

VULCANISMO



Generalità e storia

Si definisce come vulcanismo quella serie di fenomeni costituiti dalla fuoriuscita attraverso fratture della crosta terrestre di materiale caldo quali lave, gas e prodotti piroclastici; i punti di emissione di tale materiale sono detti *vulcani*. Essi sono generalmente costituiti da rilievi con caratteristica forma conica più o meno schiacciata; questa è il risultato dell'accumulo dei prodotti lavici e piroclastici emessi nel tempo. La scienza che studia la formazione, l'evoluzione e l'attività dei vulcani è detta *vulcanologia*

Sebbene la vulcanologia sia una scienza molto giovane, i fenomeni vulcanici sono stati oggetto dell'attenzione di numerosi filosofi e naturalisti greci e romani; tra gli altri Platone, Democrito, Anassagora ed Empedocle specularono sulla formazione e la provenienza dei gas e delle lave. Di particolare interesse per la sua modernità è l'ipotesi proposta da Empedocle, secondo la quale le lave erano delle rocce fuse provenienti da zone profonde all'interno della Terra dove esisteva uno strato di materiale liquido ad elevata temperatura. Il primo documento di vulcanologia può essere considerata la lettera di Plinio il Giovane allo storico Tacito, nella quale veniva descritta con dovizia di particolari l'eruzione del 79 d.C. del Vesuvio che distrusse Pompei, Ercolano e Stabia e durante la quale perse la vita il naturalista Plinio il Vecchio. Dopo il periodo medievale, con la rinascita dell'interesse per le arti e per la scienza numerosi naturalisti si occuparono del fenomeno vulcanico. Particolarmente interessanti sono le teorie proposte da Giordano Bruno e Anton Lazzaro Moro i quali sostennero ipotesi non molto lontane da quelle oggi universalmente accettate per la spiegazione del vulcanismo. Nel 1774 William Hamilton, ambasciatore britannico presso la corte di Napoli, pubblicò un volume dedicato all'attività del Vesuvio così come era stata da lui osservata durante il suo soggiorno napoletano. Tale opera può essere considerata a buon diritto come la prima pubblicazione moderna di vulcanologia. Importanti progressi furono ottenuti grazie agli studi di Giovanni Arduino, Guy S. Tancrede de Dolomieu ed altri.

Nella seconda metà del XVIII secolo il geologo tedesco A. Werner classificò le rocce in vari gruppi tra i quali quello delle rocce vulcaniche. Il Werner propose anche la teoria secondo la quale il calore che generava la fusione delle rocce sotto i vulcani fosse dovuto a fenomeni di combustione di depositi carboniosi. Le idee di Werner vennero presto contestate da molti naturalisti e in particolare dal geologo scozzese James Hutton il quale, tra l' altro, distinse le rocce magmatiche in intrusive ed effusive e tra queste ultime incluse i basalti. Un' altra disputa tra scienziati interessò la genesi degli edifici vulcanici. I seguaci di Werner, tra cui Leopold von Buch, proponevano che i cono vulcanici derivassero dal rigonfiamento del suolo sotto la spinta del magma proveniente dall' interno della Terra. Più correttamente George Scrope, Charles Lyell ed altri sostenevano che gli edifici vulcanici erano il prodotto dell' accumulo di materiale lavico e piroclastico emesso dal vulcano nel corso della sua attività.

Lo sviluppo della vulcanologia negli ultimi decenni è in gran parte dovuto all' effetto operato da alcune eruzioni distruttive quali quelle del Krakatoa (1883) in Indonesia, e del vulcano Pelee (1902) nella Martinica durante la quale venne distrutta la città di St. Pierre con più di trentamila vittime. Allo scopo di studiare il comportamento dei vulcani attivi e di mitigare i rischi connessi alla loro attività vennero fondati alcuni osservatori vulcanologici i quali furono ubicati nelle vicinanze di vulcani attivi. Il primo osservatorio vulcanologico fu quello vesuviano fondato nel 1847 e che fu diretto da insigni vulcanologi quali L. Palmieri e G. Mercalli. Successivamente divennero attivi numerosi altri organismi di ricerca vulcanologica quale l' osservatorio vulcanologico dell' Atene e l' Istituto Internazionale di Vulcanologia di Catania.

I magmi

I magmi sono fusi naturali di alta temperatura, che contengono al loro interno variabili quantità di gas. I magmi si formano all' interno della Terra per fusione parziale delle rocce quando si verificano particolari condizioni di pressione e di temperatura. I magmi sono costituiti prevalentemente da ossigeno (O), silicio (Si), alluminio (Al), calcio (Ca), ferro (Fe), magnesio (Mg), sodio (Na) e potassio (K). Essi contengono anche piccole quantità di quasi tutti gli elementi chimici (es. torio (Th), uranio (U), Piombo (Pb), etc.).

I magmi contengono disciolte quantità variabili di componenti volatili, specialmente acqua e anidride carbonica, ma anche cloro (Cl), fluoro (F), vari composti dello zolfo (SO_2 , SO_3 , H_2S), etc., la cui solubilità aumenta con la pressione.

Esiste una notevole regolarità nella variazione della composizione chimica nei magmi. In genere, i magmi poveri in silicio (detti *magmi basici*) sono più ricchi in Fe, Mg e Ca; quelli ricchi in silicio (*magmi acidi*) sono caratterizzati da concentrazioni relativamente più elevate in sodio e potassio.

Dal raffreddamento dei magmi si formano le *rocce ignee*. Se il processo avviene all' interno della terra le rocce prendono il nome di rocce ignee *intrusive*. Se il raffreddamento avviene sulla superficie terrestre le rocce vengono dette ignee *effusive*. Le rocce ignee sono costituite da minerali di varia natura, tra cui i più importanti hanno composizione silicatica e sono rappresentati da olivina, anfiboli, pirosseni, biotite, feldspati (plagioclasa, ortoclasio, sanidino), feldspatoidi (leucite, nefelina) e quarzo.

Le caratteristiche fisiche più importanti dei magmi sono la temperatura e la viscosità. Le temperature dei magmi mostrano valori compresi tra circa $750^\circ\text{-}800^\circ$ e circa $1150\text{-}1200^\circ$ ed aumentano passando dai magmi acidi a quelli basici.

La viscosità dei magmi è molto variabile ed aumenta dai magmi basici a quelli acidi. I magmi basici (es. basalti) hanno una viscosità comparabile a quella di alcuni olii da motore. I magmi acidi (es. graniti) sono molto più viscosi. A parità di composizione chimica la viscosità dei magmi aumenta con il diminuire della temperatura.

Generazione e risalita dei magmi

La Terra è costituita per la maggior parte (escluso il nucleo esterno) da rocce solide. I magmi si generano all' interno della Terra, quando si realizzano condizioni particolari e tali da determinare la fusione parziale o *anatessi* delle rocce. La formazione dei magmi, pertanto, rappresenta un evento anomalo. I processi più importanti di fusione si verificano nella parte superiore del mantello terrestre oppure nella crosta continentale profonda o intermedia.

Sia nel mantello che nella crosta, i magmi hanno densità inferiore rispetto a quella delle rocce da cui derivano. Tale contrasto di densità, reso più netto dalla presenza di sostanze volatili concentrate nel magma, costituisce la causa principale della separazione dei magmi e della loro risalita verso l' alto.

I magmi possono risalire direttamente in superficie dalla zona sorgente oppure, molto più comunemente, si fermano nella crosta o al limite tra crosta e mantello (circa 35 km di profondità) per formare dei serbatoi (*camere magmatiche*) all' interno dei quali subiscono un lento raffreddamento con cristallizzazione dei minerali. Di particolare interesse vulcanologico sono le camere magmatiche che si formano a bassa profondità (4-5 km) al di sotto di alcuni apparati vulcanici. In occasione di alcune grosse eruzioni effusive o esplosive, le camere magmatiche superficiali si possono svuotare quasi completamente. Ciò causa il crollo di parte del vulcano.

I prodotti dell'attività vulcanica

I prodotti emessi dai vulcani nel corso della loro attività sono costituiti da lave, gas e piroclastiti. Le lave e le piroclastiti vengono emesse soltanto durante le fasi parossistiche dell' attività dei vulcani mentre i gas possono fuoriuscire anche durante i periodi di quiescenza.

Le *lave* sono magmi eruttati in superficie. Esse possono formare ampie colate oppure raffreddarsi immediatamente al di sopra del condotto vulcanico dando luogo a strutture cupoliformi dette *duomi lavici*.

I *prodotti piroclastici o piroclastiti* sono materiali frammentati che si formano nel corso di eruzioni esplosive. Le piroclastiti sono costituite sia da brandelli di magma sia da frammenti di rocce solide strappate dal condotto vulcanico durante l' esplosione. Possono avere dimensioni variabili, da parecchi metri (blocchi e bombe vulcaniche) a pochi cm (lapilli) a frazioni di mm (ceneri vulcaniche) (Figura 1).



FIGURA 1
Bombe vulcaniche a
forma di fuso, che
poggiano su lapilli e
ceneri.

I gas vulcanici hanno composizione variabile ma, come detto, sono costituiti prevalentemente da acqua e anidride carbonica, con presenza di quantità minori di vari composti di zolfo, fluoro, cloro etc.

Comportamento dei vulcani e tipi di eruzione

Le eruzioni vulcaniche vengono suddivise in *effusive* ed *esplosive* a seconda dello stile tranquillo o esplosivo di emissione dei prodotti.

Il diverso comportamento eruttivo dei vulcani dipende dalla viscosità e dal contenuto in gas dei magmi. Come già ricordato, la viscosità dei magmi è funzione della temperatura e, soprattutto, della composizione chimica.

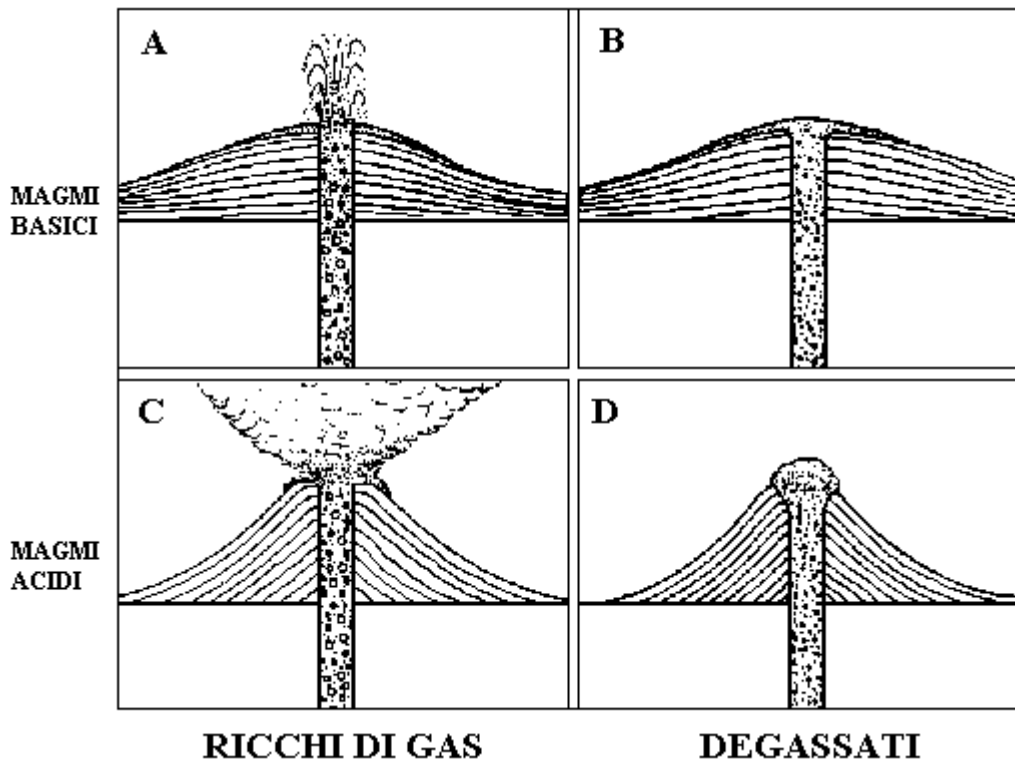


FIGURA 2
Comportamento
eruttivo dei
magmi acidi e
basici con
diverso
contenuto in
gas.

Lave basiche fluide e ricche in gas (Figura 2A) danno eruzioni effusive accompagnate da fenomeni esplosivi di modesta entità quali jet di lava alti fino a molte centinaia di metri (*fontane di lava*); le stesse lave, se povere in gas, danno eruzioni effusive tranquille senza apprezzabili fenomeni esplosivi (Figura 2B).

Le lave acide viscoso ricche in gas danno eruzioni esplosive di alta energia (Figura 2C); le stesse lave, se povere in gas, danno duomi lavici o colate di modesto spessore (Figura 2D).

E' comune il caso di vulcani che cambiano tipo di attività con il tempo, come conseguenza di cambiamenti della composizione chimica dei magmi. Normali sono anche le variazioni dello stile eruttivo nel corso di una singola eruzione; ad esempio, molte eruzioni iniziano con una fase esplosiva durante la quale si ha emissione di grandi quantità di piroclastiti, e terminano con colate laviche tranquille.

Le più note eruzioni effusive sono quelle *hawaiiane*, tipiche dei vulcani delle Isole Hawaii. Esse sono tipiche di magmi basici fluidi e consistono nella emissione tranquilla di colate fluide con modesti fenomeni esplosivi tipo fontane di lava (Figura 3). I vulcani che si formano in seguito all' attività hawaiiana hanno forma conica molto appiattita e vengono detti *vulcani scudo*.



FIGURA 3
Eruzione
hawaiiiana con
fontana e colate di
lava.

Le eruzioni esplosive vengono distinte in tre classi: eruzioni magmatiche, freatomagmatiche o idrovulcaniche, e freatiche.

Le eruzioni *freatiche* (dette anche *esplosioni di vapore*) si verificano quando le acque sotterranee, sotto l' effetto di riscaldamento da parte del magma, evaporano rapidamente dando una o più esplosioni. E' da notare che in questo caso il magma non partecipa direttamente all' **eruzione** ma si "limita" a fornire calore alle acque freatiche la cui rapida trasformazione in vapore genera l' eruzione.

Le eruzioni esplosive *freatomagmatiche* si verificano in seguito a contatto tra magma e acqua. Tra queste si riconoscono le eruzioni *vulcaniane* e quelle *surtseyane*.

Le *eruzioni vulcaniane* si verificano quando un magma acido viene a contatto con acque freatiche all' interno del condotto. Si forma in tal caso una nube costituita da gas e materiale piroclastico, che si eleva al di sopra del cratere prendendo una tipica forma a cavolfiore (Figura 4). Le eruzioni vulcaniane derivano il loro nome dall' Isola di Vulcano nell' arcipelago delle Eolie, dove sono avvenute eruzioni con queste caratteristiche.



FIGURA 4
Eruzione vulcaniana. Le nuvole piroclastiche che scorrono lungo i fianchi sono surge e colate piroclastiche.

Le *eruzioni surtseyane* avvengono quando un magma di qualsiasi composizione viene eruttato da un vulcano la cui bocca si trova al livello dell' acqua (ad esempio in mare o in un lago); si ha in tal caso un elevato numero di esplosioni continue con formazione di nuvole piroclastiche che assumono una forma particolare detta cipressoide o a coda di gallo (Figura 5). Il termine "surtseyano" deriva dall' Isola di Surtsey (Islanda) nata dal mare da un' eruzione con le caratteristiche sopra descritte.

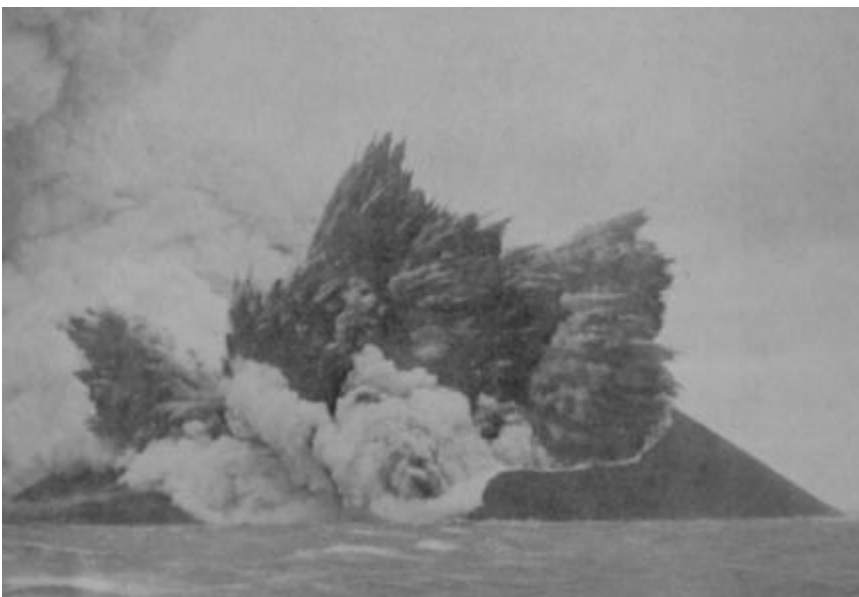


FIGURA 5
Eruzione surtseyana.

Le eruzioni esplosive magmatiche sono legate alla presenza di abbondanti quantità di gas di origine magmatica, cioè risaliti insieme al magma dal mantello terrestre. I due tipi più importanti sono le eruzioni stromboliane e le pliniane.

Le *eruzioni stromboliane*, tipiche del vulcano attivo di Stromboli (Isole Eolie) consistono di esplosioni ritmiche di modesta energia, con lancio di brandelli di lava nera o rossa (dette *scorie di lancio*) che, dopo traiettorie più o meno lunghe ma non superiori alle centinaia di metri, ricadono al suolo nell' immediata vicinanza del cratere (Figura 6). Le eruzioni stromboliane sono tipiche di magmi a viscosità intermedia tra quelli basici e acidi.



FIGURA 6
Eruzione stromboliana

Le *eruzioni pliniane* sono quelle a maggiore energia. Sono tipiche di magmi viscosi acidi ricchi in gas e sono caratterizzate dalla formazione di un' alta colonna eruttiva con forma a fungo che può raggiungere le decine di km di altezza (Figura 7). La colonna eruttiva è formata da pomici, ceneri e blocchi. Le ceneri raggiungono le quote più elevate e possono essere disperse dal vento su aree molto estese, anche a decine di migliaia di km dal punto di emissione. Le eruzioni pliniane prendono il nome da Plinio il Giovane che descrisse dettagliatamente l' eruzione del Vesuvio, che presentava le caratteristiche sopra descritte.

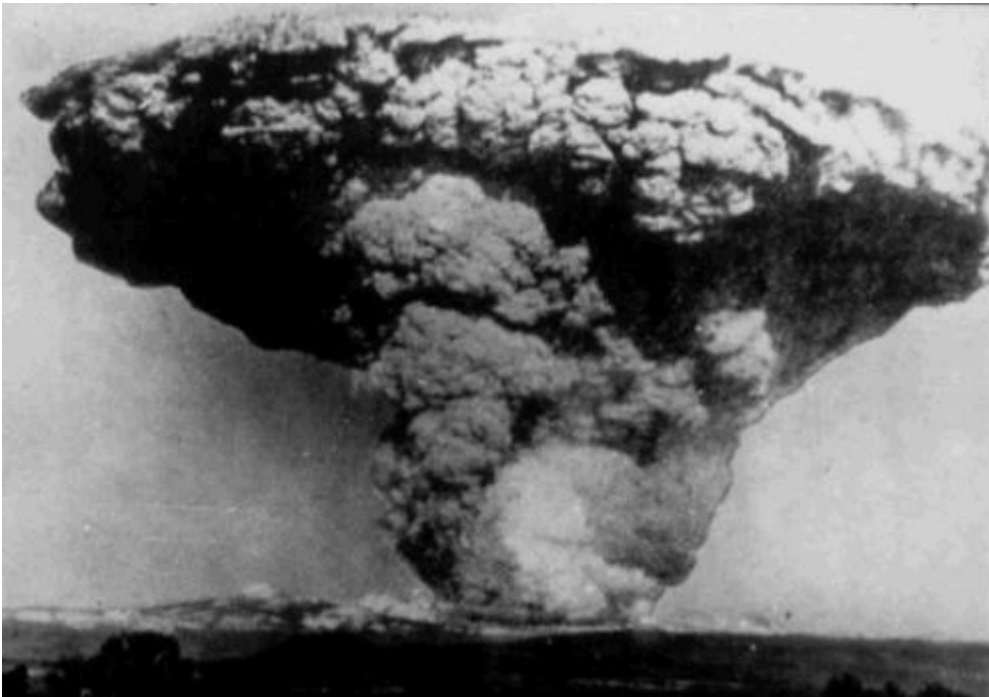


FIGURA 7
Eruzione pliniana

Processi di messa in posto dei prodotti vulcanici

Le colate laviche sono messe in posto con meccanismi abbastanza semplici, tipici di materiali più o meno fluidi che scorrono su superfici a diversa geometria. Le colate laviche si incanalano preferenzialmente lungo le valli e hanno tendenza a accumularsi nelle depressioni topografiche. I loro percorsi, pertanto, sono abbastanza prevedibili. Le velocità sono variabili in funzione essenzialmente della viscosità della lava e dell' inclinazione della superficie di scorrimento. La velocità della gran parte delle lave raramente supera i pochi km/ora o addirittura qualche chilometro al giorno; tuttavia, si possono avere velocità molto più elevate (di alcune decine di km/ora) per lave fluide che scorrono su pendii scoscesi.

Di particolare interesse sono i processi di messa in posto dei prodotti piroclastici. Questi possono essere lanciati a varie angolazioni e ricadere per gravità andando a formare depositi piroclastici di *caduta*. I frammenti piroclastici più grossolani (blocchi e bombe) cadono nelle vicinanze del cratere, mentre le ceneri e i lapilli possono ricadere a molti km di distanza. Il loro accumulo può essere causa di crolli di tetti, distruzione di raccolti, inquinamento di fonti idriche

In alcuni casi le piroclastiti possono essere emesse orizzontalmente durante l' esplosione. Tale fenomeno, simile all' onda di base che si verifica in occasione di esplosioni nucleari, viene detto *base surge* (onda di base). I surge piroclastici hanno forte mobilità orizzontale, elevata velocità (dell' ordine di parecchie centinaia di km/ora) e sono in grado di scorrere anche in contropendenza. Queste caratteristiche rendono i surge estremamente pericolosi.

Nel caso di eruzioni vulcaniane e pliniane, la gran parte del materiale piroclastico va a formare colonne eruttive anche di enormi dimensioni. Il crollo di tali colonne determina la formazione di dense nuvole piroclastiche dotate di elevata mobilità, in grado di trasportare enormi quantità di materiale piroclastico. Queste nuvole sono note con il termine di *colate piroclastiche*.

Con il termine di *tuffo* viene indicato qualsiasi deposito di ceneri e lapilli, indipendentemente dal meccanismo di messa in posto.

I prodotti piroclastici possono essere facilmente rimangiati da parte del vento e dell' acqua a causa della natura in genere poco consolidata dei depositi. Il trasporto da parte dell' acqua genera la formazione di *colate di fango* o *lahar*. Queste sono delle miscele di acqua, ceneri e blocchi che si formano, per esempio, in seguito a piogge copiose che interessano aree coperte da piroclastiti non consolidate, oppure quando l' eruzione esplosiva avviene in un lago craterico. L' acqua si mescola alle ceneri e produce un fluido dotato di elevata mobilità e velocità. I lahar sono tra i fenomeni più distruttivi del vulcanismo e si possono verificare anche molto tempo dopo un' eruzione vulcanica. Ad esempio, i lahar che hanno causato nell' autunno del ' 98 distruzione e vittime a Sarno e altri comuni della Campania si sono verificati lungo tempo dopo la deposizioni delle ceneri del Vesuvio che è in fase di quiescenza dal 1944.

Come è fatto un vulcano

I sistemi vulcanici sono costituiti da una zona sorgente, una zona di alimentazione, una camera magmatica e da una struttura visibile a forma generalmente, ma non sempre, conica (Figura 8). La *sorgente* è la zona di formazione dei magmi. Essa si trova in genere nella parte superiore del mantello terrestre, ma può anche essere ubicata nella crosta profonda o intermedia.

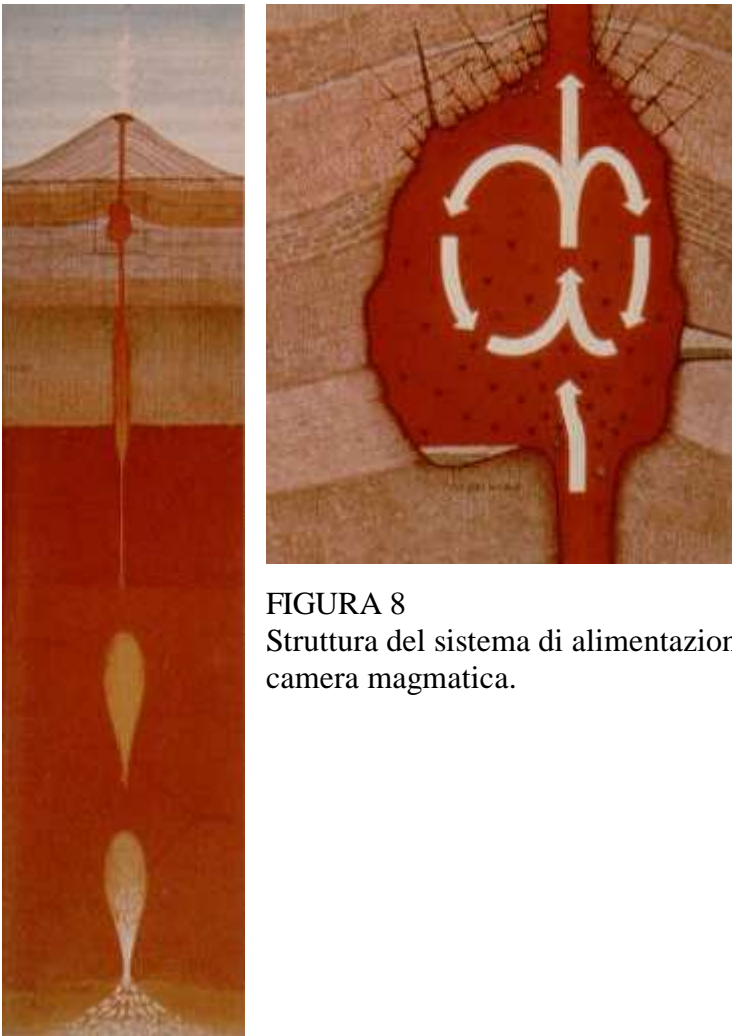


FIGURA 8

Struttura del sistema di alimentazione di un vulcano. A destra, dettaglio della camera magmatica.

La zona di *alimentazione* è costituita da una serie di canali ad andamento verticale lungo i quali il magma scorre per raggiungere la camera magmatica o, in qualche caso, direttamente la superficie.

La *camera magmatica* rappresenta la zona in cui i magmi possono stazionare prima di essere eruttati in superficie.

Il vulcano vero e proprio è rappresentato da una struttura rilevata, a forma generalmente conica più o meno piatta. Questa è collegata alla camera magmatica attraverso un canale detto *condotto di alimentazione*.

La gran parte dei cono i vulcanici (noti come *stratovulcani*) sono costituiti da alternanza di colate laviche e di prodotti piroclastici accumulatisi nel corso del tempo. Gli stratovulcani si formano in seguito ad attività mista, esplosiva ed effusiva, di magmi non fluidi. Esistono anche alcuni vulcani formati in larga prevalenza da lave con scarse o senza piroclastiti (es. alcuni vulcani scudo).

I vulcani contengono, generalmente nella parte terminale, un cratere che rappresenta la zona di prevalente emissione dei prodotti lavici e/o piroclastici. Comunissima è la presenza di piccoli apparati posti sui fianchi o in posizione eccentrica rispetto alla struttura e che si formano in seguito a eruzioni laterali (Figura 9). In alcuni vulcani esistono ampie depressioni sommitali, di forma grossolanamente circolare e con diametro dell' ordine di parecchi km. Sono queste le *caldere* che, come già ricordato, si formano per collasso del vulcano in seguito a svuotamento della camera magmatica conseguente a una o più grandi eruzioni.

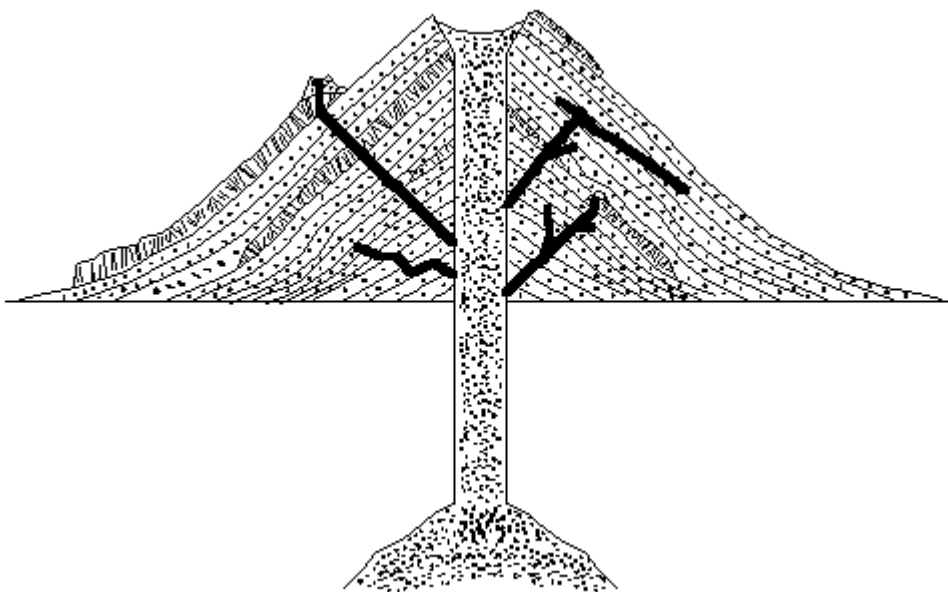


FIGURA 9
Sezione geologica di
un cono vulcanico
(stratovulcano)

Il vulcanismo e l'ambiente

Gli effetti dei fenomeni vulcanici sull' ambiente nel quale l' uomo vive sono molteplici e complessi. L' aspetto più noto è quello operato dalla potenza distruttiva di alcune eruzioni. Tra le più note ricordiamo quella del Vesuvio del 79 d.C., quella dell' Isola di Santorini nell' arco delle Cicladi nel mar Egeo che determinò la scomparsa intorno al 1600 a.C. della civiltà minoica e quella del 1902 del vulcano Pelée nella Martinica. Durante le eruzioni i maggiori danni possono essere provocati direttamente dalle colate e surge piroclastici, dalla caduta di cenere che copre e distrugge i raccolti, dai gas emessi in gran quantità che determinano asfissia negli esseri viventi nelle aree più vicine al vulcano, dai lahar che si verificano se dopo un' eruzione esplosiva si hanno abbondanti piogge o se l' eruzione avviene in un lago craterico. Relativamente poco pericolose sono invece le colate laviche

che scorrono a velocità non molto elevata e il cui percorso, che segue quello delle valli può essere previsto e, in alcuni casi, deviato. Da quanto detto è evidente che le eruzioni maggiormente distruttive sono quelle esplosive quali quelle pliniane e vulcaniane, mentre quelle di tipo hawaiano presentano minore pericolosità. In Italia un' attività di tipo esplosivo si verifica al Vesuvio e a Vulcano mentre l' Etna ha un regime più tranquillo e meno pericoloso. Per ridurre i rischi connessi all' attività vulcanica è necessaria una sorveglianza continua dei singoli sistemi attivi. E' ormai noto che ogni eruzione è preceduta da una serie di eventi costituiti da sollevamento del suolo in prossimità del centro eruttivo, da un aumento dell' attività sismica superficiale connessa con la risalita dei magmi, da cambiamenti nella temperatura e composizione dei gas emessi dalle fumarole e da variazioni nel campo magnetico locale. I continui rilevamenti geofisici, geochimici e topografici possono consentire, pertanto, di prevedere un' eruzione vulcanica anche se allo stato attuale delle conoscenze non è possibile predire con precisione il momento e l' intensità dell' eruzione stessa.

L' attività vulcanica può produrre importanti effetti sul clima. Questi sono connessi con l' immissione nell' atmosfera di enormi quantità di ceneri e di gas che possono rimanere in sospensione per molti anni causando notevole assorbimento delle radiazioni solari con conseguente abbassamento della temperatura su vaste regioni. L' eruzione del vulcano Tambora in Indonesia, avvenuta nel 1915, immise nell' atmosfera una quantità di ceneri tale da causare la completa oscurità per tre giorni in un raggio di 500 km intorno al vulcano. La permanenza delle particelle di cenere e gas in sospensione causò l' abbassamento della temperatura media mondiale di più di un grado con forti danni per l' agricoltura tanto che il 1916 fu conosciuto come *l'anno senza estate* e come *l'anno della povertà*.

In contrasto con questi effetti negativi i fenomeni vulcanici hanno rivestito importanza fondamentale per la nascita e lo sviluppo della vita sul nostro pianeta. Molta dell' acqua dei mari e dei gas dell' atmosfera è stata emessa dai vulcani nel corso della storia della Terra. Inoltre molti processi di accumulo di minerali utili che vanno dai solfuri di rame fino ai diamanti sono connessi all' attività vulcanica. La caduta di ceneri, specie se di chimismo basico e alcalino ha un positivo effetto sulla fertilità del suolo che, in seguito a questo fenomeno, viene arricchito in elementi come potassio e fosforo. Infine è da ricordare l' importanza crescente che le aree vulcaniche vanno assumendo per lo sfruttamento delle acque calde e del vapore presenti nel sottosuolo. Il vapore viene adoperato per la produzione di energia elettrica da centrali geotermiche, mentre le acque calde vengono utilizzate per il riscaldamento domestico e delle serre. Centrali elettriche a energia geotermica si trovano in numerose aree vulcaniche recenti e attive quali Larderello in Toscana, Rotorua in Nuova Zelanda, Islanda, California etc. Impianti per il riscaldamento delle case e delle serre si trovano a Rotorua in Nuova Zelanda, in Islanda, ecc. L' interesse per l' energia geotermica deriva dal suo basso costo rispetto alle altre fonti tradizionali, quali il petrolio, il carbone, e la poca rilevanza di fenomeni di inquinamento connessi con la sua produzione. Viene calcolato che in certi paesi come ad es. l' Italia, dove esistono estesi fenomeni vulcanici, l' energia geotermica potrebbe coprire fino a circa il 15-20% del fabbisogno nazionale.