

## I processi di disgregazione fisica e di alterazione chimica



**Fig. 1.** Disgregazione di una roccia per crioclastismo. Se il fenomeno agisce sulle pareti dei rilievi montuosi, causa il distacco di frammenti che per gravità cadono alla base, formando depositi detti falde di detrito.

### Degradazione meteorica ed erosione

Per **degradazione meteorica** s'intende l'insieme delle modificazioni chimiche e fisiche che subisce una roccia affiorante in superficie e che hanno l'effetto di ridurre la sua coesione e di facilitarne il distacco di frammenti solidi e l'asportazione per dissoluzione (come ioni) di minerali.

Come risultato si ha l'**erosione**, cioè la progressiva rimozione dalla roccia di materiali che possono essere portati altrove (per azione della gravità e di agenti di trasporto) e che comporta la parziale o totale distruzione della roccia stessa.

I materiali detritici in parte rimangono *sul posto*, formando una coltre su cui potrà svilupparsi il *suolo*.

I processi di degradazione meteorica delle rocce possono essere di tipo *fisico* o di tipo *chimico*.

Nel primo caso si parla di **disgregazione fisica**, che non comporta cambiamenti nella composizione dei minerali di partenza.

Nel secondo caso si parla di **alterazione chimica**, che invece determina la trasformazione dei minerali iniziali in sostanze differenti, oppure ne causa la dissoluzione. L'alterazione chimica è prevalente nei climi tropicali, caratterizzati in genere da abbondanti precipitazioni ed elevate temperature, mentre l'alterazione fisica predomina nei deserti e nei climi freddi alle alte latitudini.

### Disgregazione fisica

Consiste nella fratturazione e nello sgretolamento della roccia in seguito ad azioni di tipo "meccanico" che producono **detriti** costituiti da frammenti o **clasti** (dal greco *klastòs* = spezzato) di dimensioni variabili, da quelle di un masso a quelle di una minuscola particella. Le più comuni cause di disgregazione fisica di una roccia sono dovute a *variazioni di temperatura* e si manifestano attraverso i fenomeni del *crioclastismo* e del *termoclastismo*.

**CRIOCLASTISMO.** Quando la temperatura scende da valori superiori a valori inferiori allo zero, l'acqua congela e aumenta di volume (per circa il 9%).

L'acqua si infila facilmente nelle fratture e nei pori delle rocce: se congela trasformandosi in ghiaccio (fase di *gelo*), questo, a causa dell'aumento di volume, esercita una notevole pressione (fino a 2000 kg/cm<sup>2</sup>) sulle pareti delle cavità, allargandole.

Con il successivo rialzo della temperatura, il ghiaccio fonde allentando la pressione (fase di *disgelo*); al successivo abbassamento di temperatura, l'acqua gela nuovamente, allargando ulteriormente le fratture.

Il ripetersi di *cicli di gelo-disgelo* causa alla fine la frammentazione della roccia (*fig. 1*) e il fenomeno è chiamato *crioclastismo* (dal greco *kryòs*, freddo, gelo e *klastòs*, spezzato). Le regioni più esposte a questo tipo di degradazione fisica sono quelle montuose alle medie e basse latitudini.

**TERMOCLASTISMO.** Una roccia sottoposta a un aumento di temperatura si dilata (cioè aumenta di volume), mentre al diminuire della temperatura si contrae.

Le rocce, tuttavia, sono nella maggior parte dei casi un insieme di minerali che in genere si dilatano e si contraggono in modo non omogeneo e, inoltre, la parte esterna di una roccia si riscalda e si raffredda più velocemente della parte interna.

L'alternanza di *dilatazioni-contrazioni* crea tensioni nella massa rocciosa che possono causare fratturazioni e il distacco di frammenti. Il *termoclastismo* (dal greco *thermòs*, caldo) si manifesta in modo significativo nelle zone dove si registrano forti variazioni di temperatura tra il giorno e la notte, come nelle regioni desertiche.

### L'alterazione biochimica

Certi organismi contribuiscono all'alterazione delle rocce attraverso la produzione di secrezioni corrosive. In particolare, i funghi e i licheni, oltre alle stesse radici delle piante, secercono acidi organici che decompongono i minerali delle rocce per consentire l'assorbimento di elementi utili.

### Alterazione chimica

Consiste nella modificazione dei componenti minerali di una roccia in seguito a processi e reazioni chimiche in cui intervengono acqua, gas atmosferici (diossido di carbonio e ossigeno, che sono presenti anche nell'acqua) e organismi viventi (*vedi riquadro a lato*). I prodotti finali sono detriti solidi e materiali in soluzione.

L'alterazione chimica ha principalmente l'effetto di trasformare uno o più minerali di una roccia in specie mineralogiche differenti o in sostanze inorganiche amorfe (*colloidi*), che spesso sono più facilmente solubili, e di rimuovere dalla roccia, grazie all'azione dissolvente dell'acqua, cationi metallici (come  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , e  $\text{Ca}^{2+}$ ).

I vari minerali manifestano una diversa suscettibilità all'attacco chimico. In generale un minerale è tanto più "instabile", cioè facilmente alterabile, quanto più le sue condizioni di formazione (temperatura e pressione) sono state diverse da quelle presenti alla superficie terrestre. Per esempio, tra i silicati, gli anfiboli, i pirosseni e l'olivina sono, nell'ordine, i minerali più facilmente alterabili, al contrario del quarzo, seguito dall'ortoclasio, che sono quelli più resistenti all'alterazione, perché meno marcato è il divario tra le condizioni di formazione e le condizioni in superficie.

I principali processi di alterazione chimica comprendono l'idratazione, l'idrolisi, la dissoluzione, dove è determinante l'azione dell'acqua (pura o contenente gas disciolti) e l'ossidazione (causata dall'ossigeno).

**IDRATAZIONE.** L'acqua può essere incorporata in certi minerali che legano una o più delle sue molecole nella propria struttura cristallina.

Questo fenomeno, detto **idratazione**, produce di norma un aumento di volume dei minerali, con conseguente dilatazione che può facilitare la fratturazione delle rocce interessate. Un comune esempio d'idratazione è la trasformazione dell'anidrite, solfato di calcio anidro ( $\text{CaSO}_4$ ), in gesso, solfato di calcio diidrato ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (fig. 2):



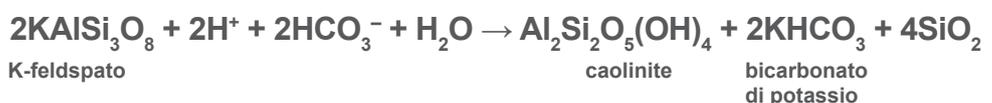
Il fenomeno riguarda in particolare alcuni tipi di *argille* (montmorilloniti) che possono idratarsi ed espandersi in presenza di acqua, per poi disidratarsi e ridursi di volume in periodi di siccità (allorquando i suoli argillosi si fessurano vistosamente).

**IDROLISI.** L'acqua può agire come reagente chimico in grado di operare la scissione (*lisi*) dei legami di certi composti minerali, che sono così decomposti in sostanze più semplici: questo processo è chiamato **idrolisi** e l'acqua vi prende parte come ioni  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  (che derivano dalla dissociazione di una piccola frazione delle sue molecole). L'idrolisi riguarda in particolare i *silicati* che sono trasformati prevalentemente in *minerali argillosi*.

Per esempio, il *feldspato di potassio* (ortoclasio) viene decomposto in *caolinite* (un minerale argilloso), *ioni potassio* e *silice* e il processo è più rapido se l'acqua è debolmente acida; ciò avviene quando nell'acqua passa in soluzione diossido di carbonio atmosferico,  $\text{CO}_2$ , che interagisce con essa formando acido carbonico,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , che è instabile e, a sua volta, si dissocia in un protone  $\text{H}^+$  e in uno ione bicarbonato,  $\text{HCO}_3^-$ :



La reazione di idrolisi del feldspato di potassio (K-feldspato) può essere così rappresentata schematicamente:



### Focus

#### I prodotti dell'alterazione chimica:

- **detriti**, costituiti da minerali primari residui (cioè i costituenti originali della roccia) e da minerali secondari (argillosi) derivati dai primari in seguito a processi chimici;
- **materiale in soluzione** (in particolare ioni alcalini e alcalino-terrosi).



Fig. 2. Ammasso roccioso costituito da gesso (New Mexico, USA).

3



4



**Fig. 3.**  
a. Roccia granitica che porta i segni di un'accentuata alterazione chimica. b. Detriti di varie dimensioni che si formano in seguito al progressivo disfacimento chimico di una roccia granitica.

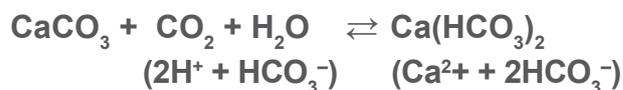
**Fig. 4.**  
Roccia calcarea fortemente incisa dall'azione solvente dell'acqua.

La caolinite rispetto al K-feldspato ha un tenore di silice minore ed è priva di potassio. È un minerale insolubile, a differenza del bicarbonato di potassio che è solubile, e quindi in presenza di acqua si ha la rimozione di ioni  $K^+$ , e della silice che passa in soluzione in forma colloidale.

Il disfacimento dei feldspati è un'importante causa di alterazione dei graniti che contengono un alto tenore di questi minerali (**fig. 3a e b**). Le rocce perdono la loro compattezza e sono esposte a progressivo sgretolamento, i cui prodotti sono costituiti in prevalenza da particelle di caolinite e granuli inalterati di quarzo che è molto resistente all'attacco chimico.



**DISSOLUZIONE.** È il processo attraverso cui l'acqua porta in soluzione una sostanza solubile. Solo alcuni minerali sono molto solubili in acqua, come per esempio il salgemma ( $NaCl$ ) e il gesso, mentre la maggior parte dei minerali presenta una solubilità di norma molto bassa. Questo vale per l'acqua pura. Nella realtà l'acqua è in grado di assorbire  $CO_2$  atmosferico che interagisce con essa formando acido carbonico, come detto in precedenza. L'acqua diventa così una soluzione debolmente acida, in grado di esercitare un'efficace azione solvente nei confronti di rocce altrimenti insolubili. In particolare, può dissolvere le rocce calcaree costituite da *carbonato di calcio* ( $CaCO_3$ ), in seguito alla trasformazione di quest'ultimo in *bicarbonato di calcio*,  $Ca(HCO_3)_2$ , che è solubile e viene trascinato via dalle acque dilavanti (**fig. 4**):



La reazione, detta di *carbonatazione*, è reversibile: se variano le condizioni, per esempio per un aumento di temperatura, che favorisce l'allontanamento di  $CO_2$ , il bicarbonato di calcio si trasforma di nuovo in carbonato insolubile, che precipita. In questo modo si formano nelle grotte tipiche concrezioni calcaree note come *stalattiti* e *stalagmiti*. La dissoluzione e la precipitazione di  $CaCO_3$  è responsabile del modellamento del paesaggio superficiale e sotterraneo in zone dove sono presenti rocce calcaree, fenomeno noto come *carsismo*.

**OSSIDAZIONE.** È l'alterazione provocata dall'azione dell'**ossigeno** presente nell'aria o nelle acque su alcuni tipi di minerali presenti nelle rocce.

Questo processo interessa in particolare i *silicati femici* che contengono ferro (come ione *ferroso*,  $Fe^{2+}$ ), quali pirosseni, anfiboli e biotite.

L'ossigeno, agendo spesso in combinazione con l'acqua, ossida lo ione ferroso a ione *ferrico* ( $Fe^{3+}$ ) formando composti stabili come l'*ematite* (ossido di ferro,  $Fe_2O_3$ ) o la *limonite* (miscela di ossidi di ferro idrati).

Questi prodotti di disfacimento chimico impartiscono alle rocce alterate tipiche colorazioni rossastre o giallastre.