

# Il monitoraggio sismico dei vulcani attivi della Campania: rete sismica ed analisi dei dati



*A cura di Alessio G., Borriello G., Buonocunto C., Capello M., Castellano M., Cusano P., De Cesare W., Giudicepietro F., Iannaccone G., Martini M., Meglio V., Petrosino S., Ricciolino P., Talarico G. e Torello V.*

1. Introduzione	pag. 1
2. Distribuzione della rete e strumentazione	pag. 1
3. Procedure di calibrazione e sistemi di controllo	pag. 4
4. Manutenzione della rete	pag. 4
4.1 Miglioramento installazioni	pag. 4
4.2 Sistemi di alimentazione	pag. 4
4.3 Sensori	pag. 4
4.4 Modulatori	pag. 5
4.5 Telemetria	pag. 5
5. Installazione nuove stazioni	pag. 5
6. Sismicità	pag. 5
7. Attività sismica relativa all'area del Vesuvio	pag. 6
7.1 Meccanismi focali	pag. 10
7.2 Eventi di natura artificiale registrati nell'area Vesuviana	pag. 11
8. Attività sismica relativa all'area dei Campi Flegrei	pag. 11
9. Attività sismica relativa all'isola di Ischia	pag. 12
10. Attività sismica localizzata in zone esterne alle aree vulcaniche napoletane	pag. 12
11. Analisi del microtremore	pag. 13
11.1 Variazione del microtremore al Vesuvio	pag. 13

# **Il monitoraggio sismico dei vulcani attivi della Campania: rete sismica ed analisi dei dati**

*Alessio G., Borriello G., Buonocunto C., Capello M., Castellano M., Cusano P., De Cesare W., Giudicepietro F., Iannaccone G., Martini M., Meglio V., Petrosino S., Ricciolino P., Talarico G. e Torello V. (Afferenti all'Unità Funzionale Centro di Monitoraggio)*

## **1. Introduzione**

La Rete Sismica dell'Osservatorio Vesuviano (RSOV) è una rete regionale costituita da stazioni sismiche analogiche a corto periodo e stazioni digitali a larga banda con trasmissione continua dei segnali al Centro di Acquisizione (figura 1). 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 per il Monitoraggio della Sismicità).

Il miglioramento e la standardizzazione della Rete iniziato nella prima metà del 2000 è continuato nell'anno in corso con la ristrutturazione di alcune stazioni (SFT, HR9, OTV, SSB, SMC) e la conversione a tre componenti di due stazioni dell'area vesuviana (BKE e CPV). Particolare attenzione è stata posta nel miglioramento dell'accoppiamento sismometro-basamento al fine di migliorare il rapporto segnale-rumore; il rumore di fondo rimane comunque elevato a quasi tutte le stazioni a causa dell'alto grado di urbanizzazione delle aree monitorate.

E' stata completata, inoltre, la ristrutturazione del Ponte Radio Centralizzato posto presso la sede di Via Manzoni. Questa operazione ha comportato la sostituzione di tutti gli apparati radio riceventi, obsoleti o inadeguati, e la ridistribuzione del sistema delle antenne di ricezione.

Futuri miglioramenti ed espansioni della Rete sono inseriti nel Piano Triennale delle attività dell'I.N.G.V. e prevedono la conversione in larga banda di alcune stazioni analogiche e la ridondanza dei sistemi di trasmissione (telemetria UHF e satellitare) per garantire la continuità dell'acquisizione dei segnali.

## **2. Distribuzione della rete e strumentazione**

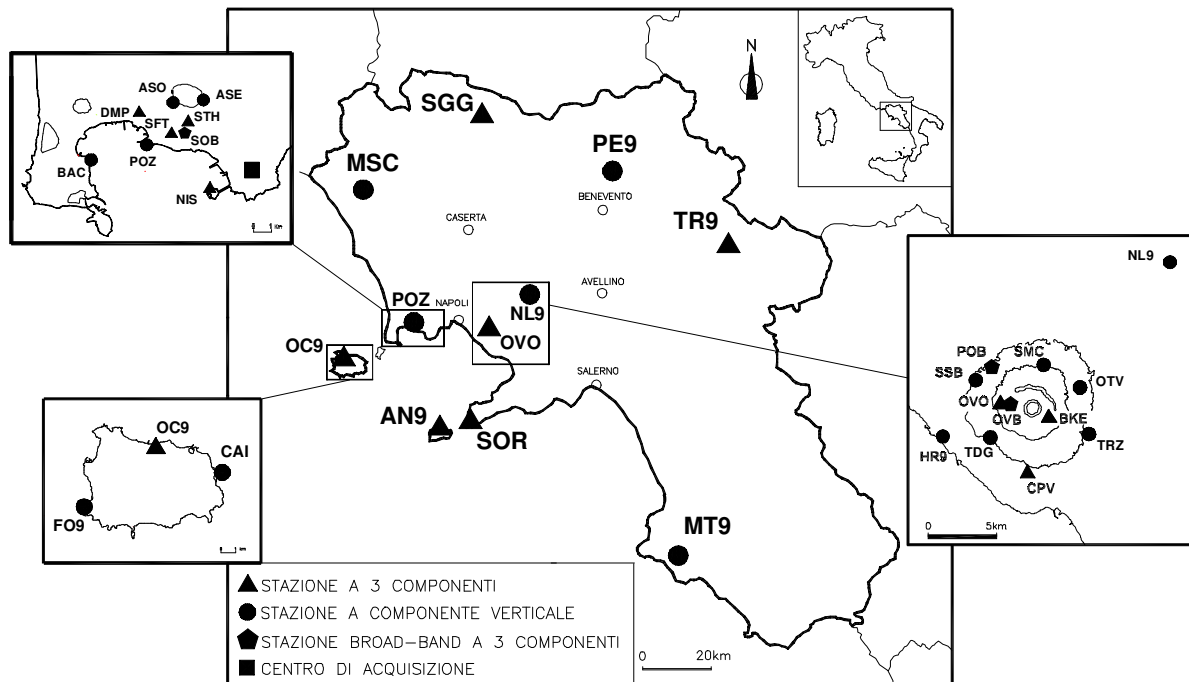
La Rete Sismica è attualmente costituita da 28 stazioni analogiche a corto periodo (1 Hz) distribuite con una geometria irregolare che prevede la più alta densità al Vesuvio (10 stazioni di cui 7 a componente verticale e 3 a tre componenti) ed ai Campi Flegrei (8 stazioni di cui 4 a componente verticale e 4 a tre componenti). Ischia è monitorata da 3 stazioni (2 a componente verticale e 1 a tre componenti) mentre altre 7 stazioni (3 a componente verticale e 4 a tre componenti) sono distribuite a scala regionale (figura 1). Sono installate, inoltre, 3 stazioni digitali a larga banda. Di queste 1 è installata ai Campi Flegrei (SOB) e 2 al Vesuvio (OVB e POB) (Castellano et al., 2002; figura 1).

In Tabella 1 è riportato l'elenco delle stazioni con l'anno di installazione. Le coordinate sono determinate su base cartografica al 25.000; è attualmente in atto il riposizionamento di tutte le stazioni usando un ricevitore GPS portatile Trimble GeoExplorer 3.

Le stazioni a corto periodo a componente verticale sono equipaggiate 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 in uso sono il risultato di un progetto sviluppato dal Laboratorio Elettronico della Rete Sismica (MARCAP; Capello, 1996)

modificato per garantire il mantenimento degli standard di risposta della precedente strumentazione (Buonocunto, 2000). I nuovi apparati hanno sostituito quasi tutti i modulatori in esercizio (Lennartz Mars-66) ormai obsoleti.



**Fig. 1.** Distribuzione delle stazioni afferenti alla Rete Sismica dell'Osservatorio Vesuviano.

La trasmissione dei segnali è effettuata prevalentemente mediante telemetria UHF con apparati radio sintetizzati di ultima generazione (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; figura 1) la trasmissione è realizzata mediante linea telefonica dedicata.

Le stazioni digitali a larga banda sono costituite da sensori a 3 componenti Guralp CMG-40T con risposta in frequenza 60s – 50Hz. I dati sono digitalizzati a 100 c.p.s. da un acquirente locale costituito da una stazione Kinematics K2 e trasmessi in continuo via porta RS-232 a 9600 baud mediante telemetria UHF (ERE PMDU8710). Particolare attenzione è stata posta per garantire un corretto isolamento termico del sensore al fine di minimizzare gli effetti delle variazioni di temperatura secondo gli standard adottati a livello internazionale.

Per tutte le stazioni il sistema di alimentazione è garantito dalla linea elettrica o da pannelli solari. Un sistema di alimentazione a tampone con caricabatteria KERT da 3A e batterie FIAMM da 75 A/h garantisce un'autonomia di 3-4 giorni in caso di interruzione della corrente elettrica. Tutti gli apparati dispongono di messa a terra e sono protetti da sovratensioni e scariche atmosferiche. Informazioni dettagliate sui criteri di miglioramento della Rete sono riportati in Buonocunto et al. (2001) e Castellano et al. (2002).

**Tab. 1.** Elenco delle stazioni della rete sismica dell'Osservatorio Vesuviano. Per ognuna di essa vengono precisate la sigla adottata, la località in cui è installata, le coordinate, il tipo di sensore e la data di installazione.

<b>Sigla</b>	<b>Località</b>	<b>LAT-N</b>	<b>LONG-E</b>	<b>Quota (m slm)</b>	<b>Sensore<sup>1</sup></b>	<b>Data<sup>2</sup></b>
AN9	Capri-Anacapri	40°33.07'	14°13.01'	250	CP-3C	1998
ASE	Cratere Astroni	40°50.46'	14°09.55'	100	CP-1C	2000
ASO	Cratere Astroni	40°50.41'	14°08.46'	200	CP-1C	2000
BAC	Castello di Baia	40°48.58'	14°04.96'	15	CP-1C	1970
BKE <sup>4</sup>	Vesuvio-Bunker Est	40°49.07'	14°26.33'	863	CP-3C	1992
CAI	Ischia-Castello Aragonese	40°43.88'	13°57.92'	80	CP-1C	1996
CPV <sup>5</sup>	Vesuvio-Cappella Nuova	40°46.93'	14°25.33'	190	CP-3C	1992
DMP	Pozzuoli	40°50.10'	14°06.85'	46	CP-3C	2000
FO9	Forio d'Ischia	40°42.65'	13°51.32'	234	CP-1C	1995
HR9	Ercolano Scavi	40°48.30'	14°20.93'	34	CP-1C	1987
MSC	Mt. Massico	41°11.49'	13°58.28'	109	CP-1C	1979
MT9	Mt. Stella	40°14.22'	15°03.90'	1125	CP-1C	1988
NIS	Nisida	40°47.81'	14°09.80'	3	CP-3C	1983
NL9	Nola	40°55.23'	14°32.70'	75	CP-1C	1992
OC9	Ischia	40°44.75'	13°54.05'	123	CP-3C	1993
OTV	Ottaviano	40°50.35'	14°27.98'	363	CP-1C	1996
OVO	O.V. Sede storica	40°49.65'	14°23.80'	584	CP-3C	1971
OVB	O.V. Sede storica	40°49.65'	14°23.80'	584	LB-3C	2000
PE9	Pescosannita	41°14.00'	14°50.00'	395	CP-1C	1999
POB	Vesuvio-Pollena	40°51.13'	14°23.00'	170	LB-3C	2000
POZ	Pozzuoli	40°49.22'	14°07.23'	3	CP-1C	1982
SFT	Solfatara	40°49.79'	14°08.31'	90	CP-3C	2000
SGG	Mt. Matese	41°23.20'	14°22.75'	880	CP-3C	1977
SMC	Vesuvio-Mt. Somma	40°51.12'	14°26.08'	406	CP-1C	1995
SOB	Solfatara	40°49.65'	14°08.66'	175	LB-3C	2000
SOF <sup>3</sup>	Solfatara	40°49.62'	14°08.50'	65	CP-3C	1995
SOR	Sorrento	40°34.92'	14°20.10'	497	CP-3C	1976
SSB	Vesuvio	40°50.47'	14°22.23'	175	CP-1C	1993
STH	Agnano	40°49.78'	14°09.00'	100	CP-3C	1983
TDG	Torre del Greco	40°48.35'	14°23.53'	300	CP-1C	1995
TR9	Trevico	41°02.75'	15°13.92'	1094	CP-3C	1980
TRZ	Terzigno	40°48.42'	14°28.52'	175	CP-1C	1994

<sup>1</sup> CP = Corto periodo; LB = Larga banda; 1C = componente verticale; 3C = tre componenti.

<sup>2</sup> Data di installazione.

<sup>3</sup> In funzione fino al 17.11.2000.

<sup>4</sup> Convertita in 3C nel Marzo 2001.

<sup>5</sup> Convertita in 3C nel Giugno 2001.

### **3. Procedure di calibrazione e sistemi di controllo**

Le stazioni sismiche vengono periodicamente calibrate per definirne correttamente la funzione di trasferimento. La calibrazione periodica (La Rocca, 2000) viene effettuata inviando alla bobina di calibrazione del sensore un treno di impulsi di corrente nota (on/off e off/on); l'analisi mediante un programma *Mathcad* (Del Pezzo, 2000) fornisce la costante di calibrazione dinamica e la risposta in ampiezza e fase dello strumento.

Inoltre, è in corso di installazione su ogni stazione un circuito che effettua una calibrazione giornaliera (due impulsi di corrente nota) al fine di controllare la polarità, lo smorzamento ed il corretto funzionamento della stazione.

L'impulso per la calibrazione giornaliera viene anche impiegato per un controllo dello stato di alimentazione della stazione. Un circuito controlla la tensione della batteria ed inibisce l'impulso di calibrazione quando la tensione scende al di sotto di 12.2V qualsiasi ne sia la causa (avaria del caricabatteria, attivazione dei sistemi di protezione elettrica). In questo modo è possibile ripristinare il corretto funzionamento dell'alimentazione prima che la batteria esaurisca la carica di riserva.

E' stato realizzato, infine, un circuito che scollega la strumentazione dalla batteria nel caso in cui la tensione di quest'ultima scenda sotto i 10V (tensione non più sufficiente a garantire il funzionamento della strumentazione): questo al fine di proteggere la batteria da eccessivi livelli di scarica.

### **4. Manutenzione della rete**

#### **4.1. Miglioramento installazioni**

Contemporaneamente alla manutenzione straordinaria nei primi sei mesi del 2001 è continuato il programma di miglioramento e standardizzazione di tutte le stazioni sismiche della Rete. Sono stati ristrutturati i siti di alcune stazioni dell'area vesuviana (SSB, HR9, OTV, SMC; figura 1) migliorando l'accoppiamento sensore-basamento secondo lo standard già adottato (Buonocunto et al., 2001).

Le stazioni sono state dotate di un quadro elettrico in cui sono alloggiate le protezioni da sovratensione e gli scaricatori. E' stata migliorata la logistica per quanto riguarda l'installazione dell'elettronica separando la sezione alimentazione da quella di modulazione e trasmissione.

Gli interventi di manutenzione straordinaria vengono effettuati di norma entro 24-36 ore.

#### **4.2 Sistemi di alimentazione**

La messa a terra della strumentazione e l'installazione di adeguati sistemi di protezione da sovratensioni ha sensibilmente migliorato il grado di affidabilità delle stazioni sismiche che nei primi sei mesi del 2001 non hanno subito danni da fulmini o scariche elettriche.

I sistemi di alimentazione a tampone si sono rivelati ben dimensionati alle esigenze. Per la sola stazione digitale della Solfatara (SOB; figura 1) è necessario aumentare il livello di carica fornito dai pannelli solari a causa dell'elevato consumo della strumentazione (data-logger e trasmettitore UHF).

#### **4.3 Sensori**

E' in atto la calibrazione completa di tutti i sismometri al fine di uniformarne le risposte e gli smorzamenti.

Alcuni sensori precedentemente installati a diretto contatto con i terreni vulcanici (HR9, TRZ, ASE; figura 1) o in prossimità del mare (POZ; figura 1) hanno subito alterazioni chimico-fisiche che ne hanno richiesto la sostituzione. Lo standard attualmente adottato per l'installazione dei sensori (Buonocunto et al., 2001) garantisce un adeguato isolamento da agenti corrosivi.

#### **4.4 Modulatori**

Tra i primi mesi del 2000 e Giugno 2001 sono stati sostituiti quasi tutti i vecchi modulatori, alcuni dei quali in funzione da circa 30 anni. I nuovi apparati (Capello, 1996) sono caratterizzati da bassi costi di produzione e da una modularità che li rende estremamente funzionali per le operazioni di verifica e controllo.

#### **4.5 Telemetria**

La gran parte delle stazioni della Rete Sismica dell'Osservatorio Vesuviano è installata in aree altamente urbanizzate e caratterizzate da elevati livelli di rumore culturale ed elettromagnetico. Quest'ultimo, in particolare, determina occasionalmente interferenze sulle trasmissioni radio che risultano disturbate anche su frequenze di trasmissione autorizzate. Particolarmente disturbate risultano le trasmissioni delle stazioni a larga banda installate al Vesuvio (OVB e POB; figura 1); è attualmente in corso la taratura fine dei sistemi di trasmissione di queste stazioni con lo scopo di eliminare le interferenze.

Le stazioni trasmesse via linea telefonica dedicata non soffrono di tale problema, ma risultano più elevati i tempi di ripristino a seguito di avarie sulla linea, questo a causa delle procedure previste dal gestore del servizio.

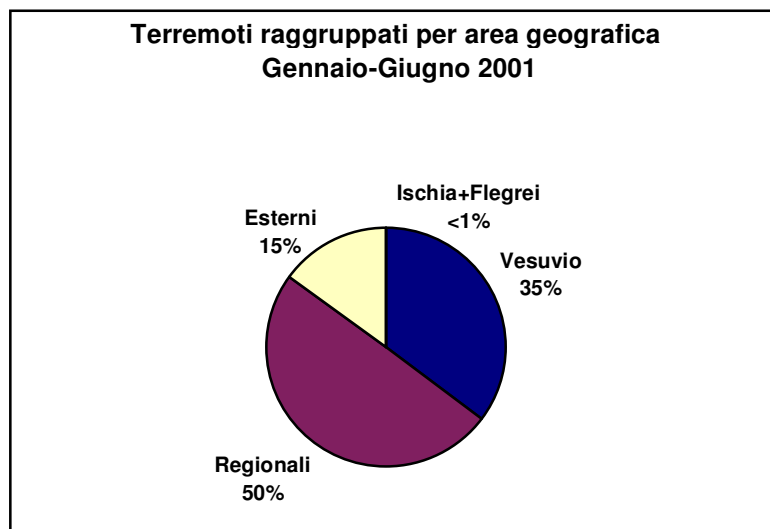
### **5. Installazione nuove stazioni**

Nel corso dei primi sei mesi del 2001 non sono state installate nuove stazioni. Si è proceduto, tuttavia, alla conversione da mono a tre componenti per due stazioni dell'area vesuviana (BKE e CPV; figura 1) al fine di aumentare le informazioni sulle fasi dei terremoti locali e migliorare le localizzazioni ipocentrali.

Nei mesi a seguire è prevista l'installazione di altre 4 stazioni a larga banda e 3 stazioni a corto periodo per migliorare ulteriormente la geometria della Rete. La ricerca di nuovi siti con caratteristiche adeguate è resa difficile, specialmente per i sensori a larga banda, dalla già citata intensa urbanizzazione dell'area. E' da tenere presente, inoltre, che le aree da monitorare sono estremamente vicine al mare il cui effetto a bassa frequenza è particolarmente evidente proprio alle stazioni a larga banda.

### **6. Sismicità**

Nel corso del primo semestre dell'anno 2001 la Rete Sismica Permanente dell'Osservatorio Vesuviano ha registrato 1904 eventi sismici. Di questi 1489 sono eventi naturali e 415 eventi artificiali (principalmente esplosioni). I terremoti registrati vengono classificati per aree geografiche e la figura 2 ne riporta la distribuzione percentuale.

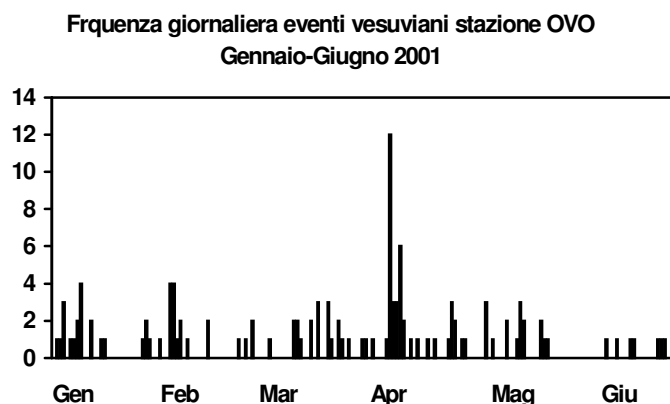


**Fig. 2.** Distribuzione geografica dei terremoti registrati nel primo semestre del 2001. Regionali = terremoti avvenuti nell'area campana (ad esclusione delle aree Vesuvio - Campi Flegrei - Ischia) con  $T_s-T_p \leq 5$  secondi. Esterni = terremoti esterni all'area campana e telesismi.

Le analisi statistiche sulla distribuzione della sismicità nelle diverse aree monitorate vengono effettuate attualmente sui dati registrati ad alcune stazioni di riferimento. Si tratta di stazioni "storiche" il cui data-base consente analisi su un'ampia base temporale, anche se altre stazioni, di più recente installazione, risultano caratterizzate da un migliore rapporto segnale/rumore e possono registrare un maggior numero di eventi di bassa energia (Iannaccone et al., 2000).

## 7. Attività sismica relativa all'area del Vesuvio

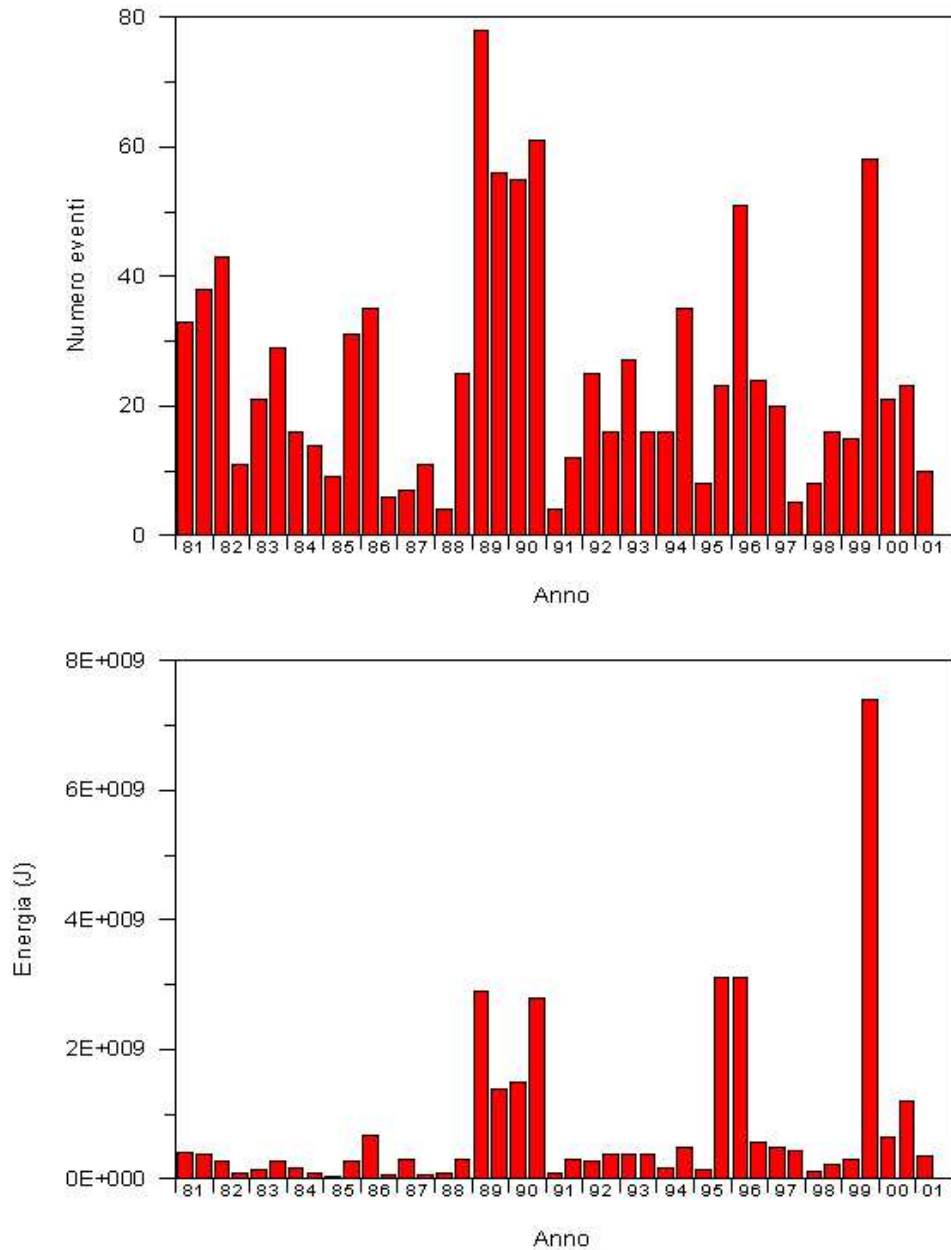
Al Vesuvio la stazione sismica OVO (figura 1; Sede storica dell'Osservatorio Vesuviano), considerata come stazione di riferimento per tutte le analisi effettuate riguardo la sismicità, nel primo semestre del 2001 ha registrato 125 terremoti con magnitudo  $M_D \geq -0.2$ . La distribuzione giornaliera di tali eventi è riportata in figura 3.



**Fig. 3.** Distribuzione giornaliera dei terremoti alla stazione OVO.

Al fine di confrontare la sismicità avvenuta nei primi 6 mesi del 2001 con quella degli anni precedenti si è considerato un valore di soglia della magnitudo determinato dalla completezza del catalogo dei terremoti del Vesuvio. Tale valore, come evidenziato da vari autori (es. Marzocchi et al., 2001), risulta  $M_D = 1.9$  e, relativamente al primo semestre 2001, il

corrispondente numero di terremoti con  $M_D \geq 1.9$  è pari a 10. La figura 4 riporta la distribuzione temporale della sismicità del Vesuvio dal 1981 espressa sia come numero di eventi per semestre che come energia liberata, quest'ultima determinata dalla relazione di Gutenberg-Richter:  $\text{Log } E = 9.9 + 1.9M$ .

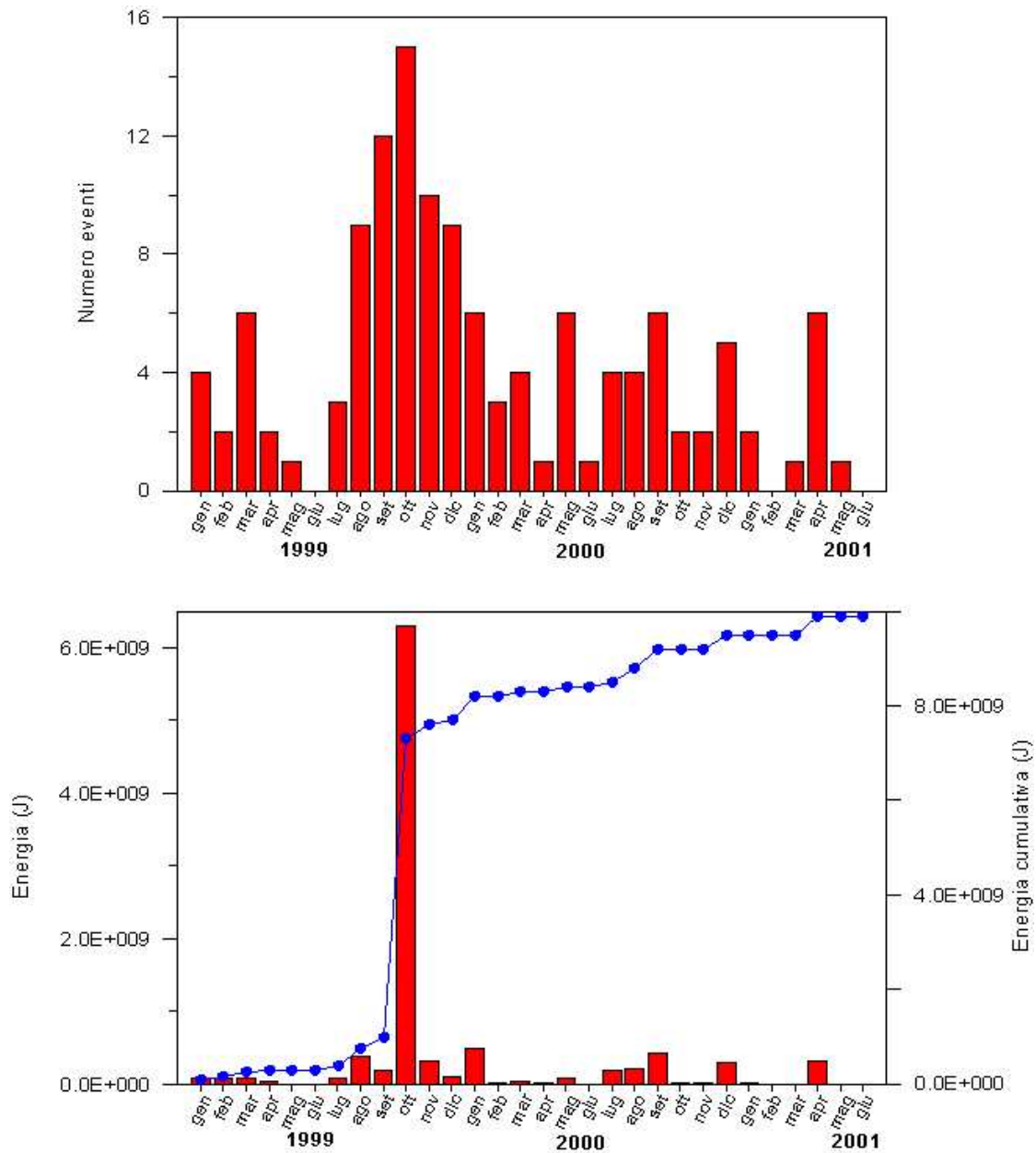


**Fig. 4.** Distribuzioni temporali con frequenza semestrale del numero di eventi sismici e dell'energia per il periodo 1981-2001.



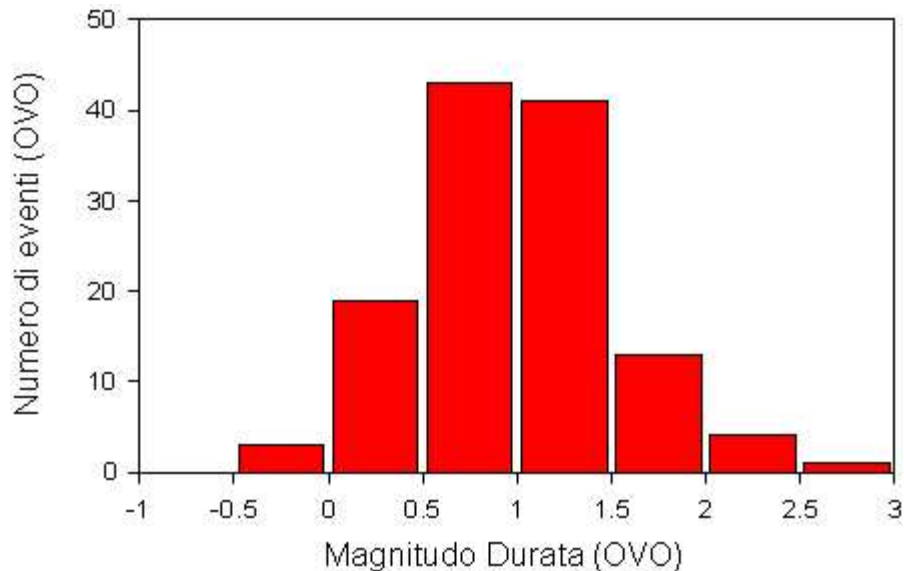
Dalla distribuzione semestrale risulta che il numero medio di terremoti avvenuti al Vesuvio con  $M_D \geq 1.9$  dal 1981 al 2000 è 25.1 con una deviazione standard pari a 18. La sismicità con queste caratteristiche relativa al primo semestre 2001, rappresentata da 10 eventi, rientra in questa media.

In figura 5 viene mostrata la frequenza mensile degli eventi vesuviani con  $M_D \geq 1.9$  dal 1999 ad oggi, insieme alla relativa distribuzione dell'energia.



**Fig. 5.** Distribuzioni temporali con frequenza mensile del numero di eventi sismici, dell'energia (istogrammi) e dell'energia cumulativa (linea continua) per il periodo Gennaio 1999–Giugno 2001 relative alla sismicità con  $M_D \geq 1.9$ . Il picco di energia è relativo all'evento di  $M_D=3.6$  avvenuto il 9 Ottobre 1999.

In figura 6 è mostrata la distribuzione della sismicità per classi di magnitudo. Si nota che l'86% degli eventi registrati ha magnitudo inferiore a 2.0, 6 terremoti hanno magnitudo compresa tra 2.0 e 2.5 e solo 1 evento ha magnitudo compresa tra 2.5 e 3.0. Questo evento, avvenuto l'11 Aprile 2001 alle ore 00:08 GMT è stato debolmente avvertito dalla popolazione nelle zone di Portici e Torre del Greco.



**Figura 6.** Numero di eventi registrati alla stazione OVO (Gennaio–Giugno 2001) per classi di magnitudo di ampiezza 0.5.

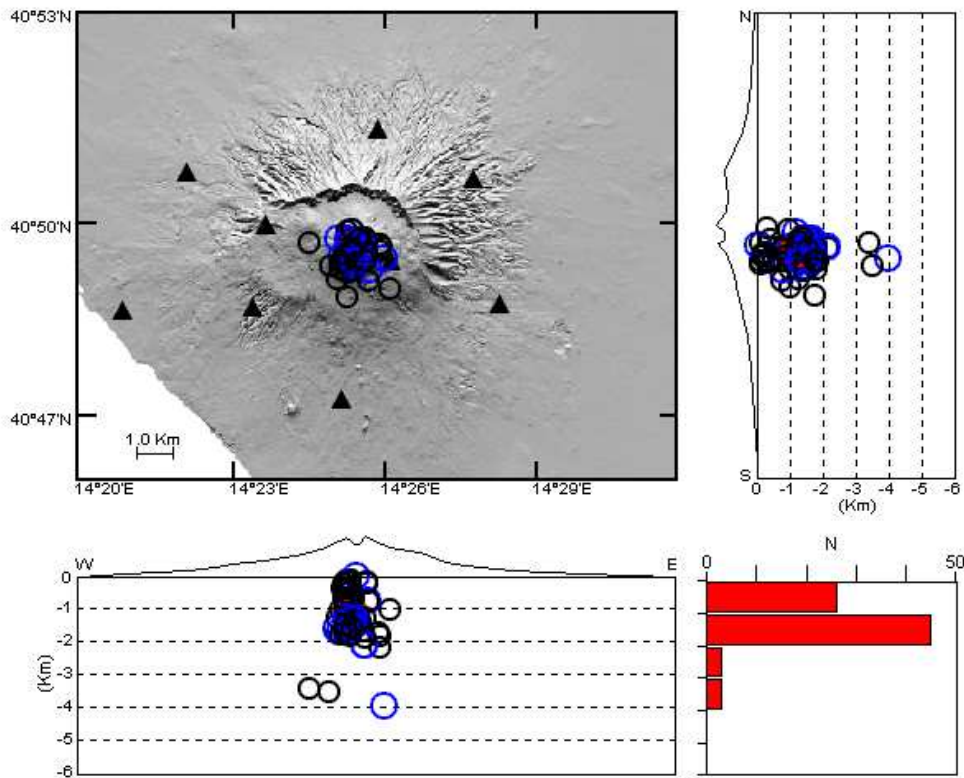
Le localizzazioni ipocentrali degli eventi verificatisi nel primo semestre del 2001 sono riportate in figura 7. Tutti i terremoti risultano localizzati nell'area craterica con profondità ipocentrale fortemente concentrata nei primi due chilometri di profondità. Il modello di velocità attualmente utilizzato è stato introdotto dal Gennaio 2001 e deriva dai risultati della recente tomografia sismica (Lomax et al., 2001). Tale modello è riportato in Tabella 2. La tabella 3 riporta i parametri ipocentrali dei terremoti con  $M_D \geq 2.5$ .

**Tab. 2.** Modello di velocità attualmente in uso per l'area vesuviana.

PROFONDITA'	VELOCITA'
Topografia	$V_p = 2.0 \text{ km/s}$
0 – 2 km	$V_p = 3.0 \text{ km/s}$
> 2 km	$V_p = 6.0 \text{ km/s}$
Rapporto $V_p/V_s = 1.9$	

**Tab. 3.** Parametri ipocentrali dei terremoti con  $M_D \geq 2.5$ .

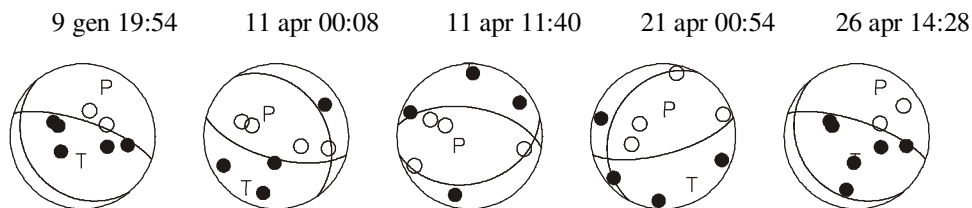
Data	Ora GMT	Lat N	Lon E	Prof. (km)	$M_D$	RMS (s)	ERH (km)	ERZ (km)	Q
11/4/01	00:08	40-49.35	14-25.55	1.29	2.9	0.03	0.1	0.1	A



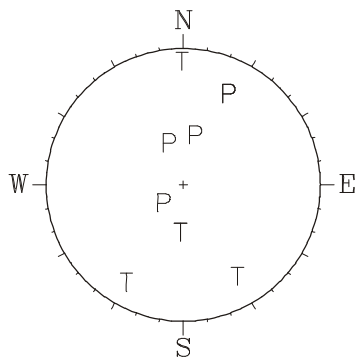
**Fig. 7.** Localizzazioni dei terremoti avvenuti nel periodo Gennaio–Giugno 2001. I cerchi neri rappresentano eventi con  $M_D \leq 1.5$ , i cerchi blu rappresentano eventi con  $1.5 < M_D < 2.5$ , e i cerchi rossi rappresentano eventi con  $M_D \geq 2.5$ . In basso a destra si riporta la distribuzione del numero di eventi per classi di profondità di 1 km.

### 7.1 Meccanismi focali

Relativamente ad un numero selezionato di terremoti è stato determinato il meccanismo focale utilizzando le polarità dei primi arrivi delle onde P. Sono stati considerati eventi registrati con almeno sette dati di polarità. La figura 8 riporta le soluzioni determinate utilizzando il codice di calcolo FPFIT (proiezione emisfero inferiore) e mostra una distribuzione delle polarità sulla sfera focale compatibile con una sorgente assimilabile ad una doppia coppia di forze con una direzione preferenziale circa E-W per uno dei piani nodali. La corrispondente distribuzione degli assi P e T evidenzia una direzione preferenziale N-S (figura 9).



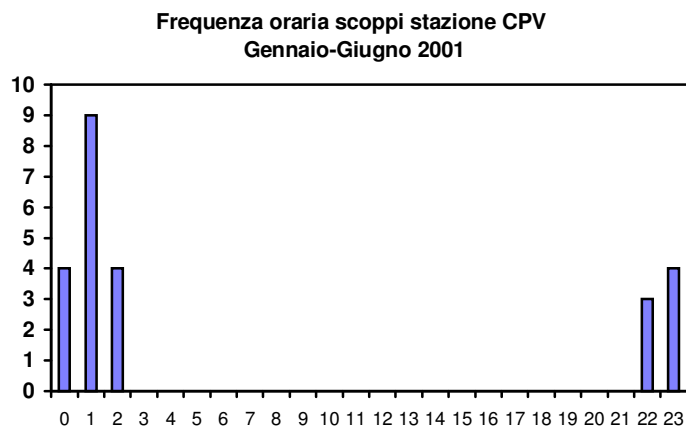
**Fig. 8.** Meccanismi focali di eventi selezionati relativi al periodo Gennaio-Giugno 2001.



**Fig. 9.** Proiezione stereografica (emisfero inferiore) degli assi P e T relativi ai meccanismi di figura 8.

## 7.2 Eventi di natura artificiale registrati nell'area vesuviana

Le stazioni sismiche installate nell'area del Vesuvio, oltre a registrare eventi naturali, hanno rilevato 45 eventi interpretati come registrazioni di probabili esplosioni. In particolare la stazione sismica CPV (figura 1) ha registrato 24 eventi di questo tipo; la bassa energia di questi segnali, rilevati al più a due o tre stazioni sismiche, non ne consente la localizzazione analitica. La tipologia delle forme d'onda e la distribuzione dei tempi di arrivo alle poche stazioni che li registrano indicano che probabilmente gli eventi sono ubicati nel tratto di mare antistante le città di Torre del Greco - Torre Annunziata. Questi eventi avvengono in limitate fasce orarie, come evidenziato dall'istogramma riportato in figura 10, e sono probabilmente imputabili all'attività di pescatori di frodo.



**Fig. 10.** Distribuzione temporale con frequenza oraria delle esplosioni registrate alla stazione CPV.

## 8. Attività sismica relativa all'area dei Campi Flegrei

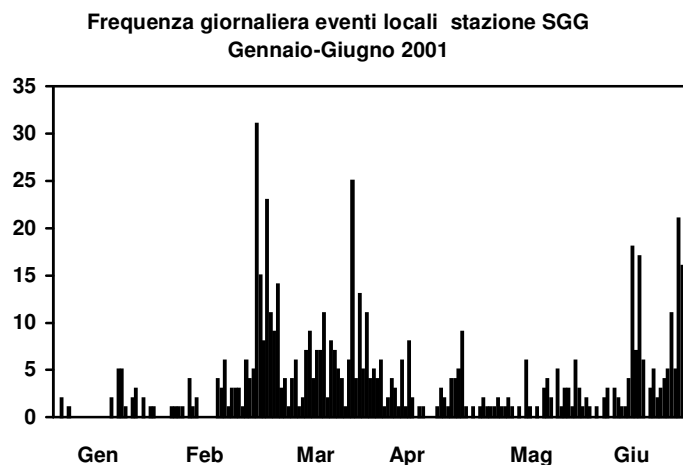
Nel corso del primo semestre 2001 le stazioni sismiche installate nell'area dei Campi Flegrei non hanno registrato eventi sismici naturali. Sono state registrate comunque alcune decine di esplosioni artificiali, localizzate nell'area del Golfo di Pozzuoli, imputabili all'attività di pescatori di frodo.

## 9. Attività sismica relativa all'isola di Ischia

Nel corso del primo semestre 2001 le stazioni sismiche dell'isola d'Ischia non hanno registrato alcun evento sismico di origine naturale.

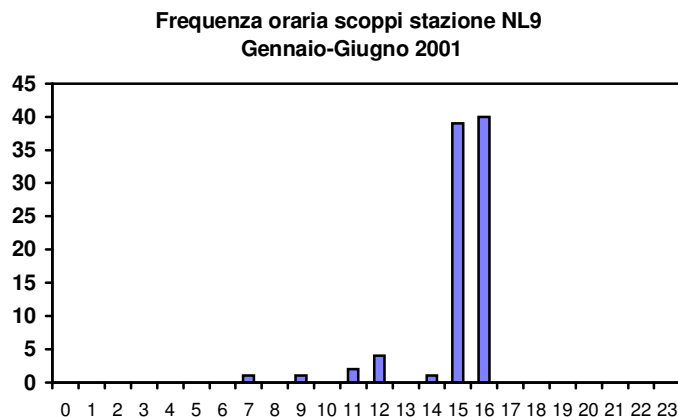
## 10. Attività sismica localizzata in zone esterne alle aree vulcaniche napoletane

Le stazioni sismiche dell'Osservatorio Vesuviano esterne alle aree vulcaniche napoletane, oltre a contribuire allo studio della sismicità di tali aree, hanno registrato terremoti relativi alle aree sismogenetiche dell'Appennino Centro-meridionale. In particolare, la stazione SGG, ubicata sul massiccio del Matese (figura 1), ha registrato 676 eventi sismici (figura 11) caratterizzati da una differenza dei tempi di arrivo  $T_s - T_p \leq 5$  secondi e quindi localizzabili in un'area di circa 30-35 km dalla stazione.



**Fig. 11.** Distribuzione temporale con frequenza giornaliera dei terremoti locali registrati alla stazione SGG.

La stazione NL9 (figura 1), installata sui primi contrafforti appenninici a Nord-Est del Vesuvio, ha registrato 8 terremoti locali, con magnitudo non superiori a 1.5. La stazione ha registrato, inoltre, 88 esplosioni relative all'attività estrattiva delle cave presenti nella zona. La figura 12 riporta la distribuzione oraria di questa attività.



**Fig. 12.** Distribuzione oraria delle esplosioni registrate alla stazione NL9.

Tra la sismicità registrata a livello regionale nel primo semestre del 2001 è da segnalare un terremoto avvenuto il 5 marzo 2001 alle ore 01:09 GMT di magnitudo  $M_D = 2.8$  localizzato nella zona dei monti Lattari e distintamente avvertito dalla popolazione nella penisola Sorrentina. Questo evento è stato registrato a numerose stazioni della rete sismica di sorveglianza e i relativi parametri ipocentrali sono riportati in Tabella 4.

**Tab. 4.** Parametri ipocentrali del terremoto del 5 marzo 2001.

Data	Ora GMT	Lat N	Lon E	Prof. (km)	$M_D$	RMS (s)	ERH (km)	ERZ (km)	Q
5/3/01	01:09	40-39.82	14-28.36	5.94	2.8	0.24	1.5	3.2	C

## 11. Analisi del microtremore

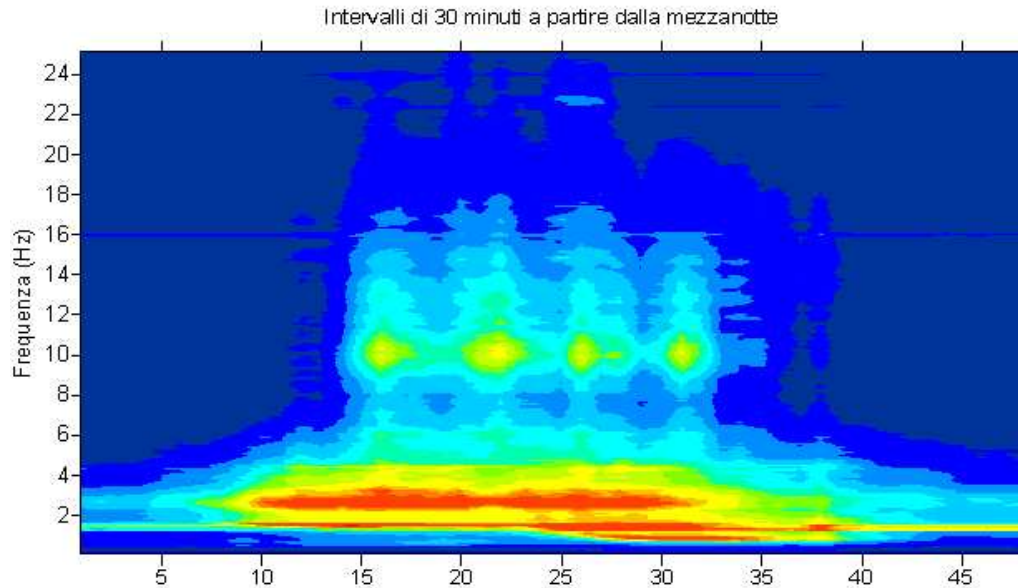
Il microtremore è la vibrazione continua del suolo che, con diverse caratteristiche, è ovunque presente e rilevabile dagli apparati sismici di sufficiente sensibilità. Le cause di questa vibrazione sono molteplici e possono essere imputate tanto a fenomeni naturali che all'attività umana. Nel caso di aree vulcaniche attive i processi interni al vulcano possono costituire una delle sorgenti naturali di tale fenomeno, che in molti casi è stato identificato quale precursore a breve termine di una eruzione. Perciò la rapida individuazione e caratterizzazione del microtremore sismico è un obiettivo qualificante dei moderni sistemi di monitoraggio vulcanico. A tal fine presso il Centro di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano sono stati sviluppati sistemi che, operando in tempo reale sui segnali rilevati dalla rete sismica, ne analizzano le caratteristiche spettrali e di polarizzazione (Giudicepietro et al. 2000). Inoltre, poiché per questa categoria di segnali le reti sismiche tradizionali non consentono analisi e livelli informativi confrontabili con quelli ottenibili per i segnali transienti, quali i terremoti, presso l'Osservatorio Vesuviano sono in corso studi avanzati per l'implementazione di tecniche innovative, che prevedono l'uso di array sismici, ossia particolari concentrazioni di sismometri in aree ristrette, tali da consentire la rapida individuazione e localizzazione delle sorgenti di questi segnali.

### 11.1 Variazione del microtremore al Vesuvio

Di seguito viene presentata una prima valutazione delle caratteristiche spettrali del microtremore rilevato nell'area vesuviana dai sistemi automatici del Centro di Monitoraggio. Per questa analisi vengono riportati i risultati ottenuti utilizzando i segnali rilevati dalla stazione sismica OVO (figura 1), componente verticale, selezionata tra quelle più distanti dalle aree urbanizzate. Oltre alle caratteristiche evidenziate anche da analisi indipendenti effettuate con dati della rete mobile (questo rapporto) e con esperimenti effettuati con array sismici temporanei (Saccorotti et al. 2001), sono stati definiti gli intervalli di variabilità dei segnali rilevati, in relazione alle condizioni marine e dell'attività antropica del periodo analizzato.

Per l'analisi sono state utilizzate le ampiezze spettrali di finestre di 10.24 secondi di segnale che i sistemi automatici analizzano costantemente, su un periodo che va dall'1.5.2001 al 10.6.2001, per un totale di 41 giorni. Dall'analisi della distribuzione delle ampiezze spettrali nell'arco delle 24 ore giornaliere, ottenuta dai valori medi su intervalli di 30 minuti delle finestre elementari di 10.24 secondi, è evidente un sensibile aumento del livello del segnale alle alte frequenze dalle ore 07:00 alle ore 17:00 circa (figura 13), intervallo orario di maggiore concentrazione dell'attività antropica nell'area.

## Stacking di 41 giorni dal 01/05/01 al 01/06/10

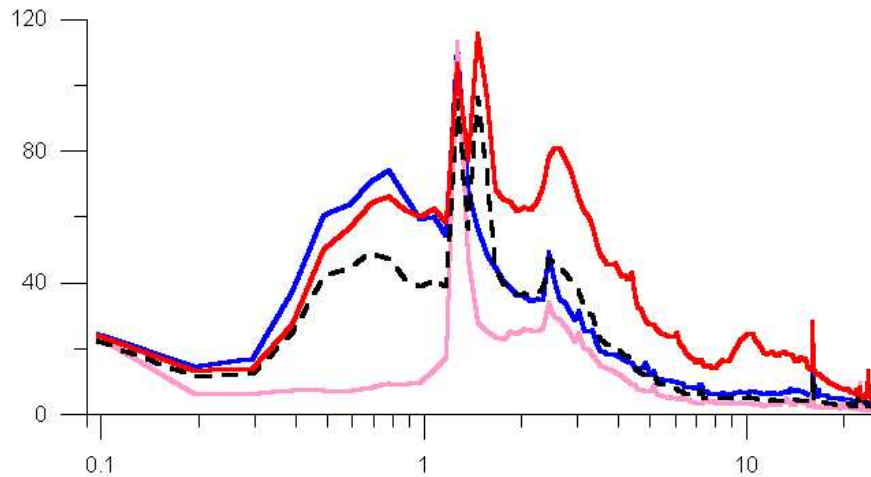


**Fig. 13.** Distribuzione dell' ampiezza del microtremore nelle varie ore della giornata, in funzione della frequenza. In ascissa è riportato l' indice progressivo dei 48 intervalli da 30 minuti in cui sono state suddivise le 24 ore giornaliere. Per ogni intervallo di 30 minuti e per ogni frequenza è stato calcolato il valore medio dell' ampiezza del segnale ricadente in tale intervallo, utilizzando tutti i dati del periodo dei 41 giorni analizzati

Le medie dei parametri spettrali sono state quindi ricalcolate distinguendo le fasce orarie diurne e notturne di giorni sia lavorativi che festivi, per meglio caratterizzare il contributo del tremore dovuto principalmente all' attività antropica. Per la fascia oraria notturna è stato quindi selezionato, sulla base della distribuzione riportata in figura 13, l' intervallo orario 00:00-06:00, per il quale è stato ipotizzato un contributo antropico minore, rispetto alle altre fasce orarie. Inoltre è stata effettuata una ulteriore selezione in funzione del livello del moto ondoso marino, una delle cause del tremore a bassa frequenza di origine non vulcanica. I risultati sono sintetizzati nella figura 14.

OVOV (NON NORMALIZZATO)  
STACKING 01/05/01 - 01/06/10

linea a tratteggio = le prime 6 ore di tutti i giorni  
(1200 finestre di 1024 pt)  
linea blue = le prime 6 ore delle domeniche e 01/05/01  
(1200 finestre di 1024 pt)  
linea rosa = le prime 6 ore del 01/05/01 - festivo mare calmo -  
(1200 finestre di 1024 pt)  
linea rossa = l'intera durata di tutti i giorni  
(8437 finestre di 1024 pt)



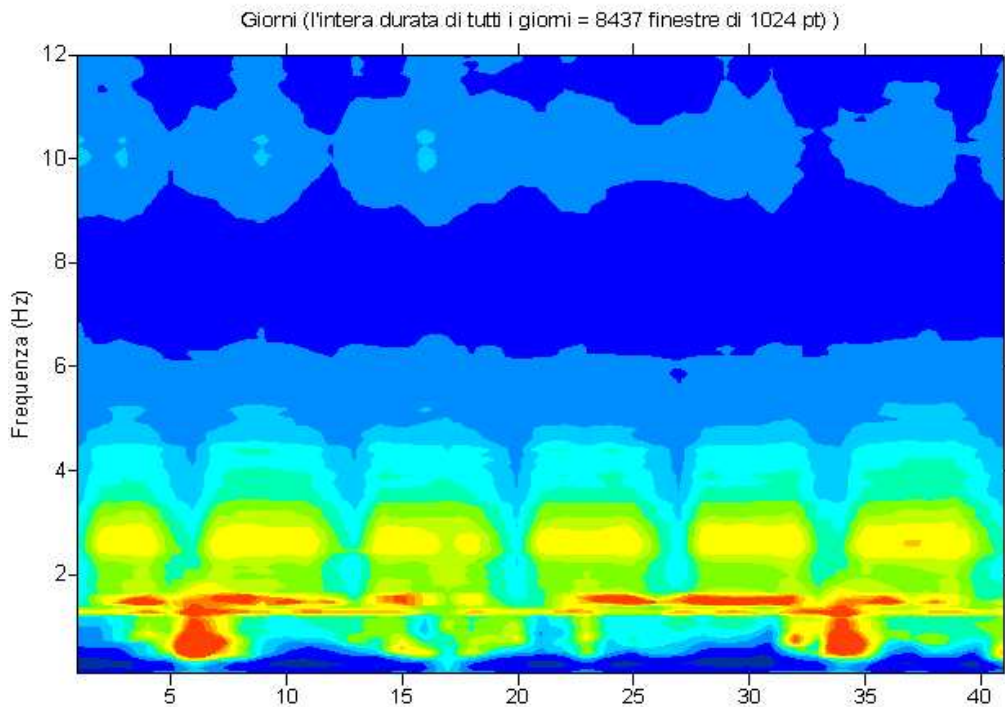
**Fig. 14.** Ampiezze spettrali medie del microtremore, in unità arbitrarie, in funzione della frequenza (Hz) in varie fasce orarie e condizioni del moto ondoso marino.

E' evidente la diminuzione del livello del segnale, alle frequenze inferiori a 1.2 Hz, in condizione di mare calmo (linea rosa). La variazione è di circa un fattore 7. Per le frequenze superiori a 1.6 Hz è evidente una diminuzione del tremore nelle fasce orarie notturne (linea a tratteggio) rispetto a quello della intera giornata (linea rossa). Per il periodo esaminato la variazione è di circa un fattore 3-4. Il minimo assoluto del segnale in tale banda di frequenza è stato ottenuto nella fascia notturna della giornata festiva con mare calmo (linea rosa).

Nella banda di frequenza 1.2 -1.6 Hz sono ben visibili 2 picchi spettrali persistenti, a 1.2 e 1.5 Hz circa, evidenziati anche dalle analisi precedentemente effettuate con gli array temporanei (Saccorotti et al., 2001), la cui origine sembra, presumibilmente, di natura antropica, a causa della persistenza dei due picchi e della elevata stabilità e selettività delle frequenze. Un maggiore rafforzamento di questa ipotesi per il segnale a 1.5 Hz e' fornito dalla sua scomparsa negli spettri dei segnali relativi alle ore notturne dei giorni festivi (figura 14 - linea blu, figura 15). Il segnale 1.2 Hz è maggiormente persistente, essendo presente in modo continuo anche nei giorni festivi. Sono state comunque riscontrate delle rare interruzioni anche per questo segnale, esterne al periodo esaminato.



Stacking di 40 giorni dal 01/05/01 al 01/06/10 (manca il 17- maggio)



**Fig. 15.** Distribuzione delle ampiezze del tremore in funzione della frequenza per il periodo analizzato. In ascissa è riportato il numero del giorno a partire dell' 1.5.2001. La diminuzione dell' ampiezza del microtremore alle frequenze più elevate coincide con i giorni festivi, mentre alle frequenze più basse si possono osservare due picchi principali in coincidenza di giorni di mare mosso.

In sintesi, sulla base delle ampiezze dei segnali analizzati, per il Vesuvio è stata riscontrata una variabilità del microtremore di un fattore 7-8 per la bassa frequenza (inferiore a 1.2 Hz) e 3-4 per quella più alta (superiore a 1.6 Hz). Tali variazioni risultano rispettivamente correlate con le condizioni del mare e con la presenza di attività antropiche. Nell' intervallo 1.2-1.6 Hz è presente un persistente e predominante segnale, caratterizzato da due picchi distinti, presumibilmente causato da attività umana, la cui origine non è stata ancora ben individuata. Durante il periodo analizzato, a partire dalla metà del mese di maggio, è stata registrata un' anomalia geochimica (questo rapporto). In concomitanza con l' insorgenza di questa anomalia non si è evidenziata alcuna variazione significativa dei parametri monitorati.

Questa analisi in futuro sarà implementata in maniera automatica allo scopo di evidenziare variazioni del quadro ricostruito dovute a condizioni atmosferiche particolari, non riscontrate durante il periodo esaminato, o a variazioni nello stato di attività del vulcano.

## Bibliografia

- Buonocunto C. (2000). Rete Sismica Permanente: Analisi e taratura dei sistemi modulatore-demodulatore in esercizio. Osservatorio Vesuviano Open-File Report, 7-2000; 10pp.
- Buonocunto C., Capello M., Castellano M. e La Rocca M. (2001). La Rete Sismica Permanente dell'Osservatorio Vesuviano. Osservatorio Vesuviano Open-File Report, 1-2001; 55 pp.
- Capello M. (1996). Progetto di stazione sismica analogica a tre componenti: manuale operativo, schede, componentistica. Rapporto Interno Osservatorio Vesuviano; 26pp.
- Castellano M., Buonocunto C., Capello M. e La Rocca M. (2002). Seismic surveillance of active volcanoes: the Osservatorio Vesuviano Seismic Network (OVSN – Southern Italy). *Seism. Res. Lett.* In stampa.
- Del Pezzo E. (2000). Manuale tecnico per la calibrazione delle stazioni sismiche dotate di bobina di calibrazione. Rapporto Interno Osservatorio Vesuviano; 34pp.
- Giudicepietro F., De Cesare W., Martini M. e Meglio V. (2000). Il Sistema Sismometrico Modulare Integrato (SISMI). Osservatorio Vesuviano Open-File Report, 6-2000; 25 pp.
- Iannaccone G., Talarico G., Petrosino S., Cusano P., Ricciolino P., Alessio G., Amedeo M. e Torello V. (2001). Laboratorio Sismico: Relazione dell'attività svolta nell'anno 2000. Rapporto Interno Osservatorio Vesuviano; 20pp.
- La Rocca M. (2000). Circuito per la calibrazione dei sismometri. Osservatorio Vesuviano Open-File Report, 8-2000; 8pp.
- Lomax A., Zollo A., Capuano P. e Virieux J. (2001). Precise, absolute earthquake location under Somma-Vesuvius volcano using a new three-dimensional velocity model. *Geophys. Jour. Int.*, 146, 2; 313-331.
- Marzocchi W., Vilardo G., Hill D.P., Ricciardi G.P. e Ricco C. (2001). Common features and peculiarities of the seismic activity at Phlegraean Fields, Long Valley and Vesuvius. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 91,2; 191-205.
- Saccorotti G., Maresca R. e del Pezzo E. (2001). Array analysis of seismic noise at Mt. Vesuvius Volcano, Italy. *J. Volcanol. Geoth. Res.* (in stampa).

# Attività della rete sismica mobile nell'ambito della sorveglianza



*A cura di Saccorotti G., La Rocca M. e Galluzzo D.*

Attività della rete sismica mobile nell'ambito della sorveglianza

pag. 18

*Saccorotti G., La Rocca M. e Galluzzo D.*

**(Afferenti all'Unità Funzionale Sismologia, sismotettonica e struttura crostale)**

Nel primo semestre 2001 alcune stazioni della rete sismica mobile digitale sono state utilizzate per il potenziamento locale della rete sismica permanente del Vesuvio. In particolare, sono state installate tre stazioni digitali ad alta dinamica (24 bit) nelle postazioni dei Bunker Sud, Est e Nord (v. Fig. 1). Tali stazioni sono state equipaggiate con sensori triassiali Guralp CMG-40T, caratterizzati da una risposta costante nella banda 0.02-50 s. Gli strumenti sono in acquisizione continua dal Dicembre 2000.

L'installazione è stata realizzata perseguendo i seguenti obiettivi:

- 1) Miglioramento della copertura azimutale per il calcolo ipocentrale degli eventi sismici vesuviani;
- 2) Complemento delle stazioni della rete sismica permanente con strumenti digitali ad alta risoluzione ed equipaggiati con sensori a tre componenti;
- 3) Analisi spettrale su un ampio intervallo temporale del rumore sismico di fondo, per l'eventuale osservazione di componenti dello spettro con origine di natura magmatica o idrotermale (tremore vulcanico).

L'analisi dei dati relativamente al punto (3) riguarda le proprietà spettrali del rumore su un periodo di 47 giorni all'intorno di metà Maggio 2000, periodo in cui era stata osservata una significativa variazione nei flussi di CO<sub>2</sub> registrati in area sommitale (vedi sez. geochimica). Poiché tale variazione nei parametri geochimici non era stata accompagnata da alcun significativo cambiamento sia nel numero che nell'energia dei microterremoti, scopo della nostra ricerca è stato quello di verificare se nelle proprietà spettrali del rumore fossero intervenute delle modificazioni correlabili con l'incremento nei flussi gassosi sommitali. Un esempio dei risultati ottenuti da tale procedura è mostrato in Figura 2, dove l'ampiezza spettrale in funzione del tempo e della frequenza è rappresentata per le tre componenti del moto del suolo alla stazione BKE lungo un periodo di 47 giorni.

L'energia del rumore sismico appare concentrata su tre distinte bande di frequenza: la prima, compresa approssimativamente fra 0.1 ed 1 Hz; la seconda, caratterizzata da marcati picchi spettrali a frequenze di circa 1.2 ed 1.4 Hz (marcati da due frecce a destra della figura); la terza, entro un ampio intervallo compreso fra 1 e 6 Hz.

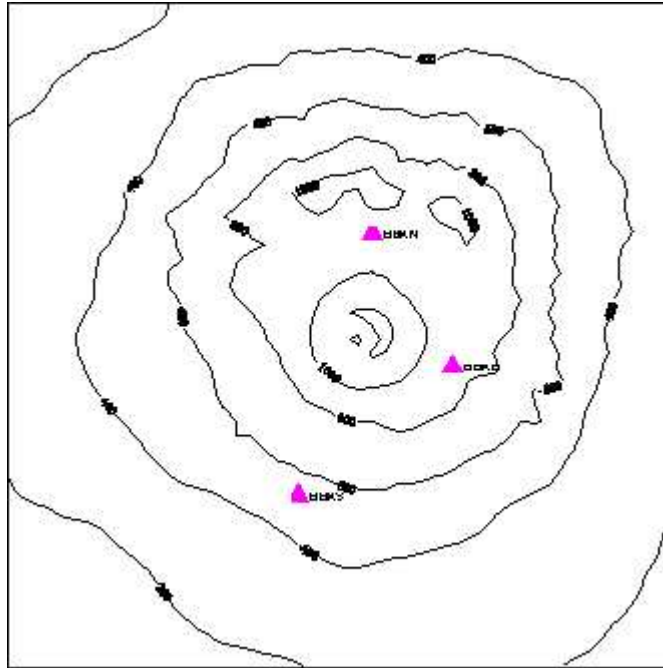
L'andamento temporale dell'ampiezza spettrale illustrato nella Figura 2, assieme ai risultati precedentemente descritti da Saccorotti et al. (2001) sulla base delle registrazioni di rumore effettuate da un array denso collocato sul fianco sud del vulcano, permettono una identificazione chiara circa l'origine della radiazione sismica nelle varie bande di frequenza.

Ad esempio, la marcata periodicità con massimi nelle ore diurne dell'energia nella banda 1-6 Hz consentono di attribuire questa parte dello spettro a rumore antropico; è infatti interessante notare come tale energia sia decisamente minore durante i fine settimana.

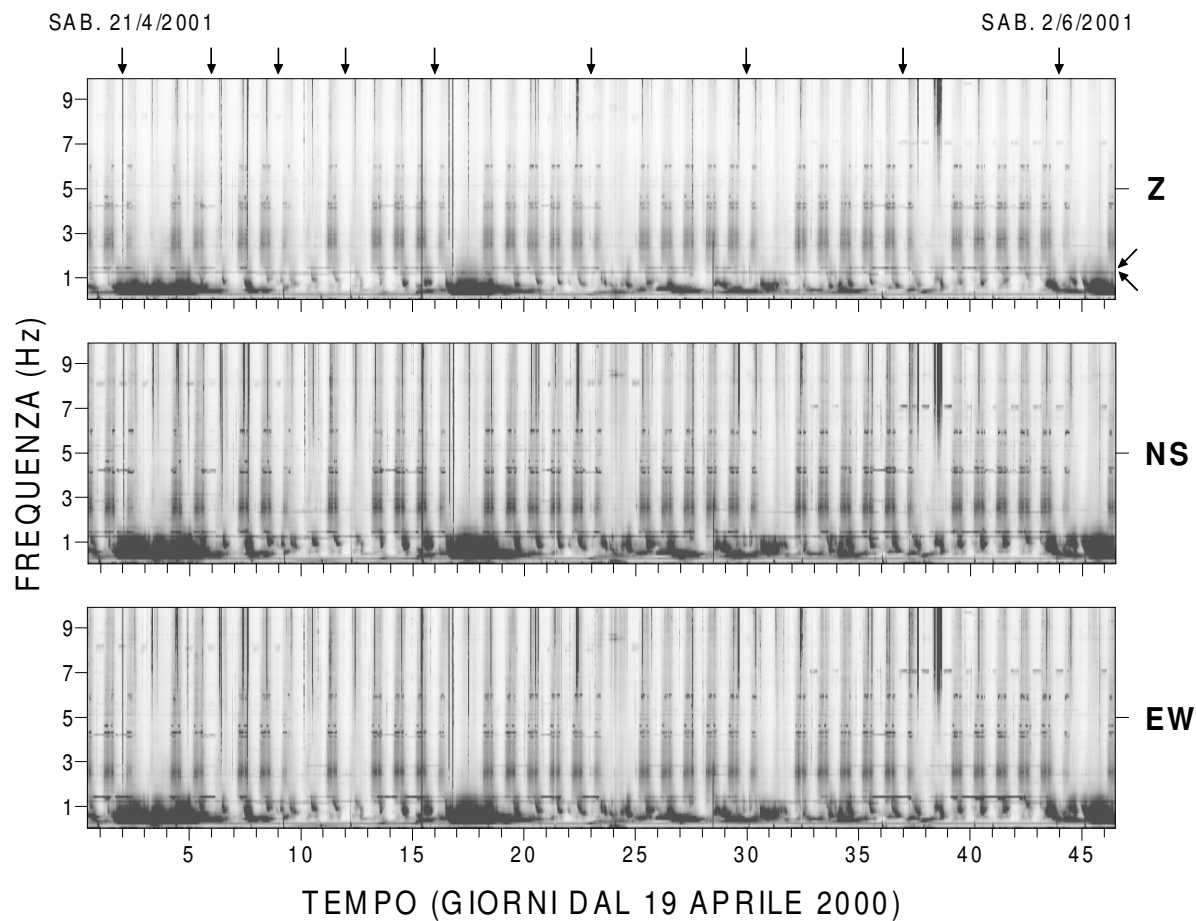
Sulla base delle analisi di polarizzazione e frequenza-lentezza di Saccorotti et al. (2001), l'energia nella banda 0.1-1 Hz viene invece attribuita al rumore microsismico di origine marina.

Più complessa è l'interpretazione dei marcati picchi spettrali a frequenze di circa 1.2 e 1.4 Hz. Si sono pertanto isolati questi due picchi e se ne è studiato l'andamento nel tempo (Fig. 3). In alcuni casi (probabilmente in coincidenza di forti mareggiate), l'energia in questa banda è obliterata dal contributo marino. Altrimenti, le ampiezze associate a tali picchi mostrano una caratteristica periodicità di 24 ore, con un massimo nelle ore diurne. Tale osservazione,

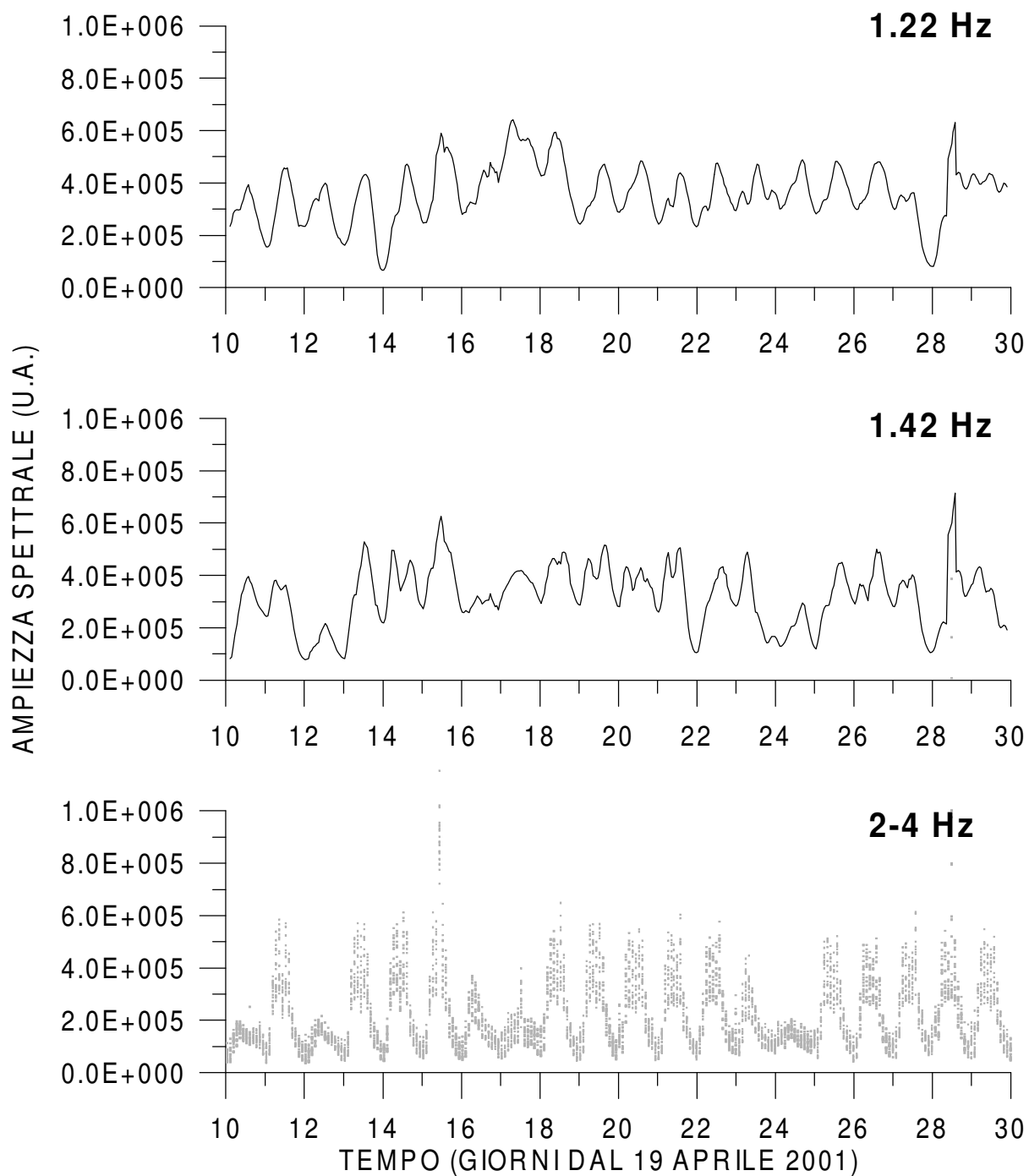
unita alla natura superficiale di queste onde già riscontrata da Saccorotti et al. (2001), consentono di attribuire l'origine della radiazione sismica a frequenze 1.2 ed 1.4 ad una causa antropica. Tuttavia, i dati a nostra disposizione non permettono ancora una localizzazione esatta della sorgente di tali emissioni.



*Fig. 1. Posizione delle stazioni della rete mobile usate per lo studio del rumore sismico di fondo al Vesuvio. I triangoli mostrano l'ubicazione delle stazioni. Le quote sono in metri.*



**Fig. 2.** Ampiezze spettrali in funzione del tempo e della frequenza (spetrogrammi) per le tre componenti del moto de suolo registrate alla stazione BKE. Gli spettri sono stati calcolati su finestre consecutive di 1 ora di segnale, senza alcuna sovrapposizione fra finestre contigue. Le stime spettrali così ottenute sono poi state stabilizzate mediante un procedimento di media mobile, ed infine i valori di ampiezza spettrale mediati su bande consecutive di 0.1 Hz. Le ampiezze aumentano passando dai colori chiari a quelli più scuri. Le frecce verticali in alto indicano l'inizio di un fine settimana o di un giorno festivo. Le due frecce alla destra della figura relativa alla componente verticale indicano i picchi spettrali a 1.2 e 1.4 Hz.



**Fig. 3.** Andamento delle ampiezze spettrali a frequenze 1.22, 1.42 e 2-4 Hz per la componente verticale della velocità del suolo alla stazione BKE. In condizioni di basso rumore marino (es. nell'intervallo compreso fra i gg. 19-27; cfr Fig. 2), le frequenze 1.22 e 1.42 Hz presentano una periodicità di 24 ore con massimo diurno.