

# L'ATTIVITA' VULCANICA

## LA LEZIONE

---

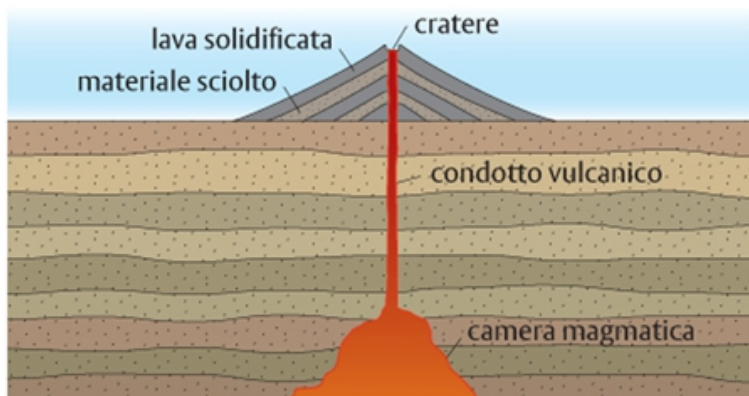
*Un vulcano è la via attraverso la quale il materiale fuso, che giace nella parte inferiore delle crosta terrestre, arriva in superficie. I vulcani hanno un ruolo fondamentale nella dinamica del pianeta Terra e rappresentano la via di accesso per comprendere i processi che avvengono all'interno della superficie terrestre.*

I vulcani sono nell'immaginario comune ciò che può condurci a conoscere i segreti nascosti dell'interno della Terra. Il celebre romanziere [Jules Verne](#) iniziava il suo "Viaggio al centro della Terra" (1864) raccontando la discesa di Otto Lidenbrock, un professore di mineralogia, e di suo nipote Axel all'interno di un vulcano spento. Egli aveva collocato la porta per scendere verso il centro della Terra nel cratere Jökull del vulcano Snæffels, in Islanda. Lo scrittore porta i due protagonisti, accompagnati da una guida, nelle viscere della terra, in un mondo fantastico fatto di cunicoli e labirinti di rocce, di minerali preziosi, di resti di animali preistorici e perfino di un mare sotterraneo.

Jules Verne con i suoi romanzi ha precorso il futuro. I vulcani, infatti, rappresentano oggi per gli studiosi una preziosa finestra aperta sui processi che avvengono a diversi chilometri di profondità. Prendendo spunto dal viaggio del Professor Lidenbrock e di suo nipote, anche noi ripercorreremo un tragitto ideale che porta dalla superficie all'interno della crosta terrestre; cercheremo di entrare nelle pance dei vulcani per comprendere cosa sono e quale ruolo hanno nella dinamica del nostro Pianeta Terra.

### **La discesa all'interno di un vulcano**

[Vulcano](#), nome latino del Dio del Fuoco dal quale deriva il termine scientifico, riporta nell'immaginario comune a un monte di forma conica dalla cui sommità fuoriescono nubi e vapori incandescenti e ai cui fianchi scorrono bollenti fiumi di lava. Ma oltre a



questo, che cos'è realmente un vulcano? Un vulcano è la via attraverso la quale il materiale fuso, che giace nella parte inferiore delle crosta terrestre, arriva in superficie (figura 1).

*Figura 1: Struttura di un vulcano*

Si tratta di una struttura morfologica formatasi intorno a una frattura della crosta, lungo la quale scorre il [magma](#) fino alla sua venuta a giorno. Il magma è un liquido che si forma per fusione di materiale contenuto nel mantello terrestre che, essendo meno denso delle rocce circostanti, tende a risalire verso la base della crosta terrestre dove si accumula in aree specifiche chiamate camere magmatiche. Questo fluido può stazionare all'interno della crosta per periodi molto lunghi, raffreddandosi lentamente e solidificando fino ad originare rocce intrusive, o può giungere velocemente in superficie attraverso un'eruzione generando invece rocce effusive. Il magma che giunge in superficie prende il nome di [lava](#).

Gli elementi che accomunano tutti i vulcani sono:

- **la camera magmatica**, un serbatoio in cui il magma staziona per un tempo variabile;
- **il condotto vulcanico**, la via di collegamento fra la camera magmatica e la superficie terrestre;
- **il cratere**, l'interfaccia del condotto con la superficie esterna, generalmente situato alla sommità del vulcano.

Un vulcano è definito "un apparato vulcanico" quando presenta più condotti (lateralmente o eccentrici) che possono dar luogo a diverse bocche di uscita (crateri avventizi).

Gli edifici vulcanici possono essere rappresentati da strutture variabili, da estremamente semplici con un singolo apparato, a molto complesse, con la presenza di numerosi apparati che differiscono principalmente per posizione, forma, dimensione ed età.

La loro forma è il risultato di un'ampia serie di processi dovuti al meccanismo di risalita e fuoriuscita del magma. Nel caso di eruzioni effusive la lava trabocca dal condotto, tende a scorrere e ad accumularsi lungo i fianchi del vulcano, accrescendone l'edificio; durante le eruzioni di tipo esplosivo si può avere invece una parziale distruzione dell'edificio vulcanico. Pertanto differenti tipi di eruzioni vulcaniche possono originare prodotti vulcanici distinti e differenti tipi di edifici vulcanici.

La morfologia di un vulcano è un fattore importantissimo in quanto rappresenta il suo primo carattere identificativo. In questa lezione ci soffermeremo su alcune di queste forme, in particolare i vulcani a scudo e gli strato-vulcani.-

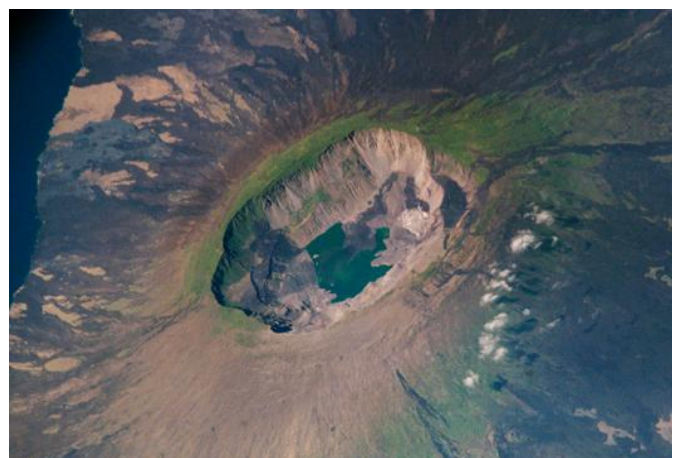
I vulcani a scudo sono apparati centrali caratterizzati da un'attività prevalentemente effusiva. Il nome "scudo" deriva dalla forma dell'apparato che mostra un cono sommitale di sagoma rotonda (figura 2).



*Figura 2: Struttura di un vulcano a scudo: cratere (a), condotto vulcanico (b), camera magmatica (c) strati di lava dovuti a colate successive (d)*

Tali apparati presentano un profilo con pendii poco inclinati (generalmente fra 2° e 10°) e dimensioni variabili. Nell'Isola di Hawaii, il [Mauna Kea](#) raggiunge 4180 m s.l.m. (figura 3) mentre il [Mauna Loa](#) arriva a 3650 m s.l.m., innalzandosi però da 8000 metri di profondità sul fondo dell'Oceano Pacifico. Quindi una peculiarità degli apparati scudo è la loro vasta estensione che deriva dalla sovrapposizione di numerose colate di lava basaltiche.

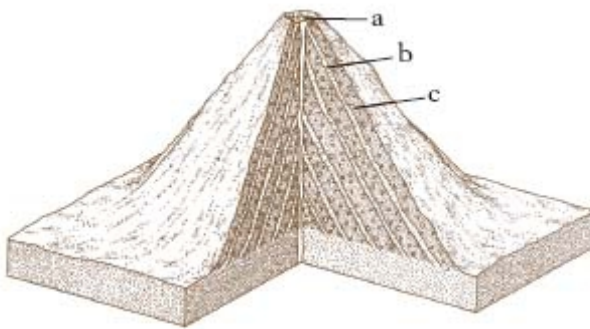
I vulcani a scudo si trovano generalmente sulle dorsali oceaniche o nei punti caldi all'interno delle placche (vedi distribuzione geografica dei vulcani).



*Figura 3: Immagine del vulcano a scudo Mauna Kea, situato nell'isola di Hawaii* *Figura 4: il vulcano La Cumbre situato sull'isola Fernandina, appartenente all'arcipelago delle Galapagos*

I vulcani a scudo possono essere di tipo islandese, hawaiano e delle Galapagos. Nel vulcano a scudo di tipo **islandese** l'attività è iniziata lungo fessure orizzontali della crosta e successivamente si è imposta in un punto dando luogo ad una struttura centrale. Tali vulcani mostrano edifici di modeste altezze (<1000m). Il tipo **hawaiano** è caratterizzato al contrario da edifici di grandi dimensioni, la cui bassa pendenza del profilo è dovuta alla presenza di fratture laterali da cui fuoriesce la lava. Il vulcano di tipo **Galapagos**, invece, presenta grandi apparati inizialmente caratterizzati da un'attività centrale e successivamente accresciuti da lava emessa lungo fratture laterali (figura 4).

Gli strato-vulcani o vulcani composti sono costituiti da strati alternati di colate laviche e di materiale piroclastico (scorie lapilli e ceneri). I magmi eruttati sono relativamente più viscosi di quelli dei vulcani a scudo. Per lunghi periodi uno strato-vulcano può essere caratterizzato da un'attività effusiva con emissione di colate laviche e poi presentare periodi di violenta attività esplosiva con emissione di materiale piroclastico. La struttura che ne deriva mostra un cono con fianchi molto inclinati (figura 5), le cui dimensioni sono variabili, ma generalmente inferiori a quelle dei vulcani a scudo. Gli strato-vulcani possono presentare coni laterali originatisi dalla presenza di fratture sui fianchi da cui fuoriesce il magma.



*Figura 5: Struttura di uno stratovulcano: cratere (a), colate di lava (b), strati di materiale piroclastico (c) ; Figura 6: il cono quasi perfetto del vulcano Mayon nelle Filippine*

Alcuni strato-vulcani hanno una forma a cono quasi perfetta, come il Fujiyama in Giappone e il Mayon nelle Filippine (Figura 6).

In Italia abbiamo due noti esempi, l'[Etna](#) e il [Vesuvio](#), che sono classificati come strato-vulcani. Nel caso dell'Etna, la sua forma deriva dalla migrazione irregolare del condotto al crescere dell'edificio (figura 7). Per il Vesuvio invece la forma anomala deriva da un'eruzione di tipo esplosivo che ha troncato la porzione sommitale dell'edificio precedente, il Monte Somma (figura 8). Gli strato-vulcani si trovano generalmente all'interno di placche litosferiche o nelle zone di subduzione.



*Figura 7: profilo irregolare del Monte Etna*



*Figura 8: Il Vesuvio durante l'eruzione del 1944. Sulla sinistra è visibile la porzione del Monte Somma*

In base alla morfologia possiamo distinguere altre forme quali: i plateau basaltici, i vulcani monogenici, i campi vulcanici, i duomi e le caldere.

I **plateau basaltici** consistono di eruzioni effusive che generano grandi flussi di lava molto fluida che ricoprono vaste superfici. Tali forme si generano in tempi molto lunghi e si estendono per migliaia di chilometri. Un esempio è rappresentato dal plateau del Deccan in India.

I **vulcani monogeneci** sono apparati che si formano durante un'unica eruzione e in base alla forma e alla loro genesi assumono nomi diversi, quali: cono di scorie (prevalentemente costituiti da scorie vulcaniche), cono di tufo (materiale piroclastico consolidato con granulometria fine), cono di cenere (materiale cineritico non consolidato), anello di tufo e anello di cenere (questi due anelli si differenziano in base al rapporto altezza e diametro), maar (particolare anello di tufo che ha il fondo del cratere sotto il piano campagna).

I **campi vulcanici** sono costituiti da numerosi apparati monogenici di diversa forma e composizione che si sviluppano in un arco di tempo molto esteso.

I **duomi** sono forme che si originano in seguito ad emissione da un cratere o da una caldera di lava molto viscosa. Essi sono chiamati endogeni, se si formano all'interno del condotto, esogeni, se una porzione di lava fuoriesce dal condotto e a causa della viscosità elevata si accumula intorno al punto di emissione.

Infine, **le caldere** sono estese depressioni naturali di forma circolare. Una delle caldere più vaste del mondo è quella di [Yellowstone](#) nel Wyoming. Queste



depressioni si differenziano dal cratere di un vulcano in quanto non hanno mai la presenza di un condotto. Esse si originano per collasso di una vasta area in seguito a violente eruzioni esplosive caratterizzate da voluminose emissioni di magma (figura 9).

*Figura 9: La caldera del Monte Tambora (Indonesia)*

Si distinguono diversi tipi di caldera fra cui ricordiamo le caldere da collasso, le più frequenti, e le caldere da esplosione, molto rare. Fra le caldere da collasso le più comuni sono quelle che si originano da eruzioni effusive basaltiche, come ad esempio

nel Kilawea nelle isole Hawaii, o per voluminose eruzioni di pomici e ceneri, come ad esempio per il Krakatoa in Indonesia.

### ***Nella pancia di un vulcano: analogia fra un vulcano e una bottiglia di spumante***

Tra i fattori che determinano la natura di una eruzione giocano un ruolo fondamentale la composizione chimica del magma, la sua temperatura e la quantità di gas in esso disciolti. Questi fattori sono correlati alla viscosità del magma, ovvero la sua mobilità. Pertanto, è importante comprendere come questi fattori interagiscono tra di loro.

Un'eruzione vulcanica consiste nel trasferimento di magma in superficie. Il magma è un sistema eterogeneo costituito principalmente da una fase liquida con temperature variabili fra 1000°C e 1200°C e si forma per fusione parziale del mantello. La fase liquida è generalmente silicatica. La silice, formata da un atomo di silicio e due di ossigeno ( $\text{SiO}_2$ ), tende a formare lunghe strutture dette catene polimeriche. La viscosità del magma è strettamente legata al suo contenuto in silice e più alto è il suo contenuto, maggiore è la sua viscosità. Di conseguenza le lave basaltiche a basso contenuto in silice tendono ad essere molto fluide, mentre le lave a composizione intermedia o acida sono più viscosi.

Oltre alla fase liquida nel magma si possono trovare una fase gassosa, e una fase solida, costituita da cristalli. La fase gassosa è costituita principalmente da vapore acqueo che tende a liberarsi più facilmente in un magma meno viscoso.

Determinare la composizione chimica del magma non è possibile. Essa viene ricavata in maniera indiretta attraverso le rocce. Esse rappresentano in parte il chimismo del magma di partenza, al quale però vengono sottratti gran parte dei gas precedentemente presenti.

Il mantello è la zona in cui si originano la maggior parte dei magmi eruttati sulla superficie terrestre. Dopo essersi formato, il magma tende a risalire perché è meno denso delle rocce circostanti. La sua migrazione procede verso la crosta terrestre dove ci sono rocce meno dense di quelle del mantello e si arresta quando la densità delle rocce circostanti è simile a quella del magma. Le zone in cui il magma si accumula si chiamano camere magmatiche. All'interno della camera magmatica il magma può stazionare per periodi più o meno lunghi, subendo una serie di processi di differenziazione, dovuti al raffreddamento e alla conseguente cristallizzazione di fasi minerali. Il magma che non giunge in superficie origina rocce intrusive, mentre

da luogo a rocce effusive se risale dalla camera magmatica fino a raggiungere la superficie.

Il magma che staziona in una camera magmatica vede le sue fasi, solida, liquida e gassosa, in equilibrio. Questa situazione permane fino a che non si presentano variazioni di pressione al suo interno, che spingono inevitabilmente il magma verso la superficie. La pressione può variare per diversi motivi come l'iniezione di nuovo magma dalla profondità o movimenti tettonici.

La diminuzione di pressione esterna può favorire la liberazione di parte del gas disciolto nel magma. Il gas in tal modo tende a liberarsi verso l'alto e a premere contro le pareti della camera magmatica aumentandone la pressione interna. Il magma tenderà ad essere spinto all'interno di fratture presenti nelle rocce incassanti fino ad arrivare in superficie.

L'analogia con una bottiglia di spumante spiega in maniera semplice e chiara questo processo. La bottiglia rappresenta la camera magmatica che contiene il magma costituito da una fase liquida e una gassosa. I gas sono rappresentati dall'anidride carbonica disciolta nello spumante. Se il tappo della bottiglia è chiuso il sistema è in equilibrio. Se la bottiglia viene aperta, la pressione interna inizia a diminuire. L'anidride carbonica, prima disciolta nel liquido, inizia a liberarsi e attraverso il vetro si osserva la formazione di bolle di gas. Togliendo completamente il tappo, la pressione diminuisce repentinamente e l'anidride carbonica si libera in maniera turbolenta trascinando con sé parte del liquido. Analogamente quando il magma risale verso la superficie terrestre, la pressione (di confinamento) si riduce notevolmente, provocando una repentina liberazione di gas precedentemente disciolti nel magma. Con l'eruzione si ha la liberazione della fase gassosa che nel suo tragitto trascina parti di liquido ovvero la lava. Come spiegato in precedenza l'espansione del gas in un magma basaltico avviene in maniera tranquilla, portando alla formazione di colate laviche. Al contrario nei magmi ad alta viscosità i gas raggiungono pressioni elevate prima di liberarsi e questo porta ad eruzioni esplosive molto violente.

La differenza principale con un sistema vulcanico è che la bottiglia di spumante è un sistema semplice ed una volta esaurito il gas presente, il liquido non riesce più ad uscire spontaneamente. Nei vulcani la situazione è molto più complessa.

## ***Il comportamento di un vulcano***

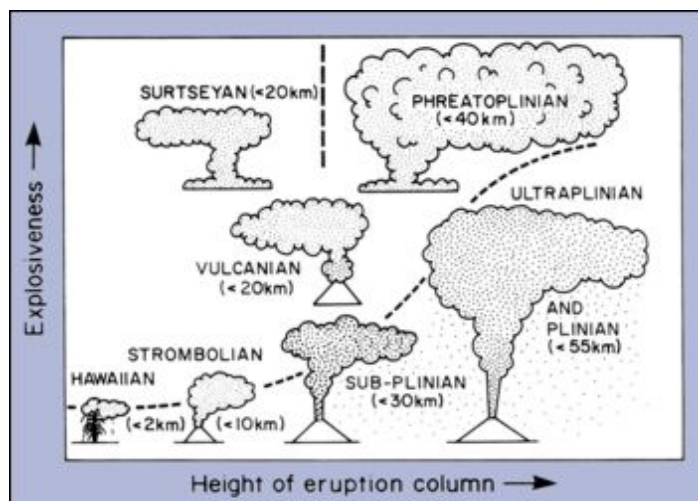
Il termine eruzione indica il trasferimento di materiale dall'interno all'esterno della Terra. Il magma può avere composizione chimica differente e può venire a giorno in situazioni geologiche diverse. Le eruzioni sono eventi molto complessi e i tentativi di classificarle sono stati molteplici.

Mercalli nel 1883, osservando l'attività dei vulcani italiani, fece una prima distinzione. Egli utilizzò i termini stromboliano, vulcaniano, pliniano per indicare eruzioni con grado di esplosività crescente.

Una classificazione più dettagliata fu proposta dal mineralogista francese Lacroix (1867-1948) nella quale i vulcani sono distinti in base al tipo di eruzione: hawaiano, stromboliano, vesuviano, pliniano, peleeano. Le eruzioni di tipi hawaiano sono caratterizzate da emissioni abbondanti da fratture e da laghi di lava dentro crateri a pozzo di lava molto fluida. Gli edifici vengono chiamati vulcani a scudo. Durante queste eruzioni i gas, precedentemente disciolti nel magma, si liberano agevolmente e la lava tende a fluire facilmente. Le eruzioni di tipo stromboliano sono caratterizzate da un'attività più o meno esplosiva e danno origine a fontane di lava spettacolari. In queste eruzioni la lava tende a ristagnare nel cratere dove inizia a solidificare. Al di sotto della crosta solida, i gas cercano di liberarsi e la loro pressione cresce fino a provocare esplosioni che lanciano in aria brandelli di lava fusa (fontane di lava). Le eruzioni di tipo vulcaniano sono caratterizzate da lava più viscosa rispetto alle precedenti. In questo caso i gas non riescono a liberarsi facilmente dal magma e quando ciò avviene si hanno esplosioni violente e la formazione di nubi sostenute. Se l'attività è violenta e la fase iniziale è caratterizzata dall'ascesa veloce del magma accompagnata dallo svuotamento del condotto si usa il termine vesuviano. Nel loro aspetto più violento tali eruzioni sono chiamate di tipo pliniano e sono contraddistinte da una colonna eruttiva che sale per molti chilometri prima di espandersi con una forma particolare, chiamata pino marittimo. Le particelle di lava trascinate in alto ricadono al suolo come pomici ricoprendo una vasta area. Infine si hanno le eruzioni di tipo peleeano, caratterizzate da lave ad altissima viscosità e temperature relativamente basse (600-800°C). Durante queste eruzioni la lava non riesce a scorrere a causa della viscosità e si ha la formazione di una cupola di ristagno, alla base della quale possono partire nubi ardenti discendenti.

Tale classificazione presenta un grande limite in quanto un singolo vulcano può presentare diversi tipi di attività e non può pertanto esser classificato in base ad un solo tipo di eruzione.

George Walker nel 1973 propose una classificazione in grado di fornire una misura del grado di esplosività di una eruzione. La classificazione è basata sui prodotti emessi durante un evento eruttivo ed in particolare sul loro indice di frammentazione (F) e indice di dispersione (D). Il parametro F rappresenta la percentuale dei componenti con un diametro inferiore a 1mm misurato in una posizione ben definita del deposito. I prodotti emessi durante le eruzioni presentano uno spessore che



decrese con la distanza rispetto al punto di emissione e il parametro D indica l'area ricoperta dai depositi con uno spessore superiore ad 1/100 di quello massimo. In figura 10 è riportata la classificazione delle eruzioni secondo Walker, illustrata attraverso le dimensioni delle colonne eruttive.

*Figura 10: la classificazione di Walker (1973) modificata da Cas and Wright (1987)*

Le eruzioni hawaiane mostrano una bassa esplosività con i parametri F e D minimi, ovvero prodotti poco frammentati e dispersi su aree limitate. Le eruzioni pliniane e ultrapliniane hanno un alto grado di esplosività con F e D massimi, ovvero con grado di frammentazione e dispersione dei prodotti molto alto. Le eruzioni surtseyane, freato-pliniane e vulcaniane sono fortemente esplosive per l'interazione fra acqua esterna e magma. Per questo motivo compaiono in alto nel grafico e presentano valori di F molto alti ovvero alto grado di frammentazione. Questa classificazione presenta un limite che sta nel fatto che è basata sui prodotti da caduta di colonne eruttive sostenute e non considera che molte eruzioni esplosive presentano depositi da flusso.

Un'ulteriore classificazione, adottata dallo Smithsonian Institution per la compilazione del catalogo mondiale delle eruzioni (Newhall e Self, 1982), si basa sull'indice di esplosività vulcanica, denominato V.E.I. (Volcanic Explosivity Index). Tale classificazione è semiquantitativa e si ottiene dalla combinazione di dati quantitativi, come il volume dei prodotti emessi, la frammentazione del magma, l'altezza della colonna eruttiva, e le osservazioni qualitative (figura 11).

| VEI                                | 0         | 1            | 2         | 3          | 4                                     | 5             | 6            | 7     | 8   |
|------------------------------------|-----------|--------------|-----------|------------|---------------------------------------|---------------|--------------|-------|-----|
| Descrizione                        | non espl. | piccola      | moderata  |            | grande                                | molto grande  |              |       |     |
| log volume(m <sup>3</sup> )        | 4         | 4-6          | 6-7       | 7-8        | 8-9                                   | 9-10          | 10-11        | 11-12 | >12 |
| Altezza colonna                    | <0.1      | 0.1-1        | 1-5       | 3-15       | 10-25                                 | >25           |              |       |     |
| Descrizione qualitativa            | effusiva  |              | esplosiva |            | cataclismica, parossistica, colossale |               |              |       |     |
|                                    |           |              |           |            | grave                                 | notevole      | terrificante |       |     |
| Classificazione                    |           | stromboliana |           |            | pliniana                              |               |              |       |     |
|                                    |           | hawaiana     |           | vulcaniana |                                       | ultrapliniana |              |       |     |
| Durata (ore di emissione continua) | <1        |              | 1-6       |            | 6-12                                  |               | >12          |       |     |
| Iniezione troposferica             |           | trascurabile | minore    | moderata   | sostanziosa                           |               |              |       |     |
| Iniezione stratosferica            |           | nessuna      |           | possibile  | sicura                                | notevole      |              |       |     |

*Figura 11: schema per la determinazione del Volcani Explosive Index (V.E.I.)*

L'energia delle eruzioni esplosive è classificata attraverso un indice empirico compreso fra i valori di 0 e 8. Le eruzioni sono così divise: hawaiana, stromboliana, stromboliana/vulcaniana, vulcaniana, sub-pliniana, pliniana, krakatoiana, ultra-pliniana. Tale classificazione ha il pregio di poter catalogare anche eruzioni del passato, ma ha il limite di non essere adatta a distinguere gli eventi effusivi.

## ***Perché alcuni vulcani mettono più paura di altri?***

### ***I vulcani tranquilli***

Le eruzioni effusive sono caratterizzate da una bassa esplosività e da emissione di magma fluido che scorre per gravità lungo i fianchi del vulcano. Tale magma ha un contenuto in volatili molto basso, una elevata temperatura (1100 e 1200°C) e una viscosità variabile. In base alla classificazione vista in precedenza le eruzioni hawaiane e debolmente stromboliane rientrano in questa categoria. Queste eruzioni sono prevalentemente costituite da colate di lava basaltica e sono caratterizzate dall'assenza di prodotti piroclastici. Durante lo scorrimento, una colata di lava tende a raffreddarsi nelle porzioni esterne: sul fondo, sulla superficie e lungo le pareti laterali. Lo sviluppo di un involucro rigido, che aumenta con la distanza dalla bocca eruttiva, permette alla lava presente nella porzione centrale interna di rimanere fusa. In alcune colate si formano delle vere e proprie condutture che permettono alla lava di avanzare per grandi distanze, mantenendo la propria temperatura. In alcuni casi si trovano tubi di lava anche di dimensioni metriche di diametro lasciati vuoti dal magma che è completamente defluito (figura 12).



Figura 12: un tubo di lava sul vulcano Etna

Le eruzioni effusive possono avvenire sia in condizioni sottomarine, ad esempio lungo le dorsali oceaniche, che subaeree, come nei vulcani delle isole oceaniche o in misura minore nei vulcani continentali (Etna). Le eruzioni di tipo sottomarino danno origine a lave a cuscino o *pillows lava*, mentre le colate subaeree a colate di tipo *pahoehoe* e *aa*, termini di origine hawaiana.

Nelle dorsali oceaniche e nei vulcani sottomarini i livelli di lave massive si trovano spesso associati alle lave a cuscino. In quest'ultimo caso la lava che esce da una



frattura viene raffreddata dall'acqua e la sua superficie solidifica diventa vetrosa mentre la massa interna resta calda. La lava bollente preme sulla crosta fino a romperla; la nuova fuoriuscita di lava si raffredda e così via in un

processo continuo. In questo modo le lave a cuscino appaiono divise in porzioni tondeggianti di dimensioni variabili, da centimetriche a metriche (figura 13).

Figura 13: esempio di lave a cuscino (Nuova Zelanda)

Le lave pahoehoe sono colate molto fluide che presentano una superficie molto liscia (figura 14). Queste colate possono presentarsi con una struttura superficiale detta a corde, che si forma quando la superficie a contatto con l'aria si raffredda e viene stirata dalla parte sottostante ancora fluida in movimento (figura 15).



*Figura 14: esempio di lava di tipo pahoehoe sull'isola di Hawaii ; Fig. 15: esempio di lava a corde nel Volcanoes National Park.*

Nelle colate di tipo pahoehoe si formano i tubi di lava. Le lave aa, invece, sono caratterizzate da una superficie ricoperta da detrito, con blocchi a spigoli vivi (figura 16). Le lave aa appaiono brecciate (autobrecciatura) e sono composte da materiale fuso in movimento e da parti di materiale esterno trasportato. Si differenziano dalle colate pahoehoe perché sono meno fluide. È importante notare che una colata lavica può essere di tipo pahoehoe vicino alla bocca eruttiva e mostrare una struttura aa al fronte, ovvero lontano dal punto di emissione.

Le colate laviche possono mostrare fessurazioni di tipo colonnare, ovvero fratturazioni con andamento perpendicolare alla direzione del flusso (figura 17). Tali fessurazioni si formano in colate laviche di forte spessore a causa della contrazione della massa che si raffredda. La perdita di calore può dividere la colata in blocchi simili a colonne.



*Figura 16: esempio di campo di lava aa*



*Figura 17: basalti colonnari del Giant's Causeway nell'Irlanda del Nord*

## ***Perché alcuni vulcani mettono più paura di altri?***

### ***I vulcani esplosivi***

Non esiste un limite netto fra eruzioni effusive ed eruzioni esplosive. L'attività stromboliana rientra in questo caso. Le eruzioni stromboliane infatti sono caratterizzate da una moderata frammentazione del magma e da brevi esplosioni. Manifestazioni tipiche di questo tipo di attività sono le fontane di lava, in cui brandelli di magma sono lanciati in aria e ricadono vicino alla bocca eruttiva.

Le eruzioni esplosive hanno caratteristiche ben diverse da quelle effusive. Sono eruzioni durante le quali il magma, prima di giungere in superficie, viene frammentato ed emesso sotto forma di bombe, lapilli e ceneri.

Le eruzioni pliniane sono eruzioni esplosive in cui si ha la formazione di una colonna



di cenere  
pomice e gas  
che si innalza  
sopra al  
vulcano per  
diversi  
chilometri  
(figura 18).

*Figura 18: l'eruzione del Mount St Helens nel mese di luglio 1980*

Il termine pliniano deriva da Plinio il Giovane che descrisse in due lettere a Tacito l'eruzione del Vesuvio del 79d.C. durante la quale perse la vita lo zio Plinio il Vecchio. Una colonna eruttiva pliniana è una miscela di gas, magma, cristalli e altre particelle solide che accelerate durante la risalita nel condotto vengono espulsi in atmosfera. Il moto favorisce il mescolamento con l'aria e questo provoca da un lato una rapida decelerazione e dall'altro un raffreddamento della miscela e una diminuzione della densità della colonna. In questo modo la colonna riesce ad essere sostenuta e ad innalzarsi. I prodotti meno densi come le pomice salgono, mentre i prodotti più densi cadono con traiettorie balistiche. Nella parte più alta della colonna non si ha più contrasto di densità tra miscela eruttiva e atmosfera e la nube si allarga ad ombrello. Le eruzioni freato-magmatiche (surtseiane, freato-pliniane e vulcaniane) sono caratterizzate dall'interazione fra il magma e l'acqua di natura non magmatica. L'acqua può essere di tipo superficiale, mare o lago, oppure trovarsi nel sottosuolo,

come nel caso di falde acquifere. Nel momento in cui un magma in risalita incontra una falda acquifera cede ad essa il proprio calore. Il brusco passaggio dell'acqua allo stato di vapore genera una forte pressione in grado di fratturare le rocce circostanti. Il tipo di eruzione è dettato dal rapporto fra la quantità di acqua e di magma. Per rapporti bassi l'attività è di tipo stromboliano, mentre man mano che il rapporto aumenta a favore dell'acqua aumenta il grado di esplosività fino ad avere eruzioni freato-magmatiche. Per rapporti superiori l'eruzione tende a diminuire nuovamente la sua efficacia.

I depositi piroclastici sono i prodotti delle eruzioni esplosive. E possono essere divisi in base alla natura o al tipo di processo che li ha originati. Sono chiamati tefra quando sono prodotti poco consolidati e rocce piroclastiche quando sono litificati.

I piroclasti sono divisi in: clasti juvenili, particelle di natura solida vetrosa che derivano dal magma, litici accessori, frammenti che derivano da magma solidificato durante eventi eruttivi precedenti, litici accidentali, frammenti di varia natura come le rocce incassanti o il basamento, e xenoliti, frammenti derivanti dal mantello. I clasti juvenili possono a loro volta essere distinti in pomici, piroclasti molto vescicolati (figura 19), scorie ossia piroclasti poco vescicolati (figura 20), ossidiane, piroclasti privi di vescicolazione, e cristalli. I cristalli indicano che il magma era parzialmente cristallizzato al momento dell'eruzione.



Figura 19: campione di pomice



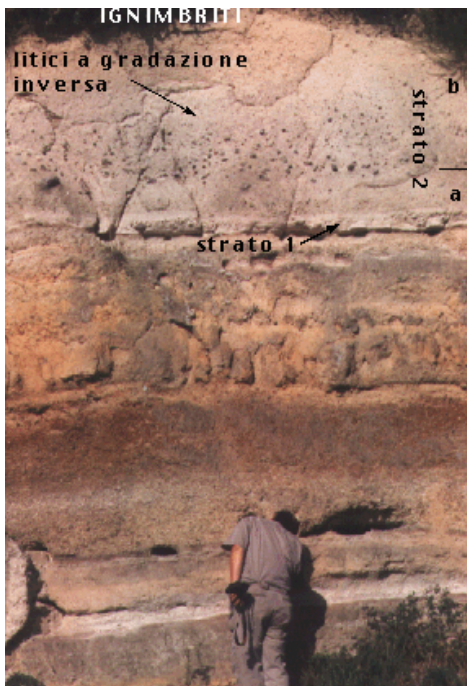
Figura 20: campione di scoria

I piroclasti possono essere distinti anche in base alle dimensioni. Le bombe sono brandelli di materiale juvenile emessi allo stato fluido che solidificano durante il tragitto in aria o appena ricaduti al suolo e hanno dimensione e forma molto variabile ( $> 64$  mm). I blocchi sono frammenti di materiale accessorio o accidentale emessi allo stato solido ( $> 64$  mm). I lapilli possono essere di natura juvenile accidentale o accessoria, presentano spigoli vivi nei depositi da caduta e arrotondati in quelli da flusso; essi mostrano dimensioni comprese fra 64 mm e 2 mm. La cenere vulcanica è composta da frammenti vetrosi e da frammenti di litici e cristalli; può essere

suddivisa in fine, minore di 62 micrometri, e grossolana , compresa fra fra 2 mm e 62 micrometri. Nei depositi piroclastici il termine tufo indica una roccia composta principalmente da particelle con dimensione della cenere, mentren le cineriti sono depositi di cenere non consolidata. Il termine ignimbrite indica un deposito piroclastico da flusso, saldato o meno, costituito prevalentemente da cenere o da cenere e pomici.

In base al tipo di trasporto che subiscono, i prodotti piroclastici vengono divisi in prodotti da caduta e da flusso. I depositi da caduta sono prodotti lanciati direttamente dal cratere con traiettorie balistiche o prodotti che cadono da una colonna eruttiva sostenuta, che non subiscono alcun trasporto. Tali prodotti presentano natura e dimensioni molto variabili. Ad esempio nelle eruzioni stromboliane i prodotti sono scorie vescicolate, mentre nelle eruzioni pliniane sono pomici molto vescicolate.

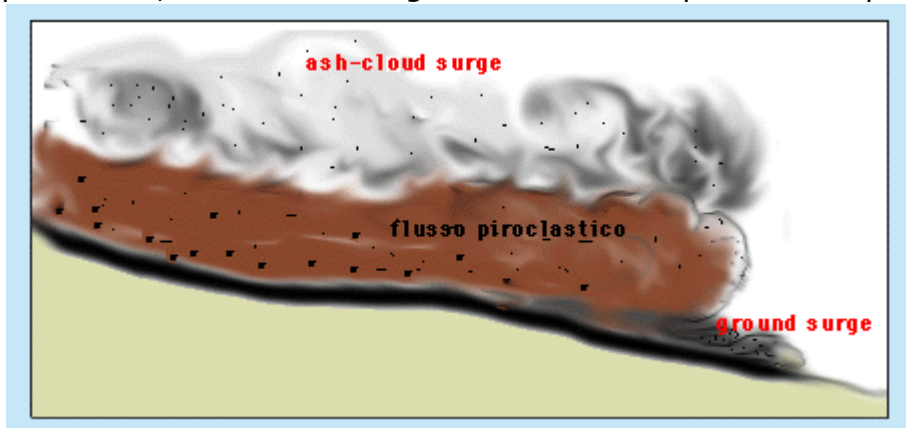
I depositi da flusso si originano nel corso di eruzioni molto violente e si originano quando la miscela eruttiva, costituita da pomici, ceneri e gas, non sale verso l'alto ma si espande dal cratere. Tali depositi comprendono prodotti trasportati e sedimentati da correnti ad elevata concentrazione, chiamati flussi piroclastici, o da correnti a bassa concentrazione, chiamati surge. I flussi piroclastici sono miscele molto dense di gas e piroclasti che tendono a scorrere nelle valli e che riescono a scavalcare ostacoli e rilievi non troppo alti. I depositi di questo tipo, denominati ignimbriti (figura 21), mostrano infatti spessori maggiori nelle depressioni e minori sui rilievi.



[Figura 21:](#) deposito da flusso chiamato ignimbrite

Con il termine *surge* si indica, invece, una corrente piroclastica a bassa concentrazione di particelle, dove il volume dei gas è maggiore di quello dei piroclasti. Per questo motivo i surge sono caratterizzati da un moto turbolento e a differenza dei flussi piroclastici sono in grado di superare rilievi anche di modeste dimensioni.

I *surge* sono divisi in: base surge, flussi che si formano alla base di colonne pliniane o direttamente da esplosioni, *ground-surge* che si forma alla base dei flussi piroclastici, e *ash-cloud surge* che si forma sopra ai flussi piroclastici. Il base surge è



considerato un evento eruttivo vero e proprio, mentre gli altri due sono associati al flusso piroclastico (figura 22).

*Figura 22: schema rappresentativo di un flusso piroclastico con associato un ground-surge e un ash-cloud surge*

### **La vita di un vulcano**

Non è facile definire la vita di un vulcano. La sua durata può proseguire per centinaia di migliaia di anni ed essere intervallata da lunghi periodi di quiescenza. Ancora oggi non sono complete le informazioni per tutte le aree della superficie terrestre e inoltre il periodo storico documentato è breve se confrontato con la vita di un vulcano.

Fino a poco tempo fa un vulcano veniva considerato inattivo se non aveva prodotto per lo meno un'eruzione in epoca storica. Sfortunatamente l'eruzione del [Pinatubo](#) nelle Filippine e di El Chichón in [Messico](#), vulcani quiescenti da diversi secoli, hanno cambiato per sempre tale definizione. Pertanto ritenere un vulcano inattivo o spento richiede una certa cautela. Le eruzioni più violente in uno stesso vulcano sono anche quelle meno frequenti, perché hanno tempi di ritorno molto lunghi e si ripetono anche a distanza di centinaia di anni. Un vulcano non può essere considerato spento se la distanza che lo separa dall'ultima eruzione è minore dell'intervallo fra due sue fasi di attività.

In Italia i vulcani attivi sono: i Colli Albani, il Vesuvio, l'Etna, i Campi Flegrei, Ischia e le isole Eolie con Lipari, Stromboli e Vulcano.

### **Fenomeni che accompagnano le eruzioni**

Esistono fenomeni che non sono contemporanei all'evento eruttivo, come ad esempio le colate di fango o lahar. I lahar sono fra gli eventi più disastrosi e si verificano in coincidenza o successivamente (anche a distanza di mesi) ad un evento esplosivo. Una delle più gravi catastrofi vulcaniche fu provocata in Colombia a Nevado del Ruiz proprio in seguito ad una colata di fango. Le vittime furono circa 25000. Un altro caso

si verificò nel lago craterico del Kelut in Indonesia, dove l'eruzione provocò l'espulsione dell'acqua con colate di fango che arrivarono a 30 km dal vulcano, distruggendo un grande numero di villaggi e facendo circa 5000 vittime. La condizione che favorisce la formazione dei lahar è l'accumulo sul pendio del vulcano in posizione di sottovento di materiale vulcanico poco coerente come ad esempio ceneri. La pioggia, i ghiacciai sciolti o il vapore emesso dal vulcano possono mescolarsi e mobilitare tali depositi e provocando lo scivolamento verso valle di questo materiale. Essi sono tanto più pericolosi quanto è grande il bacino di accumulo di questi prodotti e quanto più dislivello esiste fra la base e il tetto del vulcano. Tali colate possono travolgere e inglobare tutto quello che incontrano trasportando anche massi di diverse tonnellate.



Altri fenomeni legati all'attività vulcanica sono quelli che ne caratterizzano le fasi di estinzione, come ad esempio i [geyser](#). I geyser, termine che indica un getto o uno zampillo, sono manifestazioni caratterizzate dall'emissione di un'alta colonna d'acqua calda a fasi intermittenti (figura 23).

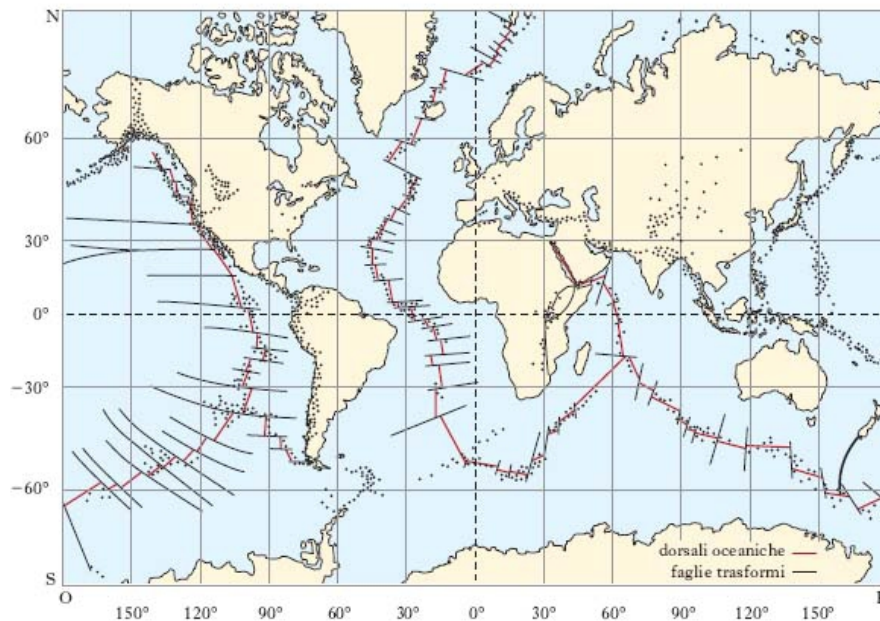
*Figura 23: geyser nel parco dello Yellowstone*

Essi formano fontane di acqua spesso alte anche 60 metri. I geyser si originano da acqua che si scalda per contatto con la massa calda in cavità sotterranee. Il riscaldamento dell'acqua causa la graduale espansione di essa, che inizia a fluire verso l'esterno. La diminuzione di pressione fa sì che parte dell'acqua contenuta nella cavità si trasformi in vapore; i gas presenti nel sottosuolo, vincendo la pressione idrostatica della colonna d'acqua contenuta nel condotto, provocano l'eruzione del geyser. Fra i geyser più importanti ricordiamo l'Old Faithful del Parco Nazionale dello Yellowstone.

### ***Dove si trovano i vulcani***

Un attento osservatore si accorge che l'attività vulcanica non è distribuita in maniera casuale sulla superficie terrestre (figura 24). Esistono ampie aree senza alcuna traccia di attività e altre in cui i vulcani sono raggruppati a

formare una catena o un arcLa distribuzione terrestre dei vulcani è in realtà molto complessa, in questa lezione è riportata una descrizione esemplificativa dell'argomento.



*Figura 24: distribuzione dei vulcani sulla superficie terrestre*

I margini delle placche sono sede di gran parte dell'attività vulcanica, che varia in base al tipo di margine. Wegener nei primi anni del novecento intuì che la parte più esterna del nostro pianeta è costituita da una serie di placche rigide (litosfera) appoggiate sopra un involucro plastico (astenosfera) e in movimento relativo fra di loro. I margini delle placche possono essere: divergenti, in cui le placche si allontanano, convergenti, in cui le placche si avvicinano fino ad entrare in collisione, e margini trasformati, in cui le placche scorrono parallelamente fra di loro.

I margini divergenti si trovano sui fondi oceanici e sono sede della maggior produzione di rocce ignee presenti sulla Terra. Tali margini sono zone in distensione caratterizzate da un lungo sistema di fratture longitudinale detto dorsale medio oceanica, che può presentare una valle mediana (rift valley). Dal sistema di fratture vengono emesse colate basaltiche a composizione tholeiitica che costituiranno la nuova litosfera. Le dorsali sono rilievi di 2000-3000 m. Questi sono i luoghi caratteristici nei quali è possibile trovare pillow lava.

I margini convergenti si dividono in margini di subduzione e di collisione. Nei margini in subduzione le due placche possono essere entrambe costituite da

crosta oceanica (tipo marianne) oppure essere formate una da crosta oceanica e una continentale (tipo Cile), in cui la placca oceanica si immerge al di sotto di quella continentale. Nel caso di margini collisionali le due placche possono essere di tipo continentale (catena Alpino-Himalaiano), oppure una essere costituita da crosta oceanica e continentale. In questo secondo caso è la placca continentale ad immergersi sotto quella oceanica (tipo Taiwan).

La maggior parte del vulcanismo attivo si trova nelle zone interessate da subduzione. La crosta oceanica più densa entra in subduzione rispetto a quella continentale e si trova in condizioni di alta pressione e temperatura relativamente bassa. Questo favorisce la formazione di liquidi silicatici la cui risalita provoca le manifestazioni vulcaniche (sistema arco-fossa). In questo caso il vulcanismo è prevalentemente esplosivo e queste zone presentano anche numerosi terremoti.

L'osservazione attenta della mappa della distribuzione dell'attività vulcanica fa emergere anche la presenza di vulcanismo all'interno delle placche, chiamato vulcanismo di intraplacca. In questo caso i vulcani sono originati da una risalita di calore del mantello che inarca l'astenosfera e provoca un'iniziale assottigliamento della litosfera. Il vulcanismo di intraplacca può essere di tipo continentale e oceanico. Nel primo caso l'attività vulcanica è originata dalla presenza di faglie dirette e di una zona di tipo rift; la risalita di magma può dare origine ai plateau basaltici. Nel vulcanismo intraplacca di tipo oceanico si ha la formazione di catene di vulcani, in seguito alla risalita di una sorgente di magma chiamato punto caldo o plume, fisso rispetto al mantello profondo. I vulcani risultano allineati per età e indicano la direzione di spostamento della placca. I punti caldi mostrano un magmatismo di tipo basaltico e sul nostro pianeta ne esistono circa 40. Il primo punto caldo ad essere individuato fu quello delle Hawaii, una catena di isole oceaniche in mezzo all'oceano Pacifico. La placca pacifica scorrendo al di sopra del punto caldo è stata attraversata in diversi punti dai magmi provenienti dal mantello che risalendo hanno formato la catena allineata di vulcani. Oggi solo le isole di Maui e Hawaii, le più giovani, sono sede di vulcanismo attivo.

Questo tipo di vulcanismo assume per i geologi un'importanza fondamentale in quanto è una testimonianza inconfutabile del movimento delle placche rispetto all'astenosfera.