OSSERVATORIO VESUVIANO

INGV

# Ricerca Scientifica e Mitigazione del Rischio Vulcanico

Vol. I

## Vesuvio: dentro il vulcano

Parte I


**COORDINATORE:**
**Giuseppe Mastrolorenzo**

**A CURA DI:**
**Giuseppe De Natale**
**Lucia Pappalardo**
**Pier Paolo Petrone**
**Immacolata Ricciardi**
**Sergio Rossano**
**Claudia Troise**



**I edizione febbraio 2004**

# PREFAZIONE

La crescente domanda di informazioni attendibili, aggiornate e di facile fruibilità, non solo da parte della popolazione direttamente esposta al rischio vulcanico, è alla base dell'ideazione di quest'opera a carattere divulgativo sul vulcanismo dell'area napoletana. L'obbiettivo prioritario è la realizzazione di un agile strumento di formazione ed informazione per docenti, studenti, amministratori locali, giornalisti, operatori di protezione civile.
La strategia del rapido trasferimento delle conoscenze scientifiche dall' ambito specialistico al testo divulgativo è stata attuata attraverso il diretto coinvolgimento dei ricercatori nella stesura dei testi in un formato standardizzato, in moduli (schede) tematici sviluppati secondo una struttura ipertestuale. Per agevolare la comprensione dei vari argomenti trattati ogni singolo modulo è stato suddiviso in 7 campi di testo (titolo, generalità, problematiche, metodologie, risultati, sviluppi, approfondimenti) ed un campo dedicato a figure con didascalie esaustive.
In questo modo è stato possibile riportare in uno stesso modulo, ed in modo distinto, sia informazioni di carattere generale, sia dati e risultati di ricerche specifiche relativi all'area napoletana.
Questa strutturazione conferisce all'opera alcune caratteristiche che ne amplificano la dinamicità e le potenzialità di sviluppo nel tempo:

a) standardizzazione: riduzione degli argomenti ad una struttura cognitiva standard per facilitare il lavoro dei ricercatori e l'orientamento del lettore;
b) modularità: strutturazione degli argomenti in moduli a diverso livello di approfondimento che consente un rapido aggiornamento (anche on-line) di uno specifico argomento a seguito di sviluppi delle conoscenze scientifiche e rapido accesso ad uno specifico tema;
c) espandibilità: possibilità di estendere il testo con l'aggiunta di ulteriori temi o approfondimenti, sollecitati dagli utenti o individuati dai ricercatori;
d) trasferibilità: possibilità di trasferire il testo integrale o singole schede via rete a scuole, comuni, operatori della protezione civile, giornalisti ed altri eventuali richiedenti;
e) autorevolezza: attendibilità scientifica dei contenuti trasferiti direttamente dagli autori delle ricerche originali contestualmente alla loro pubblicazione.

Una scheda alla fine del testo consente inoltre agli utenti di inoltrare domande, richiedere chiarimenti su specifici argomenti e proporre l'eventuale aggiunta di ulteriori schede, da sottoporre a specialisti del settore.
La struttura del testo a moduli suddivisi in campi ha consentito, inoltre, una rapida ed efficace conversione in CD-ROM ed in siti Web, a struttura ipertestuale.
Questo primo volume dal titolo "Vesuvio, dentro il vulcano", ultimato nel giugno 2003 e già disponibile sul Web dell'INGV, riporta i risultati del Workshop Internazionale omonimo tenutosi all'Osservatorio Vesuviano dall'8 al 10 maggio 2003 sulla ricerca scientifica, il monitoraggio e la mitigazione del rischio vulcanico al Vesuvio.

Il Coordinatore ed i curatori dell'opera

# INDICE DELLE SCHEDE


STORIA DEL VULCANO

1A STORIA ERUTTIVA

1B STRATIGRAFIA

STRUTTURA DEL VULCANO

2A TOMOGRAFIA

2B IL MAGMA

2C CAMERE MAGMATICHE

DINAMICA DEL VULCANO

3A ATTIVITA' SISMICA

3B TECNICHE DI ANALISI DEI TERREMOTI

3C DEFORMAZIONI LENTE DEL SUOLO

3D RETI GEODETICHE

3E MONITORAGGIO GEOCHIMICO

SCENARI

4A RISALITA DEL MAGMA

4B FENOMENI PRECURSORI

4C LE ERUZIONI

4D ERUZIONI ESPLOSIVE

4D1 COLONNE ERUTTIVE

4D2 DEPOSITI DA CADUTA (Pyroclastic Fall)

4D3 DEPOSITI DA CORRENTI PIROCLASTICHE (PDCs Pyroclastic density currents)

4E ERUZIONI EFFUSIVE

4F EFFETTI DELL'ERUZIONE

4G BIOGEOARCHEOLOGIA

4G1 EVENTI SISMICI E DEFORMAZIONI DEL SUOLO TRA FONTI STORICHE E ARCHEOLOGIA

4G2 STUDI PALEOBIOLOGICI

4H SIMULAZIONE DI ERUZIONI

4H1 DISPERSIONE DI CENERE VULCANICA

# STORIA DEL VULCANO

## STORIA ERUTTIVA

**1A**

### GENERALITÀ

La **storia di un vulcano** è la successione temporale degli eventi eruttivi, separati da periodi di stasi, e dei principali eventi tettonici (spostamenti relativi di parti del vulcano lungo faglie e fratture) e geomorfologici (modificazioni della superficie per fenomeni di erosione e deposizione di materiali) che hanno caratterizzato la sua evoluzione.Dalla conoscenza della storia eruttiva è possibile individuare meccanismi ricorrenti fondamentali per prevederne il comportamento futuro. I metodi di indagine utilizzati sono principalmente il rilevamento geologico (stratigrafia, sedimentologia, geomorfologia etc), la petrologia, la geocronologia, la geoarcheologia.

### PROBLEMATICHE

La maggiore difficoltà consiste nel riconoscimento dei depositi di eruzioni minori antiche, che sono stati erosi dagli agenti atmosferici e da frane o obliterati dalle fasi di sprofondamento di parte del vulcano.

.

### METODI DI INDAGINE

Gli **studi di stratigrafia** permettono di riconoscere il numero e la successione nel tempo delle colate laviche e dei depositi piroclastici, messi in posto durante i diversi episodi eruttivi, attraverso la ricostruzione dei rapporti nello spazio (**correlazioni stratigrafiche** laterali) e nel tempo (correlazioni stratigrafiche verticali) delle diverse sequenze di strati. Inoltre, gli studi geomorfologici e di geologia strutturale (studio di faglie e fratture) effettuati sul terreno e associati all'interpretazione di foto-aeree, consentono di individuare le relazioni esistenti tra le principali strutture tettoniche e la posizione dei centri eruttivi. Gli studi di composizione delle rocce (petrologia) consentono di definire i tipi di **magmi** coinvolti nelle varie eruzioni, la loro variazione nel tempo e la profondità delle **camere magmatiche** che hanno alimentato l'attività del vulcano in diverse fasi.

1B
1B
2B
2C

### RISULTATI

Il Somma-Vesuvio è un vulcano composto centrale, costituito da un antico strato-vulcano (formato dalla sovrapposizione di strati di lava, lapilli e cenere) collassato alla sommità, i cui resti formano la caldera (struttura ellittica da sprofondamento) del Monte Somma, e da un cono recente, il Vesuvio, che si è accresciuto all'interno della caldera. I risultati di recenti ricerche indicano che il collasso calderico del Monte Somma è avvenuto in fasi distinte, la prima delle quali si è verificata 18.000 anni fa con l'eruzione pliniana "delle Pomici di Base". Le successive erano associate alle eruzioni pliniane di Ottaviano (8000 anni fa), Avellino (3550 anni fa), del 79 d.C. e alla sub-pliniana del 472 d.C. Successivamente in concomitanza della lunga attività interpliniana di epoca medioevale, si costruì il cono del Vesuvio sulla platea calderica del Somma. Il Somma-Vesuvio, nel corso della sua storia iniziata circa 25.000 anni fa, ha dato luogo ad eruzioni altamente esplosive, generalmente precedute da lunghi periodi di stasi, alternati a periodi di attività semi-persistente in genere stromboliana ed effusiva. Quest'ultimo tipo di attività, definita "a condotto aperto" , caratterizza la storia recente, compresa tra l'eruzione sub-pliniana del 1631 e l'ultima eruzione, di tipo misto, del 1944. In questo periodo sono stati riconosciuti 18 cicli eruttivi separati da brevi periodi di stasi (durati non più di 7 anni) e chiusi da un'eruzione parossistica "finale" (di tipo stromboliano e vulcaniano). L'attività vulcanica, nei periodi a condotto aperto, è alimentata da **magmi poco differenziati** che riempiono completamente il condotto vulcanico fino a formare un lago di lava nel cratere, il cui trabocco può generare colate dal cratere centrale o lungo fratture laterali (eruzioni "intermedie"). Lo svuotamento del sistema di alimentazione e la sua interazione con l'acqua di falda generano le eruzioni "finali". Nei periodi a condotto ostruito, corrispondenti alla quiescenza che precede le eruzioni esplosive, il magma si accumula in un serbatoio profondo (5-7 km) che si accresce fino a che, variazioni interne al sistema (aumento della pressione dei volatili) o esterne (fasi tettoniche), ne determinano l'eruzione esplosiva. Attualmente il Vesuvio è in quiescenza, il suo stato di attività consiste in terremoti superficiali con ipocentro localizzato lungo il condotto ed emissioni fumaroliche lungo i fianchi dell'edificio vulcanico e al cratere.

2C

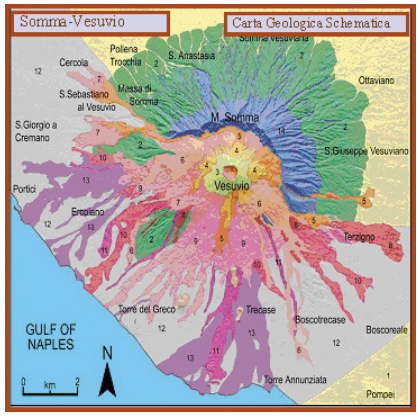
### SVILUPPI

Studi in corso sono orientati alla definizione dei processi che portano il sistema vulcanico da condizioni di condotto chiuso a condizioni di condotto aperto per la comprensione dello stato attuale del sistema vulcanico.

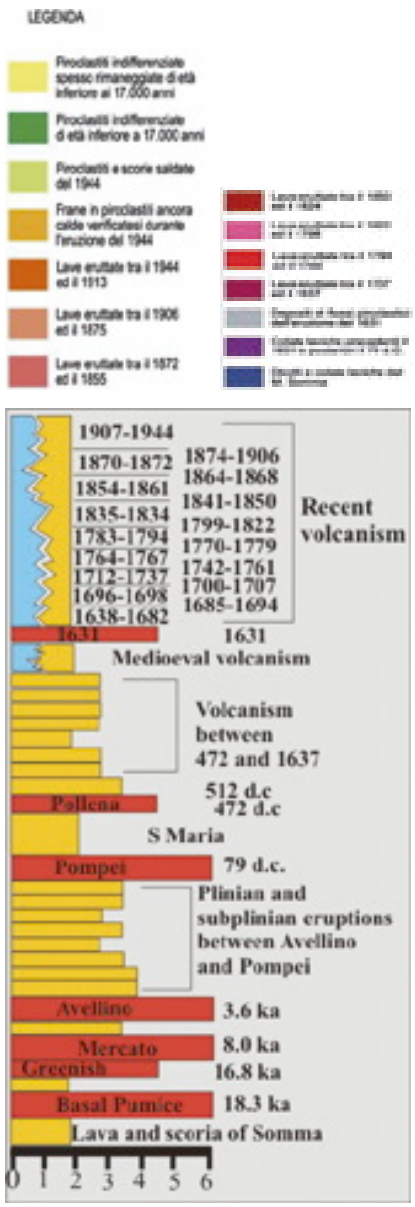
### RIFERIMENTI


Santacroce R., 1987. **Somma-Vesuvius**. CNR Quaderni de "La Ricerca Scientifica". pp.251.

Rolandi, G., Bellucci, F., 2003. **Attività interpliniane del Somma negli ultimi 3700 anni ed evoluzione calderica dell'edificio.** Riassunti Workshop 8-10 maggio 2 003Vesuvio:dentro il Vulcano.


**Carta vulcanologia del complesso vulcanico del Somma- Vesuvio (da Santacroce et al 1987)**




**Cronologia dei principali eventi eruttivi del Somma–Vesuvio (da Santacroce et al. 1987)**

# STORIA DEL VULCANO

## STRATIGRAFIA

**1B**

### GENERALITÀ

La **stratigrafia** è la descrizione della successione di strati geologici superficiali e/o profondi rilevabili in sezioni e/o sondaggi. Affioramenti naturali in superficie di strati più o meno profondi quali pareti, superfici di erosioni e di faglia, falesie, nonché superfici artificiali quali fronti di cave ed altri scavi e sbancamenti, sono tra le principali sezioni geologiche utilizzate per studi di stratigrafia. Le perforazioni ed i sondaggi geofisici (sismici e geoelettrici) sono utilizzati ad integrazione di sezioni geologiche naturali o artificiali in loro assenza per descrivere la stratificazione. La correlazione stratigrafica è il confronto e la comparazione di sezioni stratigrafiche più o meno distanti tra loro per individuare l'estensione areale e le variazioni di caratteristiche di uno strato geologico o di una sequenza di strati.

### PROBLEMATICHE

La stratigrafia e la correlazione stratigrafica sono alla base di tutti gli studi geologici in ambiente vulcanico e non vulcanico. In particolare, la storia eruttiva e lo studio delle caratteristiche dell'area interessata e degli effetti delle eruzioni vulcaniche sono sempre basati su ricerche stratigrafiche e sulle analisi in laboratorio ad esse connesse. La completezza ed il dettaglio delle stratigrafie dipende dalla disponibilità di affioramenti accessibili che sono rari in aree densamente urbanizzate.

### METODI DI INDAGINE

La stratigrafia si avvale attualmente di nuove tecniche di campo e di laboratorio. Di particolare importanza è, l'individuazione di orizzonti guida (livelli geologici caratterizzati da ampia diffusione areale e caratteri distintivi e poco variabili da sito a sito). Nelle aree vulcaniche gli strati di lapilli di eruzioni pliniane o subpliniane, sono buoni orizzonti guida. Il loro riconoscimento nelle sezioni stratigrafiche consente la correlazione laterale di altri livelli e la loro datazione relativa. Gli studi stratigrafici sono integrati con analisi geocronologiche (datazioni degli strati). Queste sono di tipo relativo, quando l'età di uno strato è dedotta da quelle note degli strati sottostanti e sovrastanti e di tipo assoluto quando è basata su studi del decadimento radiattivo di nuclidi instabili contenuti nelle rocce. La **datazione geoarcheologica** che fa riferimento ai livelli archeologici ben datati, è di grande utilità in Campania per la stratigrafia degli ultimi millenni, data l'abbondanza di insediamenti umani dalla preistoria in poi.
Lo studio delle strutture sedimentarie degli strati consente di risalire ai processi di deposizione al suolo ed al tipo di eruzione, quindi fornisce informazioni dirette sul rischio.

4G

### RISULTATI

Nell'area vesuviana si distinguono tre domini geografici con differenti sequenze stratigrafiche: il complesso vulcanico, le pianure circostanti ed i rilievi montuosi carbonatici. Il complesso vulcanico è caratterizzato da sequenze di colate laviche dell'attività antica del Somma e della più recente del Vesuvio alternate a livelli di paleosuoli (antichi suoli ricoperti da prodotti di un eruzione o da depositi sedimentari), talvolta contenenti resti archeologici depositi piroclastici (lapilli, ceneri, e tufi vulcanici) nonché depositi secondari di colate di fango (lahar), e di frane (debris flow, rock fall). Le piane alluvionali (Piana del Sebeto, di Nola e di Sarno) presentano stratigrafie con deposizione per strati, in genere paralleli, di livelli piroclastici da **fallout** e da **flusso piroclastico** alternati a paleosuoli e livelli da lahar ed alluvionali (da inondazioni anche indotte dalle eruzioni vulcaniche). Nelle pianure la profondità massima alla quale si rinvengono depositi vulcanici del Somma-Vesuvio è compresa, in genere, tra 5 e 10 metri.
Le regioni montuose poste a Nord ed ad Est del complesso vulcanico a distanza superiore a 10 km, sono ricoperte al più da qualche metro di materiale piroclastico, prevalentemente lapilli e ceneri delle eruzioni subpliniane e pliniane, a volte intervallate a paleosuoli e depositi di frane di pendio di materiale piroclastico e suoli.

4D2
4D3

### SVILUPPI

Le conoscenze stratigrafiche sono in continua evoluzione per il ritrovamento di nuove sezioni e la disponibilità di nuovi sondaggi e datazioni aggiornate delle formazioni vulcaniche e dei paleosuoli. Conoscenze più dettagliate miglioreranno la comprensione della successione di eventi catastrofici vulcanici e non vulcanici.

### RIFERIMENTI


Livaie, C. Albore, Mastrolorenzo, G., Vecchio, G. **Eruzioni pliniane del Somma-Vesuvio e siti archeologici dell'area nolana.** Associazione internazionale Amici di Pompei. Atti del Convegno. Pompei 21 dicembre 1996. Napoli 1998.
Santacroce R. 1987 **Somma-Vesuvius.** Quaderni De "La Ricerca Scientifica" vol. 8, 144.
Mastrolorenzo, G., Palladino, D., Vecchio, G., Taddeucci., J. **Th 472 AD Pollena eruption of Somma-Vesuvius (Italy) and its environmental impact at the end of the Roman Empire.** J. Volcanol. Geotherm. Res.113 (2002) 19-36.

**Sezione stratigrafica rilevata a S Paolo Belsito (17 km dal vulcano).**
**Dal basso verso l'alto:**
**- Pomici di Base 18000 anni fa**
**- Pomici di Ottaviano 7900 anni fa**
**- Pomici di Avellino 3550 anni fa**
**Tra i livelli di Pomici sono visibili i paleosuoli.**
**(Foto G. Mastrolorenzo)**

**Stratigrafia delle Pomici di Avellino a Nola, sopra 1 m di lapillo sono visibili circa 10 cm di pyroclastic surge cineritici.**
**(Foto G. Mastrolorenzo)**

# STRUTTURA DEL VULCANO

## TOMOGRAFIA SISMICA

**2A**

### GENERALITÀ

La **tomografia sismica** permette di definire la struttura del sottosuolo attraverso la determinazione della velocità con cui le onde sismiche attraversano i vari tipi di rocce. Le tecniche più utilizzate si basano sulle differenze dei tempi d'arrivo a vari **sismografi** delle onde sismiche generate da scoppi artificiali o **terremoti.**
Le tecniche di tomografia sismica possono basarsi su onde generate da terremoti vicini, lontani (telesisimi) o da scoppi artificiali.

**3A 3B**

### PROBLEMATICHE

La tomografia sismica è la tecnica più appropriata per studiare le proprietà meccaniche delle rocce, ma i costi possono essere molto alti, specie se si vuole ottenere una risoluzione molto elevata che fornisca informazioni anche su strutture di piccole dimensioni. Nello studio dei vulcani, è la tecnica più adatta a localizzare le **camere magmatiche.**

**3C**

### METODI DI INDAGINE

Nelle ricerche tomografiche dalla determinazione della velocità delle onde sismiche in un volume tridimensionale, si risale ai parametri elastici, e quindi ai tipi di roccia, oppure alle temperature e/o alla presenza di **magma** o di altri liquidi.
Le principali metodologie tomografiche, basate sui tempi d'arrivo delle onde sismiche, differiscono per i tipi di sorgente utilizzati (terremoti locali, lontani o scoppi artificiali). Al Vesuvio, tutti e tre i tipi di indagine sono stati utilizzati, per determinare la struttura superficiale, intermedia, regionale e profonda, con risoluzione via via più bassa all'aumentare della profondità. La risoluzione, ossia la capacità di descrivere accuratamente le variazioni di velocità a piccola scala, è massima se si utilizzano scoppi artificiali, minima per terremoti lontani (telesismi).

**2B**

### RISULTATI

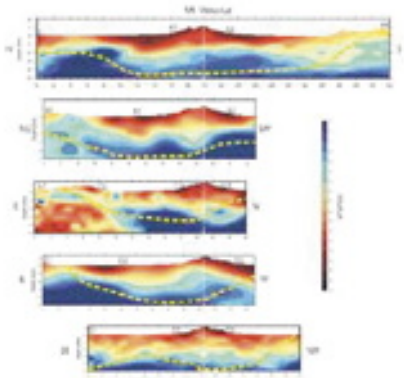
La struttura superficiale ed intermedia, con risoluzione da 0.5 a circa 2 km, ha evidenziato la presenza di rocce altamente rigide (magma solidificato) intorno all'asse del vulcano, fino a 5 km di profondità. Inoltre, ha evidenziato la presenza, ad una profondità oscillante tra 10 e 15 km, di uno strato sottile contenente magma, esteso sotto tutto il vulcano e forse oltre.
La struttura profonda evidenzia una zona parzialmente riempita di magma tra 15 e 50 km sotto il vulcano. La risoluzione a queste profondità è di 5-10 km. Inoltre, tecniche di tomografia con telesismi a scala regionale hanno mostrato, per la prima volta in modo chiaro, l'esistenza di una zona di subduzione nel Tirreno anche a queste latitudini. Grazie a queste ricerche , il Vesuvio negli ultimi anni è divenuto un vulcano-laboratorio, che ha rivelato caratteristiche dimostratesi poi comuni anche in altri vulcani. In particolare, la presenza di una zona ad alta rigidità lungo l'asse craterico sembra essere una caratteristica ricorrente in altri stratovulcani.

### SVILUPPI

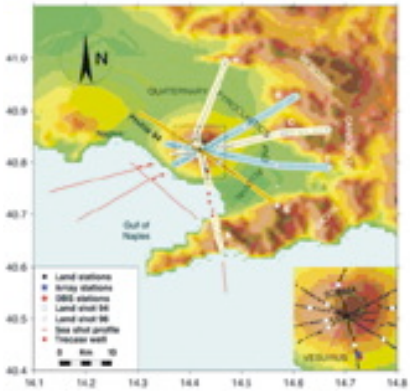
Gli sviluppi futuri di queste metodologie, per una migliore determinazione della struttura del Vesuvio, in particolare tra i 5 ed i 10 km di profondità, dovrebbero utilizzare estesamente i dati di registrazioni di terremoti appenninici e regionali.

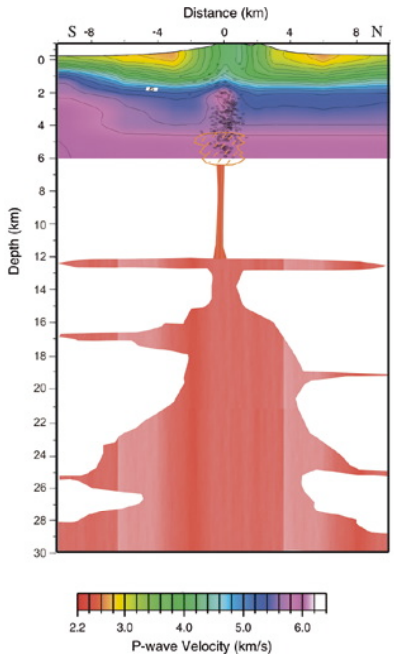
### RIFERIMENTI


Auger, M., Gasparini, P., Virieux, J., Zollo, A., 2001. **Seismic Evidence of an extended magmatic sill under Mt. Vesuvius,** Science, vol.294, 1510-1512.
De Gori, P., Cimini, G.B., Chiarabba, C., De Natale,G., Troise C., and Deschamps A., 2001. **Telesismic tomography of the Campanian volcanic area and surrounding Apennic belt** Journ. of Volc. Geotherm. Res., 109,1-3, 52-75.
De Natale G., Capuano P., Troise C. and Zollo A., 1998. **A seismicity at Somma-Vesuvius and its implications for the 3-D tomography of volcano,** J. Vol. Geotherm. Res., 82, 175-197.
De Natale G., Troise C., Pingue, F., De Gori, P. and Chiarabba, C., 2001. **Structure and dynamics of the Somma-Vesuvius volcanic complex** Min. and Petr.,73,1-3, 5-22.
Zollo, A., et al. 1996. **Seismic evidence for a low-velocity zone in the upper crust beneath Mount Vesuvius.** Science, 274, 592-594.

**Risultati degli esperimenti di tomografia sismica al Vesuvio, per la struttura superficiale. E' mostrata nelle varie sezioni corrispondenti ai profili mostrati nella figura in basso, la velocità delle onde sismiche P. La velocità aumenta dal rosso al blu (Figure da Zollo et al, workshop Vesuvio 2003)**




**Schema della struttura superficiale dei terremoti e delle principali camere magmatiche (indicate in rosso) evidenziate dagli esperimenti di tomografia sismica.**

# STRUTTURA DEL VULCANO

## IL MAGMA

**2B**

### GENERALITÀ

Il **magma** è un fuso a composizione silicatica (costituito prevalentemente da silicio e ossigeno) ad elevata temperatura. La sorgente da cui hanno origine i magmi è una roccia chiamata peridotite, formata in prevalenza da minerali di olivina e pirosseno. Queste rocce si trovano nel mantello terrestre superiore, allo stato essenzialmente solido. La fusione parziale di tale materiale dà luogo ad un fuso magmatico di composizione **basaltica.** Le dorsali medio oceaniche, le zone di subduzione, le zone di rift continentale o le isole oceaniche, sono le zone in cui si verificano le condizioni favorevoli alla fusione del mantello e alla generazione di fusi magmatici.

**2C**

### PROBLEMATICHE

Studi della composizione delle rocce vulcaniche attuali hanno permesso di definire una correlazione tra le caratteristiche geochimiche dei magmi e il contesto tettonico (cioè il regime di compressione o di distensione crostale e litosferico) in cui sono generati. Questi studi sono particolarmente utili per la ricostruzione paleotettonica di vecchie sequenze vulcaniche, in cui la deformazione ed il metamorfismo hanno cancellato il contesto tettonico originario.

### METODI DI INDAGINE

Per individuare la natura delle rocce del mantello da cui derivano i fusi parziali basaltici ha notevole importanza la composizione degli elementi in traccia (presenti in quantità inferiori allo 0.1%) e degli isotopi radiogenici ( nuclei instabili che decadono formando altri nuclei). Tali elementi in traccia sono importanti indicatori, in quanto la loro abbondanza nella struttura dei diversi minerali varia con la temperatura, la pressione e la composizione del fuso magmatico. Particolarmente importanti sono il bario, rubidio, stronzio, zirconio, e le "terre rare" (elementi con numero atomico compreso tra 57 e 71). L'abbondanza relativa degli isotopi fornisce ulteriori informazioni: ad esempio il rapporto fra lo stronzio 87 (prodotto dal decadimento radioattivo del rubidio 87) e lo stronzio 86 (un isotopo non radioattivo) è un indicatore dell'età della roccia e del contenuto originario in rubidio e consente di datare la roccia su base radiometrica.
Tali studi, effettuati su magmi basaltici, di diversa età ed eruttati in diversi ambienti tettonici, hanno evidenziato che il mantello superiore non è omogeneo, ma può essere un miscuglio tra il materiale primordiale, derivato dalla prima evoluzione del mantello o in parte "impoverito" dalla fusione parziale, ed altri componenti derivanti da materiale crostale oceanico o continentale trascinati in profondità dalle zolle in subduzione. Le differenze in composizione riscontrate nelle rocce magmatiche consentono ai petrologi di ricostruire, nel caso di rocce antiche, la natura della regione sorgente localizzata nel mantello e quindi il contesto geodinamico in cui il magma è stato generato, ad esempio lungo dorsali medio oceaniche o zone di subduzione o di "rift" o di isola oceanica.

### RISULTATI

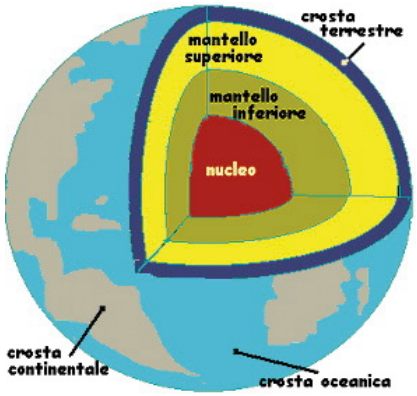
Le rocce eruttate dal Somma-Vesuvio sono classificate come alcalino-potassiche. Il magmatismo in quest'area è associato all'apertura del Bacino Tirrenico iniziata 6-7 milioni da anni fa (Messiniano). Il meccanismo di apertura del bacino ha generato una serie di fratture (chiamate faglie) nella litosfera terrestre, che hanno costituito linee di debolezza lungo cui è stata facilitata la risalita dei magmi . Lo studio degli elementi in traccia e degli isotopi radiogenici sui magmi del Somma-Vesuvio indica che la regione sorgente nel mantello superiore è costituita probabilmente da una peridotite a cui sono aggiunti materiali sedimentari derivanti da una zolla in subduzione, probabilmente ancora attiva. Questa condizione è tipica di regimi geodinamici compressivi nei quali la collisione tra zolle porta allo sprofondamento di una zolla sotto l'altra (subduzione).

### SVILUPPI

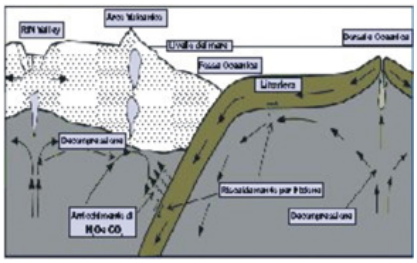
Studi in corso consentono di definire le relazioni esistenti tra la profondità del mantello di origine dei magmi eruttati al Vesuvio e dei vulcani del distretto flegreo (Campi Flegrei, Ischia e Procida), utili per definire l'evoluzione geodinamica dell'area campana.

### RIFERIMENTI


Beccaluva L, Di Girolamo P, Serri G (1991). **Petrogenesis and tectonic setting of Roman Volcanic Province, Italy.** Lithos 26: 191-221
Serri G, Innocenti F, Manetti P (1993). **Geochemical and petrological evidence of the subduction of delaminated Adriatic continental lithosphere in the genesis of the Neoge-Quaternary magmatism of central Italy.** Tectonophysics 223: 117-147
Ayuso, R.A., B. De Vivo, G. Rolandi, R.R. Seal II and A. Paone (1998): **Geochemical and isotopic (Nd-Pb-Sr-O) variations bearing on the genesis of volcanic rocks from Vesuvius, Italy.** J. Volcanol. Geotherm. Res., 82, 53-78.
Peccerillo A (1999). Multiple mantle metasomatism in central-southern Italy: geochemical effects, timing and geodynamic implications. Geology 27: 315-318
Peccerillo A (2001). **Geochemical similarities between the Vesuvius, Phlegraean Fields and Stromboli Volcanoes: petrogenetic, geodynamic and volcanological implications.** Mineral Petrol 73 (1-3): 93-105
Somma, R., R.A. Ayuso, B. De Vivo and G. Rolandi (2001): **Major, trace element and isotope geochemistry (Sr-Nd-Pb) of interplinian magmas from Mt. Somma –Vesuvius (Southern Italy)**: Mineral. Petrol., 73,121-143.
Piochi, M., L. Pappalardo and G. De Astis (2003): **Geochemical and isotopical variation within the Campanian Comagmatic Province: implications on magma source composition.** Ann. Geophys., in press.


**Struttura interna del globo terrestre**



**Sezione trasversale del mantello superiore. La litosfera è una placca di roccia solidificata, che galleggia sull'astenosfera parzialmente fusa, essa presenta una spessore di 70 km sotto gli oceani e 100-150 km sotto i continenti. Lungo le dorsali medio oceaniche e le zone di rift la formazione di magma è legata alla risalita adiabatica del mantello astenosferico. In corrispondenza delle zone di subduzione la fusione del mantello è dovuta all'addizione di fluidi dalla zona in subduzione.**

# STRUTTURA DEL VULCANO

## CAMERE MAGMATICHE

**2C**

### GENERALITÀ

Una **camera magmatica** è una zona nella crosta terrestre intensamente fratturata nella quale è immagazzinato il magma. Il magma scambia calore con le pareti della camera magmatica a più bassa temperatura, raffreddandosi e formando dei cristalli. La separazione dei cristalli dal liquido magmatico (liquido residuale) lo impoverisce dei componenti chimici che sono entrati a far parte dei cristalli. Ad ogni stadio del processo di raffreddamento, il liquido residuo presenta una composizione diversa, legata ai minerali che da esso via via si formano e si separano (differenziazione chimica). La composizione chimica dei minerali è funzione della composizione, della temperatura e della pressione alla quale si trova il magma in profondità.

### PROBLEMATICHE

Non disponendo di indagini dirette sulle camere magmatiche le informazioni sui processi di differenziazione chimica che si verificano nelle camere magmatiche e sulle loro condizioni di temperatura e pressione derivano solo dagli studi sulla composizione mineralogica, chimica ed isotopica ( presenza ed abbondanza di isotopi, atomi di uno stesso elemento ma con numero atomico diverso) delle rocce vulcaniche.

### METODI DI INDAGINE

La composizione chimica delle rocce magmatiche comprende elementi maggiori (quegli elementi contenuti nelle rocce magmatiche in quantità medie superiori a 0.5-1 %) ed elementi in traccia (presenti in quantità inferiori al 0.1%). La variazione della concentrazione di questi elementi indica il tipo di processo differenziativo a cui il magma è stato sottoposto nella camera magmatica. Magmi differenziati che hanno stazionato per tempi relativamente lunghi nella crosta risultano arricchiti in alcuni elementi maggiori quali ad esempio silicio, sodio, potassio, ed alcuni elementi in traccia definiti incompatibili. Inoltre la permanenza prolungata del magma nella crosta può determinare lo scambio di materia con la roccia incassante che altera la composizione chimica di partenza del magma (contaminazione crostale). Un parametro che varia in modo significativo in questo caso è la sua composizione isotopica, ad esempio del rapporto tra stronzio 87 e stronzio 86 (87 e 86 sono i numeri atomici), che tenderà ad assumere valori simili a quelli crostali. I cristalli che si accrescono in una riserva magmatica possono intrappolare nella loro struttura piccole gocce di magma (vetro) e gas magmatico (fluidi). L'analisi di queste "inclusioni vetrose e fluide" fornisce informazioni sulle condizioni chimico-fisiche a cui il magma risiede nella crosta. Inoltre informazioni sulle riserve magmatiche derivano dagli studi sulle condizioni di equilibrio delle fasi cristalline (geotermometria e geobarometria) e di esperimenti idrotermali effettuati usando materiali silicatici naturali o artificiali in cui vengono riprodotte le condizioni di cristallizzazione dei magmi.

### RISULTATI

La composizione chimica, relativamente, ricca in silice delle rocce vulcaniche eruttate dal Somma-Vesuvio indica che i magmi hanno stazionato per tempi prolungati nella crostra terrestre. Le condizioni di temperatura e pressione ed il contenuto in volatili delle camere magmatiche sono stati dedotti dallo studio delle inclusioni vetrose e fluide intrappolate nei cristalli. Questi studi suggeriscono che il sistema magmatico che ha alimentato l'attività vulcanica del Somma-Vesuvio è costituito da piccole riserve magmatiche superficiali a profondità comprese tra 4 e 10-12 km e da una camera magmatica molto estesa al di sotto dei 10-12 km. Le camere più superficiali hanno eruttato magmi ricchi in silice, a temperatura di circa 850-900 °C ed alti contenuti in volatili ($H_2O$=2.5-6 % percentuale in peso). Mentre la riserva profonda, ha eruttato magmi meno ricchi in silice con temperature più elevate (circa 1150°C) e minor contenuto in volatili ($H_2O$=3% percentuale in peso). Il rapporto isotopico dei magmi vesuviani dipende dalla profondità della camera magmatica in cui hanno stazionato. Questi valori misurati nelle rocce emesse nell'ultimo ciclo eruttivo (1805-1944), indicano che in questo intervallo temporale le eruzioni furono alimentate dalla riserva più profonda localizzata al di sotto dei 10 km.

### SVILUPPI

Gli studi in corso consentiranno di definire nel dettaglio l'influenza dei processi che si verificano nelle camere magmatiche sullo stile eruttivo ed i meccanismi di innesco delle eruzioni vesuviane.

### RIFERIMENTI


Cioni, R., P. Marianelli and R. Santacroce (1998): **Thermal and compositional evolution of the shallow magma chambers of Vesuvius, evidence from pyroxene phenocrysts and melt inclusions.** J. Geophys. Res., 103, 18,277-18,294.

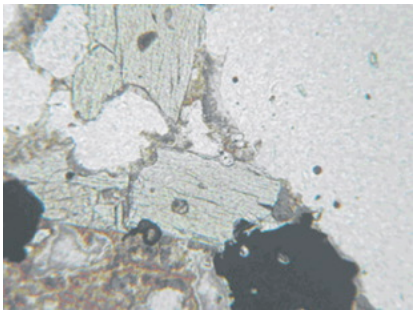
Marianelli P., Métrich N., Sbrana A., 1999. **Shallow and deep reservoirs involved in magma supply of the 1944 eruption of Vesuvius.** Bull Volcanol., 61, 48-63.

Signorelli, S., Vaggelli, G., Romano C. 1999. **Pre-eruptive volatile (H2O, F, Cl and S) contents of phonolitic magmas feeling the 3550-year old Avellino eruption from Vesuvius, southern Italy.** Journ Volcan Geoth Res, 237-256.

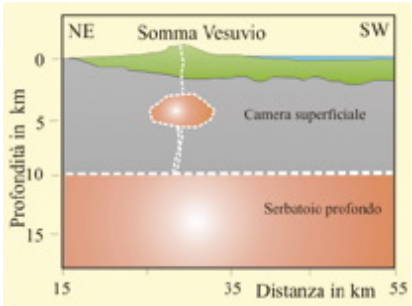
Lima A., Danyushevshy LV., De Vivo B., Fedele L., 2003. **A model of the evolution of the Mt. Somma-Vesuvius magmatic system based on fluid and melt inclusion investigations. In melts inclusions and volcanic system: methods, applications and problems.** Edts B. De Vivo and R.J. Bodnai.

Pappalardo L., Piochi M., Mastrolorenzo G. 2003. **The 3800 yr BP – 1944 AD magma-plumbing system of Somma-Vesuvius: constraints on its behaviour and present state through a review of isotope data.** Annal Geophys, in press.

**Lo schema indica i minerali principali che cristallizzano e si separano durante il processo di raffreddamento di un magma alcalino, di composizione simile a quelli vesuviani. Si vede come il meccanismo della differenziazione chimica di un fuso porti alla formazione di un magma via via più ricco in silice (magma differenziato).**



**Inclusioni vetrose all'interno di cristalli di pirosseno verde.**




**Schema della struttura del sistema di alimentazione del Somma - Vesuvio dedotta dallo studio delle "inclusioni vetrose e fluide" nei minerali**

# DINAMICA DEL VULCANO

## ATTIVITÀ SISMICA

**3A**

### GENERALITÀ

L'**attività sismica** è l'insieme dei terremoti generati all'interno di un vulcano, che vengono suddivisi in vulcano-tettonici, terremoti a bassa frequenza, tremore. Essi differiscono nei meccanismi di genesi. I terremoti vulcano-tettonici sono generati dalle variazioni di sforzo lungo fratture, legate ad esempio ad intrusioni magmatiche o al peso dei vulcani. I terremoti a bassa frequenza ed il tremore derivano invece da oscillazioni di fluidi nei **condotti magmatici**, che producono segnali a più lungo periodo.

4A

### PROBLEMATICHE

I terremoti si rilevano con i **sismografi.** Nelle aree vulcaniche, la loro localizzazione e i meccanismi possono dare informazioni sui processi di risalita del **magma,** mentre le onde da essi generate possono essere analizzate, con tecniche di **tomografia** sismica, per ottenere informazioni sulla **struttura vulcanica.**

3B
2B
2A

### METODI DI INDAGINE

Per i terremoti vulcano-tettonici, i parametri più interessanti da studiare sono la localizzazione e la geometria dei piani di frattura, che danno informazione sui campi di sforzo che li generano ed indirettamente sull'eventuale migrazione di magma che provoca variazioni del campo di sforzo. Per terremoti a bassa frequenza e tremore, la localizzazione, le frequenze dominanti la valutazione dei sistemi di forze che li generano, danno informazioni dirette sulla localizzazione e migrazione dei magmi nei condotti. Valutabile dalla distribuzione degli eventi nello spazio e nel tempo.
I metodi per lo studio dei terremoti sono in genere diversi per i differenti tipi di eventi. I metodi più avanzati per lo studio dei terremoti consistono nella determinazione dei loro meccanismi mediante determinazione dei **sistemi di forze in gioco.** Per i terremoti a bassa frequenza ed il tremore, le tecniche più avanzate, utilizzate anche al Vesuvio, prevedono l'impiego di 'antenne sismiche.

3B

### RISULTATI

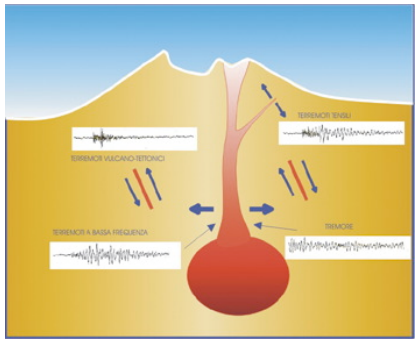
Le conoscenze dettagliate sulla sismicità del Vesuvio sono relativamente recenti (ultimi 10 anni). Oggi sappiamo che i terremoti attuali sono quasi esclusivamente vulcano-tettonici, fortemente addensati in corrispondenza dei corpi ad alta rigidità , (antichi condotti magmatici solidificati), estesi per km sotto il cratere.
Per il Vesuvio si è potuta formulare una nuova ipotesi per la genesi dei terremoti vulcano-tettonici in periodi non-eruttivi. Essi sarebbero generati dai forti sforzi gravitativi dovuti al peso del vulcano stesso, che si focalizzano intorno all'asse craterico a causa delle forti variazioni di rigidità in quella zona.
Questa osservazione, insieme a considerazioni fatte in base alle modalità di rilascio di energia sismica nel tempo, permettono di suddividere la sismicità del Vesuvio in una parte pressoché costante, legata principalmente al peso del vulcano (alcune centinaia di eventi/anno), ed in una parte legata a variazioni dinamiche interne, che possono generare crisi sismiche con grande numero di eventi per anno, come accaduto ad esempio nel 1989, 1995-'96, 1999.
L'esistenza di un notevole livello di sismicità di fondo rende più difficile il riconoscimento di eventi derivantii da fenomeni magmatici.

### SVILUPPI

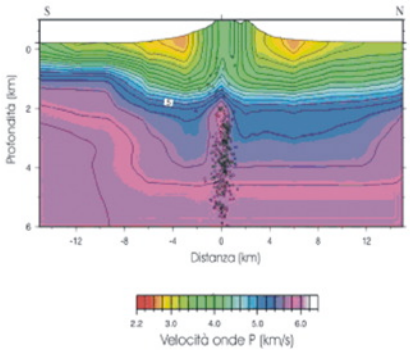
Gli studi futuri dovranno appurare l'esistenza di terremoti a bassa frequenza, e chiarire le sequenze caratteristiche attese prima delle eruzioni.
L'impiego massiccio di sismografi a larga banda permetterà un miglioramento nello studio dei terremoti a bassa frequenza (che forniscono indicazioni dirette sui processi magmatici nel condotto).

### RIFERIMENTI


De Natale G., Petrazzuoli S.M., Troise C., Pingue F. and Capuano P., 2000. **Internal stress field at Mt. Vesuvius: a model for the generation of background seismicity at a central volcano** J. Geophys. Res., 105, B7, 16207-16214.
Del Pezzo E., Bianco F. and Saccarotti G., 2004. **Seismic source dynamics at Vesuvius volcano, Italy.** J. Volcanol. Geotherm. Res., in press.


**Schema dei meccanismi di genesi dei terremoti vulcanici ed esempi di sismogrammi per ciascun tipo.**
**Le frecce grandi indicano il movimento relativo dei due bordi della frattura. I terremoti a bassa frequenza ed il tremore non sono necessariamente dovuti a fratture, ma avvengono nei condotti magmatici.**




**Localizzazione dei terremoti al Vesuvio (punti neri) sovrapposti alle velocità delle onde sismiche P (scala cromatica) nella sezione mostrata, ottenute dalla tomografia sismica. Come si nota, i terremoti avvengono, in un'area molto ristretta intorno all'asse del vulcano, fino a 5-6 km di profondità.**

# DINAMICA DEL VULCANO

## TECNICHE DI ANALISI DEI TERREMOTI

**3B**

### GENERALITÀ

Sono le metodologie per ricavare informazioni con cui vengono elaborati i segnali sismici prodotti dai **terremoti.** 3A
Esse comprendono la localizzazione (localizzazione di epicentro ed ipocentro), la determinazione dei parametri geometrici e fisici dei meccanismi di genesi (meccanismi focali), e la natura delle strutture interessate. In aree vulcaniche è molto importante l'analisi spettrale (ossia delle frequenze delle onde generate dal terremoto) e le tecniche di analisi di registrazioni mediante array (o antenne sismiche) per lo studio dei **terremoti a bassa frequenza e del tremore.** 3A

### PROBLEMATICHE

Le tecniche impiegate vanno dall'analisi di Fourier (per la valutazione del contributo delle varie frequenze nel sismogramma), all'impiego di metodi inversi per determinare localizzazione e meccanismi focali (ossia le modalità di rottura all'ipocentro).
In aree vulcaniche, l'analisi dei terremoti fornisce informazioni sulla struttura del vulcano e sui processi di intrusione/risalita del **magma.** La capacità di dedurre meccanismi di genesi dei terremoti è strettamente legata alla quantità di sismografi impiegati ed alla loro distribuzione ( rete sismica). 2B

### METODI DI INDAGINE

Localizzare un terremoto vuol dire determinarne 4 parametri: le tre coordinate della posizione dell'ipocentro e il tempo di origine.
La determinazione dei meccanismi focali, per terremoti vulcano-tettonici è l'individuazione della geometria e del senso del movimento delle fratture (faglie), definite da posizione, geometria e verso dello scorrimento relativo.
La definizione del sistema di forze all'origine dei terremoti a bassa frequenza richiede la determinazione di 6 parametri, che sono dedotti dal confronto tra i valori teorici ottenuti da simulazioni e i sismogrammi registrati.
Analisi statistiche consentono di determinare le relazioni tra coordinate, tempo e numero degli eventi e la loro magnitudo.
Al Vesuvio sono state impiegate anche tecniche per correlare le localizzazioni dei terremoti con le zone di massimo sforzo teorico (zone nelle quali è più probabile la rottura), al fine di comprendere i meccanismi di genesi dei terremoti.

### RISULTATI

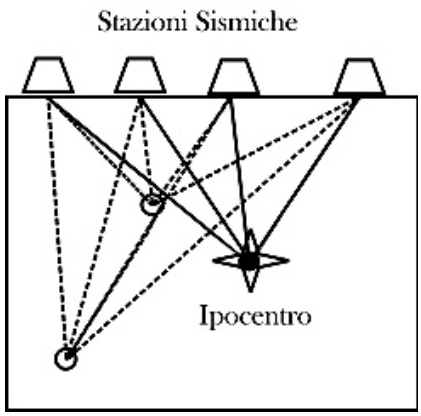
L'analisi dei terremoti del Vesuvio, oltre a fornire importanti indicazioni sulla struttura interna del vulcano, ha permesso di caratterizzare i principali fattori che determinano la sismicità. Questa risulta dalla sovrapposizione di una sismicità di fondo legata allo sforzo statico prodotto dal peso del vulcano, da fluttuazioni che dipendono da variazioni di sforzo regionale, e da episodi dinamici interni che generano un forte aumento (progressivo nel tempo) del numero e della magnitudo dei terremoti.
La ricerca recente sul Vesuvio, condotta in maniera multidisciplinare (sismologia e petrologia sperimentale), ha permesso di sviluppare nuove tecniche per l'analisi e l'interpretazione dei terremoti e delle proprietà delle rocce determinate con tecniche di tomografia. Per comprendere la distribuzione dei terremoti sono stati utilizzati modelli teorici numerici per il calcolo degli sforzi (zone nelle quali si concentrano elevate tensioni o pressioni), che tengono conto delle complessità strutturali. Questi metodi hanno mostrato che le zone soggette teoricamente ai massimi sforzi, in base ai modelli strutturali, sono anche quelle a maggiore sismicità.

### SVILUPPI

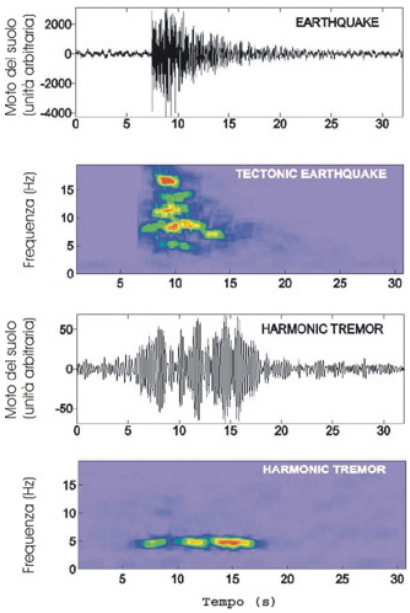
Future ricerche saranno indirizzate allo studio delle variazioni nel numero, nelle magnitudo e nei meccanismi dei terremoti attesi prima di un'eruzione al fine di attivare efficaci **piani di emergenza.** 4I

### RIFERIMENTI

**Modern Global Seismology,** Lay and Wallace, Academic Press, San Diego (CA), 1995.




**La localizzazione dei terremoti viene effettuata cercando la posizione del punto a partire dal quale i tempi di arrivo calcolati alle stazioni sismiche sono più simili a quelli realmente osservati. Come si nota in figura, diverse posizioni dell'ipocentro producono diverse combinazioni di lunghezza dei raggi sismici, e quindi diversi tempi d'arrivo; una sola combinazione è compatibile in genere con i dati osservati. Poiché i parametri da determinare sono 4 (coordinate x, y, z e tempo di origine), almeno 4 registrazioni di onde sismiche sono necessarie.**




**Tipici digrammi frequenza - tempo per diversi tipi di terremoti, uno vulcano-tettonico l'altro a bassa frequenza (vedi scheda (3A). L'intensità di colore (aumenta dal viola al rosso) è proporzionale all'ampiezza di ciascuna componente in frequenza. Con diagrammi di questo tipo si possono riconoscere e studiare i diversi tipi di terremoti vulcanici.**

# DINAMICA DEL VULCANO

## DEFORMAZIONI LENTE DEL SUOLO

**3C**

### GENERALITÀ

Sono **le deformazioni del suolo** cosiddette statiche, o permanenti, che possono essere sollevamenti, abbassamenti, allungamenti o accorciamenti.
Nelle aree vulcaniche, sono generate dalla sovrapressione del **magma** nelle **camere** e nei **condotti superficiali**. Le deformazioni lente sono rilevate con le **tecniche geodetiche**. Il magma che risale o che si accumula genera prevalentemente sollevamento e dilatazione del vulcano, mentre l'eruzione causa un abbassamento del suolo dovuto allo svuotamento dei condotti e della camera. Abbassamenti del suolo possono anche derivare da lente compattazioni di materiale piroclastico ed altri depositi sedimentari.I modelli teorici per simulare le deformazioni prodotte in aree vulcaniche considerano fratture che si aprono in senso normale (dicchi e sill) o sorgenti di forma sferica o sferoidale (camere magmatiche e grandi condotti).

2B
2C
4A
3D

### PROBLEMATICHE

Lo studio delle deformazioni lente in aree vulcaniche richiede l'uso di modelli numerici complessi. Infatti spesso è difficile separare le deformazioni prodotte da fenomeni magmatici da quelle dovute a faglie sismiche o ai sistemi geotermali. La presenza di faglie e fratture altera il campo di deformazione, mascherando in parte le caratteristiche della sorgente (la sorgente è il corpo o il processo che produce la deformazione).

### METODI DI INDAGINE

Lo studio delle deformazioni lente è finalizzato alla determinazione dei parametri delle sorgenti interne che le producono
Ad esempio, una sorgente magmatica profonda (quale una camera magmatica), approssimata con una forma sferica, è caratterizzata dal raggio, dalla variazione di pressione (che genera la deformazione), e dalla posizione del centro. Molti esempi di deformazione pre - eruttiva in aree vulcaniche si accordano bene con questo semplice modello. In molti casi per descrivere la sorgente che genera la deformazione, sono necessari modelli più complessi, che richiedono tecniche numeriche sofisticate come gli 'Elementi Finiti' (metodo di calcolo numerico basato sul calcolo di parametri meccanici in uno spazio suddiviso in celle o magli elementari). Con tecniche di simulazione, dai dati di deformazione rilevati dalle reti geodetiche si risale alla posizione e geometria delle sorgenti interne che le hanno prodotte. Di particolare importanza è la determinazione della profondità e della localizzazione di una sorgente magmatica (camera o dicco), per valutare il rischio di un'eruzione.

### RISULTATI

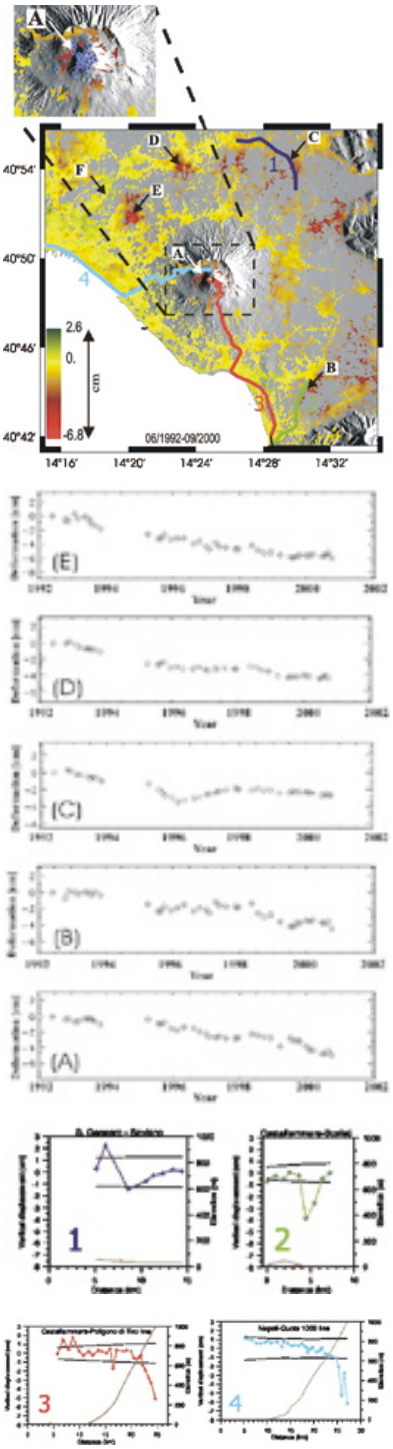
Lo studio delle deformazioni lente in aree vulcaniche rappresenta uno dei metodi d'indagine più potenti della vulcanologia fisica.
Lo studio delle aree calderiche, ed in particolare dei Campi Flegrei, negli ultimi 20 anni, ha prodotto importanti innovazioni nei metodi e nelle interpretazioni. Lo studio delle deformazioni lente permette la localizzazione delle camere magmatiche, dei dicchi ed in generale permette di seguire il movimento del magma verso la superficie. Le nuove tecniche concettuali, consentono oggi di discriminare i fenomeni magmatici da quelli di natura idrotermale, e di calcolare la corretta profondità dei corpi magmatici anche in aree fortemente eterogenee e fratturate.
Al Vesuvio, si è mostrato, l'applicazione congiunta di misure a terra (GPS, livellazioni) e tecniche SAR mostra che l'edificio vulcanico è molto stabile, tranne nella parte del Gran Cono che è in abbassamento, di circa 0.06 m/anno.

### SVILUPPI

Il progresso futuro dello studio delle deformazioni è legato principalmente allo sviluppo di nuovi modelli interpretativi e di nuove tecniche geodetiche per lo sviluppo di dense 'antenne' di sensori per seguire l'eventuale risalita del magma.

### RIFERIMENTI


Lanari, R., De Natale, G., Berardino, P., Sansosti, E., Ricciardi, R., Borgstrom, S., Capuano, P., Pingue, F., Troise, C., **Evidence for a peculiar style of ground deformation inferred at Vesuvius volcano.**, Geophys. Res. Lett.,vol.29,n.9,10.1029, 2002.
G. De Natale e F. Pingue. **Ground deformation modelling in volcanic areas. In R. Scarpa and R. Tilling eds. " Monitoring of volcanoes"**, I.A.V.C.E.I. volume, Springer-Verlag, 1996.


**Spostamenti verticali al Vesuvio, nel decennio 1992-2002, calcolate dall'interferometria SAR (immagine in falsi colori) e da tecniche di livellazione (linee in colore numerate, corrispondenti ai grafici in basso). Il rosso indica subsidenza sull'immagine SAR, che appare la deformazione dominante concentrata sia sul cratere (Gran Cono) che in aree tutt'intorno all'edificio vulcanico. I diagrammi a destra riportano l'andamento temporale della subsidenza nei singoli punti indicati. La subsidenza dell'area craterica rappresenta l'abbassamento gravitativo della parte centrale nella quale accadono i terremoti. E' probabile che, prima di un'eruzione, la pressione del magma in risalita produrrà forti sollevamenti dell'area craterica, oltre ad un minore sollevamento generalizzato di tutto il vulcano.**

# DINAMICA DEL VULCANO

## RETI GEODETICHE

**3D**

### GENERALITÀ

Sono l'insieme degli strumenti per il rilevamento delle **deformazioni lente del suolo** e le variazioni di forza di gravità, che avvengono in aree vulcaniche in risposta ai fenomeni magmatici e geotermali. Le strumentazioni utilizzate comprendono: **livelli, EDM, GPS, SAR, dilatometri, inclinometri e gravimetri.**
Il livello misura differenze di quota, l'EDM distanze orizzontali; il GPS misura, con tecniche satellitari, posizioni o differenze di posizioni verticali ed orizzontali. IL SAR, tecnica satellitare interferometrica, misura le variazioni (prevalentemente verticali), di posizione dei punti di un'intera area in tempi successivi. I dilatometri misurano le variazioni volumetriche (ossia espansioni o contrazioni), gli inclinometri le variazioni di inclinazione.

**3C**

### PROBLEMATICHE

La disposizione delle reti geodetiche nelle aree vulcaniche da sorvegliare segue i criteri di alta densità dei punti (migliore precisione delle misure e migliore discriminazione dei processi geodinamici interni), specie dove sono attese le più ampie variazioni in risposta ai fenomeni magmatici.
I problemi più comuni derivano dall'instabilità dei punti di misura (caposaldi) quando sono presenti fenomeni di frana superficiale.

### METODI DI INDAGINE

Il rilevamento comprende la misura degli spostamenti dei punti in tempi successivi, la deformazione volumetrica (dilatometri), o la variazione di inclinazione (tiltmetri), e tutte le variazioni legate a fenomeni di dinamica interna, come la risalita di magma. I dilatometri più avanzati hanno sensibilità di $10^{-12}$ strain, e vanno però installati in pozzi profondi centinaia di metri per evitare oscillazione termiche troppo elevate.
I metodi più utilizzatii sono la livellazioni ed il sistema di misura con GPS. Questi ultimi, come gli inclinometri (tiltmetri) e i dilatometri, possono essere installati in registrazione continua, per seguire con continuità le variazioni di dinamica interna.
Con i microgravimetri, si rilevano le piccolissime ($\mu G$, milionesimi dell'accelerazione di gravità) variazioni nella forza di gravità causate dal movimento di masse magmatiche. Un magma con densità più alta delle rocce solide circostanti risalendo genera un aumento locale della gravità, rispetto al valore iniziale. Questa variazione può essere rilevata e costituisce un possibile precursore di eruzioni.

### RISULTATI

Le reti geodetiche insieme a quelle sismiche sono lo strumento più potente per studiare i vulcani e riconoscere i fenomeni premonitori di eruzioni. Negli ultimi 10 anni, nuovi dati e nuovi modelli interpretativi, per gran parte sviluppati nello studio del bradisisma flegreo (il lento movimento del suolo osservato più volte nei Campi Flegrei) da ricercatori dell'Osservatorio Vesuviano di Napoli, hanno prodotto notevoli progressi nella geodesia delle aree vulcaniche. Sempre guidati da ricercatori dell'Osservatorio Vesuviano, sono attualmente in corso importanti progetti per lo sviluppo di nuove tecniche di rilevamento delle deformazioni, alcune basate su tecniche interferometriche in fibre ottiche (reticoli di Braggs). Al Vesuvio sono presenti reti geodetiche dense ed estese, basate sui principi più avanzati ed in continua espansione come quantità e qualità. Le reti geodetiche al Vesuvio sono infatti più sviluppate che in qualsiasi altro vulcano al Mondo, così come la ricerca in questo campo al Vesuvio ed ai Campi Flegrei è stata la più innovativa a livello internazionale in Vulcanologia negli ultimi 10 anni.

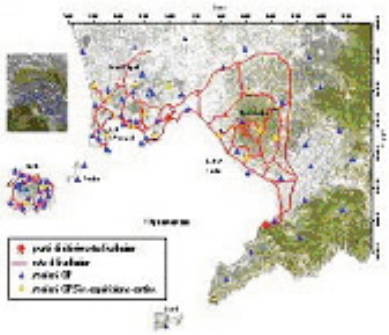
### SVILUPPI

Gli sviluppi futuri al Vesuvio riguardano l'impiego di nuovi 'strain meter' (misuratori di deformazioni) in fibre ottiche, che permetteranno la costituzione di reti dense per seguire con continuità e precisione i movimenti del **magma**.

**2B**

### RIFERIMENTI


Pingue F., Troise C., De Luca G., Grassi V., Scarpa R., **Geodetic monitoring of Mt. Vesuvius, Italy, based on EDM and GPS surveys**. Journ. of Volc. Geotherm. Res., vol. 82, 151-160, 1998.
Gaeta F.S, De Natale G., Peluso F., Mastrolorenzo G., Castagnolo D., Troise C., Pingue F., Mita D.G., Rossano S., **Genesis and evolution of unrest episodes at Campi Flegrei caldera: the role of the termal fluid-dinamical processes in the geothermal system**, Journ. Geophys. Res., vol.103, B9, 20921-20933, 1998.
Ferraro, P. and De Natale, G. **On the possible use of optical fiber Bragg gratings as strain sensors for geodynamical monitoring,** Optics and Lasers engineer., 37, 115-130, 2002.

**La figura mostra le reti geodetiche che operano nell'area campana, e più in particolare sull'isola d'Ischia, Campi Flegrei, Vesuvio, Piana Campana, Penisola Sorrentina e contrafforti appenninici.**

# DINAMICA DEL VULCANO

# MONITORAGGIO GEOCHIMICO

**3E**

## GENERALITÀ

La **sorveglianza geochimica** è il complesso di misure di temperatura, composizione e flusso di fluidi (gas e liquidi), che vengono svolte con regolarità nelle aree vulcaniche per descriverne le variazioni nel tempo e individuare eventuali evoluzioni verso condizioni eruttive. Il presupposto è che un'eruzione vulcanica sia preceduta ed accompagnata da risalite di masse magmatiche e dal trasferimento di fluidi ed energia verso la superficie. La migrazione di tali masse provoca la progressiva liberazione di gas ($H_2O$, $CO_2$, $SO_2$, $H_2S$, HCl, He, ecc.) che possono raggiungere la superficie prima del magma. Nei periodi inter-eruttivi essi possono dare luogo alle attività fumarolica, idrotermale, degassamento diffuso più o meno intenso. In condizioni pre-eruttive, l'aumento nel rilascio di fluidi da corpi magmatici in risalita verso la superficie causa evidenti variazioni nelle proprietà chimico-fisiche dei gas fumarolici e delle acque di falda presenti entro gli apparati eruttivi, aumento del degassamento diffuso e delle emissioni gassose dai crateri, ecc.

## PROBLEMATICHE

Le variazioni dei parametri geochimici controllati non sono sempre univoche nel definire l'evoluzione dell'attività, potendo variare fortemente da un vulcano all'altro, e da eruzione ad eruzione. Pertanto nella sorveglianza geochimica si interpretano le variazioni di parametri costruendo modelli per spiegare le variazioni osservate in un dato sistema in base alle conoscenze dei processi chimici e chimico-fisici.

## METODI DI INDAGINE

Al Vesuvio il monitoraggio del degassamento dell'area craterica, della composizione chimico-isotopica dei fluidi fumarolici e delle acque di falda è effettuato tramite
- campagne per la misura del flusso di $CO_2$ e della temperatura del suolo su una rete di 15 stazioni fisse ubicate nell'interno del bordo craterico del Vesuvio. Le indagini effettuate ogni 15 giorni comprendono:
- campagne di campionamento ed analisi chimico-isotopiche dei fluidi fumarolici di fondo e bordo cratere con frequenza mensile.
- campagne di campionamento ed analisi chimico-isotopiche delle acque di falda e dei gas disciolti in 15 punti selezionati con frequenza mensile. Il monitoraggio in continuo è effettuato attraverso la misura del flusso di $CO_2$ dal suolo, della temperatura e di parametri ambientali tramite 2 stazioni automatiche SAPG (stazione automatica per i parametri geochimici) con cicli di misura ripetuti ogni 4 ore. Le stazioni sono situate una sul bordo cratere (zona anemometro) ed una sul fondo cratere. I dati acquisiti vengono trasmessi in tempo reale al centro di acquisizione alla sede dell'Osservatorio Vesuviano.

## RISULTATI

Recenti studi delle fumarole del fondo cratere hanno portato alla formulazione di un modello geochimico basato sulla presenza di un sistema idrotermale localizzato nei condotti magmatici, ancora caldi, dell'eruzione del 1944. La temperatura del sistema che alimenta i fluidi fumarolici campionati nel fondo cratere, è stata stimata in 400 - 500°C sulla base degli equilibri nel sistema C-H-O in presenza di brine saline. Gli acquiferi idrotermali ( zone porose e permeabili sature in fluidi presenti nel sottosuolo)sono stati localizzati a profondità di 2 - 4 km, nella sequenza di roccie carbonatiche che è presente a profondità superiore ai 2.5 km sotto il vulcano. Non esistono, al momento, indizi geochimici di nuovi arrivi di magma. La storia termica del campo fumarolico a partire dal 1944 evidenzia una continua diminuzione delle temperature massime e suggerisce che il sistema idrotermale stia agendo in questo momento come sistema di raffreddamento dell'apparato Vesuviano. Fuori della caldera (la struttura circolare sommitale che delimita l'area attiva del vulcano) non c'è evidenza della presenza di questo sistema di alta temperatura, come evidenziato dal pozzo geotermico Trecase1 (perforato dalla AGIP nell'area di Boscotrecase a sud-est del Vesuvio) che ha incontrato una temperatura di soli 51°C a fondo pozzo (2000 m). L'evidenza più grande dell'attività vulcanica in queste aree periferiche, è data dalla presenza nel settore meridionale ed orientale dell'edificio vulcanico di acque con valori elevati di $P_{CO_2}$ (pressione parziale $CO_2$) e dalle emissioni gassose sottomarine lungo la costa a sud del Vesuvio.

## SVILUPPI

Nuovi tipi di monitoraggio comprendono l'ntegrazione di sistemi di monitoraggio d' immagine mediante telecamere, operanti sulle lunghezze d'onda dell'infrarosso termico, con sistemi di rilevamento geochimico e geofisico esistenti. L'obiettivo è il monitoraggio continuo della struttura termica superficiale del cratere del Vesuvio.

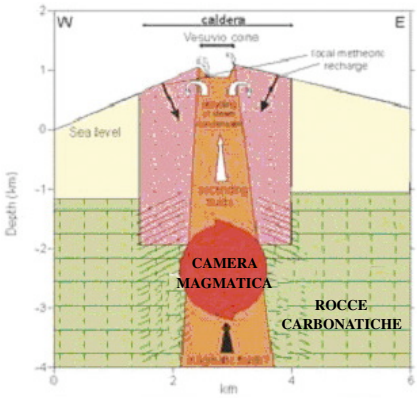
## RIFERIMENTI


Chiodini G., Marini L. e Russo M. (2001) **Geochemical evidences of high temperature hydrothermal brines at Vesuvio volcano (Italy),** Geochimica et Cosmochimica Acta 65, 13, 2129-2147

Caliro S., Panichi C. & Stanzione D. (1998). **Baseline study of the isotopic and chemical composition of waters associated with the Somma-Vesuvio volcanic system**. Acta Vulcanologica. 10(1), 19-25.

Caliro S., Chiodini G., Avino R., Cardellini C. and Frondini F., **Chemical and isotopic signatures of volcanic degassing in groundwater of Somma-Vesuvio (Italy)** Submitted to Geochim. Cosmichim. Acta

Frondini F., Chiodini G., Caliro S., Cardellini C., Granieri D. and Ventura G., **Diffuse $CO_2$ soil degassing at Vesuvio, Italy.** Submitted to Earth Planetary Science Letter


**Modello geochimico del Vesuvio**


**Scheda a cura di S. Caliro**

# SCENARI

# RISALITA DEL MAGMA

**4A**

## GENERALITÀ

La **risalita del magma** all'interno di un condotto magmatico avviene con modalità e tempi diversi a seconda del tipo di magma e delle condizioni strutturali del sistema vulcanico (quali il grado di fatturazione delle rocce attraversate). La decompressione che accompagna la risalita del **magma,** riduce la solubilità delle fasi volatili in esso dissolte che si separano dal liquido. Quando la risalita è veloce e/o il magma è viscoso i fluidi liberati rimangono a contatto con il liquido magmatico (degassamento in condizioni di sistema chiuso), favorendone l'eruzione esplosiva. Se la risalita è lenta e/o il magma è fluido, i gas si allontanano dal liquido (degassamento in condizioni di sistema aperto), provocando l'eruzione effusiva.

**2B**

## PROBLEMATICHE

In alcune eruzioni le variazioni nelle modalità e nei tempi di risalita dei magmi nel condotto hanno provocato il passaggio da uno stile eruttivo effusivo a quello esplosivo. Per cui la determinazione dei modi e dei tempi di risalita dei magmi è fondamentale non solo per comprendere meglio il meccanismo di un 'eruzione ma anche per la definizione degli scenari pre-eruttivi ed eruttivi.

## METODI DI INDAGINE

Lo studio sulla struttura (rapporti di forma e dimensioni fra i minerali che costituiscono la roccia) e sulla tessitura (orientamento dei cristalli, presenza di bolle prodotte dalla fuga del gas dal magma) delle rocce vulcaniche permette di definire i meccanismi ed i tempi di risalita dei magmi nei condotti vulcanici, immediatamente prima e durante un'eruzione vulcanica. Durante la risalita del magma, la decompressione riduce la solubilità delle fasi volatili che si separano dal fuso formano bolle di gas (vescicolazione). Questo processo di degassamento induce la precipitazione di microcristalli (microliti) nel magma a causa dell'innalzamento della temperatura di solidus (temperatura a cui il magma inizia a cristallizzare). L'estensione ed il tasso con cui avvengono questi processi (vescicolazione e cristallizzazione) può essere calcolato ed usato per definire il tasso di risalita del magma. Il magma, all'interno di un condotto, ha caratteri fisico/chimici (densità, resistività, temperatura) distinti da quelli della roccia circostante. I condotti magmatici attivi possono essere, quindi, identificati mediante indagini geofisiche.

## RISULTATI

I magmi eruttati al Somma-Vesuvio sono risaliti attraverso condotti localizzati in corrispondenza dell'asse craterico.
Nelle eruzioni pliniane e sub-pliniane del Vesuvio i magmi risalgono attraverso un condotto di dimensioni non inferiori a 30 metri di diametro. Mentre nel caso di eruzioni stromboliane ed effusive i magmi risalgono attraverso condotti di dimensioni inferiori (generalmente tra qualche metro ed una decina di metri).
Studi sulla tessitura delle rocce eruttate dal Somma-Vesuvio indicano che la risalita dei magmi dalla camera alla superficie è stata generalmente molto rapida. E nel caso di eruzioni pliniane il magma raggiunge la superficie in meno di qualche ora.
I tempi di risalita sono invece più lunghi e variabili nel corso delle eruzioni effusive. La presenza di un condotto centrale individuato dalla **tomografia** e i tempi di risalita calcolati con gli studi tessiturali su rocce di passate eruzioni indicano che una eventuale futura eruzione pliniana al Vesuvio avrà luogo in corrispondenza del cono vulcanico e che una volta fratturato il tetto della camera magmatica, il processo eruttivo si svilupperà in poche ore.

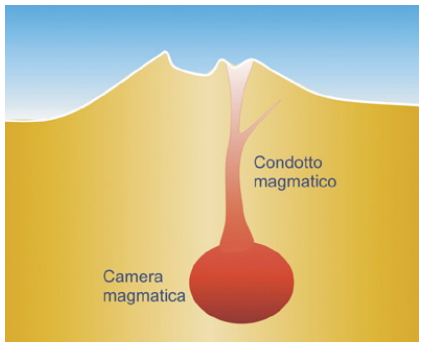
**2A**

## SVILUPPI

La conoscenza dei tempi e delle modalità di risalita è fondamentale per la definizione degli scenari pre-eruttivi e sin-eruttivi e quindi per l'interpretazione dei fenomeni precursori che possono verificarsi in caso di ripresa dell'attività vulcanica.

## RIFERIMENTI

Mastrolorenzo G., Pappalardo L., Piochi M., 2003. **Microlite size distribution in Somma-Vesuvius and Campi Flegrei explosive and effusive eruptions: evidence of timing of magma rising from magma reservoir.** Workshop Vesuvio: dentro il vulcano, Osservatorio Vesuviano, 8-10 maggio 2003.




**Il condotto magmatico è costituito da un insieme di fratture verticali che si dipartono con continuità dalla camera magmatica verso la superficie terrestre. Il condotto può essere eruttivo, se il magma raggiunge la superficie terrestre, o può originare un dicco, se il magma solidifica prima di uscire. L'apertura di un condotto è causata dalla pressione e dalla corrosione esercitate dal magma sulle rocce attraversate nel corso della sua risalita verso la superficie. Tale processo è facilitato nelle zone di debolezza del materiale attraversato; ne consegue che i condotti spesso coincidono con faglie e fratture pre-esistenti.**

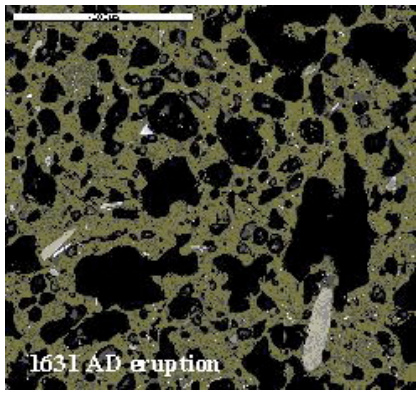


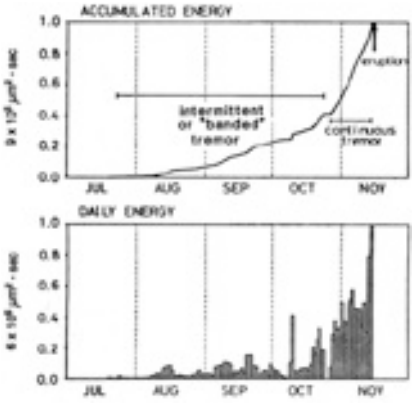

**Immagine al microscopio scansione di una roccia vesuviana. In nero: bolle lasciate dalla fuga del gas; in grigio chiaro: microliti; in grigio scuro: matrice vetrosa**
**(Foto L. Pappalardo)**

# SCENARI

# FENOMENI PRECURSORI

**4B**

| | | |
|---|---|---|
| GENERALITÀ | Sono i **fenomeni**, di tipo **fisico e chimico**, che precedono un'eruzione. Essi includono generalmente variazioni nel numero, nella tipologia e nei meccanismi dei **terremoti**, deformazioni lente, variazioni nelle composizioni dei gas e, variazioni locali di gravità, fenomeni elettrici e magnetici, variazioni delle proprietà meccaniche delle rocce, ecc. I fenomeni precursori sono rilevabili da strumenti e tecniche di vario tipo. Sono generati dalla risalita del **magma** che causa dilatazione e fratturazione delle rocce, apportando nuovi elementi chimici nelle falde acquifere ed in superficie. | 3A<br>2B |
| PROBLEMATICHE | I precursori si rilevano con **le reti** di monitoraggio, ad esempio **sismiche, geodetiche** e **geochimiche.** La corretta interpretazione dei fenomeni precursori permette di prevedere le **eruzioni.** E' difficile però stimare l'intervallo di tempo che separa il manifestarsi dei fenomeni precursori dall'eruzione, così come è difficile dedurre il tipo di eruzione dalle caratteristiche dei precursori. | 3B<br>3E<br>3G<br>4C |
| METODI DI INDAGINE | I principali precursori di eruzioni sono quelli sismici, seguiti dalle deformazioni lente del suolo e da variazioni geochimiche dei fluidi. L'aumento della **sismicità** vulcano-tettonica e l'accadimento di terremoti a bassa frequenza e del tremore (attività sismica continua di bassa energia), il sollevamento del suolo e la dilatazione del vulcano, le variazioni nei gas al suolo e nelle fumarole sono tra i più tipici precursori, osservati in vulcani attivi. . Per riconoscere i fenomeni precursori è necessario conoscere il normale livello di attività durante i periodi di quiescenza in assenza di attività vulcanica (livello di base). Ogni variazione rispetto al livello di base può essere indicativa della ripresa dell'attività vulcanica. Un adeguato monitoraggio di un vulcano prevede installazioni di fitte reti di sensori **(reti sismiche** e **geodetiche)** e diversi punti di **rilevamento geochimico.** Il Vesuvio è uno dei vulcani meglio monitorati al Mondo, con strumentazione all'avanguardia distribuita in fitte reti di monitoraggio. Queste sono gestite dall'Osservatorio Vesuviano – sezione dell' Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. | 3A<br>3B<br>3E<br>3G |
| RISULTATI | L'esperienza recente insegna che vulcani ben monitorati manifestano sempre fenomeni precursori abbastanza evidenti prima di un'eruzione. La coincidenza di fenomeni precursori di più tipi diversi in un dato periodo è il segno più evidente di un'**eruzione** imminente. A volte, però, nonostante i fenomeni precursori l'eruzione non avviene; causando falsi allarmi, questa eventualità costituisce uno dei problemi più seri nella gestione delle emergenze vulcaniche.<br>Le eruzioni recenti di molti vulcani hanno mostrato che i fenomeni precursori più importanti sono legati all'accadimento di **terremoti** a bassa frequenza, che rappresentano le oscillazioni del **magma** nei condotti di risalita.<br>Al Vesuvio, per l'assenza di esperienze dirette su eruzioni recenti, non sono disponibili dati dettagliati sui fenomeni caratteristici dei precursori geofisici e geochimici, per tanto le ipotesi su possibili evoluzioni pre - eruttive, sono basate su esperienze acquisite altri vulcani e modelli generali.<br>In base alle ricerche recenti, si può ipotizzare, che prima di un'eruzione al Vesuvio, si verificheranno terremoti a profondità dell'ordine di 5-10 km e sollevamento del suolo principalmente nell'area craterica. Questi fenomeni dovrebbero iniziare almeno qualche mese prima dell'eruzione. | 4C<br>3A<br>2B<br>2E |
| SVILUPPI | Il riconoscimento e l'interpretazione dei fenomeni precursori rappresenta la priorità a livello mondiale. Le ricerche in corso al Vesuvio, consentiranno di comprendere la possibile evoluzione dei processi pre-eruttivi sismici e deformativi, all'approssimarsi di un'eruzione. | |
| RIFERIMENTI | Chouet, B. A., **Long-period volcano seismicity; its source and use in eruption forecasting**, Nature (London) vol.380, 6572, 1996.<br>Scarpa, R., Tilling, R.I., **Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards**, Springer-Verlag, 1996 | |




**Esempio di un tipico fenomeno precursore sismico dell'eruzione vulcanica di Izu-Oshima. Si nota nelle due figure il forte aumento dell'energia del tremore vulcanico, calcolata dal quadrato dell'ampiezza moltiplicato per la durata. Nella figura in alto è mostrato l'andamento cumulativo, in quella in basso l'andamento giornaliero.**

# SCENARI

# LE ERUZIONI

**4C**

## GENERALITÀ

Le **eruzioni vulcaniche** comprendono una grande varietà di fenomeni, caratterizzati dall'emissione di materiale solido, liquido e gassoso (nella maggior parte dei casi di natura magmatica ma anche in parte di origine sedimentaria) da bocche o fessure eruttive, localizzate su apparati vulcanici preesistenti (come il Somma-Vesuvio) o comunque in aree vulcaniche attive (campi vulcanici, dorsali oceaniche, rift continentali). Le eruzioni sono definite **effusive o esplosive** a seconda che siano caratterizzate da emissione di flussi magmatici liquidi o di materiale magmatico frammentato (piroclastico) e gas. La durata delle eruzioni varia da pochi secondi ad anni ma in alcune aree è presente attività vulcanica persistente (ad esempio: nelle dorsali oceaniche). Il volume di magma eruttato può variare da pochi kg a migliaia di miliardi di tonnellate.

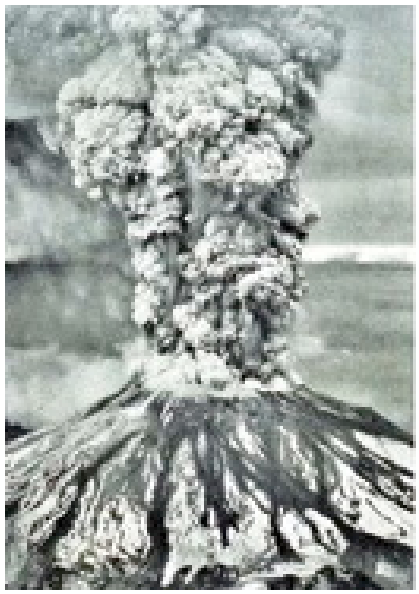
**4D**
**4E**

## PROBLEMATICHE

Le conoscenze sui meccanismi delle eruzioni derivano da studi diretti di eventi, integrati dalle analisi delle rocce eruttive e della loro distribuzione intorno al centro eruttivo, nonchè da studi teorici e modelli numerici (simulazioni di eruzioni).
Eruzioni antiche vengono interpretate per analogia con i prodotti di eruzioni moderne, confrontando i prodotti eruttati da eventi osservati con quelli prodotti in eruzioni passate.

## METODI DI INDAGINE

Un'eruzione vulcanica viene classificata in base alla tipologia di eventi effusivi o esplosivi e alla loro successione (fasi eruttive), al volume totale di materiale eruttato, all'energia termica e cinetica e alle variazioni di composizione dei prodotti, ai meccanismi di deposizione al suolo ed agli effetti su ambiente, strutture, cose individui (umane o animali). Questi dati sono acquisiti attraverso misure dirette alle bocche, durante l'evento, ma nella maggior parte dei casi, dopo l'eruzione, sui prodotti (lave o piroclastiti) attraverso misure di spessore dei depositi e della loro variazione, prelievo di campioni di rocce vulcaniche per analisi fisiche, chimiche, isotopiche.
Gran parte delle conoscenze sulle eruzioni del Somma-Vesuvio sono dedotte da studi delle rocce eruttate, applicazione di modelli fisici ed analisi delle strutture deposizionali e effetti della deposizione.



**Eruzione Pliniana del Monte St Helens Maggio 1980.**

## RISULTATI

Il Somma-Vesuvio ha generato centinaia di eruzioni esplosive ed effusive. Da studi stratigrafici e dalle cronache storiche risulta che la durata delle eruzioni effusive è in genere compresa tra poche ore ed alcuni anni con volume di magma compreso tra centinaia di migliaia e centinaia di milioni di metri cubi. Le eruzioni esplosive hanno durata compresa tra decine di minuti e pochi giorni con volumi eruttati compresi tra poche migliaia di kg (esplosioni di tipo stromboliano) e alcuni miliardi di tonnellate (eruzioni pliniane). L'attività di tipo misto(coesistenza di eventi esplosivi ed effusivi) è caratteristica di eruzioni di piccola o media entità (dell'ordine di un centinaio di milioni di metri cubi di magma) mentre l'attività esplosiva di grande portata (subpliniana e pliniana) non è associata ad effusioni laviche.
Queste ultime eruzioni sono le più devastanti ed intressano aree dell'estensione di centinaia o migliaia di kmq. Sono sempre precedute da stasi dell'attività variabili da decenni a secoli.

**Stratigrafia dell'eruzione subpliniana del Vesuvio del 472 dC. Alla base il deposito da pyroclastic fall sormontato dalla sequenza di pyroclastic surge stratificato. (Foto G. Mastrolorenzo)**

## SVILUPPI

L'obiettivo prioritario della ricerca vulcanologia attuale al Vesuvio, è la comprensione delle relazioni tra i processi che avvengono nella camera e nel condotto e il tipo di eruzione risultante.

## RIFERIMENTI

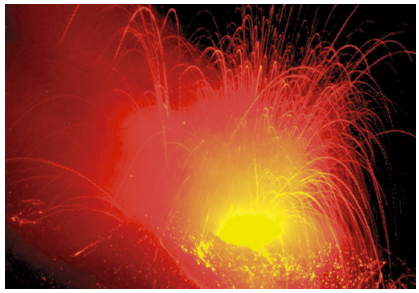

Cas R.A.F., Wright J.W., 1987. **Volcanic successions, modern and ancient**. Allen & Unvin London, 528pp
Scandone R., Giacomelli L., 1998. **Vulcanologia, Principi fisici e metodi d'indagine**. Ed. Liguori
Spera FG, De Vivo B, Ayuso R.A., Belkin H.E. (EDS) 1998 **Vesuvius**. Journ. Volcanol. Geotherm. Res. 82 (Spec. ISSUE) 247 pp.

# SCENARI

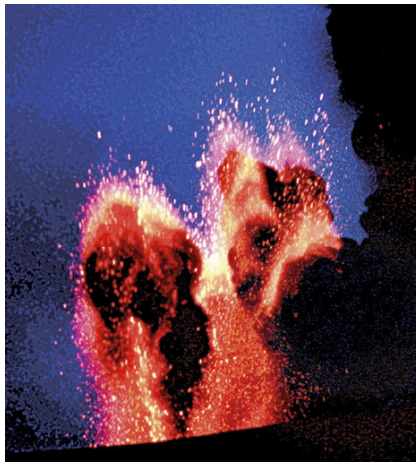
# ERUZIONI ESPLOSIVE

**4D**

| | | |
|---|---|---|
| GENERALITÀ | Le **eruzioni esplosive** comprendono una vasta categoria di manifestazioni eruttive caratterizzate dall'emissione di materiale magmatico e non magmatico frammentato (piroclastico) misto a gas da bocche o fessure eruttive. La tipologia del materiale eruttato e l'abbondanza e le modalità di emissione e di deposizione al suolo definiscono il tipo di eruzione. Nel processo eruttivo possono essere distinte tre fasi: a) la risalita del magma nel condotto, nella quale si verifica la sua frammentazione in cenere, lapilli e blocchi; b) l'emissione del materiale nell'atmosfera (l'eruzione); c) la deposizione del materiale al suolo, per caduta **(fall out)** o flusso piroclastico **(flow o surge).** | 4D2<br>4D3 |
| PROBLEMATICHE | Eruzioni esplosive di piccola e media entità sono frequenti in molti vulcani. Eventi esplosivi si osservano spesso anche in vulcani a stile prevalentemente effusivo. Le grandi eruzioni esplosive sono invece relativamente rare (pochi eventi importanti per decennio su scala mondiale). Pertanto nella maggior parte dei casi si studiano i depositi piroclastici di eruzioni avvenute in passato. Le eruzioni esplosive sono gli eventi a più alto rischio e il loro studio è essenziale per la realizzazione di efficaci **piani di emergenza**, in aree urbanizzate. | 4I |
| METODI DI INDAGINE | Esplosioni stromboliane, fontane laviche, esplosioni di tipo vulcaniano, subpliniano e pliniano (spesso accompagnate dalla generazione di **flussi piroclastici**) sono ricorrenti nella storia del Somma-Vesuvio, ma a parte i pochi casi studiati da osservazioni dirette (eruzione del 1906 e del 1944), i meccanismi di questi eventi sono stati in gran parte dedotti dall'analisi dei depositi piroclastici ad essi associati. L'estensione dei depositi al suolo, lo spessore, la granulometria (descrizione statistica delle dimensioni dei granuli) le caratteristiche microscopiche e la composizione chimica e mineralogica del materiale piroclastico forniscono dati sui parametri fisici dell'eruzione (profondità di origine del magma, velocità di emissione, altezza massima delle colonne eruttive, velocità e tipo di nubi piroclastiche da surge e da flow. | 4D3 |
| RISULTATI | Nell'ultimo decennio le conoscenze sulle eruzioni esplosive del Somma-Vesuvio sono migliorate in modo notevole grazie alla disponibilità di nuovi modelli vulcanologici per l'interpretazione delle caratteristiche dei depositi ed a dettagliati rilevamenti vulcanologici, nonché alla scoperta e/o allo studio di siti preistorici e storici distrutti dalle eruzioni esplosive di tipo Pliniano e subpliniano. E'stato evidenziato come la maggior parte dei depositi da caduta delle eruzioni subpliniane, pliniane e di molti eventi di entità più modesta siano diffusi prevalentemente a Nord Est o ad Est del vulcano ed in misura minore a Sud Est, per effetto di venti di alta quota di direzione prevalente da Sud-SudOvest e subordinatamente da NordOvest.<br>Le **colonne eruttive** subpliniane e pliniane delle eruzioni del Somma-Vesuvio hanno altezze comprese tra circa 15 ed almeno 36 km. La diffusione dei flussi piroclastici densi ad esse associate è limitata a circa sette Km dal vulcano, con temperature ancora comprese tra 400 e 600°C; mentre le nubi da pyroclastic surge turbolente e meno dense raggiungono distanze anche superiori a 15 km ma con temperature inferiori a 100°C. Le eruzioni esplosive subpliniane e pliniane iniziano quasi sempre con fasi da pyroclastic fall di intensità crescente ma si evolvono generalmente con la generazione di pyroclastic flow e surge più volte nel corso dell'eruzione, in genere poche ore dopo il suo inizio. | 4D1 |
| SVILUPPI | L'obiettivo prioritario della ricerca futura sarà lo studio delle proprietà fisiche e delle modalità di propagazione dei flussi piroclastici per valutazioni di rischio. | |
| RIFERIMENTI | Fisher, R.V. and Schmincke, H.U., 1984. **Pyroclastic Rocks**. Sprinter Verlay, Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo, 427pp.<br>Mastrolorenzo G., Munno R. and Rolandi G., (1993) **Vesuvius 1906: a case study of a paroxysmal eruption and its relation to eruption cycles.** J. Volcanol. Geotherm. Res. 58: 217-237. | |



**Esplosione stromboliana all'Etna**
**(Foto G. Mastrolorenzo 2001)**



**Fontana lavica all'Etna**
**(Foto G. Mastrolorenzo 2001)**

**Colonna Eruttiva del 1944 al Vesuvio**
**(USAF, National Archives, via A. Pesce)**

# SCENARI

# COLONNE ERUTTIVE

**4D1**

## GENERALITÀ

Durante le **eruzioni esplosive** di maggiore intensità si ha la formazione di una **colonna eruttiva** costituita da gas e prodotti piroclastici (cenere e lapilli) che si innalza sulla bocca con velocità comprese tra 300 e circa 1000 km/h. **4D**

La colonna completamente sviluppata è costituita de tre parti fondamentali: getto turbolento, ascensione convettiva, espansione laterale. Nella zona basale di getto, la miscela turbolenta di gas e particelle si innalza dalla bocca ad elevata velocità. Tale caratteristica determina un rapido inglobamento ed un efficace miscelamento dell'aria all'interno della colonna. L'aria inglobata si riscalda, diviene meno densa di densità e contribuisce al sollevamento della colonna nell'atmosfera. In tale zona, detta di ascensione convettiva, la dinamica è governata dalle forze di galleggiamento generate dalla minore densità della miscela eruttiva rispetto all'aria circostante. Questa zona si estende per quasi tutta l'altezza della colonna. Alla quota alla quale la densità della colonna coincide praticamente con quella dell'aria esterna, si ha la zona di espansione laterale, in cui la nube eruttiva è libera di espandersi producendo una intensa pioggia di cenere e lapilli **(Pyroclastic fall).** Se però, la colonna eruttiva, esaurita la spinta iniziale non ha una densità sufficientemente bassa per innalzarsi per galleggiamento convettivo, essa collassa ed una enorme valanga di materiali eruttati ad altissima temperatura scorre lungo i fianchi dell'edificio vulcanico causando correnti piroclastiche di densità (pyroclastic flow and surge). **4D2**

## PROBLEMATICHE

Lo studio dettagliato della dinamica delle colonne eruttive, basata su osservazioni dirette di eruzioni, e su analisi stratigrafiche e simulazioni numeriche, è cruciale per conoscere come ed in quanto tempo i prodotti eruttati investiranno il territorio circostante.

## METODI DI INDAGINE

Dell'analisi delle caratteristiche che i depositi piroclastici presentano in campagna e attraverso la mappatura della distribuzione dei depositi da caduta (pyroclastic fall) è possibile ricavare informazioni sulla direzione dei venti in quota e sulla portata e l'altezza della colonna che li ha prodotti.

La simulazione numerica consente di definire le condizioni che portano al collasso della colonna eruttiva e la conseguente generazione di flussi piroclastici che sono la manifestazione più pericolosa di un'eruzione vulcanica.

## RISULTATI

L'analisi dei depositi ed applicazione di modelli fisici alle eruzioni del Somma-Vesuvio hanno fornito dati su: flusso di magma alla bocca, altezza delle colonne eruttive, limiti di stabilità, velocità del vento durante le eruzioni. Dallo studio delle stratigrafie e dai pochi resoconti scritti e fotografici è stato possibile stabilire che al Vesuvio si sono avute eruzioni esplosive che hanno generato colonne alte più di 35 km e che hanno generato più volte disastrosi flussi piroclastici che hanno raggiunto distanze superiori ai 10 km dalla bocca eruttiva. Le eruzioni pliniane e subpliniane formano, in genere, colonne convettive di tipo sostenuto, che perdurano in condizioni di equilibrio per ore. Eventi minori come quelli di tipo vulcaniano e stromboliano (come gli eventi del 1872, del1906 e del 1944) formano colonne di durata minore (da qualche minuto a qualche ora) e a carattere per pulsante.

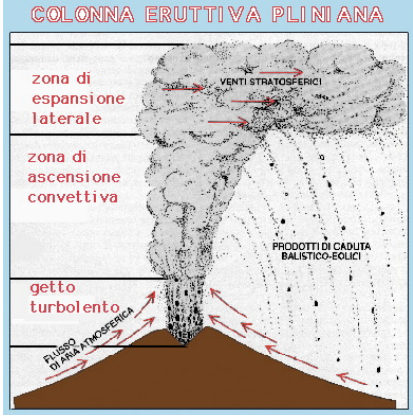
## SVILUPPI

Gli studi futuri sono rivolti principalmente alla definizione delle condizioni che portano al collasso delle colonne eruttive e alla generazione di flussi piroclastici.

## RIFERIMENTI

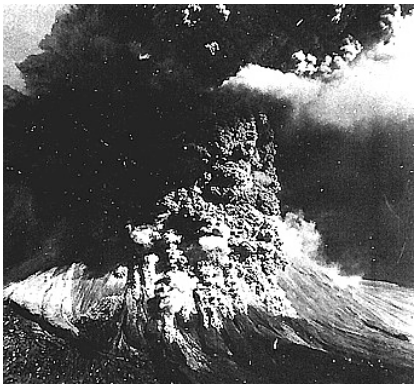

Spera FJ, De Vivo B, Ayuso R.A., Belkin H.E. (EDS) 1998 **Vesuvius.** Journ. Volcanol. Geotherm. Res. 82 ( Spec. ISSUE) 247 pp.

Scandone R., Giacomelli L., 1998. **Vulcanologia, Principi fisici e metodi d'indagine**. Ed. Liguori


**Andamento della colonna eruttiva nel corso di una eruzione esplosiva**

**Colonna Eruttiva del Vesuvio 1779 (Pietro Fabris)**



**Parte del materiale collassa lungo i fianchi del vulcano formando quello che Imbò definì "nubi ardenti in miniatura"**

# SCENARI

# DEPOSITI DA CADUTA (Pyroclastic Fall)

**4D2**

## GENERALITÀ

Nella sistematica generale delle eruzioni esplosive, i **pyroclastic fall** costituiscono una vasta categoria di eventi, diversi per intensità e meccanismi, caratterizzati dall'emissione nell'atmosfera di materiale vulcanico e non vulcanico frammentato e gas e in condizioni di composizione, temperatura e pressione variabili da caso a caso. Il materiale frammentato( piroclastico) comprende cenere (dimensione inferiore ai 2 mm) lapilli (da 2 mm a 6 cm) e blocchi (superiori a 6 cm). Il materiale può essere emesso allo stato solido o ancora fluido (brandelli magmatici), relativamente freddo o ancora incandescente. In proporzioni variabili sono presenti frammenti detti non juvenili che comprendono rocce sedimentarie, antiche lave o rocce intrusive, preesistenti all'eruzione, Il materiale emesso nell'atmosfera a velocità che raggiunge centinaia di metri per secondo, raggiunge altezze variabili (anche decine di km) e si disperde nell'atmosfera sotto l'effetto della gravità e dei venti dominanti. Generando così depositi da **pyroclastic fall,** che secondo il tipo di evento costituiscono: coni piroclastici o depositi stromboliani, vulcaniani, sub-pliniani, pliniani, freatopliniani.

4D1

## PROBLEMATICHE

Alle eruzioni da pyroclastic fall sono spesso associate altre manifestazioni che complicano la dinamica e modificano i depositi. L'individuazione delle cause della transizione da una tipologia all'altra è uno dei principali problemi in corso di soluzione.

## METODI DI INDAGINE

Eruzioni che generano pyroclastic fall si osservano regolarmente in molti vulcani. Sono particolarmente diffuse eruzioni che producono fontane laviche (colonne di lava verticali persistenti per minuti o ore) ed esplosioni stromboliane come quelle tipiche di Stromboli nelle Eolie. Questi sono eventi di modesta portata caratterizzati dalla proiezione di ceneri, lapilli e blocchi di magma a distanza di centinaia o migliaia di metri. Eventi di maggiore portata come quelli detti vulcaniani sono molto più rari, ancora più rare sono le eruzioni **subpliniane e pliniane.** Queste sono caratterizzate dall'innalzamento sulla bocca eruttiva di colonne di gas e materiale piroclastico alte anche decine di km. Sotto l'effetto combinato del vento e della forza di gravità, le particelle si disperdono al suolo, costituendo un deposito piroclastico di spessore decresente con l'aumento di distanza dalla bocca eruttiva. Le linee di eguale spessore del deposito sono definite isopache. La classificazione degli eventi da pyroclastic fall è basata su un indice dell'estensione dei depositi al suolo(dispersione) e del grado di frantumazione del materiale piroclastico (frammentazione). Valori crescenti di questi due indici corrispondono a potenza esplosiva maggiore e all'evoluzione verso colonne più alte e maggiore estensione dei depositi al suolo.

4D1

## RISULTATI

Il Somma-Vesuvio, nella sua storia eruttiva ha prodotto tutte le tipologie di depositi di pyroclastic fall indicando una elevata variabilità dello stile eruttivo. Eruzioni da fontana lavica e stromboliane violente con altezze di lancio di chilometri, sono caratteristiche delle fasi più intense di attività osservata tra il 1631 ed il 1944. In queste, che possono durare anche per ore, vengono emessi milioni di metri cubi di magma che si depositano come scorie anche a vari chilometri dal vulcano. In tutta la storia del vulcano si sono generate almeno 12 eruzioni comprese tra sub-pliniane e pliniane. In questi casi, la durata dell'eruzione è stata di qualche decina di ore con l'emissione di miliardi di metri cubi di magma, dispersi su aree di centinaia o migliaia di kmq. Il flusso medio di magma alla bocca è stato calcolato nell'ordine di decine a centinaia di milioni di chilogrammi per secondo e le altezze comprese tra circa 15 km e almeno 36 km per gli eventi subpliniani e pliniani, rispettivamente. La caratteristica ricorrente di tutte le eruzioni da pyroclastic fall è la dispersione del materiale piroclastico nei quadranti ad est del vulcano, sotto l'effetto dei venti di alta quota di provenienza dai quadranti occidentali. In particolare si è rilevato che la maggior parte dei depositi di eruzioni pliniane sono corientati tra est e nordest, con poche eccezioni (il deposito delle pomici del 79 dopo Cristo è orientato a sudest). Direzioni variabili sono state rilevate in depositi di eruzioni minori ed intermedie.

## SVILUPPI

Ricerche in corso sulla distribuzione areale dei lapilli e delle ceneri prodotte dalle varie eruzioni pliniane e dalle eruzioni esplosive intermedie e minori, forniranno ulteriori dettagli sulle direzioni prevalenti di dispersione del materiale piroclastico sotto l'effetto dei venti dominanti a diverse quote e in diverse stagioni.

## RIFERIMENTI


Walker G.P.L. 1973. "**Esplosive volcanic eruptions : a new classification scheme.**" Geol. Rundsch. 62: 431- 446.

Livadie, C. Albore, Castaldo, N., Mastrolorenzo, G., Vecchio, G. (2001). **Effetti delle eruzioni del Somma-Vesuvio sul territorio di Nola dall'età del Bronzo all'epoca Romana tardiva.** Tephra les dossiers de l'Archeo-logis n°1. CDERAD Goudet.

**Colonna convettiva dell'eruzione del Vesuvio (Marzo 1944)**

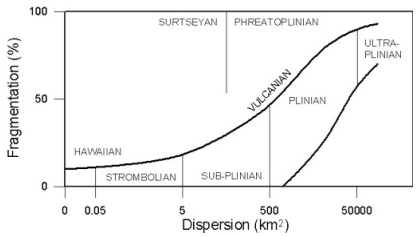
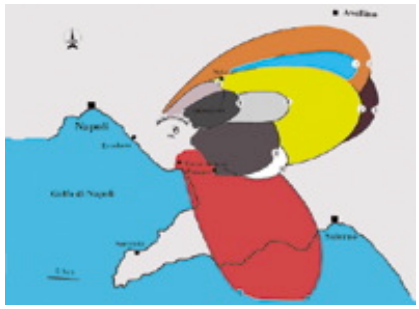



**Diagramma di classificazione dei depositi da pyroclastic fall in relazione al tipo di eruzione modificata da WalKer 1973.**



**Mappe delle isopache delle eruzioni Del Somma –Vesuvio delle principali pliniane, subpliniane e stromboliane:**
**1) Sarno 2) Ottaviano (0 Pomici Gemelle) 3) Avellino, 4) Protostorica A 5) Protostorica B 6) Pompei 7) Pollena 8) 1631 9) 1906 10) 1944**

**(Foto G. Mastrolorenzo)**

# SCENARI

# DEPOSITI DA CORRENTI PIROCLASTICHE (PDCs PYROCLASTIC DENSITY CURRENTS)

**4D3**

## GENERALITÀ

Correnti piroclastiche di densità **(pyroclastic density currents o PDCs)** è un termine proposto recentemente per indicare una vasta classe di eventi, caratterizzati dalla propagazione al suolo di masse di gas e/o liquido e materiale piroclastico più denso dell'aria che avanza a contatto col suolo per gravità e per la velocità iniziale. Includono tutte le tipologie di pyroclastic surge( in genere poco densi, turbolenti e spessi) e di pyroclastic flow (densi per l'elevata concentrazione di particelle, laminari o turbolenti). Le carattersitiche dei PDCs sono estremamente variabili. Lo spessore varia da qualche metro a centinaia di metri, la densità da valori poco superiori a quelli dell'aria (1.3 kg per metro cubo) a prossimi a quelli della roccia densa (2.5 kg per metro cubo). Si originano per diversi meccanismi: collasso di colonne pliniane, flusso diretto dal cratere, esplosioni direzionali da duomi lavici e si propagano a distanze anche di centinaia di chilometri. Flussi secondari di densità si originano durante e dopo eruzioni esplosive per mobilizzazione del materiale piroclastico accumulato sui pendii (lahar, mass flow, debris flow).

**Nube ardente flusso piroclastici turbolento dell'eruzione della montagne Pelèe della Martinique avvenuta nel 1902.**

## PROBLEMATICHE

Le correnti piroclastiche ad alta temperatura avanzano ad elevata velocità, avendo alte capacità distruttive sugli edifici e possibilità di perdita totale di vite umane. Attualmente l'unica difesa dalle correnti piroclastiche di densità è l'evacuazione preventiva dell'area interessata.

## METODI DI INDAGINE

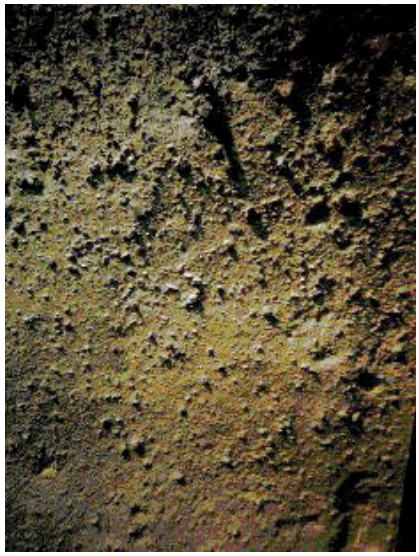
Correnti piroclastiche di densità vengono generate in molte eruzioni anche minori come propagazioni laterali della parte basale di piccole colonne convettive, mentre eventi di maggiore portata sono stati osservati solo poche volte negli ultimi decenni, a livello mondiale. Pertanto gran parte delle conoscenze fisiche dei PDCs sono ricavate oltre che dalle rare osservazioni dirette, dall'interpretazione delle caratteristiche dei depositi e dalle simulazione al computer. Le conoscenze su tali eventi al Somma-Vesuvio sono tutte dedotte dalle analisi vulcanologiche sui depositi e dalla simulazione numerica al computer di flussi con differenti proprietà. Analisi di sezioni stratigrafiche su depositi da PDCs a diversa distanza dal vulcano forniscono dati sulla mobilità e sulla capacità di trasportare frammenti pyroclastici di grande dimensione, nonché sul propabile spessore del fronte dei flussi durante l'avanzamento e sulla temperatura di deposizione. Questi parametri sono calcolati indipendentemente nelle simulazioni numeriche.

**Sequenza di 15 m di surge e flow delle eruzioni delle Pomici di Avellino sul versante Ovest del Monte Somma.**
**(Foto G. Mastrolorenzo)**

## RISULTATI

Ricerche recenti hanno rivelato la presenza di tutte le tipologie di PDCs nella storia del Somma-Vesuvio. I pyroclastic surge caratterizzano prevalentemente le fasi di collasso di colonne pliniane e sub-pliniane. I depositi hanno spessore variabile tra oltre dieci metri presso la bocca e qualche millimetro, per depositi cineritici a distanza dal vulcano. Dall'eruzione pliniana delle pomici di Avellino (3550 anni fa) in poi gli episodi da surge appaiono con più frequenza e spesso sono di natura idromagmatica (dovuti all'interazione esplosiva dell'acqua col magma, in profondità). Alcuni eventi da surge come il primo nella sequenza di Ercolano sono ad alta temperatura e bassa energia cinetica, mentre altri come il secondo ad Ercolano hanno energia sufficiente per abbattere mura e trasportare oggetti. e raggiungono distanze massime dal cratere anche superiori a 15 km. Pyroclastic flow: sono presenti in molte eruzioni, ed in particolare in tutte le eruzioni pliniane alternati ai livelli di lapillo derivanti dal pyroclastic fall. Sono sempre associati al collasso di **colonne pliniane**. Le capacità di trasporto sono molto elevate e la densità è dell'ordine di alcune centinaia di kg per metro cubo. Gli spessori del fronte del flusso sono stimate in alcune decine di metri. Sono prevalentemente distribuiti nei settori meridionali del vulcano e raggiungono distanze massime dal centro di emissione di circa 10 km. Flussi secondari: lahar, debris flow, e correnti iperconcentrate alluvionali sono presenti in diversa misura sia nelle eruzioni pliniane e subpliniane, sia in eventi intermedi (del 1906 e del 1944) e in genere si verificano nelle fasi finali dell'eruzione o nei mesi successivi, per i processi di instabilità sui versanti coperti da materiale piroclastico.

4D1



**Deposito da flusso piroclastico dell'eruzione del Vesuvio del 79 AD**
**(Foto G. Mastrolorenzo)**

## SVILUPPI

Gli studi futuri saranno finalizzati alla definizione sempre più dettagliata delle aree potenzialmente ricoperte, in un futuro evento eruttivo, da questi depositi, che sono le manifestazioni più pericolose associate alle eruzioni esplosive.

## RIFERIMENTI

Cas R.A.F., Wright J.W., 1987. **Volcanic successions, modern and ancient**. Allen & Unvin London, 528pp.

# SCENARI

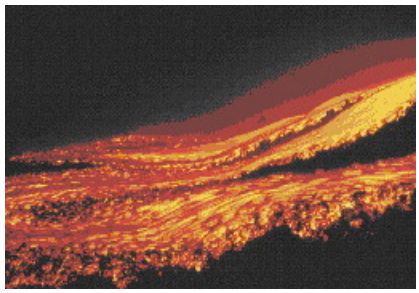
# ERUZIONI EFFUSIVE

**4E**

## GENERALITÀ

Il **vulcanismo effusivo** comprende un'ampia varietà di eventi eruttivi caratterizzati dall'emissione di magma, da bocche eruttive o fessure, che sgorga in superficie scorrendo per gravità e per l'eventuale carico e/o spinta a monte causata dall'effusione stessa. Tipicamente, le eruzioni effusive producono colate laviche con fluidità e modalità di scorrimento dipendenti dalla composizione del magma, dalla temperatura, dal flusso alla bocca e dalla topografia sulla quale scorrono. I duomi o le cupole laviche sono accumuli di lava sulla bocca derivanti dall'alta viscosità e/o dal basso **flusso di magma** e/o dalle particolari conformazioni dell'area eruttiva. Le eruzioni effusive sono gli eventi vulcanici più diffusi a livello mondiale ed è disponibile un'estesissima casistica di studi e misurazioni dirette sulle colate in movimento. In generale in una colata lavica si distinguono tre zone: la bocca, il canale ed il fronte. L'area occupata dai canali e dai fronti di una effusione lavica costituisce il campo lavico che può essere esteso anche centinaia di chilometri quadrati. In base alla loro morfologia superficiale si distinguono colate di tipo pahoehoe e colate aa, le prime caratterizzate da superficie piana o ondulata e le seconde da superficie frammentata, scoriacea.

**2B**



**Colate laviche basaltiche di tipo Hawaiiano**

## PROBLEMATICHE

Nonostante l'estesa bibliografia scientifica disponibile, lo sviluppo di un campo lavico è un processo sempre imprevedibile in quanto controllato da complesse relazioni esistenti tra i parametri fisici delle lava e le asperità topografiche. Gli studi sui campi lavici formati durante eruzioni storiche e preistoriche sono alla base della zonazione del rischio di invasione dell'area alle pendici del vulcano. Complesse simulazioni consentono previsioni probabilistiche sullo sviluppo dei campi lavici ma richiedono la conoscenza della posizione della bocca eruttiva e proprietà fisiche e direzione iniziale delle colate.

**Guache di eruzione effusiva al Vesuvio**

## METODI DI INDAGINE

La dinamica delle colate laviche e lo sviluppo dei campi lavici sono controllati da molti fattori (estensione e forma della bocca eruttiva, flusso, composizione, temperatura, contenuto di gas e cristalli del magma, topografia dell'area interessata allo scorrimento). Questi parametri misurati in molte eruzioni hanno consentito di definire alcune relazioni empiriche tra i parametri fisici, sviluppo ed estensione dei campi lavici e morfologia delle colate. Esistono diverse formule descrittive di tali relazioni ma il parametro che maggiormente influenza lo sviluppo di un campo lavico e la distanza massima raggiunta da una colata è il flusso di magma alla bocca (quantità di magma che fuoriesce nell'unità di tempo). Lo studio di campo di colate già formate consiste nel rilevamento di: posizione ed estensione delle bocche eruttive estensione, spessore, forma dei canali lavici, caratteristiche superficiali della colata, eventuali sovrapposizioni di più unità di flusso. Le analisi di laboratorio sui campioni di lava prelevati comprendono determinazione della composizione chimica e mineralogica e nello studio della tessitura per la valutazione delle proprietà fisiche del magma in condizioni pre-eruttive ed eruttive.

## RISULTATI

Nel corso della sua storia eruttiva il Somma-Vesuvio dopo un periodo, iniziato circa 25000 anni fa, ad attività prevalentemente effusiva, è stato interessato da un alternanza di eventi effusivi ed **eruzioni esplosive** di tipo pliniano, subpliniano, vulcaniane e stromboliane con periodi di ricorrenza rispettivamente di migliaia di anni, secoli, decenni ed anni. In particolare nel corso dell'ultimo periodo iniziato con l'eruzione subpliniana del 1631 e concluso con l'eruzione parossistica del 1944, il Vesuvio è stato interessato da un' intensa attività effusiva che di volta in volta si originava dal cratere sommitale o da fratture poste alle pendici del vulcano, anche a quote relativamente basse come avvenne nel 1860. In generale il volume delle colate laviche del Vesuvio è relativamente modesto e solo sporadicamente i fronti lavici giungono al mare. Almeno nelle ultime migliaia di anni le scarpate interne del Monte Somma hanno costituito ostacolo insormontabile per le colate laviche, eruttate nell'area del Gran Cono. I volumi emessi sono sempre compresi fra qualche milione di $m^3$ e qualche decina di milioni di $m^3$ e tendono a formare campi lavici, talvolta anche molto articolati ma sempre di limitata estensione che raggiungono distanze massime dal cono non superiori a circa 6 km.

**4D**

**Colata lavica di tipo aa dell'eruzione Vesuviana del marzo 1944 incanalata nell'atrio del cavallo**

**(Foto G. Mastrolorenzo)**

## SVILUPPI

L'attività effusiva costituisce una frazione marginale del rischio, causando danni esclusivamente alle proprietà e solo raramente vittime umane. Dato l'enorme patrimonio artistico e archeologico esistente nell'area vesuviane, studi approfonditi sulla probabile modalità di propagazione delle colate laviche durante un'eventuale eruzione effusiva, potranno consentire rapidi interventi al fine di salvare un patrimonio di valore inestimabile.

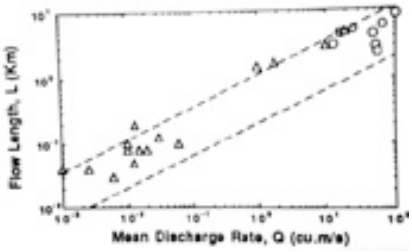



**Diagramma di relazione empirica tra la lunghezza delle colate laviche ( sull'asse delle y) e il flusso di magma ( sull'asse delle x) alla bocca eruttiva**

## RIFERIMENTI


Cas R.A.F., Wright J.W., 1987. **Volcanic successions, modern and ancient**. Allen & Unvin London, 528pp

Spera FG, De Vivo B, Ayuso R.A., Belkin H.E. (EDS) 1998. **Vesuvius**. Journ. Volcanol. Geotherm. Res. 82 ( Spec. ISSUE) 247 pp.

# SCENARI

# EFFETTI DELL'ERUZIONE

**4F**

**GENERALITÀ**

Invasione di centri abitati e campi coltivati da parte di colate laviche, danni alle attività umane per pioggia di ceneri ,danni gravi per intensa deposizione di ceneri e lapilli; seppellimento di insediamenti e crollo di tetti e solai per accumulo di lapilli e ceneri, soffocamento per elevata concentrazione di cenere e gas nell'aria, abbattimento di muri di edifici per la forza di impatto di flussi piroclastici primari e secondari, ustioni o morte per esposizione all'alta temperatura di flussi piroclastici sono tra gli effetti delle eruzioni vulcaniche. Il tipo di eruzione, l'estensione dell'area interessata da un dato fenomeno e la popolazione ed i beni esposti definiscono l' entita' degli effetti.

**PROBLEMATICHE**

Lo studio degli effetti di eruzioni passate e lo sviluppo di modelli fisici descrittivi di possibili eruzioni future sono essenziali per comprendere i possibili effetti delle eruzioni future su territori esposti al rischio vulcanico come quello vesuviano.

**METODI DI INDAGINE**

Lo studio degli effetti delle eruzioni richiede l'intervento di varie discipline, tra cui principalmente: vulcanologia, sismologia, ingegneria civile, fisiologia, antropologia, archeologia. La ricerca si svolge in due direzioni: a) analisi degli effetti di eruzioni passate; b) valutazione degli effetti di future eruzioni mediante l'applicazione di modelli fisici delle eruzioni e simulazioni al computer.
Il punto a) richiede l'analisi interdisciplinare di siti preistorici e storici interessati da eruzioni, analizzando gli effetti in relazione alle tipologie dei depositi vulcanici. Gli effetti meccanici quali impatti, demolizioni, trascinamento di strutture, oggetti persone ed animali sono rilevabili direttamente dallo studio di resti di insediamenti e valutabili mediante approcci fisici ed ingegneristici.
Effetti chimici e termici sono rilevabili da analisi di laboratorio a differente scala su materiali inorganici ed organici. Gli effetti delle colate laviche e di eruzioni minori si evincono solo da cronache storiche.

**RISULTATI**

Recenti ricerche sul Vesuvio hanno rivelato gli effetti delle eruzioni passate e le simulazioni numeriche hanno fornito indicazioni sui possibili effetti di eruzioni future. L'eruzione pliniana delle Pomici di Avellino (3550 ani fa), quella del 79 dopo Cristo e l'eruzione subpliniana del 472 dopo Cristo hanno lasciato tracce di estese devastazioni in villaggi dell'età del Bronzo Antico e in città e villaggi di Età Romana e di Età Tardoantica rispettivamente. Studi stratigrafici e fonti storiche indicano estese devastazioni ed almeno 4000 vittime nel corso dell'eruzione subpliniana del 1631. Queste evidenze, oltre a dati stratigrafici di eruzioni preistoriche avvenute 18000 (Pomici di Base) e 7900 (Pomici di Ottaviano) anni fa, indicano che nei settori ad Est del vulcano spessori di lapillo pomiceo di oltre un metro, sufficienti per causare il crollo di solai, sono rilevabili fino a distanze di 15 km. L'abbattimento di strutture per l'impatto dei flussi piroclastici è evidente a Pompei (10 km dal vulcano).
E' stato documentato il seppellimento di intere aree urbane di età romana a Nola ( 15 km dal vulcano) per flussi secondari (lahar, alluvioni) indotti dall'eruzione del 472 dopo Cristo. Effetti dell'alta temperatura dei flussi piroclastici sono documentati ad almeno 12 km dal Vesuvio. Gli effetti delle colate laviche sono localizzati nell'area immediatamente circostante il vulcano e generalmente sono limitate ai beni (edifici, infrastrutture); solo raramente hanno prodotto vittime.

**SVILUPPI**

Nuovi ritrovamenti forniranno dati più dettagliati sugli effetti nei vari siti e consentiranno di confermare i risultati delle simulazioni numeriche.

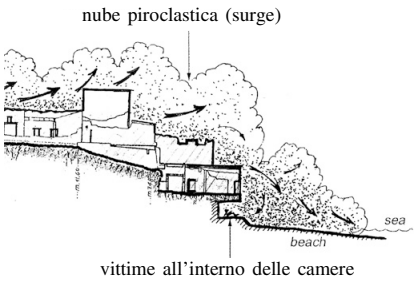
**RIFERIMENTI**


Mastrolorenzo G., Petrone P.P., Pagano M., Incoronato A., Baxter P. J., Canzanella A., Fattore L., 2001. **Herculaneum victims of Vesuvius in AD 79**, Nature, 410, 769-770.
Mastrolorenzo, G., Palladino, D., Vecchio, G., Taddeucci., J. **Th 472 AD Pollena eruption of Somma-Vesuvius (Italy) and its environmental impact at the end of the Roman Empire**. J. Volcanol. Geotherm. Res.113 (2002) 19-36.
Rossano, S., Mastrolorenzo, G., De Natale, G. 1998. **Computer simulations of pyroclastic flows on Somma-Vesuvius volcano.** J. Volcanol. Geotherm. Res. 82:113-134.

**Lapillo dell'eruzione del 79 AD a Pompei ricopre grandi anfore**

**Eruzione del 472 d.C. Flussi secondari alluvionali riempiono un anfiteatro romano a Nola**

**(Foto G. Mastrolorenzo)**




**Schema dell'avanzamento della nube da pyroclastic surge sulla città di Ercolano**

# SCENARI

# BIOGEOARCHEOLOGIA

**4G**

## GENERALITÀ

Il complesso del Somma - Vesuvio e il contesto geografico di pianure e rilievi circostanti sono caratterizzati da ambienti estesamente antropizzati sin dall'Età del Bronzo e soggetti a eventi catastrofici ricorrenti di tipo Pliniano e sub-Pliniano. Le innumerevoli evidenze sulle relazioni tra l'ambiente geografico, gli eventi naturali e il contesto antropico rendono in tal modo la Campania un riferimento mondiale per la ricerca biogeoarcheologica. La **biogeoarcheologia** è un campo di studi interdisciplinare che si basa sulla acquisizione e l'integrazione di dati archeologici, tafonomici, bioantropologici, vulcanologici e geofisici.

## PROBLEMATICHE

Lo studio di sito consente l'individuazione delle relazioni tra stratigrafie vulcaniche e stratigrafie archeologiche, con particolare attenzione alle strutture deposizionali dei prodotti vulcanici e all'interazione con le evidenze archeologiche, bioarcheologiche e bioantropologiche.

## METODI DI INDAGINE

L'indagine biogeoarcheologica consente di comprendere l'assetto del territorio al momento dell'eruzione e gli effetti causati dai prodotti vulcanici sugli insediamenti umani e sull'ambiente naturale. La fase principale prevede l'individuazione, analisi e rilievo in dettaglio di tutte le evidenze di sito, basandosi su tecniche di indagine tafonomica (studio delle modifiche successive al seppellimento) macro e microstratigrafica, e l'interpretazione dell'insieme del record di sito.
L'integrazione di ricerca interdisciplinare di campo, analisi di laboratorio e modellistica ha condotto alla valutazione degli effetti meccanici, termici e chimici sui suoli, le strutture, gli oggetti, le vittime umane e animali e sui resti biologici (ossa umane e animali, resti vegetali macro e microscopici), relativamente alle eruzioni più importanti che hanno interessato l'area vesuviana e le pianure circostanti dall'Antica Età del Bronzo (II millennio a.C.) alla tarda Età Imperiale (metà del I millennio d.C.).

## RISULTATI

Di particolare rilievo sono gli studi recenti relativi alle due eruzioni Pliniane delle Pomici di Avellino (~ 3600 anni fa) e di Pompei (79 A.D.) e alle sub-Pliniane di epoca protostorica (I millennio a.C.) e di Pollena (472 A.D.).
I risultati conseguiti indicano che nel caso delle due eruzioni Pliniane gli effetti meccanici e termici più devastanti sono associati alla deposizione dei surge piroclastici (nubi poco dense ad alta temperatura) e dei flussi piroclastici (nubi ad alta densità, elevata energia cinetica e alta temperatura). Per le due eruzioni sub-Pliniane gli effetti principali sono invece associati ai fenomeni indotti di sovralluvionamento, colate di fango ed esondazioni.
Lo studio dei dati tafonomici, geofisici e bioantropologici di sito parallelamente ad analisi paleomagnetiche, istologiche e morfologiche su ossa e denti delle vittime, in accordo con modelli e simulazioni numeriche, indicano temperature di deposizione anche superiori ai 500°C come nel caso di Ercolano.
In genere, i depositi da surge piroclastici a grana molto fine hanno caratteristiche di avanzamento a bassa velocità e di rapida deposizione, che consente di preservare intatti strutture, oggetti e vittime umane e animali.

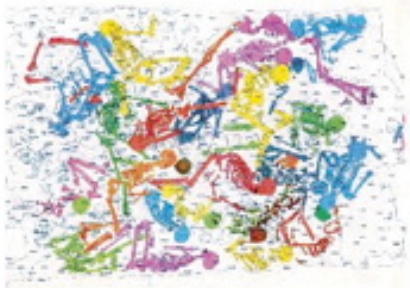
## SVILUPPI

La ricerca biogeoarcheologica è strumento essenziale per la valutazione degli effetti ambientali delle eruzioni e del rischio vulcanico applicabile anche in altre aree e, in generale, utile a tracciare le linee guida per una metodologia di ricerca scientifica nei siti archeologici.

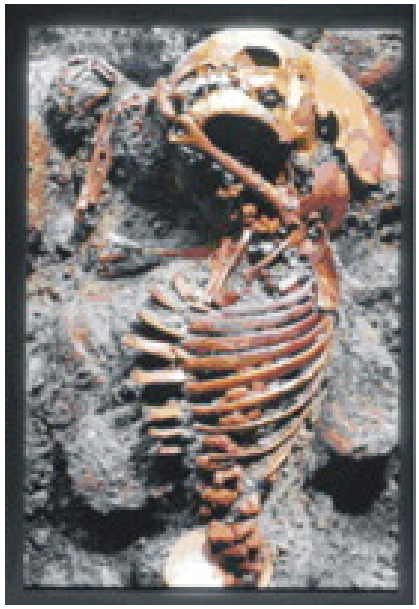
## RIFERIMENTI


Mastrolorenzo G., Petrone P.P., Pagano M., Incoronato A., Baxter P. J., Canzanella A., Fattore L., 2001. **Herculaneum victims of Vesuvius in AD 79**, Nature, 410, 769-770.
Mastrolorenzo G., Petrone P.P., 2000. **Studi scientifici sull'eruzione e i suoi effetti**, in: M. Pagano (a cura di): Gli Antichi Ercolanesi. Antropologia, Società, Economia, Electa Napoli, 51-59.
Petrone P.P. & Fedele F. (a cura di), 2002. **Vesuvio 79 A.D. Vita e morte ad Ercolano**, Napoli.

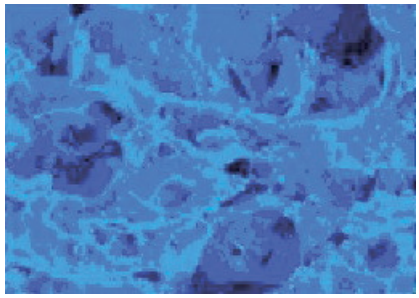
**Veduta degli scavi di Ercolano e dei fornici sull'antica spiaggia (Foto G. Mastrolorenzo)**



**Fotogrammetria delle vittime nel fornice 10 di Ercolano**



**Una delle vittime ercolanesi dell'eruzione del 79 A.D. (Foto P. Petrone)**



**Fotografia al microscopio elettronico (SEM) della cenere vulcanica del primo livello da** surge **piroclastico ( 79 A.D.) che ingloba gli scheletri**

# SCENARI

# EVENTI SISMICI E DEFORMAZIONI DEL SUOLO TRA FONTI STORICHE E ARCHEOLOGIA

**4G1**

**GENERALITÀ**

I terremoti e le eruzioni sono tra i fenomeni geofisici che più intensamente interagiscono con i sistemi abitativi e culturali di una regione. Nelle aree vulcaniche entrambe le fenomenologie sono presenti. Nell'area vesuviana, la fertilità del suolo, le caratteristiche del territorio e il clima favorevole hanno incoraggiato l'uso del territorio fin dai tempi preistorici. Considerando la contemporanea attività del vulcano, è da ritenere che le fenomenologie ad essa collegate abbiano diffusamente condizionato la distribuzione, l'organizzazione e l evoluzione degli insediamenti nell'area. Lo studio degli effetti indotti e le svariate forme in cui un evento è stato "registrato" permettono pertanto la rilettura e l'indagine sistematica della storia del Vulcano.

**PROBLEMATICHE**

L'analisi delle fonti storiche e l'indagine geoarcheologica sono utili per la ricostruzione della storia del vulcano. La diversità di eventi e l'evoluzione sociale nel tempo (l'organizzazione politico - amministrativa e religiosa, le potenzialità culturali, le strutture abitative) non consentono uno standard interpretativo costante per l'intero segmento temporale potenzialmente utilizzabile.

**METODI DI INDAGINE**

L'indagine storica è attiva da lungo tempo, grazie all'ingente mole del materiale disponibile, e la produzione di fonti si é particolarmente intensificata in occasione dei più grandi eventi, come nel caso dello straordinario successo editoriale innescato dall'eruzione del dicembre 1631, quando una sessantina di lavori videro la luce già nei primi sei mesi successivi l'evento. In un'area vulcanica la grandiosità degli eventi eruttivi rende prevalenti, nelle testimonianze storiche, alcuni aspetti rispetto ad altri, il che spesso ha condizionato pesantemente l'interpretazione del fenomeno vulcanico in se (p.es. tempistica e durata), nonchè la valutazione degli eventi "minori" (es.: precursori; eventi sismici contemporanei, deformazioni superficiali). Solo più di recente l'indagine si è rivolta anche alla ricognizione di tutte le possibili tracce di fenomeni legati all'eruzione che, difatti, possono essere registrati anche nei depositi o sui manufatti, a testimonianza del meccanismo del fenomeno e dell'interazione con l'ambiente preesistente, sia naturale che antropico. A questa ultima categoria afferisce lo studio delle fonti archeologiche, per il territorio vesuviano particolarmente abbondanti.

**RISULTATI**

Sull'eruzione del 79 d.C. in particolare esiste una pregevole produzione letteraria contemporanea, relativamente alle manifestazioni sismiche contemporanee e precedenti all'evento, anche da testi epigrafici e rappresentazioni a rilievo ed, in particolare, da recenti indicazioni provenienti da indagini archeologiche interpretabili come ripetuti sollevamenti dell'apparato vulcanico precedenti l'eruzione. Per quanto riguarda la sismicità essa è rilevata nel 37 d.C. in relazione alla morte di Tiberio, quindi nel 62, quando si verifica il più distruttivo terremoto dell'area reso celebre da Seneca, e nel 64 d.C., in occasione della prima rappresentazione di Nerone a Napoli. Poi, ad eruzione iniziata, forti terremoti sono segnalati nelle famose lettere di Plinio il Giovane indirizzate a Tacito. Anche se non databili, altri terremoti sono registrati dalle stesse fonti prima e subito dopo il 62 d.C., appena prima del 79 d.C., facendo presupporre uno scenario sismico molto più articolato e con punte energetiche ascrivibili ai primi anni 60, ai primi e alla fine degli anni 70, date su cui convergerebbero anche ricostruzioni e ripristini di edifici pubblici e privati delle città intorno al Vesuvio. Prima dell'eruzione inoltre, ripetute crisi idriche avevano influenzato la più nota di tali città, Pompei dove erano in corso, e da lungo tempo, lavori per la costruzione di un nuovo acquedotto e, precedentemente, erano già cambiate le modalità di approvvigionamento. I depositi lasciati all'interno dei condotti, infatti, testimoniano l'utilizzazione di due differenti fonti idriche. Un sollevamento relativo del vulcano, per la prima volta documentabile, può ben spiegare le evidenze riscontrate.

**SVILUPPI**

La conoscenza dei tempi e dell'evoluzione del fenomeno vulcanico, nonchè dei processi che lo hanno preceduto, rilevabili da testimonianze e rilevazioni di vario tipo, fra cui quelle sopra citate, si rivela necessaria per la mitigazione del rischio vulcanico. I risultati dei recenti studi confermano la predisposizione naturale dell'area napoletana per sperimentazione di nuove metodologie di ricerca in campi come quello archeologico, in cui introdurre finalità di ricerca proprie della geofisica per elaborare stime di pericolosità adeguate alle esigenze attuali.

**RIFERIMENTI**


Marturano A. e Scaramella P. (1997). **L'eruzione del 1631 dedotta dall'analisi delle relazioni sincrone**. In: Luongo G. (a cura di ) "Mons Vesuvius", Fiorentino (Ed.), Napoli, 115-130.

Marturano A., Nappo S.C., Varone A. (2003). **Trasformazioni territoriali legate all'eruzione del Vesuvio del 79 D.C.** 2nd International Conference: Archaeology, Volcanism & Remote Sensing. Sorrento (Italy) June 20-22, 2001 (In press).

**Lavori in corso a Pompei al momento dell'eruzione del 79 d.C. per la costruzione del nuovo acquedotto. Si noti la trincea scavata per la messa in posto dei nuovi tubi in sostituzione delle vecchie fistule poste più in superficie.**

# SCENARI

# STUDI PALEOBIOLOGICI

**4G2**

| | | |
|---|---|---|
| GENERALITÀ | La **paleobiologia** è un campo di indagine rivolto principalmente allo studio delle caratteristiche biologiche e antropologico - fisiche di popolazioni umane vissute nel passato. Lo scheletro costituisce in tal senso il principale (e nella maggior parte dei casi l'unico) registro di tutto ciò che accade in vita all'individuo e diversi tipi di indagini ne consentono una ricostruzione in dettaglio: si possono così ottenere informazioni demografiche, patologiche, nutrizionali, genetiche. Ma le tecniche utilizzate per lo più in laboratorio trovano applicazione anche sul campo, nel corso dell'indagine archeologica, con risultati non altrimenti ottenibili, in modo particolare nelle ricerche **di biogeoarcheologia**. | 4G |
| PROBLEMATICHE | L'analisi comparata di sito dell'insieme delle evidenze bioantropologiche, tafonomiche, archeologiche e vulcanologiche permette l'individuazione e la valutazione degli effetti termici e meccanici sulle vittime umane (e animali) indotti dalla deposizione dei prodotti piroclastici di eruzioni vulcaniche. | |
| METODI DI INDAGINE | L'analisi in dettaglio delle **relazioni stratigrafiche** e microstratigrafiche di sito relative alle posture dei corpi (attraverso lo studio delle posizioni assolute degli scheletri e relative delle singole parti anatomiche) di vittime di eruzioni consente di definire l'entità degli effetti meccanici e termici, nonché di valutare le possibili cause di morte. Le evidenze di fratture della ossa piatte e/o lunghe e dei denti, la colorazione delle ossa, la particolare contrazione fisiologica di mani e piedi (flexor o nociceptive reflex, riflesso flessorio istantaneo dovuto alla risposta di stress da parte dei nocicettori cutanei) e la presenza di particolari posture del corpo (pugilistic attitude, causata dalla disidratazione ed accorciamento della muscolatura), così come le modifiche morfologiche a livello strutturale ed ultrastrutturale dell'osso, sono tutti indicatori puntuali dell'azione dell'elevata temperatura sull'individuo e sullo scheletro. | 1B |
| RISULTATI | Notevoli risultati sono stati conseguiti nel caso dei siti di Ercolano (eruzione Pliniana del 79 A.D.) e di San Paolo Belsito (Nola, eruzione Pliniana delle Pomici di Avellino, c.a. 3550 anni fa).<br>Nel primo caso, lo studio delle posture assunte al momento dell'impatto con la nube ardente del primo **surge**, indicativo dell'assenza di qualsiasi reazione cosciente, insieme alla perfetta preservazione delle connessioni anatomiche e alla carbonizzazione delle ossa sono indicativi di una morte istantanea per shock termico (fulminant shock sindrome) e di una scomparsa dei tessuti molli (per vaporizzazione) e della rapida sostituzione da parte della cenere a causa dell'elevata temperatura del surge. Le fratture del cranio (per effetto diretto del calore sull'osso ed indiretto per ebollizione della massa cerebrale), delle ossa lunghe e dei denti, la colorazione dell'osso e le modifiche istomorfologiche sono indicative di un'esposizione dell'osso a più di 500°C, temperatura confermata dalle analisi paleomagnetiche. Nel caso di Nola, l'analisi delle posture fisiche, l'assenza di effetti diretti sulle ossa e l'inglobamento nel letto di pomici indicano una morte per soffocamento. | 4D3 |
| SVILUPPI | Gli studi paleobiologici applicati in ambito geoarcheologico costituiscono uno strumento univoco per valutare gli effetti all'atto della deposizione di prodotti vulcanici sulle vittime di eruzioni e, più in generale, stabilire le caratteristiche dei depositi stessi e dei flussi piroclastici. Il continuo ritrovamento di vittime di eruzioni ed in particolare di quella del 79 d.c. nell'area vesuviana fornirà informazioni sempre più dettagliate sugli effetti delle varie fasi dell'eruzione su cose e persone. | |
| RIFERIMENTI | Mastrolorenzo G., Petrone P.P., Pagano M., Incoronato A., Baxter P. J., Canzanella A., Fattore L., 2001. **Herculaneum victims of Vesuvius in AD 79,** Nature, 410, 769-770.<br>Mastrolorenzo G., Petrone P.P., Pagano M., Incoronato A., Baxter P. J., Canzanella A., Fattore L., Fergola L., 2001. **The 79 AD Vesuvius plinian eruption at Herculaneum and its impact on the people**, in Tephras. Chronology, Archaeology, a cura di E. Juvigné e J.P. Raynal, CDERAD, Goudet 2001, pp. 183-189.<br>Petrone P.P. & Fedele F. (a cura di), 1999. **Un'eruzione vesuviana 4000 anni fa**, Fredericiana ed., Napoli.<br>Petrone P.P. & Fedele F. (a cura di), 2002. **Vesuvio 79 A.D. Vita e morte ad Ercolano**, Fredericiana ed., Napoli. | |

**Frattura da calore della diafisi femorale (Fornice 5, Ercolano) (Foto P. Petrone)**

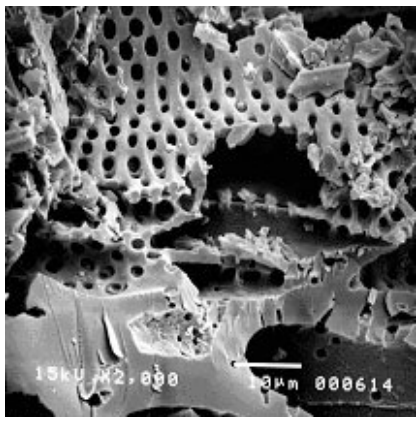



**Immagine al Sem dei residui carboniosi rinvenuti all'interno del cranio (Fornice 10, Ercolano)**

**Una delle due vittime dell'eruzione pristorica delle Pomici di Avellino, rinvenute a San Paolo Belsito (Nola, antica Età del Bronzo, 3650 anni fa). (Foto P. Petrone)**

# SCENARI

# SIMULAZIONE DI ERUZIONI

**4H**

## GENERALITÀ

La **simulazione di eruzioni vulcaniche** è la riproduzione al computer, tramite metodi numerici applicati alla risoluzione di equazioni descrittive dei processi fisici (modelli) , delle fenomenologie eruttive. Particolare attenzione è rivolta alla simulazione dei flussi piroclastici a causa della loro alta pericolosità. Al Vesuvio flussi piroclastici sono associati a tutte le **eruzioni altamente esplosive** e in particolare, durante gli eventi più recenti (1631, nel 472 dC e nel 79 dC), sono stati causa di decine di migliaia di vittime.

**4D**

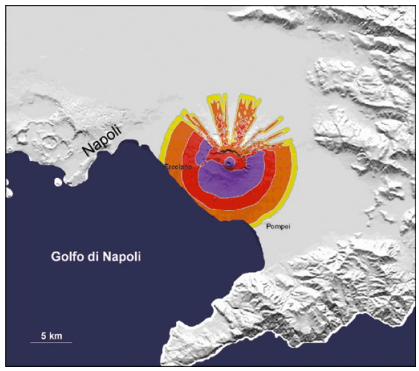
**Mappa digitalizzata dell'area vesuviana sulla quale si propagano i flussi piroclastici generati dal computer.**

## PROBLEMATICHE

La simulazione al computer delle eruzioni vulcaniche è fondamentale per conoscere l'area coinvolta dalle diverse fenomenologie eruttive al fine di elaborare mappe di pericolosità e di rischio (prodotto della pericolosità x valore esposto x vulnerabilità) vulcanico. Le principali limitazioni della simulazione sono 1) la complessità dei modelli fisico - matematici 2) la scelta dei valori dei parametri da considerare e del modello fisico –matematico, che ben riproducono la realtà.

## METODI DI INDAGINE

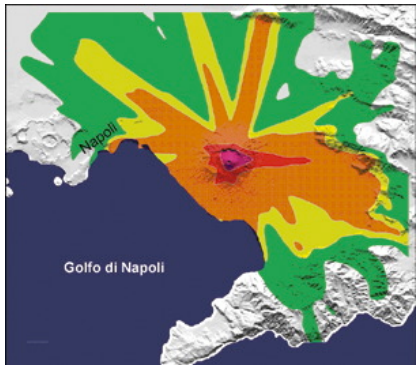
Per la simulazione dei flussi piroclastici al Vesuvio sono stati adottati metodi probabilistici diretti e inversi. L'approccio diretto consiste nella simulazione al computer di migliaia di flussi, con diversi valori delle caratteristiche fisiche principali quali viscosità, densità, spessore, e velocità iniziale, che si propagano a 360 gradi intorno al centro di emissione, utilizzando come base topografica la carta digitalizzata della regione vesuviana. L'approccio probabilistico consiste nel calcolare la frequenza con la quale ogni località dell'area vesuviana viene attraversata da uno qualunque delle migliaia di possibili flussi piroclastici considerati. Tale valore è indice della pericolosità di ogni singolo luogo. Infine, col metodo inverso partendo dalla distribuzione dei prodotti di eruzioni del passato, si risale alle proprietà dei flussi che li hanno generati.




**Mappa delle velocità dei flussi piroclastici dell'eruzione del 79 dC, basata sui valori più probabili determinati a partire dai dati stratigrafici rilevati sul terreno (Metodo Inverso)**
**Velocità iniziale 100 m/s, spessore del flusso 5m, densità 1000 kg/m$^3$**
**Viscosità 30 Pa s**

## RISULTATI

Dal metodo diretto si ricavano mappe dalle quali è possibile conoscere i valori di velocità e di altri parametri, quali regime di flusso (laminare o turbolento) dei flussi in ogni località.
Utilizzando i risultati del metodo inverso si è dedotto che nell'eruzione del 79 dC i flussi piroclastici raggiunsero la città di Ercolano ad una velocità di 25 m/s pari a 90 km/h.
Utilizzando il metodo probabilistico è possibile costruire la mappa dei valori della pericolosità, che generalmente decresce con la distanza dal vulcano. Le simulazioni al Vesuvio mostrano,però, che la distanza dal cratere non è l'unico parametro da considerare per la valutazione del rischio da flussi piroclastici.
Particolarmente rilevanti sono, infatti, gli effetti dovuti ai rilievi topografici, come la cresta del Monte Somma per le eruzioni di debole e media intensità e i rilievi appenninici per le più energetiche.
I maggiori rilievi causano infatti deviazioni e incalanamento dei flussi anche nel verso opposto a quello di provenienza (back flow).
Le simulazioni, in accordo con lo studio dei depositi vulcanici e degli effetti sulle cose e sulle persone, hanno dimostrato che flussi altamente energetici, con spessori compresi tra 10 – 30 m, densità di centinaia di kg/m$^3$ e velocità iniziali di 100 m/s hanno ancora capacità distruttive anche a distanze superiori a 10 km dal vulcano.




**Mappa di pericolosità del Vesuvio da flussi piroclastici basata sulla probabilità di ogni luogo di essere raggiunto dai flussi (Metodo Probabilistico). Le gradazioni di colore dal rosso al verde rappresentano gradi decrescenti di pericolosità.**

## SVILUPPI

Lo sviluppo futuro della modellistica numerica è orientato alla simulazione tridimensionale dei flussi piroclastici che tenga conto della topografia dettagliata dell'area vesuviana ed in particolare delle conseguenze dovute all'impatto con i centri abitati.

## RIFERIMENTI

**Le Scienze volume speciale sul Vulcanismo.**
Scandone, R., Iannone, R.F., and Mastrolorenzo, G., 1986. **Stima dei parametri dinamici dell'eruzione del 1944 del Vesuvio.** Boll. Gruppo Naz. Vulcanol. GNV. 2: 287-512.
Rossano, S., Mastrolorenzo, G., De Natale, G. 1998. **Computer simulations of pyroclastic flows on Somma-Vesuvius volcano.** J. Volcanol. Geotherm. Res. 82:113-134.

# SCENARI

# DISPERSIONE DI CENERI VULCANICHE

**4H1**

## GENERALITÀ

**4D**
**4D1**

Durante le **eruzioni esplosive pliniane, subpliniane, vulcaniane e stromboliane** si forma una **colonna eruttiva** di gas e particelle piroclastiche a forma di fungo alta anche decine di km. La parte sommitale, detta regione di ombrello si espande sotto effetto della turbolenza atmosferica, della diffusione nell'atmosfera e dell'inglobamento di aria e si muove sotto l'azione dei venti. Sotto effetto della gravità, le particelle cadono depositandosi a diverse distanze a seconda della loro velocità di caduta. La velocità di caduta delle particelle dipende dalle loro densità e dimensioni, nonché dalla densità e viscosità dell'aria (che diminuiscono con la quota).

## PROBLEMATICHE

Depositandosi le ceneri possono formare strati di decine di centimetri anche a diversi km di distanza dal vulcano. In aree urbanizzate, oltre a provocare vari disagi alla popolazione, gli spessori di ceneri che si accumulano sui tetti possono causarne il crollo.

## METODI DI INDAGINE

La descrizione dell'evoluzione e della deposizione della nube di ceneri vulcaniche, in condizioni reali, richiede l'uso di simulazioni numeriche al computer che permettono di risolvere le equazioni che descrivono la risalita della nube, la sua diffusione nell'atmosfera e la caduta del materiale.
Tali equazioni includono una serie di parametri, quali altezza e forma della colonna, profilo del vento, massa eruttata e distribuzione delle velocità di caduta delle particelle all'interno della colonna. Questi dati non sempre sono disponibili direttamente e possono Essere necessari dati provenienti da indagini di campagna (spessori osservati) e di laboratorio (analisi granulometriche e dei componenti).

## RISULTATI

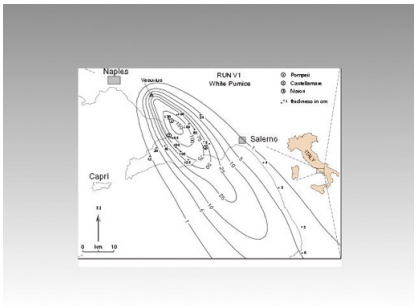
I modelli fisico - numerici (sviluppati negli ultimi venti anni) per predire la dispersione delle ceneri da una nube sono relativamente recenti e permettono di descrivere il trasporto e la distribuzione al suolo delle particelle. Nel caso del Vesuvio, questi metodi hanno permesso la definizione di una mappa di probabilita' per l'area potenzialmente interessata dal rischio di crollo dei tetti dovuto all'accumulo di ceneri vulcaniche. La riproduzione al computer delle isopache (spessori al suolo) di eruzioni preistoriche e storiche del Somma-Vesuvio ha permesso di stimare i parametri che controllano la dispersione atmosferica delle ceneri. Per l'eruzione pliniana del 79 dC la simulazione numerica, in accordo con altre stime, indica un volume totale di circa 4 $km^3$ di pomici, un altezza della colonna eruttiva variabile tra 27 e 33 km, e velocità medie del vento da 12 a 27 m/s.

## SVILUPPI

L'evoluzione dei mezzi di calcolo, l'integrazione dei dati di campagna ed una migliore conoscenza dei possibili profili del vento nell'area napoletana dovrebbe portare nel prossimo futuro, alla realizzazione di modelli fisico-numerici in grado di descrivere in modo easuriente gli aspetti legati alla ricaduta delle ceneri vulcaniche e conseguentemente alla realizzazione di mappe di rischio sempre piu' affidabili.

## RIFERIMENTI


Bonadonna, C, Macedonio, G., Sparks, RSJ, 2002. **Numerical modelling of tephra fallout associated with dome collapses and volcanian explosions: application to hazard assessment on Montserrat.** The Geological Society of London , 21, 517-537.
T. Pfeiffer, A. Costa, G. Macedonio. **Physical modelling of ash-fall at Vesuvius.** Abstract Workshop Vesuvius:inside the volcano, 8-10 maggio 2003, Osservatorio Vesuviano, Ercolano.


**Isopache ricostruite, della dispersione di pomici bianche dell'eruzione del 79 dC.**


**Scheda realizzata da: A. Costa**

# Vol. I Parte II (in preparazione)


1A1 Cicli eruttivi
1A2 L'eruzione del 79 d.C.
1B1 Datazioni radiometriche
1B2 Paleomagnetismo
1C Vulcanotettonica
1C1 La caldera del Monte Somma

2A1 Tomografia con scoppi artificiali
2A2 Tomografia con terremoti
2A3 Tomografia con telesismi
2B1 Petrologia sperimentale
2B2 Geochimica isotopica
2B3 Geobarometri e Geotermometri
2B4 Inclusioni fluide vetrose

3A1 Il sismografo
3A2 Reti sismiche
3B1 Localizzazione dei terremoti
3B2 Meccanismi focali dei terremoti
3B3 Intensità magnitudo e momento sismico
3B4 Analisi spettrale dei terremoti
3B5 Calcolo del momento sismico
3B6 Antenne sismiche
3D1 Il GPS
3D2 Livellazione geometrica
3D3 Il SAR
3D4 I Clinometri
3D5 Strain Meter
3F Gravimetria
3G Idrometria

4D5 Eruzioni Freatomagmatiche
4D6 Eruzioni Parossistiche
4D7 Lahar, Debris flow

# Scheda di Valutazione e Proposte al Volume

**Dati del Compilatore**

**Nome e cognome: (Questi dati possono essere omessi)** .....

**Luogo di nascita:** .....

**Età:** .....

**Titolo d'istruzione:** .....

**Professione:** .....

**Istituzione di appartenenza:** .....

**Interessi culturali:** .....

**Hobby:** .....

| ARGOMENTI DA VALUTARE | PUNTEGGIO |
|---|---|
| A. Interesse generale del volume | 1 2 3 4 5 |
| B. Originalità del sistema (testo + struttura ipertestuale) | 1 2 3 4 5 |
| C. Efficacia della struttura modulare a schede | 1 2 3 4 5 |
| D. Efficacia della struttura della scheda | 1 2 3 4 5 |
| E. Comprensibilità del testo | 1 2 3 4 5 |
| F. Chiarezza delle figure e delle didascalie | 1 2 3 4 5 |
| G. Facilità di accesso ai riferimenti bibliografici | 1 2 3 4 5 |
| H. Originalità dei contenuti | 1 2 3 4 5 |
| I. Grado di trasferibilità | 1 2 3 4 5 |
| L. Capacità a stimolare interesse | 1 2 3 4 5 |

- **Ulteriori commenti:** .....

.....

**PUNTEGGI:** 1 Scarso 2 Mediocre 3 Sufficiente 4 Buono 5 Ottimo

Mettere una X sul punteggio corrispondente la risposta

**SUGGERIMENTI:** .....

.....

.....

.....

.....

.....

**(esempio: modifiche sulla struttura del testo, proposte di ulteriore tematiche, .....**

OSSERVATORIO VESUVIANO

OSSERVATORIO VESUVIANO
ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

INGV

# Ricerca Scientifica e Mitigazione del Rischio Vulcanico

**Vol. I**

## Vesuvio: dentro il vulcano

**Parte I**


**COORDINATORE:**
**Giuseppe Mastrolorenzo**

**A CURA DI:**
**Giuseppe De Natale**
**Lucia Pappalardo**
**Pier Paolo Petrone**
**Immacolata Ricciardi**
**Sergio Rossano**
**Claudia Troise**



**I edizione febbraio 2004**

(Foto: G. Mastrolorenzo)

**OSSERVATORIO VESUVIANO - ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA**
**VIA DIOCLEZIANO, 328 - 80124 NAPOLI - TEL. 081.6108336 - Fax 081.6108350**
**sito web: www.ov.ingv.it - e-mail: mastro@ov.ingv.it**