

Installazione di 5 stazioni
digitali a larga-banda
sull'isola di Vulcano: un
contributo alla conoscenza
della sismicità superficiale
della Fossa

Quaderni di Geofisica

67



Quaderni di Geofisica

Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it

Installazione di 5 stazioni digitali a larga-banda sull'isola di Vulcano: un contributo alla conoscenza della sismicità superficiale della Fossa

Installation of 5 Digital Broad-Band Stations at Volcano Island: A Contribution to La Fossa Seismicity Comprehension

Salvatore Rapisarda¹, Salvatore Alparone¹, Laura Cammarata¹,
Andrea Cannata², Danilo Contrafatto¹, Ferruccio Ferrari¹,
Marco Manni¹, Mario Marturano¹, Vincenzo Milluzzo²,
Pier Raffaele Platania¹, Luciano Scuderi¹, Orazio Torrisi¹,
Luciano Zuccarello¹, Salvatore Gambino¹

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania)

²Università Degli Studi di Catania (Dipartimento di Scienze Geologiche)

Installazione di 5 stazioni digitali a larga-banda sull'isola di Vulcano: un contributo alla conoscenza della sismicità superficiale della Fossa

La sismicità registrata sull'isola di Vulcano è connessa, in minima parte, a processi di fratturazione fragile (pochi terremoti/anno) ma soprattutto alla dinamica dei fluidi del sistema geotermale dell'area della Fossa (diverse centinaia di micro-terremoti/anno; Montalto, 1994). Quest'ultima attività rappresenta la sismicità di fondo del vulcano, in quanto è registrata pressoché costantemente nel tempo ed è costituita da eventi sismici di bassa energia generati a bassa profondità ($H < 1.5$ km rispetto al livello del mare).

Allo scopo di migliorare la rilevabilità e lo studio della microsismicità sono state installate 5 nuove stazioni a larga banda in aggiunta alle 4 della Rete Sismica Permanente (PSN) gestita dall'INGV-CT. In particolare, nel Novembre 2005, lungo il bordo nord del cono della Fossa di Vulcano sono state installate 3 stazioni sismiche con acquisizione continua in configurazione tipo *array* e successivamente, nella primavera 2007, sono state installate altre 2 stazioni alla base meridionale del cono, anch'esse in acquisizione continua, e i cui dati vengono trasmessi all'Osservatorio di Lipari. In questo lavoro sono stati considerati circa 1200 eventi registrati nel periodo Gennaio 2004 - Luglio 2007. Per 1007 di essi è stata effettuata una classificazione mediante analisi spettrale e di cross-correlazione. Tre episodi di incremento dell'attività sismica hanno accompagnato periodi di anomalie geochimiche registrate nello stesso periodo. Per 55 di questi eventi è stato possibile ottenere una localizzazione attendibile. Gli eventi si posizionano maggiormente nel settore centrale e sud-orientale del cono a profondità di circa 500-1000 m sotto il livello del mare e ciascuna delle classi individuate sembra raggrupparsi collocandosi in settori preferenziali.

Earthquakes occurring beneath Vulcano (Aeolian Island, Italy) are associated with fracturing (single events and sporadic, low magnitude swarms) or related to processes of the geothermal system (Montalto, 1994). These latter processes are responsible for most of the background activity, which is represented by weak events originating at shallow depth under the La Fossa cone ($H < 1.5$ Km below sea level).

In order to improve the Permanent Seismic Network (PSN) managed by the Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia in Catania (INGV-CT) we installed an additional 5 broad-band stations surrounding the La Fossa crater to the 4 already operating there. In particular, in November 2005 along the northern rim of La Fossa cone, 3 digital stations were installed with an array configuration. Thereafter another two stations, were installed at the southern part of the cone base in spring 2007. All the stations are currently in continuous transmission with the INGV Observatory in Lipari.

We considered about 1200 micro-earthquakes recorded from January 2004 to July 2007 and likely associated with fluid dynamics processes. Studying 1007 of these events, six classes of earthquakes have been recognized by visual inspection, spectral and cross correlation analyses. Three episodes of increasing occurrence accompanying geothermal and geochemical anomalies were recorded during this time period. The improved seismic network allowed the location of 55 events with unprecedented resolution and to highlight a space distribution depending on the classes of events.

The events are mainly located in the central and south-eastern sector of the cone at about 500-1000 metres b.s.l. and events of each class appear to cluster in preferential sectors.

Introduzione

La sismicità di Vulcano è in larga parte connessa ai processi del sistema geotermale dell'area della Fossa ed è caratterizzata dall'accadimento di centinaia di eventi per anno, di bassa magnitudo, localizzati al di sotto del cono vulcanico a profondità inferiori a 1.5 km rispetto al livello medio del mare (l.m.m.).

Si tratta di diverse tipologie di eventi, riportate in letteratura [Montalto, 1994; Godano e Vilardo, 1991] che vanno dai *Low Frequency events* (LF, con segnale nell'intervallo di frequenza 1-5 Hz), ai mono-cromatici (MC, caratterizzati da una frequenza di picco tra 6 e 8 Hz), sino agli eventi di media/alta frequenza (MF/HF, con un ampio spettro compreso tra 5-15 Hz e 5-25 Hz).

Al fine di migliorare le conoscenze sull'origine e sull'evoluzione spazio-temporale di questa sismicità è stato intrapreso un potenziamento della Rete Sismica Permanente (RSP) sull'isola, attraverso l'installazione di 5 stazioni equipaggiate con sensori *broad-band* nell'area della Fossa, in aggiunta alle 4 già funzionanti. Questo lavoro riporta gli aspetti tecnici relativi alla realizzazione del progetto di ampliamento, che ha impegnato numerose unità di personale del gruppo tecnico dell'Unità Funzionale Sismologia della Sezione di Catania dell'INGV, sia nell'installazione che nella manutenzione della strumentazione, garantendo a tutt'oggi l'acquisizione dei dati. Inoltre, vengono mostrati i primi risultati ottenuti dall'analisi dei dati acquisiti. Queste attività sono state svolte all'interno del Progetto DPC- INGV 2005-07 V3_5 Vulcano (UR 11 Gambino).

1. Installazione della rete

1.1 Pianificazione

Lo studio di fattibilità dell'installazione di nuove stazioni a Vulcano ebbe luce nel dicembre 2004 con l'idea di installare tre stazioni digitali sul fianco nord della Fossa (fig. 1). Il progetto prevedeva l'utilizzo di stazioni digitali tipo

Lennartz Encoder PCM 5800 provviste di sistema di teletrasmissione e decodifica, utilizzate fino al 2001 sull'Etna come rete sismica mobile.

La strumentazione, dato l'elevato periodo di inattività, è stata oggetto di verifica accurata in laboratorio dove si è provveduto ad interfacciare le stazioni con i sensori a larga banda del tipo *Lennartz LE-3D 20 sec* e le radio digitali quarzate per la trasmissione dei segnali che sono centralizzati su un *Mixer PCM 5800*.

Il *Mixer* provvede inoltre a sincronizzare i segnali con il segnale tempo GMT, decodificarli e renderli disponibili direttamente in formato digitale su interfaccia IEEE488.



Figura 1 Il cono della Fossa visto da NW. In rosso l'area sulla quale sono state installate le 3 stazioni sommitali.

Figure 1 A NW view of the La Fossa cone. Red area represents the sector in which the 3 summital stations have been installed.

1.2 Verifiche ed allestimenti dei sistemi

L'installazione in campo è stata preceduta da una intensa attività di laboratorio finalizzata alla verifica della funzionalità della strumentazione. In particolare si è provveduto a:

- verificare la qualità dei segnali rilevati dai sensori sismici, controllando il corretto interfacciamento tra i sismometri LE-3D e gli *Encoder*, impostando i parametri delle stazioni (amplificazione, frequenza di campionamento, filtraggio *anti-aliasing*) e controllando la polarità dei segnali;
- verificare l'efficienza della trasmissione e ricezione digitale dei segnali;
- assemblare il Mixer digitale per le tre stazioni a tre

CARATTERISTICHE SENSORE LE-3D/20s	
Alimentazione	10-16 V DC
Consumi energetici (mA)	50-100 a 12 V (dipendente dall'ampiezza del segnale)
Sensibilità (V/(m/s))	1000
Smorzamento	0.707
Dimensioni (mm)	195 diametro 165 altezza
Peso (kg)	6.5
Temperatura di operatività (° C)	-15 - +35
Periodo proprio (sec)	20
Frequenza di taglio superiore (Hz)	> 40
Rumore RMS a 1 Hz (nm/s)	< 2

Tabella 1 Specifiche del sensore *broad-band Lennartz Le-3D 20s*.
Table 1 Broad-band Lennartz Le-3D 20s features.

componenti, i cui segnali vengono trasferiti tramite un'interfaccia parallela IEEE488 ad un computer preposto alla conversione dei *files* dal formato *Lennartz 5800* al formato binario DMX, impiegando un software dedicato capace di operare la conversione in tempo reale.

1.3 Installazione della strumentazione

L'installazione delle 3 stazioni (STZ1, STZ2, STZ3), distribuite secondo una geometria ad *array*, con una distanza di circa 80 m l'una dall'altra (fig. 2), è avvenuta i primi di novembre del 2005.

La stazione tipo (fig. 3) è stata realizzata

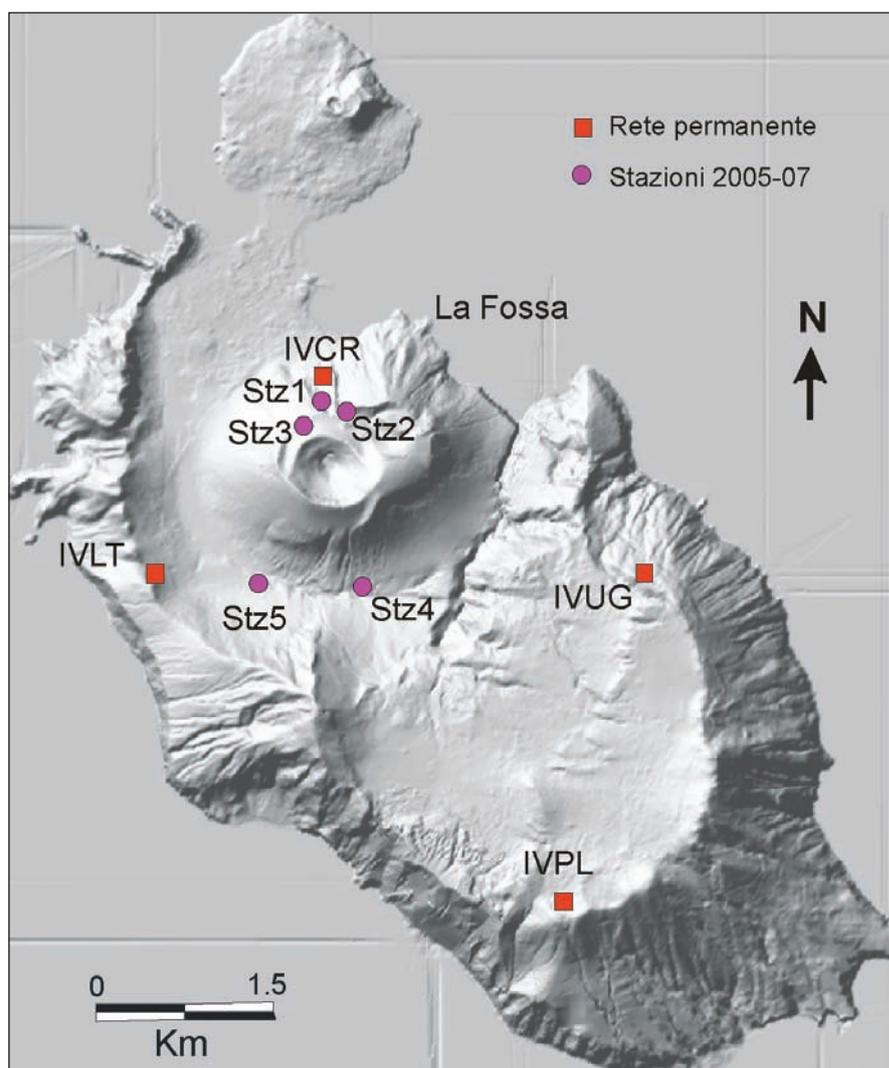


Figura 2 Mappa delle stazioni sismiche a Vulcano. I cerchi fucsia rappresentano le nuove stazioni, i quadrati rossi rappresentano le stazioni pre-esistenti.

Figure 2 Map of the seismic network at Vulcano. Pink circles are the new stations and red squares are the pre-existing stations.

ID Stazione	Lat.	Long.	Quota (m)	S/n Sensor	Freq. di Trasmissione (MHz)	Guadagno amp.
STz1	14E57.65	38N24.44	252	C053	445.375	Gain Ranging
STz2	14E57.75	38N24.43	270	F116	444.300	Gain Ranging
STz3	14E57.59	38N24.39	268	G122	445.000	Gain Ranging
STz4	14E57.85	38N24.78	162	B034	448.825	Gain Ranging
STz5	14E57.35	38N24.79	211	F120	441.300	Gain Ranging

Tabella 2 Specifiche delle stazioni.
Table 2 Remote stations features.

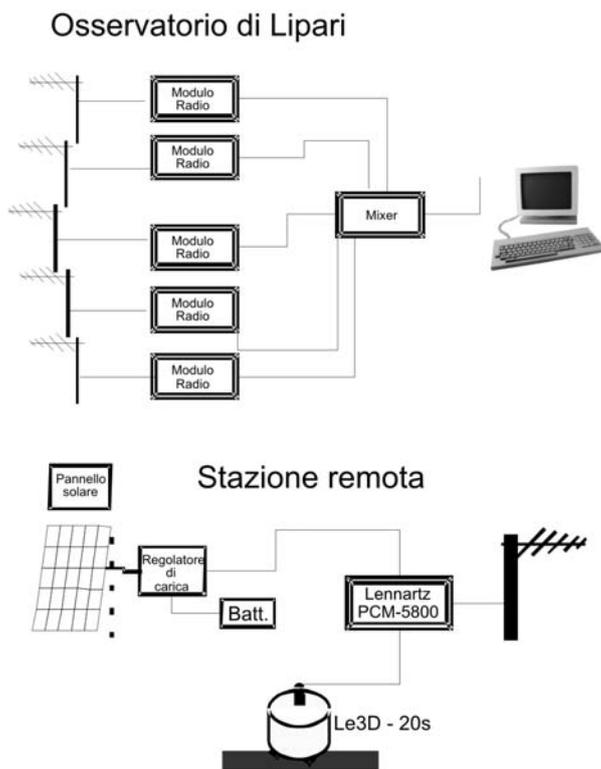


Figura 3 Schema a blocchi del sistema di acquisizione.
Figure 3 Sketch block of the acquisition system.

impiegando un *Encoder PCM 5800*, con sensore *broad-band* a tre componenti (Lennartz LE-3D 20 sec; tab. 1), alimentata con un modulo fotovoltaico da 60/70W e una batteria tampone tipo *Delphi* da 115Ah a 12V, ricaricata nelle ore diurne per mezzo di un regolatore di carica tipo *Prostar PS-12*. Come cavo per l'alimentazione si è usato un cavo FROR tipo FG7R a due conduttori, con una sezione di 4 mm per conduttore.

Ogni *Encoder* è stato programmato con una frequenza di campionamento di $F_s=125\text{Hz}$, con un filtro *antialiasing* a circa un quarto della frequenza di campionamento, con l'amplificatore impostato a *gain ranging* e acquisizione in continuo (*trigger mode Off*).

Una semplice struttura di sostegno (fig. 4) è stata usata per il pannello fotovoltaico e per l'antenna trasmittente. Per un'efficace trasmissione dei segnali radio si è utilizzata un'antenna trasmittente tipo *Yagi* a 5 elementi, collegata al trasmettitore attraverso un cavo a bassa attenuazione del tipo RG-213.

1.4. Apparato di ricezione dei segnali acquisiti presso l'Osservatorio di Lipari

La ricezione, decodifica e memorizzazione dei segnali trasmessi presso all'Osservatorio Geofisico di Lipari sono state realizzate impiegando il semplice sistema riportato in figura 3. Attraverso le 5 antenne riceventi, tipo *Yagi* a 5 elementi, e ai 5 Ricevitori digitali a 10Kbit ciascuno, i segnali delle stazioni sono inviati a due differenti mixer PCM 5800. Il primo *mixer* è dedicato al miscelamento ed alla decodifica dei nove canali digitali dell'*array* sommitale, mentre il secondo provvede a miscelare e decodificare i sei canali digitali provenienti dai siti di Grotta Palizzi e Pozzo Agip (rispettivamente STz4 e STz5). Un unico sintetizzatore GPS è stato utilizzato per la sincronizzazione della base tempi dei due *mixer*.

I segnali delle stazioni sommitali decodificati sono trasferi-



Figura 4 Tipico assetto della strumentazione impiegata alle stazioni sommitali. Nella foto è mostrata la stazione STz2.
Figure 4 Photo of STz2 summital station.

ti attraverso una interfaccia IEEE488 ad un PC dedicato, denominato EOMOBILE; per le due stazioni a più bassa quota si utilizza un computer denominato EOMOBILE2. In questi PC, un apposito programma di calcolo provvede alla memorizzazione dei segnali acquisiti su *files* continuativi di 36 secondi ciascuno, archiviati all'interno di cartelle giornaliere.

Successivamente, tramite LAN interna, i file vengono trasferiti ad un altro computer con maggiore capacità e convertiti in formato binario *demultiplexed* (*.dmx) della durata di 60 secondi. Quest'ultima procedura facilita la successiva fase di elaborazione e l'integrazione con i dati della rete permanente.

2. Analisi svolte sui segnali

In questa sezione vengono descritte le analisi di base effettuate sui dati acquisiti, principalmente la classificazione e la localizzazione della microsismicità della Fossa.

Si è innanzi tutto proceduto alla raccolta e all'analisi delle registrazioni relative ad oltre 1200 eventi tra i più energetici registrati nel periodo gennaio 2004 - luglio 2007. Tali eventi sono stati selezionati tramite un riconoscimento visivo dalle registrazioni della stazione permanente di riferimento IVCR. Da novembre 2005 i dati della rete permanente sono stati integrati con quelli provenienti dalle tre stazioni a larga banda posizionate a nord della Fossa (STz1, STz2 e STz3) e dalla primavera 2007 vengono inclusi anche i dati delle 2 stazioni ubicate nel settore meridionale del cono (STz4 e STz5). Ciò ha inoltre permesso di rilevare una maggiore quantità di eventi, stimabile in circa il 30%, rispetto agli anni precedenti.

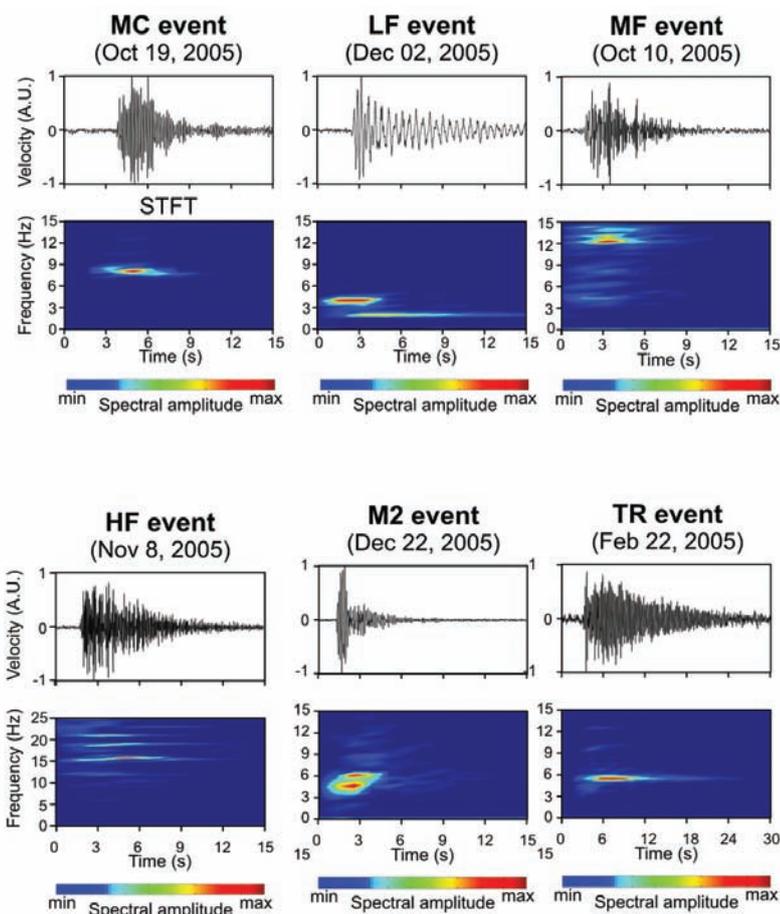


Figura 5 Classi di eventi riconosciute: forme d'onda e relativo spettro (*Short Time Fourier Transform* (STFT)). La STFT è stata ottenuta dividendo il segnale in finestre da 2.56 secondi con una sovrapposizione del 50%.

Figure 5 Event classes identified: waveforms and STFT spectra. The STFT was obtained by splitting the seismic signal in 2.56-second-long windows with 50% overlap.

Per quanto riguarda la classificazione sono stati analizzati 1007 eventi registrati tra gennaio 2004 e dicembre 2006. Una dettagliata analisi sulle forme d'onda e dei caratteri spettrali ha permesso di riconoscere all'interno di questa sismicità sei classi di eventi.

Per quanto riguarda le localizzazioni, sono state calcolate per

Classe	Caratteri spettrali	N° di eventi	%
LF	Bassa frequenza, con un contenuto da 1 a 5 Hz	198	19.7
MF	Media frequenza, con contenuto da 5 a 15 Hz	266	26.4
MC	Monocromatici, con picco di frequenza da 6 a 8 Hz	166	16.5
HF	Alta frequenza, con un ampio spettro da 5 a 25 Hz	179	17.8
M2	Bassa frequenza in una prima porzione, alta nella successiva	118	11.7
Tornillo	Contenuto principalmente monocromatico	14	1.4
NC	Vari	66	6.6
Totale		1007	100

Tabella 3 Classificazione della microsismicità della Fossa.
Table 3 Classification of the microsismicity at La Fossa.

gli eventi per i quali fosse possibile avere un minimo di 5 letture di fasi P. A tal riguardo è opportuno sottolineare che il contributo delle stazioni installate da gennaio 2004 ha consentito la localizzazione di questi eventi con una precisione mai ottenuta in precedenza.

2.1 Classificazione per analisi visuale e spettrale

La classificazione degli eventi di Vulcano è stata effettuata tramite una dettagliata analisi delle forme d'onda e in base agli spettri calcolati su 512 campioni (circa 4 secondi di segnale) di 1007 eventi registrati tra gennaio 2004 e dicembre 2006. A tal fine è stato compilato un database sul quale sono state riportate tutte le caratteristiche degli eventi analizzati (data/ora, peso del picking, ampiezza massima, durata, visibilità alle altre stazioni, banda spettrale e frequenza di picco).

Sulla base di queste valutazioni, ed in particolare delle caratteristiche spettrali è stato possibile classificare gli eventi in sei categorie (fig. 5 e tab. 3). Ogni classe presenta spettri caratterizzati da pochi e marcati picchi spettrali, mentre un residuo gruppo di eventi dubbi (6.6%) non è stato classificato.

È importante segnalare che tra le classi individuate è presente quella dei Tornillos (vite). Questi eventi debbono la loro denominazione alla coda monocromatica di lunga durata. Già osservati in altre aree vulcaniche ed in particolare al Galeras in Colombia [Narvèz ed al., 1997], tali segnali non risultavano riportati nella letteratura disponibile su Vulcano.

Nel complesso, poco meno della metà degli eventi registrati a La Fossa è costituita da eventi di media-alta frequenza. Tra le altre classi più rappresentative si hanno:

- i) gli eventi a bassa frequenza (LF), che seppur presenti in maniera temporalmente discontinua raggiungono quasi il 20% del campione totale;
- ii) gli eventi monocromatici (MC), che rappresentano oltre il 15% della sismicità.

Solo una ristretta percentuale di eventi (6.6%), che non presentano caratteri riconducibili alle classi definite, risultano non classificati (NC).

2.2 Successione temporale degli eventi ed energia

La microsismicità della Fossa mostra una relazione diretta con l'attività idrotermale della Fossa; infatti generalmente un incremento dell'attività sismica accompagna periodi di degassamento anomalo. Tra il 2004 ed il 2006 sono stati registrati 3 episodi di incremento di CO₂ e della temperatura delle fumarole sommitali [Granieri ed al. 2006; Di Liberto e Paonita comun. pers.]. Negli stessi periodi si registrano incrementi nell'accadimento di tutte le classi d'evento ed in particolare di LF ed MC (fig. 6a).

Inoltre al fine di avere un quadro sulle energie relative in

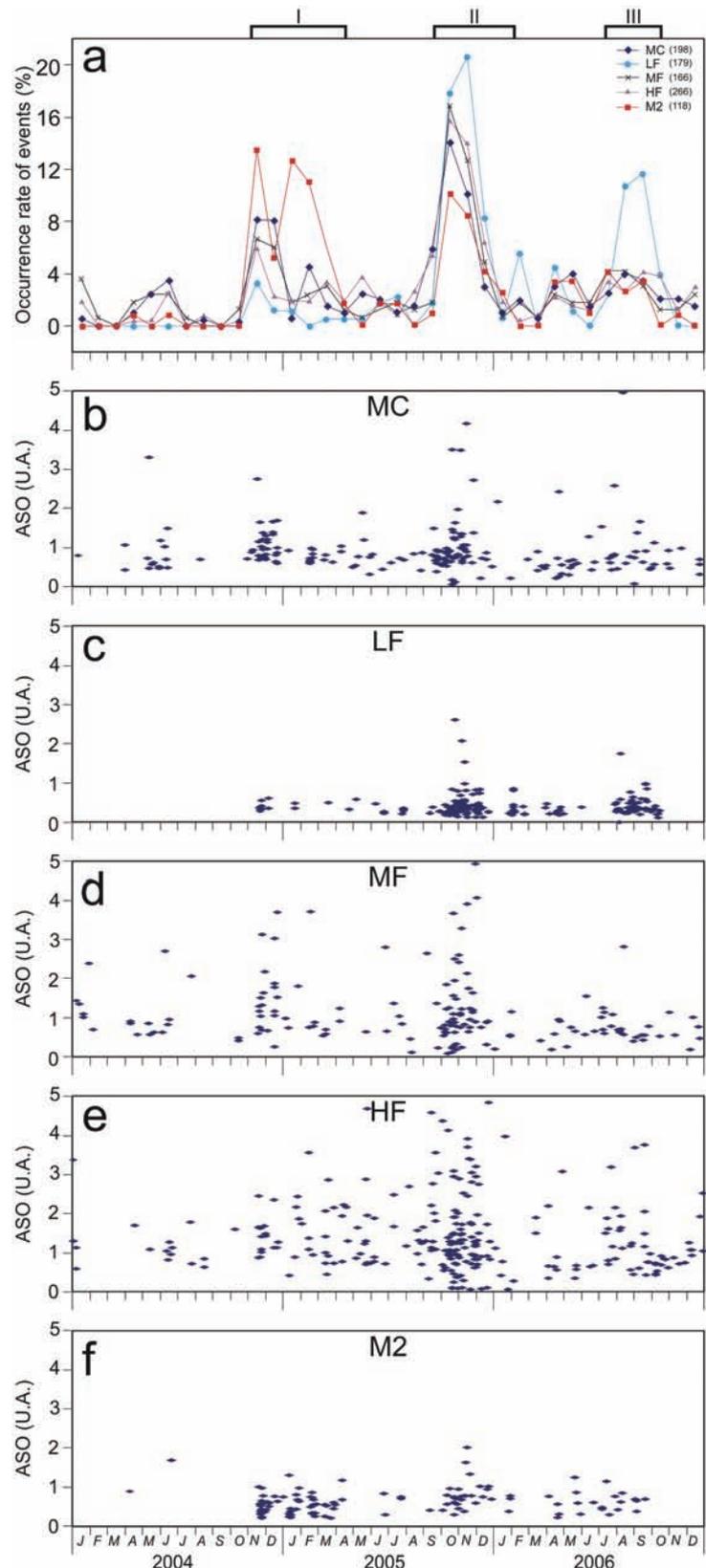


Figura 6 Frequenza mensile di accadimento degli eventi sismici di Vulcano in percentuale durante il 2004-2006 (a). Ampiezza spettrale *overall* (ASO), calcolata come l'integrale dello spettro nell'intervallo di frequenza 0.5-35 Hz (b-f). I rettangoli in alto rappresentano i periodi caratterizzati da anomalie geochimiche e geotermiche.

Figure 6 Monthly distribution of the events belonging to the seismic classes (a). Overall spectral amplitude (ASO) calculated as integral of the spectrum on the 0.5-35 Hz frequency range. The top void rectangles and roman numbers indicate the time periods characterized by anomalous degassing episodes.

gioco, in figura 6b-f sono state riportate le ampiezze *overall* (ASO), calcolate come l'integrale dello spettro di tutti gli eventi nell'intervallo di frequenza 0.5-35 Hz.

Le classi HF ed MF si caratterizzano per valori medi di ASO superiori e quindi per una maggiore energia rispetto alle classi di più bassa frequenza e/o monocromatici (LF, M2 e MC).

2.3 Analisi di cross-correlazione

L'ispezione visuale degli eventi ha messo in evidenza caratteristiche di similarità all'interno di ciascuna classe. Per questa ragione tutti gli eventi appartenenti alle prime 5 classi di tabella 3 (927 eventi) sono stati oggetto di un'analisi di cross-correlazione (fig. 7) tra loro. Da quest'analisi è stata ottenuta una matrice dei coefficienti di cross-correlazione (fig. 7) tra tutte le possibili coppie, usando una finestra di 5 secondi di segnale dal primo arrivo sulla componente verticale di IVCR.

I risultati mostrano che gli eventi all'interno delle classi LF, MC e M2 hanno generalmente tra loro valori di coefficiente di cross-correlazione superiori al valore significativo di 0.70 e mostrano quindi una maggiore similarità rispetto alle altre classi.

2.4 Localizzazioni

Dal catalogo totale degli eventi è stato possibile estrarre un dataset di ben 55 eventi occorsi nel periodo dicembre 2005-luglio 2007, sul quale sono state ottenute localizzazioni affidabili utilizzando metodi standard. Gli eventi sono stati selezionati sulla base dell'energia (migliore rapporto segnale/rumore) e della miglior copertura azimutale della rete di sensori (il numero delle letture utilizzate variano da 5 a 9). Questo risultato è rilevante se si considera che la sola rete permanente non è in grado, se non per qualche evento di forte intensità, di fornire una localizzazione attendibile della sismicità della Fossa.

Per localizzare gli eventi è stato utilizzato il programma di calcolo HYPOELLIPSE [Lahr, 1989] adottando un modello di velocità crostale 1D per l'area di Vulcano, proposto da Falsaperla ed al. [1985] e applicato in altri lavori [Montalto, 1994; Aubert e Alparone, 2000]. Tra le soluzioni ottenute, sono affidabili quelle con un errore epicentrale minore od uguale ad 1 km ed inferiore a 1.5 km sulla profondità.

La distribuzione spaziale degli epicentri evidenzia un chiaro addensamento della sismicità in corrispondenza dell'area craterica, interessando livelli di profondità compresi tra i 500 e 1000 m sotto il livello del mare. La sismicità è quindi superficiale e ciò esclude qualunque relazione diret-

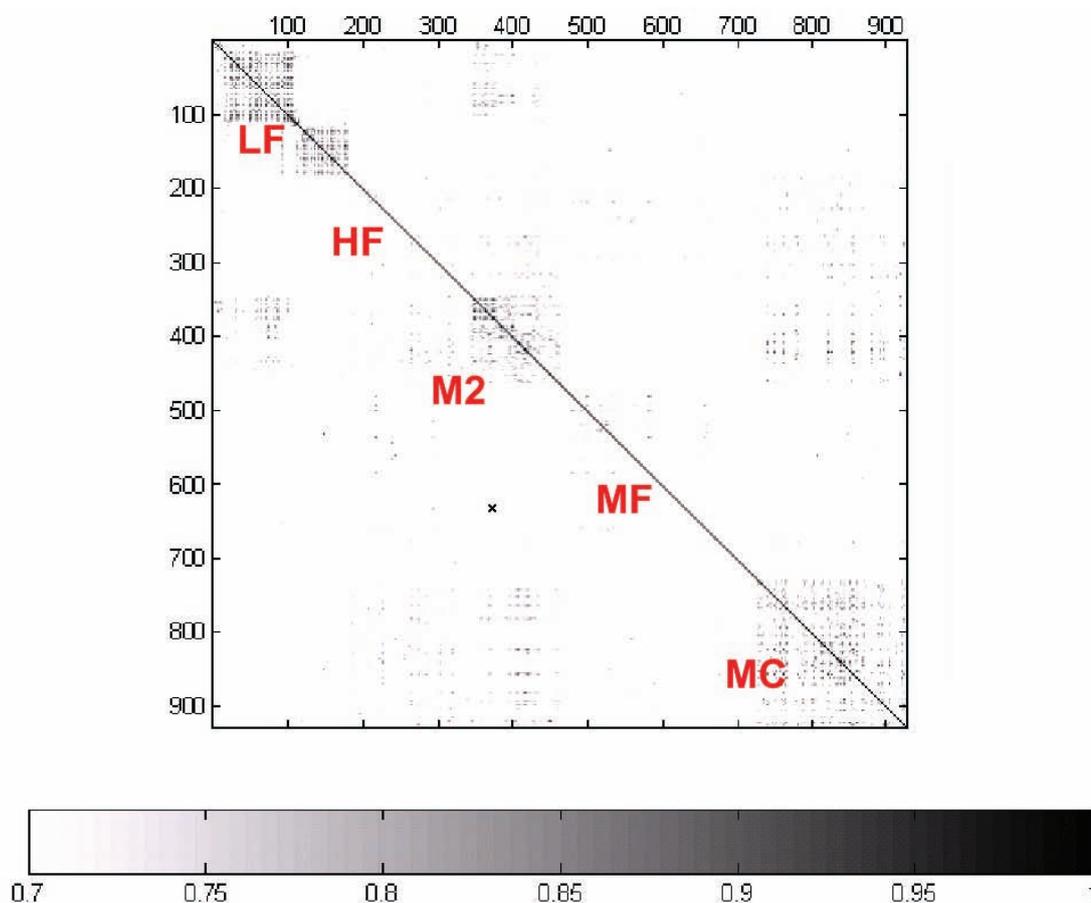


Figura 7 Matrice di cross-correlazione per i 927 eventi selezionati appartenenti alle 5 classi riportate.
Figure 7 Cross-correlation matrix obtained for 927 events belonging to the 5 classes reported.

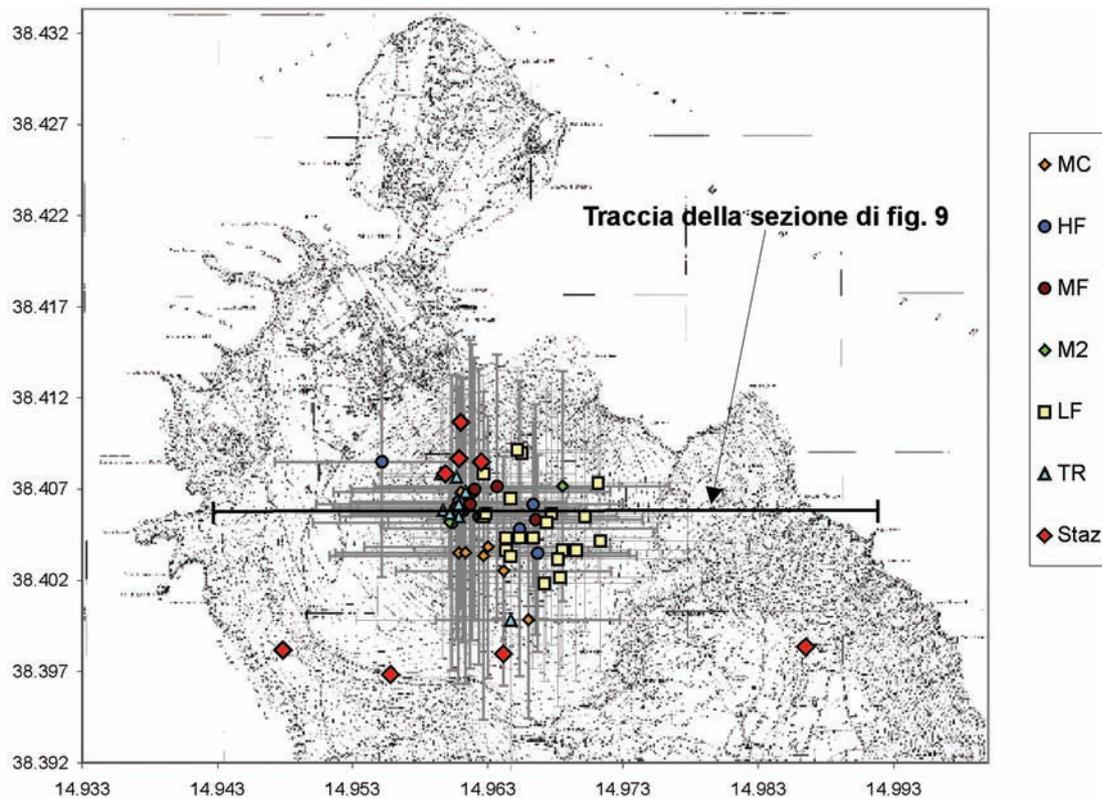


Figura 8 Mappa epicentrale e sezione E-W dei 55 eventi localizzati.
Figure 8 Epicentral map and E-W cross section of the 55 located events.

ta con il sistema magmatico che si ritiene localizzato a maggiori profondità [2.0-2.5 km per Zanon ed al., 2003; Nuccio e Paonita, 2001] suggerendo invece un legame con il sistema geotermale.

Sebbene si osservi una certa tendenza a raggrupparsi in funzione della classe di appartenenza degli eventi (fig. 8 e 9), le

varie classi sono sostanzialmente co-locate nel settore centrale e sud-orientale del cono. Ciò suggerisce che i picchi spettrali osservati sono attribuibili non ad effetti di percorso e/o sito, ma esclusivamente alla sorgente.

Inoltre mappa e sezione suggeriscono alcuni aspetti:

- i) gli eventi LF risultano maggiormente concentrati nel

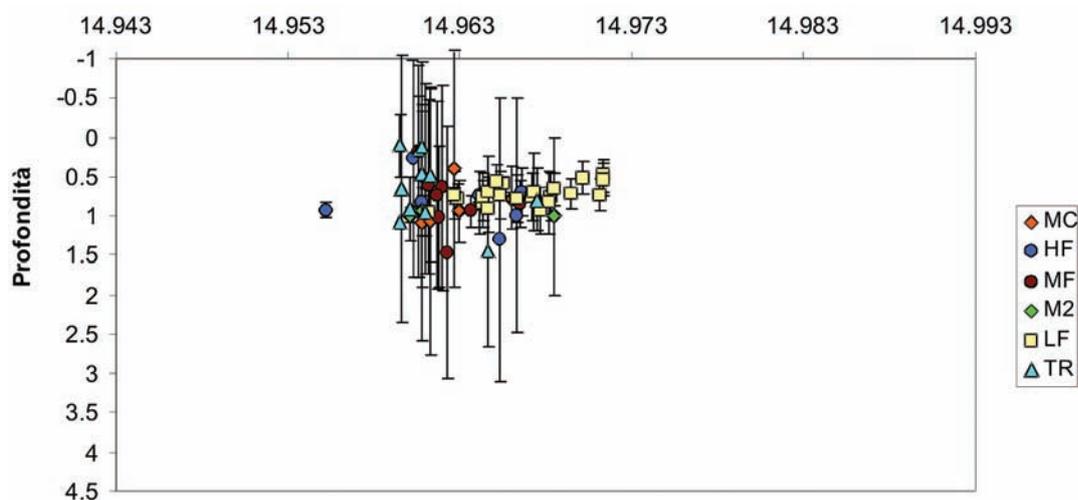


Figura 9 Sezione E-W degli eventi localizzati.
Figure 9 E-W cross section of the located events.

- settore sud-orientale della Fossa, mostrando errori contenuti in profondità ($0.5 \leq ERZ \leq 1.0$ km);
- ii) gli eventi MC sono contigui al settore meridionale degli ipocentri LF;
 - iii) gli eventi MF, HF e *Tornillos* occupano la porzione più centrale dell'area craterica, all'incirca nello stesso intervallo di profondità degli eventi delle altre classi, ma con una maggiore incertezza.

È infine opportuno puntualizzare che l'utilizzo di un modello di velocità maggiormente dettagliato sugli strati più superficiali della crosta potrebbe permettere di migliorare ulteriormente le soluzioni ottenute.

3. Discussione e conclusioni

La sismicità registrata sull'isola di Vulcano risulta essere connessa, in minima parte, ai processi di fatturazione fragile delle rocce (pochi terremoti/anno), mentre è senz'altro più frequente quella generata dalla dinamica dei fluidi del sistema geotermale dell'area della Fossa (centinaia di micro-terremoti/anno). Si tratta di eventi sismici generati a bassa profondità ($H < 1.5$ km rispetto al l.m.m.) in coincidenza del cono vulcanico della Fossa, rappresentati da forme d'onda con svariate caratteristiche. In funzione della morfologia e del contenuto spettrale delle forme d'onda sono state riconosciute molteplici classi di eventi (LF, MF, MC, HF), anche in accordo alla classificazione proposta da Montalto [1994]. Risulta essere una novità, rispetto a quanto riportato in letteratura, la presenza della classe M2 e degli eventi *Tornillos*. L'integrazione di 5 nuove stazioni sismometriche nella Rete Sismica Permanente ha migliorato la rilevabilità della microsismicità, consentendo anche un'affidabile localizzazione di alcune decine di eventi.

Il carattere superficiale della microsismicità, in larga parte confinata nell'intervallo 500-1000 m sotto il l.m.m., supporta l'ipotesi che le sorgenti sismiche siano associabili all'attività idrotermale dell'isola. Ciò risulta confermato dalla relazione tra la frequenza di accadimento degli eventi e l'attività idrotermale della Fossa.

Gli epicentri mostrano una certa tendenza al raggruppamento in funzione della classe di appartenenza; nel complesso le varie classi sono sostanzialmente co-locate nel settore centrale e sud-orientale del cono e ciò suggerisce che i diversi picchi spettrali osservati sono attribuibili non ad effetti di percorso e/o sito, ma esclusivamente alla sorgente. Il fatto che alcune classi di eventi (LF, M2 e MC) manifestino forme d'onda simili, suggerisce l'azione di un meccanismo sorgente non-distruttivo attribuibile ad un processo di risonanza.

Inoltre, considerato il contesto vulcanico dell'area studiata, si potrebbe considerare come possibile interpretazione quella relativa all'oscillazione di una frattura riempita di fluidi,

così come suggeriscono autori precedenti [Aki ed al., 1977; Chouet 1981, 1986, 1988].

Infine l'ampliamento della rete ha reso possibile l'avvio di nuove indagini ancora in corso come localizzazioni relative di precisione e la caratterizzazione delle sorgenti LP attraverso l'inversione delle forme d'onda per stimare il tensore momento.

Bibliografia

- Aki K., Fehler M., Das S. (1977). *Source mechanism of volcanic tremor: Fluid-driven crack models and their application to the 1963 Kilauea eruption*. J. Volc. Geotherm. Res., 2, 259-287.
- Aubert M., Alparone S., (2000). *Variation d'origine sismique du flux de chaleur convectif dans La Fossa de Vulcano (Italie)*. C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Terre et des planètes / Earth and Planetary Sciences, 330, 603-610.
- Chouet B. (1981). *Ground motion in the near field of a fluid-driven crack and its interpretation in the study of shallow volcanic tremor*. J. Geophys. Res., 86, 5985-6016.
- Chouet B. (1986). *Dynamics of a fluid-driven crack in the three dimensions by the finite difference method*. J. Geophys. Res., 91, 13 967-13 992.
- Chouet B. (1988). *Resonance of a fluid-driven crack: Radiation properties and implications for the source of long-period events and harmonic tremor*. J. Geophys. Res., 93, 4375-4400.
- Falsaperla S., Neri G., Velardita S., (1985). *Struttura della crosta superiore dell'area delle isole Eolie*. Rend. Osserv. Geofis. Reggino, 29, 103-111.
- Godano C., Vilardo G. (1991). *Low-frequency events at Vulcano, Aeolian Islands*. Phys. Earth Plan. Int. 69 (1-2): 119-131.
- Granieri D., M. L. Carapezza, G. Chiodini, R. Avino, S. Caliro, M. Ranaldi, T. Ricci, and L. Tarchini (2006). *Correlated increase in CO₂ fumarolic content and diffuse emission from La Fossa crater (Vulcano, Italy): Evidence of volcanic unrest or increasing gas release from a stationary deep magma body?*. Geophys. Res. Lett., 33, L13316, doi:10.1029/2006GL026460.
- Lahr J.C., (1989). *Hypoellipse Version 2*: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern*. U. S. Dep. of the Survey Menlo Park, California, Open File Report 89-116.
- Montalto A. (1994). *Seismic signals in geothermal areas of active volcanism: a case study from La Fossa, Vulcano (Italy)*. Bulletin of Volcanology, 56, 3, 220-227.
- Narváz M., R.A.C. Torres, D.M.M. Gomez, G.P.J. Cortes, H.V. Cepeda, and J. Stix (1997). *"Tornillo"-type seismic signals at Galeras volcano, Colombia*. J. Volcanol.

Geotherm. Res., 77, 159– 171.

Nuccio P. M., and Paonita A. (2001). *Magmatic degassing of multicomponent vapors and assessment of magma depth: Application to Vulcano Island (Italy)*. Earth Planet. Sci. Lett., 193, 467– 481.

Zanon V., M.-L. Frezzotti, and Peccerillo A. (2003). *Magmatic feeding system and crustal magma accumulation beneath Vulcano Island (Italy): Evidence from CO₂ fluid inclusions in quartz xenoliths*. J. Geophys. Res., 108, 2298, doi:10.1029/2002JB002140.

Indice

Introduzione	5
1. Installazione della rete	5
1.1 Pianificazione	5
1.2 Test ed allestimenti eseguiti sui sistemi	5
1.3 Installazione della strumentazione	6
1.4 Apparato di ricezione dei segnali acquisiti presso l'Osservatorio di Lipari	7
2. Analisi svolte sui segnali	8
2.1 Classificazione per analisi visuale e spettrale	9
2.2 Successione temporale degli eventi ed energia	9
2.3 Analisi di cross-correlazione	10
2.4 Localizzazioni	10
3. Discussione e conclusioni	12
Bibliografia	12

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2008 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia