

Rocce magmatiche o ignee

Le rocce **magmatiche**, note anche col nome di **ignee** o **eruttive**, derivano da un magma, cioè da una roccia fusa.

La temperatura, all'interno della Terra, cresce fino a oltre 4000 °C, un valore che sarebbe sufficiente a far fondere tutte le rocce che conosciamo. La pressione, però, cresce anch'essa all'aumentare della profondità e, facendo innalzare il punto di fusione, impedisce il passaggio allo stato liquido. La Terra quindi è sostanzialmente solida fino a circa 3000 km di profondità, dove inizia il nucleo esterno, che si comporta come un liquido.

Lo studio di alcuni minerali ha dimostrato che le lave risalgono da profondità comprese entro i primi 100 km e che alcuni tipi di lave risalgono anche da zone tra i 100 e i 250 km: si devono verificare particolari condizioni che determinano la fusione, almeno parziale, di rocce del mantello e della crosta che normalmente sono molto calde, ma solide.

5.1 Rocce magmatiche intrusive ed effusive

Un **magma** è un materiale fuso che si forma per cause diverse all'interno della crosta o della parte alta del sottostante **mantello**, a profondità variabili (in gran parte dei casi, come sopra ricordato, tra i 15 e i 100 km). Tali masse fuse, di dimensioni anche enormi, sono miscele complesse di silicati ad alta temperatura, ricche di gas in esse disciolti.

Se, dopo la sua formazione, il magma subisce un raffreddamento, inizia un processo di cristallizzazione: dal fuso si separano via via, secondo il loro punto di fusione, vari tipi di minerali, dalla cui aggregazione finale risulterà formata una nuova roccia.

Le **rocce magmatiche** vengono suddivise in due gruppi.

- Le **rocce intrusive** (o **plutoniche**), si originano da magmi che solidificano in profondità, circondati da altre rocce; esse si formano quando vi è l'impossibilità, per la massa fusa, di giungere in superficie.
- Le **rocce effusive** si originano, invece, quando la massa magmatica, spinta dalla pressione dei gas in essa disciolti, trova una via di risalita, sfruttando fratture nella crosta o contribuendo a crearne di nuove, e giunge così a traboccare in superficie, dove solidifica all'aria libera.

Le rocce intrusive e le rocce effusive presentano caratteristiche abbastanza diverse, anche se con una semplice osservazione a livello macroscopico non è sempre facile distinguerle. La soluzione del problema è stata fornita dalla Petrografia, che ha messo in luce come avviene il passaggio dal materiale fuso a una roccia solida.

Nel caso delle **rocce intrusive**, poiché il magma si trova fermo entro la crosta, circondato da altre rocce che fanno da isolante termico, il raffreddamento avviene in tempi molto lunghi. In tali condizioni, tutto il fuso arriva a cristallizzare e la roccia che



Figura 22

Campione di granito, una tipica roccia intrusiva, segato e lucidato. I granuli grigi, traslucidi, sono di *quarzo*, i grossi cristalli rosa sono di *ortoclasio*, quelli bianchi di *plagioclasio* e quelli nerastri (opachi) di *mica* e di *anfibolo*. [Dipart. Scienze della Terra, Università «Sapienza», Roma]

ne deriva è interamente formata da cristalli di grandi dimensioni, in genere visibili ad occhio nudo.

Le rocce intrusive presentano una **struttura granulare olocristallina**, come quella dei graniti (→ Figura 22). Le masse fuse di tipo granitico, generate a qualche decina di chilometri di profondità, danno origine ad ammassi di rocce durissime, i **batoliti**, lunghi anche migliaia di chilometri e larghi centinaia di chilometri. Questi ammassi possono arrivare alla superficie terrestre grazie alla combinazione dei movimenti della crosta e della lenta demolizione delle rocce sovrastanti, che vengono asportate dagli agenti esogeni (→ Figura 23).

Mantello Uno degli involucri concentrici della struttura interna della Terra. È situato sotto la crosta e al di sopra del nucleo, e ha uno spessore di circa 2900 km.

Figura 23

Questi rilievi (Yosemite National Park) sono una piccola parte del gigantesco batolite di granito che costituisce quasi per intero la Sierra Nevada, in California. Dopo la sua messa in posto (fra i 100 e gli 80 milioni di anni fa), il batolite si sollevò lentamente; in milioni di anni l'erosione ha smantellato le rocce che lo coprivano. Il rilievo sulla destra è l'*Half Dome* («mezza cupola»); la metà cupola «mancante» è franata dopo il ritiro di un ghiacciaio che colmava la valle. [P. Langereis/Shutterstock]



5.2 Classificazione dei magmi

I magmi (e le lave che ne derivano) possono avere composizioni chimiche diverse, per cui la cristallizzazione può portare a rocce che differiscono tra loro per i tipi di minerali in esse aggregati.

La distinzione tra i vari tipi di magmi si basa sul loro contenuto in silice. La silice è il composto chimico SiO_2 e può cristallizzare come *silice libera* formando il minerale *quarzo*. La *silice combinata* indica invece, nelle analisi chimiche dei minerali silicatici, la quantità totale di silicio e di ossigeno che, legati in tetraedri, si combinano con altri elementi.

Su tale base, i magmi si dividono in:

- *magmi acidi* o *sialici* (ricchi in silice);
- *magmi neutri* o *intermedi*;
- *magmi basici* o *femici*;
- *magmi ultrabasici* (poverissimi in silice).

Si faccia attenzione al significato specifico che viene dato, in questo contesto, ai termini *acido* e *basico* (cioè: ricco o povero in silice), diverso da quello usuale quando ci si riferisce a reazioni chimiche.

• I **magmi acidi**, ricchi in Si (silicio) e Al (alluminio), danno origine a rocce con densità intorno a $2,7 \text{ g/cm}^3$, povere di silicati, ricche di alluminosilicati e di una certa quantità di silice libera (SiO_2), che solidifica in granuli di quarzo. In totale, la silice arriva a oltre il 65% in peso. Tali rocce sono dette **acide** o **sialiche** (dalle iniziali di silicio e alluminio).

• I **magmi neutri** hanno una composizione intermedia (dal 52 al 65% in peso di silice) e danno origine a rocce **neutre**: la loro densità è superiore a quella delle rocce acide e mostrano un rapporto equilibrato fra alluminosilicati e silicati.

• I **magmi basici** hanno una quantità bassa di silice (inferiore al 52%) ma sono relativamente ricchi in Fe (ferro), Mg (magnesio) e Ca (calcio). Essi danno origine a rocce in genere scure (dal verde al grigio scuro e al nero), con densità prossima a 3 g/cm^3 , ricche di silicati e prive di silice libera. Tali rocce sono dette **basiche** o **femiche** (dalle iniziali di ferro e magnesio).

• Nei **magmi ultrabasici** la percentuale di silice è inferiore al 45% in peso. Le rocce cui danno origine sono dette **ultrabasiche** o **ultrafemiche**: sono tutte di colore molto scuro, hanno densità elevata (3 g/cm^3 o superiore) e sono formate essenzialmente da silicati di Fe e Mg.

A parità di altre condizioni (temperatura, pressione), i magmi acidi sono molto più viscosi di quelli basici (cioè presentano una maggiore resistenza allo scorrimento). A titolo di esempio, le lave riolitiche hanno una viscosità 10 000 volte maggiore di quella delle lave basaltiche. Anche i minerali ricchi in Si e Al sono detti *sialici*; quelli ricchi di Fe, Mg e Ca sono detti *femici*. La [Tabella 4](#) elenca i minerali che con la loro abbondanza o scarsità (o assenza) caratterizzano i vari tipi di rocce magmatiche.

14

Nel caso delle **rocce effusive**, invece, il magma risale fino in superficie, dove trabocca come lava. In tal caso la temperatura passa rapidamente da circa 1000°C a quella ambiente e la pressione scende in brevissimo tempo da valori di diverse migliaia di atmosfere a quelli ordinari. In questo modo gas e vapori si disperdono nell'aria e la massa fluida viene allora chiamata **lava**. Solo una piccola parte della massa magmatica originaria, finché è ancora in profondità o mentre sta risalendo, si trasforma in cristalli di dimensioni apprezzabili. Il resto consolida invece quando arriva in superficie e lo fa così rapidamente che i cristalli non hanno tempo di accrescersi. Si forma così un mosaico di cristalli minuscoli, visibili solo al microscopio ([Figura 24](#)), oppure una massa omogenea almeno in parte vetrosa, poiché gli atomi e i gruppi di atomi non hanno avuto tempo di organizzarsi in reticoli cristallini ([Figura 25](#)); il *vetro*, infatti, è una sostanza *amorfa*, cioè non cristallizzata, che si forma per rapido raffreddamento di un fuso silicatico.

Le rocce effusive presentano **struttura porfirica** (dal nome di una delle più tipiche rocce effusive, il *porfido*), in cui alcuni cristalli della grandezza di almeno qualche millimetro, detti *fenocristalli*, si presentano in una *pasta di fondo*, formata di cristalli piccolissimi o in parte amorfa ([Figura 26](#)). In casi particolari, tutta la massa è vetrosa: sono le *ossidiane* o «vetri vulcanici» (riedi la figura 25).



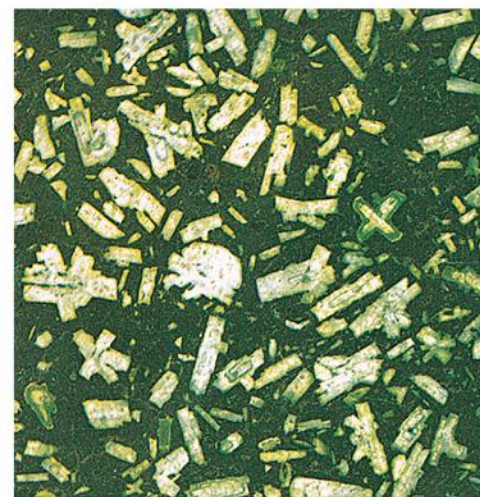
[Figura 24](#)

Il basalto è una roccia magmatica effusiva di tipo cristallino. È composto prevalentemente da plagioclasio, feldspato e pirosseno, i cui cristalli sono riconoscibili soltanto al microscopio. [agefotostock/Alamy/IPA]



[Figura 25](#)

L'ossidiana è una roccia magmatica effusiva di tipo amorfo. È una sostanza «vetrosa» di colore nero, verde o rosso, nella quale gli atomi non si dispongono ordinatamente in reticoli cristallini. [mahirart/Shutterstock]



[Figura 26](#)

Il «porfido verde di Grecia», o *serpentino*.

Questa pietra ornamentale è un'andesite, con fenocristalli di plagioclasio bianco-verdastro (formati mentre il magma stava risalendo) immersi in una pasta di fondo verde cupo (formatasi dopo l'effusione in superficie). [Dipart. Scienze della Terra, Università «Sapienza», Roma]

Minerali sialici (ricchi di Si e Al)	Composizione
Quarzo	SiO_2
Feldspati: comprendono ortoclasio (con le varietà sanidino e microclino) e plagioclas, miscele di albite e di anortite	KAlSi_3O_8 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Feldspatoidi: comprendono leucite e nefelina	KAlSi_2O_6 NaAlSiO_4
Minerali femici (ricchi di Fe, Mg e Ca)	Composizione
Miche: biotite (nera), muscovite (argentea) e altre miche	Silicati complessi di Fe, Mg, Al e K
Pirosseni	Silicati di Fe, Mg, Al e Ca o Na
Anfiboli	Silicati di Ca, Mg, Fe, Al e gruppi OH
Olivine	Miscele di Mg_2SiO_4 e di Fe_2SiO_4

Tabella 4

Principali minerali sialici e femici che caratterizzano la composizione delle rocce magmatiche.

Figura 27

Classificazione delle principali rocce magmatiche.

5.3 Classificazione delle rocce magmatiche

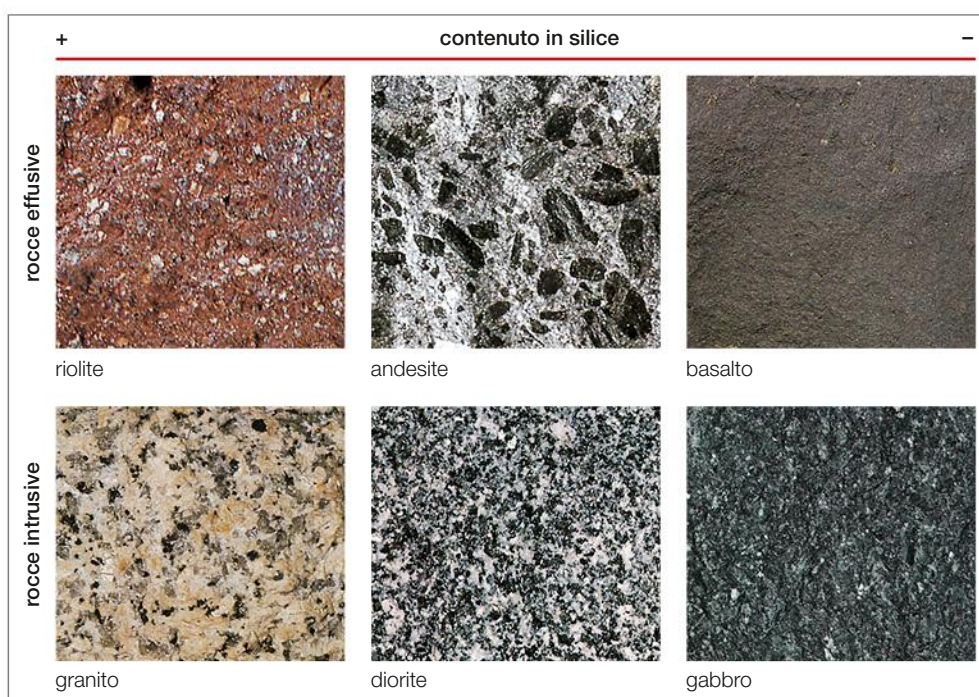
Esaminiamo le principali famiglie di rocce magmatiche, tenendo presente la tabella 4 per orientarci sui tipi di minerali che le caratterizzano e la **Figura 27**:

- famiglia dei **graniti** (rocce acide o sialiche);
- famiglia delle **dioriti** (rocce neutre);
- famiglia dei **gabbri** (rocce basiche o femiche);
- famiglia delle **peridotiti** (rocce ultrabasiche o ultrafemiche);
- famiglia delle **rocce alcaline** (rocce particolarmente ricche in sodio e potassio).

● Famiglia dei **graniti**. Queste rocce intrusive sialiche sono di gran lunga il tipo più diffuso tra tutte le rocce ignee intrusive. Esse contengono molti granuli di quarzo, molti cristalli di feldspati e pochi minerali femici (rivedi la figura 22). Le rocce ricche di quarzo sono tipicamente i graniti; quelle più povere di quarzo vengono distinte come **granodioriti** e, come vedremo, sono il tipo più abbondante nella parte superiore della crosta.

Questa famiglia comprende anche le rocce effusive aventi la stessa composizione chimica di quelle intrusive, ma che hanno subito una diversa modalità di cristallizzazione e presentano pertanto struttura porfirica. Ricorderemo le **rioliti** o **lipariti**, che talvolta, a causa della rapidità del raffreddamento, possono assumere l'aspetto vetroso delle **ossidiane**.

● Famiglia delle **dioriti**. Queste rocce derivano da magmi neutri, che danno luogo a una miscela equilibrata di composti sialici (abbondanti plagioclas) e di composti femici (pirosseni o anfiboli). I corrispondenti effusivi delle dioriti tipiche, di regola con fenocristalli abbondanti e ben cristallizza-



ti, sono le **andesiti** (rivedi la figura 26). Le andesiti caratterizzano l'attività degli allineamenti di vulcani che fiancheggiano le grandi **fosse abissali**, come la catena di vulcani delle Ande, da cui queste rocce hanno preso il nome.

● Famiglia dei **gabbri**. I magmi basici danno rocce intrusive scure, con plagioclas ricchi di calcio associati a pirosseni, anfiboli e olivina. Le corrispondenti rocce effusive sono i **basalti**, il tipo più diffuso tra tutte le rocce effusive, che formano, tra l'altro, il «pavimento» di tutti gli oceani.

Fosse abissali Strutture dei fondi oceanici che corrispondono a depressioni lunghe anche migliaia di chilometri e relativamente strette, che scendono anche a più di 10 000 metri di profondità.

Le rocce basaltiche sono di grande interesse teorico: secondo molti studiosi, infatti, il globo terrestre nei primi tempi della sua vita avrebbe avuto una crosta superficiale (priva di acque perché ancora troppo calda) omogenea e simile al basalto. Anche le rocce lunari possiedono in buona parte la stessa composizione.

● Famiglia delle **peridotiti**. Sono rocce che derivano da magmi ultrabasici e sono formate in gran parte da olivina (nota anche come **peridoto**). Le più note sono le **peridotiti**, rocce nere, pesanti e spesso interessate da giacimenti minerari di alto valore, come i composti del cromo. Hanno distribuzione limitata sui continenti, mentre sono il costituente fondamentale della parte superiore del mantello.

● Famiglia delle **rocce «alcaline»**. I magmi particolarmente ricchi di elementi alcalini,

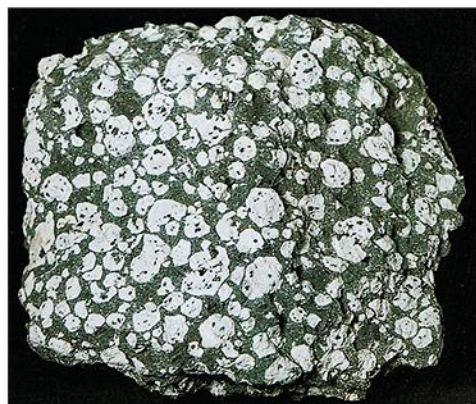
come Na (sodio) e K (potassio), originano abbondanti feldspati, a scapito degli altri minerali. Anche in questa famiglia si riconoscono rocce neutre e femiche:

- le rocce alcaline neutre comprendono le **sieniti** (intrusive), prive o poverissime di quarzo e ricche di ortoclasio, e le loro corrispondenti effusive, le trachiti;
- le rocce alcaline femiche comprendono le **leucititi**, comuni in Lazio e Campania (spesso indicate erroneamente come basalti), caratterizzate da fenocristalli biancastri di leucite (un feldspatoide potassico) in una pasta di fondo grigia (➔ Figura 28).

5.4 La provenienza dei magmi

Le frequenze con cui si ritrovano in natura i singoli tipi di rocce ignee non sono simili: tra le rocce intrusive il 95% presentano composizione sialica (graniti e granodioriti), mentre tra quelle effusive il 98% sono rocce femiche o neutre (basalti e andesiti). Tale distribuzione non è un caso, ma dipende dalla provenienza del magma.

- Se la fusione avviene a profondità di oltre 35 km, cioè nel mantello (la cui natura, come vedremo in seguito, è ultrafemica), essa porta alla formazione di un **magma primario**, basico, di composizione prossima a quella del basalto. Ad alta temperatura (la temperatura di fusione per le rocce del mantello è 1200-1400 °C), il magma è molto fluido, tanto da poter risalire fino in superficie prima di cristallizzarsi e da-



➔ Figura 28

Un campione di leucite proveniente da Acquacetosa (Roma). Questo campione è particolarmente ricco di fenocristalli di leucite, in genere molto meno abbondanti. Le *leucititi*, rocce molto comuni tra le colate dei vulcani laziali e campani, sono state usate dagli antichi Romani per il basolato delle loro strade carreggiabili. [Da Mottana A., Crespi R., Liborio G., *Minerali e rocce*, Mondadori, 1981]

re origine a gran parte delle rocce effusive.

- Se la fusione avviene a minori profondità, all'interno della crosta continentale, essa porta alla formazione di **magma anatettico**, acido. L'*anatessi* è il processo di fusione parziale della crosta continentale alla profondità di qualche decina di chilometri. In queste zone la temperatura raggiunge valori abbastanza elevati (tra i 600 e i 700 °C) da provocare la fusione di alcuni tipi di minerali (sialici). Se la fusione non è completa e il miscuglio fluido-solido si raffredda, la parte fluida torna a cristallizzarsi e si formano tipiche rocce, denominate *migmatiti* (➔ Figura 29). Se, invece, prosegue la fusione per aumento della temperatura, si completa il processo di anatessi e si forma un nuovo magma, che dà origine a una roccia magmatica intrusiva, del tutto simile alle rocce granitiche.

I magmi anatettici hanno elevata viscosità, poiché sono costituiti da una porzione fusa che avvolge e permea molti residui ancora solidi, costituiti da minerali a più alto punto di fusione. Essi si muovono perciò con notevole difficoltà, non risalgono molto entro la crosta e tendono a cristallizzarsi in profondità, formando batoliti granitici. Qualunque tipo di roccia, sedimentaria o ignea, trasportata abbastanza in profondità da movimenti entro la crosta, finisce per subire in qualche grado tale processo di fusione e i suoi elementi vengono «riciclati» come magma anatettico.

In definitiva, mentre i magmi basici, che nelle eruzioni danno origine ai basalti, risalgono fino in superficie da zone molto profonde e sono una specie di «distillato» del mantello, i magmi acidi, che danno origine a rocce simili ai graniti e alle granodioriti (o alle corrispondenti rocce effusive: rioliti e andesiti) rappresentano una rielaborazione locale delle rocce della crosta continentale.

In realtà questo schema dell'origine dei due tipi fondamentali di magmi si complica nell'evoluzione dei fusi verso la cristallizzazione. Un magma basico, per esempio, può risalire direttamente dal mantello attraverso fessure profonde fino a espandersi come lava sul fondo degli oceani o nel cuore di un continente, dando origine ai basalti. Può anche succedere però che una massa limitata dello stesso magma basico risalgia per tappe successive; in questo caso il fuso comincia a frazionarsi, cioè cambia composizione nel tempo e dà origine a magmi diversi. Esperimenti di laboratorio hanno dimostrato che, attraverso questi meccanismi di **differenziazione**, da un magma in origine basico

si può ottenere una roccia a composizione dioritica o addirittura granitica, cioè neutra o acida. Si tratta, comunque, è bene tenerlo presente, di masse limitate, certo non confrontabili con i giganteschi batoliti originati dai magmi nel processo di anatessi.

Anche i magmi anatettici, pur essendo in linea di massima di tipo acido, presentano in realtà una gamma sfumata di composizioni. Questo dipende soprattutto dalla grande eterogeneità della crosta continentale dalla cui fusione si originano i magmi, ma anche dalla temperatura a cui è avvenuta la fusione (più alta è la temperatura, più ricco diventa il magma in componenti femici, che sono i più restii a fondere) e dalla durata di tale processo. Le rocce che ne derivano riflettono le combinazioni di tali parametri.

In ogni caso, i processi di differenziazione che si arrestano a stadi diversi, il mescolamento tra magmi differenti, o anche la «contaminazione» tra magmi del mantello e materiale della crosta che essi attraversano nella loro risalita possono portare a rocce di composizione intermedia.



➔ Figura 29

Una migmatite. Il fluido di nuova formazione ha cominciato ad avvolgere brandelli di rocce ancora solide (di colore scuro), ma il processo si è arrestato e il risultato è una roccia massiva, simile a una breccia (Valmalenco, Sondrio).

Keywords in English



Effusive rock (roccia effusiva)

Igneous rock solidified on or near the surface of the Earth.

Intrusive rock (roccia intrusiva)

A coarse-grained igneous rock formed from magma that intrudes into country rocks deep in the Earth's crust and cools slowly.

Magma (magma)

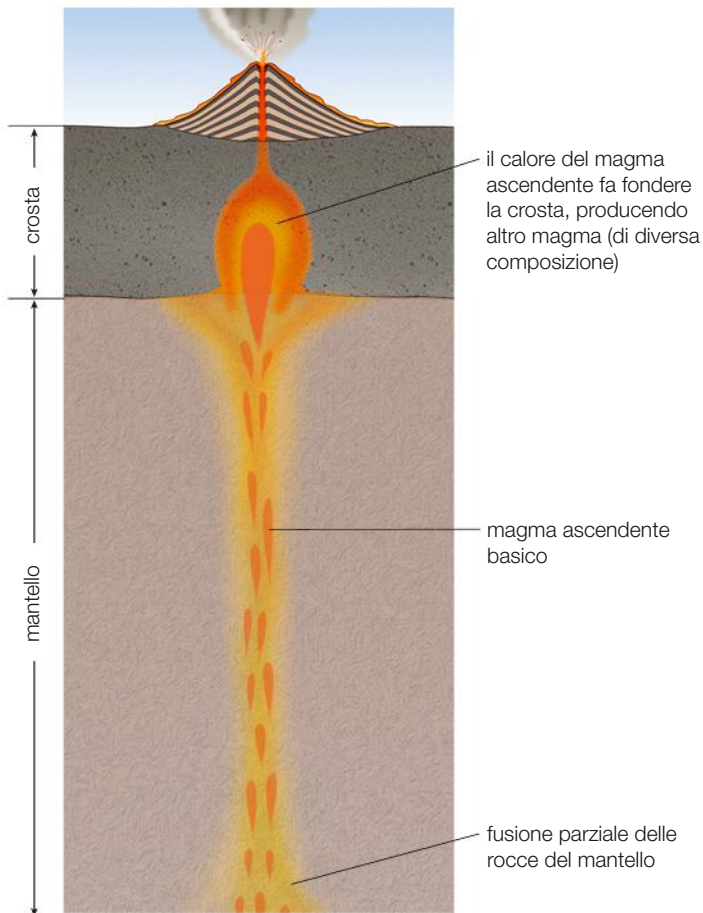
Molten rock material that forms igneous rock upon cooling.

5.5 Perché si formano i magmi?

Il problema di come si arrivi alla formazione di materiale fuso in questo o quel settore della crosta e del mantello è complesso. Abbiamo già ricordato che la Terra è solida fino a 3000 km di profondità, per cui la fusione della crosta e del mantello superiore è un evento eccezionale che avviene solo in presenza di determinate condizioni:

- un locale aumento della temperatura del mantello;
- l'arrivo di fluidi in grado di «inumidire» la roccia presente, infiltrandosi nelle fessure più minute; in presenza di fluidi, infatti, un materiale fonde a temperatura più bassa di quella necessaria in condizioni «secche».

L'aumento locale di temperatura si può verificare per risalita di materiali da zone profonde della Terra – dove si trovano ad alte temperature ma rimangono allo stato solido per le elevate pressioni – verso zone più superficiali, dove la pressione è molto minore: la conseguenza è la fusione più o meno estesa dei materiali risalenti, con formazione di magmi che possono eventualmente arrivare in superficie (➡ Figura 30).



➡ Figura 30

Risalita di magma. La fusione per decompressione avviene quando una roccia molto calda sale a profondità inferiore, dove la pressione è minore. La fusione in seguito a trasferimento di calore avviene quando il magma ardente sale in una roccia che ha temperatura di fusione più bassa. Per esempio, il magma basaltico caldissimo che sale dal mantello può far fondere la crosta circostante a composizione intermedia.

Schematizza

ROCCE MAGMATICHE O IGNEE

in base

all'ambiente di formazione

si distinguono

rocce intrusive (in profondità)

rocce effusive (sulla superficie)

al contenuto in SiO_2

si classificano in

rocce acide (o sialiche)

rocce neutre (o intermedie)

rocce basiche (o femiche)

rocce ultrabasiche (o ultrafemiche)

sono formate da

magma solidificato

si originano per

locale aumento di temperatura

discesa di fluidi

due tipi di magmi

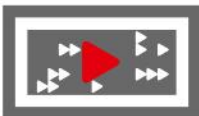
primari

anatettici

possono mescolarsi

magmi intermedi

Guarda e rispondi



Video

Le rocce ignee

- A. Che cosa significa «olocristallina»?
- B. Che cosa sono i fenocristalli?

Scegli le parole

- Le rocce magmatiche che si originano per raffreddamento di un in profondità si dicono
- Le rocce **effusive/intrusive** presentano struttura olocristallina.

Rispondi

- Che cosa si intende per lava?
- Come si distinguono e quali sono i vari tipi di magma?
- Quali sono le due condizioni che determinano una parziale fusione della crosta o del mantello?

Mettiti in gioco

ACTIVE LEARNING

- Tra le formazioni geologiche più affascinanti ci sono i basalti colonnari. Fai una ricerca in Internet e scrivi una breve guida illustrata su di essi: descrivi come si formano e quali sono i siti più noti in cui vederli in Italia e nel Mondo.