

1. I grandi gruppi di rocce e i problemi della loro classificazione

In *Breviario Mediterraneo* di Predrag Matvejevic, l'autore dice: «Le carte geologiche mostrano la stratificazione delle rocce e la composizione della terra. Le profondità marine sono indicate dall'intensità del colore azzurro, ora più chiaro ora più scuro. Chi naviga non pensa ai fondali. Ma chi fa i porti ed erige monumenti sul Mediterraneo tiene conto delle pietre. Le rive del nostro mare conoscono quasi tutte le specie e le qualità di pietra. Si distinguono per resistenza e bellezza. E servono per costruire e decorare. Il marmo, il porfido, il granito o il basalto sono più rari e apprezzati. Invece sono più diffuse numerose varianti di calcare o di ardesia, di breccia, di tufo o di arenaria, di diverse rocce che troviamo frantumate nelle pietraie, a mucchi o a lastre, intatte o spezzate, bianche, grigie, ingiallite». (Predrag Matvejevic, *Breviario Mediterraneo*, Garzanti 2004, pagg. 182 e seguenti).

Nel testo egli poi cita alcune delle più famose rocce utilizzate fin dall'epoca classica con i nomi utilizzati dagli autori latini:

- Marmo di Paros o *Lapis parius*
- Pietra del Pentelico o *Marmor Pentelicum*
- *Marmor Naxium*
- *Marmor Hymettium*
- *Marmor Carystium*
- *Lapis Proconnesius*
- Pietra di Frigia o *marmor Phrygium*
- *Marmor Numidicum*
- *Marmor Taenarium*
- *Marmor Chium*
- Marmo di Carrara
- Granito rosa di Luxor
- Basalto tra cui il *Lapis aethiopicus*
- Porfido tra cui il *Lapis atracius* e il *Lapis porphyritus*
- Travertino
- Pietra bianca d'Istria
- Pietra viva di Curzola
- Granito antracite detto *gabro*
- Calcari vari tra cui il *Tragurium marmore notum*.

Le rocce sono state e sono tra i materiali per l'edificazione più utilizzati per cui il punto di vista di chi le utilizza per costruire e decorare, spiega i diversi nomi presenti nella lingua italiana e nella tradizione locale con la gran varietà di colori e d'aspetto, resistenza meccanica e all'alterazione, che le pietre prendono secondo le località in cui sono cavate. Spesso la stessa roccia prende addirittura nomi diversi nella stessa cava quando presenta spessori e caratteristiche variabili e può essere utilizzata in vari modi in edilizia (► figura 3.1).



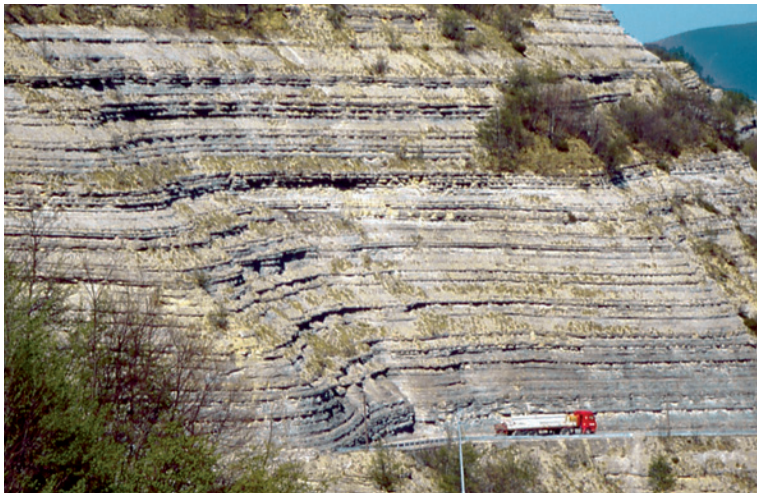
Credits: Shaitih/Shutterstock

◀ **Figura 3.1**

È evidente l'importanza delle pietre, fin dall'età classica, per i popoli che si sono affacciati sul Mediterraneo. Le rocce sono il loro materiale da costruzione preferito, tanto che, nelle Alpi, il passaggio dal lato mediterraneo a quello affacciato in nord Europa è segnato proprio dall'abbandono per muri, trabeazioni e coperture, delle pietre e dei loro derivati, come coppi e mattoni, a favore del legno che contraddistingue le costruzioni alpine settentrionali della catena montuosa.

La gran varietà di nomi testimonia l'intreccio fra geologia, geografia e storia, ma anche la variabilità degli ambienti di formazione delle rocce, detti *ambienti litogenetici*, e dei processi che le hanno determinate. Le denominazioni dell'elenco suddetto hanno un primo nome che si ripete molto spesso come marmo, pietra, granito, che tiene conto delle somiglianze fra le rocce, seguito poi dalla località di provenienza che ne evidenzia la specificità locale.

Bisogna tenere conto che tali nomi sono stati dati da chi le pietre le cavava, le lavorava, le vendeva e le utilizzava nella costruzione: cavatori, scalpellini, architetti, scultori e committenti. Le rocce, da questo punto di vista, sono divise per le peculiarità dell'utilizzo: per esempio si chiamano marmo le rocce che si possono lucidare, graniti quelle d'aspetto granulare, pietre i materiali non granulari e non lucidabili. Un altro esempio è l'uso del termine tufo nelle varie regioni d'Italia dove, nel napoletano, è correttamente associato a una roccia di origine vulcanica tenera e adatta all'edificazione, in Piemonte invece ad altre rocce tenere, d'origine sedimentaria, con relative confusioni. Tutti i termini citati finora sono legati a classificazioni di tipo merceologico abbastanza soddisfacenti per i loro scopi (► figura 3.2).



◀ **Figura 3.2**

Affioramento di rocce sedimentarie riconoscibili dalla caratteristica stratificazione, tipica struttura di queste rocce. Gli affioramenti rocciosi sono stati tra le prime fonti di materiali per l'edificazione sia per case tradizionali che per gli edifici monumentali e nelle case attuali. Il tipo di rocce affioranti a disposizione in una data regione ha condizionato per secoli le caratteristiche dell'edilizia locale. L'occhio del geologo e quello del cavatore sono due punti di vista molto diversi, entrambi stimolanti, sulle rocce.

Nelle scienze della Terra, invece, è importante per chi si accosta alle rocce pensarle sempre come il frutto di determinati processi in ambienti litogenetici, come avete visto nel terzo capitolo del libro, e la denominazione scientifica delle rocce cerca di dare lo stesso nome alle stesse rocce prodotte nel medesimo ambiente litogenetico a prescindere dalle variazioni e denominazioni locali. Per cui a parità di composizione chimico-mineralogica e di struttura le rocce dovrebbero avere lo stesso nome convenzionale accettato in campo internazionale.

Non è semplice compiere quest'operazione, ostacolata dalla grandissima variabilità delle rocce stesse, dalle denominazioni nelle varie lingue, dalla difficoltà di accordarsi su nomi e criteri. Lo stile classificativo varia poi secondo i grandi gruppi di rocce. La classificazione degli oggetti naturali infine tenta di separare e mettere in scatole ideali cose che nella realtà sfumano l'una nell'altra.

Le classificazioni presentate nel testo sono un primo approccio e richiedono ulteriori indagini da parte dei ricercatori, ma malgrado questi limiti è importante comunque avere familiarità con il processo di descrizione e classificazione, non solo per poter apprezzare le rocce che formano un paesaggio naturale e i monumenti che l'uomo vi ha edificato, ma anche per rinforzare lo spirito di osservazione e l'attitudine a descrivere e comunicare ciò che si vede e si apprezza.

Una roccia dal punto di vista chimico è un insieme di minerali, un miscuglio di composti diversi, mentre dal punto di vista geologico essa è il prodotto di un determinato processo di formazione più o meno lungo in un certo ambiente naturale, che ne determina la struttura. Quest'ultima è una caratteristica molto importante della roccia, meno familiare della sua composizione. Composizione chimico-mineralogica e struttura sono quindi i criteri principali di classificazione delle rocce.

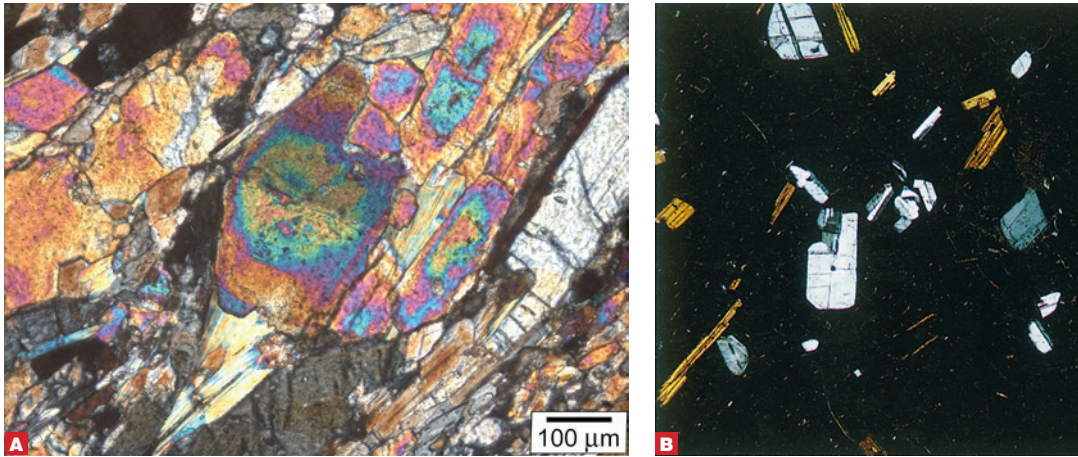
Sulla Terra i processi litogenetici riconosciuti si possono raggruppare in tre grandi gruppi; essi sono i processi sedimentari, quelli magmatici o ignei e quelli metamorfici che producono rispettivamente le rocce sedimentarie, le ignee e quelle metamorfiche.

Non sempre però strutture e minerali sono visibili a occhio nudo ed è necessario osservare le rocce al microscopio preparandone delle sezioni molto sottili. In alcune rocce ignee

però nemmeno al microscopio è possibile individuare i minerali che le compongono ed è necessario ricorrere all'analisi chimica (► figura 3.3 A e B).

Per cui ad occhio nudo, ad esempio in campagna o in laboratorio a scuola, è possibile descrivere e classificare solo una parte delle rocce, quelle la cui struttura e composizione mineralogica è visibile al massimo con una lente d'ingrandimento e consenta l'utilizzo di vari diagrammi classificativi. Per tutte le altre rocce si può dire poco senza una precedente analisi microscopica o chimica. Un elemento che aiuta la classificazione, ed è in ogni caso sempre necessario indicare, è la provenienza geografica della roccia esaminata.

In Italia affiorano tutti i vari tipi di rocce, ma in generale possiamo dire che le rocce metamorfiche sono diffuse soprattutto nelle Alpi, mentre le rocce sedimentarie costituiscono la maggior parte dell'Appennino e della Sicilia, infine le rocce ignee sono più ubiquitarie.



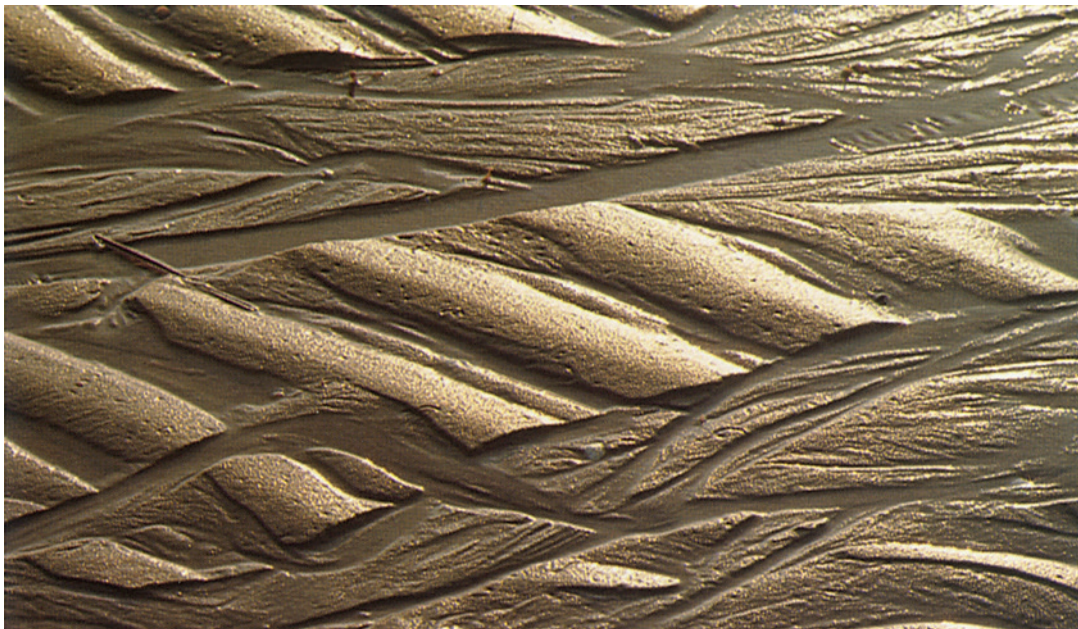
▲ **Figura 3.3**

A Sezione sottile di una roccia metamorfica con dei cristalli allungati e variamente orientati di Lawsonite, un silicato di Ca e Al, osservati in luce polarizzata che interferisce col reticolo cristallino del minerale. Si tratta di uno spettacolo affascinante: i colori sono bellissimi e variano con la direzione di taglio e con la rotazione del vetrino sul piattello del microscopio. Con i caratteri distinguibili al microscopio si possono determinare con certezza moltissimi minerali e soprattutto vedere la forma e disposizione di essi all'interno della roccia.

B Nella seconda foto di una lava vetrosa, i cristalli visibili (fenocristalli) sono immersi in una matrice nera di struttura vetrosa. In questo caso non è possibile determinare i minerali e classificare la roccia. Si dovrà ricorrere a un'analisi chimica.

Le sezioni delle rocce si osservano tipicamente con luce polarizzata. La luce è un'onda che viaggiando nello spazio vibra su più piani; la luce polarizzata è quella fatta passare attraverso una lente che consente il passaggio della luce solo lungo un piano.

2. La formazione delle rocce sedimentarie e le loro strutture



◀ **Figura 3.4**

La variabilità dei processi sedimentari e della loro dinamica, la presenza dei viventi e la loro attività danno luogo a un grandissimo numero di strutture nelle rocce sedimentarie, anche quando presentano la stessa composizione. Il processo sedimentario può poi affiancare in pochi decimetri frammenti di taglia diversa come ghiaie, sabbie e argille. Per cui non è possibile classificare le rocce sedimentarie se non associandole alle strutture che presentano e alla tessitura dei granuli. Per questo il gusto di osservare e descrivere una roccia sedimentaria sta proprio nell'apprezzare forma, dimensione e disposizione dei granuli che la formano. Nella foto ripple incisi da ruscellamento su una spiaggia durante la bassa marea.

Quando guardiamo l'etichetta di un'acqua minerale (► figura 3.5) in corrispondenza dell'analisi chimico-fisica dove sono evidenziati gli ioni presenti, possiamo cominciare a capire uno degli aspetti meno visivi del processo sedimentario, il modo con cui, in un'ottica galiana, i materiali passano da una sfera all'altra. Questi ioni, che prima facevano parte dei minerali costituenti le rocce che l'acqua piovana infiltratasi nel terreno ha attraversato, faranno parte dei viventi, una volta sciolti in acqua e poi bevuti e assorbiti. Il processo sedimentario è il più evidente ponte fra biosfera e litosfera, coinvolgendo anche idrosfera e atmosfera, e tutti i cicli biogeochimici dei vari elementi passano prima o poi attraverso di esso.

Le rocce sedimentarie non hanno una grandissima variabilità chimica come quelle ignee, dove alla fine le lave di ciascun vulcano della Terra sono perfettamente caratterizzabili dal punto di vista chimico rispetto a quella di un altro. La variabilità dei processi sedimentari e della loro dinamica, la presenza dei viventi e della loro attività danno invece luogo a un grandissimo numero di strutture, anche quando le rocce presentano la stessa composizione. Per esempio, le rocce carbonatiche hanno tutte la stessa composizione, ma mostrano strutture molto diverse, perché si formano secondo meccanismi variabili in ambienti diversi. Il processo sedimentario può poi affiancare in pochi decimetri frammenti di taglia diversa come ghiaie, sabbie e argille. Per cui non è possibile classificare le rocce sedimentarie se non associandole alle strutture che presentano e alla tessitura dei granuli. Per questo il gusto di osservare e descrivere una roccia sedimentaria sta proprio nell'apprezzare forma, dimensione e disposizione dei granuli che la formano (► figura 3.6).

Nelle due immagini dimensione variabile dei granuli, forma, addensamento spaziale, e materiali che occupano gli spazi tra i ciottoli (sabbia e vuoti) costituiscono i caratteri tessiturali del sedimento; mentre la disposizione spaziale in genere (che comprende l'addensamento e l'orientamento dei clasti) dà luogo alla struttura del sedimento, in cui gli strati sono l'aspetto più evidente. Nella fotografia B infatti vediamo strati che presentano differente grana dei clasti, diverso addensamento, grado di cernita (cioè con dimensioni più o meno simili) e arrotondamento dei ciottoli (a volte piatti, a volte tondi).

La struttura della roccia sedimentaria, un certo gruppo di strati, la cosiddetta *facies*, è dovuta a un certo meccanismo di trasporto e deposizione del sedimento, mentre l'associazione di facies, in altre parole l'insieme delle strutture di rocce sedimentarie adiacenti, denota un *ambiente sedimentario*. Per questo motivo non è possibile associare la singola roccia sedimentaria a un preciso ambiente litogenetico del passato, ma dobbiamo vedere con quali altre è disposta.

ANALISI CHIMICA E CHIMICO-FISICA CARATTERISTICHE CHIMICHE E FISICHE DIVERSE		
Temperatura dell'acqua alla sorgente	°C	11,4
Ph alla sorgente		8,2
Conduttività a 20°C	µ S/cm	265
Residuo Fisso a 180°C	mg/l	132
Anidride carbonica libera alla sorgente CO ₂	mg/l	8,0
SOSTANZE DISCIOLTE ESPRESSE IN mg/l		
Idrogenocarbonato	HCO ₃ ⁻	95
Calcio	Ca ²⁺	50,8
Solfati	SO ₄ ²⁻	28,4
Cloruri	Cl ⁻	17,6
Magnesio	Mg ²⁺	4,9
Silice	SiO ₂	8,2
Sodio	Na ⁺	12,8
Nitrati	NO ₃ ⁻	3,7
Potassio	K ⁺	0,9

PET
Microbiologicamente pura conservata al riparo dalla luce in luogo fresco, asciutto, pulito e senza odore.

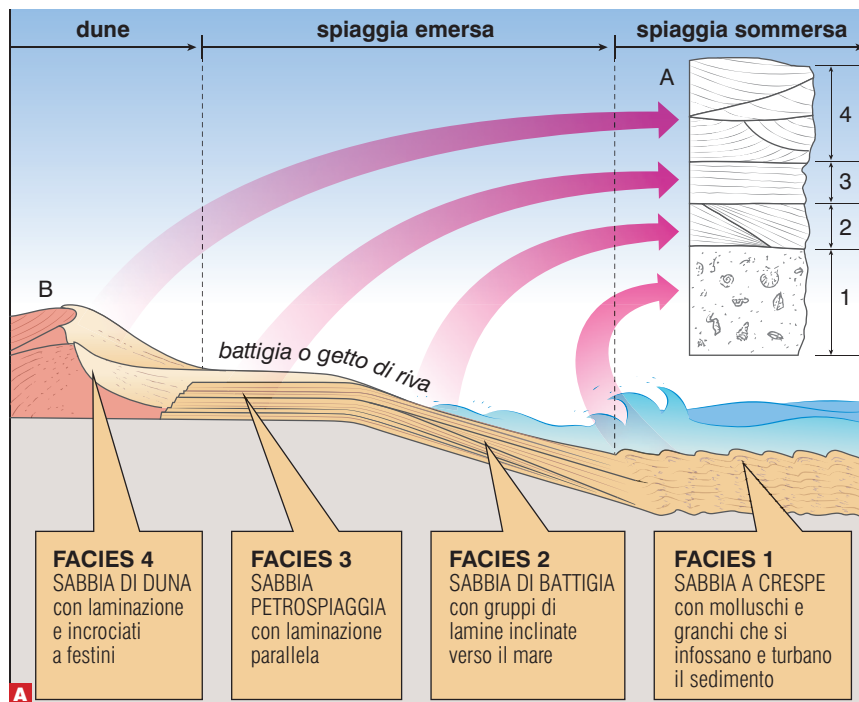
◀ Figura 3.5

Etichetta di un'acqua minerale. Nell'elenco delle sostanze presenti notate la presenza di tutte le sostanze costituenti le rocce: gli ioni metallici Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺ e la silice provenienti dalla degradazione chimica delle rocce ignee e dei loro derivati, lo ione HCO₃⁻, risultante dalla dissoluzione della CO₂ atmosferica, e lo ione solfato. Nitriti e nitrati sono invece di origine organica. Le sostanze disciolte, provenienti dalle rocce, sono in questo modo disponibili per essere fissate dai viventi o per precipitare da soluzioni sature formando le rocce sedimentarie chimiche e biochimiche.



◀ Figura 3.6

Nelle due figure potete osservare e confrontare sedimenti con composizione, struttura e tessitura diverse. Nella foto B una ghiaia organizzata secondo dimensione variabile dei ciottoli, forma, addensamento spaziale, materiali che occupano gli spazi tra i ciottoli (sabbia e vuoti) disposti secondo superfici orizzontali. Nella foto A vedete una sabbia costituita da granuli quasi della stessa dimensione e composizione disposti secondo superfici oblique e incrociate.



Cretidis - Sergey Peterman/Shutterstock

Questo fatto è facilmente comprensibile se abbiamo l'occasione di osservare (► figura 3.7 A e B) una vera spiaggia naturale, senza alberghi e stabilimenti balneari. Qui possiamo posare i piedi nell'acqua bassa della spiaggia sommersa, dove la sabbia presenta delle piccole crespe dovute all'andirivieni dell'acqua. Quando usciamo dal mare prima passiamo sulla battigia, dove le onde si frangono e il su e giù dell'acqua forma uno strato liscio e obliquo, e poi ci troviamo sulla spiaggia emersa dove la sabbia è più soffice e in posizione piana. Qui le onde arrivano quando il mare è più grosso, specie durante l'inverno. Infine, se non ci sono alberghi dietro la spiaggia, troviamo le dune formate da una sabbia fine mossa dal vento. Ciascuno dei quattro sottoambienti descritti mostra che la sabbia è organizzata secondo uno specifico meccanismo di trasporto e deposizione diverso dagli altri a cui corrisponde una facies precisa. La spiaggia è quindi un ambiente di deposizione formato da quattro facies disposte in un preciso modo nello spazio. La presenza delle sole dune, per esempio, non ci permetterebbe di sapere se siamo in un deserto o in riva al mare.

▲ Figura 3.7 A, B

Il familiare ambiente sedimentario della spiaggia costituita da sabbie con forma, dimensione e disposizione dei granuli diverse (facies) a seconda del meccanismo di trasporto e deposizione della sabbia.

3. Il processo metamorfico

L'unico processo litogenetico che l'uomo non può osservare è quello metamorfico. Com'è stato possibile immaginarlo? Per fortuna le rocce sono dei cattivi conduttori del calore e in un volume di diversi km³ di rocce scaldate e compresse è molto facile che in alcuni punti la «cottura» metamorfica non avvenga e sia quindi possibile riconoscere, camminandoci sopra, le rocce preesistenti al loro metamorfismo. È in questo modo che si è potuto associare sul terreno le rocce originarie e i loro prodotti metamorfici riconoscendo il processo del metamorfismo, che altrimenti sfuggirebbe all'esperienza umana. In natura si possono notare negli affioramenti rocciosi tutti i passaggi intermedi che portano una roccia a trasformarsi via via in altre, secondo la composizione chimico-mineralogica iniziale e il grado metamorfico intervenuto.

Le altre osservazioni possibili di trasformazioni metamorfiche sono quelle legate al contatto di rocce con dei magmi. Prima di raffreddarsi del tutto, filoni e altre intrusioni modificano le rocce incassanti a contatto, prima di tutto col calore (si può dire che le cuociono), poi con scambi chimici che ne modificano la composizione: le reazioni chimiche sono dovute specialmente a fluidi caldi, detti *idrotermali*, che hanno attraversato il corpo intrusivo. Anche queste sono osservazioni che hanno portato al concetto di metamorfismo, il quale poi si è esteso fino a comprendere altri fenomeni, legati soprattutto all'orogenesi.

Il processo metamorfico esclude comunque una fusione della roccia originale, che darebbe una roccia ignea «derivata»; esso avviene *allo stato solido*, così come il consolidamento di un sedimento in roccia. Quest'ultima trasformazione è però detta *litificazione* o *diagenesi* e la si distingue dal metamorfismo perché avviene a temperature e pressioni più basse.

Facciamo un esempio: man mano che un sedimento viene sepolto sotto il fondo marino, la litificazione lo trasforma in roccia e, se il seppellimento continua, dalla litificazione si passa gradualmente al metamorfismo. In questo modo, un *fango* qualunque diventa prima una *argilla* (con espulsione dell'acqua, riduzione dei pori e avvicinamento delle particelle solide), poi, a temperatura e pressione più alta, una *argillite* ben compattata, suddivisibile in fogli o *lamine* (con ulteriore riduzione dei pori e orientamento delle particelle solide in strati orizzontali) e poi una *ardesia* o *argilloscisto* (con piani di scistosità e minerali ricristallizzati). Argilla e argillite sono prodotti di diagenesi, l'ardesia è metamorfica: i suoi piani di scistosità indicano pressioni più alte e non coincidono con i piani di stratificazione, inoltre la *ricristallizzazione* la cementa coinvolgendo sia minerali originari sia minerali aggiunti o modificati. La ricristallizzazione è dunque un modo di riorganizzare la struttura di una roccia senza passare attraverso il disordine totale della fusione.

Come avete visto nel testo a ogni associazione mineralogica di una roccia metamorfica è possibile associare, dopo molti esperimenti in laboratorio, un certo intervallo di temperatura e pressione, la cosiddetta *facies metamorfica*, o solamente la temperatura, cioè il grado metamorfico, che diventano anche i principali criteri di classificazione delle rocce stesse.

Ogni roccia preesistente si può trasformare in un prodotto diverso, secondo la variazione delle condizioni esistenti in un ambiente metamorfico (► **figura 3.8**). Questa possibilità dà luogo a un numero di tipi di rocce metamorfiche molto elevato, variabili per struttura e mineralogia, e classificabili per facies o grado metamorfici.



Nella nomenclatura delle rocce metamorfiche permangono quindi diversi nomi locali e manca un accordo generale su schemi classificativi, come quelli esistenti per le rocce ignee e sedimentarie, poiché lo sforzo maggiore di ricerca sperimentale e classificativo è stato quello dello studio in laboratorio delle reazioni chimiche che avvengono negli ambienti metamorfici. Si è rinunciato a un'uniformità nomenclaturale che associasse in via chiara e univoca ogni roccia metamorfica a un nome, un determinato ambiente e composizione mineralogica in schemi generali. Infine è molto in uso l'abitudine di denominare una roccia metamorfica con nome di quella originaria, esistente prima della trasformazione, con l'aggiunta del prefisso *meta*, per esempio *metagranito* o *metaconglomerato*.

4. Processo metamorfico, deformazione delle rocce e tipi di metamorfismo

Oltre al calore, la *pressione* ha un ruolo importante nel metamorfismo. In superficie, a pressione atmosferica, possono esistere ampi spazi sia entro la struttura dei minerali sia tra i minerali delle rocce (questi ultimi sono chiamati *pori* o *interstizi*). Nel sottosuolo, tutti questi spazi si riducono sempre più con l'aumentare della profondità. Con la profondità, aumenta infatti la pressione dovuta alla massa solida sovrastante, pressione detta *litostatica* (così come idrostatica è detta quella dovuta all'acqua). Dapprima si riducono i pori dei sedimenti, poi anche quelli delle rocce, da ultimo gli spazi entro i minerali; a questo punto, siamo nel campo del metamorfismo e i minerali sono costretti ad assumere forme più compatte, che

◀ **Figura 3.8**

Le trasformazioni metamorfiche più comuni sono reazioni chimiche all'equilibrio. L'equilibrio chimico è una condizione, tipica di un sistema chiuso, caratterizzata dalla coesistenza delle reazioni diretta e inversa; queste avvengono contemporaneamente dando luogo alla caratteristica coesistenza di reagenti e prodotti. Nella roccia i reagenti e i prodotti sono proprio i minerali presenti indicanti tra l'altro le diverse condizioni che s'instaurano durante il metamorfismo. Infatti, l'equilibrio tra prodotti e reagenti si sposta secondo le condizioni ambientali di pressione, temperatura e concentrazione degli stessi. Nella figura al centro il cristallo azzurro di andalusite (Al_2SiO_5) è bordato da un margine bianco lucente di mica che si è formata dalla reazione dell'andalusite con gli altri minerali presenti nella roccia. La coesistenza dei due minerali mostra la reazione di equilibrio che si sposterà a seconda della temperatura (dove l'andalusite è la fase stabile a T più alte)

reggano la forte pressione senza frantumarsi. Ciò avviene nelle parti profonde della crosta e nel mantello.

Oltre alla pressione litostatica che agisce sulla verticale, vi sono poi pressioni orizzontali e laterali, come la distensione e la compressione che agiscono nelle faglie e nei limiti di placca. È più appropriato chiamare queste ultime *tensioni* o *sforzi*, in quanto pressioni *differenziali*: in altre parole, non c'è una sola pressione attiva, ma diverse in competizione, che tirano o spingono in direzioni diverse. Noi consideriamo la vincente, quella che «fa la differenza»: può essere uno sforzo *normale*, come la distensione e la compressione, o *di taglio* o *tangenziale*, quando è quasi parallelo rispetto a una superficie (come quando «si taglia» un mazzo di carte).

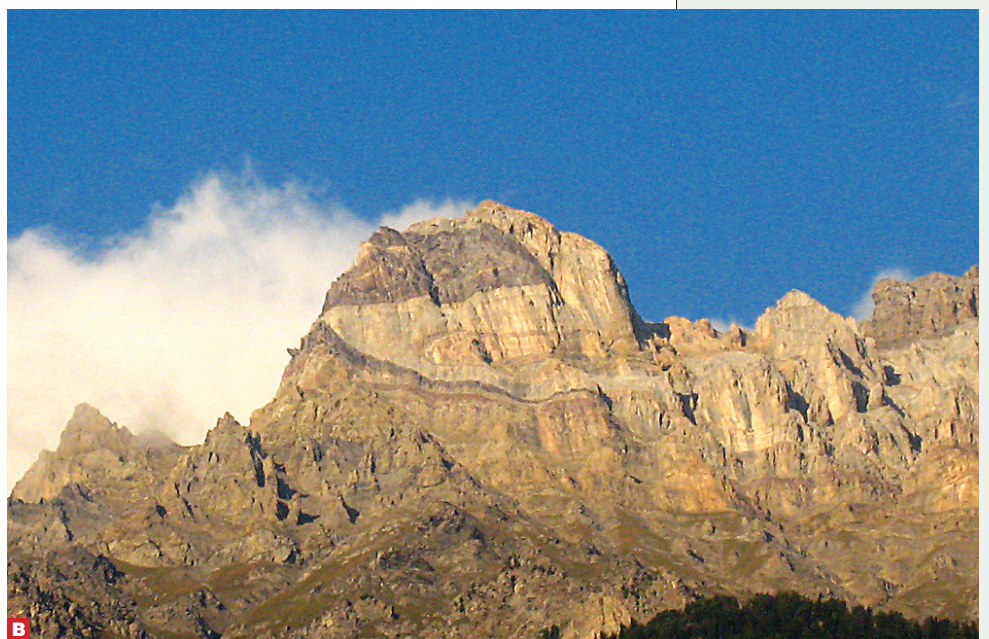
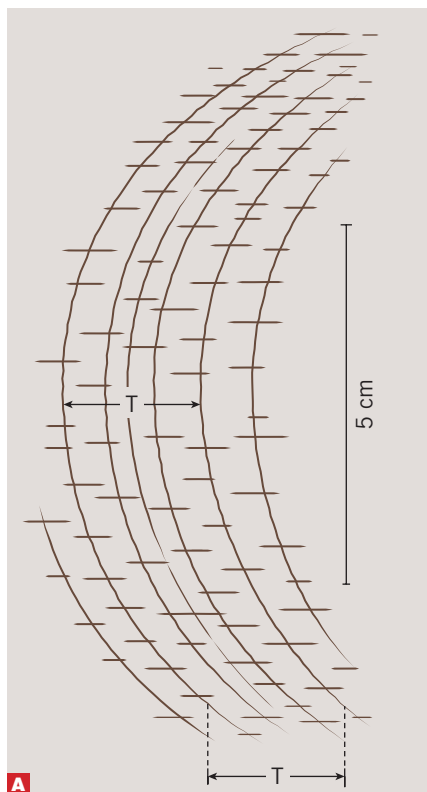
In zone vicine alla superficie, non molto calde (meno di 350 °C), il metamorfismo è dovuto essenzialmente alle tensioni ed è detto *dinamico*; si manifesta, per esempio, nelle importanti zone di faglia, anche al di fuori delle zone orogeniche, come nel caso della famosa Faglia di San Andreas in California. Qui la roccia è ancora fragile e tende a frantumarsi e a foliarsi, dando una specie di breccia (milonite).

In profondità, in corrispondenza dei margini di placca convergenti, dove le placche scontrandosi formano le catene montuose, invece, ha un ruolo importante anche la temperatura, anche se la pressione è più alta; si ha quindi un metamorfismo *dinamico e termico*, detto anche *regionale* in quanto può interessare una vasta zona, dando luogo alla trasformazione metamorfica di centinaia di migliaia di chilometri cubi di roccia.

Nel testo avete letto che la formazione della scistosità avviene con un meccanismo analogo a quello della preparazione e cottura della pasta sfoglia, che viene ripiegata e spianata più volte.

A temperature di centinaia di gradi e a pressioni di centinaia di milioni di pascal (corrispondenti a migliaia di atmosfere), il comportamento delle rocce, se sottoposte per lunghi periodi a queste condizioni, è infatti duttile, plastico come in una pasta, e la ricristallizzazione dei minerali inevitabile poiché la pressione sulle particelle che li formano agisce con un effetto di dissoluzione con rottura e formazione di legami chimici fra di esse.

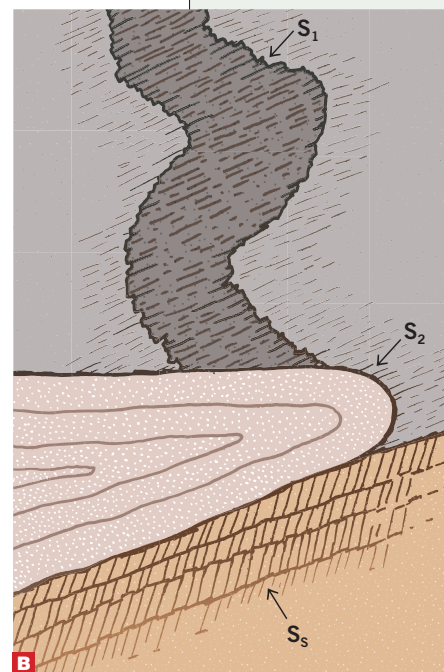
Nelle catene montuose troviamo esempi di deformazione a tutte le scale, dalla plurichilometrica a quella microscopica, dove la deformazione visibile al microscopio e sul campione di roccia ha una sua corrispondenza alla scala di un massiccio montuoso. La deformazione fa sì che le rocce si pieghino più volte su se stesse; in corrispondenza delle pieghe si forma per riorientamento preferenziale di minerali preesistenti o per ricristallizzazione di nuovi, una foliazione che attraversa le vecchie superfici ripiegate come potete vedere dalla ► figura 3.9 A e B.



▲ Figura 3.9 A, B

Nell'immagine potete vedere una grande piega chilometrica coricata nel Giura svizzero, il Dent de Morcles e nel disegno a fianco l'andamento della foliazione di piano assiale nella cerniera della piega stessa.

La deformazione delle rocce con formazione della foliazione relativa presenta stili diversi a seconda del tipo di roccia interessata a causa dei minerali presenti o che possono ricristallizzare. La presenza di fillosilicati o la possibilità di una loro neoformazione consente la crescita di una bella foliazione, limitata invece da minerali più granulari come il quarzo o la calcite. Nella ► **figura 3.10 A e B** potete osservare la formazione della foliazione di piano assiale nelle cerniere delle pieghe alla scala centimetrica di un campione di roccia.



▲ **Figura 3.10 A, B**

La formazione della foliazione di piano assiale nelle cerniere delle pieghe alla scala centimetrica. Successivi piegamenti hanno creato più foliazioni che si intersecano, in ordine temporale, come si vede nel disegno B, S_3 , S_1 , S_2 .

Sottoposte a sforzi differenziali e per lunghi periodi di tempo, le rocce, come abbiamo visto, possono cambiare forma (deformarsi) senza rompersi: ciò riguarda un singolo cristallo o granulo (per esempio una forma sferica che viene schiacciata e si ovalizza) sia l'intera massa rocciosa, in particolare la sua struttura interna (disposizione delle particelle) che si suole anche chiamare *tessitura*. Ecco perché, nelle rocce metamorfiche, sono frequenti cristalli allungati («stirati») o appiattiti (lamellari) e questi sono isorientati, ovvero hanno lo stesso orientamento o comunque un *orientamento preferenziale* (statisticamente prevalente).

Se la roccia iniziale è sedimentaria possiamo trovare al suo interno dei fossili deformati che permettono di visualizzare bene, confrontati con quelli non coinvolti dal metamorfismo, che cosa è successo alla roccia.

Nella parti più profonde della crosta durante la formazione di una catena montuosa si ha un alto grado di metamorfismo, che produce rocce come gneiss e micascisti. Quando rocce di questo tipo vengono esumate dal sollevamento delle montagne e dall'erosione, come succede nelle Alpi, le possiamo vedere specialmente al nucleo della catena e nelle radici che si vengono via via sollevando. Un metamorfismo di grado più basso troviamo invece in parti più marginali delle catene, sotto una copertura di strati non metamorfosati, nel cosiddetto *basamento*; le ardesie, usate per i tetti degli edifici nelle zone alpine, si formano in questi ambienti.

Un tipo particolare di roccia metamorfica, lo scisto blu, ricco di un minerale detto glaucofane, si rinviene nei cunei o «prismi di accrescimento» delle zone di subduzione, dove la litosfera oceanica fredda che si immerge nel mantello raschia e accumula davanti a sé, come una ruspa, sedimenti marini intrisi d'acqua. Alla base di questi corpi, che arrivano anche a 20 km di profondità, la pressione è elevata, ma la temperatura relativamente bassa poiché qui il gradiente geotermico è più piccolo della media.

Un esempio di questo fenomeno è l'insieme delle serpentiniti e degli scisti verdi e blu (le cosiddette *pietre verdi* o *ofioliti* tipiche delle Alpi occidentali) rocce di basso grado metamorfico, in alcuni casi associato a elevate pressioni, che rappresentano frammenti di crosta oceanica coinvolti nella formazione delle montagne (► figura 3.11).



Credits: Erick Margarita Images/Shutterstock

◀ **Figura 3.11**

Il Monviso un frammento di crosta oceanica. Nella montagna si possono trovare i suoi tipici componenti, ormai deformati e metamorfosati: fanghi abissali, lave basaltiche, gabbri intrusivi e peridotiti del mantello.

Infine un tipo di metamorfismo termico, o meglio *idrotermale*, si verifica attraverso la penetrazione dell'acqua marina all'interno di dorsali oceaniche dove reagisce, con i sali che reca in soluzione, con lave e intrusioni che si stanno raffreddando, alterandole e formando minerali idrati. Per questo motivo tale metamorfismo è detto oceanico. Le rocce femiche e ultrafemiche originarie della crosta oceanica (peridotiti, gabbri e basalti) si trasformano in diversi tipi di rocce. L'olivina delle peridotiti del mantello si trasforma in *serpentino* ► figura 3.12, un minerale che è poi il costituente più comune delle rocce oceaniche esumate di cui si è fatto cenno, le ofioliti o «pietre verdi». Il serpentino è un fillosilicato di colore verde cangiante, da verde chiarissimo a quasi nero, mentre al tatto è liscio e freddo; l'insieme di questi caratteri ricorda la pelle di un serpente, da cui il nome delle rocce, serpentiniti o ofioliti, dal greco *ofios*, serpente.



Credits: B. Dopudja/Alamy/IFA

◀ **Figura 3.12**

Serpentino. Il colore variabile sui toni del verde, la levigatezza al tatto e la struttura scagliosa visibili nell'immagine giustificano la scelta del nome del minerale. Il serpentino è abbondantissimo nelle rocce dove si trova (le serpentiniti) e ne caratterizza quindi l'aspetto generale.