energia emessa direttamente dal Sole è enorme.

Definizione 5. La *costante solare* è la quantità di energia che arriva sulla Terra dal Sole, in un secondo, su un metro quadrato di superficie.

La costante solare vale circa 1 kW/m^2 , cioè ogni metro quadrato della superficie terrestre può ricevere circa 1 kJ di energia ogni secondo. Un piccolo giardino di 100 metri quadrati può ricevere in 10 ore, durante un giorno d'estate, un'energia di 1000 chilowattora: in un anno fanno 365 000 chilowattora, che pagheremmo in bolletta oltre 20 000 €.

Esercizio 1. Sapendo che ogni metro quadrato della superficie terrestre riceve circa 1 kW di potenza dal Sole, calcola la potenza solare complessiva.

Soluzione. Costruiamo intorno al Sole una sfera immaginaria di raggio R uguale alla distanza media Sole-Terra (pari a 150 milioni di chilometri). Su tutta la superficie di questa sfera l'intensità dei raggi solari è uguale a quella misurata sulla Terra. Per determinare la potenza solare complessiva P basta allora moltiplicare la superficie in metri quadrati di questa sfera immaginaria per la costante solare.

$$P = 4\pi R^2 \cdot \text{costante solare} = 4\pi(150\,000\,000 \text{ km})^2 \cdot 1 \text{ kW/m}^2 = 2,8 \cdot 10^{17} \text{ kW}$$

È un valore enorme: il Sole emette in un secondo una quantità di energia superiore a tutta quella consumata sulla Terra dalla sua origine a oggi. \square

Pianeti

I pianeti del sistema solare più vicini al Sole (Mercurio, Venere, Terra e Marte) sono detti pianeti *di tipo terrestre*, mentre quelli più distanti (Giove, Saturno, Urano, Nettuno) sono detti *di tipo gioviano*. Plutone, a lungo considerato il nono pianeta, va invece considerato come un grande asteroide.

PIANETI DI TIPO TERRESTRE Questi pianeti, visibili a occhio nudo dalla Terra, sono costituiti in prevalenza da materiali solidi (rocce e metalli). Sono relativamente piccoli, hanno una densità media pari a circa cinque volte quella dell'acqua, nessuno o pochi satelliti e una bassa velocità di rotazione. Per la vicinanza del Sole e le piccole dimensioni, Venere, la Terra e Marte riescono a trattenere solo i gas più pesanti e le loro atmosfere sono sottili e rarefatte; Mercurio, il più interno, non ha atmosfera. Venere è l'oggetto più luminoso nel cielo notturno dopo la Luna: è un pianeta "caldo", avvolto da un'atmosfera formata soprattutto da anidride carbonica. Come sul nostro pianeta, su Marte ci sono le stagioni e ai poli sono visibili due calotte di ghiaccio: è chiamato il "pianeta rosso" per il colore della sua atmosfera.

PIANETI DI TIPO GIOVIANO Questi pianeti sono formati principalmente da gas (idrogeno ed elio) e ghiacci (d'acqua, metano e ammoniaca). Sono grandi e hanno una densità paragonabile a quella dell'acqua, diversi satelliti e un'elevata velocità di rotazione. Le basse temperature, dovute alla distanza dal Sole, e la grande massa fanno sì che essi abbiano atmosfere dense e spesse. Giove è il più grande pianeta del Sistema solare, la sua superficie è un oceano di idrogeno liquido. Attorno a Giove ruotano più di 60 satelliti: i quattro più grandi (Io, Europa, Ganimede, Callisto) erano già stati osservati da Galileo. Saturno, poco più piccolo di Giove, ha un esteso e vistoso sistema di anelli formati principalmente da particelle di ghiacci e polveri.

2.2.2 Moto dei pianeti

Nell'antichità si riteneva che la Terra fosse al centro dell'universo e che le stelle ruotassero intorno a essa. In particolare Aristotele (IV secolo a.C.), convinto che l'universo fosse di origine divina, concluse che la forma sia dei corpi celesti che delle loro traiettorie doveva essere la più perfetta, cioè quella circolare. Applicando questa teoria al moto dei pianeti sorsero però delle difficoltà. Infatti i pianeti osservati dalla Terra descrivono sulla volta celeste orbite complesse, con velocità e direzioni variabili; il loro moto è perciò detto *retrogrado*. Le traiettorie descritte dai pianeti erano dunque in contraddizione con la teoria del moto circolare.

Furono escogitate varie teorie che spiegavano la forma della traiettoria dei pianeti come combinazione di opportuni moti circolari. La teoria più completa di tipo *geocentrico*, con la Terra cioè al centro dell'universo, fu quella di Tolomeo (II secolo d.C.), secondo cui il moto dei pianeti si svolge su una circonferenza, detta *epiciclo*,

il cui centro ruota intorno alla Terra su una seconda circonferenza di raggio più grande, detta *deferente* (figura 16a). Negli intervalli di tempo in cui il pianeta si muove sull'epiciclo nello stesso verso del centro dell'epiciclo sul deferente, sembra che il pianeta si muova più velocemente. Quando invece il pianeta sull'epiciclo si muove in verso opposto al moto del centro dell'epiciclo sul deferente, sembra che il pianeta si muova più lentamente e torni indietro.

In contrapposizione alla teoria tolemaica, l'astronomo polacco Niccolò Copernico formulò nel XVI secolo la *teoria eliocentrica*, in base a cui il Sole è immobile al centro dell'universo, mentre la Terra e i pianeti ruotano su orbite circolari intorno a esso. La teoria eliocentrica spiega i moti retrogradi con il fatto che i pianeti vengono osservati dalla Terra in moto. Per esempio, il pianeta Marte, più esterno, si sposta più lentamente della Terra. Ne segue che la Terra, raggiunta la linea di congiunzione Sole-Marte, sorpassa Marte, che appare così muoversi di moto retrogrado. La figura 16b mostra le posizioni di Marte nel cielo, in corrispondenza di alcune posizioni della Terra. La maggiore luminosità dei pianeti durante il moto retrogrado si spiega con il fatto che in tale periodo essi sono più vicini alla Terra. Anche Copernico fu però costretto a introdurre gli epicicli per spiegare i dati osservativi.

La disputa tra i sostenitori delle due teorie divenne sempre più accesa, soprattutto quando Galileo Galilei intervenne a sostegno della teoria eliocentrica. Le opere a favore dell'eliocentrismo furono condannate dalla Chiesa e considerate eretiche.

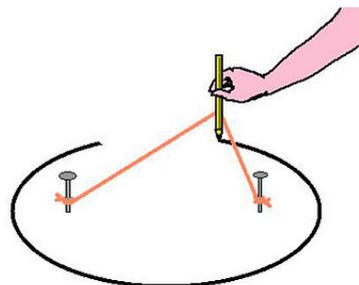
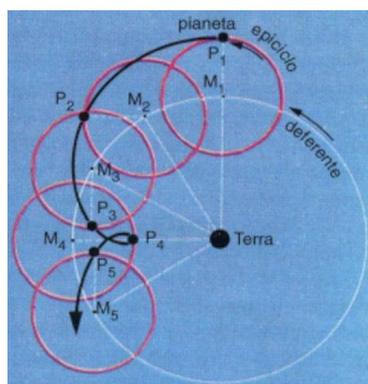
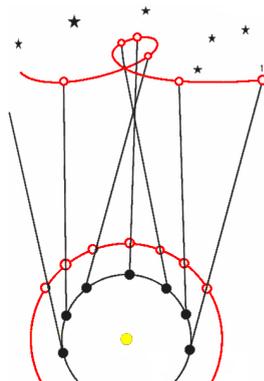


Figura 17: Ellisse disegnata con il metodo del giardiniere



(a) Teoria geocentrica



(b) Teoria eliocentrica

Figura 16: Spiegazione del moto retrogrado dei pianeti

Tabella 4: Cronologia dell'astronomia

Anno	Evento
150 circa	Tolomeo formula la teoria geocentrica del sistema solare
1543	Copernico formula la teoria eliocentrica del sistema solare
1609	Giovanni Keplero enuncia le prime due leggi del moto dei pianeti
1665	Christiaan Huygens scopre gli anelli di Saturno
1619	Giovanni Keplero enuncia la terza legge del moto dei pianeti
1632	Galileo Galilei pubblica il <i>Dialogo</i> , a sostegno della teoria eliocentrica
1687	Isaac Newton enuncia le leggi della dinamica e della gravitazione
1895	Giovanni Schiaparelli osserva i "canali" di Marte
1910	Ejnar Hertzsprung e Henry Russell ideano il diagramma H-R
1929	Edwin Hubble enuncia la legge dell'allontanamento delle galassie
1935	Subrahmanyan Chandrasekhar trova la massa critica delle nane bianche
1964	Arno Penzias e Robert Wilson scoprono la radiazione cosmica di fondo
1781	William Herschel scopre Urano
1846	Viene scoperto il pianeta Nettuno
1905	Albert Einstein pubblica la sua teoria della relatività ristretta
1916	Albert Einstein pubblica la sua teoria della relatività generale

La teoria eliocentrica ebbe il sopravvento su quella geocentrica con l'opera dell'astronomo tedesco Giovanni Keplero che all'inizio del XVII secolo dimostrò che le orbite dei pianeti intorno al Sole sono *ellissi* e non circonferenze.

Un'*ellisse* è l'insieme dei punti per cui la somma delle distanze da due punti fissi, detti *fuochi*, è costante. C'è un metodo pratico (il metodo "del giardiniere") per disegnare un'ellisse, che consiste nell'annodare un sottile filo su due spilli infilati in due punti di un foglio, come nella figura 17. Facendo poi ruotare una matita, in modo che il filo rimanga teso, si può tracciare un'ellisse avente per fuochi i due punti assegnati.

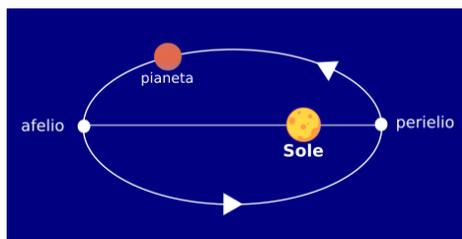
I risultati di Keplero, che spiegano le proprietà del moto dei pianeti senza introdurre gli epicicli, sono riassunti nelle sue famose tre leggi.

Prima legge di Keplero. I pianeti descrivono intorno al Sole orbite ellittiche di cui il Sole occupa uno dei fuochi.

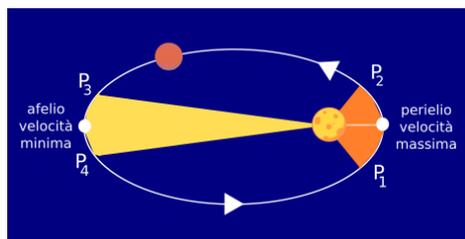
Il punto di minima distanza dal Sole è detto *perielio*, mentre quello di massima distanza è detto *afelio* (figura 18a).

Seconda legge di Keplero. Il *raggio vettore* tracciato dal Sole a un pianeta descrive aree uguali in tempi uguali.

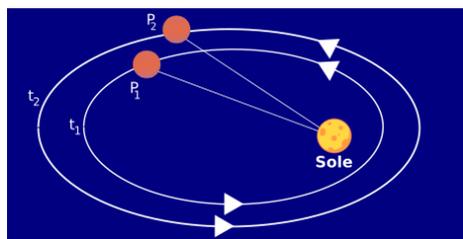
In particolare, la velocità dei pianeti lungo la loro orbita non è costante, ma varia: è massima al perielio e minima all'afelio (figura 4b).



(a) Prima legge



(b) Seconda legge



(c) Terza legge

Figura 18: Leggi di Keplero

Terza legge di Keplero. I quadrati dei tempi impiegati dai pianeti a descrivere le proprie orbite sono proporzionali ai cubi dei semiassi maggiori delle ellissi.

In particolare, il periodo di rivoluzione aumenta con la distanza dei pianeti dal Sole (figura 18c).

2.2.3 Che cosa muove i pianeti?

Lo scienziato inglese Isaac Newton, alla fine del XVII secolo, provò che la forza che attrae una mela che cade verso terra è la stessa che obbliga la Luna a girare intorno alla Terra e che obbliga i pianeti a girare intorno al Sole.

Newton realizzò un *esperimento ideale* con cui mostrò che la legge di caduta dei corpi spiega anche il moto della Luna attorno alla Terra e dei pianeti attorno al Sole.

Newton immaginò di porre su una montagna un cannone che spara proiettili via via più veloci. Gli esperimenti di Galileo mostravano che ciò aveva come conseguenza l'aumento della *gittata* del cannone: il proiettile tocca terra sempre più lontano dal cannone. Nell'esperimento mentale di Newton si può pensare che a un certo punto la velocità con cui viene sparato il proiettile sia tale che questo non tocchi più terra e si ponga in orbita alla stessa quota della montagna, compiendo un percorso circolare. Il proiettile, pur obbedendo alla legge di caduta dei gravi e quindi "cadendo continuamente sulla Terra", non la raggiunge mai. (Quello ap-

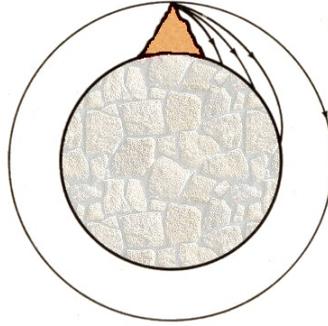


Figura 19: Un esperimento mentale: il cannone di Newton

pena descritto è il metodo con cui vengono messi in orbita i satelliti artificiali: un veicolo spaziale fa la parte della montagna, portando in quota il satellite che viene poi “sparato” e inizia il suo percorso.)

Anche la Luna si comporta allo stesso modo: “cade continuamente” sulla Terra. Se si annullasse la forza di gravità, la Luna seguirebbe una traiettoria tangenziale alla sua orbita, perdendosi nello spazio. Newton concluse che il proiettile e la Luna cadono entrambi sulla Terra per effetto della forza di gravità: per la prima volta nella storia, una stessa causa (la gravità) spiegava un fenomeno terrestre e uno celeste. Analogamente, i pianeti orbitano attorno al Sole per effetto della forza di gravità.

2.2.4 Come si è formato il sistema solare?

Il sistema solare si è formato circa 5 miliardi di anni fa, dalla condensazione di un’immensa nube rotante di gas e polvere, per effetto della forza di gravità. All’inizio della sua evoluzione il nostro sistema ha vissuto una fase violenta, caratterizzata da innumerevoli impatti fra i vari corpi allora in formazione. Possiamo immaginare un sistema solare con un’altissima densità di piccoli corpi, come gli asteroidi, continuamente in collisione fra loro o con i corpi maggiori come i pianeti o i grandi satelliti, come la Luna. Proprio la Luna, con le migliaia di crateri sulla sua superficie, testimonia questa epoca. Poi, circa 4 miliardi di anni fa, il nostro sistema ha raggiunto una situazione di relativa tranquillità ed equilibrio, che durano ancor oggi ancora oggi.

2.3 STELLE

A occhio nudo si possono vedere circa 6000 stelle, ma in realtà esse sono numerosissime. Durante il giorno le stelle non sono visibili per l’intensa luce sola-

re, e il cielo appare azzurro per la “dispersione della luce” dovuta alla presenza, nell’atmosfera, di particelle di vapor acqueo e di polvere. Gli astronauti, fuori dall’atmosfera, vedono il cielo color nero, e quindi possono sempre osservare le stelle.

Definizione 6. Una *stella* è un corpo celeste che emette luce propria (i pianeti danno solo luce riflessa).

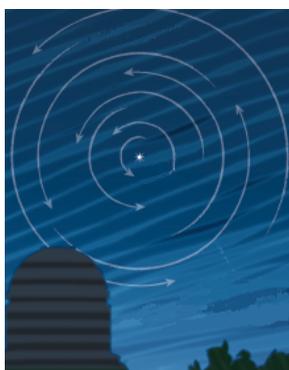
Guardando il cielo si ha l’impressione che la Terra sia al centro di un’enorme sfera su cui vengono proiettati tutte le stelle; questa sfera sembra ruotare attorno a noi da est verso ovest. In realtà è il nostro pianeta che ruota in senso contrario (da ovest a est), girando attorno a un asse terrestre che passa per i poli e che, prolungato verso nord, passa vicinissimo alla stella polare (figura 20).

La stella polare indica la direzione del nord e permette di orientarsi di notte, se non abbiamo una bussola. Pur non essendo molto luminosa, è facilmente rintracciabile (figura 21): una volta individuata la costellazione dell’Orsa Maggiore, o Gran Carro, basta prolungare di cinque volte la linea che congiunge idealmente le due “ruote posteriori”, fino a raggiungere l’estremità anteriore del “timone” dell’Orsa Minore, o Piccolo Carro (quest’ultimo è più difficile da identificare, soprattutto in condizioni di scarsa visibilità).

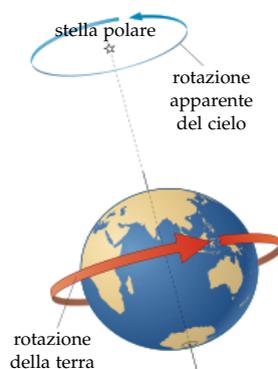
2.3.1 Costellazioni



(a) Fotografia del cielo a lunga esposizione (circa dieci ore)



(b) Le scie luminose corrispondono alle traiettorie apparenti delle stelle



(c) L’apparente rotazione del cielo è dovuta alla rotazione della Terra attorno al suo asse

Figura 20: Le stelle ruotano come se fossero attaccate a una sfera girevole, ma in realtà è la Terra che ruota in senso contrario a quello apparente della sfera celeste.

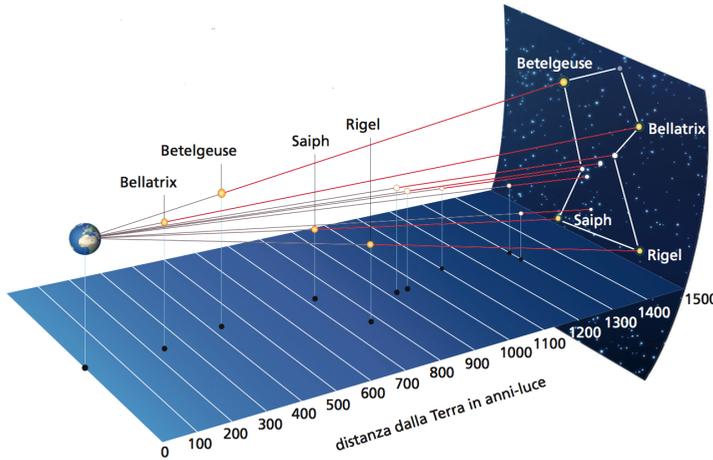


Figura 22: Come ci appare la costellazione di Orione e come sono in realtà disposte nello spazio le stelle che la compongono

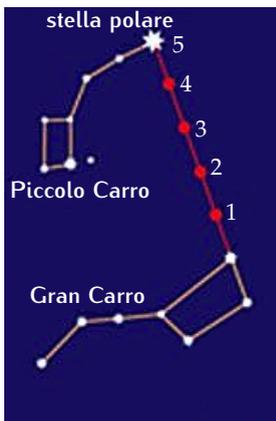


Figura 21: Stella polare

L'Orsa Maggiore è una costellazione tipica dell'emisfero nord: le sue sette stelle più luminose, raggruppate nel famoso Gran Carro, sono visibili per tutto l'anno. Il riferimento alla costellazione come un orso (le quattro stelle orientali) inseguito da tre cacciatori (le tre di coda) è probabilmente il più antico mito a cui l'umanità faccia ancora riferimento. In altre parti del mondo si usano nomi diversi: nel Nord America è il Grande Mestolo, mentre nel Regno Unito è l'Aratro. *Septem triones*, cioè i "sette buoi", è il termine con cui gli antichi Romani definivano le sette stelle dell'Orsa Maggiore, descrivendone il loro lento movimento attorno alla stella polare. Da qui l'origine del termine *settentrione*, cioè nord.

Le costellazioni non hanno alcun significato reale, perché riuniscono stelle tra loro lontanissime: è solo un effetto di prospettiva che fa apparire alcune stelle "associate" sullo sfondo della volta celeste (figura 22). Gli astronomi continuano a servirsi di questa "toponomastica celeste" per praticità, anche se in prima approssimazione (oggi l'esatta posizione delle stelle si indica per mezzo di precise *coordinate celesti*).

Nel corso dell'anno, il Sole sembra assumere posizioni diverse rispetto alla sfera celeste. Questo spostamento è una conseguenza del moto di rivoluzione della Terra attorno al Sole. In apparenza il Sole percorre un'orbita, che prende il nome di *eclittica* e giace sullo stesso piano dell'orbita terrestre, che attraversa in successione dodici costellazioni; queste costellazioni compongono lo *zodiaco* (figura 23).

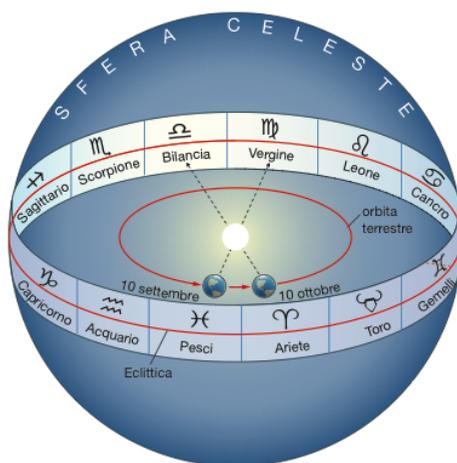


Figura 23: Zodiaco

2.3.2 Distanze

Per esplorare l'immensa sfera celeste conviene conoscere le unità di misura usate in astronomia per esprimere le enormi distanze tra i corpi celesti. Queste unità non fanno parte del Sistema Internazionale ma sono ancora molto diffuse. Le unità di misura più usate sono le seguenti.

Definizione 7. *L'unità astronomica (UA) è la distanza media tra la terra e il Sole.*

Un'unità astronomica vale circa 150 milioni di chilometri.

Definizione 8. *L'anno luce (al) è la distanza percorsa in un anno dalla velocità della luce.*

La velocità della luce è circa 300 000 km/s, per cui un anno luce vale circa 9500 miliardi di chilometri: un valore già enorme per la nostra esperienza, eppure molti corpi celesti sono distanti *milioni* di anni luce.

Un metodo per misurare la distanza tra la Terra e una stella si basa sull'osservazione della stella in due momenti diversi. Questa osservazione si può paragonare a ciò che si registra quando guardiamo un oggetto, per esempio un dito, che si trova a pochi centimetri dai nostri occhi. Se chiudiamo prima un occhio e osserviamo la posizione del dito rispetto allo sfondo e poi facciamo altrettanto chiudendo l'altro occhio, ci sembrerà che il dito si sia mosso in relazione all'ambiente. E tanto più il dito sarà vicino agli occhi, quanto più ampio sembrerà lo spostamento. Questo fenomeno si chiama *parallasse*.

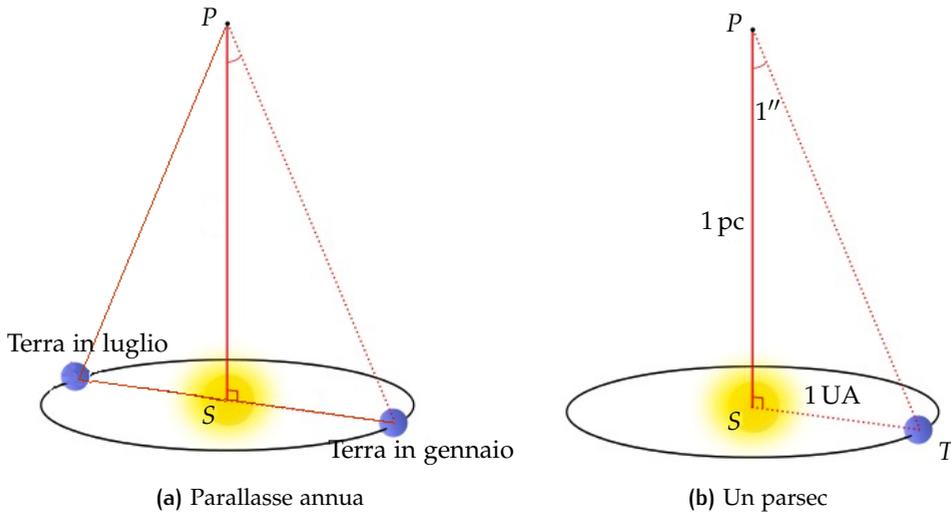


Figura 24: Per misurare la distanza tra la Terra e una stella si usa il metodo della parallasse

Astronomicamente parlando, a ogni occhio corrisponde la posizione della Terra in punti opposti nella sua orbita pressoché circolare intorno al Sole, al dito invece corrisponde la stella di cui si vuole misurare la distanza (figura 24a).

Nella vita quotidiana gli angoli si misurano in gradi: per esempio, un angolo retto misura 90° . In astronomia, dove gli angoli possono essere molto piccoli, conviene misurarli con sottomultipli del grado: un primo d'arco corrisponde a $1/60$ di grado, e un secondo d'arco corrisponde a $1/60$ di un primo d'arco.

Poiché le stelle sono molto lontane, la loro parallasse è molto piccola. La stella più vicina (*Proxima Centauri*) ha una parallasse di circa 0,8 secondi d'arco, da cui si deduce che la sua distanza dalla Terra è di circa 40 000 miliardi di chilometri.

Gli astronomi hanno introdotto una nuova unità di misura, il parsec, che si aggiunge all'unità astronomica e all'anno-luce (figura 24b).

Definizione 9. Un parsec (parallasse-secondo, pc) è la distanza a cui si trova una stella ideale che ha una parallasse di un secondo d'arco.

Si ha che

$$1 \text{ pc} \approx 200\,000 \text{ UA} = 31 \cdot 10^9 \text{ km} \approx 3,3 \text{ al}$$

Si usano anche il chiloparsec ($1 \text{ kpc} = 1000 \text{ pc}$) e il megaparsec ($1 \text{ Mpc} = 10^6 \text{ pc}$).

2.3.3 Luminosità

Fin dall'antichità le stelle furono classificate in base alla loro luminosità. Tolomeo introdusse sei ordini di grandezze: nel prim'ordine c'erano le stelle più

luminose e nel sesto quelle appena visibili a occhio nudo. Oggi non si parla più di *grandezza*, ma di *magnitudine*, e la luminosità si misura con appositi strumenti.

Quella appena definita è la *magnitudine apparente* e descrive la luminosità di una stella così come ci appare dalla Terra. Le stelle possono però apparire più o meno luminose solo perché sono più o meno vicine a noi: per mettere in evidenza reali differenze di luminosità bisogna misurare la loro *magnitudine assoluta*.

Una volta misurata la magnitudine apparente di una stella, si calcola perciò quale magnitudine la stella avrebbe se si trovasse a una distanza standard dalla Terra (stabilita in 10 parsec). Sirio deve il suo primato di luminosità alla sua vicinanza dalla Terra (2,7 parsec), mentre alla distanza standard la sua magnitudine assoluta è molto minore di quella di Deneb, che ha una magnitudine apparente di solo 1,3 per la grande distanza (430 parsec). Dal confronto per la luminosità, che pone tutte le stelle "alla pari", il nostro Sole esce molto ridimensionato: la sua magnitudine assoluta è appena 4,9 e alla distanza standard apparirebbe simile alle più fioche stelle che riusciamo a distinguere a occhio nudo.

2.4 EVOLUZIONE STELLARE

Come se fossero esseri viventi, anche le stelle nascono e muoiono, in tempi dell'ordine di milioni o miliardi di anni. Sembra incredibile che siamo riusciti a capirlo nel breve tempo che abbiamo avuto a disposizione: gli strumenti necessari sono disponibili da poco più di cento anni, un tempo insignificante in confronto alla durata dei fenomeni da studiare. Però in cielo possiamo osservare contemporaneamente stelle di tutte le età, da quelle in formazione a quelle in via di estinzione, e anche i resti delle stelle ormai spente: confrontandole possiamo farci un'idea dell'evoluzione che si svolge in tempi lunghissimi.

È come se un extraterrestre avesse solo un giorno per capire il processo di crescita e invecchiamento della razza umana. Supponiamo che si fermi per strada a osservare la gente che passa. Vedrà bambini in carrozzina, ragazzi che corrono, adulti che camminano spediti, anziani curvi e lenti. Con opportuni ragionamenti capirebbe che appartengono tutti alla razza umana in diverse età di sviluppo; la stessa cosa abbiamo fatto noi con le stelle.

2.4.1 Protostelle

Una stella "nasce" da una *nebulosa*, costituita da polveri e gas freddi (soprattutto idrogeno, per oltre il 90%), in cui le particelle cominciano a interagire fra loro. Ciò comporta una contrazione e un aumento di densità. Alla forza gravitazionale, che tende a far contrarre l'ammasso di gas, si oppone la pressione termica, che tende a farlo dilatare. Superata una certa massa critica, si forma una *protostella*: essa si

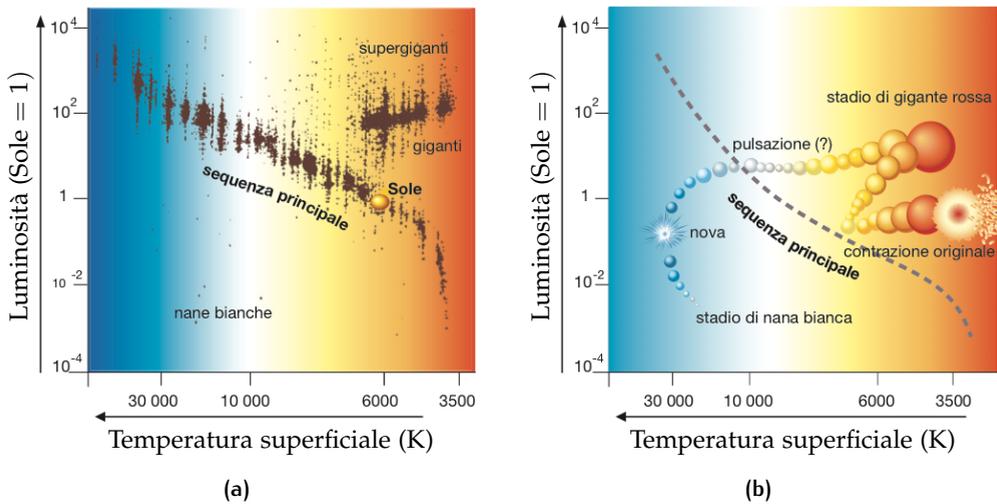


Figura 25: Diagramma H-R

trova al centro della nebulosa e la sua forza gravitazionale le permette di trattenere materiale, aumentando massa e temperatura. A questo punto:

- se la sua massa è minore di $0,08M_{\odot}$, dove $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ kg è la massa del Sole, la protostella non raggiunge le condizioni di temperatura e pressione tali da innescare le reazioni di fusione nucleare e si trasforma in una *nana bruna*, un oggetto celeste freddo e poco brillante;
- in caso contrario, la contrazione prosegue finché il suo nucleo raggiunge la temperatura di 10 milioni di kelvin: superata questa soglia, la protostella diviene una *stella*.

Nel nucleo della stella la temperatura e la pressione sono così alte che la materia è in uno stato di *plasma*, un gas costituito da elettroni e ioni. Proprio qui avvengono le reazioni di *fusione nucleare*: quattro protoni si fondono per formare un nucleo di elio-4 (due protoni legati assieme a due neutroni). Poiché quest'ultimo ha una massa del 7 per mille inferiore a quella dei 4 protoni originari, la massa mancante si trasforma in energia secondo l'equazione di Einstein $E = mc^2$. Questa energia tende a far espandere il gas, fino a compensare la forza di gravità: la stella raggiunge così una fase di equilibrio.

Possiamo seguire la vita di una stella attraverso un grafico, il diagramma di Hertzsprung-Russell (o *diagramma H-R*), che mette in relazione la luminosità della stella con la sua temperatura superficiale (figura 25). La temperatura superficiale è legata al colore della stella (le stelle più calde sono blu, quelle più fredde sono rosse). Nel diagramma H-R le stelle non si distribuiscono a caso, ma si raccolgono

in gran parte lungo una fascia che lo attraversa in diagonale, chiamata *sequenza principale*.

2.4.2 Sequenza principale

Durante la fase “adulta”, le stelle si trovano nella sequenza principale. Questa fase è la più stabile della loro vita, e perciò le stelle sostano in questa zona per molto tempo. Nella sequenza principale troviamo la maggior parte delle stelle, tra cui il Sole (una stella gialla) in posizione intermedia. Nella zona in basso a destra troviamo le stelle rosse, piccole e fredde, come *Proxima Centauri*, mentre nella zona in alto a sinistra si trovano le stelle blu, grandi e calde, come *Spica*.

La durata della fase di sequenza principale dipende dalla luminosità della stella:

- le stelle gialle rimangono nella sequenza circa 10 miliardi di anni; il Sole, che ha già 5 miliardi di anni, è una stella “di mezza età”;
- le stelle blu consumano il proprio “carburante” piuttosto velocemente e hanno una vita decisamente più breve (qualche decina o centinaio di milioni di anni);
- le stelle rosse invece bruciano l'idrogeno del nucleo molto lentamente e hanno un'esistenza molto più lunga (decine o centinaia di miliardi di anni).

2.4.3 Dopo la sequenza principale

Quando tutto l'idrogeno del nucleo è stato trasformato in elio, il nucleo non è più in grado di sostenere gli strati esterni. A questo punto ci sono diverse possibilità.

Stelle di piccola massa

Se la stella ha una massa compresa tra 0,08 e 0,8 masse solari, non ci sono le condizioni per nuove fusioni nucleari: la stella si contrae, diminuendo di luminosità e trasformandosi in una *nana bianca* di piccola massa, costituita prevalentemente da elio.

Stelle di massa intermedia

Se la stella ha una massa compresa tra 0,8 e 8 masse solari, il nucleo *collassa*, cioè si contrae su se stesso, incrementando la propria temperatura, mentre gli strati più esterni si espandono e si raffreddano. L'energia sprigionata dal collasso gravitazionale permette allo strato di idrogeno immediatamente circostante il nucleo di raggiungere la temperatura di innesco della fusione nucleare: la stella si trasforma in una fredda ma brillante *gigante rossa*, con un nucleo di elio e un guscio in cui prosegue la fusione dell'idrogeno.

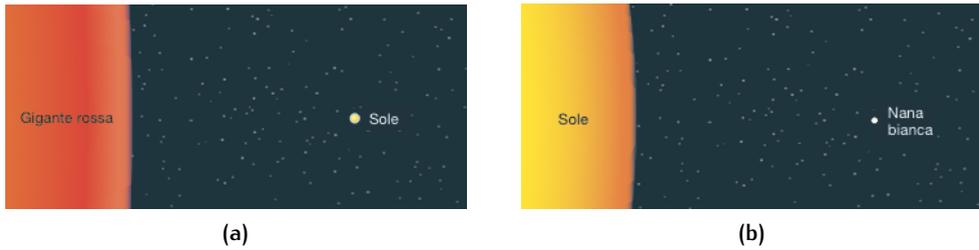


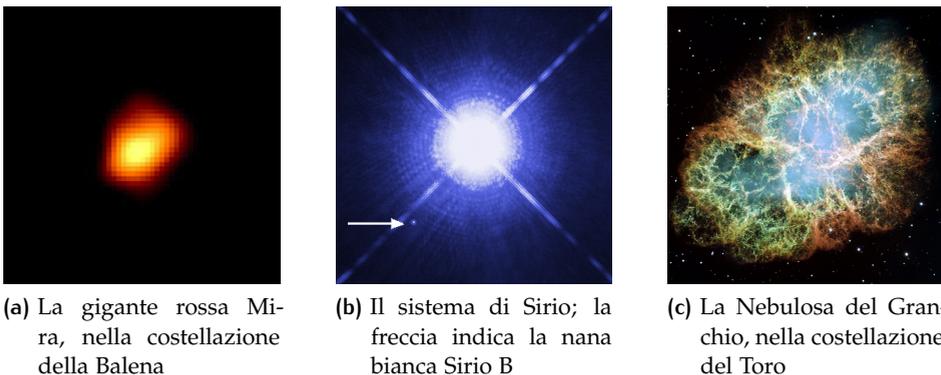
Figura 26: Dimensioni stellari a confronto

Se la stella ha una massa sufficiente (almeno $1M_{\odot}$), il collasso gravitazionale innalza la temperatura nucleare fino a 100 milioni di kelvin, permettendo la fusione dell'elio del nucleo in carbonio, mentre nel guscio immediatamente superiore continua il processo di fusione dell'idrogeno residuo in elio. Non appena l'elio è stato completamente esaurito all'interno del nucleo, lo strato attiguo, che in precedenza ha fuso l'idrogeno in elio, inizia a fondere quest'ultimo in carbonio, mentre sopra di esso un altro strato continua a fondere parte dell'idrogeno restante in elio.

Gli strati più esterni di una gigante rossa possono estendersi per diverse centinaia di volte il diametro del Sole (figura 26a), arrivando ad avere raggi di alcune unità astronomiche, come nel caso di *Mira* (figura 27a).

Stelle massicce

Quando termina il processo di fusione dell'idrogeno del nucleo in elio e comincia la trasformazione di quest'ultimo in carbonio, le stelle massicce (con massa superiore a $8M_{\odot}$) si espandono raggiungendo lo stadio di *supergigante rossa*.



(a) La gigante rossa Mira, nella costellazione della Balena

(b) Il sistema di Sirio; la freccia indica la nana bianca Sirio B

(c) La Nebulosa del Granchio, nella costellazione del Toro

Figura 27: Evoluzione stellare

Quando termina anche la fusione dell'elio, i processi nucleari non si arrestano ma, grazie a una serie di successivi collassi del nucleo e aumenti di temperatura e pressione, proseguono con la sintesi di altri elementi più pesanti: il neon, l'ossigeno, il silicio. In queste stelle, poco prima della loro fine, può svolgersi in contemporanea la *nucleosintesi* di più elementi all'interno di un nucleo stratificato. Questa struttura è paragonata dagli astronomi agli strati concentrici di una cipolla. In ciascun guscio avviene la fusione di un diverso elemento: il guscio più esterno fonde idrogeno in elio, quello immediatamente sotto fonde elio in carbonio, e così via, a temperature e pressioni sempre crescenti man mano che si procede verso il centro (figura 28).

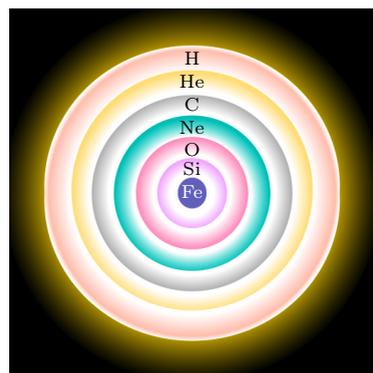


Figura 28: Nucleosintesi stellare

Il collasso di ciascuno strato è evitato dalla pressione di radiazione dello strato sottostante, dove le reazioni procedono a un regime più intenso. Il prodotto finale è la nucleosintesi del ferro-56, che si compie in pochi giorni. Poiché i nuclei del ferro hanno un'energia di legame superiore a quella di qualunque altro elemento, la loro fusione non è un processo *esotermico* (che produce energia), ma fortemente *endotermico* (cioè richiede energia).

2.4.4 Fine dell'evoluzione stellare

Quando una stella è prossima alla fine della propria esistenza, la pressione di radiazione del nucleo non riesce più a contrastare la gravità degli strati più esterni della stella. Di conseguenza collassa, mentre gli strati più esterni vengono espulsi in maniera più o meno violenta. Ciò che resta è un oggetto estremamente denso: una stella compatta, costituita da materia in uno stato *degenere*.

Stelle di massa intermedia

Nelle stelle con massa compresa tra 0,8 e 8 masse solari, la stella compatta che rimane dopo l'espulsione degli strati più esterni è una *nana bianca* (figura 27b), un oggetto dalle dimensioni relativamente piccole (paragonabili a quelle della Terra) con una massa minore o uguale al limite di Chandrasekhar (1,44 masse solari).

Le nane bianche hanno quindi una massa simile a quella del Sole compressa in un volume simile a quello della Terra (figura 26b). Ne segue che la densità della materia in una nana bianca è circa 10^6 g/cm^3 , una tonnellata per centimetro cubo, ovvero un milione di volte quella dell'acqua. La compressione gravitazionale a cui è soggetta la materia di una nana bianca (la cui composizione chimica dipende dai residui della fusione nucleare della stella progenitrice) è bilanciata dalla pressione dei suoi *elettroni degeneri*.

Una nana bianca appena formata ha una temperatura molto elevata, pari a circa 100 milioni di kelvin. Non avendo però una sorgente di energia, si raffredda progressivamente, per spegnersi infine nell'oscurità.

Esercizio 2. Calcola la densità di una nana bianca avente massa uguale a quella del Sole ($M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ kg) e raggio uguale a quello della Terra ($R = 6300$ km).

Soluzione.

$$d = \frac{M_{\odot}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{2 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{\frac{4}{3}\pi (6300 \text{ km})^3} = \frac{2 \cdot 10^{30} \cdot 1000 \text{ g}}{\frac{4}{3}\pi (6300 \cdot 100\,000 \text{ cm})^3} = 1,9 \cdot 10^6 \text{ g/cm}^3 \quad \square$$

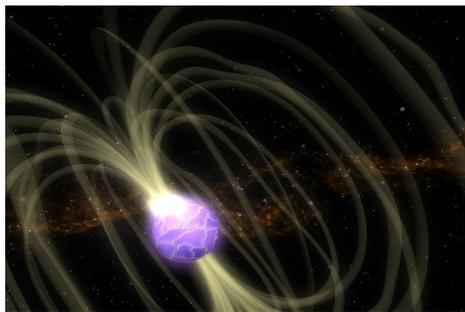
Stelle massicce

Nelle stelle con masse superiori a 8 masse solari la fusione nucleare continua finché il nucleo non raggiunge una massa superiore al limite di Chandrasekhar. Oltrepassato questo limite, il nucleo non riesce più a sostenere la sua stessa massa e collassa. Gli elettroni urtano contro i protoni formando neutroni. L'onda d'urto generata da questo collasso provoca l'esplosione della stella in una brillantissima *supernova*.

L'esplosione di una supernova fa aumentare la luminosità della stella di milioni di volte, ed è un fenomeno osservato in più di un'occasione fin dall'antichità dagli uomini, che le ritenevano erroneamente delle "nuove stelle" (da cui il termine *nova*, usato inizialmente per designarle). Una supernova esplose nella costellazione del Toro nel 1054 e fu visibile per tre settimane anche in pieno giorno, pur trovandosi a oltre 6000 anni luce: al suo posto oggi c'è la Nebulosa del Granchio (figura 27c)

L'energia liberata nell'esplosione di una supernova è talmente elevata da permettere la sintesi degli elementi più pesanti del ferro, come il rame, l'argento, l'oro e il piombo: questo processo è detto *nucleosintesi delle supernovae*. L'esplosione della supernova diffonde nello spazio gran parte della materia che costituiva la stella, mentre il nucleo residuo sopravvive in uno stato altamente degenere.

STELLE DI NEUTRONI Se la massa del nucleo residuo è compresa tra 1,4 e 3,8 masse solari, esso collassa in una *stella di neutroni*. In un atomo normale, gli elettroni si trovano molto distanti dal nucleo, e l'atomo è praticamente "vuoto". La pressione della stella è così grande da spezzare i nuclei in protoni e neutroni: gli elettroni si trovano così vicini ai protoni da fondersi con essi, formando altri neutroni. A questo punto la stella è composta solo da neutroni, così vicini che non c'è nemmeno il più piccolo spazio tra uno e l'altro. Le stelle di neutroni hanno una massa simile a quella del Sole e un raggio di qualche decina di chilometri. La loro densità è quindi dell'ordine di 10^{14} g/cm³, cento milioni di tonnellate per centimetro cubo. È una densità impossibile da riprodurre in laboratorio: sarebbe come comprimere



(a) Rappresentazione di una stella di neutroni e del suo intenso campo magnetico



(b) Un buco nero in una rappresentazione artistica della NASA

Figura 29: Stelle di neutroni e buchi neri

una portaerei nello spazio occupato da un granello di sabbia. Le stelle di neutroni sono costituite da un gas *degenere* di neutroni, la cui pressione bilancia quella gravitazionale, mantenendo la stella in equilibrio. Una stella di neutroni ha un campo magnetico molto intenso e ruota su se stessa a velocità elevatissime: l'energia che la stella diffonde nello spazio appare come una rapida pulsazione (come la luce di un faro rotante). Tali oggetti sono chiamati *pulsar* (contrazione dall'inglese *pulsating radio star*, "stella radio pulsante"). Ne è stato individuato uno al centro della Nebulosa del Granchio: potrebbe essere la stella di neutroni rimasta dopo l'esplosione del 1054.

Esercizio 3. Calcola la densità di una stella di neutroni avente massa pari a pari a 1,4 volte quella del Sole ($M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$ kg) e raggio R di 15 km.

Soluzione.

$$d = \frac{1,4 \cdot M_{\odot}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{1,4 \cdot 2 \cdot 10^{30} \text{ kg}}{\frac{4}{3}\pi (15 \text{ km})^3} = \frac{1,4 \cdot 2 \cdot 10^{30} \cdot 1000 \text{ g}}{\frac{4}{3}\pi (15 \cdot 100\,000 \text{ cm})^3} = 2 \cdot 10^{14} \text{ g/cm}^3 \quad \square$$

BUCHI NERI Se la stella originaria è talmente massiccia che il nucleo residuo ha una massa superiore a 3,8 masse solari, nessuna forza è in grado di contrastarne il collasso gravitazionale e il nucleo collassa fino a raggiungere dimensioni inferiori al *raggio di Schwarzschild* (meno di un chilometro). Si origina così un *buco nero*, un oggetto circondato da un campo gravitazionale immenso, in grado di attirare dentro di sé qualunque particella entri nel suo raggio d'azione: neanche la luce può uscirne. La materia che costituisce un buco nero si trova in uno stato altamente degenere, che gli scienziati non sono ancora riusciti a spiegare.

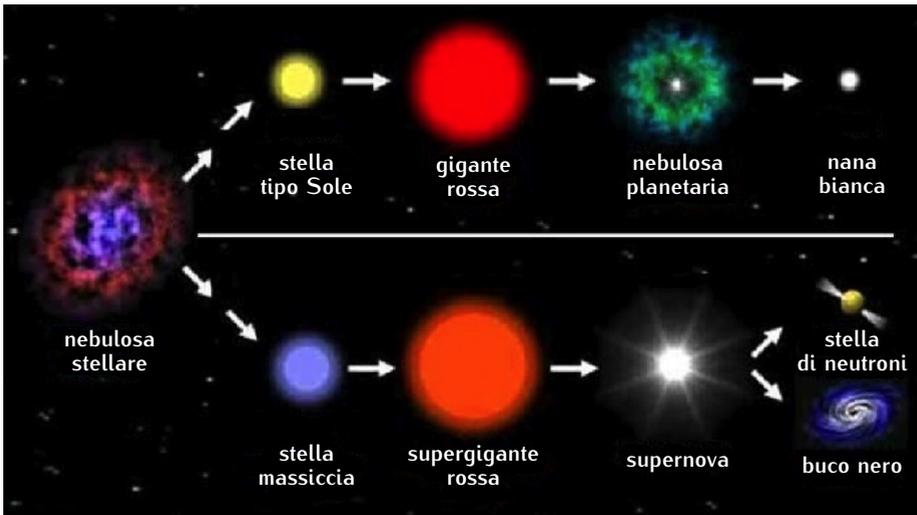


Figura 30: Schema dell'evoluzione stellare

2.4.5 Siamo "polvere di stelle"

L'energia delle stelle è dovuta a reazioni termonucleari, ma queste reazioni non producono solo energia. Come abbiamo visto, si producono per questa via anche nuovi elementi, come l'elio, che si forma a spese dell'idrogeno. E quando, nel passaggio di una stella allo stadio di gigante rossa, il nucleo di elio collassa a sua volta, si innesca una nuova reazione termonucleare che trasforma l'elio in carbonio. In stelle con massa maggiore a quella del Sole questi processi possono continuare: a temperature sempre più alte nuove reazioni nucleari possono produrre via via tutti gli elementi della tavola periodica, fino al ferro.

Per le stessa via non possono formarsi, invece, elementi più pesanti: per la loro nascita servono energie e condizioni tali che si trovano solo nelle prime fasi dell'esplosione di una supernova, quando le temperature arrivano a centinaia di milioni di kelvin. Questi elementi, appena formati e subito dispersi nello spazio dalla violenta esplosione, finiscono per mescolarsi alla materia interstellare che, come sappiamo, può concentrarsi localmente fino a formare le nebulose. Quando da una nebulosa nasce una nuova stella, quegli atomi vengono "riciclati" ed entrano a far parte della massa del nuovo astro.

Si spiega ora perché nella composizione del Sole, che pure è ancora nella fase di trasformazione dell'idrogeno in elio, si riconoscano le tracce di oltre 60 elementi: il nostro astro è una stella "di seconda mano", in cui compaiono atomi nati da antichissime esplosioni stellari. E la Terra, che si è formata assieme al Sole, come pure i nostri stessi corpi, che devono al pianeta gli atomi di cui sono composti, sono fatti in ultima analisi di "polvere di stelle": un'espressione romantica, ma scientificamente ineccepibile.

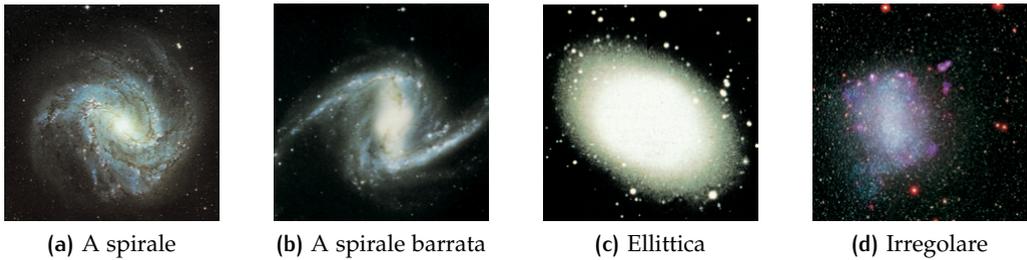


Figura 31: Galassie

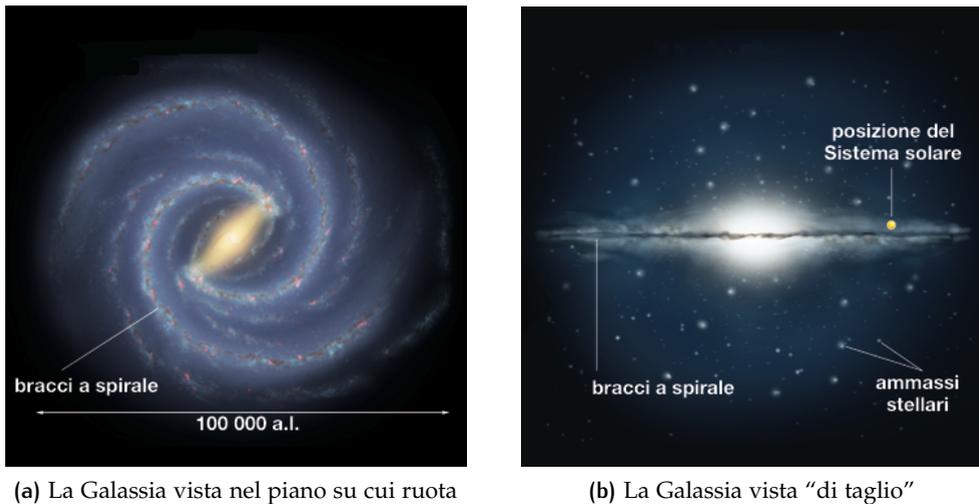


Figura 32: La nostra Galassia

2.5 GALASSIE

Le *galassie* sono aggregati di una grandissima quantità di stelle e differiscono per la forma e per le dimensioni. In base alla forma si distinguono quattro tipi di galassie:

- a spirale (figura 31a);
- a spirale barrata (figura 31b);
- ellittiche (figura 31c);
- irregolari (figura 31d);

Anche la Terra (con il sistema solare) fa parte di una galassia (a spirale barrata), che comprende tutte le stelle e le nebulose visibili dal nostro pianeta a occhio nudo e, in più, la Via Lattea: una fascia biancastra che solca la sfera celeste. La nostra Galassia ha un diametro che misura circa 100 000 anni luce e comprende oltre 100 miliardi di stelle.

In una galassia, negli spazi apparentemente vuoti tra una stella e l'altra è diffusa la materia interstellare (polveri finissime e gas), spesso concentrata in nebulose.

Le galassie tendono a riunirsi in ammassi. Nel raggio di 3 milioni di anni luce da noi si trovano una ventina di galassie, che formano il Gruppo Locale. Ma si conoscono moltissimi ammassi di galassie, ciascuno formato da centinaia o addirittura migliaia di galassie.

2.6 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara le scienze della Terra.

Sistema solare

1 Indica la risposta corretta.

a. La seconda legge di Keplero mette in relazione:

A aree e tempi

C tempi e distanze

B tempi e aree

D aree e distanze

b. Il perielio è:

A il punto dell'orbita di un pianeta più lontano dal sole

B il punto dell'orbita di un pianeta più vicino al sole

C il punto dell'orbita in cui il pianeta è equidistante dal sole

D nessuna risposta è accettabile

c. La prima legge di Keplero afferma che:

A I pianeti si muovono di moto circolare uniforme

B Il Sole si trova al centro delle orbite

C I pianeti si muovono su orbite ellittiche

D I pianeti mantengono sempre la stessa distanza dal Sole

d. Immagina di essere un extraterrestre che abita in una galassia molto lontana, che possiede un potente telescopio, come quelli che vengono utilizzati oggi sulla Terra. Puntando l'obiettivo verso la nostra galassia in direzione del nostro sistema solare, saresti in grado di vedere:

- A Il Sole, la Terra, e tutti i pianeti C Non vedresti nulla
 B Probabilmente soltanto il Sole D Soltanto Giove

e. La prima legge di Keplero riguarda:

- A il moto di rivoluzione terrestre C la forma della terra
 B il moto di rotazione terrestre D l'asse terrestre

f. La prima legge di Keplero dice che un pianeta mantiene costante:

- A la velocità di rivoluzione C la velocità di rotazione
 B la distanza dai due fuochi D la distanza dal sole

g. Dalla seconda legge di Keplero si deduce che la velocità con la quale ciascun pianeta percorre la sua orbita è:

- A sempre uguale C maggiore in perielio
 B minore in inverno D maggiore in afelio

h. Quale pianeta gira più velocemente attorno al Sole?

- A Terra B Saturno C Plutone D Mercurio

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 2 D]

2 Vero o falso?

- a. Cassiopea è una costellazione che appare in cielo come una W. V F
- b. Durante le reazioni di fusione nucleare i nuclei di idrogeno si trasformano in nuclei di elio. V F
- c. Giove è il pianeta più grande del sistema solare. V F
- d. Gli elementi presenti in quantità maggiore nelle stelle sono l'idrogeno e l'ossigeno. V F
- e. Il *big bang* si verifica ogni volta che una stella collassa. V F
- f. Il pianeta con gli anelli si chiama Saturno. V F
- g. Il sistema solare fa parte della galassia di Orione. V F
- h. Il sistema solare si trova nella Via Lattea. V F
- i. Il Sole è un pianeta. V F
- j. Il Sole si trova al centro della Via Lattea. V F
- k. La Luna è il pianeta più piccolo del sistema solare. V F

[4 affermazioni vere e 6 false]

3 Vero o falso?

- a. La stella Polare ci appare nella stessa posizione da qualunque regione della Terra noi la osserviamo. V F
- b. La stella Polare ci appare nella stessa posizione a qualunque ora noi la osserviamo. V F
- c. La Via Lattea è la nostra galassia. V F
- d. La Via Lattea è una galassia. V F
- e. La Via Lattea ha un suo moto di rotazione. V F
- f. Le nebulose sono ammassi di materia estremamente rarefatti. V F
- g. Le stelle durante la notte non cambiano posizione. V F
- h. Le stelle nascono dalla contrazione di nubi di gas. V F
- i. L'universo è formato da poche galassie. V F
- j. Mercurio è il pianeta più vicino al Sole. V F
- k. Tutta la materia di cui sono costituite le galassie un tempo era unita in un punto. V F

[8 affermazioni vere e 3 false]

Evoluzione stellare

4 Indica la risposta corretta.

- a. Finito l'H del nucleo la stella andrà incontro a:
- A contrazione gravitazionale
 - B esplosione di una supernova
 - C formazione della gigante rossa
 - D espansione legata alla fusione nucleare dell'idrogeno
- b. Le supernove sono eventi legati a:
- A formazioni di stelle di grande dimensione
 - B morte di stelle di grande dimensione
 - C vita attiva di stelle di grande massa
 - D fusione nucleare dell'idrogeno in elio
- c. L'enorme peso di una nana bianca è bilanciato da:
- A pressione della contrazione gravitazionale
 - B pressione degli elettroni degeneri
 - C pressione dei neutroni degeneri

- D pressione della nebulosa
- d. Nelle stelle la forza di gravità è bilanciata da:
- A forza centrifuga
- B forza di compressione dei gas
- C pressione degli elettroni degeneri
- D forze di espansione generate dalle fusioni nucleari
- e. La formazione degli atomi più pesanti del ferro avviene:
- A durante la morte delle stelle di grandi dimensioni
- B durante le reazioni di fusione nucleare delle stelle
- C nelle nane bianche
- D nei momenti iniziali del *big bang*
- f. Le supernove sono eventi legati a:
- A formazioni di stelle di grande dimensione
- B morte di stelle di grande dimensione
- C vita attiva di stelle di grande massa
- D fusione nucleare dell'idrogeno in elio
- g. La gigante rossa si forma:
- A da una nebulosa in contrazione
- B dalla contrazione gravitazionale dei gas
- C dalla morte di una stella di piccole dimensioni
- D dalla morte di una stella di grandi dimensioni
- h. Le caratteristiche di una stella di neutroni sono :
- A diametro: 100 km, densità: 10 kg/cm^3
- B diametro: 1000 km, densità: 100000 kg/cm^3
- C diametro: 100 000 km, densità: 1 milione di t/cm^3
- D diametro: 10 km, densità: 1 miliardo di t/cm^3
- i. Una stella con massa 10 volte quella del Sole:
- A avrà una vita media 10 volte maggiore del sole

- B vivrà meno del sole
- C avrà più o meno la longevità del sole
- D vivrà di più del sole

j. La pulsar può essere l'espressione di:

- A una stella di neutroni
- B un buco nero
- C una stella di grandi dimensioni
- D una nana nera

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

5 Indica la risposta corretta.

a. La forza che trasforma le nebulose in stelle è:

- A la forza di gravità
- B la forza di espansione gravitazionale
- C la forza centrifuga
- D la forza di accelerazione

b. La nana bianca può avere un diametro di:

- A alcuni metri
- B alcuni chilometri
- C alcuni anni luce
- D alcune decine di migliaia di chilometri

c. Perché nelle stelle più grandi la fusione nucleare è più veloce:

- A la temperatura del nucleo è più elevata
- B sono presenti atomi più pesanti
- C sono presenti isotopi
- D sono presenti atomi più leggeri

d. Nelle stelle la forza di gravità è bilanciata da:

- A forza centrifuga
- B forza di compressione dei gas
- C pressione degli elettroni degeneri

D forze di espansione generate delle fusioni nucleari

e. Per formare una stella occorre una massa minima di:

A 1 massa solare

C 10 masse solari

B 0,08 masse solari

D 100 masse solari

f. Se una stella morente ha una massa pari a 200 masse solari si formerà:

A una nana nera

C un buco nero

B una gigante rossa

D una stella di neutroni

g. La nana bianca si forma dalla morte di stelle aventi massa:

A maggiore di 15 masse solari

C maggiore di 10 masse solari

B minore di 8 masse solari

D compreso tra 15 e 30 masse solari

h. Al centro di una supernova può formarsi:

A una stella di dimensioni più piccole

C una stella di neutroni

B una stella simile al sole

D una nana bianca

i. Gli atomi più diffusi nel nostro corpo sono quelli di C, N e O che si sono formati:

A nel nucleo delle stelle più grandi

C nelle stelle di neutroni

B durante le prime fasi del *big bang*

D nelle nane bianche

j. Il Sole è una stella:

A giovane

B di mezza età

C vecchia

D appena nata

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

6 Indica la risposta corretta.

a. La fusione nucleare degli atomi è difficile da realizzare perché:

A i protoni tendono a respingersi tra loro

B i neutroni ostacolano l'unione dei nuclei atomici

C gli elettroni si respingono reciprocamente

D la forza di gravità è troppo elevata

b. Quando si uniscono 4 atomi di H per formarne uno di He la massa :

- A aumenta C rimane uguale
 B diminuisce D si dimezza

c. L'enorme peso di una stella di neutroni è bilanciato da:

- A pressione della contrazione gravitazionale
 B pressione degli elettroni degeneri
 C pressione dei neutroni
 D pressione della nebulosa

d. La nana bianca si trasformerà nel corso del tempo in:

- A stella di neutroni C supernova
 B buco nero D nana nera

e. La forza che trasforma le nebulose in stelle è:

- A la forza di gravità
 B la forza di espansione gravitazionale
 C la forza centrifuga
 D la forza di accelerazione

f. La stella di neutroni può avere un diametro di:

- A alcuni metri
 B alcuni chilometri
 C alcuni anni luce
 D alcune decine di migliaia di chilometri

g. Gli atomi più pesanti del carbonio si sono formati:

- A nel nucleo delle stelle più piccole C nel nucleo delle stelle più grandi
 B nelle stelle di neutroni D nelle nane bianche

h. La fusione nucleare nel sole terminerà quando:

- A sarà stato consumato tutto l'idrogeno del sole
 B si sarà trasformato in elio l'idrogeno del nucleo

C saranno passati 5 milioni di anni

D le temperature avranno raggiunto il valore di 100 000 °C

i. Per formare una stella occorre una temperature minima di:

A 10 mila °C

C 10 miliardi di gradi

B 100 mila °C

D 10 milioni di gradi

j. La stella di neutroni si forma dalla morte di stelle aventi massa:

A maggiore di 8 masse solari

C maggiore di 0,8 masse solari

B minore di 8 masse solari

D compreso tra 25 e 30 masse solari

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

7 Indica la risposta corretta.

a. La pulsar può essere l'espressione di:

A una stella di neutroni

C una stella di grandi dimensioni

B un buco nero

D una nana nera

b. Il primo evento di una stella che ha finito l'H del nucleo è:

A l'esplosione di una supernova

B la contrazione gravitazionale

C la formazione della gigante rossa

D l'espansione legata alla fusione nucleare dell'idrogeno

c. Il buco nero:

A si forma col raffreddamento di una nana bianca

B si forma dalla morte di stelle come il sole

C si forma da di stelle morenti con massa maggiore di 25 masse solari

D non si può prevederne la formazione in basi alle attuali leggi scientifiche

d. Gli atomi più pesanti dell'elio si sono formati:

A con il *big bang*

B con le fusioni nucleari avvenute nelle stelle

- C con l'espansione dell'universo
- D con le fissioni nucleari delle stelle
- e. Per avviare la fusione nucleare dell'elio servono temperature di:
- A 10 milioni di gradi C 200 milioni di gradi
- B 20 milioni di gradi D 100 milioni di gradi
- f. Gli atomi di H ed He si sono formati:
- A all'inizio dell'universo C nelle supernove
- B nel nucleo delle stelle D nelle stelle di neutroni
- g. Le caratteristiche di una nana bianca sono:
- A diametro: 10000 km, densità: 1000 kg/cm³
- B diametro: 1000 km, densità: 100000 kg/cm³
- C diametro: 100000 km, densità: 1 milione di t/cm³
- D diametro: 10 km, densità: 1 miliardo di t/cm³
- h. Una stella con massa 0,8 volte quella del sole:
- A avrà una vita media 0,8 minore del sole
- B vivrà meno del sole
- C avrà più o meno la stessa longevità del sole
- D vivrà di più del sole
- i. Dopo aver attraversato lo stadio evolutivo di gigante rossa, il Sole diventerà:
- A una nana bianca C un buco nero
- B una supernova D una stella di neutroni
- j. Nelle protostelle la velocità degli atomi aumenta perché:
- A la massa degli atomi diminuisce
- B lo spazio a disposizione degli atomi diminuisce
- C gli atomi diventano più leggeri
- D l'universo si espande più velocemente

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

8 Indica la risposta corretta.

a. La forza che trasforma le nebulose in stelle è:

A la forza di gravità

C la forza centrifuga

B la forza di espansione

D la forza di accelerazione

b. Nonostante l'enorme valore della forza di gravità, i gas che formano il Sole non collassano nel nucleo perché:

A i gas non possono in alcun caso addensarsi.

B l'energia termonucleare prodotta nel nucleo tende a far espandere i gas.

C l'attrazione dei pianeti che ruotano intorno al Sole contrasta l'attrazione del Sole stesso.

D si ha la trasformazione dell'idrogeno, più leggero, in elio, più pesante.

c. Gli atomi più pesanti dell'elio si sono formati con:

A il *big bang*

C le fusioni nucleari nelle stelle

B l'espansione dell'universo

D le fissioni nucleari nelle stelle

d. La Terra non è diventata una stella perché:

A era costituita da atomi diversi dal sole

B si è formata prima del sole

C è molto solida al suo interno

D ha una massa troppo piccola

e. Le prime particelle apparse nell'universo sono:

A elettroni

C atomi

C protoni

D neutroni

f. La nebulosa planetaria si origina da:

A scoppio del *big bang*

B gigante rossa

C gas dell'atmosfera che ruota attorno a un pianeta

D buco nero

g. Le prime particelle apparse nell'universo sono stati:

A i buchi neri B i protoni C i quark D i neutroni

h. Le nebulose planetarie sono formate in parte da:

A atomi di idrogeno C nuclei atomici
 B elettroni D atomi diversi da quelli di partenza

i. L'energia sprigionata dal Sole:

A è generata dalle reazioni di fusione termonucleare.
 B è prodotta in superficie.
 C deriva dalla trasformazione dell'idrogeno in elio.
 D si propaga nello spazio sotto forma di calore, luce e altre radiazioni.

j. Di quale colore sono le stelle più calde?

A rosse B azzurre C bianche D gialle

k. Una stella con massa 10 volte quella del sole

A avrà una vita media 10 volte maggiore del sole
 B avrà più o meno la longevità del sole
 C vivrà meno del sole
 D vivrà di più del sole

[3 risposte A, 3 B, 3 C e 2 D]

9 Vero o falso?

- a. Un buco nero è una regione di spazio dell'universo priva di materia. V F
- b. Una gigante azzurra è una stella molto calda e molto luminosa. V F
- c. Una nana bianca è una stella piccola, poco luminosa, al termine del suo ciclo evolutivo. V F
- d. Una stella a neutroni è una giovane stella appena nata. V F
- e. Una stella in formazione viene chiamata supernova. V F

[2 affermazioni vere e 3 false]

3

TERRA E LUNA

La Terra è il terzo pianeta del sistema solare dopo Mercurio e Venere, che orbitano più vicini al Sole. Ha un raggio di circa 6300 km, un centesimo di quello del Sole, e una massa di circa $6 \cdot 10^{24}$ kg. La sua densità media è 5 volte e mezzo quella dell'acqua. La distanza media dal Sole è di circa 150 milioni di chilometri, pari a 8 minuti luce.

3.1 ORIENTARSI SULLA TERRA

Per muoverci in città o nel territorio ci serviamo di punti di riferimento (palazzi, vie, piazze), che ci permettono di *orientarci* e di verificare dove ci troviamo. Per orientarci nei boschi, nel mare o nell'aria, servono altri punti di riferimento.

3.1.1 Localizzare un punto sulla Terra

Per localizzare con precisione un punto sulla superficie terrestre dobbiamo fissare un sistema di riferimento che lo individui univocamente. La superficie terrestre fornisce due punti "naturali" da cui partire per costruire il nostro riferimento: il *polo nord* e il *polo sud* geografici.

Definizione 10. I *poli* geografici sono le intersezioni della superficie della Terra con il suo asse di rotazione. Il *polo nord* è il polo intorno a cui la Terra ruota in senso antiorario; il *polo sud* è l'altro polo.

Si chiama *punto cardinale* ciascuna delle quattro direzioni principali verso cui ci si può muovere trovandosi sulla superficie terrestre: i punti cardinali sono il *nord* (o settentrione), il *sud* (o meridione), l'*est* (o oriente) e l'*ovest* (o occidente). Individuato il nord, basta guardarlo e aprire le braccia: l'est si troverà a destra, l'ovest a sinistra e il sud dietro la schiena. Se si conosce un punto cardinale, si possono sempre ricavare gli altri tre.

Meridiani

Immaginiamo di tagliare il globo terrestre con un piano che passa per il suo asse di rotazione. L'intersezione tra questo piano e la superficie terrestre è un linea

chiusa che, con ottima approssimazione, è una circonferenza. I *meridiani* sono le semicirconferenze comprese tra un polo e l'altro (figura 33a).

Definizione 11. Un *meridiano* è la semicirconferenza, compresa tra un polo e l'altro, ottenuta intersecando la Terra con un piano che passa per il suo asse di rotazione.

A ogni meridiano ne corrisponde un altro opposto, chiamato *antimeridiano*, che completa la circonferenza. Tutti i meridiani hanno uguale lunghezza: misurano circa 40 000 km.

I piani, contenenti l'asse terrestre, con cui possiamo tagliare la Terra sono infiniti. Tuttavia, si usa prenderne in considerazione solo 180, alla distanza angolare di un grado l'uno dall'altro. I meridiani considerati sono quindi 360. Per convenzione si è scelto un meridiano di riferimento da cui cominciare i conteggi: è quello che passa per l'osservatorio astronomico di Greenwich, a Londra.

Paralleli

Immaginiamo ora di tagliare la Terra con un piano perpendicolare al suo asse di rotazione. L'intersezione di questo piano con la superficie terrestre è ancora una circonferenza: un *parallelo* (figura 33b).

Definizione 12. Un *parallelo* è la circonferenza ottenuta intersecando la Terra con un piano perpendicolare al suo asse di rotazione.

Tutti i piani perpendicolari all'asse terrestre individuano dei paralleli; a seconda della distanza del piano di intersezione dal centro della Terra, la circonferenza individuata sarà più o meno grande. Quando il piano di intersezione passa esattamente per il centro della Terra, sulla superficie terrestre si ottiene la circonferenza più lunga, l'*equatore*.

Definizione 13. L'*equatore* è la circonferenza ottenuta intersecando la Terra con un piano perpendicolare all'asse di rotazione e passante per centro il della Terra.

L'equatore divide la Terra in due emisferi: l'*emisfero settentrionale* (o boreale), dalla parte del polo nord, e l'*emisfero meridionale* (o australe), dalla parte del polo sud.

Come i meridiani, anche i paralleli sono infiniti, ma anche nel loro caso se ne prendono in considerazione solo 180, distanti un grado l'uno dall'altro. Perciò i paralleli sono 90 a nord dell'equatore e 90 a sud.

Oltre all'equatore, quattro importanti paralleli sono il *tropico del Cancro*, che si trova 23° 27' a nord dell'equatore, il *tropico del Capricorno*, situato 23° 27' a sud

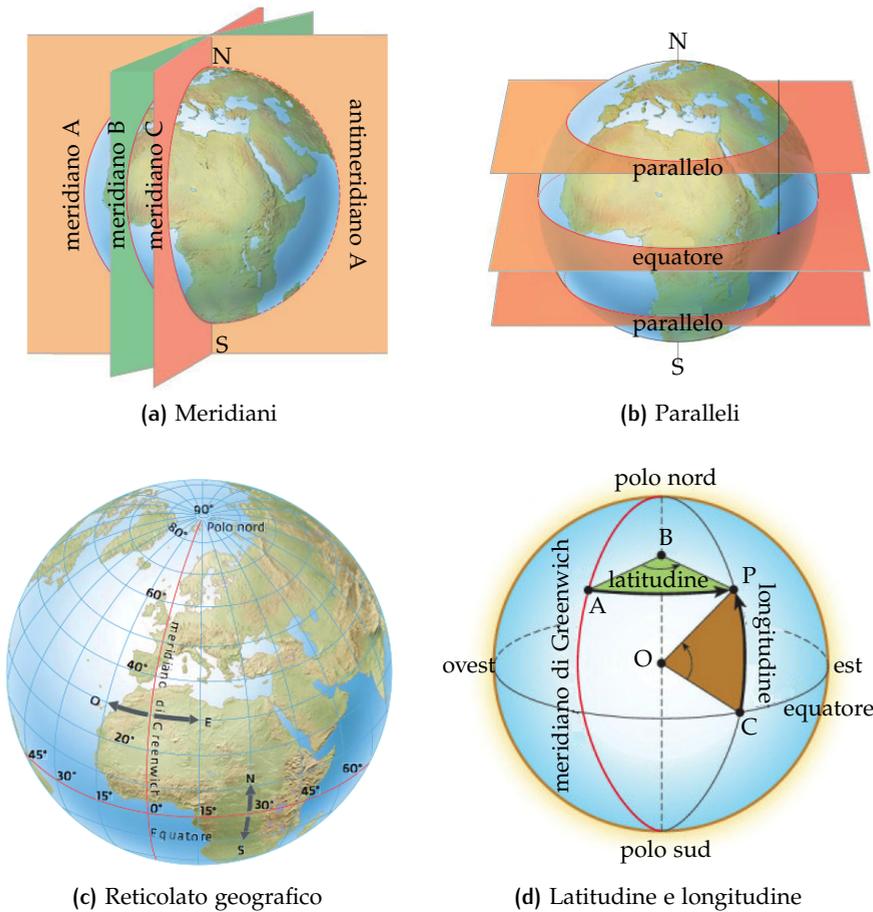


Figura 33: Individuare un punto sulla Terra

dell'equatore, il *cerchio polare artico* ($66^\circ 33'$ a nord dell'equatore) e il *cerchio polare antartico* ($66^\circ 33'$ a sud dell'equatore): li vedremo in seguito.

Coordinate geografiche

I paralleli e i meridiani compongono sulla superficie terrestre una griglia, chiamata *reticolato geografico* (figura 33c). Su questa griglia si può localizzare qualsiasi punto, grazie a opportune *coordinate geografiche*: la *longitudine* e la *latitudine* (figura 33d).

Definizione 14. La *longitudine* di un punto P è l'angolo compreso tra il piano che contiene il meridiano passante per P e il piano che contiene il meridiano

di riferimento. La misura di questo angolo viene fatta sull'arco di parallelo che passa per P .

La longitudine, che come tutti gli angoli si misura in gradi e frazioni di grado, può essere est (E) se il punto si trova a oriente del meridiano di riferimento, oppure ovest (O) se la località si trova a ovest di Greenwich. Per esempio, la longitudine di Cesena è $12^{\circ} 14' 35''$ E, che si legge: «12 gradi, 14 primi, 35 secondi est».

Definizione 15. La *latitudine* di un punto P è l'angolo (al centro della Terra) corrispondente all'arco di meridiano che congiunge P con l'equatore.

Anche la latitudine si misura quindi in gradi e frazioni di grado. La latitudine può essere nord (N) o sud (S), a seconda che il punto si trovi nell'emisfero boreale o in quello australe. Per esempio, la latitudine di Cesena è $44^{\circ} 08' 20''$ N, che si legge: «44 gradi, 8 primi, 20 secondi nord».

3.1.2 Individuare i punti cardinali

I punti cardinali si possono individuare per mezzo del Sole, delle stelle, oppure usando una bussola o il GPS.

Orientarsi con il Sole

Il termine *orientarsi* significa “rivolgersi verso oriente”, cioè verso est: il punto cardinale da cui sorge il Sole. Durante il giorno, infatti, il Sole sembra ruotare attorno alla Terra da est verso ovest (in realtà è la Terra che ruota nel senso contrario): se ci mettiamo a braccia aperte, con la mano sinistra verso est, avremo l'ovest a destra (dove tramonta il Sole), il sud di fronte e il nord alle spalle (figura 34a). Questo metodo di orientamento è però approssimativo, perché il Sole sorge esattamente a est (e tramonta esattamente a ovest) solo nei giorni degli *equinozi* (21 marzo e 23 settembre). Negli altri giorni dell'anno il Sole sorge un po' spostato rispetto all'est.

Orientarsi con le stelle

Di notte possiamo orientarci con la stella polare, una stella pressoché allineata con l'asse di rotazione terrestre, che indica sempre la direzione nord. Ciò significa che per orientarsi verso nord basta abbassare lo sguardo, verticalmente, dalla stella polare fino a incontrare l'orizzonte (figura 34b).

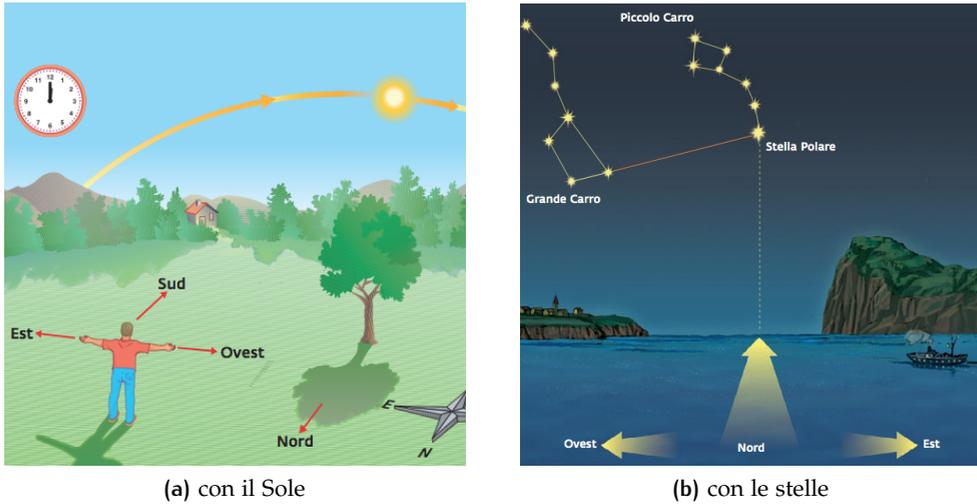


Figura 34: Orientarsi

Orientarsi con una bussola

Lo strumento che ci permette di orientarci anche quando non si può fare riferimento al Sole o alle altre stelle è la *bussola*. Essa è costituita da un ago magnetizzato, libero di ruotare all'interno di un piccolo contenitore, che si dispone sempre in modo che la sua estremità annerita (o colorata) indichi il nord.

Come mai l'ago della bussola si posiziona in questo modo? Il nostro pianeta ha un campo magnetico: l'ago risente del campo magnetico della Terra, che si comporta come una gigantesca calamita che costringe l'ago magnetico della bussola a posizionarsi secondo la direzione nord-sud magnetica. La ragione per cui la bussola permette di orientarsi è che il nord magnetico corrisponde circa a quello geografico.

Orientarsi con il GPS

Oggi, per conoscere rapidamente e con precisione la posizione di un qualsiasi punto, si usa il GPS (*Global Positioning System*, "sistema di posizionamento globale"), progettato inizialmente per scopi militari.

Il sistema sfrutta segnali radio emessi da alcune decine di satelliti in orbita intorno al globo e captati da ricevitori a terra. I sistemi di navigazione presenti nelle automobili o negli *smartphone* impiegano questa tecnologia: i satelliti individuano la posizione esatta dell'oggetto e, in combinazione con un particolare software installato nel navigatore, permettono di giungere alla destinazione desiderata.

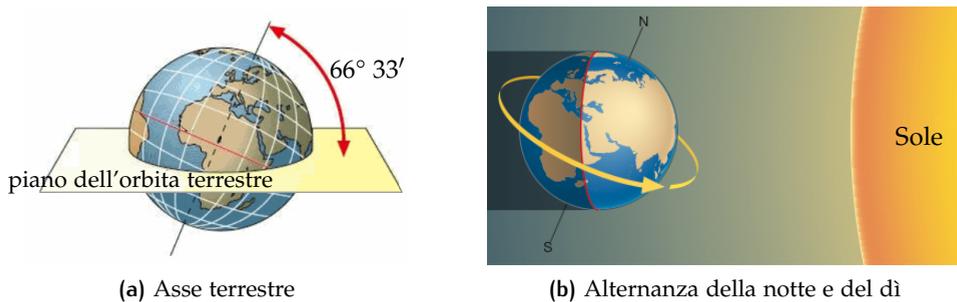


Figura 35: Rotazione terrestre

3.2 MOTI DELLA TERRA

La Terra compie diversi movimenti, che fanno variare la sua posizione nello spazio rispetto agli altri corpi celesti.

3.2.1 Rotazione

Uno dei movimenti principali è il moto di rotazione: il nostro pianeta gira su se stesso; più precisamente, ruota attorno a un asse, , chiamato *asse terrestre*, passante per i poli e inclinato di $66^\circ 33'$ rispetto al piano dell'orbita terrestre (figura 35a). La rotazione avviene da ovest a est, cioè in senso inverso al movimento che il Sole sembra compiere nel cielo dall'alba al tramonto.

Prove della rotazione terrestre

Le prime prove *dirette* della rotazione terrestre risalgono alla fine del Settecento.

ESPERIMENTO DI GUGLIELMINI Il fisico italiano Giovanni Battista Guglielmini fornì nel 1791 la prima prova diretta della rotazione della Terra. Egli fece cadere una palla di piombo dalla Torre degli Asinelli di Bologna, alta circa cento metri. Guglielmini osservò che il punto di caduta della palla era spostato di 16 millimetri verso est rispetto alla verticale (figura 36a). Questo fatto si spiega solo ammettendo che la Terra ruoti da ovest verso est: un punto che si trova in alto, come la cima della torre, si muove più velocemente dei punti che stanno al suolo, per cui la palla di piombo che si trova sulla cima, quando inizia la sua caduta ha una velocità di rotazione maggiore rispetto al punto dove la verticale incontra il suolo.

PENDOLO DI FOUCAULT Una conferma della rotazione terrestre si deve all'esperimento compiuto nel 1851 dal fisico francese Léon Foucault. Foucault attaccò alla cupola del Pantheon di Parigi un lungo filo d'acciaio, a cui era appesa una palla

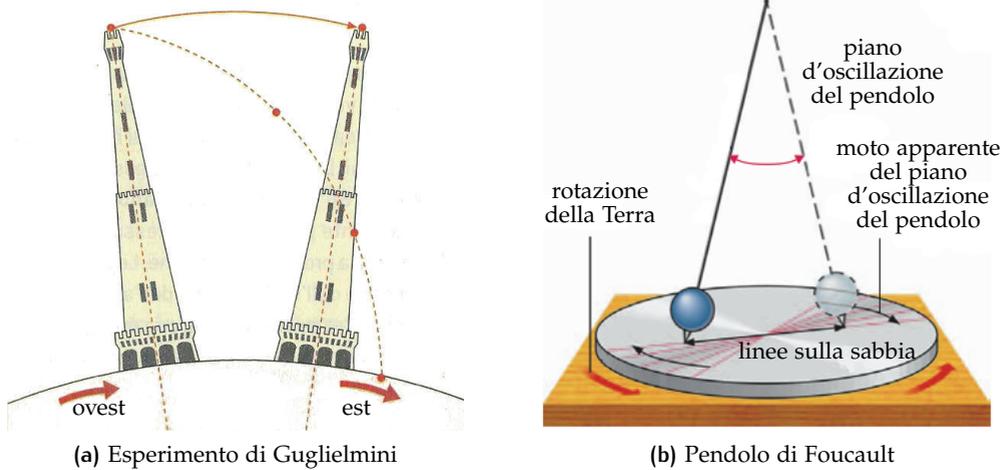


Figura 36: Prove dirette della rotazione terrestre

di cannone terminante con una punta. Sotto il pendolo era steso un sottile strato di sabbia che poteva essere lambito dalla punta. Quindi il pendolo fu fatto oscillare (figura 36b). Le tracce lasciate dalla punta del pendolo sulla sabbia, durante le oscillazioni, mostrarono uno spostamento del piano di oscillazione del pendolo (di circa 11° ogni ora). Poiché le leggi della fisica dicono che il piano di oscillazione di un pendolo resta fisso nello spazio, si doveva ammettere che era il piano sottostante il pendolo, cioè la superficie terrestre, a ruotare.

Conseguenze della rotazione terrestre

La rotazione terrestre ha diverse conseguenze importanti.

- In ogni luogo della Terra si alternano un periodo di illuminazione, il *di*, e un periodo di oscurità, la *notte*. L'insieme del *di* e della *notte* costituisce il *giorno*, cioè il tempo dell'intera rotazione (figura 35b).
- Il passaggio dal *di* alla *notte* è graduale per la presenza dell'*atmosfera*, l'involucro di gas che circonda la Terra. All'alba gli strati più alti dell'*atmosfera* sono attraversati dai raggi solari un po' prima del sorgere del Sole, e lo stesso accade un po' dopo il tramonto.
- La Terra è schiacciata ai poli. Questa caratteristica della forma della Terra è dovuta alla diversa azione, ai poli e all'equatore, della forza centrifuga dovuta alla rotazione ed operante da miliardi di anni.

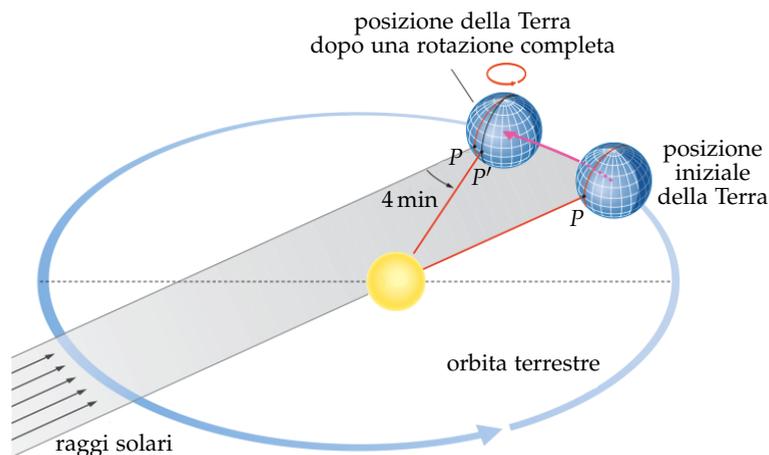


Figura 37: Giorno sidereo e giorno solare (il disegno non è in scala)

Giorno sidereo e giorno solare

Per compiere una rotazione completa intorno al proprio asse, rispetto alle stelle della sfera celeste, la Terra impiega circa 23 ore e 56 minuti: questo valore è chiamato *giorno sidereo* (cioè “relativo alle stelle”).

Definizione 16. Il *giorno sidereo* è il tempo impiegato dalla Terra per compiere una rotazione completa intorno al proprio asse, rispetto alle stelle della sfera celeste.

Il tempo impiegato dal Sole a ritornare quotidianamente alla stessa altezza nel cielo dà la misura del *giorno solare*.

Definizione 17. Il *giorno solare* è il tempo che intercorre tra due culminazioni consecutive del Sole su di un determinato meridiano.

Il giorno solare (medio) è lungo 24 ore: è leggermente più lungo di un giorno sidereo perché la Terra, mentre gira su se stessa, orbita attorno al Sole nello stesso senso della rotazione (figura 37). Durante un periodo di rotazione, la Terra si muove lungo l'orbita di un angolo di circa 1° : la Terra deve ruotare dello stesso angolo perché il Sole ritorni nella stessa posizione. Per ruotare di 1° la Terra impiega circa 4 minuti: ecco perché il giorno solare dura circa 4 minuti in più.

Forma della Terra

In prima approssimazione, il nostro pianeta è sferico. In realtà, a causa del moto di rotazione su se stessa, la forza centrifuga (maggiore all'equatore e decrescente

verso i poli, dove si azzera) le conferisce un piccolo schiacciamento in corrispondenza dei poli. L'effetto è analogo a quello che sfrutta un pizzaiolo per allargare la pasta della pizza facendola ruotare su se stessa.

La Terra è dunque un corpo irregolare, detto *geoide*, un solido che tiene conto, fra l'altro, delle irregolarità prodotte dalla presenza di ammassi montuosi. Ci si potrebbe aspettare che la figura che emerge sia piuttosto bitorzoluta. In realtà l'entità delle deformazioni rispetto alla dimensione della Terra nel suo complesso è così piccola che il risultato finale ha l'aspetto di una superficie appena increspata, più liscia della buccia di un'arancia.

Fusi orari

La Terra ruota su se stessa esponendo al Sole, nelle diverse ore del giorno, zone diverse della propria superficie. In un dato momento il Sole culmina su un solo meridiano ed è mezzogiorno su tutti i punti che hanno la longitudine corrispondente a quel meridiano. In quello stesso momento, il mezzogiorno deve ancora venire per le località situate a ovest di quel meridiano, mentre è già passato per le località situate a est.

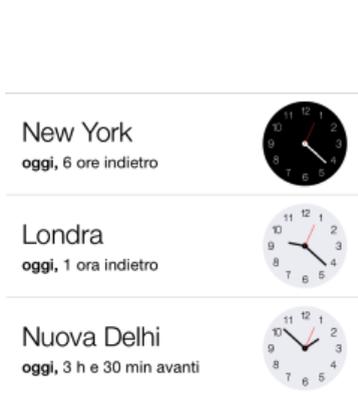


Figura 38: Fusi orari

Immaginiamo per esempio che a Roma sia esattamente mezzogiorno. Per le località che si trovano a ovest di Roma (come New York, per esempio), il mezzogiorno deve ancora arrivare. Invece, per le località che si trovano a est di Roma (come Sydney), il mezzogiorno è già passato. La Terra compie un giro completo (360°) su se stessa in 24 ore. Essa quindi descrive ogni ora un angolo di 15° ($360^\circ : 24 = 15^\circ$). Dato che New York si trova a circa 90° di longitudine più a ovest di Roma, la differenza d'orario tra le due città è di circa sei ore ($90 : 15 = 6$). Ciò significa che, quando a Roma sono le 12, a New York sono le 6 del mattino. Invece, a Sydney, che si trova a circa 150° di longitudine più a est di Roma, la differenza di orario rispetto a Roma è di dieci ore e sono le dieci di sera.

Per facilitare le comunicazioni tra le nazioni e uniformare gli orari all'interno di ciascuna di esse, si è deciso di dividere la Terra in 24 spicchi, o *fusi*, tanti quante sono le ore. Ogni fuso è delimitato da due meridiani che distano tra loro 15° di longitudine e ha un meridiano centrale, equidistante dai due meridiani che lo delimitano.

I fusi sono numerati verso est a partire da quello che ha come meridiano centrale il meridiano di Greenwich (il fuso 0). Noi, come Parigi, Madrid e Berlino, che ci troviamo nel fuso successivo a quello di Greenwich, siamo nel fuso +1. I fusi

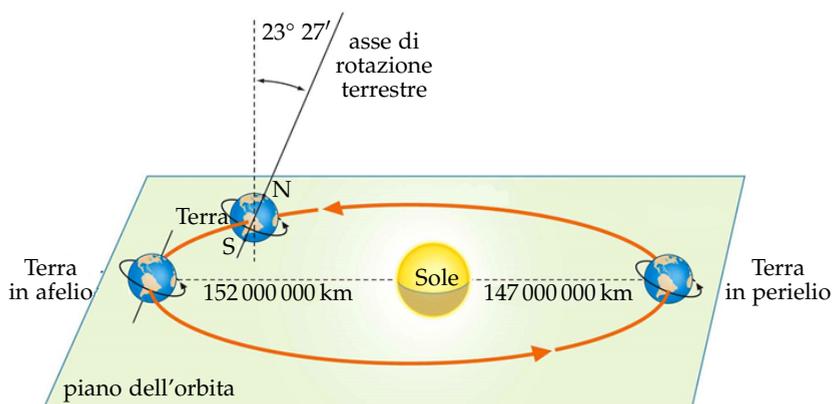


Figura 39: Rivoluzione terrestre

generalmente seguono i confini nazionali, in modo che tutto il Paese abbia un orario unificato.

In Italia, come in molti altri Paesi, è stata inoltre introdotta l'*ora legale*. Durante i mesi più luminosi (dall'ultima domenica di marzo all'ultima domenica di ottobre) si fanno avanzare le lancette degli orologi di un'ora, in modo da guadagnare un'ora di luce e ridurre i consumi energetici.

3.2.2 Rivoluzione attorno al Sole

Tutti i pianeti ruotano attorno al Sole, secondo le leggi di Keplero. La Terra si muove lungo un'orbita che ha la forma di un'ellisse (quasi circolare), di cui il Sole occupa uno dei fuochi. Perciò la distanza tra la Terra e il Sole varia nel corso dell'anno. Il *perielio* è il punto dell'orbita più vicino al Sole, mentre l'*afelio* è il punto più lontano dal Sole. La distanza media Terra-Sole è di circa 150 milioni di chilometri. Se si immagina di guardare dal *polo nord celeste* (la proiezione del polo nord terrestre sulla sfera celeste) il piano che contiene l'orbita terrestre, il moto di rivoluzione avviene in senso antiorario (figura 39). s

Anno sidereo e anno solare

Anche per il moto di rivoluzione della Terra intorno al Sole, e quindi per l'anno, occorre distinguere tra *anno sidereo* e *anno solare*, che hanno durata leggermente diversa.

Definizione 18. L'*anno sidereo* è il tempo impiegato dalla Terra per compiere una rivoluzione completa attorno al Sole, rispetto alle stelle della sfera celeste.

L'anno sidereo vale circa 365 giorni e 6 ore (per la precisione: 365 giorni, 6 ore, 9 minuti e 6 secondi).

Definizione 19. *L'anno solare* è il tempo impiegato dal Sole per tornare nella stessa posizione vista dalla Terra.

Per il moto di *precessione* dell'asse terrestre (paragrafo 3.2.3), l'anno sidereo è circa 20 minuti più lungo dell'anno solare, su cui si basa invece il ciclo stagionale. Per la precisione, l'anno solare vale 365 giorni, 5 ore, 48 minuti e 46 secondi).

Calendario

Generalmente, quando si parla di *anno* si fa riferimento all'anno solare; ma, dato che la sua durata non corrisponde a un numero intero di giorni, si è resa necessaria l'introduzione dell'*anno civile*, di 365 giorni esatti, su cui si basano i calendari.

Nel mondo occidentale, il calendario più importante dell'antichità fu quello introdotto da Giulio Cesare, il *calendario giuliano*: ogni anno era costituito da 365 giorni, ma ogni quattro anni era inserito un *anno bisestile* con un giorno in più (il 29 febbraio), che recuperava le ore di scarto rispetto all'anno solare.

Il giorno in più, però, non pareggiava esattamente i conti, e nel 1582 Papa Gregorio XIII modificò il calendario giuliano, introducendo il *calendario gregoriano*, tuttora oggi in vigore: gli anni bisestili sono quelli divisibili per 4, eccetto gli *anni secolari* (quelli che terminano con 00), che sono bisestili solo se divisibili per 400. Il 2014 e il 2016 sono stati bisestili; il 2020 e il 2024 saranno bisestili. Il 1600 è stato bisestile, il 1700, il 1800 e il 1900 no; il 2000 è stato bisestile; il 2100 non sarà bisestile. Eccetera.

Anche con queste compensazioni il calendario rimane approssimato e accumuliamo qualche piccolo ritardo o anticipo, che viene corretto togliendo o aggiungendo un secondo ogni tanto (l'ultima volta è accaduto nel 2015).

Diversa durata del dì e della notte

Una conseguenza importante del moto di rivoluzione e dell'inclinazione costante dell'asse terrestre sul piano dell'orbita è la diversa durata del dì e della notte nel corso dell'anno e nei vari luoghi della Terra.

2013							Q	+
L	M	M	G	V	S	D		
							GIU	
							1	2
3	4	5	6	7	8	9		
10	11	12	13	14	15	16		
17	18	19	20	21	22	23		
24	25	26	27	28	29	30		

Figura 40: Un calendario

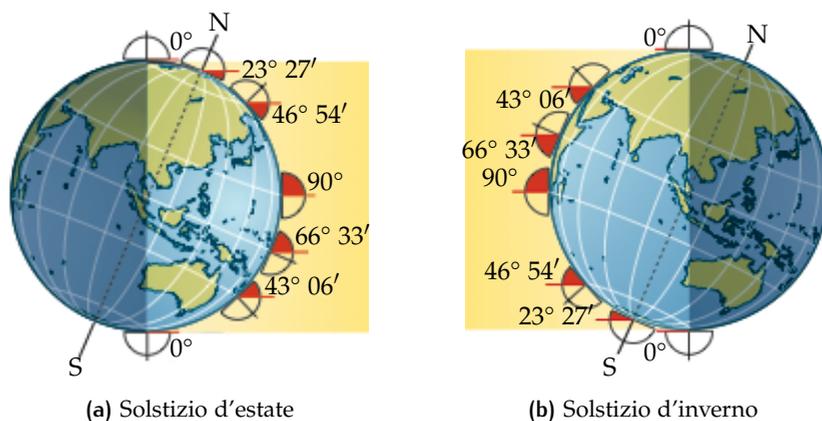


Figura 41: Solstizi

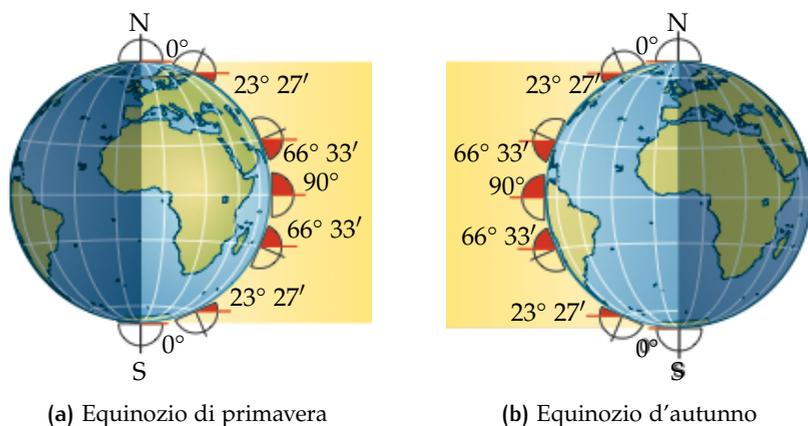


Figura 42: Equinozi

Le durate variabili del dì e della notte dipendono dall'inclinazione dell'asse terrestre sul piano dell'orbita e dal fatto che l'asse si mantiene sempre parallelo a sé stesso mentre la Terra compie il suo moto di rivoluzione attorno al Sole.

La durata massima del dì nell'emisfero boreale si ha il 21 giugno, giorno del *solstizio d'estate*, mentre la durata minima del dì si verifica il 22 dicembre, giorno del *solstizio d'inverno* (figura 41). Ci sono però due giorni dell'anno durante i quali il dì e la notte hanno la stessa durata, per tutta la superficie terrestre; si tratta del 21 marzo, giorno dell'*equinozio di primavera*, e del 23 settembre, giorno dell'*equinozio d'autunno* (figura 42).

- Quando la Terra si trova nel punto dell'orbita che corrisponde al *solstizio d'estate*, il polo nord è rivolto verso il Sole (figura 41a). Il Sole è allo *zenit* sul tropico del Cancro: i suoi raggi formano un angolo di 90° con il piano

dell'orizzonte. L'illuminazione e il riscaldamento sono maggiori nei luoghi che si trovano nell'emisfero nord, dove il dì è più lungo della notte. Nei luoghi posti a sud dell'equatore la notte dura più del dì. Nella *calotta artica* (la regione a nord del circolo polare artico) il dì dura 24 ore. Al contrario, nella *calotta antartica* (la regione a sud del circolo polare antartico) è sempre notte.

- All'*equinozio di primavera* l'illuminazione della Terra da parte del Sole è la stessa dell'*equinozio d'autunno*. In entrambi i casi i raggi solari sono allo zenit sull'equatore e tangenti ai poli (figure 42a-42b). Per la forma sferica della Terra i raggi solari giungono sempre più inclinati all'aumentare della latitudine.
- Al *solstizio d'inverno* è il polo sud a essere rivolto verso il Sole (figura 41b). Il Sole è allo zenit sul tropico del Capricorno. L'illuminazione e il riscaldamento sono maggiori nell'emisfero sud, mentre nel nostro emisfero la notte è più lunga del dì. Il dì dura 24 ore nelle regioni antartiche, mentre è sempre notte in quelle artiche.
- All'equatore, la durata del dì e della notte è sempre esattamente uguale, alle altre latitudini ciò avviene solo agli equinozi.

Alternanza delle stagioni

La Terra si trova al perielio (il punto più vicino al Sole) ai primi di gennaio; è all'afelio (il punto più lontano dal Sole) ai primi di luglio. Ma a gennaio non è più freddo che a luglio? Da noi sì, ma nell'emisfero sud è più caldo. In ogni

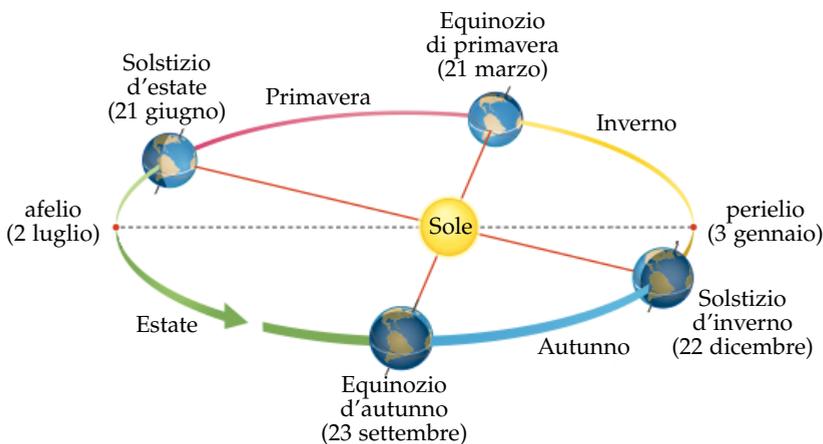


Figura 43: Alternanza delle stagioni (le stagioni sono quelle dell'emisfero nord; quelle dell'emisfero sud sono invertite)

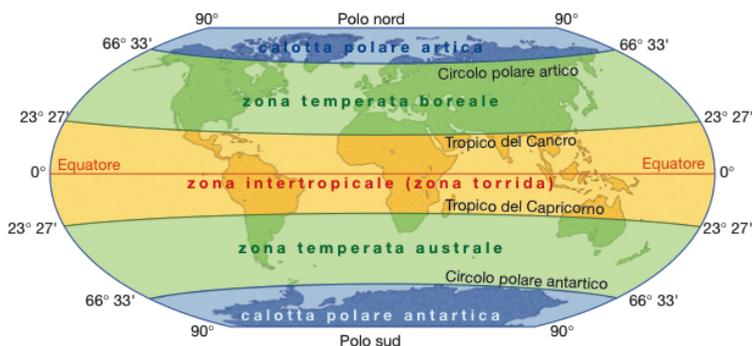


Figura 44: Zone astronomiche

caso, l'alternarsi delle stagioni *non* dipende dalla distanza dal Sole, bensì dall'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre rispetto al piano dell'orbita (23° e mezzo circa). Questa inclinazione fa sì che nel corso dell'anno ci sia un periodo nel quale la Terra mostra verso il Sole maggiormente l'emisfero nord (dove è estate) e un altro periodo nel quale è più esposto l'emisfero sud (quando nell'emisfero nord è inverno).

Questo avvicinarsi durante l'anno di periodi più caldi, periodi intermedi e periodi più freddi viene indicato come *alternanza delle stagioni*. Le stagioni sono invertite nei due emisferi (figura 43).

I due tropici e i due circoli polari dividono la superficie terrestre in cinque fasce, chiamate *zone astronomiche* (figura 44), caratterizzate da condizioni diverse di illuminazione e di riscaldamento durante l'anno. Procedendo da nord a sud, le zone astronomiche sono la *calotta polare artica*, la *zona temperata boreale*, la *zona intertropicale* (o *zona torrida*), la *zona temperata australe* e la *calotta polare antartica*.

3.2.3 Moti millenari della Terra

I *moti millenari* sono movimenti che la Terra compie in tempi lunghi migliaia di anni, e che producono mutamenti interessanti dal punto di vista geologico (le glaciazioni, per esempio) ma sono ininfluenti nel corso di una vita umana. Tali moti si verificano a causa dell'azione gravitazionale che gli altri corpi esercitano sul nostro pianeta, provocando variazioni nella posizione della Terra nello spazio. I principali moti millenari della Terra sono la *precessione dell'asse terrestre*, la *variazione dell'eccentricità dell'orbita* e la *variazione dell'inclinazione dell'asse terrestre*.

Precessione dell'asse terrestre

Nel lungo periodo l'orientamento dell'asse di rotazione terrestre cambia, descrivendo un doppio cono (figura 45a). Il moto, detto *precessione*, è simile a quella di una trottola ed è causato dall'attrazione gravitazionale della Luna e del Sole sul

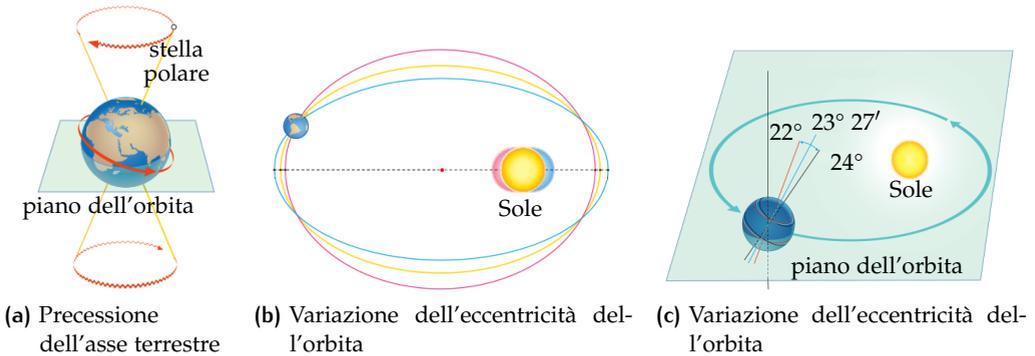


Figura 45: Moti millenari della Terra

rigonfiamento equatoriale. La precessione è di quasi un primo di grado all'anno in senso orario; un giro completo attorno alla verticale si compie in circa 26 000 anni.

SPOSTAMENTO DEI POLI CELESTI La precessione dell'asse terrestre comporta che esso punti nel tempo in direzioni diverse. Oggi il polo nord celeste si trova a meno di un grado dalla stella polare; nel 3000 a.C., l'asse terrestre puntava su Thuban nella costellazione del Dragone; tra circa 12 000 anni, invece, toccherà alla brillantissima Vega assumere il ruolo di stella polare.

SPOSTAMENTO DEGLI EQUINOZI Poiché insieme all'inclinazione dell'asse polare cambia anche quella del piano equatoriale, gli equinozi si spostano lentamente in senso orario lungo l'eclittica (l'orbita apparente che il Sole descrive attorno alla Terra), anticipando di 20 minuti ogni anno solare rispetto all'anno siderale. Partendo per esempio da un equinozio (figura 46), nella posizione T dalla Terra si vede il Sole nella Costellazione della Vergine, esattamente allineato con il punto ω (detto punto equinoziale d'autunno). Dopo un'intera rivoluzione (ossia dopo un anno siderale) la Terra torna in T e vede di nuovo il Sole nella stessa posizione tra le stelle. Ma il nuovo allineamento con il punto ω (ω' nel disegno) si è realizzato un po' prima, quando la Terra si trovava in T' poiché intanto la linea degli equinozi si è spostata (sia pure di un angolo piccolissimo). Il tempo trascorso per passare da T a T' è l'anno solare. È proprio da questo fatto che il fenomeno si dice *precessione degli equinozi*: il termine *precessione* deriva dal latino e significa "precedere", appunto perché gli equinozi ogni anno si presentano con un leggero anticipo rispetto all'anno precedente.

SPOSTAMENTO DELLE COSTELLAZIONI ZODIACALI ASTROLOGICHE L'astrologia occidentale associa ai mesi dell'anno dodici "segni astrologici". La precessione degli equinozi, però, ha fatto sì che i segni zodiacali, un tempo coincidenti con le zone di cielo occupate dalle rispettive costellazioni, siano oggi in realtà spostati di una trentina di gradi, per cui quando una tavola astrologica indica che, per esem-

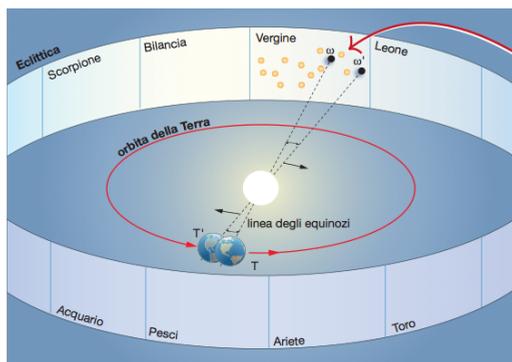


Figura 46: Precessione degli equinozi

pio, si “entra” nel segno dell’Ariete, il Sole si trova in realtà nella costellazione dei Pesci: chi è nato sotto il “segno” dell’Ariete dovrebbe essere semmai “influenzato” dai Pesci, con buona pace dei creduloni degli oroscopi. Fra circa 2000 anni il ritardo sarà di due mesi, e così via.

Variatione dell’eccentricità dell’orbita

Un altro moto millenario della Terra consiste nella variazione dell’eccentricità della sua orbita attorno al Sole. In parole povere, l’orbita ellittica del nostro pianeta subisce delle variazioni nel suo “schacciamento”, come se diventasse ora più allungata, ora meno. Un modo semplice per valutare l’eccentricità dell’orbita terrestre è quello di considerare la differenza tra le distanze del Sole dalla Terra all’afelio e al perielio (figura 45b). In un periodo di 92 000 anni questa differenza varia da 1 milione di chilometri fino a 16 milioni di chilometri (attualmente essa vale circa 5 milioni di chilometri).

Variatione dell’inclinazione dell’asse terrestre

La forza di attrazione gravitazionale del Sole e della Luna sulla Terra dipende dalle distanze fra questi corpi. Poiché tali distanze variano continuamente, l’asse terrestre oscilla (figura 45c). Attualmente l’angolo tra l’asse terrestre e la perpendicolare al piano dell’orbita è di $23^{\circ} 27'$. In un arco di tempo di 40 000 anni, però, questo angolo varia da 22° a 24° circa. Dall’inclinazione dell’asse terrestre dipende l’insolazione di ogni località della Terra; e dall’insolazione dipende, a sua volta, il clima. Quanto più aumenta l’inclinazione dell’asse rispetto alla perpendicolare al piano dell’orbita, tanto più marcato diviene il contrasto tra le stagioni.

3.3 LUNA

Il nostro pianeta ha un satellite naturale: la Luna, più piccola della Terra e con caratteristiche ambientali che la rendono inadatta alla vita.

3.3.1 Caratteristiche della Luna



Figura 47: La Luna

La Luna è un corpo quasi sferico. Ha un raggio medio di circa 1700 km, poco più di un quarto di quello terrestre. Nonostante sembri un corpo molto luminoso, la Luna non brilla di luce propria ma riflette quella che proviene dal Sole.

Sulla Luna non ci sono né atmosfera né acqua. La gravità è appena un sesto di quella terrestre e non basta per trattenere i gas. Anche l'acqua andrebbe incontro allo stesso destino: trasformata in vapore dal calore del Sole, si disperderebbe nello spazio.

Per l'assenza di atmosfera, sulla Luna non ci sono i crepuscoli e il passaggio dall'illuminazione all'oscurità è molto rapido. Inoltre, la temperatura del terreno presenta una grande escursione (si raggiungono i 110 °C durante i periodi di illuminazione e i -150 °C durante la notte). Anche in questo caso il motivo è la mancanza dell'atmosfera, che sulla

Terra contribuisce a trattenere il calore solare.

Sulla superficie lunare si osservano i "mari", le terre alte, i crateri e le montagne.

- I "mari" si estendono per aree molto ampie. Il termine *mare* è stato scelto per il colore scuro che contraddistingue queste regioni; si tratta in verità di pianure originatesi da antiche eruzioni di materiale incandescente seguite all'impatto con asteroidi particolarmente massicci.
- Le terre alte sono vaste regioni chiare, composte di rocce anch'esse di origine vulcanica, ma di natura diversa.
- I crateri sono presenti su tutta la superficie. Per la maggior parte sono stati creati dalla caduta di meteoriti.
- L'alto potere riflettente delle montagne lunari è dovuto alla presenza di *regolite*, una polvere formata dall'impatto di innumerevoli micrometeoriti nel corso di centinaia di milioni di anni di storia lunare.

3.3.2 Moti di rotazione, rivoluzione e traslazione

La Luna è dotata di vari movimenti, che si verificano simultaneamente:

- il moto di rotazione attorno al proprio asse;
- il moto di rivoluzione attorno alla Terra;
- il moto di traslazione, insieme alla Terra, attorno al Sole.

Per compiere una rotazione completa rispetto alle stelle della volta celeste, la Luna impiega circa 27 giorni e 8 ore. Il moto di rivoluzione, che avviene in un arco di tempo detto *mese sidereo*, ha la stessa durata di quello di rotazione. Per questa ragione la Luna rivolge verso la Terra sempre la stessa “faccia” (figura 48).

Mentre si muove attorno alla Terra, la Luna si sposta anche attorno al Sole insieme al nostro pianeta, con un moto di traslazione che avviene con la stessa velocità angolare con cui la Terra compie il suo moto di rivoluzione. Il periodo necessario perché si ripeta lo stesso allineamento fra Terra, Luna e Sole è di circa 29 giorni e mezzo. Questo lasso di tempo viene chiamato *mese sinodico*.

La diversa durata del mese sidereo e di quello sinodico è dovuta al fatto che, quando la Luna ha terminato di compiere un’effettiva rivoluzione attorno alla Terra, quest’ultima non si trova più nello stesso punto, ma si è spostata lungo la sua orbita attorno al Sole. Di conseguenza, per ripresentarsi nella stessa posizione di partenza rispetto all’allineamento Terra-Sole, la Luna deve procedere per un tratto supplementare della propria orbita.

La Luna compie un moto di rivoluzione su un’orbita ellittica di cui la Terra occupa uno dei due fuochi (anche la Luna segue le leggi di Keplero). Nel corso della rivoluzione, quindi, la Luna non si trova sempre alla stessa distanza da noi. Il *perigeo* (il punto più vicino alla Terra) si trova a 356 000 km; l’*apogeo* (il punto più lontano) si trova a 407 000 km. La distanza media tra la Terra e la Luna è di circa 384 000 km.

Il piano dell’orbita lunare attorno alla Terra e quello dell’orbita terrestre attorno al Sole sono inclinati tra loro di circa 5°. Essi si intersecano lungo la *linea dei nodi*. Sole, Terra e Luna possono essere perfettamente allineati soltanto lungo questa linea (figura 49).

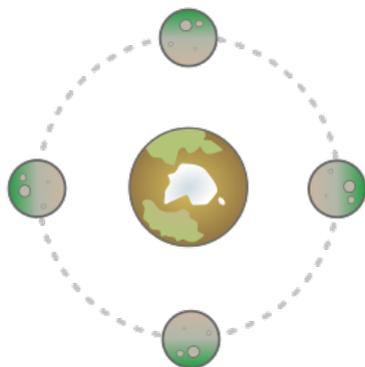


Figura 48: La Luna rivolge verso la Terra sempre la stessa “faccia”.

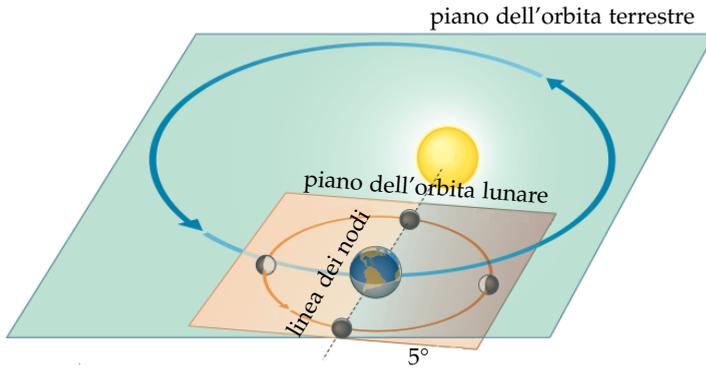


Figura 49: Moti della Luna

3.3.3 Conseguenze dei moti lunari

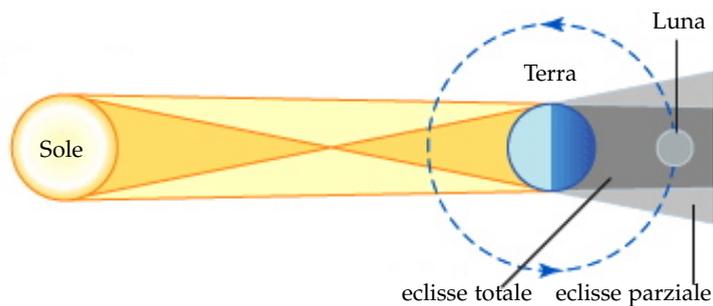
Il complesso movimento che la Luna compie nello spazio causa diversi fenomeni che ci sono più o meno familiari, come le *fasi lunari* e le *eclissi*.

Fasi lunari

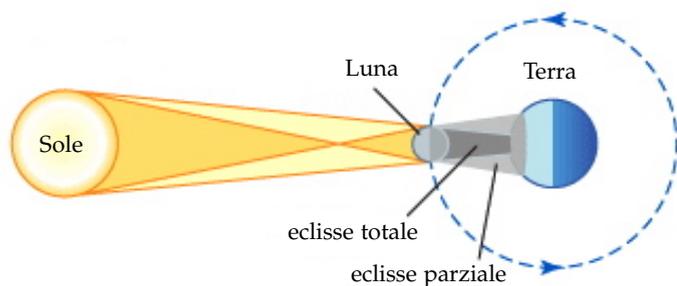
Osservata dalla Terra, la Luna può apparire illuminata per intero, parzialmente o per nulla. Questi diversi aspetti si chiamano *fasi lunari* e sono dovuti alle varie posizioni che la Luna occupa rispetto alla Terra e rispetto al Sole che la illumina, cioè dipendono dall'angolo tra la direzione dei raggi solari e la congiungente Terra-Luna.



Figura 50: Fasi lunari



(a) Eclisse di Luna



(b) Eclisse di Sole

Figura 51: Eclissi

Le quattro fasi lunari principali (*Luna nuova*, *primo quarto*, *Luna piena* e *ultimo quarto*) si hanno quando l'angolo tra le congiungenti Sole-Terra e Terra-Luna è rispettivamente di 0° , 90° , 180° e 270° (figura 50).

Tra ogni fase e quella successiva passa circa una settimana, il tempo che corrisponde a un quarto dell'orbita di rivoluzione della Luna attorno alla Terra. E intanto le condizioni di illuminazione della Luna variano gradualmente.

Eclissi

Quando la Luna si trova allineata con la Terra e il Sole lungo la linea dei nodi, cioè si trova in un nodo o nelle sue immediate vicinanze, si realizza il fenomeno dell'*eclisse*, un oscuramento temporaneo della Luna o del Sole.

L'allineamento dei tre corpi celesti si può verificare sia quando la Luna si trova tra il Sole e la Terra (ed è quindi in fase di Luna nuova) che quando la Luna si trova dalla parte opposta al Sole rispetto alla Terra (cioè quando è in fase di Luna piena).

- Se la Luna si trova dalla parte opposta al Sole rispetto alla Terra, l'ombra della Terra nasconde la Luna: si verifica un'*eclisse* (parziale o totale) di Luna

(figura 51b). Le eclissi totali di Luna si osservano da gran parte dell'emisfero terrestre in ombra.

- Se la Luna si trova tra il Sole e la Terra, l'ombra della Luna nasconde il Sole: si verifica un'eclisse (parziale o totale) di Sole (figura 51a). Le eclissi totali di Sole si osservano solo in piccole zone della superficie terrestre.

3.3.4 Maree

Le *maree* sono l'effetto più tangibile dell'influenza esercitata dalla Luna sul nostro pianeta.

Definizione 20. Le *maree* sono ampie masse d'acqua (oceani, mari e grandi laghi) che si innalzano (*alta marea*) e abbassano (*bassa marea*) periodicamente.

La forza che provoca le maree risulta dal non completo annullamento di due forze opposte tra loro: l'attrazione gravitazionale esercitata dalla Luna sulla Terra e la forza centrifuga dovuta alla rotazione della Terra intorno al *centro di massa* del sistema Terra-Luna, che si trova lungo la congiungente Terra-Luna, a circa 1700 km sotto la superficie terrestre (circa un quarto del raggio terrestre).

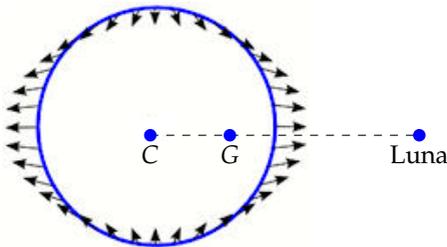


Figura 52: Maree

Al centro C della Terra queste due forze si cancellano esattamente. Sulla faccia rivolta verso la Luna, invece, l'attrazione lunare è leggermente maggiore (perché la distanza dalla Luna è minore), mentre la forza centrifuga è minore (perché la distanza dal centro di rotazione G è minore): questa differenza determina una forza risultante diretta verso la Luna (figura 52). Sull'altra faccia accade il contrario: l'attrazione lunare è minore, mentre la forza centrifuga è maggiore, quindi la forza risultante punta nel verso opposto. Ne segue un sollevamento del mare sia sul lato della Terra rivolto verso la Luna che

sul lato opposto (la cosiddetta *seconda gobba* della marea).

Il ciclo delle maree si ripete approssimativamente due volte al giorno: per la precisione, l'intervallo tra due alte (o due basse) maree successive è di 12 ore e 25 minuti circa. Ciò accade perché, mentre la Terra compie un giro su se stessa ogni 24 ore, contemporaneamente la Luna orbita intorno alla Terra compiendo un giro in circa quattro settimane. Perciò, nell'intervallo tra due passaggi successivi della Luna sullo stesso meridiano, la Terra non deve ruotare solo di 360° , ma di $375^\circ 30'$ per compensare i $15^\circ 30'$ di cui la Luna si è spostata nel frattempo. Il tempo corrispon-

dente è 24 ore e 50 minuti. L'intervallo tra due alte (o due basse) maree successive è quindi la metà di questo, ossia 12 ore e 25 minuti.

3.4 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara le scienze della Terra.

Terra

1 Indica la risposta corretta.

a. L'asse della Terra è:

A passante per i poli

C inclinato rispetto ai poli

B perpendicolare all'equatore

D non tocca i poli

b. Il giorno sidereo è:

A il moto della Terra attorno alla stella

B il tempo della rotazione completa della Terra

C il moto della Terra attorno al proprio asse

D il tempo per fare un giro attorno alla stella

c. Il moto di rotazione provoca:

A l'alternarsi delle stagioni

D l'alternarsi del dì e della notte

B la durata delle stagioni

C l'alternarsi delle settimane

d. Le stelle sembrano ruotare da est ad ovest perché:

A la Luna si sposta nella stessa direzione

D la Terra si muove con moto antiorario

B la Terra ha un moto di rivoluzione

C la Terra ha un moto apparente verso est

e. Se la Terra aumentasse la velocità di rotazione avremmo:

- A stagioni più fredde C notti più lunghe
 B mesi più lunghi D giorni più corti

f. Se la Terra aumentasse la velocità di rivoluzione avremmo:

- A anni più corti C mesi più lunghi
 B stagioni più fredde D notti più lunghe

g. La forza centrifuga generata dal moto di rotazione è:

- A massima ai poli
 B la stessa in tutte le località della Terra
 C massima all'equatore
 D massima all'afelio

h. La prova della variabilità del moto di rivoluzione è:

- A l'inclinazione dell'asse terrestre C la durata del giorno sidereo
 B la durata dell'anno solare D la durata del giorno solare

i. Il moto di rotazione della Terra è:

- A costante C più lento durante la notte
 B maggiore d'estate D maggiore a mezzogiorno

j. La teoria eliocentrica è stata elaborata da:

- A Keplero B Copernico C Galilei D Newton

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

2 Indica la risposta corretta.

a. La costanza del giorno sidereo indica che:

- A la Terra si muove più velocemente al perielio
 B la Terra si muove più lentamente all'afelio
 C la Terra ruota su sé stessa alla stessa velocità
 D la Terra si trova alla stessa distanza dal Sole

b. Gli epicicli costituiscono una spiegazione del moto dei pianeti proposta da:

- A Tolomeo B Tycho Brahe C Keplero D Copernico

c. La Terra è allargata all'equatore perché?

- A ci sono più oceani C la crosta è più sottile
 B la forza centrifuga è maggiore D la forza di gravità è maggiore

d. La forza di gravità:

- A aumenta all'aumentare della distanza
 B diminuisce all'aumentare della massa
 C rimane costante al variare della distanza
 D diminuisce all'aumentare della distanza

e. I fusi orari sono ampi:

- A 15° B 25° C 35° D 90°

f. La differenza tra giorno solare e sidereo è legata a:

- A inclinazione dell'asse terrestre C distanza Terra-Luna
 B moto di rivoluzione della Terra D all'uso di due cronometri diversi

g. Se mi sposto di 45° verso sud dovrò:

- A aggiungere 3 ore C lasciare invariato l'orario
 B togliere 3 ore D aggiungere 6 ore

h. Il moto di rotazione terrestre causa:

- A una velocità costante per tutte le località della Terra
 B una velocità maggiore ai poli
 C una velocità maggiore ai tropici
 D una velocità maggiore all'equatore

i. Il moto di rotazione della Terra è reale perché:

- A il piano di oscillazione del pendolo sembra ruotare
 B le nuvole si spostano in senso orario nel cielo

C la Luna ha un moto di rotazione orario

D i nostri sensi confermano l'asserzione

j. La teoria eliocentrica è stata elaborata dai:

A Keplero

B Copernico

C Tolomeo

D Einstein

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

3 Indica la risposta corretta.

a. Il piano di oscillazione del pendolo sembra muoversi in direzione:

A oraria

B antioraria

C del Sole

D della Luna

b. Se il moto di rivoluzione fosse costante:

A il giorno sidereo sarebbe variabile

B il giorno solare sarebbe costante

C il giorno sidereo sarebbe uguale al giorno solare

D il giorno solare sarebbe variabile

c. Se il moto di rivoluzione della Terra aumentasse avremmo:

A giorni siderei più corti

C giorni solari più corti

B giorni siderei più lunghi

D giorni solari più lunghi

d. Se la Terra non avesse il moto di rivoluzione avremmo:

A giorni solari più corti

B giorni siderei più lunghi

C giorni siderei più lunghi dei giorni solari

D giorni solari più lunghi dei giorni siderei

e. Il giorno solare è variabile perché?

A la Terra ha un moto di rotazione variabile

B la Terra ha un moto di rivoluzione variabile

C il Sole ha un moto di rotazione

D il Sole ha un moto di rivoluzione

f. La prova della costanza del moto di rotazione è:

- A inclinazione dell'asse terrestre C durata dell'anno solare
 B durata del giorno solare D durata del giorno sidereo

g. L'aumento delle ore di luce nel nostro emisfero si ha:

- A dal 21 giugno in poi C dal 22 dicembre in poi
 B dal 22 di settembre in poi D dal solstizio d'estate in poi

h. Per guadagnare 6 ore occorre spostarsi di:

- A 6° verso est C 90° verso est
 B 12° verso ovest D 90° verso ovest

i. Se mi sposto ad est di 45° come devo regolare l'orologio:

- A aumentare l'orario di 3 ore C aumentare l'orario di 6 ore
 B diminuire l'orario di 3 ore D lasciare invariato l'orario

j. Se la Terra aumentasse la velocità di rivoluzione avremmo:

- A stagioni più fredde C mesi più lunghi
 B anni più corti D notti più lunghe

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

4 Indica la risposta corretta.

a. I fusi orari hanno un'ampiezza di:

- A 15° B 20° C 24° D 36°

b. L'eclittica è:

- A un punto immaginario dove passa la Terra
 B un piano su cui si muove la Terra
 C una linea immaginaria su cui ruota la Terra
 D è una valida spiegazione di un fenomeno naturale

c. Se la Terra non avesse più la rivoluzione attorno al Sole:

- A avremmo sempre la stessa stagione C avremmo giorni solari variabili
 B avremmo stagioni più lunghe D nessuna delle risposte è esatta
- d. Il dì più lungo a Cesena si ha:
 A il 13 dicembre B il 23 agosto C il 21 giugno D il 22 dicembre
- e. Il moto di rotazione provoca :
 A l'alternarsi delle stagioni C l'alternarsi delle settimane
 B la durata delle stagioni D l'alternarsi del dì e della notte
- f. Il giorno è un arco di tempo legato a:
 A moto di rivoluzione della Terra C moto di rotazione lunare
 B moto di rotazione terrestre D moto di rivoluzione lunare
- g. Il Sole nel suo moto apparente sull'orizzonte il 21 giugno:
 A si trova nel punto più meridionale C si trova nel punto più a nord
 B si trova nel suo punto più a sud D si trova all'equatore
- h. La velocità della Terra lungo la sua orbita è :
 A costante C più veloce sui nodi
 B più veloce all'afelio D più veloce al perielio
- i. Il 21 marzo il Sole arriverà al polo nord con un'inclinazione di:
 A 0° B 90° C 45° D $23^\circ 27'$
- j. Il 21 marzo a Cesena il Sole arriva con un'inclinazione di circa:
 A 20° D 45° B 60° C 90°

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

5 Indica la risposta corretta.

- a. Lo spostamento di 30° verso est comporta un aumento di:

- A 2 ore B 3 ore C 6 ore D 9 ore

b. L'asse terrestre è inclinato di:

- A $66^{\circ} 33'$ rispetto al polo nord
 B $23^{\circ} 27'$ rispetto alla linea perpendicolare all'eclittica
 C 45° rispetto all'equatore
 D 45° rispetto ai tropici

c. Il primo giorno d'inverno i raggi del Sole arrivano:

- A inclinati di 90° all'equatore
 B inclinati di $23^{\circ} 27'$ al tropico del cancro
 C inclinati di $66^{\circ} 33'$ all'equatore
 D inclinati di 90° al circolo polare

d. La minima inclinazione del Sole a Cesena si registra:

- A nel solstizio d'estate C nell'equinozio d'autunno
 B nell'equinozio di primavera D nel solstizio d'inverno

e. Il primo giorno di primavera i raggi del Sole arrivano:

- A inclinati di 90° all'equatore C inclinati di $23^{\circ} 27'$ all'equatore
 B inclinati di 45° all'equatore D inclinati di $66^{\circ} 33'$ all'equatore

f. La miglior stima approssimata della durata dell'anno solare è pari a giorni :

- A 365,4524 B 365,2422 C 365,2524 D 365,6250

g. La località che il 22 dicembre ha il Sole perpendicolare si trova:

- A all'equatore C al tropico del Capricorno
 B al polo sud D al tropico del cancro

h. In una località che si trova 30° sopra l'equatore avremo:

- A il Sole perpendicolare due volte all'anno
 B il Sole perpendicolare una sola volta all'anno

C il Sole perpendicolare una volta al giorno

D mai il Sole perpendicolare

i. L'aumento delle ore di buio nel nostro emisfero si ha:

A dal 21 giugno in poi

C dal 22 dicembre in poi

B dal 22 di settembre in poi

D dal solstizio d'estate in poi

j. Per passare da un solstizio all'altro passano circa:

A 10 giorni

B 180 giorni

C 250 giorni

D 300 giorni

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

6 Indica la risposta corretta.

a. Il moto di rotazione della Terra avviene intorno a un asse:

A che passa per il centro del pianeta

C esterno al pianeta

B tangente al pianeta

D al Sole

b. Se l'asse della Terra fosse perpendicolare all'eclittica:

A non avremmo più le stagioni

C avremmo giorni più lunghi

B avremmo solo due stagioni

D avremmo solo ore di luce

c. Il 2016 è stato bisestile come lo sarà il:

C 2019

D 2020

A 2021

B 2022

d. La notte più lunga dell'anno a Cesena cade:

A il 21 dicembre

B il 31 dicembre

C il 1 gennaio

D il 13 dicembre

e. Se un asteroide facesse inclinare l'asse terrestre di 60° sull'eclittica:

A i tropici rimarrebbero nelle stesse latitudini

B si troverebbero a $23^\circ 27'$ dall'equatore

D si collocherebbero a 30° dall'equatore

C si troverebbero a 70° dall'equatore

f. Durante quale momento dell'anno il Sole raggiunge la massima altezza al polo nord?

A equinozio di primavera C solstizio estivo B equinozio d'autunno D solstizio invernale

g. La luce del Sole arriva perpendicolare a Cesena:

 A il 21 agosto C il 21 marzo B il 21 giugno D nessuna risposta è esatta

h. La prova del moto di rotazione è stata fornita nel 1851 da:

 A un'eclissi solare C un'eclissi lunare B un pendolo D un lancio di un satellite

i. Lo spostamento di 45° verso nord comporta un aumento di:

 A 3 ore C 9 ore B 6 ore D nessuna risposta è esatta

j. L'inclinazione del Sole di 45° a Cesena si ha:

 A 1 volta l'anno C 4 volte l'anno B 2 volte l'anno D mai

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

7 Indica la risposta corretta.

a. L'alternarsi delle stagioni dipende:

 A dall'inclinazione dell'asse terrestre sull'orbita B dal moto di rotazione C dal fatto che nel moto di rivoluzione la Terra varia la sua distanza dal Sole D dall'inerzia termica della Terra

b. Il valore massimo per la latitudine può essere:

 A 0° B 90° C 180° D 360°

c. I raggi del Sole cadono perpendicolari alla latitudine di $23^\circ 27'$ N il:

A 21 marzo B 21 giugno C 23 settembre D 22 dicembre

d. Il 22 settembre i raggi del Sole arrivano a Cesena inclinati di circa:

A 15° B 25° C 35° D 45°

e. Scegli il completamento errato: I raggi del Sole formano un angolo di 90° con l'asse terrestre

A nel solstizio di inverno C il 21 marzo
 B nell'equinozio di primavera D il 23 settembre

f. La forza di gravità esercitata dal Sole sulla Terra è:

A maggiore ai poli C maggiore al perielio
 B minore al perielio D uguale lungo l'orbita terrestre

g. Se mi sposto verso ovest di 90° dovrò spostare l'ora di:

A 4 ore avanti B 2 ore indietro C 6 ore avanti D 6 ore indietro

h. Durante il solstizio d'inverno i raggi del Sole arrivano perpendicolari:

A al tropico del capricorno C all'eclittica
 B all'equatore D al tropico del cancro

i. Il circolo polare artico è tutto in ombra:

A all'equinozio di primavera C al solstizio d'estate
 B al solstizio d'inverno D all'equinozio di autunno

j. I Tropici sono paralleli lungo i quali i raggi solari a mezzogiorno:

A cadono sempre perpendicolari
 B non cadono mai perpendicolari
 C cadono perpendicolari solo ai solstizi
 D cadono perpendicolari solo agli equinozi

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

8 Indica la risposta corretta.

a. La località che il 22 settembre ha il Sole perpendicolare si trova:

A all'equatore C al polo sud B al polo nord D al tropico del cancro

b. Scegli il completamento errato. Sulla Terra si succedono le stagioni perché:

 A durante il moto di rivoluzione cambia la distanza del nostro pianeta dal Sole. B l'asse terrestre è inclinato rispetto al piano dell'orbita terrestre. C l'asse di rotazione si mantiene parallelo a se stesso in una rivoluzione terrestre. D durante l'anno cambia l'inclinazione dei raggi solari sulla superficie terrestre.

c. L'orbita della Terra tocca i seguenti punti:

 A uno dei due fuochi C centro dell'ellisse B afelio D centro della circonferenza

d. L'asse della Terra :

 A passa per i paralleli B è situato a nord dell'equatore C congiunge i punti d'incontro dei meridiani D passa per il centro della Terra

e. I raggi del Sole cadono perpendicolari alla latitudine di $23^{\circ} 27'$ N il:

 A 21 giugno B 21 marzo C 23 settembre D 22 dicembre

f. Per completare il moto di rivoluzione la Terra compie un numero di rotazioni pari a:

 A milioni di volte C poche decine di volte B alcune centinaia di volte D miliardi di volte

g. Qual è la migliore descrizione della forma della Terra?

 A leggermente appiattita all'equatore, leggermente rigonfia ai poli B leggermente appiattita, sia ai poli che all'equatore C leggermente rigonfia, sia ai poli che all'equatore D leggermente appiattita ai poli, leggermente rigonfia all'equatore.

h. La teoria eliocentrica è stata elaborata da:

A Newton nel 1600 C Copernico nel 1500 B Galileo Galilei nel 1500 D Keplero tra il 1600 ed il 1700

i. La Terra è allargata all'equatore perché:

 A la crosta è più pesante C la forza di gravità è maggiore B la crosta è più sottile D la forza centrifuga è maggiore

j. La Terra è allargata all'equatore perché:

 A non ha il moto di rotazione C la forza di gravità è maggiore B la velocità di rotazione è maggiore D la velocità è minore

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

9 Le coordinate di Cesena sono $44^{\circ} 8' N$ e $12^{\circ} 14' E$. Precisa di quali coordinate geografiche si tratta, cioè qual è la latitudine e quale la longitudine e quali sono i punti di riferimento considerati.

Luna

10 Indica la risposta corretta.

a. Per passare da Luna piena a ultimo quarto occorrono circa:

 A 7 giorni B 15 giorni C 25 giorni D 30 giorni

b. La durata del moto di rivoluzione lunare è di circa :

 A 24 giorni B 30 giorni C 50 giorni D 365 giorni

c. Il piano dell'orbita lunare è inclinato di:

 A $66^{\circ} 33'$ rispetto all'eclittica C 5° rispetto all'eclittica B $23^{\circ} 27'$ rispetto all'eclittica D giace sull'eclittica

d. I nodi rappresentano:

 A i punti dell'orbita lunare più lontani dal Sole B i punti dell'orbita lunare più vicini al Sole C i punti dell'orbita lunare posti sull'eclittica D i punti dell'orbita lunare posti sotto l'eclittica

e. Il moto di rivoluzione lunare descrive un'ellisse con la Terra:

A al perigeo C al centro B all'apogeo D su uno dei due fuochi

f. Il punto dell'orbita lunare più lontano dalla Terra si chiama:

 A apogeo B nodo C perielio D fuochi

g. I nodi dell'orbita lunare sono due punti:

 A che toccano la superficie terrestre C che toccano la superficie lunare B che toccano l'eclittica D che toccano l'equatore terrestre

h. Se la Luna non avesse più la rivoluzione attorno alla Terra:

 A non avremmo le stagioni C avremmo giorni solari variabili B avremmo stagioni più lunghe D non avremmo l'alternarsi delle fasi

i. In circa una settimana la Luna percorre circa:

 A 1/4 dell'orbita lunare C 3/4 dell'orbita lunare B 1/2 dell'orbita lunare D 4/4 dell'orbita lunare

j. La settimana è legata ad un percorso dell'orbita lunare pari a:

 A 1/2 B 1/4 C 3/4 D 4/4

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

11 Indica la risposta corretta.

a. Un'eventuale eclisse di Luna a Cesena può accadere in fase di:

 A Luna piena B Luna nuova C primo quarto D ultimo quarto

b. La velocità della Luna lungo la sua orbita è :

 A costante C più veloce sui nodi B più veloce al perigeo D più veloce all'apogeo

c. La fase lunare di primo quarto avviene mediamente:

- A una volta al giorno C una volta al mese
 B una volta alla settimana D una volta all'anno

d. Se la Luna non avesse più la rivoluzione attorno alla Terra:

- A non avremmo le stagioni C avremmo giorni solari variabili
 B avremmo stagioni più lunghe D non avremmo più le eclissi

e. Se alle ore 20:00 si ha l'alta marea il giorno dopo ci sarà alle:

- A 20:48 B 20:00 C 22:12 D 23:00

f. Un'eventuale eclisse di Sole a Cesena può accadere in fase di:

- A Luna piena B Luna nuova C primo quarto D ultimo quarto

g. La Luna compie una rotazione sul suo asse in circa:

- A 24 ore B 30 giorni C 6 ore D 12 ore

h. I nodi rappresentano:

- A i punti dell'orbita lunare posti sull'eclittica
 B i punti dell'orbita lunare più vicini al Sole
 C i punti dell'orbita lunare più lontani dal Sole
 D i punti dell'orbita lunare posti sotto l'eclittica

i. Se la Luna passa da primo quarto a piena sono passati circa:

- A 21 giorni C 7 giorni
 B 15 giorni D nessuna risposta è esatta

j. L'alta marea sizigiale si registra nelle fasi:

- A primo e ultimo quarto C Luna piena e ultimo quarto
 B Luna nuova e primo quarto D Luna nuova e luna piena

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

12 Indica la risposta corretta.

a. Se alle ore 12:00 si ha l'alta marea il giorno dopo ci sarà alle:

- A 12:48 B 12:00 C 13.00 D 12:12

b. La miglior stima approssimata della durata del mese lunare è di:

- A 365,4524 giorni C 36 ore
 B 29,5 giorni D 36 giorni

c. La Luna può provocare un'eclisse di Sole solo:

- A se è rivolta verso la Terra
 B se è in fase di Luna calante
 C se si trova sui nodi in fase di Luna nuova
 D se si trova sull'eclittica in fase di Luna piena

d. Se la Luna si muovesse solo sotto l'eclittica:

- A non avremmo le quattro stagioni C avremmo settimane più corte
 B avremmo mesi più lunghi D non avremmo più le eclissi

e. Il 10 giugno la Luna è piena; quando la ritroverò piena:

- A 9 luglio B 11 maggio C 25 giugno D 13 luglio

f. Per avere un'eclissi di Luna occorrono le seguenti circostanze:

- A Luna all'apogeo e Luna nuova
 B Luna piena e sull'eclittica
 C Luna calante e Luna al perielio
 D Luna su uno dei due nodi e Luna nuova

g. Il 10 giugno la Luna è nuova; quando la troverò piena:

- A 11 maggio B 25 giugno C 13 luglio D 9 luglio

h. La Luna compie una rivoluzione attorno alla Terra in circa:

- A 24 ore B 12 ore C 30 giorni D 6 ore

i. Se la Luna è all'ultimo quarto possiamo avere le eclissi:

- A di Sole C tutte e due
 B di Luna D nessuna risposta è accettabile

j. Il pericolo dell'acqua alta si verifica generalmente quando la Luna è:

- A nella fase di Luna nuova C all'apogeo
 B sui nodi D al perielio

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

13 Indica la risposta corretta.

a. La settimana ha una durata simile al tempo di:

- A un quarto della rivoluzione lunare C rotazione della Terra
 B rivoluzione lunare D rivoluzione terrestre

b. Il rapporto esistente tra i tempi di rotazione terrestre e rivoluzione lunare è circa:

- A 1/7 B 1/30 C 1/15 D 1/21

c. Il tempo per l'alternanza tra alta e bassa marea è di:

- A 24 ore C 6 ore e 12 minuti
 B 12 ore D 6 ore

d. Durante il moto di rivoluzione la Luna :

- A si mantiene perpendicolari all'equatore
 B si mantiene perpendicolari all'eclittica
 C si mantiene a distanza uguale dalla Terra
 D si mantiene a distanza variabile dalla Terra

e. Per avere un'eclissi di Sole questa si deve trovare:

- A in Luna nuova C all'ultimo quarto
 B al primo quarto D in Luna piena

f. Il tempo per l'alternanza tra due alte maree è di circa:

A 24 ore C 6 ore B 12 ore D 6 ore e 12 minuti

g. Per passare da Luna nuova a ultimo quarto occorrono circa:

 A 7 giorni B 15 giorni C 21 giorni D 30 giorni

h. Quando la Luna è al primo quarto possiamo avere le eclissi:

 A di Sole C tutte e due B di Luna D nessuna risposta è accettabile

i. Per avere un'eclissi di Luna questa si deve trovare:

 A in Luna piena C all'ultimo quarto B al primo quarto D in Luna nuova

j. Se la Luna passa da nuova a piena sono passati circa:

 A 21 giorni C 7 giorni B 15 giorni D nessuna risposta è esatta

[3 risposte A, 3 B, 2 C e 2 D]

14 Indica la risposta corretta.

a. Il mese è legata a un percorso dell'orbita lunare pari a giri:

 A 1 B $1/2$ C $1/4$ D $3/4$

b. La Luna si trova all'afelio:

 A durante il solstizio d'estate C in fase di ultimo quarto B nessuna risposta appare accettabile D durante l'equinozioc. Scegli il completamento *errato*. La Luna: A è in novilunio quando i raggi solari ne illuminano la faccia nascosta B osservata dalla Terra mostra sempre la stessa faccia C ha un periodo di rotazione uguale a quello di rivoluzione D è al primo quarto quando è allineata con il Sole e con la Terra

d. L'eclisse di Sole si ha in fase di:

A primo quarto

C Luna nuova

B ultimo quarto

D Luna piena

e. Il perigeo è un punto dell'orbita lunare:

A che tocca la superficie terrestre

C che tocca l'equatore terrestre

B che tocca l'eclittica

D che è più vicino alla Terra

f. La marea di quadratura si registra nelle fasi:

A primo e ultimo quarto

C Luna piena e ultimo quarto

B Luna nuova e primo quarto

D Luna nuova e Luna piena

g. In un anno la Luna piena si può vedere circa:

A 6 volte

B 12 volte

C 24 volte

D 30 volte

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

4

MINERALI E ROCCE

Questo capitolo esamina i materiali che costituiscono la crosta terrestre: i *minerali* e le *rocce*.

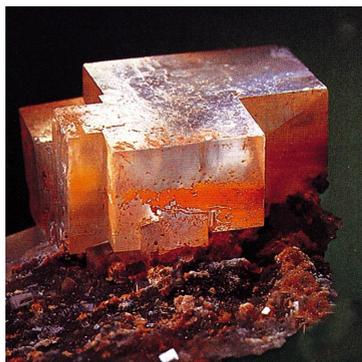
4.1 MINERALI

I minerali sono i costituenti fondamentali delle rocce, i “mattoni” con cui è costruito il nostro pianeta.

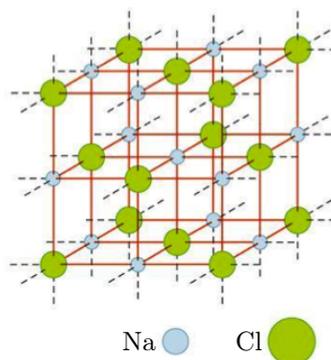
Definizione 21. Un *minerale* è una sostanza naturale solida, con una composizione chimica ben definita.

I minerali sono formati dalla combinazione degli stessi elementi chimici che si trovano in tutto l’universo. Alcuni minerali sono formati da un solo tipo di elemento, ma la maggior parte è il risultato della combinazione di più elementi, legati tra loro in un *composto chimico*. Per esempio, la grafite è costituita da carbonio (C), mentre il quarzo è costituito da silicio e ossigeno (SiO_2).

Non tutti gli elementi chimici hanno la stessa importanza nella composizione dei minerali della crosta terrestre: oltre il 98% in peso della crosta è formato da soli otto elementi (ossigeno, silicio, alluminio, ferro, calcio, sodio, potassio e magnesio),



(a) Un cristallo di salgemma



(b) Reticolo cristallino del salgemma

Figura 53: Salgemma



Figura 54: Minerali cristallini

con netta prevalenza dell'ossigeno e del silicio che, da soli, costituiscono circa i tre quarti della crosta terrestre continentale.

Ci sono due tipi di minerali: i minerali *cristallini* (i più comuni) e i minerali *amorfi*.

- I minerali *cristallini* sono caratterizzati da una precisa geometria dovuta alla disposizione ordinata e regolare delle particelle che li costituiscono.
- I minerali *amorfi* non presentano alcuna geometria caratteristica: le particelle che li costituiscono sono disposte in modo disordinato.

4.1.1 Minerali cristallini

I minerali cristallini hanno una struttura costituita da un'impalcatura tridimensionale di particelle regolare e ordinata: il *reticolo cristallino*. Da questa struttura microscopica, invisibile a occhio nudo, ha origine la forma esterna del minerale, ben visibile e altrettanto regolare, chiamata *cristallo*. L'origine del termine *cristallo* deriva dal greco *krystàllos*, che significa "ghiaccio", perché nell'antichità si credeva che il quarzo fosse ghiaccio indurito dal freddo invernale. Il *quarzo ialino* (una varietà incolore di quarzo) è tuttora chiamato "cristallo di rocca".

La figura 53 mostra un cristallo cubico di salgemma con accanto il suo reticolo cristallino, in cui gli ioni Na^+ e Cl^- occupano i vertici di cubi ideali, alternandosi re-

Tabella 5: Minerali cristallini

Minerale	Composto da	Formula chimica	Gruppo
Calcite	Carbonato di calcio	CaCO_3	Carbonati
Corindone	Ossido di alluminio	Al_2O_3	Ossidi
Diamante	Carbonio	C	Elementi
Dolomite	Carbonato di calcio e magnesio	$\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$	Carbonati
Gesso	Solfato di calcio biidrato	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Solfati
Grafite	Carbonio	C	Elementi
Pirite	Solfuro di ferro	FeS_2	Solfuri
Quarzo	Silice	SiO_2	Ossidi
Salgemma	Cloruro di sodio	NaCl	Alogenuri
Zircone	Silicato di zirconio	ZrSiO_4	Silicati

golarmente: se il cristallo viene frantumato, i frammenti assumono forme cubiche altrettanto perfette.

I minerali sono composti generalmente da molti cristalli, che si formano per solidificazione graduale di un liquido o per cristallizzazione di fluidi idrotermali (ovvero fluidi geotermicamente riscaldati che fuoriescono da una frattura nella superficie della Terra). La formazione e le caratteristiche di un cristallo dipendono dalla velocità di questo processo, detta *cristallizzazione*. Se il raffreddamento avviene velocemente si formano cristalli di piccole dimensioni, invisibili a occhio nudo, mentre se avviene lentamente si formano cristalli visibili a occhio nudo.

La figura 54 mostra alcuni minerali cristallini, e la tabella 5 ne riporta la composizione chimica. Si noti che:

- la *calcite* è molto comune; alcune rocce costituite prevalentemente da questo minerale (alabastro, marmo, travertino) sono tra le più richieste nell'edilizia;
- il *corindone* presenta diverse varietà gemmologiche, di cui le principali sono il *rubino*, di colore rosso, e lo *zaffiro*, di colore blu;

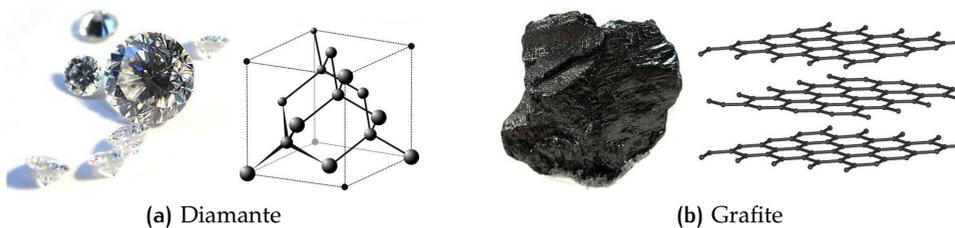


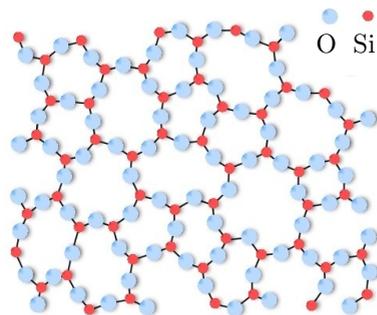
Figura 55: Diamante e grafite

- Il *diamante* (figura 55a) è una *forma allotropica* del carbonio: nel reticolo cristallino gli atomi di carbonio sono disposti secondo una struttura tetraedrica (il *tetraedro* è una piramide con quattro facce triangolari uguali);
- la *dolomite* si trova sotto forma di cristalli o, più comunemente, in masse compatte, di colore bianco o grigio;
- il *gesso* è molto tenero;
- la *grafite* (figura 55b) è una *forma allotropica* del carbonio: gli atomi di carbonio formano un reticolo esagonale a strati;
- la *pirite* (dal greco *pyr*, “fuoco”) produce scintille se viene sfregata con un pezzo di metallo; per il suo color oro era nota in passato come *l’oro degli stolti*;
- il *quarzo*, molto comune, è dotato di notevole resistenza meccanica e chimica; presenta diverse varietà, fra cui l’*ametista* e l’*agata*; è un costituente di molte rocce, fra cui il *granito*;
- il *salgemma* è fatto di cloruro di sodio; da esso si ricava il comune sale da cucina;
- lo *zirconio* è una gemma nota fin dall’antichità; gli esemplari incolori sono talvolta impiegati come sostituti del diamante.

GRAFITE La grafite è l’unico minerale che conduce la corrente elettrica. Ciò è dovuto al fatto che tra i “foglietti” di carbonio (tenuti insieme da legami covalenti) che la costituiscono c’è un “cuscinetto” di elettroni liberi che ne determinano la conducibilità elettrica (oltre che la tenerezza). Possiamo verificarlo con un semplice



(a) Bottiglie di vetro



(b) Il vetro è costituito da silice amorfa

Figura 56: Il vetro è un solido amorfo

Tabella 6: Scala di Mohs

Durezza	Minerale	Durezza	Minerale
1	Talco	6	Ortoclasio
2	Gesso	7	Quarzo
3	Calcite	8	Topazio
4	Fluorite	9	Corindone
5	Apatite	10	Diamante

esperimento. Prendiamo una matita e facciamo la punta a entrambe le sue estremità; se avvolgiamo le punte con un filo di rame e lo colleghiamo con una batteria e una lampadina, si vede che la passa la corrente (la lampadina si illumina).

4.1.2 Minerali amorfi

A differenza dei minerali cristallini, i minerali *amorfi* (dal greco *àmorphos*, “senza forma”) sono costituiti da particelle disposte in modo disordinato.

Lo *stato amorfo*, in qualche modo intermedio tra lo stato solido e quello liquido, è relativamente poco diffuso in natura. Il vetro comune, costituito da silice amorfa (SiO_2), è il più tipico solido amorfo, tanto che lo stato amorfo è detto anche *stato vetroso* (figura 56). Altri esempi di solidi amorfi sono il polistirolo e lo zucchero filato. I solidi amorfi si formano spesso raffreddando velocemente del materiale fuso: il raffreddamento riduce la mobilità delle particelle del materiale prima che possano stabilizzarsi in una condizione ordinata. Esempi di minerali amorfi sono la *limonite* e l'*allofane*.

Si noti che ciò che viene commercialmente chiamato “cristallo” (bicchieri “di cristallo”, lampadari “di cristallo”, “cristallo” di Boemia) è vetro arricchito di elementi chimici che ne esaltano le proprietà ottiche, e dunque *non* è un cristallo.

4.1.3 Proprietà fisiche

Di seguito sono elencate alcune proprietà fisiche dei minerali, utili per identificarli:

- la *durezza* è la proprietà di resistere all'abrasione o alla scalfittura; dipende dalla forza dei legami tra le particelle che costituiscono il minerale; si misura con la *scala di Mohs* (tabella 6), una sequenza di dieci minerali, ciascuno dei quali può scalfire il minerale che lo precede nella scala ed è invece scalfito dal minerale che lo segue;
- la *sfaldatura* è la tendenza di un minerale a rompersi secondo superfici piane (nei minerali cristallini, queste superfici sono parallele a una o più facce del

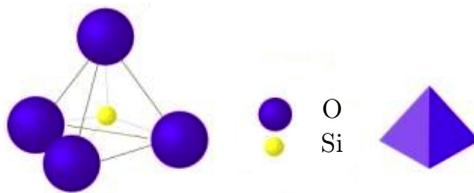


Figura 57: Tetraedro silicio-ossigeno

cristallo, a causa della diversa forza dei legami tra le particelle nelle diverse direzioni nel cristallo);

- la *lucentezza* misura l'intensità con cui la luce viene riflessa dal minerale;
- il *colore* è una proprietà molto evidente, ma poco significativa per l'identificazione dei minerali, perché spesso dipende dalla presenza di impurezze all'interno del minerale;
- la *densità*, definita come il rapporto tra la massa e il volume (nei minerali cristallini, dipende dalla vicinanza degli atomi nel reticolo, per cui il suo valore è significativo per identificare i minerali).

Il valore speciale delle *gemme* deriva da valori eccezionali di queste proprietà, che conferiscono loro particolare durezza, rarità e bellezza.

4.1.4 Classificazione

Per orientarsi tra le migliaia di specie di minerali oggi note è opportuno ricorrere a una classificazione che tenga conto delle caratteristiche fondamentali dei minerali: la struttura del reticolo cristallino e la composizione chimica (figura 58). In generale, si distinguono due grandi gruppi: i *silicati* e i *non silicati*.

Silicati

I *silicati*, formati principalmente da silicio e ossigeno, sono i minerali più comuni della crosta terrestre. L'*unità fondamentale* del loro reticolo cristallino è il *tetraedro silicio-ossigeno* SiO_4 (si veda la nota 1): quattro atomi di ossigeno (O) che circondano un atomo di silicio (Si). L'atomo di silicio si trova al centro del tetraedro, mentre ai vertici sono collocati i quattro atomi di ossigeno. Il tetraedro può raggiungere la stabilità in tre modi:

- legandosi solo ad atomi metallici, per cui i singoli tetraedri rimangono isolati non condividendo nessun atomo di ossigeno;
- legandosi in parte ad atomi metallici e in parte mettendo in comune gli atomi di ossigeno con tetraedri adiacenti;

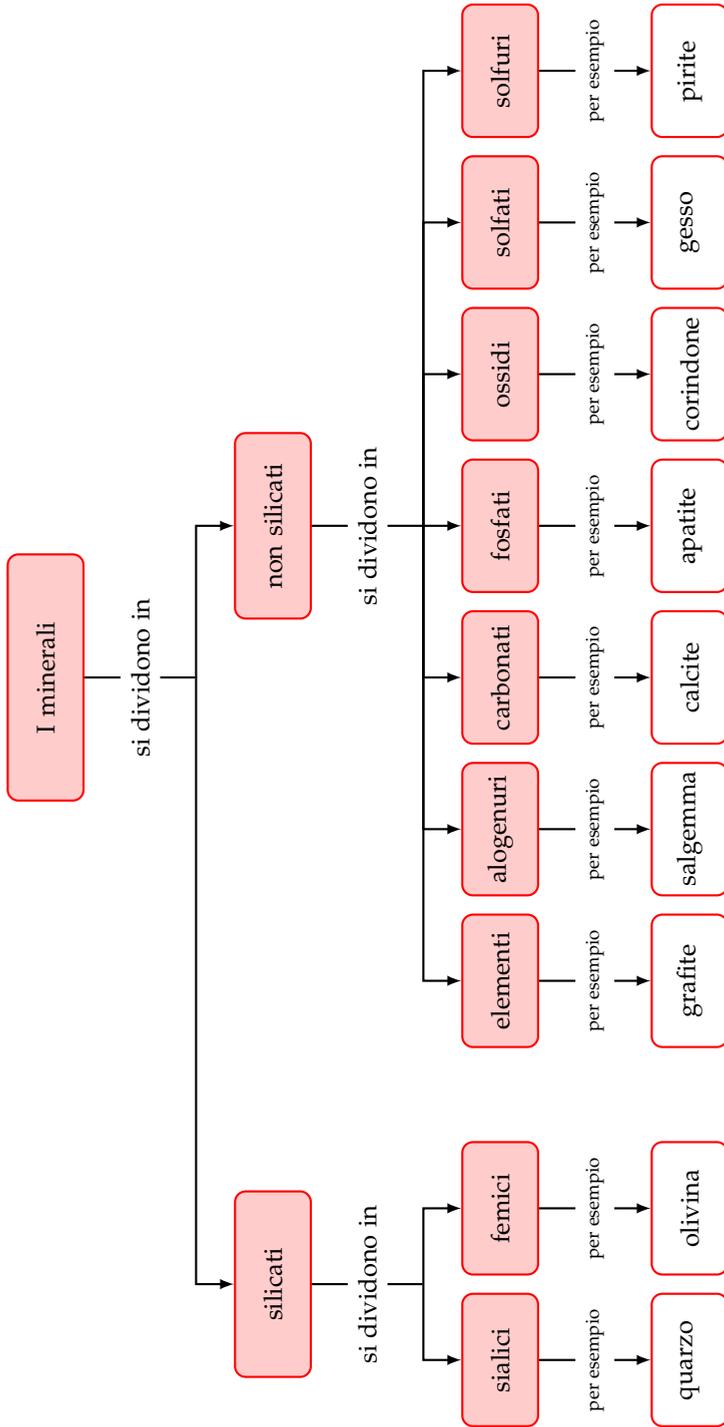


Figura 58: Classificazione chimica dei minerali

Il silicio è un elemento del quarto gruppo: ha cioè quattro elettroni nello strato più esterno. In base alla *regola dell'ottetto*, per riempire il suo guscio elettronico esterno il silicio tende ad assumere altri quattro elettroni. L'ossigeno, invece, è un elemento del sesto gruppo: per riempire il suo guscio elettronico esterno tende ad assumere altri due elettroni. Ciò che succede è che un atomo di silicio forma quattro legami covalenti con altrettanti atomi di ossigeno, condividendo quattro coppie di elettroni. In questo modo, il silicio riempie il proprio guscio elettronico esterno. Gli atomi di ossigeno, invece, non raggiungono ancora la massima stabilità, poiché nel loro guscio esterno ci sono solo sette elettroni: ne manca ancora uno per la saturazione. L'unione di un atomo di silicio con quattro atomi di ossigeno si rappresenta con la formula SiO_4 . Ciascun atomo di ossigeno ha quindi un posto libero a disposizione per ulteriori legami.

Nota 1: Interpretazione subatomica del tetraedro SiO_4

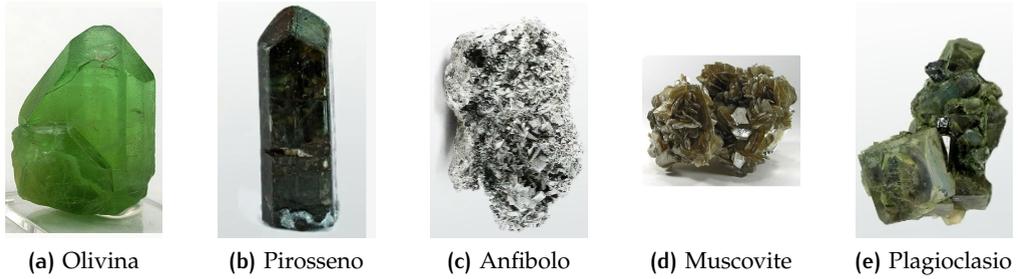
- mettendo in comune tutti gli atomi di ossigeno con i tetraedri adiacenti.

A seconda del diverso modo di legarsi tra loro dei tetraedri, i silicati si suddividono in quattro gruppi (figure 59-60).

- Nei *nesosilicati* (dal greco *nêsos*, "isola") i tetraedri rimangono isolati, non condividendo nessun atomo di ossigeno ma legandosi solo ad atomi metallici, come il magnesio e il ferro; ne è un esempio l'olivina.
- Negli *inosilicati* (dal greco *ine*, "fibra") i tetraedri sono uniti tra loro a formare catene lineari. Questa disposizione può essere semplice o doppia. Nel primo caso abbiamo i pirosseni: ogni tetraedro condivide due atomi di ossigeno con due tetraedri adiacenti. Nel secondo caso abbiamo gli anfibioli: i tetraedri condividono alternativamente due o tre atomi di ossigeno.
- Nei *fillosilicati* (dal greco *phýllon*, "foglia") i tetraedri, uniti tra loro condividendo tre vertici ciascuno, danno origine a una struttura a strati; ne sono esempi il talco e le *miche*, di cui fanno parte la muscovite e la biotite;
- Nei *tectosilicati* (dal greco *tèkton*, "edificio") i tetraedri, uniti per tutti i quattro vertici, formano strutture tridimensionali. Ne è un esempio il quarzo.

Tabella 7: Rapporti Si/O e SiO_4 /metalli nei vari gruppi di silicati

Gruppo	Si/O	SiO_4 /metalli
nesosilicati	1 : 4	molto basso
inosilicati a catena semplice	1 : 3	basso
inosilicati a catena doppia	1 : 2,75	medio
fillosilicati	1 : 2,5	alto
tectosilicati	1 : 2	molto alto



(a) Olivina

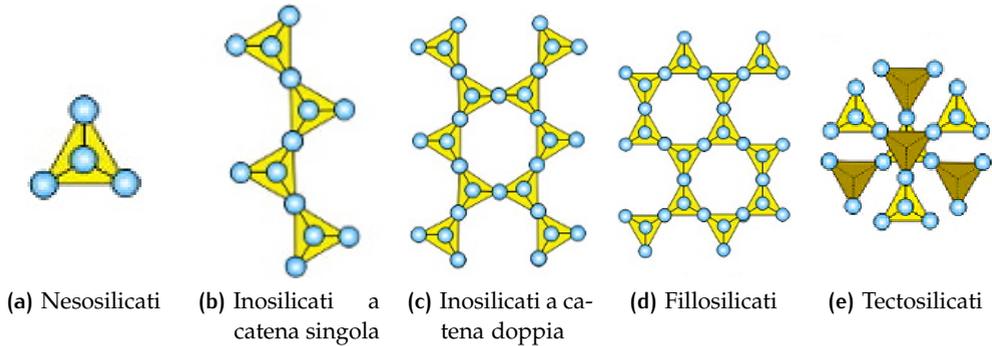
(b) Pirosseno

(c) Anfibolo

(d) Muscovite

(e) Plagioclasio

Figura 59: Strutture di silicati



(a) Nesosilicati

(b) Inosilicati a
catena singola(c) Inosilicati a
catena doppia

(d) Fillosilicati

(e) Tectosilicati

Figura 60: Silicati

Le diverse forme delle strutture influiscono sulla forma dei cristalli che ne derivano: gli inosilicati, per esempio, sono in genere allungati, i fillosilicati sono lamellari, e così via. Si noti che quando solo alcuni atomi di ossigeno sono condivisi, i silicati che si formano sono più fragili e pesanti; quando al contrario prevalgono gli atomi di ossigeno condivisi, i silicati sono più resistenti e leggeri.

FELDSPATI Nei tectosilicati l'alluminio può sostituire atomi di silicio all'interno dell'impalcatura tridimensionale. La sostituzione di un atomo di silicio con uno di alluminio permette l'inserimento nell'impalcatura cristallina di vari tipi di atomi (potassio, sodio, calcio). Il gruppo di silicati che si ottiene costituisce i *feldspati*, di cui fanno parte l'ortoclasio e il plagioclasio.

AMIANTO L'*amianto* (o *asbesto*) è un insieme di minerali del gruppo degli inosilicati (serie degli anfiboli) e del gruppo dei fillosilicati (serie del serpentino). La sua resistenza al fuoco e al calore e la sua struttura fibrosa lo rendono adatto come materiale da costruzione per l'edilizia, ma la sua accertata nocività per la salute ha portato a vietarne l'uso. Le polveri contenenti fibre d'amianto (mille volte più sottili di un capello umano), respirate, possono causare gravi patologie polmonari.

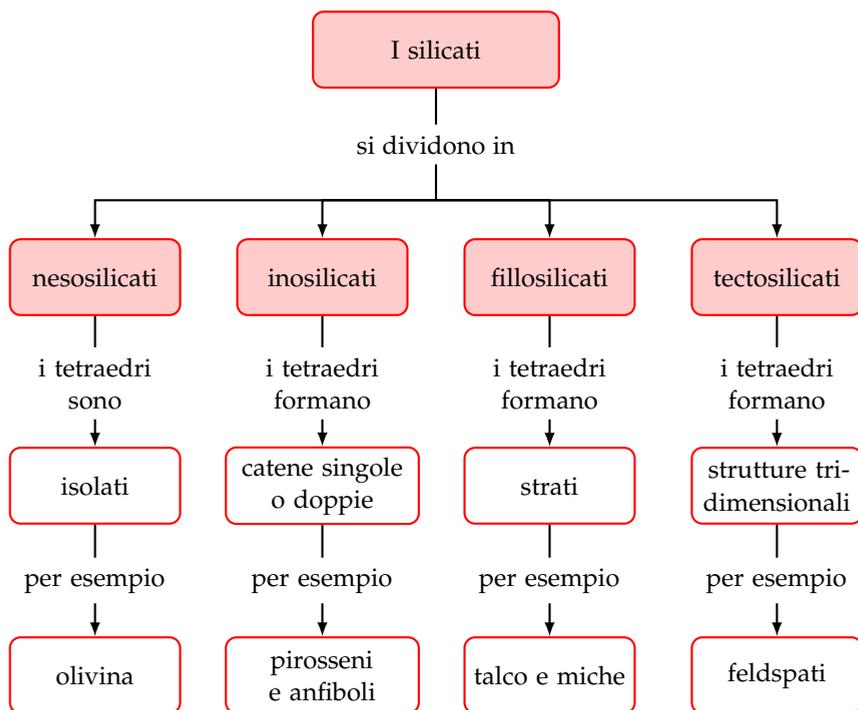


Figura 61: Classificazione dei silicati in base alla struttura del loro reticolo cristallino

CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA COMPOSIZIONE CHIMICA In base alla loro composizione chimica, i silicati si dividono in:

- silicati *felsici* (termine che deriva dall'associazione delle parole *feldspato* e *silice*), detti anche *sialici* (da *silicio* e *alluminio*), ricchi di silice e alluminio, chiari e relativamente leggeri; ne sono esempi il quarzo, i feldspati e le miche;
- silicati *mafici* (dall'associazione delle parole *magnesio* e *ferro*), detti anche *femici* (da *ferro* e *magnesio*), poveri di silice, ricchi di ferro e magnesio, scuri e pesanti; ne sono esempi l'olivina, il talco, i pirosseni e gli anfiboli.

I silicati felsici sono abbondanti nella crosta terrestre, detta anche *sial* appunto per l'abbondanza di silicio e alluminio, mentre i silicati mafici sono abbondanti nel mantello, detto anche *sima* per l'abbondanza di silicati di magnesio (come le olivine).

Non silicati

In base alla loro composizione chimica, i minerali non silicati si suddividono in sette gruppi:

- gli *elementi nativi*, costituiti da atomi di un unico elemento chimico; ne sono esempi la grafite, il diamante e i metalli nativi (come l'oro e l'argento);

- gli *alogenuri*, formati da ioni di un *alogeno* (fluoro, cloro, bromo, iodio) combinato con un altro elemento; ne è un esempio il salgemma;
- i *carbonati*, contenenti carbonio e ossigeno legati a uno o più elementi metallici (alluminio, ferro, calcio, sodio, potassio, magnesio); ne sono esempi la calcite e la dolomite;
- i *fosfati*, contenenti fosforo e ossigeno legati a uno o più elementi metallici; ne è un esempio l'apatite;
- gli *ossidi* contengono ossigeno, combinato con elementi metallici; ne sono esempio il corindone e il quarzo;
- i *solfati*, formati da zolfo e ossigeno legati a uno o più elementi metallici; ne è un esempio il gesso;
- i *solfuri* composti dallo zolfo e da elementi metallici; ne sono esempi la pirite e il cinabro.

CINABRO Il *cinabro* è un minerale dal colore rossiccio appartenente al gruppo dei solfuri; è formato da zolfo e mercurio (HgS). Noto già ai Greci, si usa in pittura per produrre il rosso vermiglione. Dal cinabro, tramite arrostitimento e successiva condensazione, si estrae il mercurio. I più importanti giacimenti si trovano in Spagna ad Almadén e in Italia nella zona del Monte Amiata. Si forma nei pressi dei vulcani praticamente spenti, principalmente da profonde vene d'acqua termale, a temperatura inferiore a 100 °C. Per il suo contenuto in mercurio, il cinabro è tossico per l'uomo e l'ambiente. Nell'antica Roma, schiavi e detenuti venivano mandati a lavorare nelle miniere di cinabro di Almadén: questa pena era in pratica una condanna a morte, per la scarsa aspettativa di vita dei condannati, costretti a vivere a contatto con questo minerale.

4.1.5 Minerogenesi

I minerali sono il risultato di una serie di trasformazioni fisiche e chimiche che si sono verificate nel corso delle varie ere geologiche e che si verificano tuttora. Il tempo necessario varia enormemente, da pochi secondi a migliaia di anni. La *minerogenesi*, cioè la formazione dei minerali, può essere *magmatica*, *sedimentaria* e *metamorfica*.

- Nella genesi *magmatica* i minerali si formano per *solidificazione* dei componenti liquidi di un *magma* (una massa fluida e incandescente presente all'interno della Terra), conseguente al suo raffreddamento mentre risale in superficie. In questo modo si forma, per esempio, il quarzo.



(a) Il quarzo si forma per solidificazione di un magma.



(b) Cristalli di zolfo formati per sublimazione in una solfatara



(c) Elevatissime pressioni trasformano la grafite in diamante.

Figura 62: Origine dei minerali

- Nella genesi *sedimentaria* i minerali si formano per *sublimazione* (gas e vapori emessi nelle zone vulcaniche passano direttamente dallo stato aeriforme a quello solido cristallino) o per *precipitazione* (i sali disciolti nell'acqua si depositano sul fondo se la loro concentrazione, in seguito all'evaporazione dell'acqua, raggiunge il limite di solubilità). Per esempio, lo zolfo si forma per sublimazione, mentre il gesso e il salgemma si originano per precipitazione.
- La genesi *metamorfica* ("per trasformazione") deriva dalla trasformazione di altri minerali, conseguente a elevate pressioni o temperature. Per esempio, in seguito a elevatissime pressioni la grafite si trasforma in diamante.

L'energia in gioco nei processi magmatici e metamorfici è quella endogena terrestre (responsabile dei fenomeni vulcanici e sismici), mentre nei processi sedimentari deriva quasi esclusivamente dall'irraggiamento solare.

4.2 ROCCE

La superficie solida del nostro pianeta è costituita da aggregati di minerali: le *rocce*.

Definizione 22. Una *roccia* è un aggregato naturale di minerali.

La tabella 8 elenca alcune rocce, assieme ai minerali principali che le costituiscono.

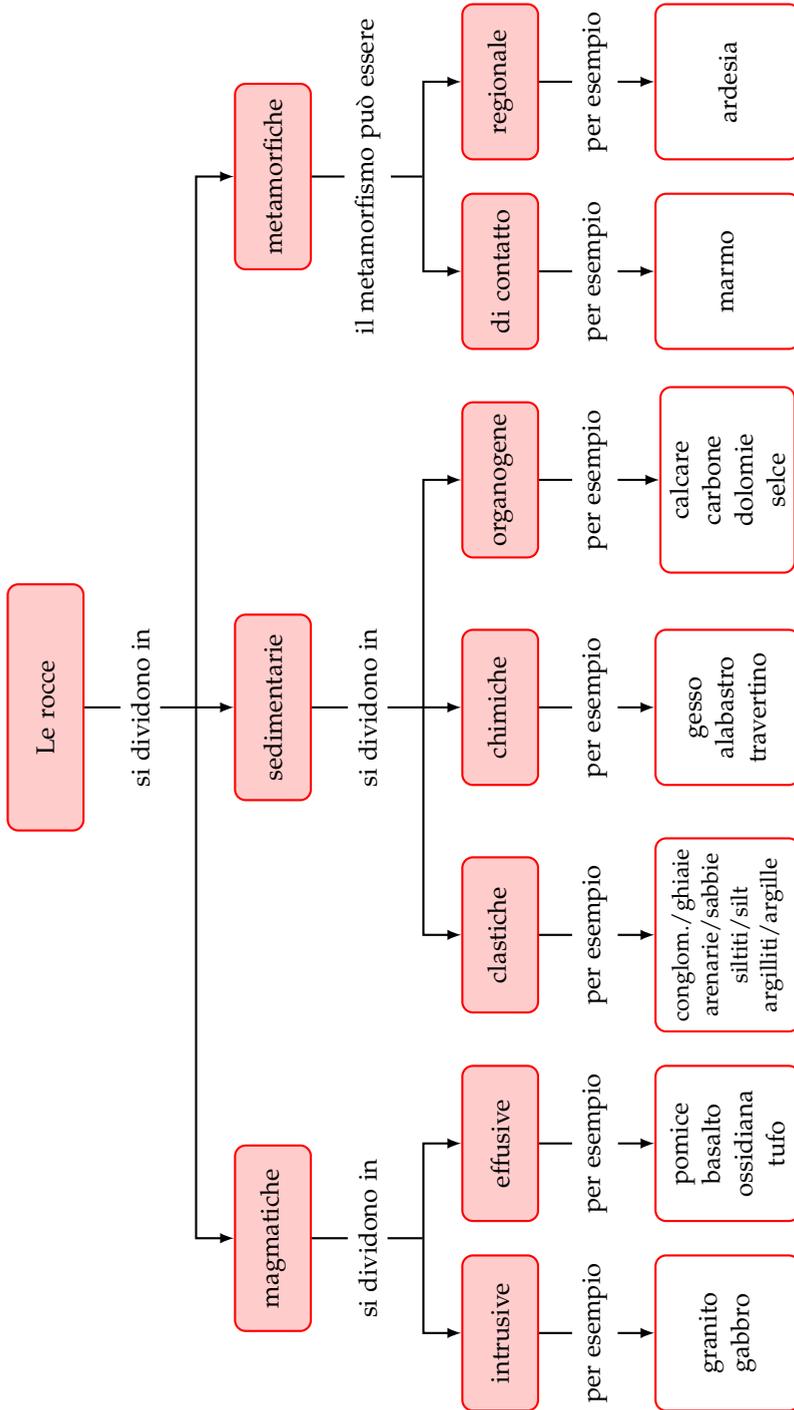


Figura 63: Classificazione delle rocce

4.2.1 Classificazione delle rocce

A seconda del processo *litogenetico* (cioè “generatore di rocce”) che dà loro origine, le rocce si distinguono in tre categorie: rocce *magmatiche*, rocce *sedimentarie* e rocce *metamorfiche* (figura 63):

- le rocce *magmatiche* si ottengono dalla solidificazione di un *magma*, una massa fusa generata nelle profondità della Terra che si cristallizza per la progressiva diminuzione della temperatura;
- le rocce *sedimentarie* si generano con l’erosione di materiali rocciosi a opera degli *agenti esogeni* (acqua, vento, ghiaccio) e il successivo trasporto e accumulo dei materiali erosi (rocce *clastiche*); a questa categoria si aggiungono le rocce ariginatesi dalla stratificazione di sali precipitati a causa di fenomeni quali l’evaporazione in bacini chiusi (rocce *chimiche*) o dall’accumulo di resti di organismi viventi (rocce *organogene*);
- le rocce *metamorfiche* si ottengono dalla trasformazione di rocce preesistenti (magmatiche, sedimentarie, metamorfiche) che vengono a trovarsi in condizioni ambientali diverse da quelle di origine.

4.2.2 Rocce magmatiche

Un *magma* è un materiale fuso che si forma nella crosta terrestre o nella parte alta del sottostante *mantello*, a profondità in genere comprese tra i 10 e i 100 chilometri. Questa massa fusa è un miscuglio di silicati ad alta temperatura, contenente gas (prevalentemente vapor acqueo e anidride carbonica) in essa disciolti.

Se, dopo la sua formazione, il magma si raffredda, comincia un processo di cristallizzazione: dal materiale fuso si separano via via, secondo la loro temperatura di fusione, vari tipi di minerali, dalla cui aggregazione finale risulta formata una nuova roccia (figure 64 e 67). Se il raffreddamento del magma in risalita avviene all’interno della crosta terrestre si hanno le rocce *intrusive*, mentre se avviene all’esterno di essa si hanno le rocce *effusive*.

Rocce intrusive

Le rocce *intrusive* si originano da magmi che solidificano in profondità, circondati da altre rocce; esse si formano quando la massa fusa non può giungere in superficie. La cristallizzazione avviene molto lentamente e si possono formare cristalli di notevoli dimensioni, che danno alla roccia una struttura granulare.

GRANITO Il *granito* (figura 64a) è una roccia intrusiva composta da quarzo e feldspati, con grana media o grossa. Il suo nome deriva dal latino *granum* (“a grani”), con riferimento alla sua struttura. È molto resistente: si usa come pietra per selciati,



(a) Granito



(b) Gabbro



(c) Basalto



(d) Ossidiana

Figura 64: Rocce magmatiche



(a) Arenaria



(b) Alabastro



(c) Dolomia



(d) Calcare

Figura 65: Rocce sedimentarie



(a) Marmo



(b) Ardesia

Figura 66: Rocce metamorfiche

Tabella 8: Rocce e minerali principali che le costituiscono

Roccia	Minerali principali	Categoria
Alabastro	Calcite, gesso	Sedimentaria chimica
Ardesia	Muscovite, calcite, quarzo	Metamorfica
Arenaria	Quarzo, feldspati, miche, calcite	Sedimentaria clastica
Argillite	Alluminio e silicio	Sedimentaria clastica
Basalto	Plagioclasio, pirosseni, olivina	Magmatica effusiva
Calcare	Calcite	Sedimentaria
Carbone	Carbonio	Sedimentaria organogena
Dolomia	Dolomite	Sedimentaria organogena
Gabbro	Plagioclasio, pirosseni	Magmatica intrusiva
Gesso	Gesso	Sedimentaria chimica
Granito	Quarzo, feldspati	Magmatica intrusiva
Ossidiana	Plagioclasio, anfiboli, pirosseni	Magmatica effusiva
Marmo	Calcite	Metamorfica
Marna	Calcite, dolomite	Sedimentaria clastica
Pomice	Silice amorfa, quarzo, feldspati	Magmatica effusiva
Selce	Quarzo	Sedimentaria organogena
Siltite	Feldspati, miche, quarzo	Sedimentaria clastica
Travertino	Calcite	Sedimentaria chimica
Tufo	Feldspati, pirosseni	Magmatica effusiva

pavimenti e murature. Il granito è il principale costituente della crosta continentale (la parte di crosta terrestre posta al di sotto delle aree continentali).

GABBRIO Il *gabbro* (figura 64b) è una roccia intrusiva formata da plagioclasio, pirosseni e olivina. Il suo nome deriva dalla località omonima in provincia di Livorno, in Toscana, dove abbonda. Impiegato anticamente per edificare fortezze, nel secolo scorso il gabbro si usava nell'industria, sfruttando i prodotti derivati dalla sua alterazione (tra cui il talco, usato nelle materie plastiche, e la magnesite, un materiale resistente al calore, utilizzato per costruire forni).

Rocce effusive

Le rocce *effusive* si originano quando il magma, spinto dalla pressione dei gas in essa disciolti, trova una via di risalita, sfruttando fratture nella crosta o creandone di nuove, e trabocca in superficie, dove solidifica all'aria aperta. Nelle rocce effusive la cristallizzazione ha luogo in superficie, per cui il raffreddamento avviene rapidamente e a volte senza che ci sia il tempo affinché si formino i cristalli, infatti nella maggior parte dei casi presentano una struttura amorfa (non cristallina).



(a) Basalto colonnare (Vietnam)



(b) Graniti erosi dal vento (Sardegna)



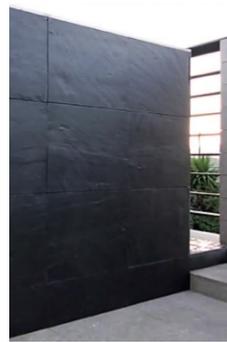
(c) Cava di pomice sull'isola di Lipari



(d) Tufi (Oregon)



(e) Affioramento di ossidiana (Lipari)



(f) Gabbro usato nell'edilizia

Figura 67: Rocce magmatiche

BASALTO Il *basalto* (figura 64c) è una roccia effusiva, di colore scuro, formata principalmente da plagioclasio, pirosseni e olivina. È il corrispondente effusivo del gabbro. Proviene da un magma solidificatosi velocemente a contatto con l'aria e l'acqua. È il principale costituente della crosta oceanica (il "pavimento" degli oceani).

OSSIDIANA L'*ossidiana* (figura 64d) è un vetro vulcanico naturale, simile a quello di produzione umana. Si origina in seguito al rapidissimo raffreddamento della lava: gli atomi non riescono a formare la struttura ordinata di un reticolo cristallino, ma assumono una disposizione caotica, con una struttura amorfa. Ricercata nell'antichità per fabbricare coltelli e oggetti decorativi, oggi si usa per realizzare lame per bisturi.

POMICE La *pomice* (figura 67c) è una roccia effusiva, leggerissima a causa dell'elevata porosità. Si forma principalmente da eruzioni di tipo esplosivo, e la porosità è dovuta alla formazione di bolle di gas. È costituita prevalentemente da silice e da vari ossidi metallici.

PORFIDO Il *porfido* è una roccia effusiva formata da una pasta vetrosa di fondo in cui sono immersi piccoli cristalli. Essendo ruvido e molto resistente, lo si usa nelle pavimentazioni stradali: i *sanpietrini* (così chiamati perché compongono il lastricato di Piazza San Pietro, a Roma) sono blocchetti di porfido.

TUFO Il *tuf* (figura 67d), che abbonda nei distretti vulcanici del Lazio, era usato come materiale da costruzione sin dal VII secolo a.C. dai Romani, perché è una roccia piuttosto resistente, ma leggera e facilmente lavorabile. Sono chiamati impropriamente *tufi* delle rocce arenarie tuttora usate nell'edilizia.

Composizione chimica

Le rocce magmatiche si possono classificare in base al loro contenuto di silice:

- le rocce *felsiche* (o *sialiche*) sono ricche di silice e alluminio, chiare e relativamente leggere; ne è un esempio il granito;
- le rocce *mafiche* (o *femiche*) sono povere di silice, ricche di ferro e magnesio, scure e pesanti; ne è un esempio il basalto.

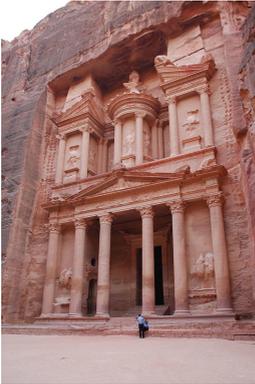
Il contenuto in silice dei magmi influisce notevolmente sulla loro capacità di risalita in superficie. I magmi felsici sono molto viscosi, per cui la loro risalita è difficoltosa. Al contrario, i magmi mafici sono più fluidi, dunque risalgono in superficie e scorrono con maggiore facilità. Ecco perché fra le rocce intrusive si trovano prevalentemente rocce felsiche, come il granito, che rimangono intrappolate all'interno della crosta terrestre, mentre le rocce effusive sono rappresentate per lo più da rocce mafiche come il basalto.

4.2.3 Rocce sedimentarie

Mentre le rocce magmatiche sono la traccia concreta di un'incessante attività interna del nostro pianeta, le rocce sedimentarie (figure 65 e 68) sono il segno delle continue trasformazioni sulla superficie terrestre.

Il termine *sedimentazione* indica il deposito e l'accumulo di materiali su terre emerse (sul fondo delle valli, ai piedi delle montagne, in riva al mare, nel deserto) o sul fondo di bacini acquei (fiumi, laghi, mari). Questi materiali sono stati trasportati dagli *agenti esogeni*: acque, venti, ghiacci.

A seconda della loro origine, le rocce sedimentarie si suddividono in rocce *clastiche*, *chimiche* e *organogene*.



(a) Petra, città giordana scolpita in arenarie



(b) Manufatti in alabastro di Volterra



(c) Le argilliti contengono spesso fossili



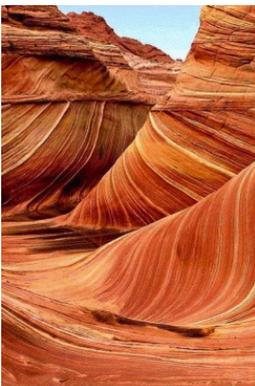
(d) Calcere tagliato in blocchi per edilizia



(e) Sabbia nel deserto del Marocco



(f) Grand Canyon (Arizona, Stati Uniti)



(g) Formazione di arenarie in Arizona (USA)



(h) Il Colosseo, a Roma, in travertino



(i) Cristalli di sale a riva del Mar Morto

Figura 68: Rocce sedimentarie

Tabella 9: Rocce clastiche

Dimensione dei granuli	Sedimento sciolto	Tipo di roccia
da 2 mm a oltre 1 m	Ghiaie con ciottoli spigolosi (hanno subito un trasporto modesto, come accade per i detriti caduti ai piedi dei versanti montuosi o alle rocce frantumate in corrispondenza delle faglie)	Breccia
	Ghiaie con ciottoli arrotondati (hanno subito un trasporto a opera di fiumi e moti marini tali da rendere la superficie levigata e la forma arrotondata)	Conglomerato (o puddinga)
da 0,0625 mm a 2 mm	Sabbie	Arenaria
da 0,0625 mm a 0,004 mm	Silt	Siltiti
meno di 0,004 mm	Argille	Argilliti

Rocce clastiche

Le rocce *clastiche* (dal greco *klastòs*, “frammento”) sono formate da frammenti (*clasti*) di altre rocce degradate. La dimensione dei frammenti riflette l’energia dell’ambiente in cui si sono depositi: quanto più sono piccoli, tanto più “tranquillo” era il mezzo (corsi fluviali, correnti marine) da cui si sono sedimentati. Il grado di arrotondamento dei granuli esprime invece l’usura subita dal frammento e dà un’idea dell’intensità del processo di trasporto che l’ha coinvolto.

Le rocce clastiche si classificano sulla base della dimensione e della forma dei granuli che le compongono. La tabella 9 mette in relazione i vari tipi di rocce e i sedimenti da cui si sono originate.

MARNA Le rocce clastiche comprendono anche la *marna*, composta una parte argillosa e una carbonatica, in proporzioni variabili (la percentuale di carbonato di calcio è compresa di solito tra il 35% e il 65%). Questa roccia deriva da depositi fangosi, di origine prevalentemente marina, sedimentati in condizioni di bassa energia del mezzo. La marna si usa nell’edilizia per preparare il cemento.

Rocce chimiche

Le rocce *chimiche* si sono deposte, e si depongono tuttora, in seguito a fenomeni chimici.

Il più evidente tra questi fenomeni è la *precipitazione* di sali disciolti nell’acqua, sul fondo dei laghi e dei mari: via via che l’acqua evapora, la concentrazione salina aumenta, e quando essa supera il valore di saturazione i sali precipitano, dando origine a minerali e rocce. Anche se in ogni massa d’acqua sono disciolti dei sali,

per formare minerali e rocce bisogna che l'acqua evapori e i sali precipitino. Perché ciò avvenga, l'acqua deve finire in un ambiente ristretto in cui gli apporti di nuova acqua siano inferiori al ritmo di evaporazione. In genere ciò avviene in ambienti aridi, con piccoli bacini scarsamente alimentati.

Le rocce formate per precipitazione si dicono *evaporiti*: ne sono esempi il gesso, l'alabastro e il travertino. Fra le rocce chimiche non evaporitiche si annoverano le rocce *residuali*, che derivano da alterazione per dissoluzione, all'aria libera, di rocce preesistenti: ne sono esempi la laterite e la bauxite.

BAUXITE La *bauxite* è la principale fonte di alluminio. Prende il nome dal paese di Les Baux-de-Provence, nel sud della Francia, dove all'inizio del XIX secolo sono state aperte le prime miniere. In passato c'erano miniere di bauxite in Puglia e in Campania; attualmente è attiva una miniera in Sardegna, vicino ad Alghero.

ALABASTRO L'*alabastro* (figura 66b) è una roccia evaporitica, costituita da gesso o calcite. Ha colore giallo-bruno, giallo chiaro o bianco-avorio. La varietà più pregiata è quella di colore bianco-avorio, che si trova in Italia nel territorio di Volterra. L'alabastro è una pietra tenera e facile a rigarsi. È utile come pregiato materiale da decorazione e il suo uso risale a tempi remoti: già nell'antico Egitto, a Creta e a Micene era sfruttato per i rivestimenti di pareti o per i vasi funebri e sarcofagi. Inoltre si usava nelle basiliche paleocristiane per l'illuminazione, in sostituzione del vetro non ancora utilizzato. Oggi si usa per realizzare soprammobili e piccole sculture.

GESSO Il *gesso* è una roccia evaporitica, formata prevalentemente dall'omonimo minerale. Di solito si presenta in formazioni ben stratificate, con inserti di argille. Si usa nell'edilizia (per produrre stucchi da interno), nelle scuole (i gessetti per scrivere sulle lavagne sono dei bastoncini composti da polvere di gesso pressata) e nello sport (nel sollevamento pesi e nella ginnastica artistica, per evitare che le mani scivolino sugli attrezzi).

TRAVERTINO Il *travertino* (dal latino *lapis Tiburtinus*, "pietra di Tibur – Tivoli") è una roccia evaporitica che si forma in seguito alla deposizione di calcite da acque sorgive, di solito in un territorio pianeggiante in cui l'acqua ha il tempo di ristagnare e sedimentarsi. Il travertino è una roccia biancastra, spesso ricca di fossili. La varietà compatta di travertino si usa come pietra da costruzione fin dai tempi dei Romani (figura 68h), mentre quella porosa si usa oggi come rivestimento. Depositi di travertino si trovano in Italia (a Tivoli) e negli Stati Uniti.

Rocce organogene

Le rocce *organogene* sono formate dall'accumulo di sostanze legate a un'attività biologica: possono essere gusci e apparati scheletrici (come le conchiglie che si



Figura 69: La “scogliera” dolomitica del Sassolungo (Trentino – Alto Adige)

osservano lungo le coste), organismi “costruttori” i cui scheletri esterni possono saldarsi l’uno all’altro (per esempio le scogliere e gli atolli costruiti da coralli nei mari tropicali) o sostanze organiche vere e proprie, dalla cui trasformazione si formano depositi particolari (come il carbon fossile).

CARBONE La formazione del *carbone* (o *carbon fossile*) risale a circa 350 milioni di anni fa, quando un clima caldo e umido e un’elevata concentrazione di anidride carbonica favorirono la crescita di alberi giganti: la loro morte e la successiva degradazione, assistita da funghi e batteri, hanno originato questo combustibile di colore scuro, composto principalmente da carbonio. Il suo sfruttamento, iniziato con la Rivoluzione industriale, dura ancor oggi. L’uso del carbone per la produzione di energia è uno dei fattori principali dell’emissione di anidride carbonica nell’atmosfera terrestre, causa dell’effetto serra e del surriscaldamento globale.

DOLOMIA La *dolomia* (figura 66c) è una roccia costituita principalmente da dolomite. Entrambi prendono il loro nome dal geologo francese Déodat de Dolomieu, che li osservò nei gruppi montuosi delle Dolomiti nel nord Italia (figura 69). La formazione della dolomia si verifica in presenza di acqua marina ipersalina (come quella che si trova nelle piane di marea); la materia organica (alghe e batteri) ne favorisce lo sviluppo. La dolomia si usa come pietra ornamentale e come materia prima per la fabbricazione del cemento.

SELCE La *selce*, composta prevalentemente da ossido di silicio (SiO_2), si forma per accumulo di resti di organismi a guscio o scheletro siliceo (certi protozoi, diatomee, spugne) o per accumulo di silice proveniente da rocce preesistenti. La selce è facilmente lavorabile in schegge affilate e resistenti: perciò è stata usata fin dalla preistoria per realizzare lame di coltelli e punte di frecce. In quanto pietra focaia, è stata adoperata anche per il funzionamento degli accendini.

CALCARE Il *calcàre* (figura 66d) è una roccia sedimentaria costituita principalmente da calcite. La parte prevalente delle rocce calcaree è di origine organogena, una parte minore è di origine chimica (evaporitica) e infine si possono formare

Nel settore orientale dell'arco alpino italiano sorge un famoso gruppo di rilievi, che i Ladini, gli antichi abitanti di quei luoghi, hanno per lungo tempo chiamato "i monti pallidi", per i colori chiari delle rocce. Secondo una leggenda ladina sarebbero stati i Silvani, i nani dei boschi e delle caverne, a rendere più chiare quelle vette, filando i raggi della Luna per tessere poi, intorno alle cime, una rete sottile e luminosa; e l'avrebbero fatto perché la figlia del re della Luna, sposa del re di quei monti, non soffrisse per la nostalgia del suo mondo lontano.

Oggi quei monti sono noti in tutto il mondo come *Dolomiti*, ma il nuovo nome non ha un'origine così poetica. Nel 1789, infatti, il geologo Déodat de Dolomieu, in viaggio lungo la strada fra Trento e Bolzano, raccolse dei campioni di una roccia di colore chiaro. In seguito si scoprì che era formata da un minerale allora non chiaramente identificato, a cui, in onore di Dolomieu, fu dato il nome di *dolomite*, mentre *dolomia* fu chiamata la roccia che lo conteneva.

Circa 200 milioni di anni fa, in un mare poco profondo, in acque calde e agitate, cominciarono a formarsi delle scogliere coralline, simili, per la forma, ad atolli; poiché il fondo del mare si abbassava lentamente, i coralli, le alghe e miriadi di altri piccoli organismi, che si concentravano lungo il bordo della scogliera, continuavano a innalzare le loro costruzioni per restare vicino alla luce, come vediamo succedere attualmente negli atolli del Pacifico. Le rocce che nascevano da questo brulichio di vita erano calcàri e dolòmie e raggiungevano così centinaia di metri di spessore.

Dopo un lungo periodo le acque divennero torbide: numerosi vulcani erano entrati in attività, spargendo i prodotti delle loro eruzioni su un'ampia area. Coralli e alghe si estinsero e furono ricoperti da lave.

Quando si innalzò la catena alpina, tutte queste rocce emersero dal mare. Le antiche scogliere formano ora i "gruppi dolomitici", con ripide pareti di rocce chiare, aride e brulle. Solo al tramonto, nei giorni sereni, quelle rupi si addolciscono di un caldo colore rosato: pochi attimi di un misterioso riflesso luminoso, che ha ispirato un'altra antica leggenda ladina. Un tempo quelle cime erano tutte fiorite di rose rosse ed erano il regno dei Nani, in cui si celavano favolosi tesori. Finché un giorno, re Laurino, per salvare il suo popolo dall'invidia dei popoli delle valli, fece un incantesimo e il roseto fu pietrificato in grigia roccia, «perché non fosse più visibile, né di giorno né di notte». Ma re Laurino, nel suo incantesimo, dimenticò il crepuscolo, che non è più giorno e non è ancora notte, e da allora, al tramonto, per un breve attimo, rivive il "giardino delle rose".

Anche questa leggenda è affascinante, ma la realtà, una volta tanto, riesce forse a superarla, perché il tempo ha operato veramente un incantesimo nelle Dolomiti: ha cristallizzato per sempre un giardino di coralli.

Nota 2: Le Dolomiti: un "giardino di coralli"

sedimenti calcarei clastici, se le rocce formatesi originariamente per via chimica od organogena sono distrutte e poi ricomposte altrove. Fra i numerosi usi delle rocce calcaree ricordiamo le costruzioni stradali e la produzione di calcestruzzo. Il nostro Appennino è formato in prevalenza da rocce calcaree dure e da argille molli.

ROSSO AMMONITICO Il *rosso ammonitico* è una roccia calcarea diffusa nelle Alpi meridionali e nell'Appennino, caratterizzata dalla presenza di *ammoniti* fossili, molluschi con una conchiglia composta prevalentemente di carbonato di calcio. Ha di solito colore rosso o rosato, per l'ossidazione del ferro. È detto anche *rosso veronese*, poiché le principali cave si trovano vicino a Verona. Si usa come pietra da costruzione (un esempio è costituito dall'Arena di Verona) e come pietra ornamentale.

FOSFORITE La *fosforite* è una roccia sedimentaria non clastica particolarmente ricca di fosforo. Costituisce la materia prima per la produzione dei concimi naturali. Può essere di origine chimica, a partire da rocce contenenti carbonato di calcio e fosforo (l'acqua scioglie il calcare ma non i fosfati) oppure organica, a partire da cumuli di deiezioni di uccelli marini (il guano è ricco di fosforo).

4.2.4 Rocce metamorfiche

Le rocce *metamorfiche* (figure 66 e 70) si ottengono dalla trasformazione di rocce preesistenti (magmatiche, sedimentarie o anche metamorfiche) che vengono a trovarsi in condizioni ambientali diverse da quelle d'origine.

Il *metamorfismo* è un processo che avviene in profondità, all'interno della crosta terrestre, senza che si arrivi alla fusione del materiale coinvolto (se ciò avviene, si origina un magma e si formano rocce magmatiche). Le trasformazioni riguardano sia i minerali (i cui atomi si riordinano secondo un diverso reticolo cristallino) che la struttura della roccia. Ci sono due tipi di metamorfismo:

- il metamorfismo *di contatto*, che interessa le rocce venute a contatto con un magma;
- il metamorfismo *regionale*, che riguarda invece grandi aree in profondità nella crosta.

Metamorfismo di contatto

Il metamorfismo *di contatto* avviene quando un magma, risalendo da zone profonde di crosta e mantello, penetra in zone meno profonde della crosta. Il magma, che si trova a temperatura più alta rispetto alle rocce circostanti, cede loro calore innescando reazioni di metamorfismo.



(a) Cave di marmo di Carrara



(b) La *Pietà* di Michelangelo, in marmo di Carrara



(c) Tetti di ardesia, a Parigi

Figura 70: Rocce metamorfiche

MARMO Il *marmo* (figura 67a) è una roccia metamorfica di origine sedimentaria: il calcare, formato da minuscoli cristalli di calcite, si trasforma in marmo, costituito da un mosaico di grossi cristalli di calcite, visibili a occhio nudo, accompagnati eventualmente da altri minerali di nuova formazione. Il basso indice di rifrazione della calcite, che permette alla luce di “penetrare” nella superficie della pietra prima di essere riflessa, dà al marmo una speciale luminosità, che lo ha reso particolarmente apprezzato per la scultura. Per esempio, Michelangelo prediligeva il “marmo bianco” di Carrara per le sue opere.

Metamorfismo regionale

Il processo più imponente per volume di rocce coinvolte è il metamorfismo *regionale*, che avviene quando i moti della crosta terrestre fanno sprofondare per chilometri masse di rocce, che vengono sottoposte ad alte temperature e a forti pressioni, dovute sia al peso delle rocce sovrastanti che a spinte tra rocce contigue. Via via che sprofondano, i minerali si modificano, per adattarsi ai nuovi valori di temperatura e pressione.

ARDESIA L'*ardesia* (figura 67b), detta anche *lavagna*, è una roccia metamorfica di origine sedimentaria, diffusa in Italia settentrionale e da secoli estratta in Liguria, nella zona costiera di Lavagna (da cui il nome). È molto compatta, di colore grigiastro e facilmente divisibile in lastre sottili, leggere e resistenti agli agenti atmosferici. L'ardesia è un materiale molto versatile: si usa per realizzare tetti, pavimenti, gradini di scale e oggetti d'uso quotidiano. La *lavagna scolastica* è notissima, ma forse non tutti sanno che il piano dei biliardi è costituito da una lastra d'ardesia.

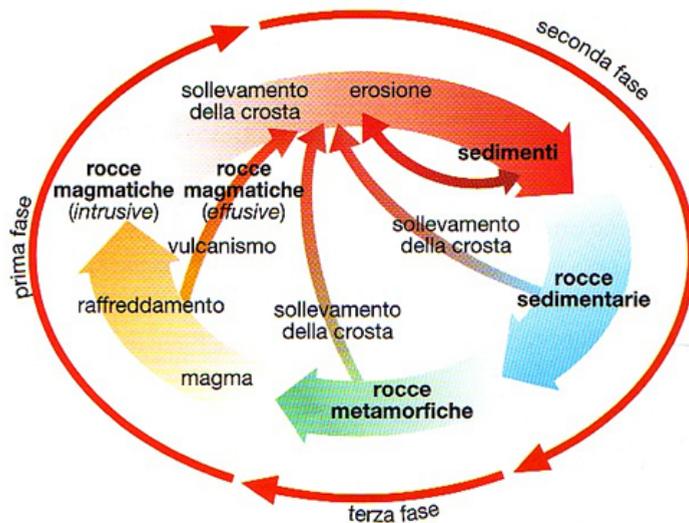


Figura 71: Ciclo delle rocce

4.2.5 Ciclo delle rocce

Anche se ciascuno di essi appare nettamente caratterizzato, i processi magmatico, sedimentario e metamorfico fanno parte in realtà di un unico *ciclo litogenetico*, di cui rappresentano diversi stadi successivi. Il ciclo può essere sintetizzato in uno schema come quello della figura 71.

- Un primo stadio comprende il *processo magmatico*, con l'inclusione e l'effusione di materiali fusi in risalita nella crosta.
- Uno stadio successivo si individua nel *processo sedimentario*, dall'alterazione e disgregazione di qualunque roccia esposta in superficie, al conseguente trasporto e accumulo di sedimenti.
- Il trasferimento di rocce dalla superficie in profondità e il loro coinvolgimento nei moti della crosta porta a un terzo stadio, quello del *processo metamorfico*, che, attraverso i fenomeni di fusione, ci riporta al processo magmatico.

Tutto ciò in teoria, perché nella realtà ci sono svariate complicazioni, come alcune possibili "scorciatoie" attraverso cui una roccia può saltare uno stadio. Per esempio, una roccia magmatica può venire metamorfosata senza prima essere aggredita o demolita dal processo sedimentario; una roccia sedimentaria, invece di avviarsi al processo metamorfico, può essere esposta in superficie subito dopo la sua formazione e venir quindi erosa e trasformata in una diversa roccia sedimentaria; una roccia metamorfica può essere sollevata ed esposta direttamente in superficie, senza prima subire fenomeni di rifusione.

Inoltre il ciclo non è perfettamente chiuso: gran parte delle rocce originate dal magma che risale dal mantello ritorna per fusione al mantello, ma una parte rimane “prigioniera” della crosta continentale, in continuo lento accrescimento. Il ciclo non è chiuso nemmeno nei confronti di perdite verso l'esterno: l'idrosfera e l'atmosfera continuano ad arricchirsi di componenti, grazie ai processi vulcanici.

4.3 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi non impara le scienze della Terra.

Minerali

1

Indica la risposta corretta.

- a. Nel tetraedro silicio-ossigeno, per ogni atomo di silicio quanti atomi di ossigeno ci sono?

A 1 B 2 C 3 D 4

- b. Nel legame covalente gli atomi sono uniti da:

A una coppia di elettroni C uno scambio di elettroni
 B una coppia di protoni D una moltitudine di elettroni

- c. L'atomo più abbondante nei silicati è:

A il silicio B l'ossigeno C l'alluminio D il calcio

- d. Il minerale più resistente dei silicati è quello in cui i tetraedri silicio-ossigeno sono:

A isolati C tutti uniti assieme
 B uniti due a due D per tre vertici

- e. Le miche appartengono alla famiglia dei:

A nesosilicati B fillosilicati C tectosilicati D feldspati

- f. Nel tetraedro silicio-ossigeno ogni atomo di Si è legato all'O con:

A un legame covalente C tre legami ionici B due legami ionici D quattro legami covalenti

g. Nel tetraedro silicio-ossigeno ogni atomo di O è legato al Si con:

 A un legame covalente C due legami ionici B un legame ionico D tre legami ionici

[2 risposte A, 2 B, 1 C e 2 D]

2 Indica la risposta corretta.

a. Nel tetraedro silicio-ossigeno sono legati assieme i seguenti atomi:

 A 4 di O e 2 di Si C 2 di O e 2 di Si B 4 di Si e 2 di O D 1 di Si e 4 di O

b. Quale atomo dei silicati ha la tendenza ad accettare elettroni:

 A l'ossigeno B il silicio C l'alluminio D il ferro

c. Quale delle seguenti affermazioni è sbagliata?

 A il quarzo è un silicato C l'amianto è un tectosilicato B il plagioclasio è un silicato D i feldspati sono tectosilicati

d. Quale minerale presenta i tetraedri silicio-ossigeno tutti uniti assieme:

 A il quarzo B le miche C l'amianto D la biotite

e. Negli inosilicati a catena singola ogni tetraedro silicio-ossigeno è unito per:

 A 1 vertice B 2 vertici C 3 vertici D 4 vertici

f. Nei fillosilicati i tetraedri sono uniti per:

 A 1 vertice B 2 vertici C 3 vertici D 4 vertici

g. Gli ioni sono atomi che:

 A hanno condiviso due elettroni B hanno ceduto o acquistato elettroni

C hanno ceduto uno o più protoni D hanno più orbitali

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

3 Indica la risposta corretta.

a. Quali dei seguenti minerali appartiene alla famiglia dei tectosilicati:

A olivina B amianto C quarzo D biotite

b. L'amianto è un minerale:

A nesosilicato B inosilicato C fillosilicato D tectosilicato

c. Un minerale è :

- A un composto chimico del silicio
 B un insieme di atomi tutti diversi
 C un composto chimico dell'ossigeno
 D un solido naturale con una composizione chimica definita

d. Nel quarzo i tetraedri silicio-ossigeno si uniscono con:

- A 1 legame ionico e 3 covalenti C 2 legami covalenti e 2 ionici
 B solo legami covalenti D 1 legame ionico e 3 covalenti

e. L'atomo che caratterizza i feldspati è:

A l'ossigeno B l'alluminio C il calcio D il potassio

f. Il silicato più pesante è quello con i tetraedri silicio-ossigeno uniti per:

A nessun vertice B 2 vertici C 3 vertici D 4 vertici

g. Il silicato più leggero è quello con i tetraedri silicio-ossigeno uniti per:

A nessun vertice B 2 vertici C 3 vertici D 4 vertici

[2 risposte A, 2 B, 1 C e 2 D]

4 Indica la risposta corretta.

a. Il silicato più leggero è:

- A il plagioclasio B l'olivina C l'ortoclasio D il quarzo
- b. Il silicato più denso è:
- A il quarzo B l'olivina C l'ortoclasio D il plagioclasio
- c. L'olivina è un minerale:
- A nesosilicato B inosilicato C tectosilicato D feldspato
- d. Il plagioclasio è un minerale:
- A inosilicato B fillosilicato C tectosilicato D nesosilicato
- e. L'olivina è un minerale che ha i tetraedri silicio-ossigeno:
- A uniti due a due C uniti per tutti i vertici
 B uniti tre a tre D isolati
- f. La muscovite è un minerale che appartiene alla famiglia dei:
- A nesosilicati B fillosilicati C tectosilicati D feldspati
- g. Se due atomi appartengono allo stesso periodo significa che hanno:
- A gli stessi orbitali C lo stesso numero di elettroni esterni
 B lo stesso numero di elettroni D lo stesso numero atomico

[2 risposte A, 2 B, 1 C e 2 D]

5 Indica la risposta corretta.

- a. L'ossigeno è un atomo del VI gruppo e tende a:
- A cedere i suoi elettroni esterni C fare un legame covalente
 B acquistare due elettroni D acquistare 4 elettroni
- b. Nella tavola periodica il gruppo indica il numero:
- A di protoni dell'atomo C di orbitali dell'atomo
 B di neutroni dell'atomo D di elettroni dell'ultimo orbitale

c. Un atomo del VII gruppo tende a fare:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> A un legame covalente | <input type="checkbox"/> C due legami ionici |
| <input type="checkbox"/> B un legame ionico | <input type="checkbox"/> D due legami covalenti |

d. Un atomo del primo gruppo tenderà a fare:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> A un legame ionico | <input type="checkbox"/> C due legami ionici |
| <input type="checkbox"/> B un legame covalente | <input type="checkbox"/> D due legami covalenti |

e. Il sodio è un elemento del I gruppo e tende a formare:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> A due legami ionici | <input type="checkbox"/> C un legame ionico |
| <input type="checkbox"/> B due legami covalenti | <input type="checkbox"/> D tre legami covalenti |

f. Il sodio è un elemento del I gruppo e tende a:

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> A cedere il suo elettrone esterno | <input type="checkbox"/> C fare un legame covalente |
| <input type="checkbox"/> B acquistare due elettroni | <input type="checkbox"/> D acquistare 4 elettroni |

g. Gli atomi dell'VIII gruppo formano:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> A solo legami covalenti | <input type="checkbox"/> C solo legami ionici |
| <input type="checkbox"/> B legami ionici e covalenti | <input type="checkbox"/> D nessuna risposta è esatta |

[2 risposte A, 2 B, 1 C e 2 D]

6 Indica la risposta corretta.

a. Gli atomi di potassio sono del primo gruppo e formano:

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> A un legame ionico | <input type="checkbox"/> C due legami ionici |
| <input type="checkbox"/> B due legami covalenti | <input type="checkbox"/> D tre legami covalenti |

b. Se due atomi appartengono allo stesso gruppo significa che hanno:

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> A gli stessi orbitali | <input type="checkbox"/> C lo stesso numero di elettroni esterni |
| <input type="checkbox"/> B lo stesso numero di elettroni | <input type="checkbox"/> D lo stesso numero atomico |

c. Il berillio appartiene al secondo periodo; quanti elettroni ha?

- A 2 B 4 C 6 D 8

d. L'olivina è un minerale che ha come unità fondamentale:

- A SiO_4 B Cl C CO_3 D SO_4

e. Un minerale è:

- A una sostanza naturale formata da un solo elemento
 B un aggregato di cristalli organici di grosse dimensioni
 C la più piccola parte di materia che compone la terra solida
 D una sostanza inorganica cristallina formata da uno o più elementi chimici

f. Il boro, che ha complessivamente 5 elettroni, appartiene al:

- A 1° periodo e V gruppo C 3° periodo e I gruppo
 B 2° periodo e III gruppo D 3° periodo e II gruppo

g. Nei tetraedri silicio-ossigeno dei feldspati alcuni atomi di Si sono sostituiti da:

- A Ca B Mg C K D Al

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

7 Indica la risposta corretta.

a. La biotite è un minerale dei:

- A nesosilicati B solfati C fillosilicati D feldspati

b. Il minerale meno resistente dei silicati è quello in cui i tetraedri silicio-ossigeno sono:

- A isolati C uniti per 3 vertici
 B uniti due a due D uniti assieme

c. L'ortoclasio è un minerale:

- A nesosilicato B inosilicato C fillosilicato D tectosilicato

d. Un minerale nesosilicato è:

A la biotite B l'ortoclasio C il quarzo D l'olivina

e. I feldspati sono meno resistenti o meno duri di:

A muscovite B quarzo C olivina D miche

f. I minerali sono formati da:

A un composto B più composti C solo silicati D rocce

g. Quale elemento è sempre presente nei silicati?

A magnesio B alluminio C ossigeno D ferro

[2 risposte A, 1 B, 2 C e 2 D]

Rocce

8 Indica la risposta corretta.

a. Una roccia è:

- A un composto chimico del silicio
 B un solido a composizione chimica eterogenea
 C un composto chimico dell'ossigeno
 D un solido con una composizione chimica omogenea

b. Nella puddinga prevalgono sedimenti di dimensioni:

- A piccolissime (meno di un millimetro)
 B intermedie (circa di un millimetro)
 C elevate (superiori al centimetro)
 D invisibili

c. L'arenaria è una roccia:

- A magmatica B sedimentaria C metamorfica D intrusiva

d. La puddinga si forma in ambiente:

- A marino B montano C fluviale D oceanico

e. Il gabbro si differenzia dal granito per:

- | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <input type="checkbox"/> A | composizione chimica del magma | <input type="checkbox"/> C | luogo di formazione |
| <input type="checkbox"/> B | tipo di struttura | <input type="checkbox"/> D | tempo di raffreddamento |

f. Il travertino è una roccia:

- | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------|----------------------------|-------------|
| <input type="checkbox"/> A | evaporitica | <input type="checkbox"/> B | intrusiva | <input type="checkbox"/> C | effusiva | <input type="checkbox"/> D | metamorfica |
|----------------------------|-------------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------|----------------------------|-------------|

g. Dalla metamorfosi di un'argillite si forma:

- | | | | | | | | |
|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|---------------|----------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> A | il calcare | <input type="checkbox"/> B | il carbone | <input type="checkbox"/> C | il travertino | <input type="checkbox"/> D | l'ardesia |
|----------------------------|------------|----------------------------|------------|----------------------------|---------------|----------------------------|-----------|

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

9 Indica la risposta corretta.

a. L'ossidiana è una roccia:

- | | | | | | | | |
|----------------------------|-------------|----------------------------|-----------|----------------------------|--------------|----------------------------|-----------|
| <input type="checkbox"/> A | metamorfica | <input type="checkbox"/> B | vulcanica | <input type="checkbox"/> C | sedimentaria | <input type="checkbox"/> D | intrusiva |
|----------------------------|-------------|----------------------------|-----------|----------------------------|--------------|----------------------------|-----------|

b. Il basalto è una roccia mafica effusiva, per cui è:

- | | | | |
|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| <input type="checkbox"/> A | chiara e leggera | <input type="checkbox"/> C | densa e con piccoli cristalli |
| <input type="checkbox"/> B | chiara e con grandi cristalli | <input type="checkbox"/> D | leggera con grandi cristalli |

c. Il basalto si differenzia dal profido per:

- | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <input type="checkbox"/> A | composizione chimica del magma | <input type="checkbox"/> C | luogo di formazione |
| <input type="checkbox"/> B | tipo di struttura | <input type="checkbox"/> D | tempo di raffreddamento |

d. Nei conglomerati prevalgono sedimenti di dimensioni:

- | | |
|----------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> A | piccolissime (meno di un millimetro) |
| <input type="checkbox"/> B | intermedie (circa di un millimetro) |
| <input type="checkbox"/> C | elevate (superiori al centimetro) |
| <input type="checkbox"/> D | invisibili |

e. Il porfido è una roccia magmatica simile al basalto per:

- A la presenza della stesse famiglie di minerali
- B l'assenza di strutture cristalline
- C l'abbondanza di grandi cristalli
- D la struttura microcristallina

f. Granito e porfido si distinguono per:

- A la composizione chimica del magma
- B i minerali che li compongono
- C la densità
- D la struttura cristallina

g. Se una roccia presenta grandi cristalli significa che è:

- A effusiva
- B intrusiva
- C leggera
- D vulcanica

[1 risposta A, 2 B, 2 C e 2 D]

10 Indica la risposta corretta.

a. Le rocce magmatiche intrusive sono caratterizzate da:

- A cristalli di piccole dimensioni
- B cristalli di grandi dimensioni
- C assenza di cristalli
- D presenza di fossili tra gli strati

b. La metamorfosi di una roccia è causata:

- A dall'aumento di minerali nella roccia
- B dall'aumento di pressione e temperatura nella roccia
- C dalla diminuzione graduale della pressione
- D dalla riduzione della velocità degli atomi

c. Quali dei seguenti minerali si trova nel calcare?

- A olivina
- B calcite
- C quarzo
- D dolomite

d. Una roccia sedimentaria di origine organogena è:

A la puddinga B il porfido C il carbone D l'ardesia

e. Per risalire all'ambiente di formazione delle rocce magmatiche bisogna osservare:

A la dimensione degli strati rocciosi C la densità delle rocce
 B il colore delle rocce D la struttura delle rocce

f. Le rocce magmatiche intrusive sono:

A granito e gabbro C basalto e ossidiana
 B porfido e basalto D arenaria e marna

g. Il carbone si forma in ambiente:

A marino B montano C paludoso D oceanico

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

11 Indica la risposta corretta.

a. L'argillite è una roccia:

A sedimentaria B intrusiva C magmatica D metamorfica

b. Dalla metamorfosi del calcare si forma:

A il marmo B il carbone C il travertino D l'ardesia

c. Il carbone è una roccia:

A intrusiva B effusiva C sedimentaria D metamorfica

d. La dolomia è una roccia:

A metamorfica B vulcanica C effusiva D sedimentaria

e. Il marmo è una roccia:

A intrusiva B metamorfica C sedimentaria D vulcanica

f. Il travertino è una roccia formata prevalentemente da:

A quarzo B olivina C calcare D plagioclasio

g. Il travertino è una roccia formatasi in ambiente:

- A marino B vulcanico C sotterraneo D fluviale

[2 risposte A, 1 B, 2 C e 2 D]

12 Indica la risposta corretta.

a. Il carbone si forma in ambiente:

- A paludoso B oceanico C montano D marino

b. Se compaiono fossili in una roccia, questa è sicuramente:

- A vulcanica B mafica C intrusiva D sedimentaria

c. Una delle rocce metamorfiche più importanti è:

- A l'ossidiana B il granito C il gabbro D il marmo

d. Una delle rocce sedimentarie più importanti è :

- A l'ossidiana B il granito C l'arenaria D il marmo

e. Il petrolio una roccia:

- A intrusiva B effusiva C sedimentaria D metamorfica

f. La marna è composta da parti uguali di:

- A argilla e carbonato di calcio C sabbia e carbonato di calcio
 B argilla e sabbia D limo e argilla

g. Il petrolio è una tipica roccia:

- A metamorfica B sedimentaria C mafica D felsica

[2 risposte A, 1 B, 2 C e 2 D]

13 Indica la risposta corretta.

a. I minerali sono formati da:

- A un composto B più composti C solo silicati D rocce

b. Il nostro Appennino è formato da strati alternati di:

A marmo e granito

C marmo e argilla

B marna e calcare

D marna e arenaria

c. La diagenesi o litificazione trasforma:

A sedimenti in roccia

C rocce sedimentarie in metamorfiche

B rocce in sedimenti

D rocce ignee in metamorfiche

d. Le rocce sedimentarie chimiche si formano per:

A cementazione di frammenti di rocce

C aggregazione di più minerali

B disgregazione di altre rocce

D evaporazione di acque salate

e. Per formare cristalli di grandi dimensioni bisogna:

A raffreddare velocemente il magma

C raffreddare lentamente il magma

B riscaldare lentamente una roccia

D avere atomi pesanti

f. La breccia si forma in ambiente:

A lacustre

B montano

C marino

D oceanico

g. Per formare cristalli di piccole dimensioni bisogna:

A avere atomi pesanti

C raffreddare velocemente il magma

B riscaldare lentamente una roccia

D raffreddare lentamente il magma

[2 risposte A, 1 B, 2 C e 2 D]

14 Vero o falso?

a. Le rocce si dividono in magmatiche, sedimentarie e metamorfiche. V F

c. Rocce sedimentarie se sottoposte a temperature altissime fondono. V F

b. Una roccia magmatica non può trasformarsi in una roccia sedimentaria. V F

d. Le rocce metamorfiche derivano dalla sedimentazione di frammenti di roccia. V F

- e. Le evaporiti sono rocce sedimentarie. V F
- f. Le rocce sedimentarie si classificano in base alla dimensione dei frammenti. V F
- g. Le rocce sedimentarie spesso si presentano stratificate. V F
- h. Le Dolomiti sono costituite da rocce sedimentarie organogene. V F
- i. Le rocce hanno una formula chimica. V F
- j. I minerali sono formati da una o più rocce. V F
- [8 affermazioni vere e 2 false]

15 Indica la risposta corretta.

a. Basalto e gabbro si distinguono per:

- A la composizione del magma C la struttura cristallina
- B i minerali che li compongono D la densità

b. La breccia è una roccia:

- A vulcanica B intrusiva C metamorfica D sedimentaria

c. Le rocce magmatiche effusive sono caratterizzate da:

- A cristalli di piccole dimensioni C assenza di cristalli
- B cristalli di grandi dimensioni D presenza di fossili tra gli strati

d. Quali dei seguenti minerali si trova nel basalto?

- A olivina B calcite C quarzo D dolomite

e. Il travertino è una roccia formata prevalentemente da:

- A quarzo B olivina C calcare D plagioclasio

f. Il gabbro è una roccia:

- A metamorfica B sedimentaria C vulcanica D plutonica

g. Una roccia sedimentaria di origine chimica è:

- A il carbone B il calcare C il porfido D l'ardesia

[2 risposte A, 1 B, 2 C e 2 D]

16 Indica la risposta corretta.

a. Vasti depositi di evaporiti indicano che in passato l'area era caratterizzata da:

C raffreddamento veloce

D riscaldamento veloce

c. I sedimenti sono:

A rocce sedimentarie

C sabbia, ghiaia e argilla

B granito e altre rocce

D l'arenaria

d. Le rocce sedimentarie si riconoscono per:

A cristalli disposti a strati

C colore più chiaro

B sedimenti disposti a strati

D densità meno elevata

e. I principali fattori del metamorfismo sono:

A la temperatura e l'azione dei fluidi

C la pressione e l'azione dei fluidi

B la pressione e la temperatura

D nessuno dei precedenti

[2 risposte A, 1 B, 1 C e 1 D]

5

VULCANI E TERREMOTI

Il nostro pianeta, come abbiamo visto parlando delle rocce magmatiche e metamorfiche, è geologicamente attivo, sottoposto cioè all'azione di forze *endogene* di notevole intensità. Questo capitolo tratta i fenomeni vulcanici e sismici, causati da queste forze, e descrive la struttura della Terra e la sua dinamica interna.

5.1 VULCANI

Uno dei segni più evidenti dell'irrequietezza del nostro pianeta è rappresentato dai suoi oltre cinquecento vulcani attivi.

Definizione 23. Un *vulcano* è una struttura geologica che si genera all'interno della crosta terrestre per la risalita di massa rocciosa fusa, chiamata *magma*, formatasi al di sotto o all'interno della crosta terrestre.

Comunemente, con il termine *vulcano* ci si riferisce solo alla parte esterna e visibile dell'apparato vulcanico, ossia al rilievo, più o meno conico, formato dal-

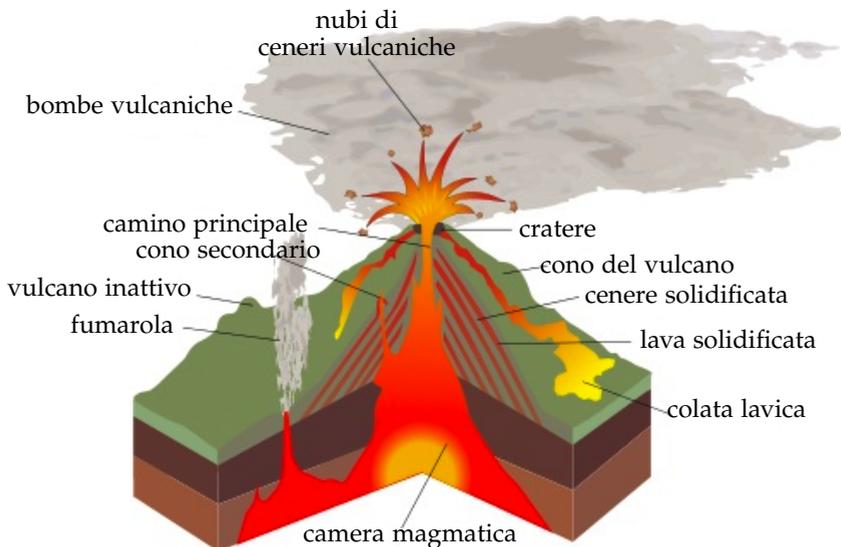


Figura 72: Schema strutturale di un vulcano

l'accumulo dei materiali emessi durante le varie fasi eruttive del vulcano stesso. La fuoriuscita di materiale è detta *eruzione* e i materiali eruttati sono lava, cenere, lapilli, gas, scorie varie e vapore acqueo.

La forma e l'altezza di un vulcano dipendono da vari fattori tra cui l'età del vulcano, il tipo di attività eruttiva, il tipo di magma emesso e le caratteristiche della struttura vulcanica sottostante al rilievo vulcanico.

5.1.1 Struttura di un vulcano

Un generico vulcano (figura 72) è formato da:

- una *camera magmatica*, ovvero il serbatoio sotterraneo che contiene il magma che alimenta il vulcano;
- un *camino* o *condotto vulcanico principale*, luogo di transito del magma dalla camera magmatica verso la superficie;
- un *cratere*, dove sgorga il condotto principale;
- degli eventuali *condotti secondari*, che, sbucando dai fianchi del vulcano o dalla stessa base, danno vita a coni e crateri secondari.
- delle eventuali *fessure laterali*, fratture longitudinali sul fianco del vulcano provocate dalla pressione del magma.

Magma

Il *magma* è costituito da roccia fusa, acqua, altri fluidi e sostanze gassose in esso disciolte. Dal punto di vista chimico il magma è distinto dalla *lava*, poiché a differenza di quest'ultima possiede ancora la componente gassosa disciolta. Ci sono due tipi di magma: il magma *primario* e quello *secondario*.

- Il magma *primario* si forma per fusione del mantello sottostante la crosta terrestre. La roccia fusa è povera di silice (è *mafica*). Questo magma è fluido e quindi attraversa velocemente la crosta terrestre. Questa sua alta velocità di risalita ne ostacola il raffreddamento, per cui la temperatura al momento dell'eruzione è elevata (circa 1200 °C).
- Il magma *secondario* si forma nella crosta terrestre. La roccia fusa è ricca di silice (è *felsica*) e spesso di acqua. Di conseguenza, questo magma è molto viscoso e tende a solidificare all'interno della crosta terrestre formando un *plutone*. Raggiunge raramente la superficie terrestre e, quando ciò accade, avviene in modo violento ed esplosivo.

Il processo di formazione di un vulcano può essere sintetizzato nelle seguenti tappe:



Figura 73: Materiali prodotti durante un'eruzione vulcanica esplosiva

- genesi del magma (primario o secondario);
- risalita del magma, dovuta alla differenza di densità con le rocce circostanti;
- eventuale stagnazione in una *camera magmatica*, dove avvengono dei processi di cristallizzazione dei minerali;
- risalita del magma verso la superficie.

Lava

La brusca diminuzione della pressione, al passaggio in ambiente esterno alla crosta terrestre, fa sì che i gas disciolti nel magma subiscano una repentina evaporazione, separandosi dal magma che cambia la sua composizione chimica e si trasforma in *lava*. Il termine *lava* si riferisce sia alla roccia allo stato fuso che fuoriesce in seguito a una eruzione che alla stessa roccia solidificata dopo il raffreddamento.

Piroclasti

I *piroclasti* (dal greco *pyr*, "fuoco", e *klastòs*, "frammento") sono il prodotto della frammentazione del magma nel corso di una eruzione vulcanica esplosiva (figura 73). In base alle loro dimensioni si distinguono in *cenere vulcanica* (particelle dell'ordine di un millimetro), *lapilli* (qualche decina di millimetri) e *bombe di lava* (un centimetro o più). L'accumulo di questi frammenti determina la formazione dei depositi piroclastici.

CENERE VULCANICA La *cenere vulcanica* si forma nella fase esplosiva di un'eruzione: le rocce che racchiudono il condotto vulcanico si frantumano e il magma si separa in minuscole particelle, che possono rimanere sospese nell'atmosfera per anni, propagandosi grazie ai venti. Se lo strato di cenere sospesa è particolarmente denso ed esteso, la cenere può schermare la radiazione solare.

LAPILLI I *lapilli* sono piccoli frammenti solidi di lava, che vengono espulsi con violenza dai vulcani durante eruzioni di tipo esplosivo.

L'isola di Martinica fa parte dell'arcipelago delle Piccole Antille, nel mar dei Caraibi. Scoperta da Cristoforo Colombo nel 1502, fu per secoli una colonia francese; oggi è un Dipartimento d'Oltremare di Francia.

Nella parte settentrionale della Martinica c'è un vulcano chiamato La Pelée — “la (montagna) pelata”, per la sua sommità arida — che si trova a sei chilometri dalla città di Saint-Pierre, dove all'inizio del Novecento vivevano trentamila abitanti, occupati prevalentemente nella produzione del rum e della canna da zucchero.

Fino al 1902 il vulcano non aveva destato particolari preoccupazioni. Nel 1792 e nel 1851 c'erano state delle emissioni di fumo e cenere, ma nessun danno. Nulla faceva pensare che quella montagna costituisse un pericolo.

Nell'aprile del 1902 si erano verificate delle scosse di terremoto e un'esplosione di fumo e lapilli, a seguito della quale una coltre di cenere ricoprì i tetti e le strade della città. Un forte odore di zolfo si diffuse fra le case, e molti camminavano per strada tenendo fazzoletti bagnati davanti al naso.

Il quotidiano di Saint-Pierre non diede rilievo a questi fenomeni: l'11 maggio c'erano le elezioni amministrative, e non si voleva che, presi dal panico, gli elettori lasciassero la città, togliendo voti a qualche partito. Una commissione di scienziati convocata appositamente disse che non c'era alcun pericolo per la città. Forse si pensava che potesse verificarsi solo un'eruzione di lava: il magma, lento nello scendere a valle, avrebbe dato il tempo agli abitanti di scappare verso sud.

Si arriva così al giorno della catastrofe, l'8 maggio 1902. Verso le 8 di mattina ci fu una spaventosa esplosione, e una nube nera composta di cenere e vapori incandescenti rotolò rapidamente lungo le falde della montagna.

Su tutta la Martinica il cielo si oscurò e divenne impossibile vedere a oltre un paio di metri di distanza. In pochi minuti la *nube piroclastica*, che si muoveva a più di 150 chilometri all'ora, raggiunse Saint-Pierre e investì l'abitato, provocando il crollo di moltissime abitazioni, bruciando e distruggendo tutto.

Solo una persona si salvò. Auguste Ciparis era un carcerato, che si trovava nella prigione della città, in una cella isolata, dalle spessissime pareti, con una piccola finestra rivolta dalla parte opposta al vulcano. Ciparis raccontò poi che quella mattina la sua cella cadde improvvisamente nell'oscurità. Dalla finestra della sua cella arrivarono ventate di aria rovente mista a cenere. Con le ferite sanguinanti provocate dalle ustioni, Ciparis rimase per quattro giorni sotto le macerie; alla fine i suoi lamenti richiamarono l'attenzione di alcuni soccorritori giunti presso le rovine della città.

Il disastro del La Pelée ricorda la tragedia di Pompei, soprattutto per le avvisaglie ignorate e poi per la rapidità dell'onda della morte. Oggi, nella Saint-Pierre risorta dal disastro di un secolo fa, si può visitare un museo che ospita oggetti che testimoniano quel lontano cataclisma. E accanto alla città nuova si possono visitare le rovine del 1902.

Nota 3: Saint-Pierre in Martinica, la “Pompei d’America”



Figura 74: Vulcani attivi in Italia

BOMBA DI LAVA Una *bomba di lava* è un “goccia” di roccia vulcanica. Durante un’eruzione esplosiva alcuni frammenti di lava dotati di una particolare viscosità vengono espulsi dal vulcano. Prima di raggiungere il suolo, si raffreddano e si solidificano. Le bombe di lava possono essere scagliate a molti chilometri di distanza dal luogo dell’eruzione, e spesso acquistano forme aerodinamiche durante il loro volo.

5.1.2 Classificazione

I vulcani si possono classificare in base al tipo di apparato vulcanico esterno o al tipo di attività eruttiva: entrambe queste caratteristiche sono strettamente legate alla composizione del magma (e quindi della lava) che emettono.

- Un vulcano *a scudo* (figura 75b) presenta fianchi con pendenza moderata. Il nome viene dalla sua geometria, che lo fa somigliare a uno scudo appoggiato al terreno. È costruito dall’eruzione di magma basaltico fluido. I più grandi vulcani della Terra sono vulcani a scudo.
- Un vulcano *a cono* (figura 75a) è costruito dall’eruzione di magma felsico viscoso, che trova difficoltà nel risalire, solidificando velocemente una volta fuori. Alle emissioni laviche si alternano emissioni di piroclasti, che, alternandosi con le colate, formano gli strati dell’edificio. Queste eruzioni possono essere molto violente, come quella del Vesuvio (figura 75c) che seppellì



(a) Il Mauna Kea (Hawaii) è un vulcano a scudo



(b) Il monte Fuji (Giappone) è un vulcano a cono



(c) L'eruzione del Vesuvio (Napoli) del 79 ha distrutto le città di Ercolano e Pompei.



(d) L'Etna (Sicilia) è un vulcano ancora attivo.



(e) Eruzione del vulcano Plosky Tolbachik (Russia)



(f) I fiumi di lava, al loro passaggio, distruggono tutto.

Figura 75: Vulcani

Pompei ed Ercolano, poiché il magma tende a ostruire il camino vulcanico creando un “tappo” che verrà distrutto da un’esplosione.

- Un vulcano *sottomarino* è una spaccatura della crosta oceanica, da cui fuoriescono magma e gas. I vulcani sottomarini sono i più diffusi sulla Terra e hanno dato vita alle dorsali oceaniche e alle isole di origine vulcanica.

5.2 TERREMOTI

Assieme ai vulcani, i terremoti sono la manifestazione più evidente delle notevoli forze che si originano all’interno della Terra.

Definizione 24. Un *terremoto*, detto anche *sisma* (dal greco “scossa”), è una brusca vibrazione del suolo, provocata dallo spostamento o dalla frattura di una massa rocciosa nel sottosuolo.

Nel sottosuolo si verificano fenomeni che deformano, comprimono e dilatano le rocce, che così accumulano (a volte in un arco di tempo lunghissimo) enormi quantità di energia. Quando si verifica un terremoto, l’energia accumulata viene liberata molto velocemente: le rocce si fratturano e l’energia si dissipa in parte sotto forma di calore, in parte sotto forma di *onde sismiche*, vibrazioni che si propagano all’interno della Terra e giunte in superficie generano le scosse che percepiamo.

Il punto interno alla Terra da cui si originano le vibrazioni che causano il terremoto è detto *ipocentro* (in greco *hypò* significa “sotto”), mentre il punto sulla superficie terrestre sulla verticale dell’ipocentro è detto *epicentro* (in greco *epì* significa “sopra”). Nell’epicentro e nelle sue immediate vicinanze si registrano i danni più gravi, che via via si riducono allontanandosi da esso (figura 76).

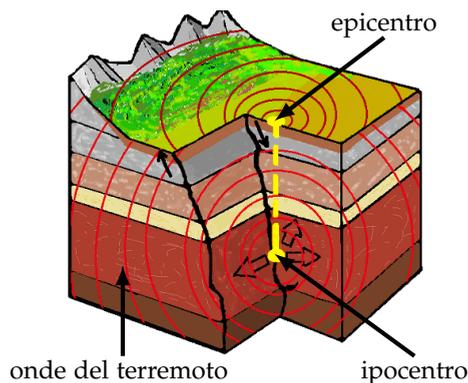


Figura 76: Ipocentro ed epicentro

Ogni anno sulla Terra si verificano circa un milione di terremoti, in media uno ogni trenta secondi, la maggior parte dei quali, fortunatamente, non ha effetti sulle costruzioni e non è avvertita dalle persone.

5.2.1 Onde sismiche

Gli effetti distruttivi dei terremoti sono dovuti alla propagazione delle *onde sismiche*, che si originano sia dall'ipocentro che dall'epicentro. Le onde sismiche sono *onde elastiche*, attraverso cui l'*energia elastica* può essere trasportata lontano dal punto in cui si è originata. Le onde elastiche hanno bisogno di un mezzo attraverso cui propagarsi: la propagazione delle onde sismiche avviene attraverso un meccanismo di deformazione delle rocce. Le onde sismiche si dividono in *onde profonde* e *onde superficiali* (figura 78).

Onde profonde

Le *onde profonde* si propagano dall'ipocentro. In base al tipo di deformazione che causano e alla velocità con cui si propagano, si distinguono in onde *P* (primarie) e onde *S* (secondarie):

- le onde *P* sono *longitudinali*: al loro passaggio le particelle del mezzo attraversato compiono un moto oscillatorio nella direzione di propagazione dell'onda, comprimendo e dilatando in successione il mezzo, come una fisarmonica (figura 77a); sono dette *primarie* perché sono le prime a giungere in superficie e a essere registrate dai sismografi;
- le onde *S* sono *trasversali*: provocano nel mezzo attraversato oscillazioni perpendicolari alla direzione di propagazione, come le onde che si propagano lungo una corda che viene fatta oscillare muovendone le due estremità

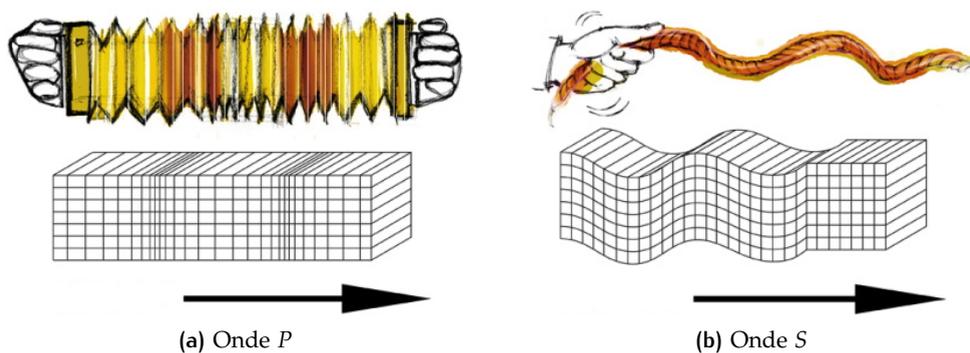


Figura 77: Onde sismiche profonde

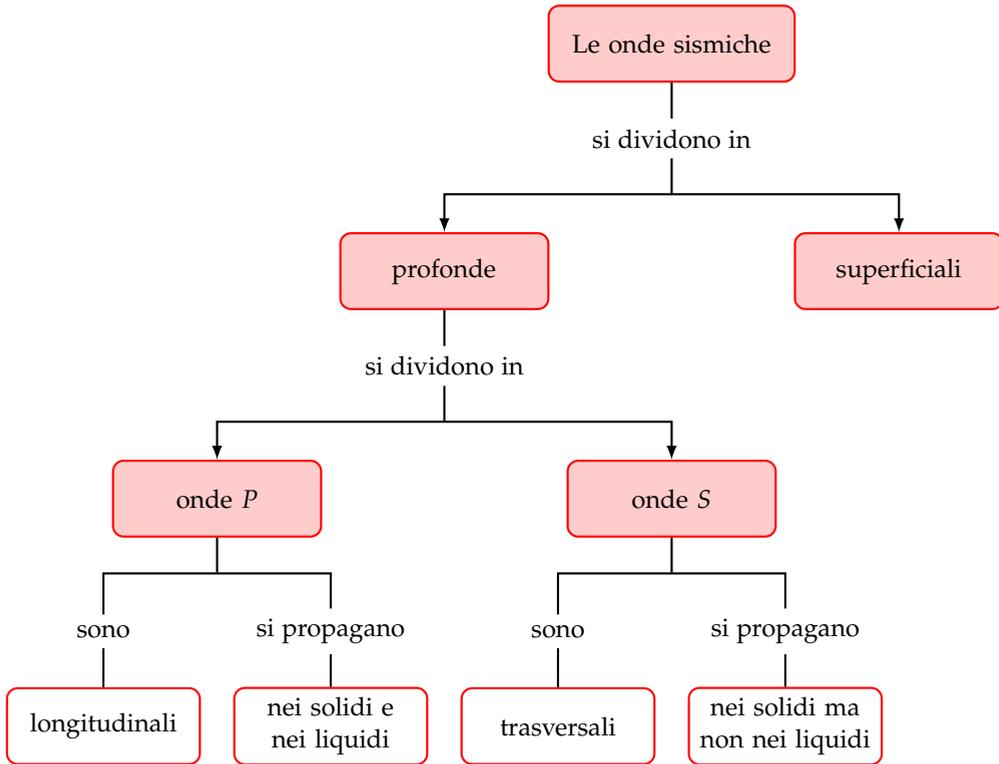


Figura 78: Classificazione delle onde sismiche

(figura 77b); sono dette *secondarie* perché, essendo più lente delle onde *P*, giungono in superficie per seconde.

Mentre le onde *P* possono propagarsi attraverso un mezzo sia solido (la roccia) che liquido (magma o acqua), le onde *S* non possono propagarsi nei fluidi: questa proprietà è stata storicamente molto importante per gli studi geofisici riguardanti la composizione in profondità della Terra.

Onde superficiali

Le *onde superficiali* si originano nell'epicentro, quando le onde *S* e *P*, giunte sulla superficie terrestre, interagiscono con essa. Le onde superficiali si propagano appunto lungo la superficie terrestre e sono responsabili dei danni maggiori.

5.2.2 Registrazione dei terremoti

Le vibrazioni del suolo dovute alle onde sismiche, la loro intensità e la loro durata possono essere registrate da strumenti chiamati *sismografi*, che traducono il moto

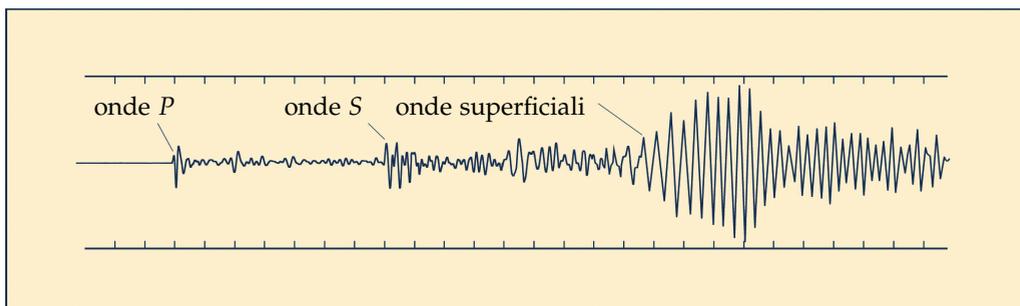


Figura 79: Un sismogramma

oscillatorio del suolo durante un terremoto in un grafico detto *sismogramma*. Sulla superficie terrestre sono distribuite diverse stazioni sismiche, che costituiscono una rete sismica che permette di controllare tutta la superficie terrestre: il confronto dei dati ottenuti dalle diverse stazioni sismiche permette di localizzare ipocentro ed epicentro di un terremoto, e di valutarne l'intensità.

Il tracciato di un sismogramma (figura 79) permette di distinguere le diverse onde sismiche generate da un terremoto poiché, propagandosi con velocità diverse, le onde sismiche giungono al sismografo in tempi diversi, risultando dunque facilmente distinguibili.

Nella lettura di un sismogramma, procedendo da sinistra verso destra si notano prima lievissime oscillazioni dovute al continuo tremolio del suolo per cause diverse da un sisma (il traffico o il frangersi delle onde sulle coste, per esempio); poi si osservano oscillazioni più evidenti, che indicano l'arrivo delle onde *P*, seguite dalle onde *S*, segnalate da un improvviso cambiamento dell'ampiezza dell'oscillazione, e infine dalle onde superficiali, che provocano oscillazioni di ampiezza maggiore delle precedenti.

5.2.3 Intensità dei terremoti

L'intensità di un terremoto si può valutare attraverso due scale: la *scala Mercalli* e la *scala Richter*.

- La *scala Mercalli* (tabella 10) si basa sulla rilevazione degli effetti di un terremoto su edifici, persone e ambiente. Comprende dodici gradi: il grado I corrisponde a scosse avvertite solo dai sismografi, senza danni a edifici o persone, mentre il grado XII equivale a una grande catastrofe e alla distruzione totale delle costruzioni.
- La *scala Richter*, invece, esprime la *magnitudo*, ovvero la quantità di energia liberata da un sisma. Ha come punto di partenza (grado zero) il terremoto che produce un (opportuno) sismogramma di ampiezza uguale a un millesimo di millimetro. L'energia liberata cresce all'aumentare della magnitudo:

Tabella 10: Scala Mercalli

Grado	Scossa	Descrizione
I	impercettibile	Avvertita solo dagli strumenti sismici.
II	molto leggera	Avvertita solo da qualche persona in opportune condizioni.
III	leggera	Avvertita da poche persone; oscillano oggetti appesi con vibrazioni simili a quelle del passaggio di un'auto.
IV	moderata	Avvertita da molte persone; tremito di infissi; leggere oscillazioni di oggetti appesi.
V	piuttosto forte	Avvertita anche da persone addormentate; caduta di oggetti.
VI	forte	Qualche leggera lesione negli edifici e finestre in frantumi.
VII	molto forte	Caduta di camini, lesioni negli edifici.
VIII	rovinosa	Rovina parziale di qualche edificio; qualche vittima isolata.
IX	distruttiva	Rovina totale di alcuni edifici e gravi lesioni in molti altri; vittime umane sparse ma non numerose.
X	completamente distruttiva	Rovina di molti edifici; molte vittime umane; crepacci nel suolo.
XI	catastrofica	Distruzione di agglomerati urbani; moltissime vittime; crepacci e frane nel suolo; maremoto.
XII	apocalittica	Distruzione di ogni manufatto; pochi superstiti; sconvolgimento del suolo; maremoto distruttivo.

un'unità in più nella scala significa un'ampiezza di oscillazione dieci volte più grande. La scala Richter permette di valutare l'intensità dei terremoti che si verificano nei deserti o negli oceani, cosa impossibile con la scala Mercalli, poiché in tali zone non si rilevano effetti su costruzioni e persone.

5.2.4 Rischio sismico in Italia

L'Italia è situata in un'area geologicamente molto attiva, com'è testimoniato dall'intensa attività vulcanica e dai terremoti che la sconvolgono periodicamente. In epoca storica, i terremoti segnalati in Italia risultano almeno un migliaio. Di questi, più di cento hanno provocato effetti disastrosi e causato un numero di morti complessivo vicino al mezzo milione di persone (figura 80).

Il rischio sismico varia da regione a regione. In linea di massima, aumenta spostandosi dalle regioni settentrionali verso il Centro-Sud. In base ai livelli di rischio sismico accertati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia sono state emanate norme che regolano la costruzione delle opere architettoniche (edifici e infrastrutture).



Figura 80: Effetti sulla Torre dell'Orologio di Finale Emilia (Modena) del terremoto, di magnitudo Richter 6, che ha colpito l'Emilia nel 2012

5.3 STRUTTURA INTERNA DELLA TERRA

Dallo studio delle onde sismiche e di come si propagano quando attraversano la Terra, si è scoperto che l'interno del nostro pianeta non è omogeneo. Come molti altri pianeti del Sistema solare, la Terra ha una struttura a involucri concentrici, di diversa natura e spessore (figura 81):

- la *crosta* (la parte più esterna), un involucro rigido e sottile, dello spessore di poche decine di chilometri;
- il *mantello* (la parte centrale), che si estende fino a circa 300 km di profondità;
- il *nucleo*, diviso a sua volta in due involucri: il *nucleo esterno*, fluido, e il *nucleo interno*, solido.

Il mantello è separato dalla crosta e dal nucleo da due superfici di discontinuità sismiche, la *discontinuità di Mohorovičić* (o di *Moho*) e la *discontinuità di Gutenberg*, rispettivamente. Il nucleo esterno e quello interno sono separati fra loro dalla *discontinuità di Lehmann*.

5.3.1 Crosta

La crosta terrestre si distingue in crosta *continentale* e crosta *oceanica*:

- la *crosta continentale* corrisponde ai continenti e alla loro prosecuzione, nelle immediate vicinanze, sotto il livello del mare; è formata prevalentemente da granito;
- la *crosta oceanica* costituisce il "pavimento" degli oceani ed è coperta dalle acque; è formata prevalentemente da gabbro e basalto.

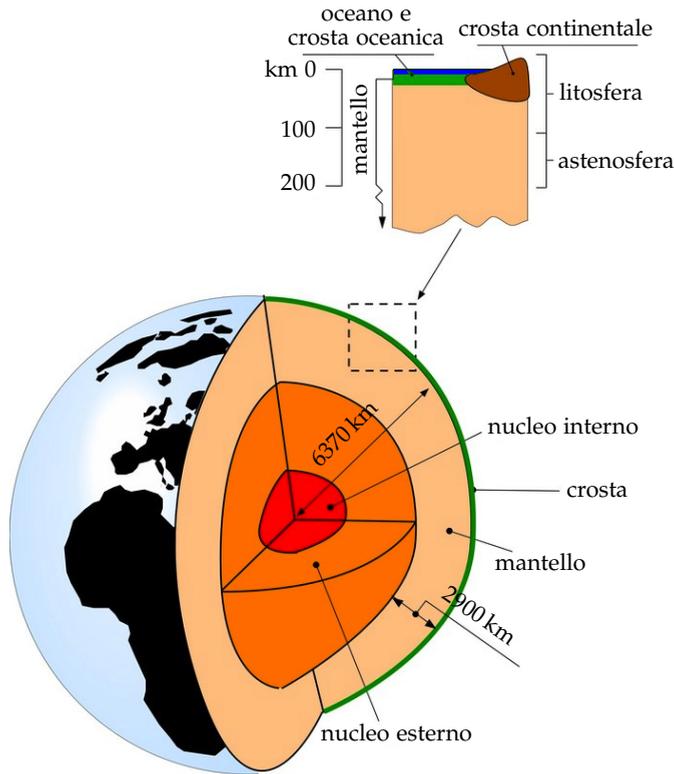


Figura 81: Struttura della Terra

Essendo costituita da rocce femiche (ricche di ferro e magnesio), la densità della crosta oceanica (superiore a $3,2 \text{ kg/dm}^3$) è maggiore della densità della crosta continentale (circa $2,6 \text{ kg/dm}^3$). Questa densità aumenta con la profondità.

Strutture della crosta oceanica

La crosta oceanica presenta due tipi di strutture molto importanti: le *dorsali oceaniche* e le *fosse abissali*.

DORSALI OCEANICHE Sul fondo oceanico ci sono dei rilievi, molto diversi dalle montagne di superficie, detti *dorsali oceaniche*. La loro sommità raggiunge i 3000 m di altezza rispetto alle piane abissali; in qualche punto emergono dalla superficie del mare. Quasi ovunque la sommità delle dorsali è percorsa da una depressione larga qualche decina di chilometri: è la *rift valley*. Le dorsali non sono rettilinee, ma sono suddivise in segmenti da fratture trasversali, le *faglie trasversali*, perpendicolari alla dorsale. Le dorsali oceaniche compongono un sistema di rilievi che supera i 60 000 km di lunghezza (figura 82). La più estesa è la dorsale medio-atlantica,

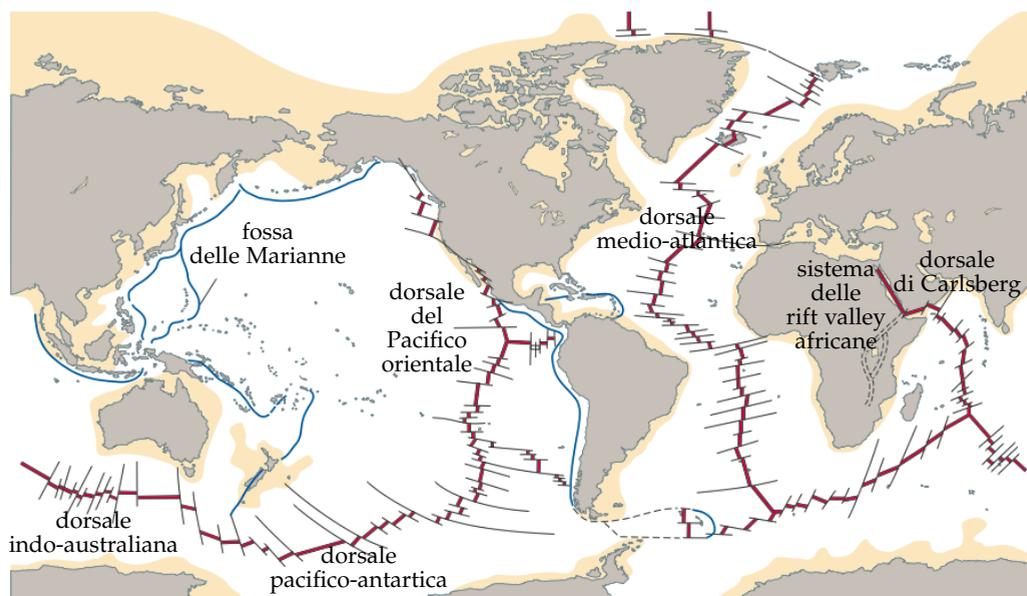


Figura 82: Dorsali oceaniche e fosse abissali

che va approssimativamente da nord a sud ed emerge dall'Oceano Atlantico in corrispondenza dell'Islanda.

FOSSA ABISSALI Una *fossa abissale* è una stretta depressione lineare del fondo oceanico, adiacente a un margine continentale o a un arco insulare. Le fosse abissali sono lunghe migliaia di chilometri; molte di esse superano i 10 km di profondità. I due versanti di una fossa sono asimmetrici: quello oceanico è meno ripido, mentre quello continentale o insulare, che presenta attività vulcanica e sismica, è più ripido e caratterizzato da sedimenti misti, di natura sia continentale che oceanica. Gli ipocentri dei terremoti si dispongono lungo un piano inclinato, detto *piano di Benioff*.

5.3.2 Mantello

Immediatamente sotto la crosta, il mantello è solido: la *litosfera* (dal greco, "sfera rocciosa") è l'insieme della crosta terrestre e di questo primo strato del mantello.

L'*astenosfera* (dal greco, "sfera debole") è uno strato del mantello situato tra i 70 e i 250 chilometri di profondità, formato da materiale parzialmente fuso.

5.3.3 Nucleo

Il nucleo è suddiviso in due gusci concentrici:

- il nucleo esterno, liquido, è composto principalmente da ferro e nichel ed è caratterizzato da una temperatura di 3000 °C e una densità di circa 9 g/cm³;
- il nucleo interno, solido, è composto quasi esclusivamente di ferro, ha una temperatura attorno ai 5400 °C e una densità di 13 g/cm³.

Nonostante la temperatura del nucleo interno sia maggiore di quello esterno, il nucleo interno è solido perché la pressione superiore innalza la temperatura di fusione del ferro.

Il nucleo interno della Terra ruota verso est e gira più velocemente del resto del pianeta, mentre il nucleo esterno ruota lentamente in direzione contraria, verso ovest. È così che la Terra produce il suo campo magnetico.

5.4 TETTONICA DELLE PLACCHE

Nel 1620 il filosofo inglese Francesco Bacone, osservando la sorprendente conformità dei margini continentali che si presenta da entrambi i lati dell'Oceano Atlantico, concluse che i due continenti erano come le tessere di un *puzzle*, un tempo assemblate ma che in un qualche modo si erano successivamente smembrate ed allontanate.

Nel 1915 il geologo tedesco Alfred Wegener formulò la teoria della *deriva dei continenti*: i continenti attuali, che un tempo facevano parte di un supercontinente chiamato *Pangea* ("tutto terra"), si muovono l'uno rispetto all'altro (figura 83). Una prova della frammentazione e della deriva dei continenti è la somiglianza tra le rocce, le strutture geologiche e i fossili nei diversi continenti (figura 84).

Nella scienza moderna la teoria della deriva dei continenti è compresa nella più generale teoria della *tettonica delle placche*, che spiega tutti i fenomeni che interessano la crosta terrestre: l'attività sismica, l'orogenesi (cioè la formazione dei rilievi), la disposizione dei vulcani, la composizione chimica delle rocce, la formazione delle dorsali oceaniche e delle fosse abissali, la distribuzione geografica dei fossili.

Secondo questa teoria, la litosfera è suddivisa in una ventina di grandi blocchi chiamati *placche*, di cui una decina è decisamente più estesa delle altre (figura 85). Le *placche oceaniche* sono formate da litosfera oceanica, mentre le *placche continentali* sono formate da litosfera continentale. Le placche "galleggiano" sull'astenosfera,

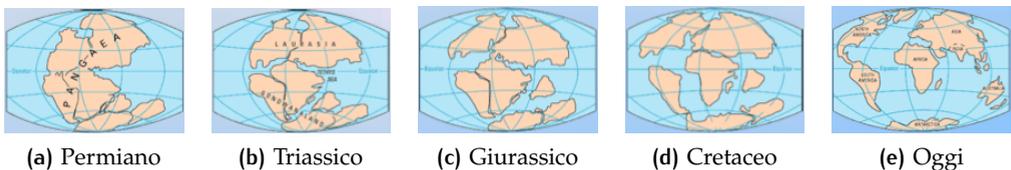


Figura 83: Deriva dei continenti

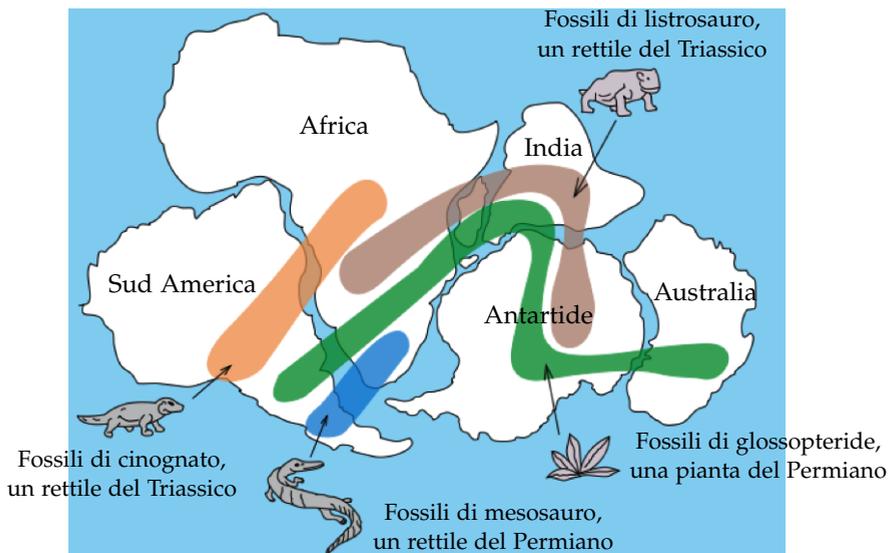


Figura 84: Una prova della teoria della deriva dei continenti è la somiglianza tra i fossili nei diversi continenti.

che si comporta come un liquido molto viscoso ed è rimescolata da *moti convettivi* dovuti alle differenze di temperatura all'interno della Terra, trascinando le placche in diverse direzioni. L'interazione tra litosfera e astenosfera è simile a quella tra una zattera e l'acqua su cui galleggia. Questo equilibrio si dice *isostatico* (dal greco *isos*, "stesso", e *stàsis*, "posizione"), e i moti che lo ristabiliscono quando è perturbato sono i moti *isostatici*.

5.4.1 Margini

I bordi delle singole placche, chiamati *margini*, si distinguono, a seconda dei movimenti relativi, in tre tipi:

- *margini divergenti* (o *costruttivi*), se le pacche si allontanano l'una dall'altra (figura 86a);
- *margini convergenti* (o *distruttivi*) se le placche si avvicinano l'una all'altra (figura 86b);
- *margini a scorrimento laterale* (o *conservativi*), se le pacche scorrono lateralmente l'una rispetto all'altra (figura 86c).

Margini divergenti

Lungo un margine divergente le placche interessate si muovono allontanandosi l'una dall'altra (figura 87). Lo spazio che si crea fra loro viene riempito da nuovo

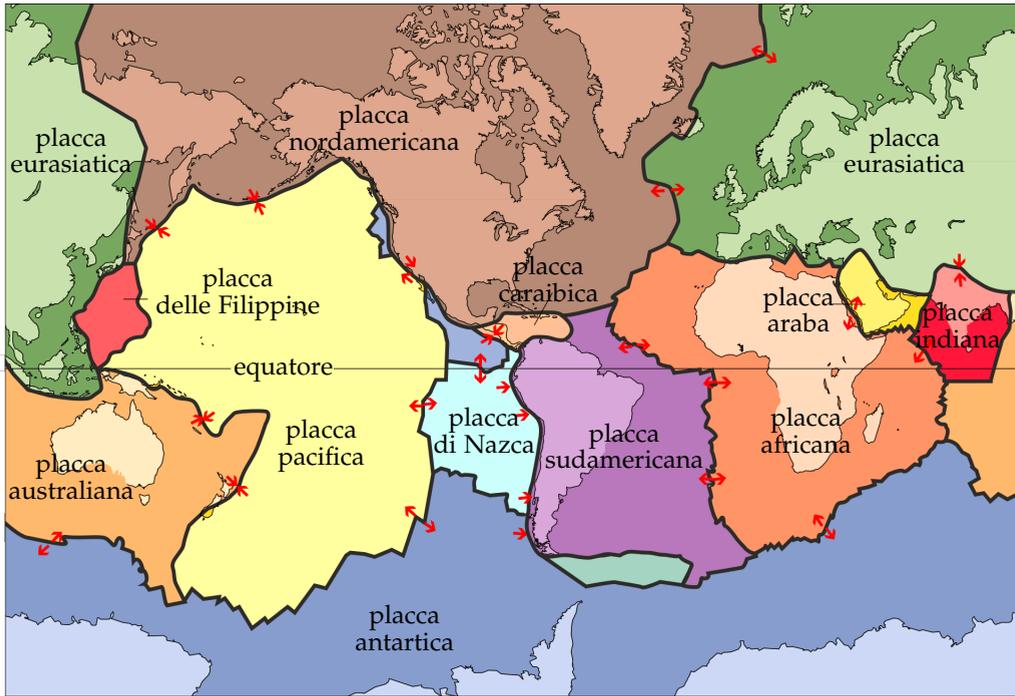


Figura 85: Tettonica delle placche

materiale fuso proveniente dal mantello, secondo un fenomeno detto *espansione dei fondi oceanici*; è così che si formano le dorsali oceaniche. Ecco perché un margine di questo tipo è detto *costruttivo*. Il nuovo materiale risale dal mantello attraverso la *rift valley*, alimentando il vulcanismo basaltico della dorsale. La lava che fuoriesce lungo le dorsali si divide in due rami, che si allontanano in direzioni opposte rispetto alla dorsale.

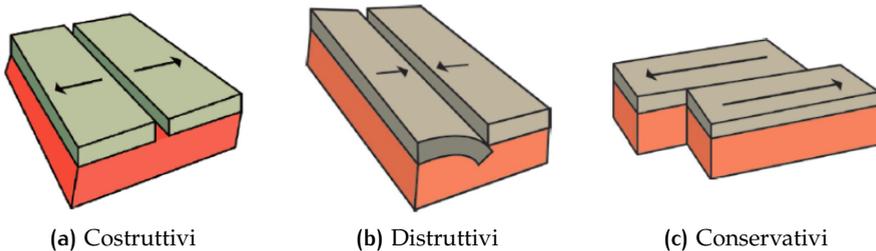


Figura 86: Margini delle placche

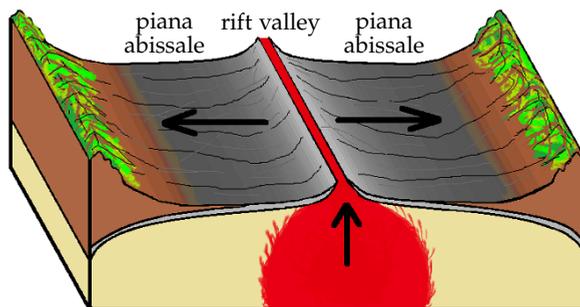


Figura 87: Dorsali oceaniche

Margini a scorrimento laterale

Lungo un margine a scorrimento laterale le placche scorrono lateralmente l'una rispetto all'altra, senza che la crosta venga creata o distrutta. Ecco perché un margine di questo tipo è detto *conservativo*. Per l'attrito le placche non scivolano in modo continuo l'una sull'altra, e si accumula energia: se si supera una certa soglia, l'energia accumulata viene rilasciata istantaneamente, provocando un terremoto. Lungo i margini a scorrimento laterale si concentrano le faglie trasformi: la loro esistenza è legata alla necessità di accomodare la variazione delle velocità lineari che si hanno a distanze diverse dall'asse intorno a cui ruota una placca che si muove su una superficie sferica.

Margini convergenti

Quando due placche si avvicinano, la natura dei margini convergenti dipende dalla natura delle placche che collidono.

- Se a convergere sono una placca continentale e una oceanica, la seconda (più densa) "scivola" sotto alla prima, secondo un processo detto di *subduzione* (dal latino *subducere*, "condurre di sotto"), e la placca oceanica viene trascinata in profondità nel mantello, formando una fossa abissale e un arco vulcanico sul continente (figura 88a). I vulcani erutteranno il magma proveniente dalla distruzione della crosta oceanica subdotta. Il piano di Benioff, che contiene gli ipocentri dei sismi che si creano, è proprio il piano della placca oceanica subdotta. Un esempio di questo genere di collisioni è ciò che avviene nell'area lungo la costa ovest del sud America.
- Se a convergere sono due placche oceaniche, una delle due andrà in subduzione sotto l'altra generando una fossa abissale e un arco vulcanico insulare (figura 88b). L'arcipelago formato sarà costituito da isole vulcaniche che erutteranno il magma proveniente dalla distruzione della crosta oceanica subdotta. Ne è un esempio l'arco insulare compreso fra la penisola di Kamchatka (Russia) e l'Alaska.

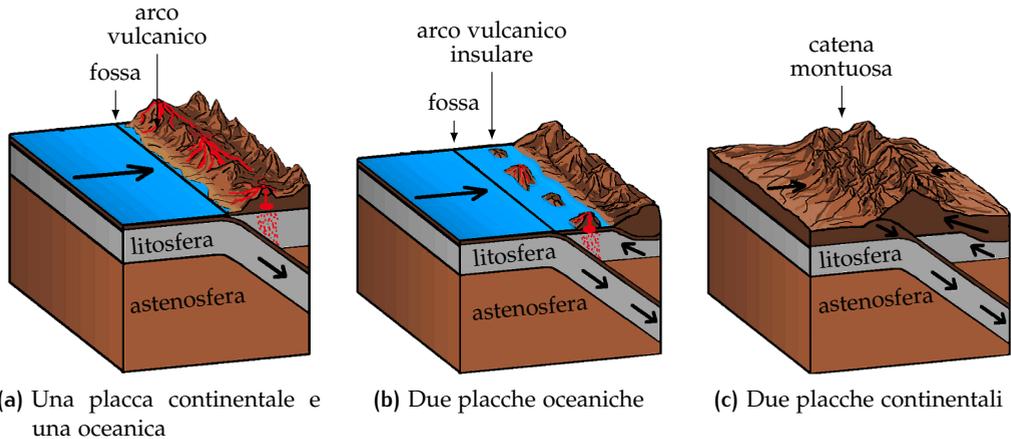


Figura 88: Collisione tra placche

- Se a entrare in collisione sono due placche continentali, si comprimono fra loro e una delle due viene parzialmente subdotta, determinando un raddoppiamento della litosfera. Durante questa collisione si forma una catena montuosa (figura 88c). Sono nate in questo modo l'Himalaya e le Alpi.

Per la teoria della tettonica delle placche, l'età del "pavimento" oceanico, cioè dello strato di basalto sotto i sedimenti, deve essere tanto più antica quanto più ci si allontana dalle dorsali. Questa previsione è stata confermata negli anni Sessanta del secolo scorso grazie all'opera della nave oceanografica *Glomar Challenger*, in grado di perforare e campionare i sedimenti marini.

5.4.2 Tettonica delle placche e rocce

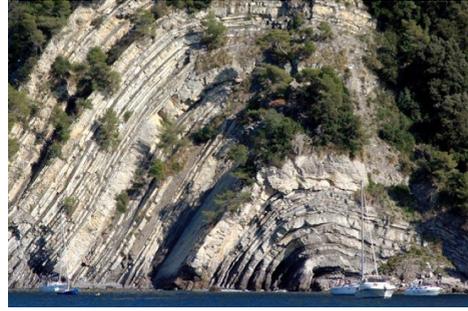
La teoria della tettonica delle placche spiega la formazione delle rocce. Le forze endogene della tettonica crostale producono due tipi di deformazione negli strati rocciosi: le *fratture* e le *pieghe*. Sotto l'effetto delle forze intense endogene, le rocce magmatiche si comportano di solito come masse rigide e si fratturano (figura 89a), mentre le rocce sedimentarie e le metamorfiche sono più plastiche e spesso danno origine a pieghe (figura 89b).

5.5 ESERCIZI

Chi non risolve esercizi
non impara le scienze della Terra.



(a) Fratture dell'ammasso roccioso



(b) Pieghe in ammasso roccioso

Figura 89: Fratture e pieghe in ammassi rocciosi

Vulcani

1 Indica la risposta corretta.

a. In un vulcano il magma si trova raccolto:

A nella camera magmatica

C nel camino

B nel monte vulcanico

D nel cratere

b. Scegli il complemento *errato*. Un'eruzione vulcanica è esplosiva se il magma:

A è poco viscoso

C è molto viscoso

B è acido e ricco di gas

D è basico e povero di gas

c. Il magma:

A è costituito solo da lava

C è solo primario

B non contiene gas

D contiene roccia fusa e altri fluidi

d. Un vulcano è costituito prevalentemente da rocce:

A sedimentarie

C magmatiche effusive

B magmatiche intrusive

D metamorfiche

e. Individua l'affermazione *errata*.

A Il Vesuvio è un vulcano a scudo.

B Le eruzioni vulcaniche non sono prevedibili.

- C Una bomba di lava è un “goccia” di roccia vulcanica.
- D La cenere vulcanica si forma nella fase esplosiva di un'eruzione.

[2 risposte A, 1 B, 1 C e 1 D]

Terremoti

2 Vero o falso?

- a. La previsione dei terremoti non ha avuto, sino ad ora, molto successo. V F
- b. L'Italia è poco esposta al rischio sismico. V F
- c. La scala Richter è indipendente da stime soggettive. V F
- d. La distribuzione dei terremoti e dei vulcani sulla Terra non è casuale. V F
- e. Le onde P non si propagano nei fluidi. V F

[3 affermazioni vere e 2 false]

3 Indica la risposta corretta.

a. Le onde S :

- A si propagano solo nei liquidi C si propagano nei solidi e nei liquidi
- B si propagano solo nei solidi D sono le più veloci

b. Rispetto alle onde P , le onde S sono (a parità di tipo di materiale attraversato):

- A più veloci C più lente
- B ugualmente veloci D dipende

c. Dallo studio dei terremoti si possono avere informazioni:

- A sulla struttura delle rocce C sull'età dell'universo
- B sull'età dei sedimenti rocciosi D sulla natura geologica del terreno

d. Il terremoto si produce quando:

- A le sollecitazioni superano il limite di elasticità delle rocce
- B le rocce alle sollecitazioni in modo elastico
- C le rocce si deformano in modo plastico
- D le sollecitazioni sono inferiori al limite di elasticità delle rocce

e. Dallo studio dei terremoti si ricavano informazioni su

A struttura interna della Terra C età degli strati rocciosi B durata delle glaciazioni D età della Terra

f. Le onde sismiche più distruttive sono:

 A P B L B S D K

[2 risposte A, 2 B, 1 C e 1 D]

Struttura interno della Terra

4 Indica la risposta corretta.

a. La litosfera comprende:

 A crosta e parte superficiale del mantello B la parte più profonda del mantello C la crosta D mantello e la parte esterna del nucleo

b. Una sola delle seguenti affermazioni è esatta, quale? La crosta continentale è

 A più spessa e più densa di quella oceanica B meno spessa e meno densa di quella oceanica C più spessa e meno densa di quella oceanica D meno spessa e più densa di quella oceanica

c. Una sola delle seguenti affermazioni è esatta, quale ?

 A la crosta continentale è più spessa e più densa di quella oceanica B la crosta continentale è più spessa e meno densa di quella oceanica C la crosta continentale è meno spessa e meno densa di quella oceanica D la crosta continentale è meno spessa e più densa di quella oceanica

d. L'espansione del fondo oceanico avviene nelle:

 A fosse oceaniche C archi vulcanici B faglie D dorsali oceaniche

e. Quale dei seguenti mezzi è il più idoneo allo studio dell'interno della Terra?

- A Lo studio della propagazione delle onde sismiche
- B Le mappe derivate dai rilevamenti satellitari
- C Le perforazioni in profondità
- D Lo studio della distribuzione dei vulcani nella superficie del pianeta

f. La litosfera è costituita dalla:

- A crosta e dall'astenosfera
- B crosta e da una parte di mantello
- C crosta
- D crosta meno l'astenosfera

g. Lo spessore della crosta oceanica è:

- A circa 33 km
- B non è noto
- C inferiore ai 20 km
- D superiore ai 20 km

[2 risposte A, 2 B, 2 C e 1 D]

5 Collega ciascuna delle frasi che seguono a una delle parti della struttura della Terra: crosta, mantello, nucleo esterno, nucleo interno.

- a. Parte situata a più di 6000 km di profondità dalla superficie terrestre:
- b. La parte più densa della Terra:
- c. Parte avente la temperatura meno elevata:
- d. Parte composta da ferro e nichel allo stato fuso:
- e. La parte più voluminosa della Terra:
- f. La parte avente la temperatura più elevata:

Tettonica delle placche

6 Indica in quale zone geografiche della Terra sono presenti i seguenti fenomeni o strutture:

- a. arco vulcanico insulare
- b. cordigliera
- c. rift
- d. dorsale medio-oceanica
- e. collisione tra placche continentali
- f. formazione di catene montuose

7 Indica la risposta corretta.

a. La collisione tra placca continentale e oceanica genera:

A una fossa oceanica

C una faglia

B una dorsale

D un nuovo oceano

b. I margini divergenti delle placche sono costituiti da:

A fosse oceaniche

C faglie trasversi

B dorsali oceaniche

D catene montuose

c. Le montagne si formano in seguito allo scontro di:

A una crosta continentale e una oceanica

B due croste oceaniche

C due croste continentali

D nessuna delle risposte è esatta

d. Il moto di subduzione si origina perché:

A la crosta oceanica è più leggera di quella continentale

B i vulcani sciogliono le rocce circostanti

C i terremoti fanno sprofondare la litosfera

D le dorsali generano le spinte che fanno scontrare le placche

e. La distinzione tra crosta oceanica e crosta continentale consiste nel fatto che la crosta oceanica:

A è in continua formazione grazie alla presenza di placche divergenti

B è meno spessa e quindi meno densa di quella continentale

C non presenta alcun rilievo poiché le sue placche sono sempre in allontanamento

D è molto più antica non andando mai incontro a fenomeni di subduzione

f. Le placche litosferiche si spostano in quanto:

A spinte dalla forza delle maree che si generano negli oceani

B spinte da correnti convettive che si formano nel mantello

C a causa dell'attività vulcanica e sismica presente ai loro margini

D sono spinte dalla rotazione terrestre a ruotare tutte nella stessa direzione

- g. Scegli il complemento *errato* della seguente affermazione. La teoria della tettonica a placche sostiene che:
- A i fenomeni sismici e vulcanici accadono di solito lungo i margini delle placche.
 - B ogni placca è formata da una parte di crosta e da una parte di mantello.
 - C la velocità relativa con cui si muovono le placche è di alcune decine di km/anno.
 - D la litosfera è costituita da un mosaico di placche rigide.
- h. I margini divergenti delle placche sono costituiti da:
- B fosse oceaniche
 - D catene montuose
 - C faglie trasformi
 - A dorsali oceaniche
- i. Gli archi vulcanici sono:
- A allineamenti di isole vulcaniche vicino a un a fossa di subduzione.
 - B arcipelaghi di isole coralline.
 - C sequenza di isole emergenti da una dorsale oceanica.
 - D accumuli di materiali piroclastici e lava emessi dai vulcani.

[3 risposte A, 2 B, 2 C e 2 D]