

OPEN FILE REPORT
OSSERVATORIO VESUVIANO
Ercolano, Napoli

Il Terremoto Vesuviano del 9 ottobre 1999 - Indagine macrosismica

Aldo Marturano & Elena Cubellis

Riassunto

Il 9 ottobre 1999 alle 7:41 ora locale, un forte terremoto con epicentro nell'area craterica del Vesuvio, fu nettamente avvertito anche al di là dell'area vesuviana, fino a Napoli e nella Penisola Sorrentina. A seguito dell'evento, il più energetico dal 1944, data dell'ultima eruzione, e tra i più energetici di quelli vesuviani, fu intrapresa una campagna macrosismica per la valutazione degli effetti prodotti.

Sono qui presentati i risultati ottenuti dall'analisi dei questionari macrosismici inviati alle scuole dell'area vesuviana, della provincia di Napoli, Caserta e Salerno. Gli oltre 10.000 questionari esaminati provengono da 92 siti, 18 dei quali afferenti alla Città di Napoli. Per ogni sito è stata valutata, per ogni effetto, la percentuale di segnalazione positiva. E' stata così prodotta la mappa di avvertibilità del terremoto sulla quale sono tracciate le isolinee che evidenziano un massimo coincidente con l'apparato vulcanico e un andamento dei valori decrescente in senso radiale .

Il piano quotato delle intensità ottenuto è particolarmente fitto. Fino a 30 km dall'epicentro, la distanza fra due punti consecutivi, in senso radiale, del piano quotato è mediamente meno di 500 m. Il massimo grado assegnato è stato il V per località ad una distanza media $R_v=7.2(\pm 2.3)$ km dall'epicentro con risentimenti massimi a Boscotrecase, Cercola e S.Sebastiano che presentano alcune delle caratteristiche del VI grado.

Per la stima dei parametri caratteristici - intensità epicentrale (I_0), profondità (h) e coefficienti di attenuazione (s ed a) - del campo macrosismico sono stati utilizzati diversi metodi che hanno fornito per I_0 valori tra 6.1 e 6.4, s (formula di Blake) tra 3.9 e 4.1, a (formula di Kovesligethy) tra 0.025 e 0.019, e valori della Magnitudo compresi tra 3.7 e 4.1 per $h = 3-4$ km.

Introduzione

A seguito dell'evento sismico del 9.10.99, il più energetico dopo l'eruzione del 1944 e tra i più energetici di quelli localizzati nell'area vesuviana, il livello di attenzione sul Vesuvio è sensibilmente cresciuto in quanto l'area di avvertibilità si è estesa ben al di là dell'area vesuviana coinvolgendo la città di Napoli e zone limitrofe.

Sono qui presentati i risultati ottenuti dall'analisi dei questionari macrosismici inviati alle scuole dell'area vesuviana, napoletana e dei comuni circostanti della provincia di Caserta e Salerno, per la delimitazione dell'area di avvertibilità del terremoto e per l'analisi della propagazione dell'energia. Un tale studio consente di ottenere formule empiriche magnitudo-intensità e leggi di attenuazione dell'energia sismica nell'area investita dal terremoto. Elementi questi indispensabili per procedere a valutazioni dell'hazard sismico nei comuni vesuviani e nella vicina città di Napoli, per sorgenti sismiche localizzate proprio nell'area vesuviana.

Attività sismica storica

L'attività sismica storica dell'area vesuviana che meglio si conosce, è abbinata ai due eventi eruttivi più significativi dell'intero periodo: l'eruzione del 79 e quella del 1631. La più antica sismicità, certamente databile, legata in qualche modo all'area vesuviana, risale al I Sec. d.C. quando, nel 37, pochi giorni prima della morte di Tiberio, si verificò un terremoto che procurò la caduta del faro di Capri.

Notevoli danni a Pompei ed Ercolano, e relativamente minori a Napoli e Nocera, furono causati dal sisma che interessò l'intera Campania il 5 febbraio del 62. E' questo il più grande terremoto mai registrato nell'area vesuviana, $M=6.1$, secondo Boschi et al. (1997), ma probabilmente meno energetico, $M=5$, sia in ragione della superficialità dell'evento che delle caratteristiche di liberazione dell'energia dell'area (Marturano & Rinaldis, 1995). Alcuni autori (Mercalli, 1883; Marturano & Rinaldis, 1998; Dal Maso et al., 1999) hanno considerato questo terremoto come un precursore dell'eruzione del 79. Sigurdsson et al.(1985), non sono d'accordo con questa ipotesi in quanto considerano questo terremoto troppo lontano dall'eruzione del 79. Comunque, la sua unicità in tempi storici, così come l'eruzione che lo seguì, prefigurano una loro probabile correlazione. Ciò che sembra essere certo è che l'attività

sismica fu notevole durante l'eruzione e continuò anche dopo il 79. Poi, per tutto il primo millennio non ci sono segnalazioni dirette sulla sismicità vesuviana, nemmeno in concomitanza con le manifestazioni eruttive più significative. Bisogna risalire fino al 1631, data in cui si registra la più grande eruzione dell'età moderna, per poter accedere a sicure fonti scritte che documentano una sismicità che si concentra nella notte fra il 15 e il 16 dicembre.

Alle 22 del 15 dicembre una scossa di magnitudo $M=4$, viene avvertita con spavento a Napoli (Marturano & Scaramella, 1995). Fino alla mezzanotte leggere scosse. Segue una scossa particolarmente forte e numerose altre, fino all'eruzione delle 6:30 del mattino.

Dopo l'eruzione del 1631 i terremoti sono generalmente di bassa energia, avvertiti nelle immediate vicinanze del vulcano e in stretta correlazione con manifestazioni eruttive. Tra questi, il più forte, avvenne il 15 giugno del 1794 e procurò danneggiamenti ai fabbricati e mandò in frantumi i vetri delle finestre in alcune abitazioni a Napoli. Dal 1631 al 1944 l'area vesuviana è stata caratterizzata da eventi di moderata energia. Al più grande di questo periodo, quello del 1794, può essere assegnata una magnitudo $M \cong 4.0$, che, come abbiamo visto è simile a quella del maggiore degli eventi che precedono l'eruzione del 1631. Il più grande evento dell'area, in assoluto, è stato quello del 62 d.C. L'intervallo temporale che, dal punto di vista sismico si conosce di meno, rimane quello medievale e necessita di ulteriori approfondimenti. Appartengono a tale periodo una serie di segnalazioni di scuotimenti, che andrebbero definite meglio, e che si riferiscono generalmente alla città di Napoli. Essi potrebbero essere stati originati, infatti, sia dalle aree sismogenetiche appenniniche che dalle più prossime, dei Campi Flegrei e di Ischia. Comunque, se vesuviani, una magnitudo massima $M=4-4.5$ tiene ben conto degli effetti riportati.

Attività sismica attuale

Dopo il 1944, la sismicità al Vesuvio è caratterizzata da eventi di moderata energia con una frequenza di alcune centinaia di eventi per anno. L'attività è concentrata in area calderica e le profondità degli eventi sismici non superano i 6 km sotto il livello del mare (Berrino et al., 1993; Bianco et al., 1998;1999 a; Capuano et al., 1999; Vilardo et al.,1996, 1998; 1999). Tra gli eventi più significativi registrati prima degli anni '70, si ricorda il terremoto dell'11 maggio 1964 (Imbò et al., 1964), il più forte di una serie di scosse che avrebbero accompagnato lo sprofondamento prodottosi nel versante nord-orientale del fondo del cratere nella notte tra il 10 e l'11 maggio. Gli autori localizzano l'epicentro nella zona nord-orientale del fondo craterico con ipocentro piuttosto superficiale. Il campo macrosismico del terremoto

è caratterizzato da isosiste che vanno dal V al II grado della scala Mercalli. Le aree di avvertibilità interessano l'intera area vesuviana con effetti massimi nella parte alta dell'edificio e via via decrescenti verso la parte bassa.

Agli inizi degli anni '70 si procedette alla ristrutturazione della rete sismica di sorveglianza del Vesuvio con una strumentazione che consentì di abbassare la soglia di deteazione. Alcune fasi di maggiore attività sono state registrate nel 1989-90 e più recentemente durante il 1995 ed il 1996 quando sono registrati un totale di 600 eventi di cui 4 con Magnitudo ≥ 3 . L'evento più forte si verifica il 25 aprile 1996 (magnitudo 3.4, profondità 2 km) (Bianco et al., 1999), chiaramente avvertito in tutta l'area vesuviana, e anche nella città di Napoli fino ad alcune zone dell'area flegrea e dell'isola di Capri.

Nei primi mesi del 1999 la sismicità mostra un leggero incremento. A partire dal mese di agosto 1999 un ulteriore apprezzabile aumento dell'attività sismica ha segnato l'inizio di una sequenza che si è protratta fino all'inizio del 2000. Tale sequenza si è sviluppata principalmente nel mese di ottobre ed il giorno 9 viene registrato l'evento di maggiore energia, oggetto del presente studio. I dati strumentali del terremoto sono i seguenti (Vilardo & Castellano, 2000):

tempo origine : 7: 41 ora locale

epicentro: area craterica - coordinate : lat. 40°49.01 Long.14°25.67

magnitudo: $M_D = 3.6$

profondità : $h = 3.8$ Km s.l.m.

Il terremoto del 9 ottobre 1999 : avvertibilità e intensità

Il terremoto è stato avvertito su un'area molto vasta con un raggio di circa 25 km dal cratere, creando panico e preoccupazione nella popolazione. Dopo l'evento è stato avviato uno studio per definire territorialmente l'avvertibilità attraverso l'invio di questionari a tutte le scuole medie dell'area vesuviana, della città di Napoli e dei comuni limitrofi in provincia di Caserta e Salerno.

Il questionario (Appendice 1), consiste di 18 quesiti - gli stessi utilizzati per la crisi bradisismica nell'area flegrea (Branno et al., 1984) - ai quali bisogna rispondere, singolarmente, in modo affermativo o negativo. Numerose le Scuole che hanno mostrato sensibilità ed interesse a tale problematica. In Appendice 2 è riportato l'elenco delle scuole che hanno contribuito a questa indagine.

Gli oltre 10.000 questionari esaminati provengono da 92 siti, 18 dei quali afferenti alla Città di Napoli. Per ogni sito è stata valutata, per ogni effetto, la percentuale di risposte positive (avvertibilità).

Per alcuni Comuni sono pervenute informazioni da due o più scuole, e, per la Città di Napoli, anche da scuole molto prossime. In fig.1 si riporta il valore della dispersione σ in funzione dell'avvertibilità media (A). In fig.2 i campioni selezionati appartengono alla stessa scuola.

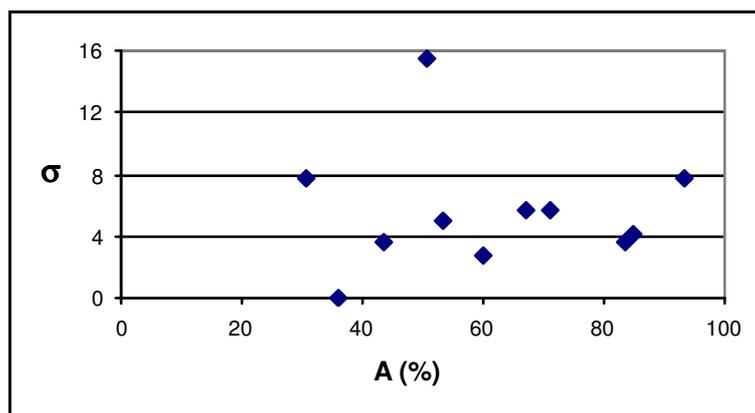


Fig.1. Dispersione (σ) dei dati sperimentali in funzione dell'avvertibilità (A %) per siti differenti nello stesso comune. Si noti che σ è generalmente minore di 8.

La mappa dell'avvertibilità (Fig.3), sulla quale sono tracciate le isolinee con intervallo del 15%, evidenzia un massimo coincidente con l'apparato vulcanico e un andamento dei valori decrescente in senso radiale. Nella fascia più prossima al Vesuvio ($A > 60\%$) si nota una spiccata attenuazione in direzione E e NE, che viene confermata nella seconda fascia ($60 \div 30\%$).

Gli effetti prodotti da un terremoto sono valutati in termini quantitativi mediante l'utilizzo di scale di intensità (MCS, MM, MSK64-78). I gradi di intensità, fino al VI, sono praticamente coincidenti per tutte le scale. I gradi più elevati, che contemplano danneggiamenti alle strutture ed effetti sulle cose, invece, risentono maggiormente delle modalità di discriminazione insite nei singoli livelli, e, le attribuzioni delle intensità, da una scala all'altra, possono differire anche di un grado netto. Per la valutazione dei gradi inferiori, il questionario

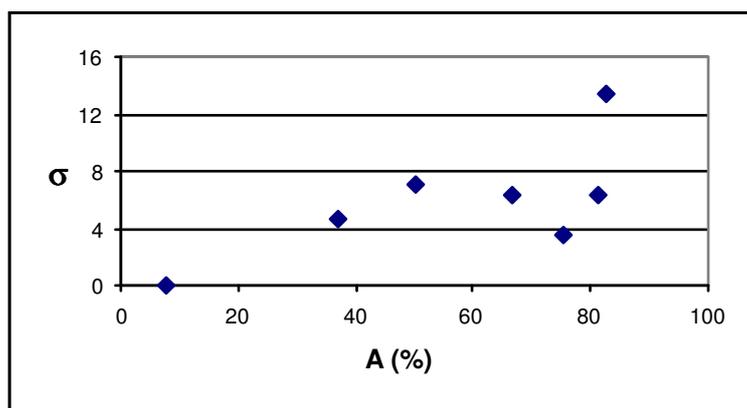


Fig.2. Dispersione (σ) dei dati sperimentali in funzione dell'avvertibilità (A%) per campioni differenti appartenenti alla stessa scuola.

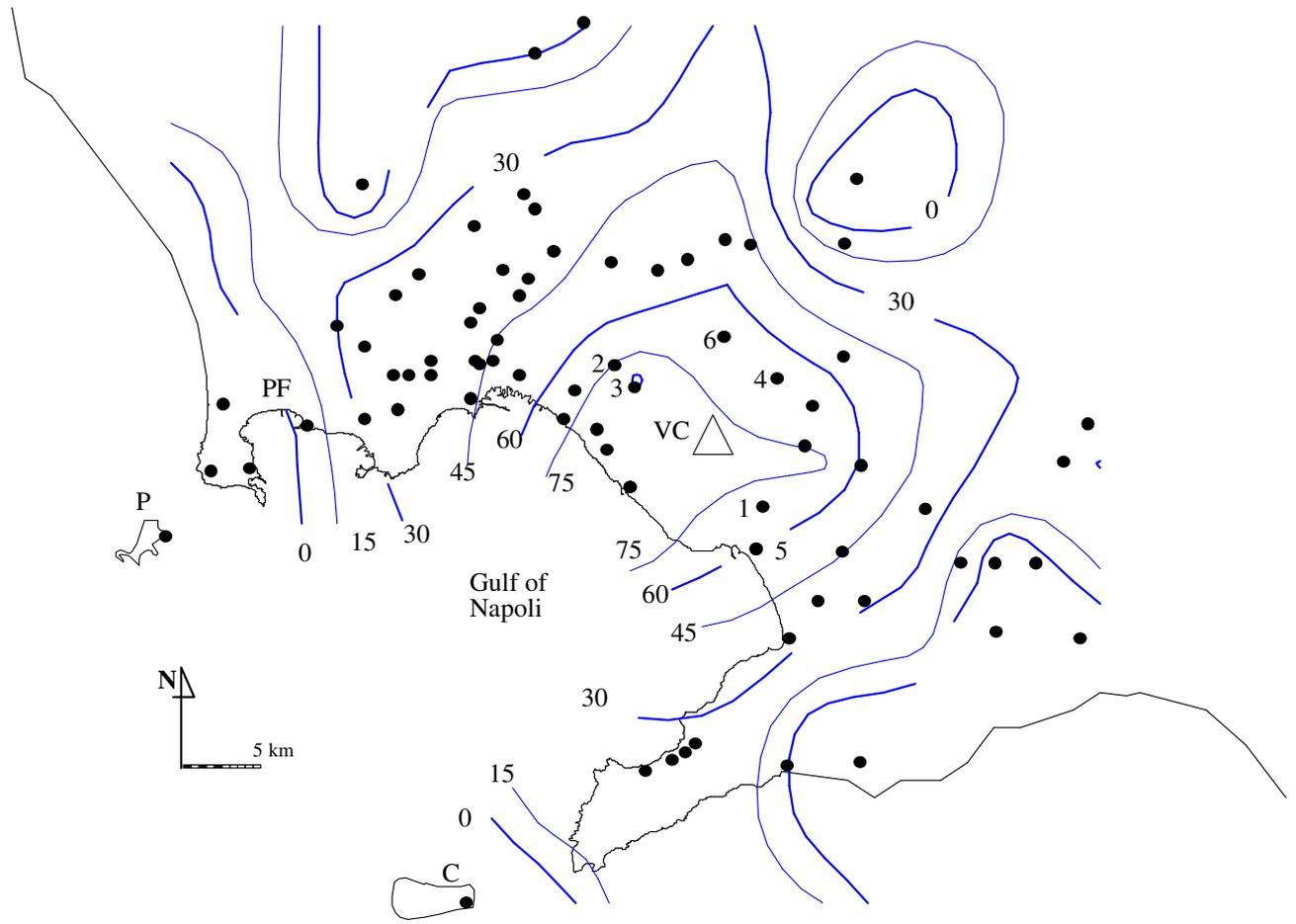


Fig.3. Terremoto del 9.10.99, mappa dell'avvertibilità. L'area di massima avvertibilità copre l'intera area vesuviana. Si noti la forte attenuazione dell'avvertibilità in direzione NE e SE e la buona propagazione verso Napoli. VC= Cratere del Vesuvio.

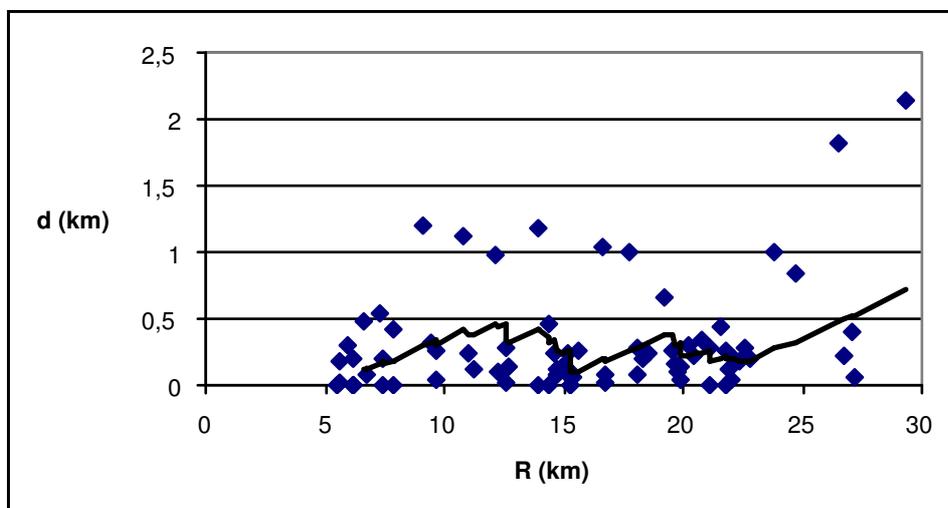


Fig.4. Distanza (d) tra due punti consecutivi e la corrispondente distanza epicentrale (R). La linea continua rappresenta la media mobile con periodo 10.

macrosismico è uno strumento ampiamente utilizzato (Karnik et al., 1976; Husebey et al., 1978; Postipishl, 1982; Branno et al., 1984; Marturano et al., 1988; Luongo et al., 1991, ING). Il piano quotato delle intensità ottenuto è particolarmente fitto. Per la provincia di Napoli si ha un punto rilevato per ogni 15 km² di superficie (54 Comuni). Fino a 30 km dall'epicentro, la distanza fra due punti consecutivi, in senso radiale, del piano quotato è mediamente meno di 500 m. Una densità così elevata è inusuale per studi di questo tipo (Fig.4).

Le intensità sono state attribuite secondo le suddivisioni delle classi di frequenza proposte da Karapetyan (Sponheuer & Grunthal, 1981) (Tabella 1).

Frequency classes	Intensity
< 12,5%	II
25%	III
50%	IV
75%	V
> 87,5%	VI

Tab.1

Il massimo grado assegnato è stato il V per località ad una distanza media $R_V=7.2(\pm 2.3)$ km dall'epicentro con risentimenti massimi a Boscotrecase, Cercola e S.Sebastiano che

presentano alcune delle caratteristiche del VI grado. Fra i siti analizzati, quelli che distano dall'epicentro meno di 9.5 km (R_{V+s}), ma a cui è stata assegnata un'intensità minore del V grado risultano: Ottaviano, Torre Annunziata e Somma Vesuviana. Le località a cui è stato assegnato il IV grado si dispongono ad una distanza media $R_{IV} = 15(\pm 4)$ km. La mappa delle isosiste (Fig.5) mostra, naturalmente, le stesse caratteristiche di quella dell'avvertibilità (Fig.3).

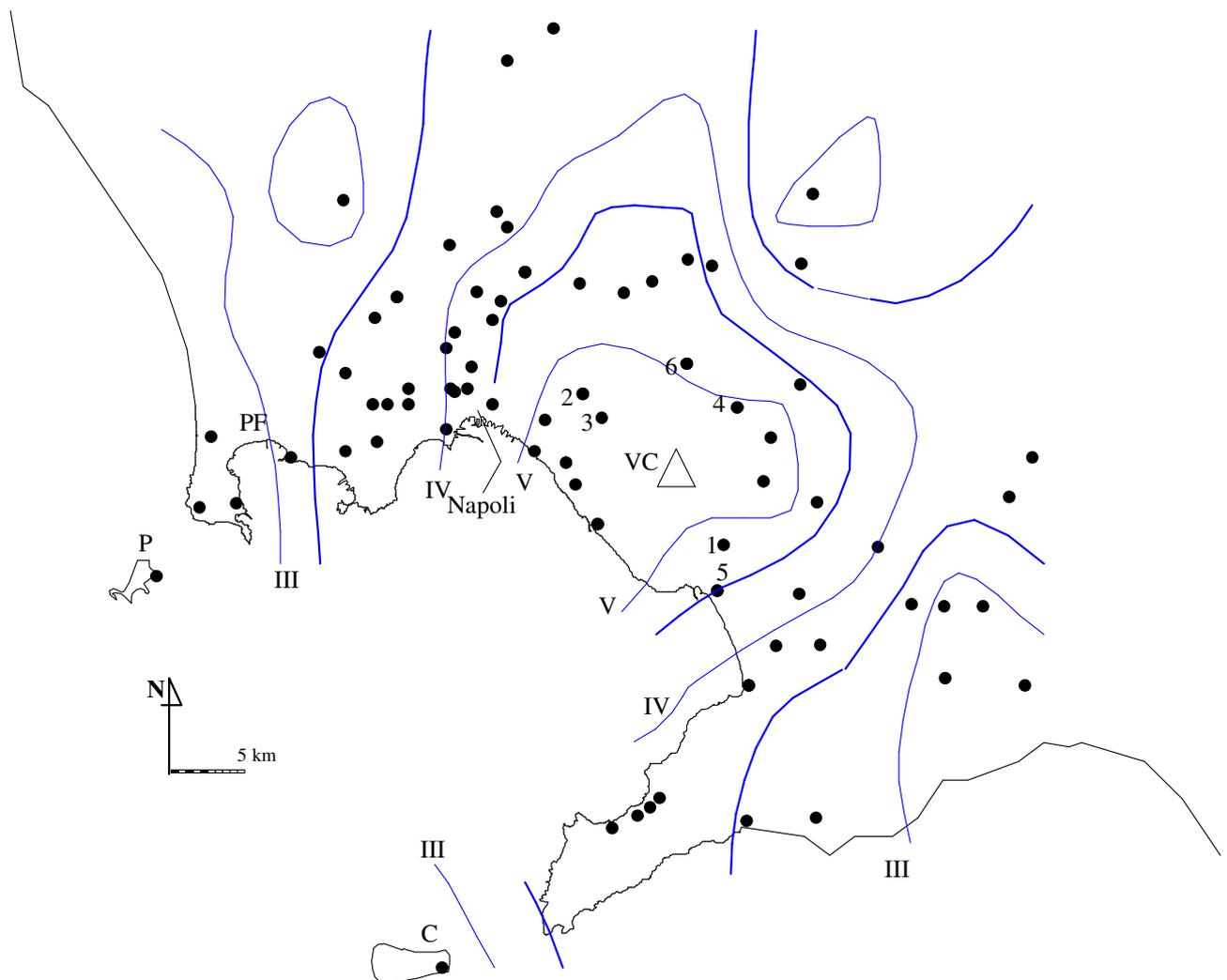


Fig.5 Mappa delle isosiste del terremoto del 9.10.99. La massima intensità, V grado, interessa l'intera area vesuviana. L'intensità decade verso l'esterno fino a raggiungere il III grado ai Campi Flegrei e nella penisola sorrentina.

Parametri alla sorgente

I metodi utilizzati per la stima dei parametri caratteristici del terremoto - intensità epicentrale (I_0), profondità (h) e coefficienti di attenuazione (s, a) – ricavati dal campo macrosismico sono quello di Kovesligethy e quello di Blake. In questo tipo di elaborazioni la sorgente è considerata puntiforme, la superficie terrestre orizzontale, il mezzo omogeneo e isotropo, lo spettro monocromatico.

Nella formula di Blake (1941):

$$I_0 - I_i = s \log \sqrt{1 + (\Delta_i/h)^2} \quad (1)$$

I_0 è il valore massimo dell'intensità, all'epicentro, h è la profondità ipocentrale, Δ_i la distanza epicentrale di un sito di intensità I_i , s il coefficiente di attenuazione, che, tiene conto della divergenza e delle caratteristiche del mezzo. L'applicazione del modello di Blake (Fig.6)

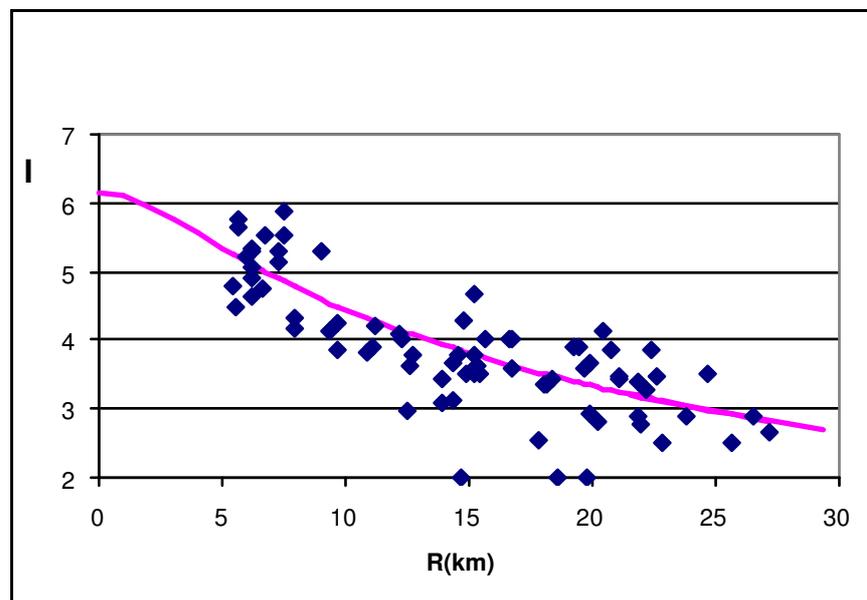


Fig.6 Attenuazione dell'intensità secondo il modello di Blake per il terremoto del 9 October 1999. $I_0 = 6.1$; $s = 4.0$; $h = 4$ Km.

al terremoto del 9.10.99, per profondità ipocentrali di 3 e 4 km, fornisce le soluzioni seguenti:

<i>h</i>	<i>I_o</i>	<i>s</i>
3	6.4 ± 0.2	3.9 ± 0.3
4	6.1 ± 0.2	4.1 ± 0.3

In genere, per le aree vulcaniche, il valore dell'attenuazione atteso è relativamente più alto di quello di altre aree, in virtù di un mezzo eterogeneo e fratturato dalle forti discontinuità laterali. Entrambi i valori del coefficiente di attenuazione (*s*) ottenuti, invece, sono vicini a quelli utilizzati per l'area sismogenetica appenninica: $s = 4.0 \div 4.3$ (De Vivo et al., 1979; Postpischl et al., 1982; Branno et al., 1985). Il valore dell'intensità epicentrale ottenuto, $I_o = 6.4$, calcolato per $h = 3$ km, non è supportato da riscontri diretti effettuati in zone prossime all'epicentro, poiché l'indagine macrosismica copre l'area alla base del Vesuvio, a circa 4 km dall'epicentro strumentale localizzato al cratere.

Inoltre gli stessi dati sono stati utilizzati per calcolare il coefficiente di attenuazione *a* usando la formula di Kovesligethy (1906):

$$I_o - I_i = 3 \log(d/h) + 1.3 a (d_i - h) \quad (2)$$

in cui *d_i* è la distanza ipocentrale di un punto di intensità *I_i*, e *h* la profondità ipocentrale. Quest'uguaglianza tiene conto, sia della divergenza del fronte d'onda, che dell'assorbimento.

I risultati dell'elaborazione per profondità ipocentrali di 3 e 4 km sono i seguenti:

<i>h</i>	<i>I_o</i>	<i>a</i>
3	6.1 ± 0.1	0.019 ± 0.008
4	5.8 ± 0.1	0.025 ± 0.008

Il valore del coefficiente di assorbimento *a*, è coerente con il rapporto *a/s* calcolato da Prochazkova (1981).

L' intensità epicentrale calcolata risulta troppo bassa per $h = 4$ km. Assumendo la profondità ipocentrale $h = 3$ km si ottiene una *I_o* uguale a quella prescelta per il modello di Blake ma con profondità ipocentrale pari a 4 km.

Pertanto, al terremoto del 9.10.99 possono essere assegnati i seguenti parametri caratteristici:

<i>I_o</i>	<i>h</i> (km)	<i>s</i> (Blake)	<i>a</i> (Kovesligethy)
6.1-6.4	3-4	3.9-4.1	0.025-0.019

e la Magnitudo macrosismica secondo la formula di Karnik (1968), per profondità pari a 3-4 km è:

$$M=0.51 I_0+\log(h)+0.35= 3.9-4.1$$

Inoltre, utilizzando l'equazione determinata per i Campi Flegrei durante la crisi bradisismica 1982-1984 (Marturano et al., 1988) tarata su eventi di comparabile profondità ipocentrale si ha:

$$M=5.92 \log (I_0) - 0.92= 3.7-3.9$$

Come si può notare i valori di magnitudo ottenuti dai dati macrosismici (3.7-4.1) con differenti leggi empiriche sono leggermente più alti di quello determinato strumentalmente, $M_D=3.6$.

I risultati ottenuti consentono di prevedere le intensità prodotte da terremoti vesuviani di differente magnitudo. La fig.7 mostra l'attenuazione dell'intensità con la distanza per eventi con $M = 3,4,5$ ed $h = 3$ km usando il modello di Blake e la relazione di Karnik.

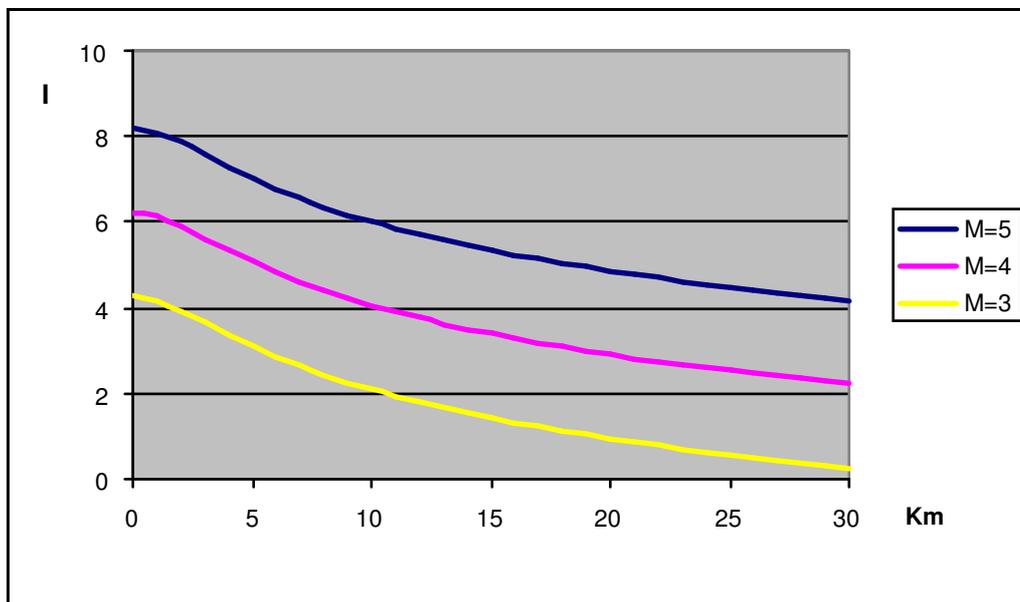


Fig. 7 Attenuazione dell'intensità per terremoti vesuviani secondo il modello di Blake e la relazione di Karnik ($h=3$ km; $s=4$).

Le irregolarità del campo macrosismico visibili nelle mappe di avvertibilità (Fig. 3) e

delle isosiste (Fig. 5) possono essere suddivise su due zone, near field e far field. L'una, che si evidenzia con la prima isolina, quella del 75% in Fig.3, e quella del V grado in Fig.5, corrisponde con la parte affiorante del Monte Somma. In profondità, sulla verticale dell'apparato vulcanico, forti discontinuità laterali, leggermente dislocate rispetto all'asse craterico, sono messe in luce da indagini geofisiche (Berrino et al., 1998; Zollo et al., 1996 a, b; 1998). Pertanto, sia tali evidenze, che effetti legati al meccanismo di sorgente, possono essere la causa della risposta differenziata dei comuni posti alle falde del vulcano.

L'altra anomalia invece, quella della seconda fascia (far field) (Fig.3), coincide, in superficie, con l'anello dei sedimenti quaternari presenti intorno al vulcano e con le strutture profonde delineate dai minimi relativi delle anomalie di Bouguer (Cassano & La Torre, 1987; Berrino et al., 1998). Queste anomalie caratterizzano l'intera area a N, NE ed E rispetto al Vesuvio e corrispondono alla piattaforma carbonatica in ribassamento verso il Tirreno. La zona verso l'Appennino, strutturalmente in distensione, è notevolmente fratturata, in grado di produrre una pronunciata attenuazione per scattering che prevale sull'eventuale amplificazione attesa per sedimenti sciolti superficiali. Da notare infine, la caratteristica attenuazione coincidente con la caldera flegrea.

Conclusioni

Il presente studio è il primo a fornire un campo macrosismico esteso ed attendibile nell'area vesuviana. Esso consente di apprezzare l'importanza dell'informazione storica per la valutazione della sismicità del Vesuvio; è necessario per definire il livello di energia rilasciato nell'area ed è molto utile per ricavare informazioni significative sui precursori sismici delle eruzioni.

La mancanza di eventi sismici di elevata energia al Vesuvio in passato, suggerisce che i più grossi eventi attesi prima di un'eruzione possono avere un'energia simile e quella degli eventi sismici registrati oggi.

Applicando i classici modelli di Blake e Kovesligethy è stata assegnata l'intensità epicentrale ($I_0=6.1-6.4$) e sono stati calcolati i rispettivi coefficienti di attenuazione, ($s=4.0$ e $a= 0.019$) per profondità ipocentrale $h=3-4$ km.

Particolari fasce di attenuazione sono riscontrabili a N e ad E dell'apparato, che sembrano essere correlate a zone altamente fratturate responsabili della pronunciata attenuazione per scattering. Inoltre, una significativa attenuazione coincide con l'area dei Campi Flegrei.

Le magnitudo ottenute dai dati macrosismici del terremoto del 9 ottobre 1999, sono maggiori di quella strumentale ($M_D=3.6$). Applicando la relazione di Karnik si ottiene, per le profondità calcolate, $h=3-4$ km, un valore della magnitudo macrosismica $M_m=3,9-4,1$. Applicando la relazione ottenuta per i Campi Flegrei, (Branno et al., 1984) si ottiene $M=3.7-3.9$.

Come evidenziato dall'analisi della sismicità storica, gli eventi che hanno caratterizzato l'attività vesuviana sono sempre risultati di energia moderata. Alla luce dei risultati raggiunti in questo lavoro e, confermando quanto proposto da Marturano & Rinaldis (1995), la magnitudo associata al massimo terremoto registrato (62 A.D.) può essere valutata circa 5.

Le intensità dei terremoti medievali, sia quelli precedenti l'eruzione del 1631, sia quelli del periodo 1631-1944, non sembrano superare la soglia $M=4.5$. In particolare, la crisi sismica che ha preceduto l'eruzione del 1631 è generalmente caratterizzata da minore attività con una più energetica attività temporalmente confinata a poche ore prima dell'eruzione.

Bibliografia

- Bonasia V., Del Pezzo E., Pingue F., Scandone R. & Scarpa R. (1985). *Eruptive history, seismic activity and ground deformations at Mt. Vesuvius, Italy*. *Annali di Geofisica*, **3** (3).
- Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G., Gasparerini P. (1997). *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a C. al 1990*. ING-SGA.
- Berrino G., Coppa U., De Natale G. & Pingue F. (1993). *Recent geophysical investigation at Somma-Vesuvio volcanic complex*. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **58**: 239-262.
- Berrino G., Corrado G. & Riccardi U. (1998). *Sea gravity data in the Gulf of Naples: a contribution to delineating the structural pattern of the Vesuvian area*. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, **82** (1-4) : 139-150.
- Bianco F., Castellano M., Milano G., Ventura G. & Vilardo G. (1998). *The Somma-Vesuvius stress field induced by regional tectonics: evidences from seismological and mesostructural data*. *J. Volcanol. Geoth. Res.*, **82** : 199-218.
- Bianco F., Castellano M., Milano G., Vilardo G., Ferrucci F. & Gresta S. (1999). *The seismic crises at Mt. Vesuvius during 1995 and 1996*. *Phys. Chem. Earth (A)*, **24** (11-12): 977-983.
- Blake A. (1941). *On the Estimation of Focal Depth from macroseismic data*. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **31**, p.3.
- Branno A., Esposito E., Luongo G., Marturano A., Porfido S., Rinaldis V. (1984). *The october 4th 1983 Magnitude 4 earthquake in Phlegraean Fields: macroseismic survey*. *Bull. Vulcanol.*, **47** (2).
- Branno A., Esposito E., Luongo G., Marturano A., Porfido S., Rinaldis A. (1985). *Una nuova legge di attenuazione dell'intensità per l'Italia Meridionale*. *Atti IV Convegno Annuale del Gruppo Naz. Geofisica della Terra Solida*. Roma, 221-226.
- Capuano P., Coppa U., De Natale G., Di Sena F., Godano C. & Troise C. (1999). *A detailed analysis of some local earthquakes at Somma-Vesuvius*. *Annali di Geofisica*, **42** (3): 391-406.
- Cassano E. & La Torre P. (1987). *Geophysics*. In : Santacroce R. (Editor) (1987). *Somma Vesuvius*. *Quaderni de "La Ricerca Scientifica"*, 114, **8**: 175-196.
- Dal Maso C., Marturano A., Varone A. (1999). *Pompei, il racconto dell'eruzione*. *Le Scienze*, **371** : 58-65.
- De Vivo B., Dietrich D., Guerra I., Iannaccone G., Luongo G., Scandone P., Scarpa R., Turco E. (1979). *Carta sismotettonica preliminare dell'Appennino Meridionale*. Pubblicazione n.166 del Consiglio Naz. Ricerche - Progetto Finaliz. Geodinamica.
- Husebey E.S., Ringdal F., Sandvin O.A., Cristofferson A. (1978). *Statistical test theory in the analysis of macroseismic questionnaires*. *NORSAR contribution*, N.231.
- Karnik V., Prochazkova D., Ruprechtova L., Schenkova Z., Dudek A., Drimmel J., Schmedes E., Leydecker G., Roth J.P., Guterch B., Lewandowska H., Meyer Rosa D., Cvijanovic D. (1976). *Macroseismic effects of the Friuli earthquake of May 6, 1976 in Austria*. Czechoslovakia F.R.G., France, Poland and Yugoslavia.
- Karnik V. (1968). *Seismicity of European Area*. Part I. Reidel Publishing Company, Dordrecht – Holland.
- Imbò G., Casertano L., Bonasia V. (1964). *Attività vesuviana negli ultimi anni dell'attuale periodo di riposo*. *Annali dell'Osservatorio vesuviano, Sesta Serie*, **VI** : 189-204.
- ING. Istituto Nazionale di Geofisica. *Bollettini macrosismici*
- Luongo G., Marturano A., Rinaldis V. (1991). *I questionari macrosismici: Analisi e correlazioni*. *Atti X Convegno Annuale GNGTS*, 175-184.
- Marturano, E. Esposito, S. Porfido, G. Luongo (1988 a). *The October 4th, 1983 Pozzuoli earthquake (Phlegraean fields - Italy). Intensity attenuation law versus distance and Io-MI relation at Phlegraean fields (Italy)*. *Proc. of "Kagoshima International Conference on Volcanoes"*, Kagoshima, July 1988.

- Marturano A., Esposito E., Porfido S. & Luongo G. (1988 b). *Il terremoto del 4.10.1983 (Pozzuoli): Attenuazione dell'intensità con la distanza e relazione magnitudo-intensità. Zonazione della città di Napoli*. Atti 74° Congresso della Soc.Geol. It., B : 302-311.
- Marturano A. & Rinaldis V. (1995). *Il terremoto del 62 d.C: un evento carico di responsabilità*. In: "Archäologie und Seismologie - La Regione Vesuviana dal 62 al 79 D.C. Problemi archeologici e Sismologici", 131-135. Deut. Arch. Inst. Rom, Sopr. Arch. Pompei, Oss. Vesuviano (Eds) - Biering & Brinkmann, München.
- Marturano A. & Rinaldis V. (1998). *Seismicity before the 79 A.D. Vesuvius eruption*. In: " Il sistema uomo ambiente tra passato e presente " a cura di C.A.Livadie & F.Ortolani. Edipuglia, Bari.
- Marturano & Scaramella (1995). *The role of primary sources in reconstructing the history of volcanoes: the eruption of Vesuvius in 1631*. Proc. 20th INHIGEO Symposium (Napoli- Eolie-Catania, september 1995) : 281-301.
- Marturano A. & Scaramella P. (1997). *L'eruzione del 1631 dedotta dall'analisi delle relazioni sincrone*. In: "Mons Vesuvius" a cura di Luongo G., Fiorentino (Ed.), Napoli, 115-130.
- Mercalli G. (1883). *Vulcani e fenomeni vulcanici in Italia*. (Rist. anast. Forni Ed., 1981).
- Postipishl D., Branno A., Esposito E., Ferrari G., Marturano A., Porfido S., Rinaldis V., Stucchi M. (1982). *Southern Italy November 23, 1980 Macroseismic survey*. CNR – PFG n.503, 7° ECEE Atene.
- Prochazkova D. (1981). *Earthquakes parameters determined on the basis of macroseismic material*. Gerlanda Beitr, Geophysik, Leipzig. 90, 3, s. 255-260.
- Sigursdon H., Careu S., Cornell W. & Pescatore T. (1985). *The eruption of Vesuvius in A.D. 79*. National Geographic Res., 1: 332-387.
- Sponheuer W. & Grünthal G., (1981). *Reinterpretation of Central German Earthquake of March 6, 1872, using the MSK-54-Scale, and conclusion for its up-dating*. Gerlands Beitr. Geophysik, Leipzig 90, 3, S. 220-224.
- Vilardo G., De Natale G., Milano G. & Coppa U. (1996). *The seismicity of Mt.Vesuvius*. Tectonophysics, **261**: 127-138.
- Vilardo G., Martini M., Talarico G. (1998). *Mt. Vesuvius. Seismic Activity*. Acta Vulcanologica. Data related to Eruptive Activity, Unrest Phenomena and Other Observations on the Italian Active Volcanoes. Geophysical Monitoring of the Italian Active Volcanoes 1993-95. Gasparini P. (Ed.), **10** (1):85-88.
- Vilardo G., Ventura G. & Milano G. (1999). *Factors Controlling the seismicity of the Somma-Vesuvius Volcanic Complex*. Volc.Seis., **20** : 219-238
- Vilardo G. & Castellano M. (2000). *Vesuvio: Sismicità*. Osservatorio Vesuviano. Rendiconto sull'attività di sorveglianza, II semestre (Luglio-Dicembre 1999): 1-6.
- Zollo A., Gasparini P., Biella G., De Franco R., Buonocore B., Mirabile L., De Natale G., Milano G., Pingue F., Vilardo G., Bruno P., De Matteis R., Le Meur H., Iannaccone G., Deschamps A., Virieux J., Gruppo Lavoro I.N.G., Guerra I. (1996a). *2D seismic tomography of Somma Vesuvius: Description of the experiment and preliminary results*. Annali di Geofisica, **XXXIX** (3): 471-486.
- Zollo A., Gasparini P., Virieux J., De Natale G., Biella G., Capuano P., De Franco R., Dell'Aversana P., De Matteis R., Guerra I., Le Meur H., Mirabile L., Nardi A. & Vilardo G. (1996b). *Seismic evidence for a low velocity zone (magma body) in the upper crust underneath Mt.Vesuvius*. Science, **274**: 592-594.
- Zollo A., Gasparini P., Vireux J., Biella G., Boschi E., Capuano P., de Franco R., Dell'Aversana P., de Matteis R., De Natale G., Iannaccone G., Guerra I., Le Meur H. & Mirabile L. (1998). *An image of Mt.Vesuvius obtained by 2D seismic tomography*. J.Volcanol.Geoth.Res., **82**:161-173.

Appendice 1. Questionario

Nome della scuola:

Indirizzo:

1. Hai avvertito il terremoto?
2. Ti trovavi a casa?
Se si indica indirizzo:
piano:
3. Eri sveglio?
4. Se stavi dormendo, ti sei svegliato?
5. Ti trovavi per strada?
Se si indica via:
all'altezza del numero civico:
6. Eri in una macchina ferma?
7. Eri in una macchina in movimento?

Se stavi in casa e hai avvertito il terremoto:
8. E' stato difficile mantenere l'equilibrio?
9. Hai avuto paura?
10. Sei scappato via?
11. Hai sentito scricchiolare porte e finestre?
12. Hai sentito vibrare pentole e tegami nei mobili?
13. Hai sentito tintinnare bicchieri?
14. Hai visto oggetti sospesi oscillare?
15. Si sono spostati i quadri sui muri?
16. Si sono spostati o rovesciati oggetti piccoli e leggeri?
17. Si sono aperte o chiuse porte e imposte?
18. Sono caduti libri dagli scaffali?

Appendice 2.

Lista delle località, scuole e intensità (nv: non valutata).

Locality	School	Int.
Afragola	G. A. Rocco	5
Afragola	A. Mozzillo	4
Afragola	G. Ciaramella	4
Agerola	E. De Nicola	3
Arzano	G. B.Vico	4
Bacoli	A. Gramsci	2
Bacoli (Fusaro-Cuma)		2
Boscotrecase	Card. G. Prisco	6
Bracigliano (SA)	Angrisani	3
Capri	I. Nievo	2
Cardito	G. Galilei	3
Casalnuovo	E. De Nicola	4
Casandrino	E. Torricelli	3
Casoria	L. da Casoria	4
Castellammare di Stabia	G. Bonito	3
Castellammare di Stabia	L. Denza	3
Castello di Cisterna	A. de Gasperi	4
Cava dei Tirreni (SA)	G. Carducci & S. Lucia	2
Cercola	L. Giordano	5
Cercola	A. Custra	6
Cicciano	G. Pascoli	2
Crispano	S. Quasimodo	4
Ercolano	E. Iaccarino	5
Giugliano	Cante	nv
Marano	V. Alfieri	3
Marcianise (CE)	San G. Bosco	3
Mariglianella	G. Carducci	4
Marigliano	Pacinotti	4
Meta	39° Distretto	4
Monte di Procida		2
Mugnano di Napoli	Cirino	3
Mugnano di Napoli	F. Illuminato	3
Napoli	Ann. V. Emanuele II	4
Napoli	G. Marotta	4
Napoli	P. Borsellino	4
Napoli	F. Baracca	3
Napoli	R. Bracco	4
Napoli	S. Italico	4
Napoli	A. Belvedere	3
Napoli	G. B. Marino	5
Napoli	G. Salvemini	4
Napoli	C. Cavour	4
Napoli	S. Di Giacomo	4
Napoli	S. Maria di Costantinopoli	4
Napoli	D'Ovidio e Nicolardi	3

Napoli	M. Schipa	4
Napoli	G. Capuozzo	nv
Napoli	S. D'Acquisto	nv
Napoli (Bagnoli)	C. Console	3
Napoli (Barra)	F. Solimene	4
Napoli (Pianura)	F. Russo	3
Napoli (Secondigliano)	Tito Lucrezio Caro	4
Nocera Inf	A. Genovesi	2
Nocera Superiore	G. Pascoli	3
Nola (CE)	G. Bruno	2
Ottaviano	G. D'Annunzio	4
Ottaviano	Amedeo D'Aosta	5
Pagani (SA)	Sant' A. dei Liguori	2
Parete (CE)	M. Basile	2
Piano di Sorrento	G. Amalfi	3
Poggiomarino	E. De Filippo	4
Pomigliano D'Arco	Omero & Catullo	4
Portici	M. Melloni	5
Portici	Don Milani	5
Positano (SA)	A. Scarlatti	2
Pozzuoli	G. Diano	3
Pozzuoli (M. Rusciello)	A. Diaz	2
Procida	A. Capraro	2
Quarto	P. Gobetti	3
S. Antonio Abate	E. Forzati	3
S. Giuseppe Vesuviano	Don G. Ceschelli	5
S. Sebastiano	G. Salvemini	6
San Gennaro ves.	A. Cozzolino	4
San Marzano sul Sarno (SA)	A. Frank	4
San Nicola la Strada (CE)	G. Mazzini	3
Sant'Agnello	Gemelli	4
Santa Maria la Carità	E. Borrelli	3
Sarno	Amendola	nv
Scafati (SA)	Anardi	4
Siano (SA)	Mons. S. Corvino	4
Somma Vesuviana	San G. Bosco	5
Somma Vesuviana	Summa Villa	4
Sorrento	T. Tasso	3
Terzigno	G. Giusti	5
Torre Annunziata	VI Scuola M. S.	4
Torre Annunziata	A. Manzoni	4
Torre Annunziata	V. Alfieri	nv
Torre del Greco	Don R. Scauda	5
Torre Del Greco	Ist. Stat. d'Arte	5
Torre Del Greco	D. Morelli	5
Tramonti (SA)	G. Pascoli	2
Volla	M. Serao	nv