

Effetti di sito in prossimità di lineamenti geo-strutturali nella Sicilia orientale (Italia)

Site effects close to geostructural elements, Eastern Sicily (Italy)

MAURO CORRAO e GIUSEPPE COCO

Geologi della Geoscheck s.r.l. Società Servizi Geofisici

Via Della Zagara, 83 - 95045 Misterbianco (CT)

Tel/Fax 095-413000 - E-mail: geoscheck@mclink.it

RIASSUNTO

In questo lavoro sono studiati ed analizzati gli effetti di sito, in termini d'amplificazione spettrale H/V nelle registrazioni di microtremori, in prossimità di lineamenti geo-strutturali. In particolare vengono esaminate tre differenti tipologie strutturali: creep asismico, creep sismico e faglia inattiva. Le strutture studiate, appartengono a tipologie litologiche differenti: vulcanico e sedimentario. Lo scopo del lavoro è stato quello di verificare la possibilità di canalizzazioni dell'onda sismica all'interno delle strutture, con possibilità quindi d'intrappolamento di fronti sismici. Le misure del rumore sismico effettuate sono state ubicate lungo profili ortogonali ai lineamenti strutturali, e quindi sono stati calcolati gli spettri H/V secondo la tecnica di Nakamura. Inoltre, per il sito interessato da terreni sedimentari, i rapporti spettrali ottenuti sono stati confrontati con modelli teorici 1D al fine di distinguere le risposte sismiche legate alla stratigrafia dei terreni da quelle legate alla faglia in oggetto. Dallo studio eseguito è emerso che, in prossimità della fascia di fratturazione ("shear zone") delle faglie, si rilevano effetti di sito con evidenti amplificazioni della componente orizzontale del moto del suolo.

ABSTRACT

This paper analyses and studies site effects, applied to compute the H/V spectral ratio, close to geostructural elements. In particular, three different structural typologies have been examined: aseismic creep, seismic creep and inactive faults. These structures are located, as far as the lithology is concerned, in different types of terrain, volcanic and sedimentary. The goal of the work has been to verify the possibility of fault - guided seismic waves inside the structure, that therefore be haves as a waveguide for trapped waves. The measurements of ambient noise were carried along profiles crossing the structure, and the standard Nakamura technique was applied to calculate the spectral H/V ratio. Moreover, about the sedimentary site, the spectral ratios are compared with the 1D theoretical site model, to distinguish site response due to soil stratigraphy from the fault trating effect. In this paper results, horizontal components of ground motion are found to be significantly amplify whit in the shear zone.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi anni, relativamente alla valutazione degli aspetti che concorrono alla definizione del rischio sismico, si sono diffuse ed affermate, grazie anche ai bassi oneri, tecniche speditive di microzonazione sismica basate su misure di rumore ambientale (microtremore). I microtremori, caratterizzati da propagazione d'onde superficiali del tipo Rayleigh, sono generati da sorgenti quali il vento, attività antropiche, vibrazioni indotte da veicoli e macchine.

È stato provato che le caratteristiche spettrali e la polarizzazione del microtremore, mostrano una buona correlazione con le condizioni geologiche del sito da investigare [LERMO et CHÁVEZ-GARCÍA, 1994]. Fra i diversi metodi d'analisi dei microtremori, quello dei rapporti spettrali H/V [NAKAMURA, 1989], sembra essere il più affidabile, sebbene bisogna sempre verificare la sua applicazione in

funzione dei diversi siti e/o diverse condizioni. Infatti, alcuni autori [TOKIMATSU, 1995], hanno mostrato che il periodo naturale di un sito non sempre corrisponde al periodo fondamentale dello stesso, a meno di un elevato contrasto d'impedenza sismica fra gli strati. Altri autori, hanno osservato una generale sottostima dei valori d'ampiezza spettrale H/V.

Quanto detto, suggerisce che l'utilizzo dei microtremori e delle tecniche menzionate, deve essere accompagnato da indagini geognostiche (sondaggi meccanici, prove geotecniche di laboratorio, sismica in foro, ecc....), in grado di valutare dal punto di vista geometrico e fisico il sito d'investigazione, e quindi dare il giusto peso al dato spettrale calcolato.

Nonostante le limitazioni cui si è fatto cenno, nel presente lavoro, abbiamo utilizzato i microtremori e la tecnica dei rapporti spettrali H/V, al fine di valutare la propagazione delle onde sismiche e quindi la distribuzione dell'energia sismica, in

prossimità di lineamenti geo-strutturali. Recenti studi effettuati nella zona Nocera-Umbra (Italia Centrale) [MARRA *et al.*, 2000], hanno dimostrato che in prossimità di lineamenti tettonici (faglia) si registrano effetti d'amplificazione dell'onda sismica. Inoltre, altri ricercatori [IRIKURA & KAWANAKA, 1980] hanno evidenziato importanti cambiamenti delle caratteristiche spettrali del rumore sismico, in prossimità di faglie, rilevando un aumento dei valori d'ampiezza spettrale non correlabile con la frequenza spettrale corrispondente. Questi ultimi autori attribuirono la modificazione spettrale a fenomeni di riflessione e trasmissione d'onde di superficie attraverso discontinuità laterali.

In questo lavoro, l'eventuale insorgenza d'effetti di sito, è stata valutata in prossimità di tre diversi tipi di zone di faglia.

In particolare, sono stati messi a confronto tre casi differenti, utilizzando sempre la medesima tecnica analitica dei rapporti spettrali H/V [NAKAMURA, 1989].

Le tre tipologie strutturali studiate sono: "creep" asismico, "creep" sismico, faglia inattiva. Dove per *creep asismico* s'intende una faglia che presenta una dinamica con meccanismo di fratturazione della roccia secondo movimenti lenti e continui nel tempo, senza rilascio d'energia sismica; per *creep sismico* s'intende una faglia che presenta una dinamica con meccanismo di fratturazione rapido e con rilascio d'energia sismica; *sismogeneticamente inattiva* s'intende una faglia che non presenta, attualmente (Olocene), nessuna dinamica e quindi nessun rilascio d'energia sismica.

Le prime due tipologie strutturali (creep asismico e creep sismico), coinvolgono litologie di tipo vulcanico, infatti, sono individuabili nel versante meridionale del Vulcano Etna (Tremestieri Etneo e Ragalna - Provincia di Catania); la terza tipologia strutturale (faglia inattiva), riguarda litologie di tipo sedimentario Argilloso-Arenaceo ed è individuabile nel settore della Sicilia centrale (Vallone Musa - Scillicone SP18 Nicosia - Agira - Provincia di Enna). (Fig. 1).

Si è proceduto effettuando una serie di campionature del microtremore lungo profili ortogonali alle direzioni dei lineamenti strutturali studiati.

2. GENERALITÀ GEO-STRUTTURALI DEI SITI INVESTIGATI

Le faglie studiate coinvolgono due tipologie litologiche differenti: terreni vulcanici (siti 1 e 2) e terreni sedimentari (sito 3).

- I siti 1 e 2 insistono sul vulcano Etna. Questo si colloca in una zona nodale di strutture a carattere regionale, sottoposta a tettonica disgiuntiva. Le unità planari (faglie), che interessano il complesso vulcanico hanno direzioni NE-SO ed in subordine NS e NO-SE.

I terreni vulcanici, appartenenti alle colate etnee, sono costituiti da lave difficilmente delimitabili e piroclastiti (*Mongibello antico*), colate laviche e piroclastiti (*Mongibello recente*) e lave scoriaee e compatte recenti (Fig. 2a - 2b).



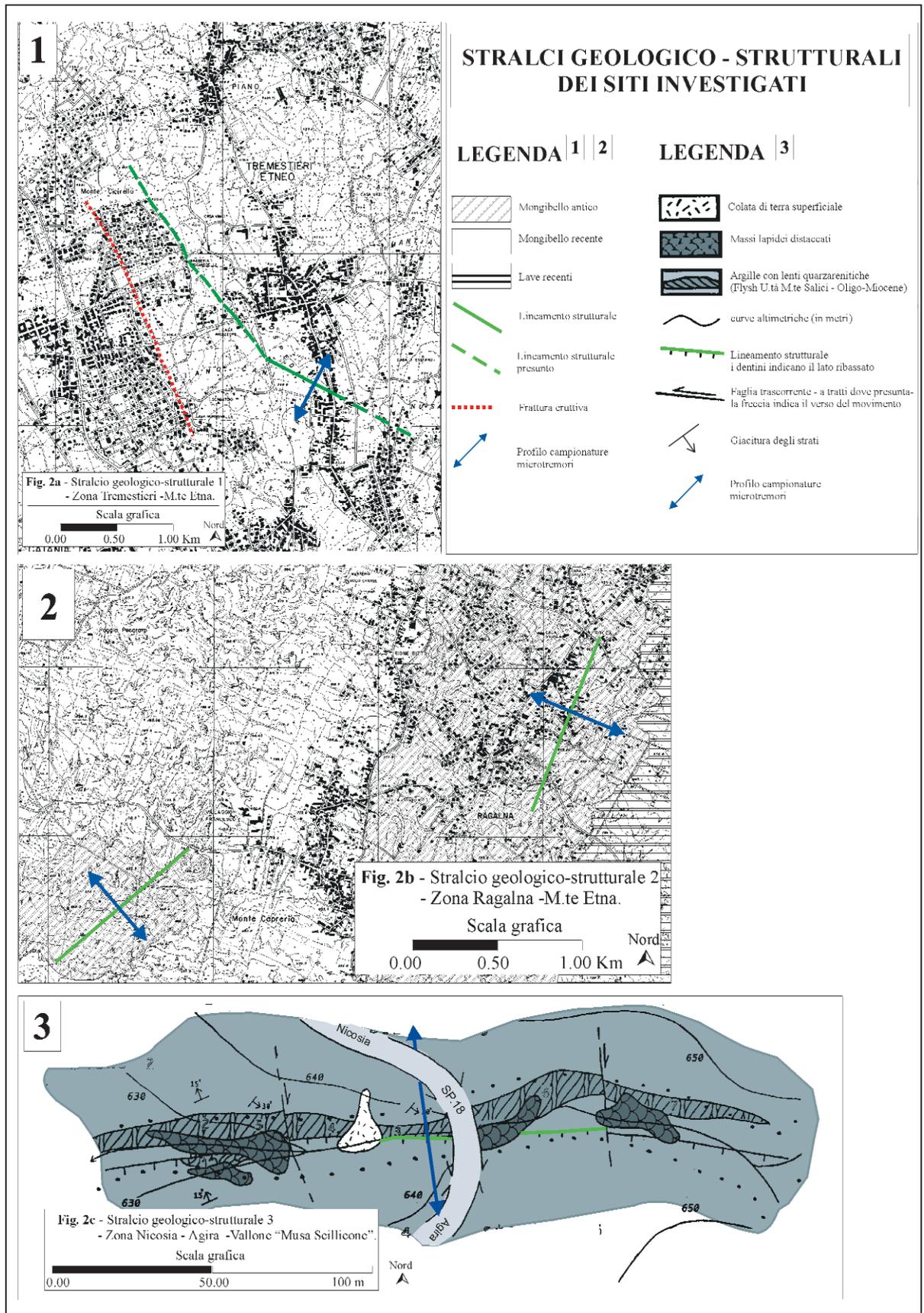
Fig. 1 - Mappa dei siti investigati.

Questi, geologicamente, poggiano sui termini del basamento sedimentario, costituiti, nel versante meridionale etneo (laddove insistono i siti investigati), da terreni autoctoni postorogeni di età Miocene superiore (Tortoniano). Le sequenze dei terreni neautoctoni, successive alla sedimentazione mio-pleiocenica, sono rappresentate in prevalenza da sedimenti terrigeni argilloso-marnosi appartenenti alla formazione delle "Argille grigio-azzurre" del Pleistocene (Siciliano), che affiorano in corrispondenza delle aree poste ad Est ed a Sud della regione etnea.

- I terreni sedimentari, riguardanti il sito 3 investigato, sono costituiti dal Flysch Numidico. In particolare trattasi di una successione costituita da argille brune color tabacco, con intercalazioni lenti-formi di banconi quarzarenitici (Fig. 2c).

3. VALUTAZIONE DELL'EFFETTO DI AMPLIFICAZIONE

Il comportamento dei siti conseguentemente ad un input sismico, è inteso in termini di differente energia e/o diversa distribuzione in frequenza della stessa a causa degli effetti di amplificazione o attenuazione selettiva di determinate frequenze, che è funzione delle caratteristiche fisico-geometriche dei mezzi attraversati (litologici e strutturali) da un'onda sismica.



In genere, i terreni rigidi (terreni rocciosi o terreni sedimentari compatti) presentano spettri di radiazione sismica poco amplificati con risposte centrate nella banda audio-frequency ($f > 20$ Hz) legate allo stato di alterazione superficiale del sito roccioso [CRANSWICK, 1988], mentre i terreni soffici danno luogo a risposte di sito in genere a frequenze minori di 20 Hz con livelli di amplificazione legati al contrasto di impedenza sismica. Alcuni

autori [COCO & CORRAO, 1998; MARRA *et al.*, 2000], hanno mostrato che in prossimità di discontinuità tettoniche e/o zone di fratturazione interessanti terreni rigidi, si hanno effetti di sito a frequenze < 10 Hz. Negli stessi lavori è altresì emerso che, allontanandosi dalla fascia di fratturazione, la risposta in frequenza del sito è poco significativa in accordo con la natura rigida dei terreni. Quindi, in prossimità di discontinuità tettoniche si ha l'insor-

genza d'effetti di sito pur non cambiando la natura geologica dei terreni di superficie. Sulla base di tale considerazione, sono stati effettuati diversi punti di misura del microtremore lungo profili ortogonali alle tre faglie studiate (Fig. 2).

Inoltre, nel sito laddove insistono terreni sedimentari (sito 3), il dato sperimentale è stato confrontato con modelli teorici 1D (Haskell-Thomson method), definiti mediante dati stratigrafici, geofisici e geotecnici al fine di valutare se gli effetti registrati sono strettamente legati alla discontinuità di natura tettonica o alle caratteristiche lito-stratigrafiche del sito.

4. DESCRIZIONE DEL METODO

La tesi di partenza si basa sul fatto che l'energia dei microtremori consiste principalmente in onde di Rayleigh, e che l'effetto di amplificazione del sito è legato al contrasto di rigidità tra due mezzi attraversati dall'onda sismica. Recentemente è stato dimostrato [Per una rassegna si veda BARD, 1999], che i rapporti spettrali H/V utilizzati con misure di microtremore, mostrano una significativa coerenza con le forme di spettri H/V calcolati mediante registrazioni di terremoti.

In accordo con quanto descritto sugli effetti di sito [NAKAMURA, 1989; LACHET & BARD, 1994; LERMO & CHÀVEZ-GARCÍA, 1994], in questo lavoro è stata applicata la tecnica dei rapporti spettrali H/V, presupponendo un probabile contrasto di rigidità sismica tra la fascia di fratturazione ed il litotipo in posto.

5. RACCOLTA ED ELABORAZIONE DATI

Al fine di applicare la tecnica dei rapporti spettrali H/V, è necessario campionare i microtremori registrando le tre componenti del moto del suolo. Specificatamente sono stati utilizzati trasduttori del moto del suolo 3D, aventi periodo fondamentale di 1 s., interfacciati ad un sistema di acquisizione di conversione analogico-digitale.

Tali campionature, sono state effettuate con amplificazioni opportunamente scelte al fine di aumentare il rapporto segnale-rumore; ciò consente di ridurre al minimo i fenomeni transienti dovuti a sorgenti antropiche nel "near-field" e di aumentare la stabilità del segnale analizzato.

In ogni sito si è proceduto alla registrazione di 10 finestre temporali della durata di 60 secondi intervallate tra loro in maniera casuale.

Il segnale ricavato nel dominio del tempo è stato processato correggendo ogni serie temporale mediante una funzione "base-line" al fine di eliminare off-set e trend anomali, quindi è stata applicata una funzione "cosine-taper (10%)" per evitare l'insorgenza d'effetti di "bordo" ed infine è stato applicato un filtro band-pass tra 0.1 e 20 Hz.

Gli spettri dei microtremori relativi ad ogni finestra temporale sono stati determinati tramite il comune algoritmo della Fast Fourier Transform (FFT). Nella fattispecie, sui singoli spettri, onde evitare fluttuazioni troppo rapide del segnale, è stata applicata una "smoothing function" pari al 10%

della frequenza centrale. Quindi è stato effettuato, mediante media aritmetica, il calcolo degli spettri medi H/V [DONGIOVANNI *et al.*, 1997].

6. ELABORAZIONE MODELLI 1D (SITO 3)

Come già detto, i risultati ottenuti con la tecnica dei rapporti spettrali, sono stati successivamente comparati con funzioni di trasferimento spettrali calcolate tramite modelli viscoelastici 1D (Haskell-Thomson method), definiti sulla base della velocità di propagazione delle onde sismiche longitudinali (V_p) e trasversali (V_s), dello spessore degli strati e del peso di volume dei litotipi rilevati.

L'operazione consiste nel calcolare lo spettro teorico relativo ad un'onda sismica che si propaga dal "bedrock" alla superficie, e cioè il rapporto tra l'ampiezza (misurata in termini di velocità) in superficie, rispetto a quella misurabile su un basamento rigido. Tutto ciò presuppone una schematizzazione teorica, sia stratigrafica sia geotecnica del sottosuolo. Nella tabella seguente sono rappresentate le grandezze fisico-geometriche utilizzate. In figura 6 gli spettri teorici 1D sono stati sovrapposti ai rapporti spettrali sperimentali.

RESTITUZIONE PARAMETRICA MODELLI 1D

Substrato
 $V_p = 2250$ m/s; $V_s = 1300$ m/s;
Densità = 2.2 gr/cm³

N1
number of layers: 2
layers parameters (6F10.4):
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
5.0 330 146 1.8 10 5
13 625 290 1.9 20 10

N2
number of layers: 3
layers parameters (6F10.4):
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
5.7 330 146 1.8 10 5
9.0 625 290 1.9 20 10
20 1500 625 1.95 60 30

N3
number of layers: 2
layers parameters (6F10.4):
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
2.3 330 146 1.8 10 5
8.2 625 290 1.9 20 10

N4
number of layers: 2
layers parameters (6F10.4):
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
1.5 330 146 1.8 10 5
3.5 625 290 1.9 20 10

N10
number of layers: 3
layers parameters (6F10.4):
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
1.5 300 126. 1.8 10 5
3.0 625 290. 1.9 20 10
10.0 1500 650. 1.95 60 30

Substrato
 $V_p = 2250$ m/s; $V_s = 1440$ m/s;
Densità = 2.2 gr/cm³

N5
number of layers: 2
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
1.5 300 126 1.8 10 5
5.0 1500 650 1.95 60 30

N6
number of layers: 3
layers parameters (6F10.4):
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
1.5 300 126 1.8 10 5
7.5 625 290 1.9 20 10
9.0 1500 650 1.95 60 30

N7
number of layers: 3
layers parameters (6F10.4):
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
2.0 300 126 1.8 10 5
6.1 625 290 1.9 20 10
5.0 1500 650 1.95 60 30

N8
number of layers: 3
layers parameters (6F10.4):
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
2.5 300 126 1.8 10 5
5.5 625 290 1.9 20 10
3.5 1500 650 1.95 60 30

N9
number of layers: 3
layers parameters (6F10.4):
Thick Pvel Svel Dens Qp Qs
6.0 300 126 1.8 10 5
22.0 625 290 1.9 20 10
2.0 1225 650 1.95 60 30

7. DISCUSSIONE DEI RISULTATI

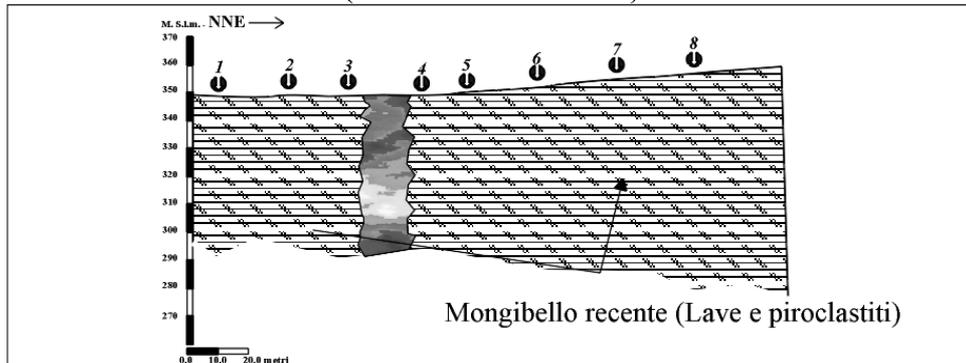
I risultati ottenuti per i tre siti investigati mettono in evidenza le seguenti caratteristiche spettrali di risposta.

SITO 1 (Fig. 3)

Nel sito 1, laddove viene studiato il "creep asismico", si osserva, relativamente alle campionature

N3 e N4 prossime alla struttura, un picco significativo di ampiezza 7-8.5 centrato in una banda di frequenza compresa tra 3 e 5 Hz. Allontanandosi dalla struttura i rapporti spettrali relativi alle campionature N2, N5 e N6 mostrano un'attenuazione in ampiezza fino a 3.5-4 unità, nella medesima banda in frequenza. Nei punti di campionatura, estremi al profilo, N1, N7 e N8 le amplificazioni degli spettri ottenuti risultano poco significative.

SEZIONE GEOLOGICA TRASVERSALE ALLA FAGLIA E POSIZIONI GEOFONICHE DI MISURA (L.tà Tremestieri Etneo)



RESTITUZIONI GRAFICHE DEGLI SPETTRI OTTENUTI

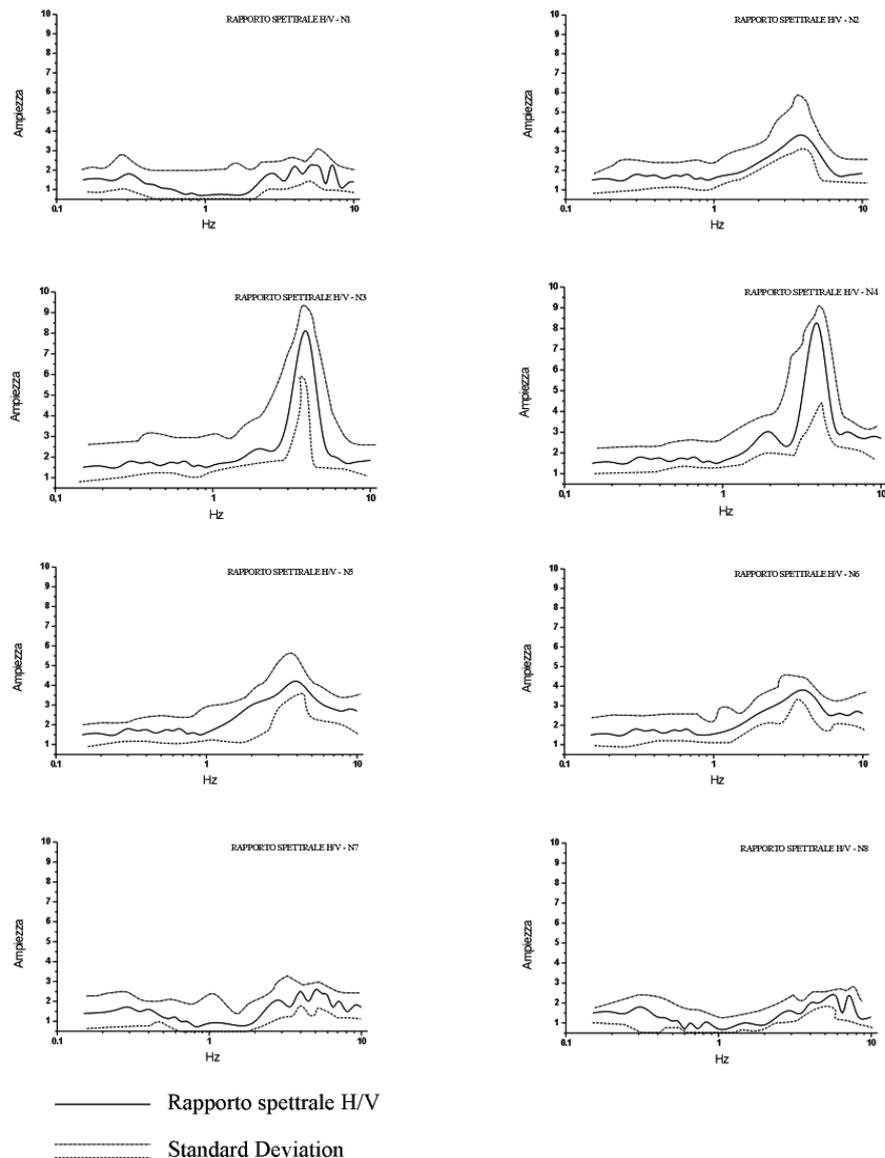
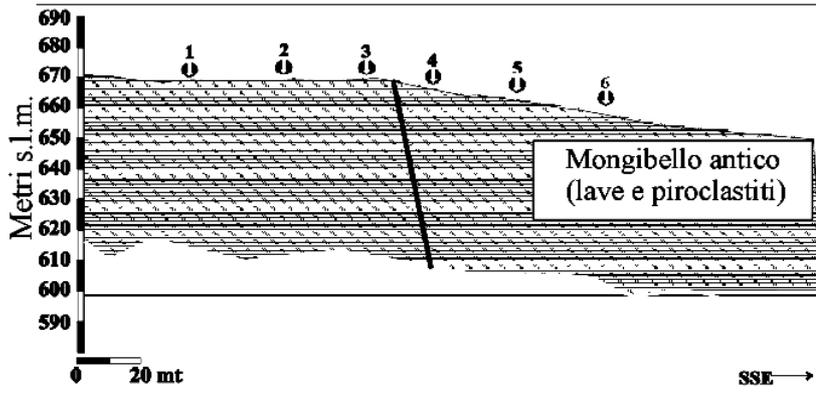


Fig. 3

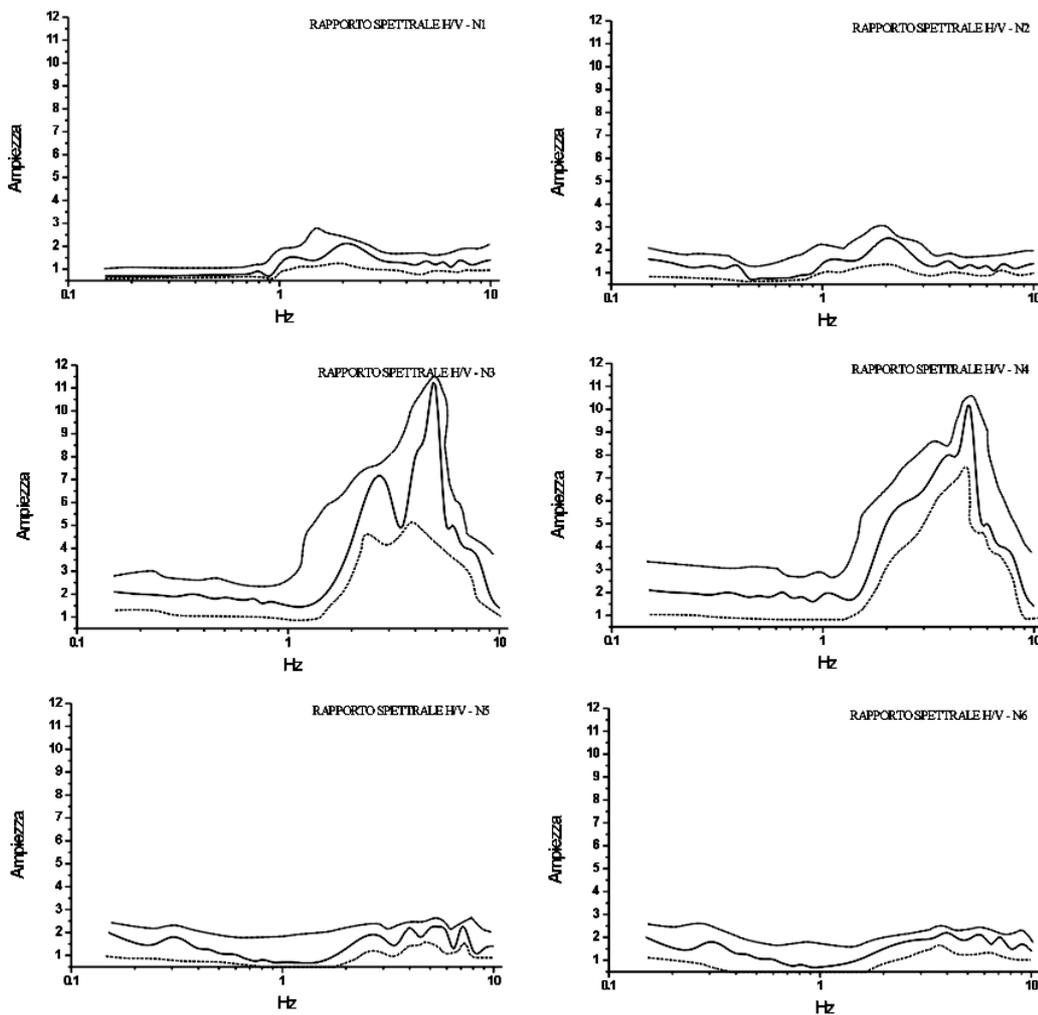
Nel sito 2a, laddove viene investigato il "creep sismico", per le campionature prossime alla struttura, e cioè l'N3 e l'N4, si registra un picco significa-

tivo d'ampiezza 10-11 centrato in una banda in frequenza compresa tra 4 e 5 Hz. Le campionature più distanti al lineamento strutturale (N1, N2, N5, N6) restituiscono spettri con amplificazione non significativa.

SEZIONE GEOLOGICA TRASVERSALE ALLA FAGLIA E POSIZIONI GEOFONICHE DI MISURA (L.tà Ragalna SW)



RESTITUZIONI GRAFICHE DEGLI SPETTRI OTTENUTI



—— Rapporto spettrale H/V
 Standard Deviation

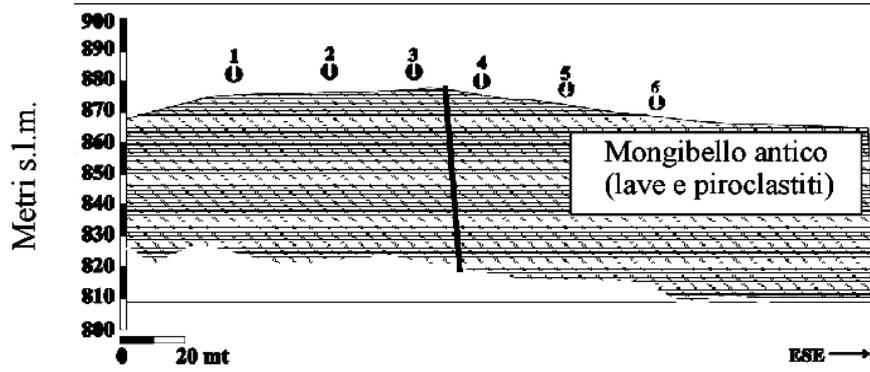
Fig. 4

SITO 2b (Fig. 5)

Nel sito 2b, così come per il 2a, viene studiato un "creep sismico". Qui, per le campionature prossime alla struttura, e cioè l'N3 e l'N4, si registra un

picco significativo d'ampiezza 9-10 centrato in una banda in frequenza compresa tra 1.2 e 1.6 Hz. Le campionature più distanti al lineamento strutturale (N1, N2, N5, N6), restituiscono spettri con ampiezze non significative.

**SEZIONE GEOLOGICA TRASVERSALE ALLA FAGLIA
E POSIZIONI GEOFONICHE DI MISURA
(L.tà Ragalna NE)**



RESTITUZIONI GRAFICHE DEGLI SPETTRI OTTENUTI

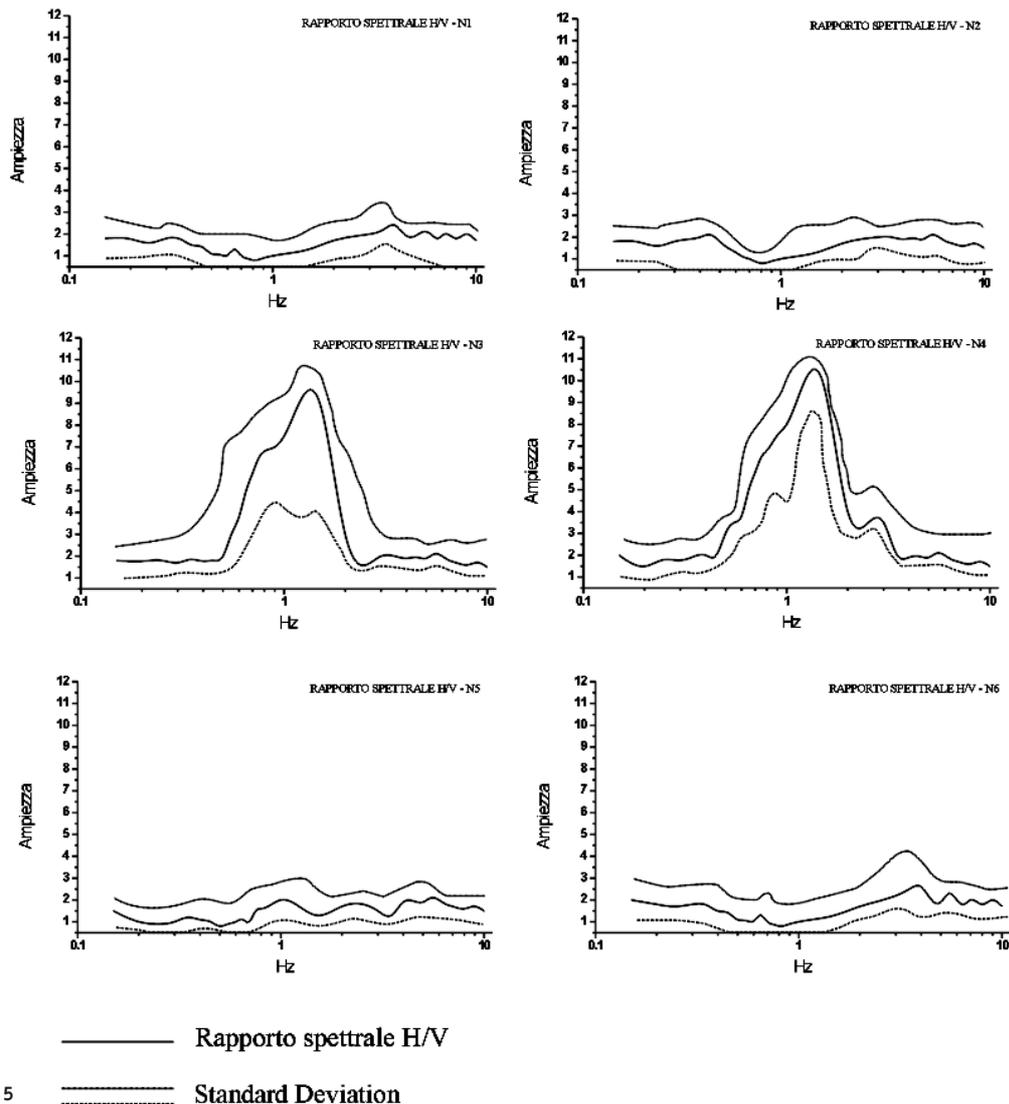


Fig. 5

SITO 3 (Fig. 6)

Nel sito 3 viene affrontata la problematica, relativamente ad una faglia inattiva. Nel dettaglio si osserva per il punto N1 un picco significativo centrato a circa 4 Hz con ampiezza > 2. Il modello geosismico del sito ben si accorda con i valori sperimentali.

Lo spettro relativo al punto N2 è piuttosto articolato con un picco ben distinto a circa 2.5 Hz con ampiezza circa 2.5, mentre il modello 1D adottato definisce una risposta del sito a circa 3.5 Hz. Il sito N3 presenta una risposta del sito significativa (ampiezza > 2) in una banda di frequenza compresa tra 6 e 8 Hz, in accordo con il modello utilizzato.

Mauro Corrao
Giuseppe Coco

*Effetti di sito
in prossimità
di lineamenti
geo-strutturali
nella Sicilia
orientale
(Italia)*

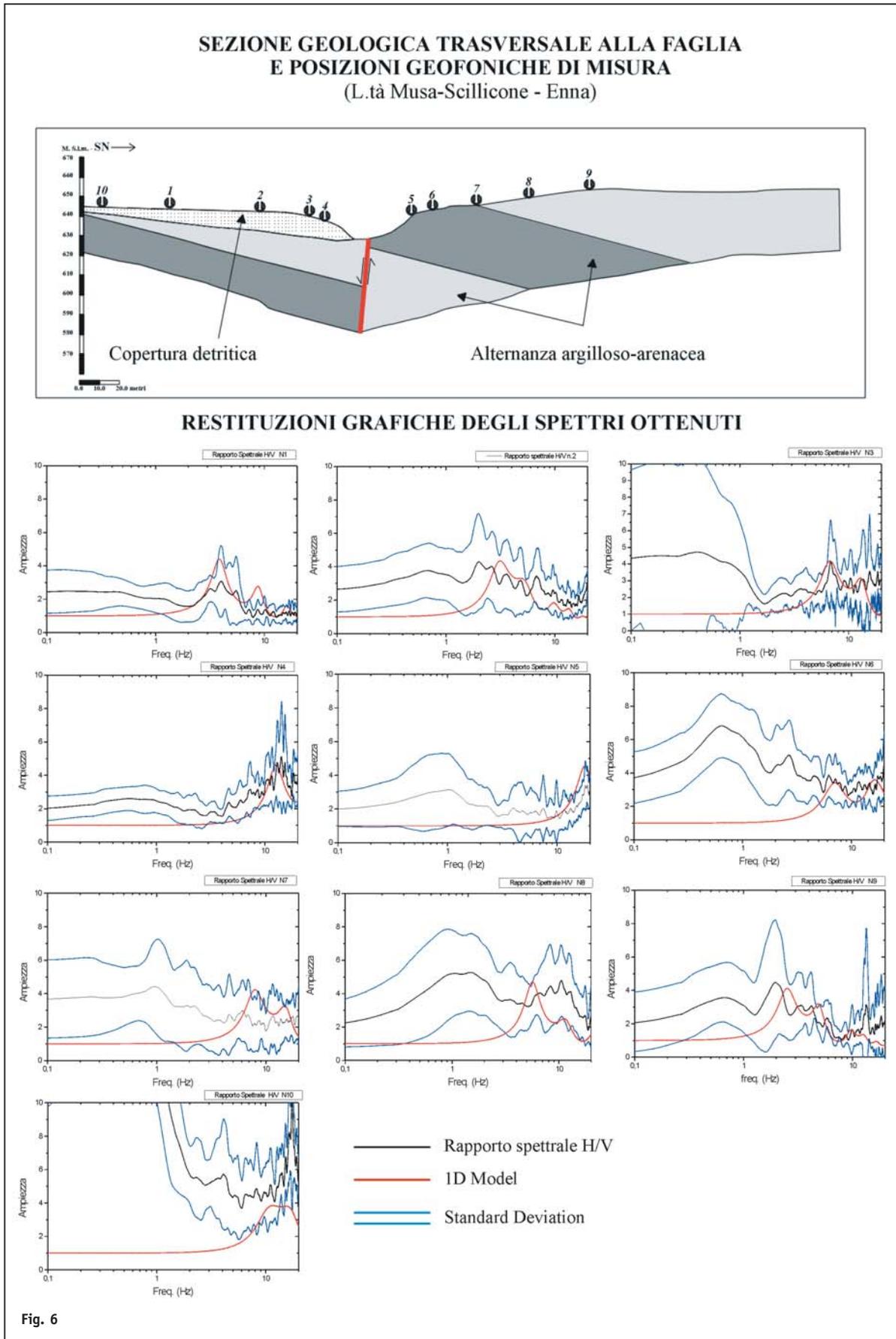


Fig. 6

La risposta del sito N4 è ben definita ad alte frequenze ($\text{Hz} \cong 15$) così come la frequenza ricavata dal modello 1D. Lo spettro relativo al sito N10 presenta picchi con ampiezza significativa (ampiezza > 2) in un intorno di 18 Hz in accordo con il modello teorico, anche se sottostimato in ampiezza. Il rapporto spettrale in N5 presenta bande spettrali ben amplificate a frequenza 18.5 Hz in accordo con il modello teorico utilizzato. L'analisi spettrale relativa al punto N6 riscontra un picco, così come per il modello 1D, a circa 8 Hz, ad eccezione di un picco ben distinto a frequenze < 1 Hz.

Gli spettri relativi ai punti N7 ed N8 si presentano senza alcun picco significativo, mentre i modelli 1D utilizzati per il calcolo della funzione di trasferimento danno risposte a frequenze intorno a 8 Hz.

Per quanto riguarda il sito N9, lo spettro presenta un picco ben distinto (ampiezza $\cong 3.2$) a circa 2 Hz, a differenza del modello 1D utilizzato che risulta traslato a 2.4 Hz.

8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio affrontato in questo lavoro ha avuto lo scopo di sperimentare, in prossimità di lineamenti geo-strutturali (faglie) la tecnica dei rapporti spettrali dei microtremori al fine di individuare effetti di risposta di sito a loro associati.

L'applicazione ha mostrato che gli spettri calcolati per le campionature eseguite lungo i profili ortogonali alle strutture relative ai siti 1 e 2 risultano, in un intorno di circa 20 metri degli allineamenti, evidentemente amplificati in ampiezza e con bande di frequenza variabili in un intorno di 4.5 Hz per il sito 1, e nell'intorno di 1.2 Hz e 4.5 Hz rispettivamente nel sito 2a e 2b. Gli spettri hanno poca significatività allontanandosi dagli allineamenti strutturali; infatti, la risposta in frequenza a circa 20 metri dagli allineamenti studiati assume un "trend piatto", tipico di terreni rigidi quali quelli vulcanici [CRANSWICK, 1988].

Per quanto concerne il sito 3, vista la natura sedimentaria dei terreni, agli spettri calcolati dalle campionature sperimentali sono stati sovrapposti, per comparazione, gli spettri teorici 1D. Ciò ha consentito di dedurre che le risposte ottenute nei diversi punti di misura sono da attribuire a condizioni geologico-stratigrafiche e non a fenomeni fisici legati alla faglia studiata.

Questo studio conferma che le faglie, prescindendo dalla tipologia, possono divenire sede di canalizzazioni d'onda sismica e quindi d'intrappolamento d'energia sismica. In particolare, si è osservato che il moto orizzontale del suolo aumenta fino ad un fattore di circa 10 (vedi ampiezze spettrali), nella zona di faglia, per poi decrescere allontanandosi da essa.

La tecnica sperimentata consente di evidenziare se esistono ed in quale intorno spaziale di una faglia, effetti di sito legati ad essa. Ciò diventa elemento importante ed aggiuntivo nella valutazione del rischio sismico e negli studi di microzonazione sismica volti alla pianificazione territoriale.

BIBLIOGRAFIA

- BARD P.Y. (1999): *Microtremor measurements: a tool for site effect estimation?* In: "The Effects of Surface Geology on Seismic Motion", Irikura, Kudo, Okada and Sasatani (eds), Balkema Rotterdam, 1251-1279.
- BONGIOVANNI G., GORELLI V., GORINI A., MARUCCI S., MARSAN P., MILANA G., ZAMBONELLI E. (1997): *Effetti di amplificazione sismica locale nella valle dell'aterno. Un confronto tra dati sismici e dati di microtremore.* (G.N.G.T.S. 1997)
- COCO G., CORRAO M. (1998): *Risposte di sito in aree vulcaniche.* Rivista O.R.G. di Sicilia n. 4.
- CRANSWICK E. (1988): *The information content of high-frequency seismograms and the near-surface geologic structure of hard-rock recording sites.* Pageoph, 128: 333-363.
- IRIKURA K., KAWANAKA T. (1980): *Characteristics of microtremors on ground with discontinuous underground structure.* Bull. Disaster Prev. Inst., Kyoto Univ., 30: 81-96.
- LACHET C., BARD P.-Y. (1994): *Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique.* J. Phys. Earth, 42: 377-397.
- LENTINI F. (1982): *The geology of the Mt. Etna basement.* Mem. Soc. Geol. It., 23: 7-25.
- LERMO J., CHÀVEZ-GARCÍA F. (1994): *Are microtremor Useful in Site Response Evaluation?* Bull. Seism. Soc. Am. 84, 5, 1350-1364, Oct. 1994.
- MARRA F., AZZARA R., BELLUCCI F., CASERTA A., CULTRERA G., MELE G., PALOMBO B., ROVELLI A., AND BOSCHI E. (in press): *Large amplification of ground motion at rock sites within a fault zone in Nocera Umbra (Central Italy).*
- NAKAMURA Y. (1989): *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface.* Quarterly Rept. RTRI. Jpn., 30: 25-33.
- ROMANO R. (1982): *Mt. Etna volcano.* Mem. Soc. Geol. It., XXIII.
- TOKIMATSU K. (1995): *Geotechnical site characterization using surface waves.* First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering - IS-TOKYO '95.