

# Sismologia



*A cura di Martini M., Auger E., Borriello G., Buonocunto C., Capello M., Caputo A., Castellano M., Cusano P., D'Auria L., De Cesare W., Esposito A., Giudicepietro F., Lo Bascio D., Orazi M., Peluso R., Petrosino S., Ricciolino P., Scarpato G., Talarico G.*

1. Introduzione	pag. 15
2. La rete sismica	pag. 16
3. Sala di monitoraggio	pag. 19
4. Analisi e archiviazione dati	pag. 20
5. Sismicità	pag. 20
5.1. Vesuvio	pag. 22
5.2. Campi Flegrei	pag. 29
5.3. Ischia	pag. 30



# Sismologia

*Martini M., Auger E., Borriello G., Buonocunto C., Capello M., Caputo A., Castellano M., Cusano P., D'Auria L., De Cesare W., Esposito A., Giudicepietro F., Lo Bascio D., Orazi M., Peluso R., Petrosino S., Ricciolino P., Scarpato G., Talarico G.*

## 1. Introduzione

Obiettivo principale di una rete sismica per il monitoraggio vulcanico è quello di rilevare una serie di segnali associabili a processi che si sviluppano all'interno del vulcano e che possono essere attribuiti a variazioni dello stato dinamico del sistema. I fenomeni rilevabili sono costituiti da eventi sismici, talvolta manifestati come sciame, ossia sequenze di terremoti concentrati nel tempo, formati anche da centinaia di eventi nell'arco di poche ore. Questi eventi, spesso di bassa energia, sono generati da processi fisici diversificati (*meccanismi di sorgente*) in grado di produrre segnali simili a quelli riscontrati in aree non vulcaniche (*Vulcano Tettonici - VT*), oppure segnali a bassa frequenza, detti *Long Period (LP)*, e segnali con frequenze molto basse, con periodi anche di diverse decine di secondi, detti *Very Long Period (VLP)*. Infine i processi interni alla struttura vulcanica sono in grado di generare anche un segnale continuo detto *microtremore vulcanico*.

L'attività di sorveglianza vulcanica, attraverso il rilevamento, l'analisi e la corretta interpretazione di questi fenomeni, si pone l'obiettivo ultimo di segnalare l'evoluzione del vulcano verso una ripresa a breve-medio termine dell'attività eruttiva. Il Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano (INGV) gestisce le reti per la sorveglianza sismica del Vesuvio, dei Campi Flegrei e di Ischia che sono, come è noto, vulcani ad alto rischio a causa del loro stile eruttivo, prevalentemente esplosivo, e della presenza nelle loro prossimità di vaste aree urbanizzate.

## 2. La Rete Sismica

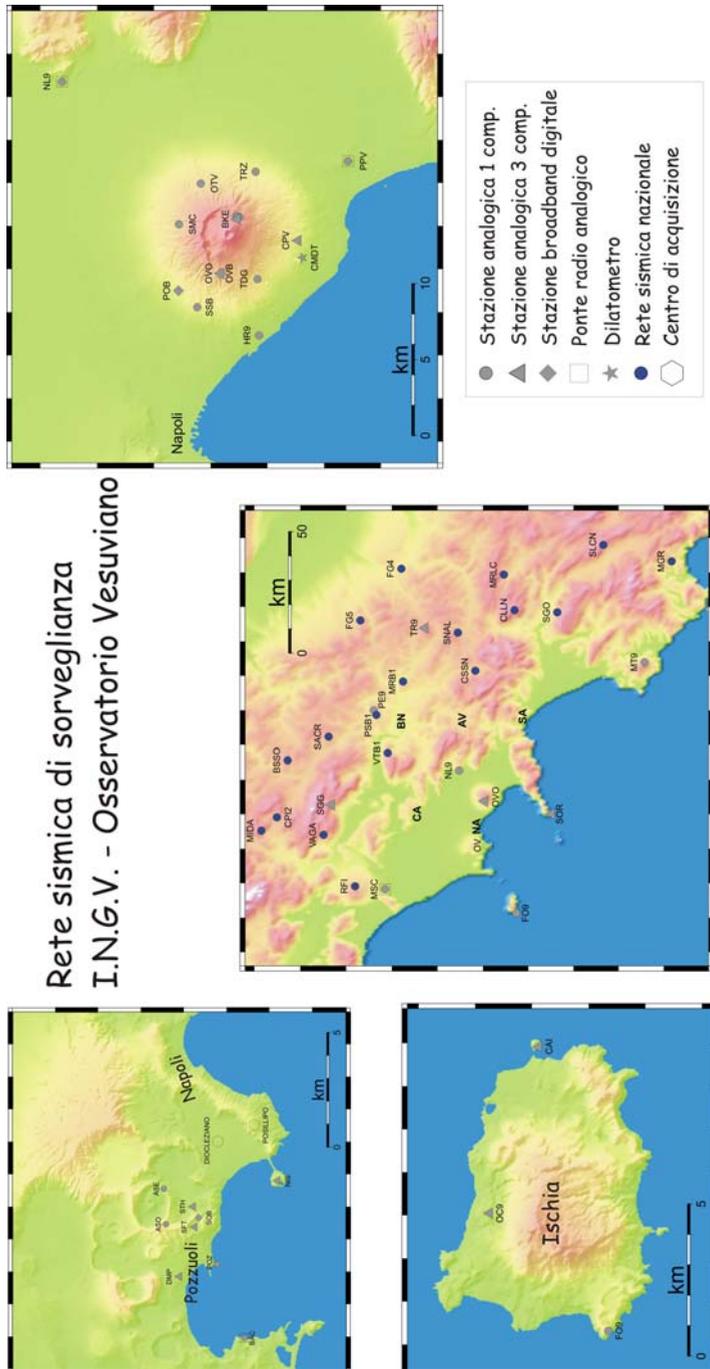
La Rete Sismica dell'Osservatorio Vesuviano (RSOV) è costituita da stazioni sismiche analogiche a corto periodo (20 a una componente e 11 a 3 componenti) e stazioni digitali a larga banda (3 a 3 componenti) con trasmissione continua dei segnali al Centro di Monitoraggio. La Rete è progettata per il monitoraggio delle aree vulcaniche attive della Campania (Vesuvio, Campi Flegrei, Ischia) e fornisce informazioni relative alla sismicità a scala regionale in collaborazione con la Rete Sismica Nazionale Centralizzata (INGV – Centro Nazionale Terremoti). L'attuale geometria della rete, in condizioni di basso rumore sismico di fondo, consente di localizzare in maniera affidabile anche alcuni eventi sismici con  $M \leq 1$  nelle aree del Vesuvio e dei Campi Flegrei. La ricezione dei segnali delle stazioni della RSOV è centralizzata presso un punto di raccolta dati sito in via Manzoni ed è basata prevalentemente su trasmissione radio e subordinatamente su linee telefoniche dedicate. Da qui i dati sono trasmessi al Centro di Monitoraggio, sito in via Diocleziano mediante protocollo TCP/IP su linea dedicata. In tab. 1 sono riportati i dettagli di configurazione delle stazioni della rete permanente OV e nella fig. 1 è rappresentata la relativa mappa.

Le stazioni analogiche sono equipaggiate con sismometri a corto periodo (1s); quelle a componente verticale con sensori Mark L4-C o Geotech S13, mentre quelle a tre componenti sono dotate di sensori Mark L4-3D o terne di sensori Geotech S13. Gli apparati di amplificazione e modulazione sono stati sviluppati e realizzati dal Laboratorio di Manutenzione e Sviluppo della Rete Sismica (sistema MARCAP). Questi apparati hanno sostituito i precedenti modulatori in esercizio (Lennartz Mars-66), ormai obsoleti. La trasmissione dei segnali è effettuata prevalentemente mediante telemetria UHF con apparati radio sintetizzati a banda stretta (ERE PMDU2000) programmabili via porta RS-232 su tutta la banda operativa (430-450 MHz). Per alcune stazioni (NIS, STH, DMP, SFT, PE9 e TR9) la trasmissione è realizzata mediante linea telefonica dedicata (CDA). Le stazioni digitali a larga banda sono equipaggiate con sensori a 3 componenti Guralp CMG-40T con risposta in frequenza 60s – 50Hz. I dati sono campionati ad una frequenza di 100 cps da un acquirente locale costituito da una stazione Kinometrics K2 e trasmessi in continuo via porta seriale RS-232 a 9600 baud mediante telemetria UHF. Gli apparati ricetrasmittitori sono costituiti da radio-modem SATEL mod. SATELLINE 3AS a banda stretta con canalizzazione a 12.5 kHz.

**Tab. 1:** Stazioni della rete sismica permanente nel 2004.

Stazione	Sigla	Tipologia	Trasmissione
Osservatorio Vesuviano	OVO	Analogica 3C	Radio diretta
Bunker Est	BKE	Analogica 3C	Radio ponte su PPV
Cappella Vecchia	CPV	Analogica 3C	Radio diretta
Ercolano	HR9	Analogica 1C	Radio diretta
Torre del Greco	TDG	Analogica 1C	Radio diretta
San Sebastiano	SSB	Analogica 1C	Radio diretta
S. Maria del Castello	SMC	Analogica 1C	Radio ponte su Nola
Ottaviano	OTV	Analogica 1C	Radio ponte su Nola
Terzigno	TRZ	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Pompei	PPV	Analogica 1C	Radio diretta
Array Bunker Est 1	BE1	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Array Bunker Est 2	BE2	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Array Bunker Est 3	BE3	Analogica 1C	Radio ponte su PPV
Osservatorio Vesuviano	OVV	Digitale Larga Banda	Radio diretta
Pollena	POB	Digitale Larga Banda	Radio diretta
Nisida	NIS	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Solfatara Tennis Hotel	STH	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Deposito Marina	DMP	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Solfatara	SLF	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Pozzuoli	POZ	Analogica 1C	Radio ponte su BAC
Baia	BAC	Analogica 1C	Radio diretta
Astroni Est	ASE	Analogica 1C	Radio diretta
Astroni Ovest	ASO	Analogica 1C	Radio diretta
Solfatara	SOB	Digitale Larga Banda	Radio diretta
Casamicciola	OC9	Analogica 3C	Radio diretta
Castello Aragonese	CAI	Analogica 1C	Radio diretta
Forio d'Ischia	FO9	Analogica 1C	Radio ponte su Massico
San Gregorio Matese	SGG	Analogica 3C	Radio ponte sul Vesuvio
Trevico	TR9	Analogica 3C	Linea telefonica CDA
Sorrento	SOR	Analogica 3C	Radio diretta
Monte Massico	MSC	Analogica 1C	Radio ponte sul Vesuvio
Pescosannita	PE9	Analogica 1C	Linea telefonica CDA
Nola	NL9	Analogica 1C	Radio diretta
Monte Stella	MT9	Analogica 1C	Radio diretta

Per tutte le stazioni il sistema di alimentazione primaria è garantito dalla linea elettrica o da pannelli solari da 75W. Un sistema di alimentazione a tampone con caricabatteria KERT da 3A e batterie al piombo sigillate FIAMM da 70 A/h garantisce un'autonomia di 3-4 giorni in caso di interruzione della corrente elettrica.



*Fig.1 - Mappa della rete sismica*

Nel corso del 2004 è stata aggiunta la stazione analogica 1C PPV (Pompei Porta Vesuvio). Sono stati effettuati gli interventi per la manutenzione della strumentazione sismica e degli apparati di trasmissione dati. Inoltre è stata effettuata la calibrazione di tutte le stazioni della rete. I sistemi di ricezione ed acquisizione dei dati della rete analogica, ospitati dal marzo 2003 nei locali del Dipartimento di Urbanistica del Comune di Napoli a seguito di un crollo che ha interessato la sede OV di via Manzoni, sono stati spostati in un container messo a disposizione dal Dipartimento di Protezione Civile, sito nello stesso complesso in cui si trova la vecchia sede dell'Osservatorio Vesuviano (via Manzoni, 249). Questa operazione ha comportato una sostanziale riorganizzazione degli apparati preposti all'acquisizione dei dati e al loro trasferimento verso il Centro di Monitoraggio. L'attuale installazione di detti sistemi è da ritenere provvisoria in attesa di una collocazione più idonea.

### **3. Sala di monitoraggio**

La sala di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano è destinata alla sorveglianza del Vesuvio, dei Campi Flegrei e di Ischia. In essa, dal maggio 2003, si svolgono anche le attività per la sorveglianza dello Stromboli, utilizzando i segnali in trasmissione continua della rete sismica a larga banda installata sull'isola a seguito della crisi eruttiva dic. 2002 - lug. 2003.

La sala riceve i dati trasmessi da 47 stazioni sismiche (di cui 13 da Stromboli), tra monocomponenti e triassiali, per un totale di 101 canali, installate nelle aree citate ed è dotata di sistemi per la visualizzazione e l'analisi dei segnali in tempo reale, con procedure automatiche e manuali. Nella sala si svolgono i turni di sorveglianza e da qui partono le comunicazioni alle autorità di Protezione Civile.

Dal gennaio 2000 l'acquisizione, parte della trasmissione dati, la visualizzazione e l'analisi automatica dei segnali della rete analogica sono effettuate utilizzando i moduli software del Sistema Sismometrico Modulare Integrato (SISMI), sviluppato presso l'Osservatorio Vesuviano. Per l'analisi manuale "off Line" è utilizzato il programma Winpick, in uso anche presso il laboratorio sismico. Per l'acquisizione dei segnali delle stazioni a larga banda della rete di monitoraggio dei vulcani della Campania è stato installato un sistema, considerato provvisorio, che sfrutta il software di acquisizione

IASPEI e realizza la temporizzazione dei segnali grazie a un dispositivo hardware-software sviluppato presso l'Osservatorio Vesuviano.

Oltre ai sistemi fin qui citati nella sala di monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano è utilizzato anche Earthworm (USGS) per le localizzazioni automatiche degli eventi sismici delle aree flegrea e vesuviana e per l'importazione ed esportazione dei dati da e verso le altre sezioni INGV e verso i sistemi di acquisizione remoti della rete a larga banda di Stromboli.

#### **4. Analisi e archiviazione dati**

I dati acquisiti dalla rete sismica sono analizzati quotidianamente dal personale del laboratorio sismico che effettua l'identificazione, la classificazione, la stima della Magnitudo e la localizzazione ipocentrale degli eventi. I risultati delle analisi (letture delle fasi, parametri ipocentrali) e le forme d'onda, sono inserite in una banca dati relazionale (GeoVes) che è dotata di un'interfaccia web dinamica che consente un accesso rapido ai dati. Tale struttura consente inoltre di effettuare in maniera immediata analisi statistiche su tutto il data set. Il laboratorio sismico cura, inoltre, l'aggiornamento dei cataloghi sismici delle aree vulcaniche monitorate ed effettua analisi di maggior dettaglio per eventi di particolare interesse.

A partire dal 2004 le forme d'onda delle stazioni a 3 componenti, sia analogiche che digitali, sono archiviate in maniera completa, mentre per le altre stazioni sono conservate solo le forme d'onda relative agli eventi.

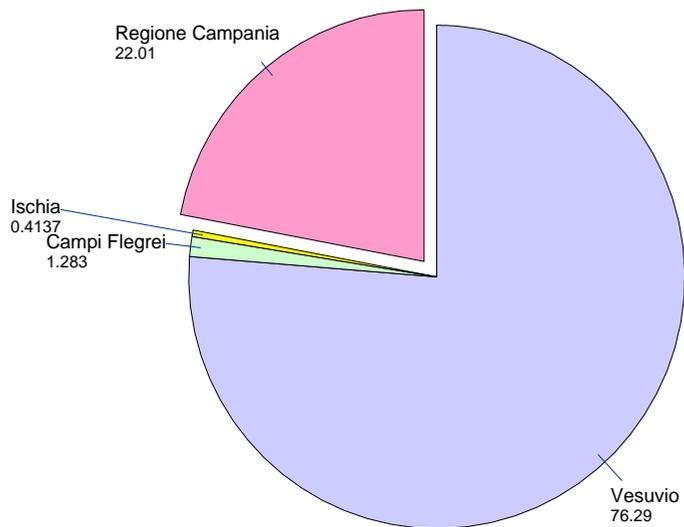
#### **5. Sismicità**

Nel corso dell'anno 2004 la rete sismica permanente dell'Osservatorio Vesuviano ha registrato 2417 eventi sismici, di cui 1200 eventi artificiali (probabili esplosioni) (vedi tab. 2).

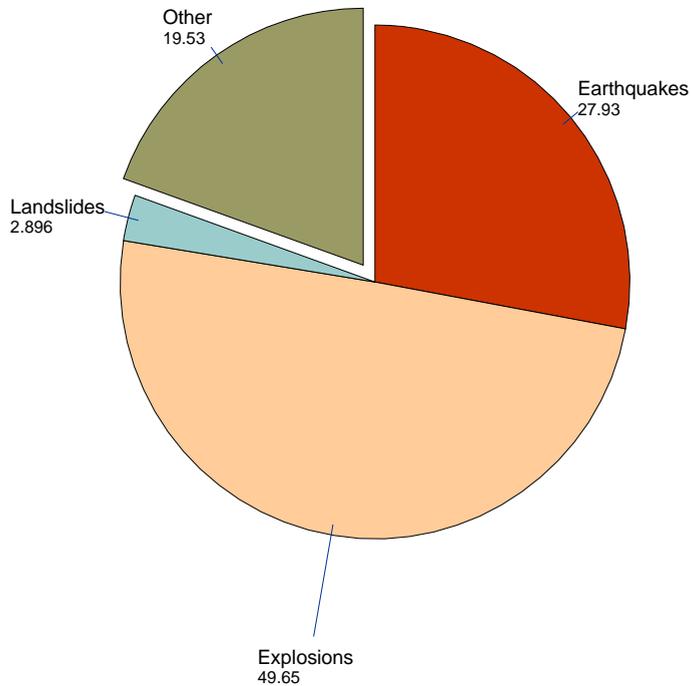
La distribuzione per area geografica degli eventi registrati è mostrata in fig. 2, mentre la distribuzione per tipologia è riportata in fig. 3.

**Tab. 2:** *Eventi locali registrati dalla rete sismica, raggruppati per tipologie ed area.*

	VESUVIO	CAMPI FLEGREI	ISCHIA	REGIONE CAMPANIA	TOTALE
<b>TERREMOTI</b>	368	3	2	302	<b>675</b>
<b>ESPLOSIONI</b>	987	22	0	191	<b>1200</b>
<b>FRANE</b>	69	0	0	1	<b>70</b>
<b>ALTRO</b>	420	6	8	38	<b>472</b>
<b>TOTALE</b>	<b>1844</b>	<b>31</b>	<b>10</b>	<b>532</b>	<b>2417</b>



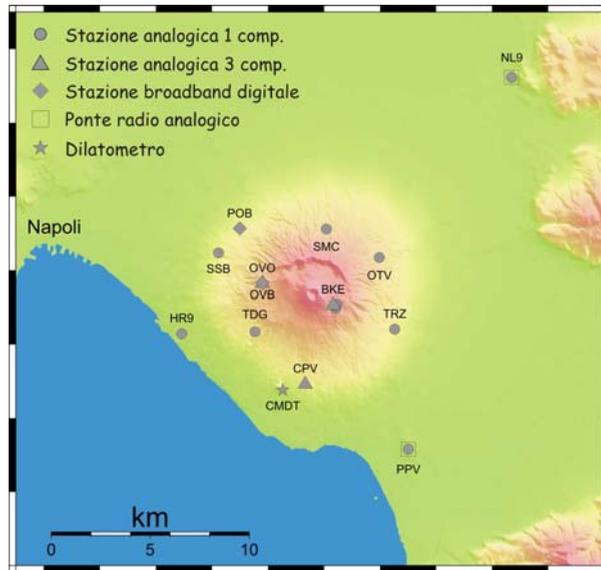
**Fig. 2:** *Distribuzione percentuale degli eventi per area geografica nel 2004.*



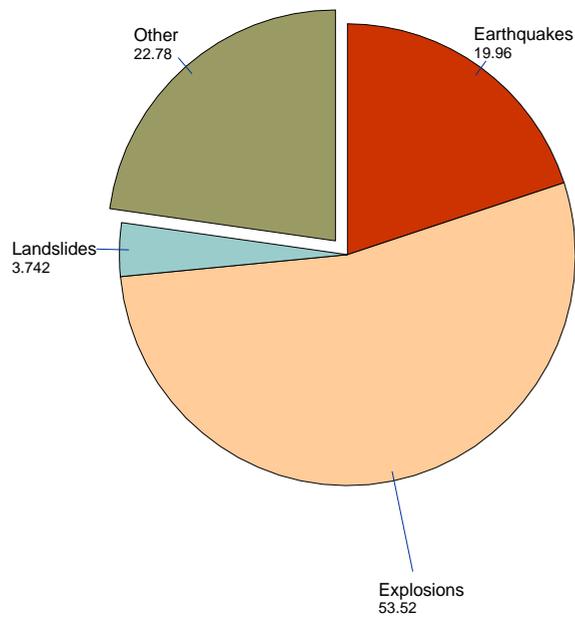
**Fig. 3:** *Distribuzione percentuale degli eventi per tipologia nel 2004.*

### **5.1. Vesuvio**

Nel corso del 2004, nell'area vesuviana è stato registrato un totale di 1844 eventi locali ripartiti in diverse tipologie (fig. 5). La configurazione della rete sismica in detta area è rappresentata in fig. 4.



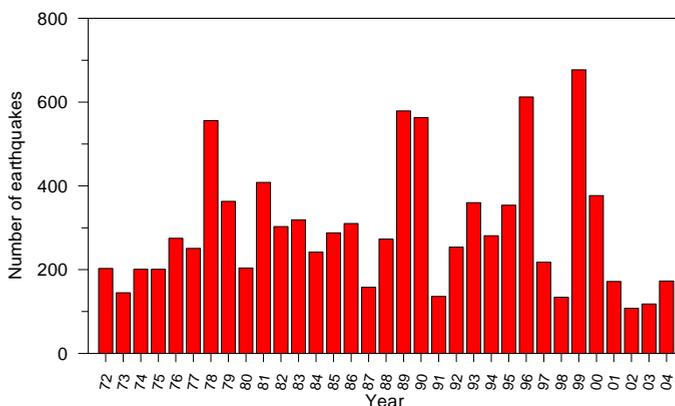
**Fig. 4:** Dettaglio della rete sismica del Vesuvio.



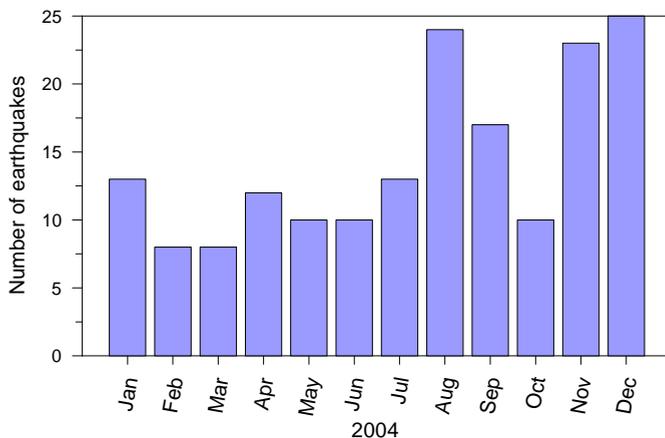
**Fig. 5:** Distribuzione percentuale degli eventi vesuviani per tipologia nel 2004.

Si può vedere dalla figura precedente che la maggior parte dei segnali sismici transienti registrati nell'area vesuviana sono dovuti ad esplosioni di natura artificiale legate ad attività antropiche locali. Vi sono poi alcuni segnali attribuibili a frane che interessano l'area craterica. Altri tipi di segnali dovuti a fenomeni naturali (es. tuoni) e a diverse attività antropiche sono compresi nella tipologia "altro".

Per quanto riguarda l'attività sismica naturale nel corso del 2004 sono stati registrati 368 terremoti, la maggior parte dei quali è di magnitudo inferiore a 2.0 (figg. 7, 10 e 12). Il numero totale di eventi registrati alla stazione OVO non si discosta significativamente da quello degli anni precedenti (fig.6). La frequenza di accadimento mensile evidenzia un lieve incremento dell'attività nella seconda metà del 2004. Tuttavia, questo andamento non costituisce un'anomalia significativa rispetto alla normale attività sismica del vulcano, come evidenziato anche dall'andamento dell'energia cumulativa (fig.11), che presenta un trend più o meno costante. Anche la distribuzione temporale delle Magnitudo (fig. 10) non evidenzia nessun trend significativo.



**Fig. 6:** Numero annuale di eventi sismici vesuviani dal 1973 al 2004 registrati alla stazione OVO.



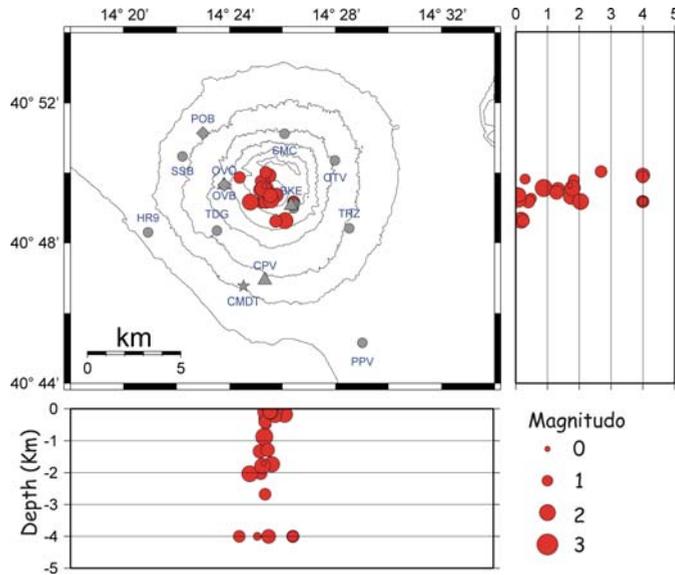
**Fig. 7:** *Frequenza mensile dell'accadimento dei terremoti nel 2004 registrati alla stazione OVO..*

Tutti i terremoti risultano localizzati al di sotto dell'area craterica, con ipocentri fortemente concentrati nei primi tre chilometri di profondità (fig. 8 e 9). Dalla fig. 9 si vede che non è riconoscibile una variazione della profondità in funzione del tempo. Il modello di velocità attualmente utilizzato è stato introdotto dal gennaio 2001 e deriva dai risultati della tomografia sismica. Tale modello a strati omogenei è riportato di seguito:

**Tab. 3:** *Modello di velocità del Vesuvio.*

Prof. iniziale	Prof. finale	Vp
Topografia	0 Km	2 Km/s
0 Km	2 Km	3 Km/s
2 Km	semispazio	6 Km/s

Il rapporto  $V_p/V_s$  è assunto costante e pari a 1.9.

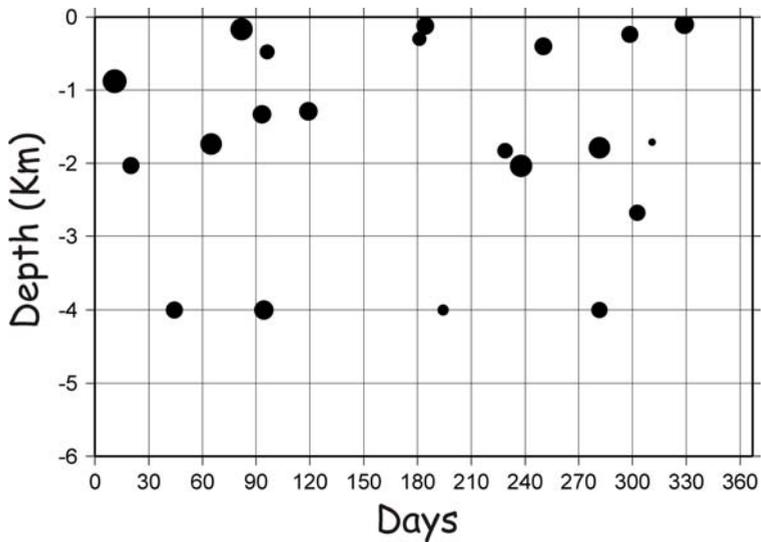


**Fig. 8:** Localizzazione degli ipocentri nell'area vesuviana durante il 2004.

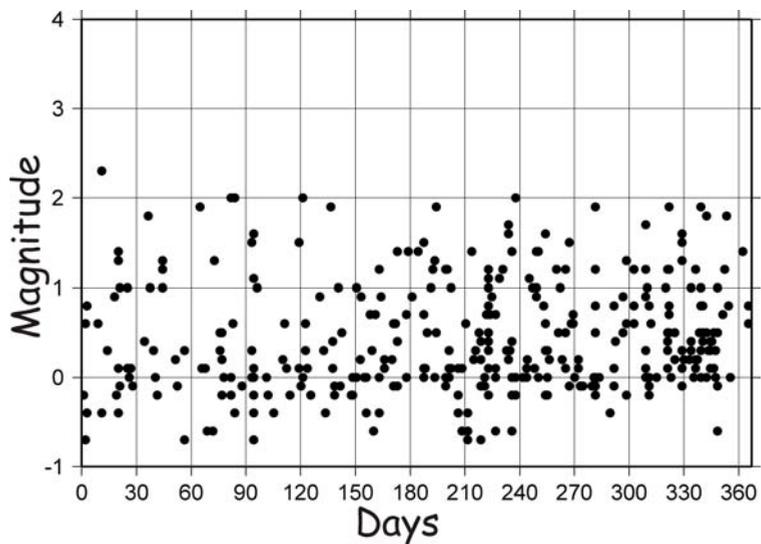
I parametri ipocentrali degli eventi di magnitudo maggiore, sono riportati in tab. 4.

**Tab. 4:** Parametri ipocentrali degli eventi con  $M_d \geq 2.0$ .

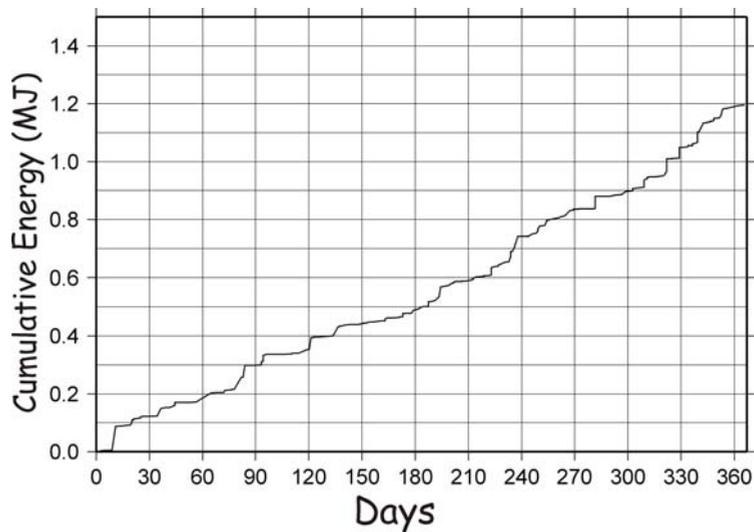
Data	Ora	Lat	Long	Prof	Md
2004/01/11	18:07:47,34	40°49'33"	14°25'20"	0,88	2,30
2004/03/21	11:58:18,73	40°48'38"	14°26'06"	0,17	2,00
2004/08/25	10:57:59,91	40°49'10"	14°24'47"	2,04	2,00



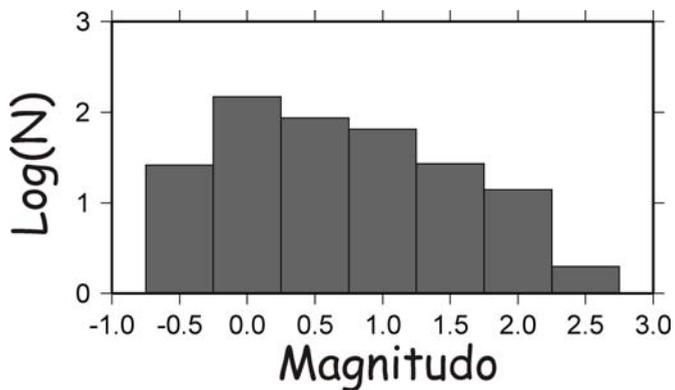
**Fig. 9:** *Variazione temporale della profondità ipocentrale dei terremoti vesuviani, nel corso del 2004.*



**Fig. 10:** *Variazione temporale della magnitudo dei terremoti vesuviani, nel corso del 2004.*



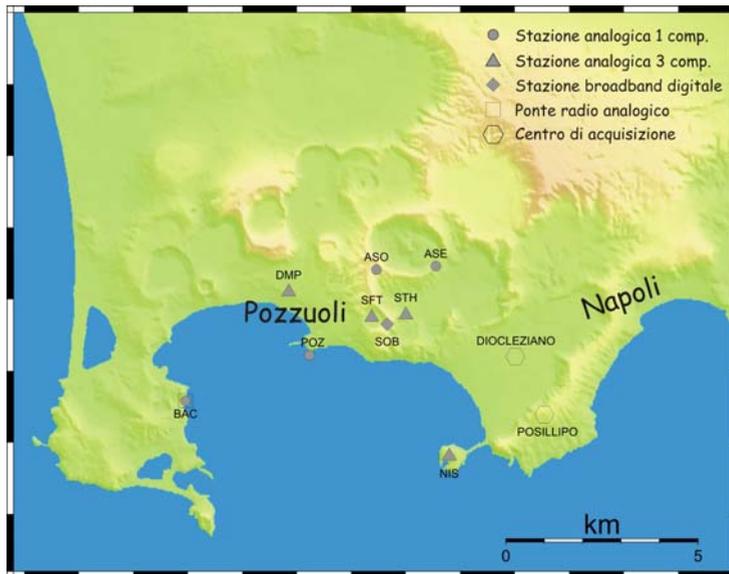
**Fig. 11:** *Andamento cumulativo dell'energia rilasciata dai terremoti vesuviani nel corso del 2004, calcolato con la relazione di Gutenberg e Richter  $\log E = 5.8 + 2.4M$ .*



**Fig. 12:** *Diagramma di Gutenberg-Richter per i terremoti vesuviani nel 2004.*

## 5.2. Campi Flegrei

Nel corso del 2004 le stazioni installate nell'area Flegrea (fig. 13) hanno registrato 3 eventi sismici (tab. 5).



**Fig. 13:** Dettaglio della rete sismica dei Campi Flegrei.

**Tab. 5:** Eventi registrati nel 2004 ai Campi Flegrei.

Data	Ora	M
2004/05/10	06:41:44,03	1,40
2004/06/07	04:40:29,74	0,90
2004/06/17	20:04:00,00	0,80

Detti eventi sono di piccola Magnitudo e non sono localizzabili poiché non sono stati registrati ad un numero di stazioni sufficiente.

Le stazioni sismiche hanno inoltre rilevato 22 probabili esplosioni artificiali avvenute nel Golfo di Pozzuoli.

### 5.3. Ischia

Nel corso del 2004 le stazioni sismiche installate ad Ischia (fig. 14) hanno registrato 2 terremoti locali (tab. 6).



**Fig.14:** Dettaglio della rete sismica di Ischia.

**Tab. 6:** Eventi registrati nel 2004 ad Ischia.

Data	Ora	Durata OC9
2004/09/03	01:49:44,81	25 s
2004/09/28	22:25:33,66	37 s

Questi terremoti non sono localizzabili, tuttavia dall'osservazione che la prima stazione che ha registrato entrambi gli eventi è OC9 è verosimile ritenere che l'epicentro si trovi in prossimità di detta stazione ubicata a Casamicciola.