

Sottosuolo

Introduzione

La parte solida della Terra è formata da rocce che possono essere raccolte direttamente dalla superficie terrestre o estratte da miniere e profonde perforazioni sia sulla terraferma che sul fondo degli oceani. Le rocce possono essere quelle che costituiscono una montagna sulla quale ci arrampichiamo, ma possono essere anche formate da depositi creati da una gran quantità di frammenti cementati fra di loro sui quali camminiamo ogni giorno. Le rocce sono formate dall'associazione di più minerali, sostanze solide definite da una precisa formula chimica che si trovano in natura. Di conseguenza lo studio e l'analisi delle rocce e dei minerali è molto importante, perché ci permette di definire la struttura e la composizione non solo della superficie terrestre, ma anche dell'interno della Terra.

Gli idrocarburi sono un tipo particolare di rocce sedimentarie, presenti in natura in forma solida, liquida e gassosa, rispettivamente come il bitume, il petrolio e il gas. L'uomo ha da tempo imparato a sfruttare queste risorse. In particolare, nella sezione energia possiamo approfondire come siano utilizzati e quale importanza rivestano questi giacimenti.

Importanti per lo sviluppo industriale sono le risorse minerarie costituite da minerali o rocce concentrati in una forma tale da poter essere estratti e utilizzati dall'uomo per i più svariati usi.

Nel sottosuolo non troviamo solo rocce e minerali ma anche un'altra risorsa molto importante: l'acqua, che è concentrata soprattutto nella fascia al di sopra dei 750 metri di profondità. Essendo una delle principali risorse che ha consentito lo sviluppo della vita sulla Terra, le dedichiamo una sezione apposita a cui rimandiamo per avere maggiori informazioni.

Rocce e minerali

Che cosa sono i minerali

I minerali sono sostanze solide che si trovano allo stato naturale e possono essere formati da un solo elemento o da più elementi legati fra di loro (composti chimici).

L'oro, l'argento e il carbonio sono elementi che da soli formano un minerale e si chiamano elementi nativi. Il normale sale da cucina è invece un composto chimico chiamato salgemma, cioè un minerale formato da ioni sodio e ioni cloro. Gli atomi, gli ioni e le molecole che formano un minerale sono disposte nello spazio in modo ordinato e secondo forme geometriche ben definite che vengono chiamate reticoli cristallini. La struttura del reticolo cristallino definisce la forma del cristallo che noi vediamo; questa forma dipende anche dallo spazio che ha a disposizione il minerale quando si sviluppa. Ad esempio, la salgemma o sale da cucina è un minerale formato da cristalli che hanno la forma cubica; stessa forma ha il suo reticolo cristallino formato da ioni sodio e cloro disposti nello spazio in modo alternato. La disposizione degli atomi nello spazio e come essi si legano fra loro, determina il modo in cui un minerale si può rompere o meglio si sfalda; infatti, la sfaldatura è la proprietà che hanno alcuni minerali di rompersi in particolari modi seguendo la loro forma geometrica. La composizione chimica determina anche il colore del cristallo come il giallo del topazio, il rosso dei rubini, il viola del quarzo ametista. Un'altra caratteristica di un minerale è la durezza, ovvero la sua resistenza ad essere scalfito, e viene classificata con dei numeri (da 1 a 10) con la scala di Mohs. Ai primi posti della scala troviamo minerali molto teneri che possono essere scalfiti con un'unghia come il talco, il gesso e la calcite. All'ultimo posto troviamo il diamante che è il minerale più duro esistente in natura.

Quanti minerali conosciamo?

In natura esistono moltissimi minerali: si conoscono circa 2000 specie, alcune sono rare e altre sono molto diffuse, ma solo una trentina di questi compongono le rocce della crosta terrestre.

Questi minerali sono formati da diversi elementi chimici che li differenziano. In base alla composizione chimica, i minerali vengono classificati nei seguenti gruppi.

I silicati sono molto importanti: solo l'8% dei minerali che costituiscono la Terra non appartengono al gruppo. Questi minerali sono sempre formati da silicio e ossigeno che possono legare alluminio, ferro, calcio, magnesio, sodio e

potassio. Un minerale molto importante e abbondante negli strati più profondi della Terra è l'olivina che ha una struttura molto compatta e densa perché costituita da silicio, magnesio e ferro. L'amianto, le miche, i minerali argillosi, il quarzo, i feldspati (come l'ortoclasio e il plagioclasio) appartengono a questo gruppo.

Il gruppo dei carbonati è costituito da due importanti minerali: la calcite, un carbonato di calcio che forma le rocce calcaree e la dolomite, un carbonato di calcio e magnesio che forma le rocce dolomitiche. Questi minerali e le corrispondenti rocce vengono disciolte dalle acque, formando i paesaggi carsici e i paesaggi montuosi dolomitici. In particolari condizioni ambientali per evaporazione dell'acqua marina o di alcuni laghi si formano il gesso e la salgemma (sale da cucina). Questo è il gruppo dei solfati e dei sali.

Quando l'ossigeno lega altri elementi come il ferro si formano ossidi e idrossidi. Esempi sono la magnetite, la limonite, l'ematite che formano rocce di colore giallo – rosso che rappresentano la principale fonte di ferro dell'industria mineraria. Altri importanti giacimenti minerari sono formati dai solfuri, minerali che contengono zolfo legato al ferro come nella pirite. Se lo zolfo è legato al ferro e anche al rame si forma la calcopirite, se legato al piombo si forma la galena, se al mercurio si forma il cinabro.

Oro, argento e rame sono giacimenti formati dallo un solo elemento e prendono il nome di elementi nativi. Il diamante e la grafite sono formati entrambi da solo carbonio, ma sono diversi dal punto di vista commerciale e della struttura cristallina.

Il diamante e la grafite

Il carbonio è un elemento nativo che da solo forma due minerali molto diversi: il diamante (pietra preziosa) e la grafite. Il diamante è il minerale più duro esistente in natura perché è formato da soli atomi di carbonio legati fra loro da legami chimici molto forti (legami covalenti) che si dispongono nello spazio formando un reticolo cristallino tridimensionale.

Anche la grafite è un minerale formato da soli atomi di carbonio, ma questi sono legati fra di loro formando degli strati orizzontali, come i piani di un palazzo. I vari piani sono poi tenuti insieme fra loro da legami chimici deboli e formano un minerale che si rompe facilmente negli strati di cui è formato.

Le condizioni ambientali in cui il minerale si forma ed in particolare i diversi valori di temperatura e di pressione, determinano il modo con cui il carbonio si lega ad altri atomi di carbonio.

Che cosa sono le rocce

I 2000 minerali conosciuti si possono aggregare fra loro in infinite combinazioni per dare origine ad un numero elevatissimo di rocce. I processi che formano una roccia non portano ad una completa separazione dei diversi minerali che la compongono, di conseguenza è difficile trovare rocce costituite da un unico minerale. Osserveremo che nella realtà le rocce sono formate da un miscuglio di minerali diversi; solo i minerali presenti in maggior quantità identificano il tipo di roccia. Ad esempio il granito è una roccia magmatica formata da molti minerali, ma in particolare sono sempre presenti in gran quantità i quarzi, i feldspati e le miche.

Il processo che porta alla formazione di una roccia è di fondamentale importanza, tanto che la classificazione delle rocce si basa sul modo che ne ha determinato la formazione:

- le rocce **magmatiche** o ignee si formano dal raffreddamento di una massa di minerali allo stato fuso (il magma) mischiato a sostanze gassose attraverso un processo che si chiama processo magmatico
- le rocce **sedimentarie** sono costituite da frammenti di roccia che sono stati accumulati attraverso un processo che si chiama processo sedimentario
- le rocce **metamorfiche** sono rocce che hanno subito delle trasformazioni nel corso dei tempi geologici. Il processo che descrive queste trasformazioni si chiama processo metamorfico.

Le rocce più antiche

Il pianeta Terra si formò 4,7 miliardi di anni fa e nelle fasi iniziali della sua storia era formato solo da materiale allo stato

fuso. I materiali fusi si distribuirono a distanze diverse rispetto al centro della Terra a seconda della loro densità: i materiali più leggeri occuparono uno strato vicino alla superficie, si raffreddarono e si trasformarono in composti solidi. Questi primi composti solidi sono le rocce più antiche della Terra.

Rocce magmatiche

I 2/3 della crosta terrestre sono costituiti da rocce magmatiche che si formano dal raffreddamento di una massa di minerali allo stato fuso mischiati a sostanze gassose. Questo miscuglio si chiama **magma**: è composto da minerali che possono essere assai diversi, ma sempre appartenenti al gruppo dei silicati. Il graduale raffreddamento della massa magmatica comporta la **crystallizzazione** dei minerali e la formazione della roccia.

Le strutture cristalline si formano più facilmente quando nel magma sono disciolte sostanze gassose che vengono trattenute più facilmente quando la roccia si forma all'interno della Terra. In questo caso il processo di raffreddamento è **lento e graduale** e si formano rocce che si chiamano **rocce magmatiche intrusive**. Un esempio è il granito, roccia nella quale sono evidenti i cristalli dei diversi minerali; altro esempio è la diorite.

Quando il processo di raffreddamento avviene in superficie, è caratterizzato da un**improvviso abbassamento della temperatura**; i gas contenuti nel magma si disperdono nell'atmosfera, il passaggio allo stato solido avviene bruscamente e la roccia è formata da cristalli molto piccoli. Queste rocce vengono chiamate **rocce magmatiche effusive**. Esempi sono il basalto, la riolite e l'andesite che vengono impiegate in edilizia nelle pavimentazioni stradali e nelle massicciate ferroviarie perchè hanno una colorazione uniforme; questa dipende dalla loro struttura in cui i cristalli dei minerali non sono visibili. La roccia che si forma dal raffreddamento più rapido del magma è l'**ossidiana** che ha una "struttura vetrosa", mentre un'altra roccia molto particolare è la **pomice**. Questa roccia si forma da un magma molto ricco di gas, che solidifica prima che questi si possano disperdere; la sua struttura è porosa e i numerosi pori, dovuti alle bolle di gas, rendono la roccia tanto leggera da farla galleggiare sull'acqua.

Il primo minerale che solidifica dal magma a temperature ancora alte è l'**olivina**, che infatti si trova in quantità nelle rocce degli strati interni della Terra. Man mano che ci si avvicina alla superficie terrestre, diminuisce la temperatura del magma e si formano minerali più ricchi di silice: anfiboli, biotite, feldspati, muscovite e quarzo: questi minerali formano le rocce magmatiche che si trovano in prossimità della superficie terrestre.

Possiamo vedere le rocce magmatiche intrusive?

Gli ammassi di rocce intrusive si sono formati in profondità e sono circondati da rocce di altri tipi che possono essere alterate dai fenomeni erosivi che avvengono sulla superficie terrestre. In questo modo la roccia magmatica intrusiva viene a trovarsi in superficie; la stessa cosa avviene anche durante la formazione di una catena montuosa, quando i movimenti tettonici sollevano masse di rocce intrusive. Le masse di roccia magmatica intrusiva visibili sulla superficie terrestre si chiamano plutoni o batoliti.

Dove si forma il magma?

Il magma si origina nel mantello, ad una profondità di 100 chilometri, in particolari condizioni di temperatura e pressione. La massa magmatica una volta formata si può rimanere ferma per lunghi periodi, e solo all'aumento della temperatura o alla diminuzione della pressione si sposta verso la superficie terrestre. Questa massa alimenta i vulcani, e attraverso le eruzioni il materiale magmatico viene espulso all'esterno e prende il nome di lava.

La lava

La lava, se molto fluida, viene espulsa dal vulcano in assenza di fenomeni esplosivi, raggiunge temperature di 1200°C e scorre sul suolo con velocità anche di 100 chilometri orari. La presenza di gas e di silicio favorisce l'attività esplosiva di un vulcano: il magma viene sminuzzato e le rocce circostanti sono rotte in frammenti di tutte le dimensioni e lanciati con molta forza nell'aria. I frammenti vengono chiamati piroclasti e a seconda della dimensione si distinguono: le polveri (molto fini), le ceneri, i lapilli, le bombe e i blocchi (grosse dimensioni). I blocchi di lava vengono lanciati anche a 10 chilometri di distanza dove si accumulano a formare i depositi piroclastici, che sono rocce sedimentarie.

Rocce sedimentarie

L'azione dell'acqua e dell'aria tende a trasformare e demolire i minerali che compongono le rocce, provocando la

loro **disgregazione** e formando frammenti di varie dimensioni che si chiamano detriti. Le acque dei fiumi e dei mari, il vento e i ghiacciai **trasportano** i detriti e li **accumulano** nelle depressioni della superficie terrestre formando inizialmente dei depositi sciolti. Nel corso del tempo i sedimenti trasportati si accumulano sopra quelli già esistenti comprimendo quelli sottostanti. I detriti compressi sono sottoposti ad una pressione che porta alla perdita dell'acqua presente tra i frammenti, così che in modo progressivo il materiale si compatta. Alcune sostanze minerali sono sciolte nell'acqua presente e si depositano negli spazi fra i detriti formando un "**cemento**" che li tiene insieme. In un tempo di milioni di anni si forma una roccia sedimentaria dura e compatta attraverso quelli che vengono chiamati processi di compattazione e cementificazione dei sedimenti sciolti. L'insieme di questi processi chimici e fisici prende il nome di **diagenesi**, ed è più attiva per alcuni periodi di tempo e meno in altri. In questo modo si formano depositi costituiti da strati che sono facilmente visibili nelle pareti di un canyon o nei versanti delle Dolomiti.

Dove si trovano?

I sassi di varie dimensioni che si trovano alla base dei versanti in montagna, le sabbie o le argille, la ghiaia e i sassi arrotondati che si trovano lungo i fiumi sono **rocce sedimentarie clastiche**. In particolare le ghiaie, quando sono tenute insieme da una sabbia fine si chiamano conglomerati. Le **rocce piroclastiche** sono le rocce sedimentarie formate dai frammenti di lava prodotti dalle eruzioni vulcaniche esplosive e poi depositati in strati.

Molto importanti e particolari sono le **rocce organogene** formate dai depositi dei gusci di molluschi marini. I fondali oceanici sono coperti da fango formato dai gusci di organismi planctonici come i foraminiferi (che hanno gusci calcarei e formeranno rocce organogene carbonatiche), radiolari e diatomee (che hanno gusci silicei e formeranno rocce organogene silicee). Altri tipi di rocce organogene vengono costruiti dall'attività di organismi marini: i polipi delle madrepore costruiscono i loro scheletri calcarei che formano le barriere coralline. Esempi spettacolari di scogliere coralline sono le Dolomiti, un tempo sommerse ed immerse in un oceano, ora montagne imponenti. Alcune alghe azzurre sono invece capaci di estrarre il carbonato di calcio dall'acqua e lo depositano, costruendo delle strutture a forma di cupola formate da tanti strati sottili sovrapposti: le **stromatoliti**. Ricordiamo che l'accumulo del materiale vegetale forma i carboni fossili.

Nelle grotte carsiche, in prossimità di sorgenti o cascate, il carbonato di calcio si deposita a formare stalattiti, stalagmiti, il travertino e l'alabastro, mentre i depositi di minerali insolubili in acqua come il ferro e l'alluminio, forma le lateriti e le bauxite. Queste sono **rocce sedimentarie chimiche** che derivano da un processo di deposizione generato da reazioni di tipo chimico. Anche minerali come la calcite, la salgemma e il gesso si depositano in un mare o in un lago in seguito all'evaporazione dell'acqua, come accade nel mar Rosso, nel Mediterraneo orientale e nel Mar Morto, formando le evaporiti. Rocce evaporitiche si trovano in Emilia Romagna, in Sicilia e nelle Marche. Si sono formate 6-7 milioni di anni fa quando l'Europa si è avvicinata all'Africa e si è chiuso lo stretto di Gibilterra (che garantiva uno scambio di acqua tra i mari). L'acqua del mar Mediterraneo è evaporata, si sono formati i depositi evaporitici e nuove terre sono emerse. La selce e le sue varietà come l'opale (pietra ornamentale di valore), sono **rocce sedimentarie silicee** formate da cristalli di quarzo microscopici. Si formano per l'accumulo di gusci di organismi, sia marini che di acqua dolce, che hanno gusci composti da silice, come i radiolari e le diatomee.

Rocce metamorfiche

Le rocce sedimentarie e magmatiche, nel momento in cui si verificano movimenti tettonici, possono essere trascinate in profondità e trovarsi in condizioni di temperature e pressioni molto elevate che trasformano la loro struttura cristallina.

Questo processo viene chiamato metamorfico e trasforma rocce sedimentarie e magmatiche in metamorfiche.

Ad esempio, le rocce carbonatiche che subiscono il processo metamorfico formano il **marmo**; le arenarie e le argilliti si trasformano in rocce chiamate **gneiss**.

Ma le rocce si possono trasformare?

La crosta terrestre è in continua evoluzione perché agiscono costantemente i processi di trasformazione delle rocce. Le rocce superficiali (sedimentarie e magmatiche) vengono portate in profondità e trasformate in rocce metamorfiche. Se si raggiungono temperature molto elevate, le rocce si fondono e si trasformano in magma. Quando il magma si raffredda e

ritorna allo stato solido si formano le rocce magmatiche. Le rocce profonde possono poi essere riportate in superficie, essere erose e formare frammenti che costituiranno i depositi delle rocce sedimentarie.

L'interno della Terra

La Terra è un corpo sferico formato al suo interno da più strati di vario spessore (crosta, mantello, nucleo esterno e nucleo interno). Il passaggio da uno strato ad un altro è identificato da superfici di discontinuità:

- la crosta è divisa dal mantello a circa 30-40 chilometri di profondità dalla discontinuità di Mohorovicic o Moho
- il mantello è diviso dal nucleo esterno a circa 2900 chilometri di profondità dalla discontinuità di Gutenberg
- il nucleo esterno è diviso dal nucleo interno a circa 5100 chilometri di profondità dalla discontinuità di Lehmann.

La crosta

La crosta è lo strato più esterno della Terra e si distingue in crosta terrestre e oceanica. La crosta dei continenti ha uno spessore medio di 40 chilometri ed è costituita da rocce magmatiche (graniti) e metamorfiche. Lo strato superficiale dei continenti è ricoperto per la maggior parte da rocce sedimentarie. La crosta oceanica ha uno spessore minore, che misura circa 6-8 chilometri ed è formata da rocce ignee di tipo diverso. Infatti troviamo un primo strato di basalti e al di sotto i gabbri e le rocce metamorfiche; anche la superficie della crosta oceanica è ricoperta da sedimenti.

Il mantello

Il mantello è uno strato costituito prevalentemente da rocce magmatiche (peridotite) più dense dei gabbri e dei basalti che formano la crosta. I minerali che compongono questa roccia sono prevalentemente l'olivina e i pirosseni. In questo strato la velocità e la direzione delle onde sismiche subiscono dei cambiamenti improvvisi che ci permettono di capire che le rocce non sono sempre allo stato solido. Ricordiamoci che il magma si origina ad una profondità di circa 100 chilometri. Infatti, nello spessore compreso tra i 70 e 200 chilometri di profondità (immediatamente sotto la crosta) si pensa che ci possa essere materiale roccioso fuso.

Il nucleo

Sempre in base al comportamento delle onde sismiche, si ipotizza che il nucleo esterno sia formato da rocce fuse, perché manifesta le caratteristiche di un liquido. Si pensa che sia ricco di ferro mescolato a silicio e altri metalli come il nichel. Il nucleo interno, invece, si comporta come un solido, in modo rigido ed elastico: sembra costituito da rocce allo stato solido.

I terremoti

Cosa sono

Un terremoto, lo dice la parola stessa, è un moto, un movimento della Terra, chiamato anche **sisma**, dal greco "scossa". La Terra è un pianeta "vivo", che si muove continuamente sotto ai nostri piedi, a causa della sua dinamica interna e dei processi tettonici: basti pensare che ogni anno le coste dell'America e dell'Europa si allontanano di qualche centimetro. Normalmente, i movimenti avvengono in modo continuo e impercettibile, tuttavia a volte, a causa della resistenza offerta dalle rocce, le spinte e le deformazioni tettoniche si accumulano progressivamente, come in una molla che si carica. Al superamento della resistenza delle rocce, si verificano improvvisamente la rottura e il movimento lungo la superficie di frattura: questo provoca un improvviso rilascio di energia, che si propaga poi all'interno della Terra, producendo una serie di vibrazioni, le onde sismiche, fino a raggiungere la superficie. E' proprio qui che noi percepiamo gli effetti, spesso distruttivi, talora catastrofici, dei terremoti. I punti dove si verificano rottura e movimento delle rocce sono le faglie, superfici a volte di enormi dimensioni e di estensione chilometrica, lungo le quali rocce diverse, ma anche interi continenti, spinti dalle forze tettoniche, vengono a contatto tra loro e si deformano, fino alla rottura finale. Le dimensioni delle faglie possono essere molto diverse: da enormi cicatrici che percorrono tutto il nostro pianeta segnando il contatto tra diverse placche litosferiche, a piccole superfici di pochi metri quadrati. L'energia del terremoto dipende, però, non tanto dall'estensione della superficie, quanto dall'entità del movimento e dalla quantità di energia che si era accumulata

prima della rottura. In genere, però, i sismi di maggior intensità si localizzano in corrispondenza delle faglie di maggiori dimensioni. A queste in genere si accompagnano superfici di movimento più piccole, che possono provocare sismi di minore intensità, a volte come conseguenza di un sisma più importante, come accade con le scosse di assestamento che seguono l'evento principale. Il terremoto di qualche giorno fa in Indonesia potrebbe proprio essere di questo tipo, un movimento secondario, se pure di grandissima intensità, a seguito del fortissimo sisma di dicembre. Faglie molto attive, che si muovono in continuazione, possono sembrare pericolose perché generano una grande quantità di piccoli terremoti, tuttavia sono le faglie che si muovono poco, e che quindi si "caricano" lentamente di grandi quantità di energia, quelle che dobbiamo temere di più.

Dove si verificano i terremoti

Studiando la distribuzione dei sismi più potenti, con un paziente lavoro di raccolta di migliaia di dati, negli anni Sessanta si è potuta costruire una mappa per l'intero pianeta. Questa mappa mostra che i terremoti non sono distribuiti a caso, ma quelli più frequenti e di maggior intensità si distribuiscono in fasce ben precise. Confrontando questa mappa con la carta dei margini delle placche o zolle litosferiche (i grandi blocchi rigidi in cui è smembrata la parte più superficiale del nostro pianeta, e che si muovono, andando alla deriva sul sottostante mantello plastico), si può osservare come la distribuzione dei terremoti sottolinei in modo pressochè perfetto i limiti delle placche stesse. Ma c'è di più: se si dividono i terremoti in base alla profondità a cui sono avvenuti e all'energia liberata, si può osservare che i terremoti più superficiali e meno potenti si localizzano in corrispondenza delle dorsali oceaniche (margini di zolla divergenti) dove le placche si allontanano tra loro e dove la crosta sottile (3-5 km), rompendosi, permette la risalita di magma dal mantello e la formazione di vulcani sottomarini. I terremoti più profondi, quelli che liberano la maggior quantità di energia, si localizzano invece dove si verifica la collisione tra le placche (margini di zolla convergenti): in questo caso, il margine di una delle due zolle è costretto a scivolare al di sotto dell'altro, in un processo detto subduzione, fino a che, lentamente riscaldato, viene riassorbito dal mantello, in una sorta di grande circuito di "riciclo" della litosfera. I terremoti in queste zone sono il risultato dell'attrito e delle deformazioni che lo scivolamento forzato di una placca sotto un'altra produce, e la profondità massima di questi terremoti indica la profondità alla quale la placca in subduzione è ancora abbastanza rigida per potersi rompere e originare un sisma: la profondità massima registrata per un terremoto è di 640 km. Attraverso lo studio dei terremoti in queste zone è possibile "seguire" lo scivolamento verso il mantello di un lembo di litosfera: i terremoti si distribuiscono lungo un piano inclinato, chiamato piano di Wadati-Benioff, dal nome dei ricercatori che per primi lo individuarono, disegnando in modo pressochè perfetto il profilo della placca che scende. E' quindi chiaro che la distribuzione dei terremoti è tutt'altro che casuale, e che ci sono zone del nostro pianeta in cui questi eventi, più che un rischio, sono una certezza. Per questo non deve stupire il ripetersi di sismi nelle medesime zone. Ciò che è accaduto nel Sud-Est asiatico con il terremoto del 2004 è semplicemente la conseguenza della collisione della placca dell'Oceano Pacifico con il complesso sistema di piccole placche comprese tra l'Indonesia e le Filippine. Lungo le coste occidentali dell'Indonesia si trova una delle più profonde fosse del pianeta, la Fossa di Giava, in corrispondenza della quale si verifica la subduzione delle placche l'una sotto l'altra e questo porta alla formazione delle isole che costituiscono l'arcipelago indonesiano. Osservando l'atlante, possiamo capire dove le placche litosferiche entrano in collisione e una delle due scivola sotto l'altra. Infatti se si osservano le coste del Pacifico, si possono vedere numerosi gruppi di isole con una tipica forma ad arco, caratterizzate da forte sismicità e intenso vulcanismo; questo ci indica la presenza di placche in subduzione. Non a caso, vulcani e terremoti sono spesso collegati: la presenza di un vulcano attivo implica sempre elevato rischio sismico. Lo studio della superficie terrestre ci fornisce quindi preziosi indizi ed evidenze del possibile rischio sismico e vulcanico.

Potenza e distruzione

Una stima dell'energia liberata da un terremoto viene spesso fatta utilizzando la "scala Mercalli" (in realtà, si tratta della scala modificata Mercalli-Cancani-Sieberg): è una delle prime scale elaborate per valutare l'intensità dei sismi, quando ancora mancavano strumenti più precisi (la prima versione di Mercalli è della seconda metà dell'800), ma è ormai entrata nell'uso collettivo. Non si tratta, però, di una vera "misura" dell'energia liberata: è infatti costruita sulla base dei danni

causati dal sisma. Questi dipendono certamente in gran parte dall'intensità del sisma, ma sono anche condizionati da fattori geologici (come il tipo di rocce o la presenza di sedimenti sciolti), dal tipo di costruzioni colpite, dalla densità della popolazione, dal preavviso dato, dall'ora in cui è avvenuto il terremoto (si sa che le ore notturne sono quelle in cui si ha il maggior numero di vittime), persino dall'abitudine che la popolazione ha alla convivenza con i terremoti: un evento sismico di medesima intensità in una città popolosa e priva di costruzioni antisismiche produrrà sicuramente più danni che in una città con pochi abitanti o costruita con criteri di resistenza idonei. Per questo, i sismologi scoraggiano l'uso di questa scala, preferendo l'uso di altri tipi di scale, più oggettivi, come, per esempio, la **scala di magnitudo Richter**. Questa, messa a punto da Richter e Gutenberg negli anni '40, è ricavata misurando l'ampiezza massima delle onde disegnate dai sismografi, ampiezza che, con opportune formule, permette di ricavare la quantità di energia effettivamente liberata dal sisma. E' una scala che potenzialmente non ha un grado massimo, perchè misura soltanto l'intensità dei terremoti che sono già avvenuti: il grado più elevato mai registrato è 9,5, nel 1960 in Cile, ma nulla impedisce che possano verificarsi sismi anche più forti. Si tratta di una scala logaritmica, per cui un grado di differenza nella magnitudo corrisponde a un'ampiezza dell'onda di circa 10 volte più grande e ad un'energia liberata 30 volte maggiore, due gradi corrispondono a un'ampiezza 100 volte superiore e un'energia di 900 volte superiore e così via. Si vede quindi come l'energia dei terremoti possa essere molto diversa e, in alcuni casi, spaventosa. Per avere una pallida idea delle energie in gioco, su può pensare che un terremoto di magnitudo 9 ha un'energia di 2×10^{18} joule, dove l'energia utilizzata ogni anno in tutti gli USA è di 6×10^{19} joule!

L'energia si libera in superficie

L'energia liberata da un terremoto si propaga nelle rocce della crosta e della litosfera terrestre attraverso due tipi di onde sismiche, le **onde P**, o **primarie**, così dette perchè sono le prime che giungono ai sismografi, e le **onde S**, o **secondarie**, più lente. Le onde P sono onde di compressione, simili alle onde sonore. Quando le onde interne raggiungono la superficie terrestre, si modificano, propagandosi con meccanismi diversi. Sono le onde che percepiamo noi, e quelle che provocano i danni maggiori. Normalmente, si percepiscono vibrazioni di tipo **ondulatorio** o di tipi **sussultorio**. Queste ultime, in quanto hanno una forte componente verticale, sono quelle che potenzialmente causano maggior danno. Accanto alle onde di movimento, spesso ai terremoti si accompagnano forti boati: è l'effetto della propagazione nell'aria delle onde di compressione. Sono proprio questi suoni a bassa frequenza, spesso infrasuoni al limite della soglia uditiva, a produrre quella particolare sensazione di allarme e di angoscia avvertibile durante un terremoto anche di lieve entità, che ci fa immediatamente distinguere una scossa sismica dal passaggio, per esempio, di un treno, a parità di intensità delle vibrazioni. A volte, orecchie particolarmente fini possono udire questi suoni della Terra anche parecchi giorni prima: alcuni animali, per esempio, come i cani, i maiali, i pesci e i serpenti sono particolarmente sensibili a questi suoni, e possono aiutarci prevedere le scosse. La durata delle vibrazioni è in genere di pochi secondi, a volte di alcuni minuti (nel terremoto di questi giorni in Indonesia è stata di circa tre minuti): la gravità delle distruzioni operate dipende in gran parte anche dalla durata delle scosse. In genere un terremoto non è un evento isolato, ma è preceduto e seguito da una serie di scosse di minor entità. Le repliche, o scosse di assestamento, spesso continuano per mesi. Oltre alle vibrazioni, un terremoto produce in genere anche altri effetti, che contribuiscono a rendere la situazione ancora più drammatica. A volte si liberano grandi quantità di vapore acqueo e si verificano perturbazioni del campo elettromagnetico: questo può produrre fenomeni ottici, come "cupole" di luce, o elettrici, come tempeste di lampi. A volte si liberano gas, spesso composti di zolfo, che producono esalazioni maleodoranti. Gli spostamenti della superficie terrestre possono dislocare violentemente anche grandi masse d'aria, interagendo così con i fenomeni atmosferici: nel 1969, in Giappone, durante un terremoto, fu registrato un innalzamento temporaneo di 1,6 km delle masse d'aria sopra all'epicentro a 330 km di altezza.

Non solo terremoti

I terremoti hanno un elevatissimo potere distruttivo, da una parte per gli effetti diretti delle vibrazioni, dall'altra parte perchè possono provocare numerosi effetti indiretti, a volte di entità anche superiore ai danni provocati dalle scosse. Terremoti molto forti possono indurre drammatiche modificazioni del paesaggio, innescando frane, aprendo crepe nel

terreno, deviando corsi d'acqua e provocando per questo alluvioni, innescando o sommandosi a eruzioni vulcaniche. Si possono formare geysers di sabbie e fango liquefatti dalle vibrazioni, i cui getti a volte superano i 6 metri di altezza. Negli abitati urbani le distruzioni operate dai sismi possono rompere tubature del gas o oleodotti e provocare corti circuiti, causando incendi ed esplosioni. Moltissime vittime si registrano proprio a causa di incendi. Quando l'ipocentro si trova in mare, alcuni tipi di movimenti possono provocare le temutissime **onde di tsunami**.

Un po' di statistiche

I sismografi di tutto il mondo registrano ogni anno più di 600.000 scosse di intensità inferiore a 2 della scala Richter, percepibili solo dagli strumenti. Altri 300.000 terremoti hanno intensità compresa tra 2 e 2,9, percepiti solo da persone particolarmente sensibili. Con magnitudo tra 3 e 3,9, altri 49.000 terremoti sono percepiti da coloro che abitano nei pressi dell'epicentro, mentre 6000 scosse di intensità tra 4 e 4,9 provocano piccoli danni. Per le intensità superiori, che sempre provocano danni, circa 1000 hanno intensità compresa tra 5 e 5,9, 120 tra 6 e 6,9, circa 14 hanno magnitudo tra 7 e 7,9, mentre terremoti di intensità tra 8 e 8,9 si verificano circa ogni 5-10 anni. Terremoti di magnitudo superiore a 9 sono fortunatamente più rari, circa 1-2 volte in un secolo. Ma queste sono, naturalmente soltanto delle statistiche, delle medie annuali: nel Sud-Est asiatico si sono verificati due sismi di grandissima intensità (maggiore di 9 e circa 8,7) nel giro di tre mesi, falsando completamente le statistiche, ma questo non esclude che eventi simili possano ripetersi anche a breve termine.

Localizzare un terremoto

L'**ipocentro** è il punto, in profondità nella Terra, dove si è verificata la rottura che ha provocato il terremoto. L'**epicentro** è il corrispondente punto sulla superficie. Normalmente la zona dell'epicentro è quella che registra i danni più gravi, mentre l'intensità del terremoto si affievolisce allontanandosi. Lo studio dei tempi di arrivo delle onde in stazioni poste a distanze diverse dall'epicentro permette di determinare con precisione la posizione del ipocentro e anche il meccanismo del movimento che ha prodotto il terremoto. I sismi di maggior intensità producono, naturalmente, onde che vengono percepite molto lontano, talvolta attraversando l'intero pianeta, rimbalzando più volte lungo i diversi "strati" che costituiscono l'interno della Terra. A volte, in occasione dei sismi più potenti, la Terra continua ad oscillare per giorni interi, e gli effetti sono così importanti che si possono modificare anche alcuni parametri terrestri, come l'inclinazione dell'asse. Si tratta, però, di eventi che non portano alcuna conseguenza sulla vita del pianeta e, se sono misurati strumentalmente, non vengono percepiti dalla maggior parte degli esseri viventi.

Le informazioni raccolte nel corso di sismi di forse intensità hanno permesso di studiare e capire come è fatto l'interno della Terra, determinandone la struttura a "gusci" concentrici in base al tipo di onde e alle velocità con cui queste si propagano nei diversi materiali. Eventi disastrosi e catastrofici da un lato, si mutano a volte in possibilità di studio preziose per capire il comportamento del nostro pianeta e poter costruire modelli di previsione per il futuro, per questo, mentre le squadre di soccorso sono al lavoro per portare aiuto alle popolazioni colpite, equipe di sismologi e geofisici sono sempre, silenziosamente, al lavoro per comprendere sempre meglio il comportamento del nostro inquieto pianeta.

Corsi e ricorsi storici

I terremoti, proprio perchè legati a situazioni geologiche e tettoniche, tendono a ripetersi nel tempo nelle medesime aree, spesso con modalità simili. E' molto importante, quindi, raccogliere i dati storici di eventi sismici che vadano il più indietro possibile nel tempo. Alcuni studi geologici permettono anche di ricostruire eventi sismici di un passato ancora più lontano, studiando, per esempio, particolari forme del terreno, antiche frane o la rottura di concrezioni all'interno di grotte. Vengono in questo modo costruite delle mappe, per ogni regione, dei sismi del passato, che permettono di costruire delle carte di rischio sismico, realizzando la cosiddetta zonazione sismica. Per ogni area, è importante conoscere l'intensità dei diversi sismi che si sono succeduti, in modo da determinare il "tempo di ritorno" dei sismi di maggior intensità: in pratica, si costruisce una statistica degli eventi più intensi e si determina ogni quanti anni un terremoto di una certa entità si è verificato. I sismi di maggior intensità hanno in genere i tempi di ritorno più lunghi, che possono essere di anni o decenni, o centinaia di anni. Non si sa quando esattamente un terremoto avverrà, ma si sa che avverrà entro un certo periodo di tempo, e più passa il tempo, più aumentano le probabilità che un certo evento si verifichi. La quiete della

Terra, quindi, non deve farci abbassare la guardia, tutt'altro! Un esempio classico è la zona della faglia di San Andreas, in California, una delle zone sismiche più studiate. La faglia di San Andreas, lunga più di 1000 km e profonda 32, è il luogo dove si scontra la placca Nordamericana con quella Pacifica: qui il tempo di ritorno dei sismi di maggior intensità è stimato in 100-150. L'ultimo evento di forte intensità è avvenuto nel 1857, per cui diviene sempre più probabile che un forte terremoto si verifichi di qui a pochi anni. E' quindi iniziata l'attesa di quello che i californiani chiamano "The Big One", quello "grosso". Altri studi stanno mettendo in luce un aumento della microsismicità e delle deformazioni intorno alla zona di faglia, tutti segni precursori di un prossimo movimento importante: si stima quindi che vi sia il 60% di probabilità che si produca un violento terremoto nei prossimi 30 anni. Il Big One è atteso: si spera che tutto sia pronto!

La zonazione sismica

Conosciuti i tempi di ritorno dei sismi in una data zona, tutte le costruzioni umane dovranno tenere conto di questo e si dovranno mettere in opera opportune difese, prima fra tutte la realizzazione di costruzioni antisismiche. Esempi di costruzioni antisismiche sono antichissimi, come si osserva, per esempio, nelle mura incaiche di Cuzco, in Perù. Una costruzione antisismica, naturalmente, non potrà resistere a tutti i terremoti possibili: per essere davvero sicura, è sufficiente (e necessario!) che possa resistere al sisma di massima intensità mai registrato nella regione. Un terremoto di intensità inusuale, però, pur essendo poco probabile, potrebbe sempre verificarsi, vanificando tutti gli sforzi di prevenzione: per questo, vivendo in aree a forte attività sismica, è necessario imparare a convivere con un certo grado di rischio. Ne è un esempio un Paese come il Giappone, che, pur essendo preparato e attrezzato a far fronte alla maggior parte dei sismi, a volte subisce gravi danni, nonostante le rigorose normative edilizie. Nonostante tutte le precauzioni, quindi, è praticamente impossibile eliminare il rischio sismico. Ma c'è dell'altro. In molte zone, comprese molte aree italiane, il criterio di adeguare le opere antropiche al sisma di massima intensità mai registrato provocherebbe costi proibitivi per ogni opera umana. Si prendono allora in considerazione i tempi di ritorno dei sismi maggiori. Se questi sono molto lunghi, nell'ordine di centinaia di anni, o di molti decenni, può essere economicamente più vantaggioso costruire con criteri meno restrittivi, tenendo ben presente, però, che la durata della costruzione non potrà superare il tempo di ritorno del sisma più intenso. Questo vale soprattutto per opere che non sono destinate a durare nel tempo, come, per esempio, una diga o un ponte, che, in genere, dopo alcuni anni necessitano comunque di ammodernamenti e di grandi manutenzioni. E' proprio questo criterio che permetterebbe di costruire il tanto discusso ponte sullo Stretto di Messina. Semplice, no? Purtroppo, in questo approccio c'è una terribile illusione: il tempo di ritorno è calcolato su una base statistica, è una media. In media, si verificano, poniamo, due sismi di magnitudo 7 in un secolo: uno ogni 50 anni, dunque? Non è detto: come accade per il sorteggio dei numeri del Lotto, lo stesso numero può uscire per due volte di fila e poi non uscire più per mesi, così si possono verificare due terremoti di magnitudo 7 nel giro di due mesi, e poi più nulla per i successivi 100 anni. Decidere, quindi, il grado di rischio da accettare e i criteri di resistenza delle costruzioni per poter colonizzare un'area richiede scelte molto delicate: costruire con criteri antisismici è molto costoso, e ancora di più è risistemare vecchie costruzioni, per cui in termini puramente economici potrebbe essere più vantaggioso lasciare che un evento poco probabile si verifichi senza prendere adeguati provvedimenti, o con provvedimenti di importanza inferiore e poi ricostruire, magari, statisticamente, una volta ogni 100 anni... Il problema è riuscire a valutare correttamente il fattore probabilità, e altra cosa sono, naturalmente, le considerazioni dei costi sociali: la perdita di vite umane, infatti, non ha prezzo, nemmeno una volta ogni 100 anni...

Prevedere i terremoti

A parte le previsioni che possono essere fatte su base statistica, analizzando gli eventi storicamente avvenuti, i movimenti che generano un terremoto non sono in genere improvvisi, ma sono preceduti da una serie di segni premonitori che, se percepiti in tempo, possono aiutare a prevedere il verificarsi dell'evento. Purtroppo, però, questi sintomi sono spesso così flebili e rilevabili solo strumentalmente, da passare spesso inosservati. Inoltre, nessuno di questi è in grado di predire con esattezza la data e l'ora di un terremoto, cosa che rende molto difficile programmare gli allarmi e le eventuali evacuazione delle popolazioni, magari con mesi di anticipo. Non sono infrequenti i casi di allarmi lanciati con tempestivo, forse eccessivo, anticipo, poi rientrati perchè apparentemente infondati, e seguiti poi dal

verificarsi dell'evento sismico preannunciato. A volte l'incertezza della previsione equivale ad una previsione negativa, in un campo dove il condizionale è sempre d'obbligo, così come dovrebbe esserlo la pazienza: chi di noi, infatti, sarebbe disposto ad abbandonare la propria abitazione e il proprio lavoro per qualche mese, perchè "forse" potrebbe verificarsi un terremoto nelle vicinanze?

Tra i segni premonitori più comuni e più "sicuri" vi sono aumenti di terremoti di piccola intensità, i cosiddetti **microsismi**, rilevabili solo strumentalmente, accompagnati da deformazioni della crosta, apertura di piccole fratture, movimenti lungo faglie a volte marcati da un aumento di piccole frane), alcune variazioni delle proprietà delle rocce, come un aumento della conducibilità elettrica dovuto alla formazione di microfratture, la liberazione di gas particolari, come il radon, sempre causata da microfratture, l'aumento del livello di falde idriche, ben rilevabile controllando i livelli dell'acqua nei pozzi. Il problema è che spesso questi fenomeni non si presentano insieme e quasi mai con intensità tale da richiamare l'attenzione, e, peggio ancora, moltissimi sismi di grande entità avvengono senza che si manifesti, almeno apparentemente, alcun sintomo precursore. Molti animali e anche alcune persone sono in grado di avvertire la prossimità di un terremoto, probabilmente perchè sensibili alle variazioni del campo elettromagnetico che precedono un terremoto, o perchè in grado di udire gli infrasuoni legati alla propagazione delle onde sismiche: qui, però, si entra nel campo delle "premonizioni" più che delle previsioni, per cui, in assenza di misure strumentali, risulta difficile fidarsi dell'inquietudine di Fido o dei pesci nella vasca del giardino: quanto gioca l'approssimarsi di un terremoto e quanto quello di un ignaro micio di passaggio?

Tutto questo rende assai difficile fare previsioni, soprattutto in termini precisi di ore o di giorni. In Cina uno dei maggiori terremoti mai avvenuti fu previsto con 5 anni di anticipo, ma questo non fu sufficiente per salvare le 250.000 persone che vi persero la vita, forse proprio per il largo, eccessivo anticipo con cui fu dato l'allarme.

Allarmi internazionali

In Italia è attiva una rete di stazioni di rilevamento sismico gestita da enti di ricerca pubblici e da università; in particolare, l'Istituto Nazionale di Geofisica gestisce le 32 stazioni di monitoraggio nazionale, distribuite sul territorio italiano e collegate in tempo reale con la sede centrale di Roma. Dal 1981 è attivo il Gruppo Nazionale per lo studio dei problemi inerenti la difesa dei terremoti, promosso dal Consiglio dei Ministri, mentre il Servizio Sismico Nazionale ha il compito di vigilare sull'esecuzione della legge sismica che regola la normativa edilizia in campo sismico. È stata prodotta, e continuamente aggiornata, la classificazione sismica dell'intero territorio: più di 8000 comuni sono così stati suddivisi in 3 classi di pericolosità sismica, che prevedono precisi vincoli edilizi alle costruzioni e opere antropiche. Insieme alla Protezione Civile, poi, sono stati stesi piani di intervento in caso di eventi sismici particolarmente gravi.

Le reti di monitoraggio sismico di moltissimi Paesi del mondo sono, o dovrebbero, essere in costante contatto tra loro, in modo da stabilire un'efficace rete di collegamento e di allerta. Spesso questi sistemi di allerta funzionano, come è, per esempio, per il sistema di monitoraggio e di allarme tsunami nel Pacifico, mentre in altri casi il coordinamento è molto difficile. Il recente terremoto nella medesima area ha invece dimostrato come, con un minimo di cooperazione e un impegno finanziario modesto, sia stato possibile allertare le popolazioni in tutta l'area a rischio tsunami. Il fatto che poi, questa volta, la natura capricciosa non abbia creato alcuna "onda assassina" non deve certo essere un invito ad abbassare la guardia!

I terremoti in Italia

L'Italia è, come ben noto, un Paese particolarmente esposto al rischio sismico. Il Mediterraneo è infatti stretto nella morsa tra due giganti, l'Africa e l'Europa, che inesorabilmente si avvicinano l'una all'altra. Il contatto tra le due placche ha già creato, in passato, la catena alpina, quindi è evidente che le forze in gioco sono tutt'altro che trascurabili. Esistono importanti zone di subduzione, come nell'arco alpino, al di sotto della pianura padana e in una fascia che va dalla Sicilia all'Egeo. Il sollevamento degli Appennini spinti contro le coste della Dalmazia e la presenza di numerose zone di intensa attività vulcanica, spesso, ma non sempre, legata agli scontri tra le placche del Mediterraneo, fanno del nostro Paese una zona molto rischiosa in cui vivere. Negli ultimi 2000 anni, si sono registrati migliaia di terremoti, di cui almeno 150 di grande intensità, con più di 450.000 vittime (pari al 10% delle vittime di terremoti di uguale intensità in tutto il mondo).

Soltanto la Sardegna e la Penisola Salentina sono storicamente "immuni" da terremoti (anche se, naturalmente, risentono dei terremoti verificatisi in altre zone). Nell'arco alpino la sismicità è relativamente bassa, ad eccezione di Trentino, Friuli e Piemonte, mentre tutto il resto della penisola è a rischio sismico elevato, in particolare nell'Italia centro-meridionale, dove tra Campania, Basilicata, Calabria e Sicilia si registra circa il 50% dei terremoti storici.

Il sottosuolo: una risorsa

Costruire con la roccia

I calcari, le arenarie e le rocce ignee facilmente lavorabili sono spesso impiegate nella costruzione di murature speciali, ovvero nella costruzioni di cornici, frontoni, colonne e pilastri di palazzi. In certe costruzioni rustiche, specialmente in montagna, si adoperano sottili lastre naturali di ardesia in sostituzione delle tegole. In opere edilizie sontuose o in costruzioni monumentali è molto diffuso l'impiego di marmo, tufi calcarei e alabastro. Per rivestimenti pregiati si adottano rocce sedimentarie dai disegni molto aggraziati dette "onici". Rocce magmatiche, metamorfiche e soprattutto calcaree, facilmente lucidabili e resistenti all'usura vengono utilizzate per le pavimentazioni di interni; mentre per le pavimentazioni stradali in pietra si possono utilizzare ciottoli fluviali o rocce ancora più resistenti come i graniti, i porfidi, le sieniti e gli gneiss. Ghiaia e pietrisco sono utilizzati per le massicciate stradali e ferroviarie (il fondo su cui poi viene posato l'asfalto o i binari). Per la difesa di rive fluviali o lacustri o di litorali marini, si usano comunemente grandi massi di roccia molto resistenti e pesanti, soprattutto rocce effusive e metamorfiche compatte e scure.

Lavorazione del ferro

Il ferro allo stato puro è raro in natura, ma si trova più spesso combinato con altri elementi in minerali, detti minerali di ferro, tra cui i più importanti sono l'ematite, la limonite, la magnetite, la pirite e la siderite. La prima fase di lavorazione dei minerali di ferro avviene negli altiforni e porta ad un prodotto particolare detto ghisa.

L'altoforno è costituito da due tronchi di cono uniti per la base, impiantati su una base cilindrica. E' una costruzione muraria alta dai 20 ai 30 metri, con un diametro di 8-10 metri. Dalla parte superiore della costruzione vengono caricati il minerale di ferro, il carbone e dei particolari materiali detti fondenti che servono per eliminare la parte di minerale non utilizzabile.

Dalla ghisa, attraverso un processo detto di "decarburazione" si ottiene l'acciaio; per ulteriore "decarburazione" si ha infine il ferro dolce. La decarburazione è un processo di raffinamento della ghisa che viene alleggerita del contenuto in carbonio e di impurità come il silicio, il fosforo, lo zolfo e il manganese.

Mattoni e ceramiche

Le argille vengono utilizzate come materie prime in diverse produzioni industriali, in particolare nella produzione delle ceramiche e dei laterizi (essenzialmente mattoni, tegole e mattonelle).

Assai importanti dal punto di vista economico sono pure le bentoniti, argille particolari prodotte dall'alterazione di depositi di ceneri vulcaniche in ambiente lacustre. Queste vengono utilizzate nei lavori di perforazione del suolo (in quanto sono in grado di sostenere le pareti del foro), per la costruzione di stampi da fusione nelle fonderie, oppure nel processo di cracking del petrolio come catalizzatori.

Un altro gruppo di argille importanti economicamente sono le "fire-clay", utilizzate nella costruzione di prodotti ceramici refrattari, ovvero materiali che resistono a temperature molto alte (superiori ai 1500°C) senza alcuna alterazione di forma e volume.

Le argille sono utilizzate anche in molte altre produzioni: nell'industria cartaria come materia prima per la patinatura della carta, nella fabbricazione degli insetticidi, della gomma, del lineolum e delle vernici.

Le rocce come isolanti

Tra i materiali più usati come isolanti, soprattutto in passato, c'è l'amianto. In effetti è un minerale particolarmente resistente alle alte temperature, utilizzato per la preparazione di cartoni, tessuti e funi incombustibili. Dal 1994 è tuttavia

vietato ogni impiego di amianto, in quanto questo materiale disperde nell'aria fibre nocive per la salute, che provocano gravi malattie all'apparato respiratorio. Di più recente utilizzo sono invece la vermiculite e la perlite. La vermiculite è un minerale molto ricco d'acqua che viene "espanso" per riscaldamento a 900 - 1000°C. Così facendo l'acqua viene espulsa rapidamente e il minerale, che acquista un'elevata leggerezza, può essere impiegato come riempimento isolante di intercapedini (lo spazio tra due pareti vicine creato apposta per ospitare materiale isolante). La perlite è una roccia effusiva utilizzata negli intonaci assieme a gesso, cemento e calce. Anche le pomici, rocce vulcaniche ricche di cavità, sono usate spesso come isolanti termici ed acustici, dopo essere state macinate e mescolate alle malte. Alcuni tipi di basalti sono fusi a 1300°C per ottenere un particolare materiale vetroso chiamato "lana di roccia". Questo materiale è usato come coibente (isolante) termico poiché ha la capacità di resistere a temperature prossime a 1000°C; è anche un ottimo isolante acustico e viene largamente utilizzato nelle costruzioni moderne.

Cemento e gesso

I leganti sono prodotti utilizzati nell'edilizia. Queste sostanze, impastate con acqua, permettono di ottenere malte che, in seguito ad un fenomeno chimico particolare detto "presa", induriscono e acquistano resistenza meccanica. I leganti vengono distinti in aerei e idraulici, a seconda che il fenomeno della presa avvenga a contatto dell'aria oppure dell'acqua. I calcari rappresentano la materia prima per la preparazione della calce aerea, utilizzata per ottenere la nota malta utilizzata nell'edilizia. Le calce idrauliche fanno presa oltre che all'aria anche sotto acqua, esse hanno cioè proprietà "idrauliche". Questo particolare tipo di calce sono ottenute dalla cottura di calcari marnosi, cioè di rocce calcaree contenenti argilla. La pozzolana è un tufo vulcanico (una roccia ottenuta dal raffreddamento del magma che fuoriesce dal sottosuolo durante un'eruzione vulcanica) nel quale sono presenti sia minuti granuli di sostanza vetrosa sia silicati di tipo diverso. Se la pozzolana viene mescolata alla calce aerea si ottiene un legante che ha proprietà idrauliche. Le rocce costituite da calcare col 25 % circa di argille cotte alla temperatura di 1500°C danno uno dei più usati leganti idraulici noto col nome di cemento Portland. Il gesso naturale viene usato per preparare gesso a rapida presa e per stuccatura.

Una difesa dalle radiazioni

La diffusione dell'uso di elementi radioattivi naturali o artificiali (radioisotopi) in medicina, e delle tecniche nucleari industriali, ha posto il problema della realizzazione di ambienti che siano completamente schermati, allo scopo di impedire il propagarsi delle radiazioni dannose per le persone. L'uomo è riuscito a studiare e produrre tipi di murature, calcestruzzi ed intonaci, che non consentono il passaggio delle radiazioni. Gli inerti utilizzati per produrre questi agglomerati cementizi sono costituiti da granulati speciali ottenuti per frantumazione di barite ($BaSO_4$). La barite è un minerale abbastanza comune che contiene il bario (Ba), un elemento in grado di evitare il propagarsi delle radiazioni nucleari. Quando invece al legante si richiede una particolare resistenza meccanica, viene usato come inerte aggiuntivo un granulato di corindone (Al_2O_3), che per la sua elevata durezza risponde bene allo scopo.

Il vetro

La materia prima fondamentale per la preparazione del vetro è la silice. La silice è presente in natura nelle sabbie e in alcune rocce compatte (quarziti). Le sabbie utilizzate devono essere molto pure e fini. I materiali, polverizzati, vengono riscaldati fino a 1200 - 1400°C in opportuni forni fusori.

Dopo la fusione la massa viene lasciata riposare a 1400 - 1500°C per diverse ore. Quindi, dopo un lento raffreddamento, viene sottoposta a foggatura. La foggatura viene fatta sulla massa ancora fusa e, per impedire la formazione di rotture nel manufatto, è necessario raffreddarla molto gradatamente. I vetri completamente raffreddati vengono in seguito sottoposti a varie opere di rifinitura.

Le lastre di vetro prive di difetti possono essere utilizzate per la preparazione degli specchi. La superficie riflettente si ottiene facendo depositare sul vetro uno strato sottile di un metallo bianco: argento per gli specchi pregiati, piombo per gli specchi scuri, stagno e alluminio per specchi ordinari.

Il diamante

La gemma in assoluto più preziosa è il diamante, composta da carbonio. Le caratteristiche che lo rendono così pregiato sono l'elevata durezza, l'inalterabilità, la lucentezza e la trasparenza. I più comuni diamanti sono in genere incolore, tuttavia i più abbondanti in natura hanno una pallida colorazione sul giallo o marrone. Diamanti rossi, verdi e blu sono estremamente rari e costosi. L'India è il paese dove sono stati scoperti i primi giacimenti di diamante; ora questi giacimenti sono quasi del tutto esauriti, mentre rilevanti sono le estrazioni in Brasile e Sudafrica.

Opali e smeraldi

L'opale è una delle gemme più affascinanti al mondo per il mutevole gioco di colori che presenta. Il minerale è composto da silice idrata ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, questo significa che nella struttura del minerale sono presenti anche molecole di acqua) e si presenta in uno stato amorfo. Le varietà più apprezzate sono l'opale nobile, lattiginoso e con vivacissime iridescenze, l'opale arlecchino, e l'opale di fuoco, più trasparente dell'opale nobile e dotato di un vivo colore arancione. La turchese possiede un colore ceruleo e un aspetto porcellanaceo, i più begli esemplari provengono dall'Iran, mentre le turchesi americane sono meno pregiate in quanto facilmente degradabili. Il nome smeraldo trae origine dal termine greco "smaragdōs" che significa pietra verde. I più antichi giacimenti, sfruttati dai Faraoni, erano quelli sulla costa egiziana del Mar Rosso. Attualmente la maggior produzione è data dai giacimenti della Colombia, del Brasile e degli Urali. Lo smeraldo deve il suo colore verde alla contemporanea presenza di ossidi di cromo e vanadio.

Acquamarina, zaffiri, rubini e topazi

L'acquamarina, una pietra azzurro mare, sembra che debba il suo particolare colore alla presenza di ferro. I maggiori giacimenti sono situati in varie località del Brasile, negli Urali e in Madagascar.

Minuti cristalli limpidissimi sono stati rinvenuti anche all'isola d'Elba. Il rubino e lo zaffiro rappresentano le varietà pregiate di corindone. Il rubino si presenta con un colore che va dal rosa al rosso anche molto intenso. E' una delle pietre preziose di maggior valore e la sua particolare colorazione è data dalla presenza di ossidi di cromo. Lo zaffiro è meno costoso e ricercato di smeraldo e rubino. Il suo colore varia da azzurro a blu intenso e deriva dalla presenza di tracce di titanio e ferro. I principali giacimenti di zaffiro e rubino sono localizzati in Birmania, Thailandia e Sri Lanka. Il topazio è una pietra che può avere vari colori (giallo chiaro, giallo bruno, rosa, rosso, azzurro, verdognolo) e può raggiungere anche grosse dimensioni. I principali giacimenti si trovano in Brasile e Russia.

I giacimenti nel sottosuolo

I combustibili fossili

La moderna società industriale consuma notevoli quantità di energia per il riscaldamento, i trasporti e le industrie. Le fonti di energia principali sono le sostanze naturali combustibili, ed in particolare quelle che hanno una resa energetica maggiore sono i combustibili fossili.

I carboni fossili sono sostanze che si sono formate nel sottosuolo da materiale vegetale proveniente da antiche foreste che hanno subito processi chimici e fisici per milioni di anni. In questo periodo, il materiale vegetale perde idrogeno, ossigeno e azoto, mentre si arricchisce di carbonio, aumentando così il suo potere calorifico. Il carbone più giovane e ancora con contenuto di acqua rilevante prende il nome di torba, l'antracite ha invece un alto contenuto di carbonio e alto potere calorifico; il processo che porta all'arricchimento di carbonio prosegue fino alla formazione della grafite, minerale costituito da solo carbonio. Questi combustibili sono tipici dei terreni che si sono formati 280 – 350 milioni di anni fa (periodo del Carbonifero), perché nel periodo precedente si erano sviluppate grandi foreste con piante a fusto legnoso. Gli idrocarburi sono invece un tipo particolare di rocce organogene e derivano dalla decomposizione dei resti di organismi in assenza di ossigeno. Queste sostanze si accumulano nelle rocce porose e si presentano in forma solida (bitume), in forma liquida (petrolio) e in forma aeriforme (gas naturale). Sono materiali molto leggeri che si muovono verso l'alto attraverso strati di roccia permeabile; quando incontrano uno strato di rocce che ne impediscono il movimento, si accumulano e formano un giacimento.

Il giacimento minerario

Con il termine di giacimenti minerari si indicano quelle zone in cui vengono estratti dal sottosuolo i minerali e le rocce utilizzati dall'uomo. E' bene precisare che, dal punto di vista formale, siamo in presenza di un giacimento minerario solo se la qualità e quantità di rocce e minerali presenti consente all'uomo lo sfruttamento economico di quella risorsa. Alcuni minerali metallici sfruttati in campo industriale (come ad esempio il mercurio) si trovano ormai in quantità e zone limitate, e potranno quindi esaurirsi nel giro di pochi anni, rendendo obbligatoria la pratica del riciclo o la loro sostituzione con altre sostanze.

Giacimenti e miniere in Italia

In Italia la maggior parte delle miniere esistenti all'inizio del secolo sono state ormai chiuse. Apprezzabili giacimenti di mercurio (sotto forma di cinabro) sono presenti sul Monte Amiata e minerali di fluoro vengono estratti nelle miniere sarde di Silius. Invece, le miniere di ferro (presenti a Cogne, in Val D'Aosta, nell'Isola d'Elba e in Sardegna) e di carbone (nella zona del Sulcis, in Sardegna) sono state abbandonate a causa della bassa concentrazione di minerale presente e dei maggiori costi di produzione rispetto ad altri giacimenti situati all'estero. Più importante è, indubbiamente, la produzione dei materiali detti di "seconda categoria" come calcari, marmi, graniti, argille, sabbie, travertini, ecc. In particolare, l'Italia è il maggior fornitore al mondo di pomice, realizzando circa la metà dell'intera produzione mondiale. La pomice estratta proviene soprattutto da Lipari. L'Italia, inoltre, è al secondo posto in Europa, dopo la Germania, per la produzione di acciaio grezzo e cemento. E' il maggior produttore al mondo di minerali feldspatici (silicati), riuscendo a raggiungere un quarto dell'intera produzione globale. L'esportazione in tutto il mondo di pietre naturali, soprattutto marmo, è molto elevata. Il marmo in Italia è presente in numerose località. L'area geografica più importante per la produzione di marmo bianco è sita in Toscana, precisamente sulle Alpi Apuane. Lazio, Lombardia, Puglia, Sicilia e Veneto sono altre importanti aree per l'estrazione del marmo colorato.

Attività estrattiva nel 5000 a.C.

Le primissime tecniche di estrazione risalgono al Neolitico (5000 a. C.): la pietra veniva estratta principalmente con l'utilizzo di mazze e picconi. Intorno al 3000 a. C., in Egitto, venne adottata una nuova tecnica che, fino a poco tempo fa, era ancora impiegata nelle piccole cave sprovviste di attrezzatura moderna. Essa consisteva nell'inserire nelle fratture delle pareti rocciose cunei di legno che, una volta bagnati, aumentano di volume e con la loro pressione provocano lo scollamento dei massi. Questo metodo fu in uso in tutto il mondo antico, anche presso i Romani. Un'altra tecnica consisteva nel piantare dei tasselli di ferro su cui battere con mazze pesanti. Agli inizi del '700 si sviluppò l'impiego dell'esplosivo: in cunicoli disposti ordinatamente nella roccia veniva introdotta dinamite che causava l'abbattimento di una grossa quantità di massi. Questa procedura, però, risultava poco vantaggiosa sia per lo spreco eccessivo di materiale che per la pericolosità nei confronti dei lavoratori.

Attività estrattiva in tempi recenti

Dalla fine dell'ottocento si è diffusa la tecnica del filo elicoidale. Un filo è fatto scorrere da un motore lungo le zone di taglio. Durante il funzionamento il filo viene costantemente raffreddato con acqua: con questo sistema si riesce ad estrarre blocchi di grosse dimensioni. Attualmente vi sono vari mezzi meccanici che vengono utilizzati nel settore estrattivo; lo strumento più utilizzato è la tagliatrice a filo diamantato. Un cavo d'acciaio del diametro di 6 mm, su cui sono inseriti piccoli cilindri di diamante, viene fatto scorrere nei canali della roccia; questa tecnica ha una velocità di taglio venti volte maggiore di quella del filo elicoidale. Un'altra tecnologia innovativa impiegata nell'estrazione in cava è denominata "waterjet": essa consiste essenzialmente nell'escavazione per mezzo di un getto d'acqua ad alta pressione che è in grado di provocare la rottura della roccia. Una volta estratto, il materiale lapideo viene sottoposto ad opportune opere di trasformazione (tagliatura in blocchi o lastre e trattamento delle superfici) per ottenere lavorati destinati alle più differenti applicazioni.

I metalli

L'uomo estrae dal sottosuolo molti minerali dai quali ricava, attraverso opportune tecniche di raffinazione, sostanze per costruire manufatti, macchinari e strumenti. Un esempio sono i metalli (ferro, rame, alluminio, zinco, cobalto, manganese titanio, cromo e platino) che si lavorano con facilità e hanno la capacità di condurre corrente elettrica. Nella maggior parte delle rocce i minerali utili sono presenti in modesta quantità, per cui l'estrazione è conveniente solo nel caso in cui il minerale necessario abbia formato un giacimento, ovvero sia presente in grande quantità in un determinato luogo. La situazione attuale delle riserve di metalli è valutata in modo preoccupante per il futuro e ha reso necessaria la ricerca di nuovi giacimenti. Si è scoperto, infatti, che importanti quantità di minerali metallici sono situati nei fondali marini. Si tratta precisamente di "noduli polimetallici" ricchi in manganese e ferro, con minori quantità di sodio, calcio, stronzio, rame, cobalto, cadmio, nichel e molibdeno. Stime approssimate sono giunte alla conclusione che sui fondi abissali vi è una riserva di quasi 2000 milioni di tonnellate di noduli dai quali si potrebbero estrarre metalli pregiati. Questa particolare riserva costituisce una massa di risorse superiore di circa 1800 volte quella di tutte le miniere delle terre emerse. Altrettanto ricche sono le riserve marine di materiali argillosi, sabbie (per esempio quelle silicee per il vetro) e minerali potassici.

Sfruttare il sottosuolo

Tutte le risorse del sottosuolo hanno la caratteristica di essere esauribili in tempi più o meno brevi. Anche le rocce e i minerali, quindi, non potranno essere estratti all'infinito dall'uomo. E anche per essi, come per l'energia, vale la raccomandazione di farne un utilizzo oculato, efficiente, privo di sprechi e soprattutto di incentivare e praticare, ove possibile, il riciclo dei materiali.

A parte la questione della disponibilità limitata delle risorse del sottosuolo, vi è un problema più generale e, in alcuni casi ben più importante, di inquinamento associato all'attività di estrazione. Infatti, tra le diverse attività dell'uomo che hanno un elevato impatto ambientale si può senz'altro annoverare quella legata all'estrazione di materiali litoidi (argilla, sabbia, ghiaia, pietrame, ecc.) effettuata nei corsi d'acqua, nelle pendici di montagna o in pianura. Molto spesso i proprietari delle cave abbandonano il luogo in situazioni degradate, al punto che esso non è più recuperabile. Da alcuni anni sono stati promossi diversi interventi, finalizzati al ripristino ambientale di queste cave. Lo scopo principale è il reinserimento dell'area in precedenza escavata nell'ambiente circostante, sia per quanto riguarda il paesaggio che per quanto riguarda la qualità delle acque e del suolo prossimi alla miniera, e che spesso risultano fortemente inquinati dall'attività mineraria di estrazione.

I migliori risultati di ripristino si ottengono se lo stesso piano di coltivazione della cava contempla fin dall'inizio il recupero dell'intera area, anziché attendere l'esaurimento della risorsa estratta e la dismissione dell'attività. Infatti, risulta molto più difficoltoso intervenire a posteriori. Le opere di ripristino devono essere realizzate, per quanto possibile, parallelamente ai lavori di escavazione e non rimandate al termine della coltivazione. Per fare ciò si possono utilizzare le stesse macchine ed attrezzature del cantiere con evidente contenimento dei costi.

Ripristino di una cava

Nel caso di una cava a cielo aperto in un'area pianeggiante, l'area escavata può essere riempita in parte con lo stesso terreno vegetale in precedenza asportato e ricoperta con humus agricolo. Per questo motivo durante la coltivazione della cava si deve cercare di non mescolare il terreno vegetale asportato con il materiale di scarto. Se, invece, il fondo dello scavo di una cava in argilla viene a contatto con una falda freatica, si può cercare di destinare l'area di scavo ad un laghetto. Questi bacini, residuati dall'attività estrattiva, possono essere adibiti a pesca sportiva, tempo libero, itticoltura, uso irriguo, oasi naturalistica, o, se di una certa grandezza, a sport nautici. Come esempio si possono citare il Parco della Fornace CARENA a Cambiano (TO) e il Parco ecologico della Uniéco, fornace di Fosdondo a Correggio Emilia. Nel caso di una cava impiantata sul pendio di un monte, l'esigenza principale è quella di reinserire l'area coltivata nel paesaggio circostante e nello stesso tempo assicurare la stabilità del pendio su cui si è operato. E' perciò necessario ottenere rapidamente una copertura vegetale che consenta un efficace consolidamento delle scarpate e una mitigazione dei fenomeni erosivi. Particolare attenzione merita la possibilità di adibire cave esaurite a discarica di rifiuti. Nel caso

delle argille, ad esempio, le cave sono incise in rocce poco permeabili e con caratteristiche tali da essere considerate un idoneo “contenitore” di sostanze inquinanti derivanti dallo smaltimento di rifiuti. Le argille sono persino indicate dalla CEE fra le rocce capaci di risolvere il problema dell'eliminazione dei rifiuti radioattivi. Si può concludere osservando che gli effetti negativi connessi con l'attività estrattiva possono essere ampiamente limitati se si interviene preventivamente nelle fasi di progettazione. Infine è importante sottolineare che l'area escavata, una volta recuperata, rimane estremamente fragile come ecosistema, per cui deve essere costantemente controllata.