

Fisica del vulcanismo

Modelli di propagazione del magma

Eleonora Rivalta e Lucia Zaccarelli

14 febbraio 2005

Introduzione

Le eruzioni vulcaniche consistono in emissione di magma sulla superficie terrestre. Il magma che risale dal mantello può stazionare in una camera magmatica anche per periodi molto lunghi e perché raggiunga la superficie terrestre si deve rompere la situazione di equilibrio creatasi tra il fluido fermo nella camera magmatica e le rocce circostanti. In ogni caso nel processo di propagazione il magma si fa strada nella crosta fratturandola.

Per una introduzione alla vulcanologia rimandiamo al sito didattico dell'Università di Roma 3 e del GNV (Gruppo Nazionale per la Vulcanologia), che contiene illustrazioni, animazioni e immagini fotografiche:

<http://vulcan.fis.uniroma3.it/gnv/index-VULC.html>

Non potendo analizzare direttamente i fenomeni che avvengono all'interno della crosta, tutte le ipotesi sulla risalita dei magmi derivano da osservazioni indirette: analisi geofisiche (sismiche, gravimetriche, di deformazione...), geologiche, geochimiche etc. Un'alternativa è rappresentata dalla riproduzione in laboratorio di processi analoghi che permettono di osservare in scala ridotta lo stesso tipo di fenomeni.

Lo scopo dei nostri esperimenti di laboratorio è studiare la propagazione di fratture contenenti fluido (analogo del magma) in un materiale solido (analogo della crosta). I risultati consentono di migliorare la conoscenza della dinamica del magma nel lasso di tempo che precede un'eruzione ed è quindi di fondamentale importanza per la protezione civile, in particolare per la mitigazione del rischio vulcanico, molto elevato in diverse zone italiane (Catania, Napoli, Stromboli, Vulcano, Pantelleria...).

Fisica del processo

Iniettando all'interno di un corpo solido un fluido di minore densità, questo tenderà a risalire grazie al galleggiamento (generalizzando il principio di Archimede). Quando il volume iniettato raggiunge un valore critico, all'apice superiore della frattura si concentrerà una tensione sufficiente a rompere i

legami del solido e a consentire la propagazione. A questo punto il processo di risalita prosegue spontaneamente anche interrompendo l'iniezione.

Se il volume iniettato è piccolo si genera una sottile frattura a forma di moneta. Quando il volume è sufficiente per la propagazione la frattura assume spontaneamente una forma caratteristica (vedi Fig. 1 e 2).

Nella visione frontale la frattura ha la forma di un'arcata a tutto sesto, circolare nella parte superiore. Nella visione laterale è molto sottile, a forma di goccia ribaltata. Questa conformazione è quella energeticamente favorita perché una 'goccia' di fluido riesca a tagliare il solido e a risalire.

Durante il processo di risalita, se il solido è omogeneo, la frattura manterrà forma, dimensioni e velocità costanti. Questo in realtà si verifica solo in condizioni ideali, quando il solido ha dimensioni infinite. In laboratorio, invece, il processo avviene all'interno di un contenitore e si osserveranno 'effetti di bordo'.

In prossimità della superficie, la frattura accelera e infine il fluido fuoriesce.

Esistono modelli teorici in grado di descrivere la forma della frattura in condizioni ideali. L'equazione per la sezione a forma di goccia invertita è la seguente:

$$f(z) = C(a + z) \sqrt{a^2 - z^2} \quad (1)$$

dove z è la coordinata verticale, C è un coefficiente costante che incorpora le proprietà del fluido e del solido e a rappresenta la semilunghezza della frattura. Si vede facilmente che la formula è composta dal prodotto di una retta con un'ellisse, cosa che dà luogo alla forma cercata.

Esperimento

Lo scopo delle misure è sia quello di studiare la forma e le proporzioni delle fratture create con l'iniezione (e confrontare il risultato sperimentale con i modelli teorici), sia quello di descrivere la propagazione dal punto di vista fisico. I risultati permettono applicazioni allo studio della geometria e della dinamica del magma in risalita nella crosta terrestre.

- Nel fondo di un recipiente contenente gelatina solidificata in frigorifero verrà iniettato un fluido.
- La propagazione della conseguente frattura verrà osservata e filmata con due videocamere digitali da prospettive perpendicolari (vedi Fig. 3).
- I filmati verranno scaricati su PC e esportati in serie di immagini.
- Le immagini verranno poi elaborate con software adeguati per studiare forma e percorso della frattura.

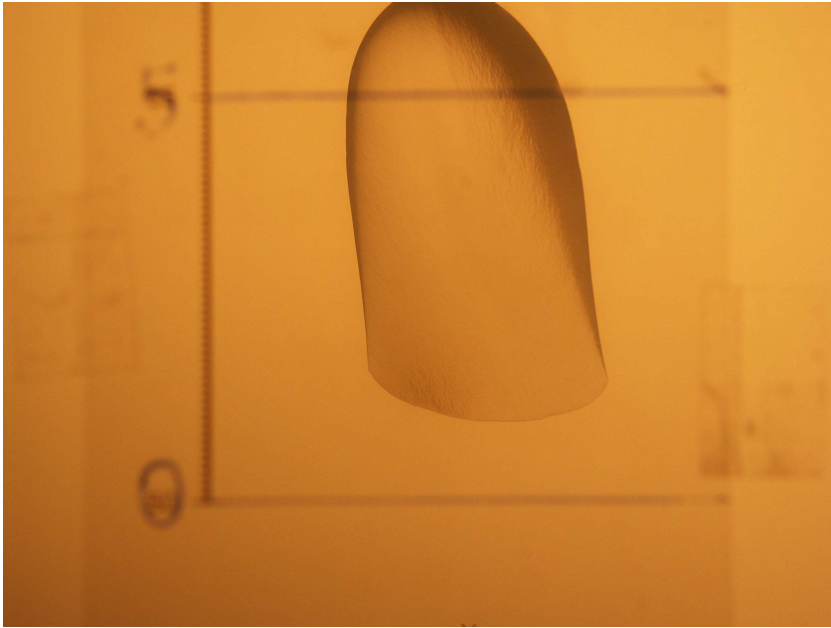


Figura 1: Visione frontale



Figura 2: Visone laterale

- La curva spazio-tempo verrà interpolata e derivata per ottenere la velocità di propagazione.
- Si preparerà la gelatina per l'esperienza successiva.

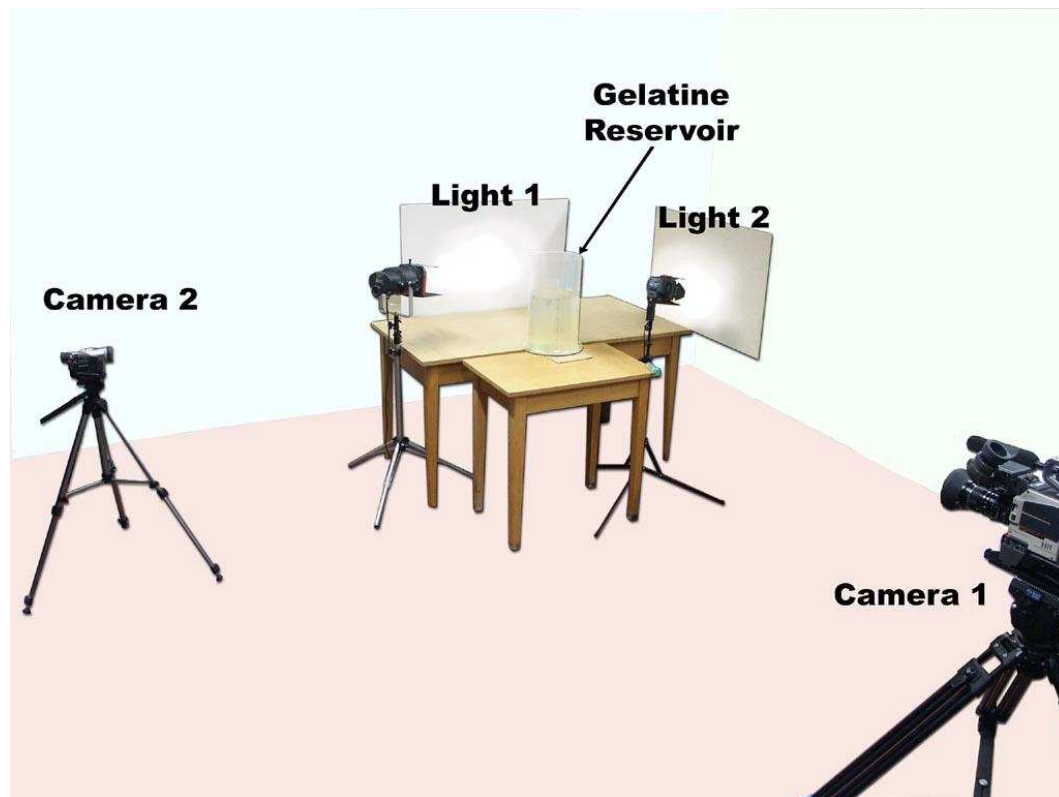


Figura 3: Allestimento sperimentale