

Acquisizione di rumore sismico nell'Appennino Reggiano-Modenese

11-15 Aprile 2006

Open File Report

Istituti partecipanti:

INGV - Osservatorio Vesuviano

Paola Cusano, Norma Damiano, Simona Petrosino e Lucia Zaccarelli

Università di Modena e Reggio Emilia

Alessandro Corsini, Lisa Borgatti, Federico Cervi e Francesco Ronchetti

Riassunto

Tra l'11 e il 15 aprile 2006 è stata condotta una campagna di acquisizione di rumore sismico in alcuni siti in frana dell'Appennino Settentrionale. Lo scopo dell'esperimento è quello di stimare gli effetti di sito su corpi franosi tipici dell'Appennino Modenese e Reggiano, nonché di studiare il comportamento delle frane quando sono soggette ad eventi sismici.

Le registrazioni di rumore sono state effettuate con stazioni equipaggiate con sensori a corto periodo a tre componenti. Per la stima dell'amplificazione locale è stata scelta una serie di siti caratterizzati da litologie diverse. Inoltre, in siti omogenei e ben studiati dal punto di vista strutturale, sono state effettuate delle misure di rumore in configurazione di array per la stima di un modello di velocità superficiale, allo scopo di confrontare i risultati sperimentali con le funzioni di trasferimento teoriche. La durata delle registrazioni non è stata inferiore ad un'ora per ogni sito.

Le misure sono state effettuate sulle frane di Ca' Lita (MO), Cavola (RE) e La Lezza Nuova (RE). Tutte e tre sono frane da colata, caratterizzate dalla presenza in superficie di strati di argille, e sono state studiate dal punto di vista strutturale, tra l'altro attraverso pozzi di sondaggio ed esperimenti di sismica attiva.

Introduzione

E' ben noto che le cause principali dell'innescò delle frane sono legate alle caratteristiche fisico-meccaniche delle formazioni geologiche, alle condizioni climatiche, idrogeologiche e morfologiche. Tuttavia, in concomitanza di tali fattori, in numerosi casi si è verificato l'innescò di fenomeni franosi in corrispondenza di terremoti, che possono creare una situazione di equilibrio instabile. Gli eventi sismici, inoltre, possono provocare una destabilizzazione anche a lungo termine attraverso un progressivo diminuire delle resistenze di taglio residue. Il territorio italiano, per le sue caratteristiche geologiche e per la frequente attività sismica, è a rischio per questi fenomeni. Basti pensare che il terremoto della Garfagnana del 1920 ($M = 6.5$) ha innescato cinque frane (Castaldini et al., 1998) accertate e quello dell'Irpinia del 1980 ($M = 6.9$) ha provocato consistenti movimenti di massa di vario genere (Cotecchia, 1986). In diversi casi, le frane innescate dalla sismicità locale hanno causato più vittime dei terremoti stessi.

E' quindi importante, ai fini della mitigazione del rischio da frane, condurre studi rivolti alla quantificazione del possibile contributo sismico alla dinamica delle frane, stimando l'amplificazione del sito.

Negli ultimi anni per la stima dell'effetto di sito c'è stato un crescente interesse nello studio del rumore sismico di fondo, che Kanai (1954) suppone consistere principalmente di onde S incidenti verticalmente. I vantaggi nell'analizzare questo tipo di segnale per la stima dell'effetto di sito, risiedono: nella possibilità di effettuare misure in qualsiasi momento e luogo, senza bisogno di ricorrere a sorgenti attive o di attendere il verificarsi di qualche evento sismico naturale; nel permettere la realizzazione di esperimenti a basso costo; in un impatto ambientale praticamente inesistente; e nel consentire misure speditive.

Inoltre diversi autori (Bard, 1999, e referenze all'interno) hanno mostrato che il rumore sismico è composto per buona parte anche da onde superficiali, consentendo la stima dei modelli di velocità attraverso l'inversione delle curve di dispersione (Aki, 1957; Bettig et al., 2001). I valori così ottenuti possono essere usati per calcolare la funzione di trasferimento teorica del mezzo (Kramer, 1995).

L'Appennino Reggiano e Modenese, per le sue caratteristiche geologiche e strutturali ed essendo particolarmente soggetto ad eventi franosi, è un eccellente laboratorio d'indagine per la valutazione dell'amplificazione sui corpi franosi. Per il nostro studio sono state scelte tre frane particolarmente rappresentative per l'Appennino Settentrionale, la frana di Ca' Lita (Baiso (RE)), la frana di Cavola (RE) e la frana de La Lezza Nuova (Frassinoro (MO)) (Figura 1). La scelta di queste tre frane è stata dettata anche dalla buona conoscenza delle caratteristiche del terreno, ottenuta attraverso pozzi di sondaggio, esperimenti di sismica attiva, rilevamenti geologici, ed altro.

L'esperimento di acquisizione del rumore sismico si è svolto dall'11 al 15 Aprile 2006 ed ha coinvolto alcuni ricercatori dell'UF di Sismologia dell'INGV - Osservatorio Vesuviano (Paola Cusano, Norma Damiano, Simona Petrosino e Lucia Zaccarelli) e del gruppo di Geologia Applicata dell'Università di Modena e Reggio Emilia (Alessandro Corsini, Lisa Borgatti, Federico Cervi e Francesco Ronchetti). L'intento è quello di effettuare una stima dell'effetto di sito usando le tecniche dei Rapporti Spettrali con Sito di Riferimento (Borcherdt, 1970) e la Tecnica di Nakamura (Nakamura, 1989) e di confrontarne i risultati con le funzioni di trasferimento teoriche ottenute applicando sia la tecnica SPAC che MSPAC a misure di array. I metodi d'indagine sono stati scelti sulla base della loro comprovata affidabilità.



Figura 1. Mappa delle zone scelte per l'esperienza. I comuni interessati (Baiso (RE), Cavola (RE) e Frassinoro (MO)) sono cerchiati in rosso.

Gli Strumenti

Per l'acquisizione del rumore sismico sono stati utilizzati i seguenti strumenti della Rete Mobile (MSN) dell'INGV - Osservatorio Vesuviano, UF Sismologia:

1. 5 stazioni MARSlite Lennartz;
2. 5 sismometri LE3Dlite 1 Hz;
3. 2 GPS GeoXT Trimble, dotati di software TerraSync.

Le stazioni sono state impostate in modo da avere un intervallo di campionatura pari a 125 sps e un fattore di scala pari a $8\mu\text{Volt/count}$. I dati vengono acquisiti in formato binario su memorie removibili. Delle 5 stazioni, 4 hanno registrato su PC-card DP-PCM2 da 5GB e 1 su disco magnetico da 5MB. Le registrazioni sono state poi scaricate off-line in formato GSE (Group of Scientific Experts, 1995). Sebbene le stazioni siano dotate di un'antenna GPS propria, la posizione

dei sensori è stata stimata con i due GeoXT, che permettono una maggiore precisione, che in condizioni ordinarie è di qualche metro. I sensori sono stati interrati ad una profondità pari a circa 30 cm e posizionati con le componenti orizzontali orientate nelle direzioni N-S ed E-O. Questi sensori hanno una risposta teoricamente lineare nella banda di frequenza 1-80 Hz, ma si è visto da altri esperimenti (Caliro *et al.*, 2005) che si può ritenere tale anche a partire da 0.5 Hz.

La catena strumentale è stata alimentata per mezzo di batterie.

Per maggiori dettagli si veda il sito <http://www.lennartz-electronic.de> per gli strumenti Lennartz e <http://www.trimble.com> per i GPS.

I Dati

Per ogni frana sono state eseguite due sessioni di misure, una per siti singoli, per la stima dell'effetto di sito, e una con le stazioni poste in configurazione di array semicircolare, per la definizione di un modello di velocità superficiale (si vedano le Figure 2, 3 e 4).

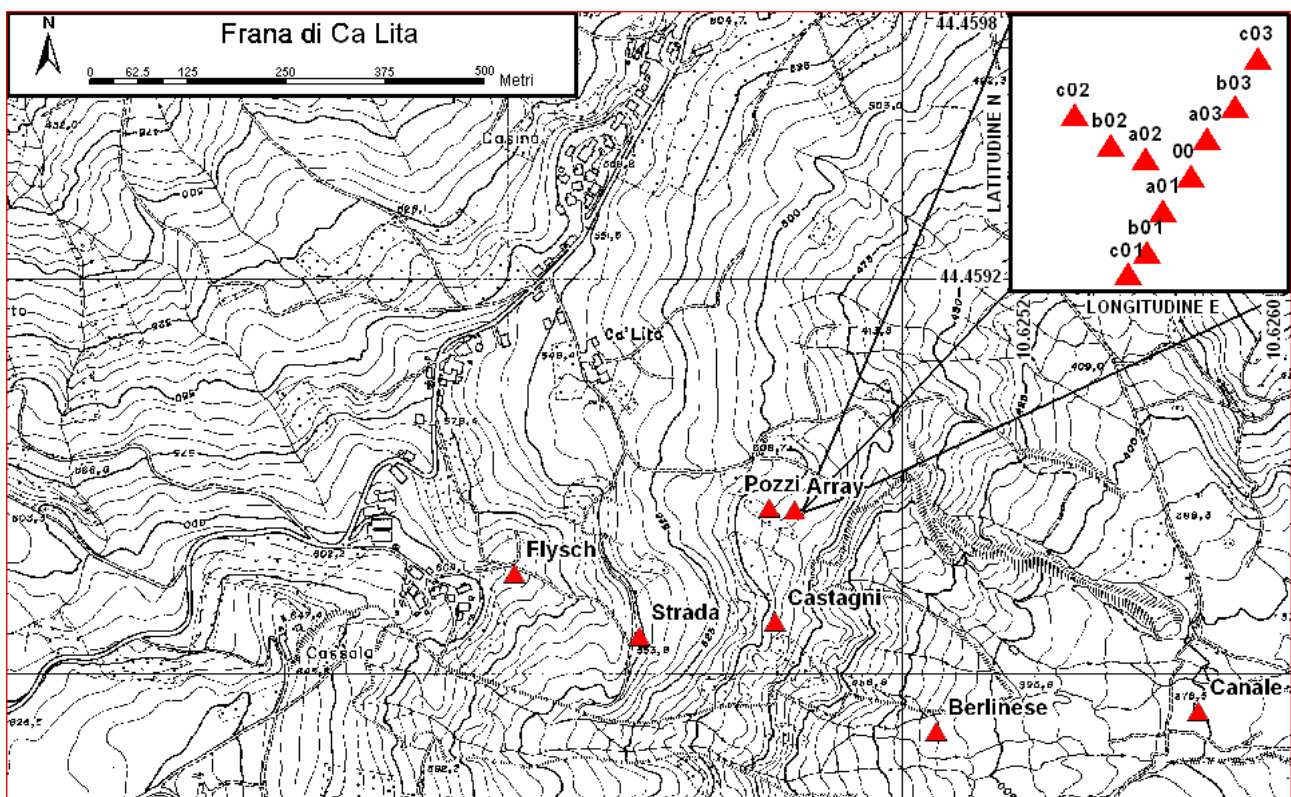


Figura 2. Frana di Ca' Lita. I triangoli rossi rappresentano le stazioni sismiche (tre componenti). Il sito "Piede" è fuori mappa. In alto a destra è rappresentato un ingrandimento dell'array.

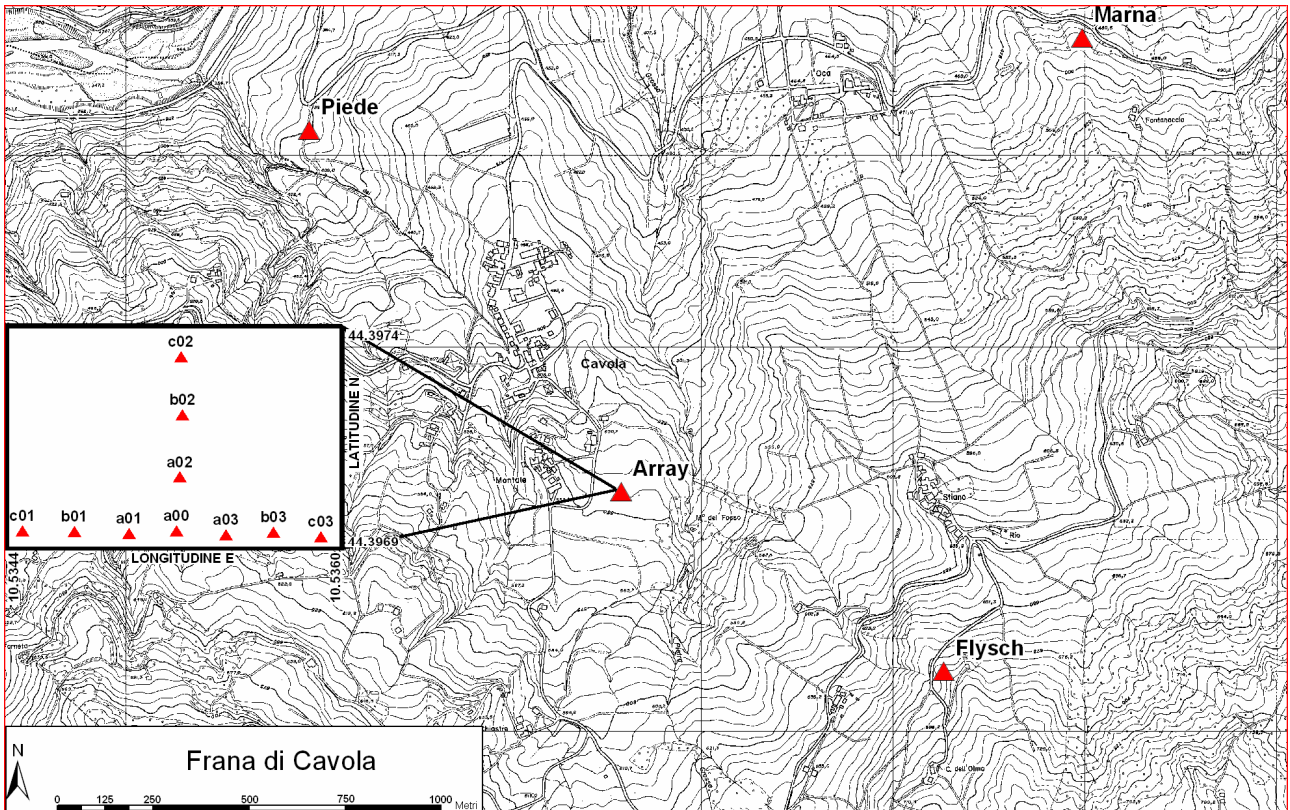


Figura 3. Frana di Cavola. I triangoli rossi rappresentano le stazioni sismiche (tre componenti). Sulla sinistra è rappresentato un ingrandimento dell'array.

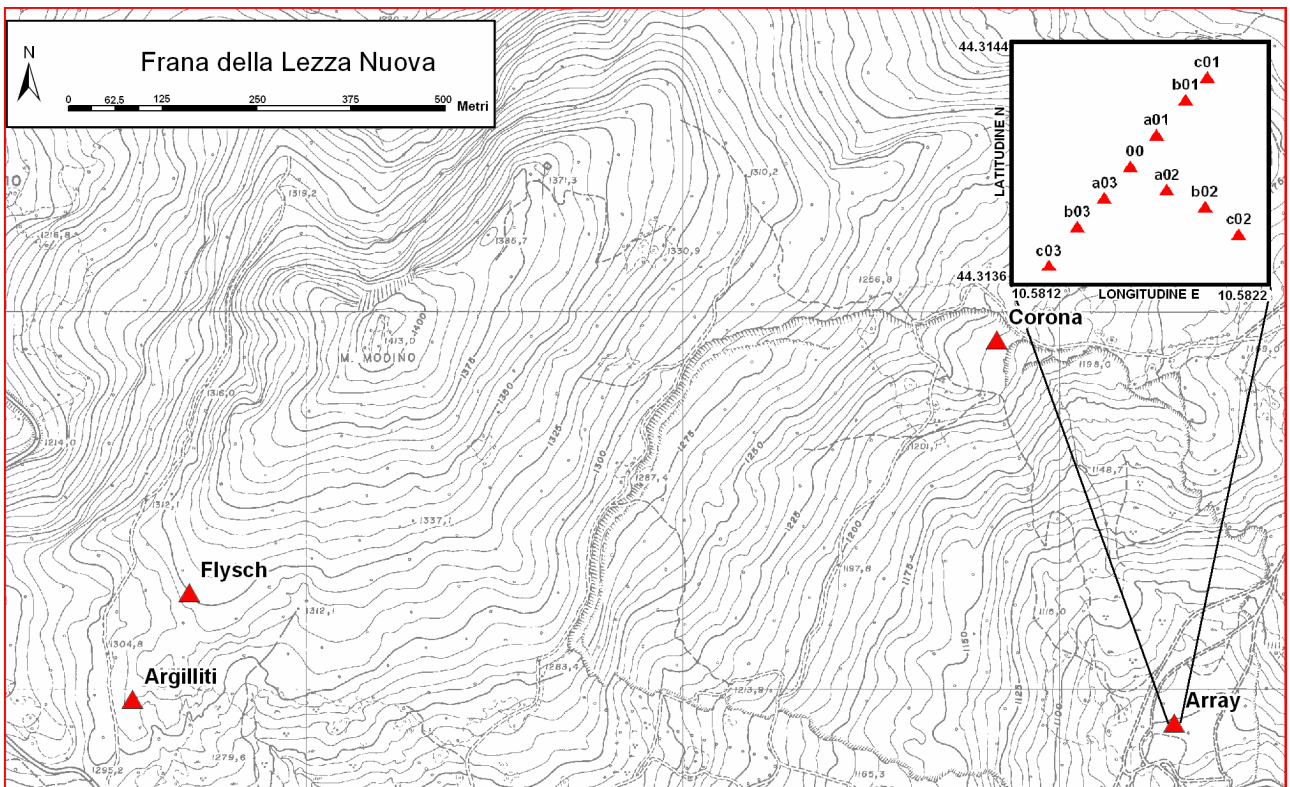


Figura 4. Frana de La Lezza Nuova. I triangoli rossi rappresentano le stazioni sismiche (tre componenti). In alto a destra è rappresentato un ingrandimento dell'array.

Misure in siti singoli (misure puntuali)

Su ognuna delle tre frane considerate è stato scelto un sito per ogni tipo di litologia presente (Tabelle P1, P2 e P3) per valutarne l'amplificazione locale e la frequenza di risonanza. Lo scopo è quello di studiare la risposta sismica dei diversi elementi geologici del corpo franoso per poi caratterizzare il comportamento della frana nel suo complesso attraverso le seguenti tecniche:

1. **Rapporti Spettrali con Sito di Riferimento** (Borcherdt, 1970). Stima dell'amplificazione locale attraverso il rapporto tra la componente orizzontale dell'ampiezza spettrale misurata in un sito generico e quella dell'ampiezza misurata al sito di riferimento, avente amplificazione trascurabile ($\ln(S_R)=0$). L'amplificazione alla j -esima stazione rispetto al sito di riferimento, S_j^{SR} , è data da:

$$\ln S_j^{SR}(f) = \ln A_j(f) - \ln A_R(f)$$

con A_R = ampiezza spettrale media misurata al sito di riferimento

A_j = ampiezza spettrale mediata su tutto il tempo di misura alla j -esima stazione

f = frequenza.

Nel presente caso, essendo interessati a rilevare l'amplificazione sul corpo di frana, si è scelto come riferimento un punto sul bedrock fuori dal corpo franoso. La stazione di riferimento è rimasta in acquisizione per tutta la durata della sessione di misure. Questa tecnica è attualmente considerata la più affidabile per la stima del valore dell'amplificazione.

2. **Tecnica di Nakamura** (Nakamura, 1989). Stima dell'amplificazione locale e della frequenza di risonanza misurando il rapporto tra la componente orizzontale e la verticale dell'ampiezza spettrale per un determinato sito:

$$S_j(f) = \frac{H_j(f)}{V_j(f)}$$

con S_j = amplificazione al sito j -esimo

H_j = componente orizzontale dell'ampiezza spettrale al sito j

V_j = componente verticale dell'ampiezza spettrale al sito j .

La tecnica risulta ottimale per la stima della frequenza di risonanza, ma il valore dell'amplificazione è affidabile solo in condizioni ideali (noise acquisito in un bacino la cui struttura è approssimabile a strati piani e paralleli e contrasto d'impedenza maggiore di 2.5 (Bard, 1999)). Di contro ha il vantaggio di essere una tecnica economica e molto speditiva.

Per ogni frana, le stazioni hanno acquisito almeno un'ora per ogni punto, eccetto la stazione di riferimento che ha acquisito per tutta la durata della sessione.

Tabella P1. Frana di Ca' Lita. Coordinate delle stazioni installate il 11/04/2006 per le misure puntuali.

Nome del sito	Litologia di superficie	Latitudine N (dd mm ss)	Longitudine E (dd mm ss)	Elevazione slm (m)
Cal0 (rif)	Roccia - Flysch in posto	44 27 31.61	10 37 16.46	590
Piede	Frana - Argille e blocchi	44 27 10.25	10 38 31.48	300
Pozzi (array)	Frana - Flysch dislocato molto fratturato	44 27 34.11	10 37 31.16	480
Pozzi2 (array)	Frana - Flysch dislocato molto fratturato	44 27 34.02	10 37 32.60	470
Castagni	Frana - Flysch dislocato moderatamente fratturato	44 27 29.41	10 37 31.33	480
Berlinese	Frana - Argille e blocchi	44 27 24.81	10 37 40.44	400
Canale	Frana - Argille e blocchi	44 27 25.41	10 37 55.49	370
Strada	Frana - Flysch dislocato moderatamente fratturato	44 27 28.97	10 37 23.53	540

Tabella P2. Frana di Cavola. Coordinate delle stazioni installate il 12/04/2006 per le misure puntuali.

Nome del sito	Litologia di superficie	Latitudine N (dd mm ss)	Longitudine E (dd mm ss)	Elevazione slm (m)
Flysch (rif)	Roccia - Flysch	44 22 33.24	10 32 44.22	900
cav_a0 (array)	Frana - Argille e blocchi	44 23 48.94	10 32 06.64	540
Marna	Roccia - Marne	44 24 26.42	10 33 01.91	480
Piede	Piede frana - Argille e blocchi	44 24 19.88	10 31 30.69	400

Tabella P3. Frana de La Lezza Nuova. Coordinate delle stazioni installate il 14/04/2006 per le misure puntuali.

Nome del sito	Litologia di superficie	Latitudine N (dd mm ss)	Longitudine E (dd mm ss)	Elevazione slm (m)
Flysch (rif)	Roccia - Flysch	44 18 55.89	10 33 54.28	1320
lez_c02 (array)	Frana - Argille e blocchi	44 18 49.40	10 34 55.51	1070
Argillite	Roccia - Argilliti	44 18 51.40	10 33 50.75	1310
Corona	Frana - scivolamento in blocco di flysch	44 19 06.11	10 34 42.93	1210

Misure di array

Sono state effettuate misure con le stazioni poste in configurazione di array semicircolare allo scopo di stimare un modello di velocità superficiale, invertendo le curve di dispersione delle onde superficiali ottenute con la tecnica di autocorrelazione di Aki (SPAC, Aki, 1957) e la tecnica di Aki modificata (MSPAC, Betting *et al.*, 2001). La scelta della configurazione semicircolare è necessaria per l'applicazione della tecnica SPAC (limite che viene superato con la tecnica MSPAC). Inoltre garantisce la massima copertura azimutale possibile. Avendo a disposizione 4 stazioni per l'array, si è scelto di tenere fissa una stazione per tutta la durata della sessione e di porre le rimanenti 3 a intervalli angolari di 90° lungo una semi-circonferenza con centro nella stazione fissa. Questa configurazione è stata ripetuta per tre valori del raggio. Nel caso delle frane di Cavola e La Lezza i valori del raggio sono 15 m, 30 m e 45 m, mentre per Ca' Lita 10 m, 20 m e 30 m (Tabelle A1, A2 e A3).

Le aree per le misure di array sono state scelte con i seguenti criteri:

1. tali da consentire che l'apertura dell'array permetta di risolvere almeno la profondità della superficie di distacco della frana (in media 30-40 m);
2. buona conoscenza geologica del suolo, attraverso pozzi di sondaggio, sismica attiva, ecc.;
3. assenza di dislivelli significativi lungo le linee di misura e pendenza media massima 10% in modo che la geometria dell'array si possa ritenere piana.

L'array di Cà Lita era posto in frana su un flysch dislocato molto fratturato e gli array di Cavola e La Lezza in frana su argille con blocchi.

Per ogni frana l'acquisizione è durata non meno di un'ora per ogni valore del raggio, mentre la stazione centrale ha registrato per tutta la durata della sessione.

Tabella A2. Frana di Ca' Lita. Coordinate dei sensori dell'array installato il 15/04/2006.

Nome del sito	Latitudine N (dd mm ss)	Longitudine E (dd mm ss)	Elevazione slm (m)	Raggio (m)	Angolo rif. al centro
bai_00	44 27 34.02	10 37 32.60	480	centro	centro
bai_a01	44 27 33.74	10 37 32.32	480	10	0°
bai_a02	44 27 34.16	10 37 32.13	480	10	90°
bai_a03	44 27 34.31	10 37 32.77	480	10	180°
bai_b01	44 27 33.42	10 37 32.14	480	20	0°
bai_b02	44 27 34.26	10 37 31.76	470	20	90°
bai_b03	44 27 34.56	10 37 33.06	480	20	180°
bai_c01	44 27 33.25	10 37 31.94	480	30	0°
bai_c02	44 27 34.50	10 37 31.38	480	30	90°
bai_c03	44 27 34.94	10 37 33.30	470	30	180°

Tabella A3. Frana di Cavola. Coordinate dei sensori dell'array installato il 13/04/2006

Nome del sito	Latitudine N (dd mm ss)	Longitudine E (dd mm ss)	Elevazione slm (m)	Raggio (m)	Angolo rif. al centro
cav_00	44 23 48.94	10 32 06.68	540	centro	centro
cav_a01	44 23 48.92	10 32 06.03	540	15	0°
cav_a02	44 23 49.39	10 32 06.72	540	15	90°
cav_a03	44 23 48.91	10 32 07.35	540	15	180°
cav_b01	44 23 48.93	10 32 05.29	540	30	0°
cav_b02	44 23 49.91	10 32 06.76	540	30	90°
cav_b03	44 23 48.93	10 32 08.00	540	30	180°
cav_c01	44 23 48.94	10 32 04.58	540	45	0°
cav_c02	44 23 50.40	10 32 06.74	540	45	90°
cav_c03	44 23 48.89	10 32 08.65	540	45	180°

Tabella A4. Frana de La Lezza Nuova. Coordinate dei sensori dell'array installato il 14/04/2006

Nome del sito	Latitudine N (dd mm ss)	Longitudine E (dd mm ss)	Elevazione slm (m)	Raggio (m)	Angolo rif. al centro
lez_00	44 18 50.27	10 34 53.86	1080	centro	centro
lez_a01	44 18 50.68	10 34 54.26	1080	15	0°
lez_a02	44 18 49.97	10 34 54.42	1070	15	90°
lez_a03	44 18 49.86	10 34 53.48	1080	15	180°
lez_b01	44 18 51.12	10 34 54.70	1080	30	0°
lez_b02	44 18 49.75	10 34 55.00	1080	30	90°
lez_b03	44 18 49.49	10 34 53.07	1080	30	180°
lez_c01	44 18 51.41	10 34 55.04	1080	45	0°
lez_c02	44 18 49.40	10 34 55.51	1070	45	90°
lez_c03	44 18 48.99	10 34 52.63	1080	45	180°

Forme d'onda e contenuto spettrale

Nelle Figure 5, 6 e 7 sono riportati degli esempi di registrazioni, della durata di 10 minuti, effettuate sui tre corpi di frana con i relativi spettrogrammi. I grafici per le frane di Ca' Lita e Cavola mostrano due massimi di ampiezza spettrale nelle bande di frequenza: 2-4 Hz e < 1 Hz; mentre a La Lezza sembra scomparire il picco tra 2 e 4 Hz e l'energia si concentra principalmente al di sotto dei 2 Hz. Al di là dei valori dei singoli picchi, che vanno analizzati in maniera approfondita, è importante evidenziare due caratteristiche:

1. Per ciascun sito, l'energia si concentra nelle stesse bande di frequenza sia per le registrazioni in frana che per quelle effettuate nel sito di riferimento;
2. Si osserva un massimo dell'energia intorno ad 1 Hz per tutti i siti.

La stessa analogia non sembra, invece, evidente per il picco nella banda 2-4 Hz, che non è chiaramente visibile per La Lezza.

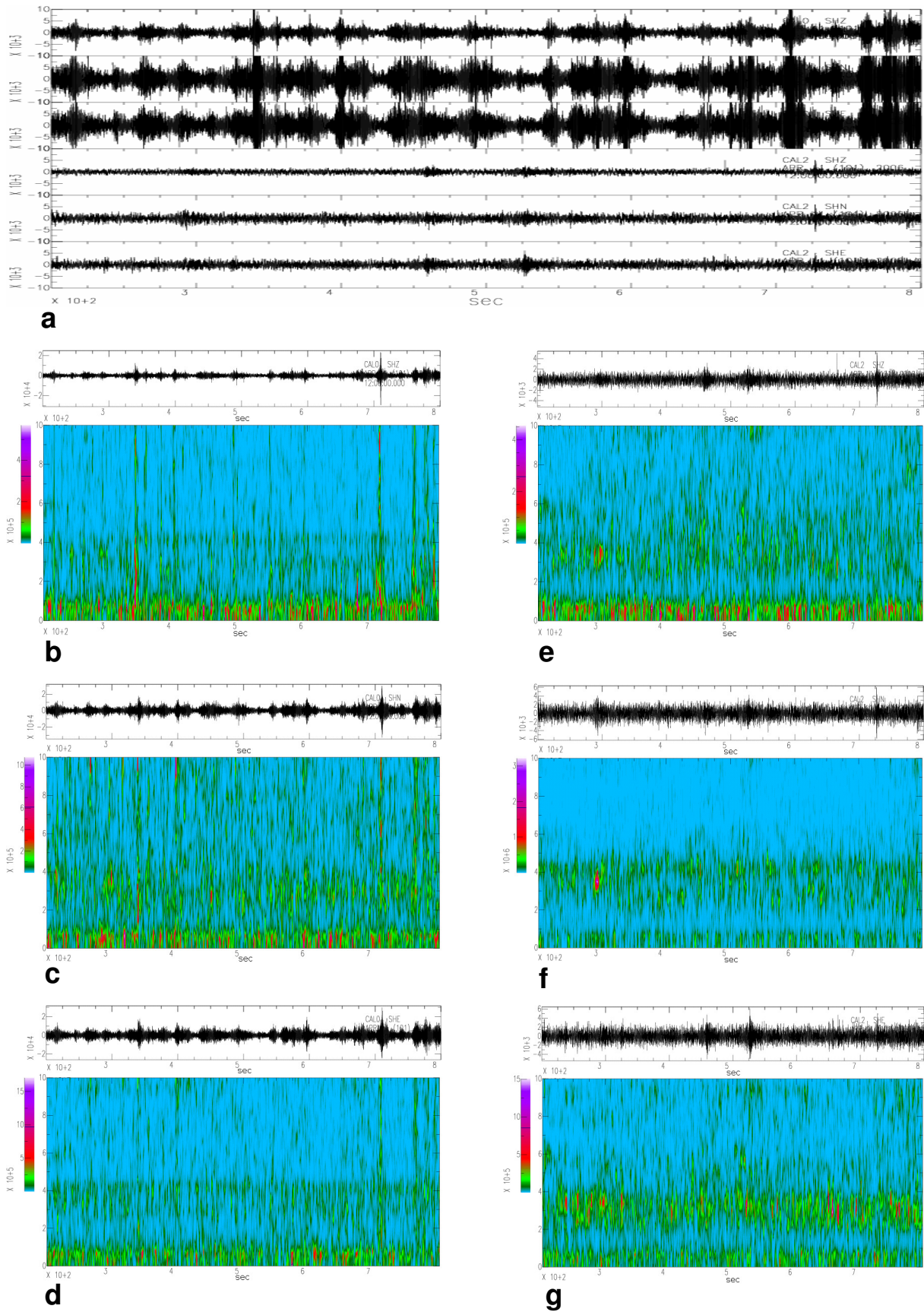
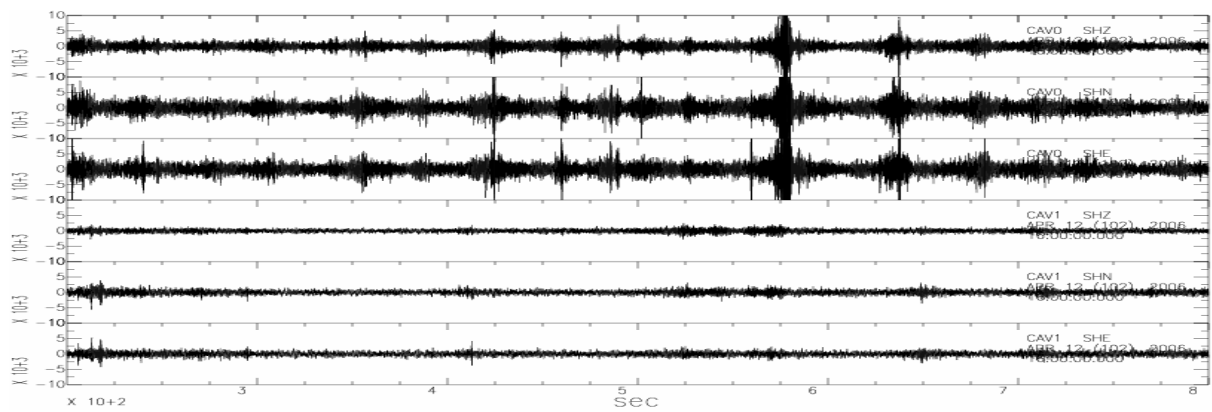
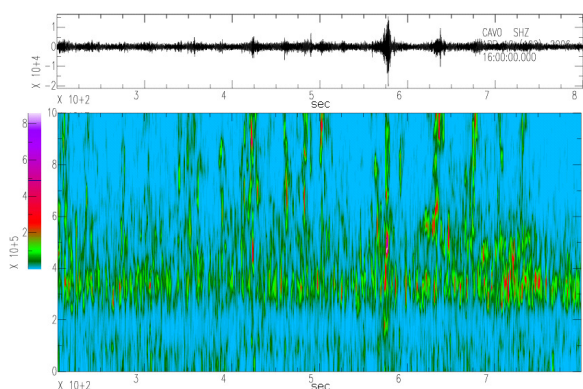


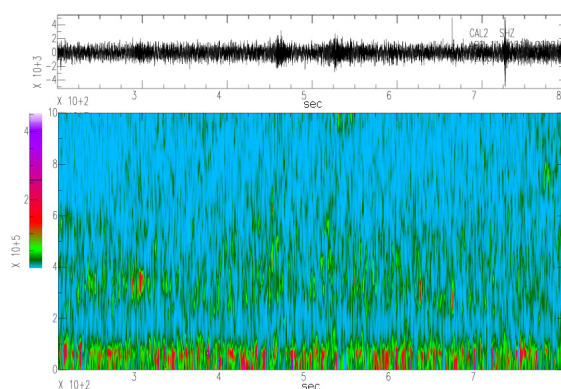
Figura 5. Ca' Lita: (a) Rumore sismico registrato sulle tre componenti (Verticale, N-S ed E-O) delle stazioni cal0 (riferimento) e cal2 (Pozzi - Array) il giorno 11/04/2006; Tracce sismiche e spettrogrammi per cal0 (b) componente verticale, (c) N-S ed (d) E-O; Tracce sismiche e spettrogrammi per cal2 (e) componente verticale, (f) N-S ed (g) E-O.



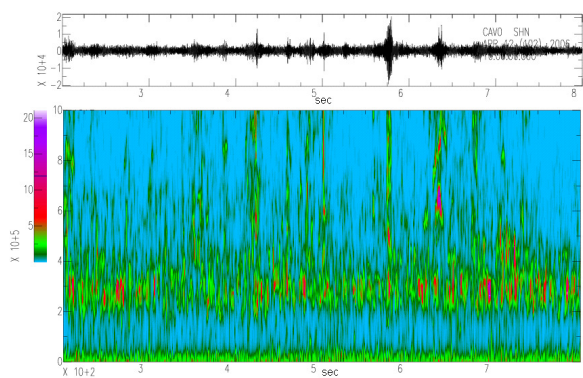
a



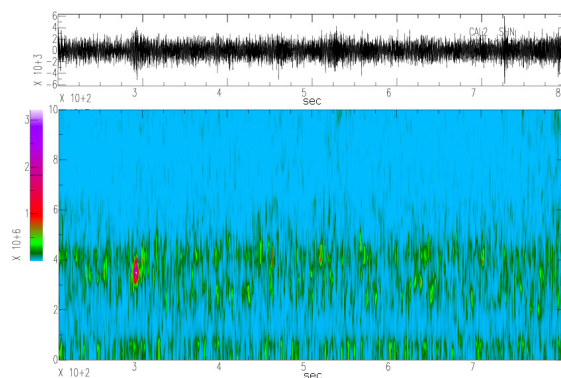
b



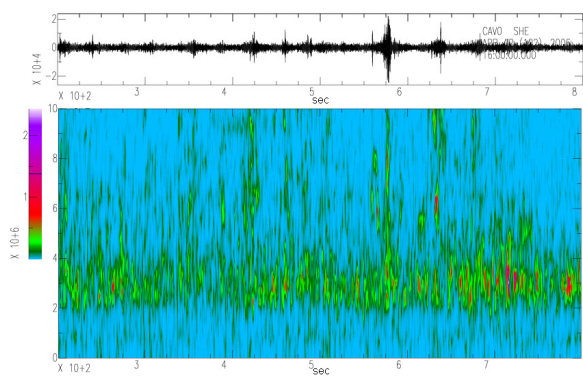
e



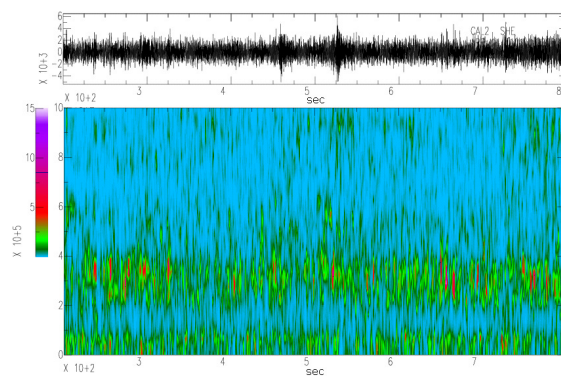
c



f

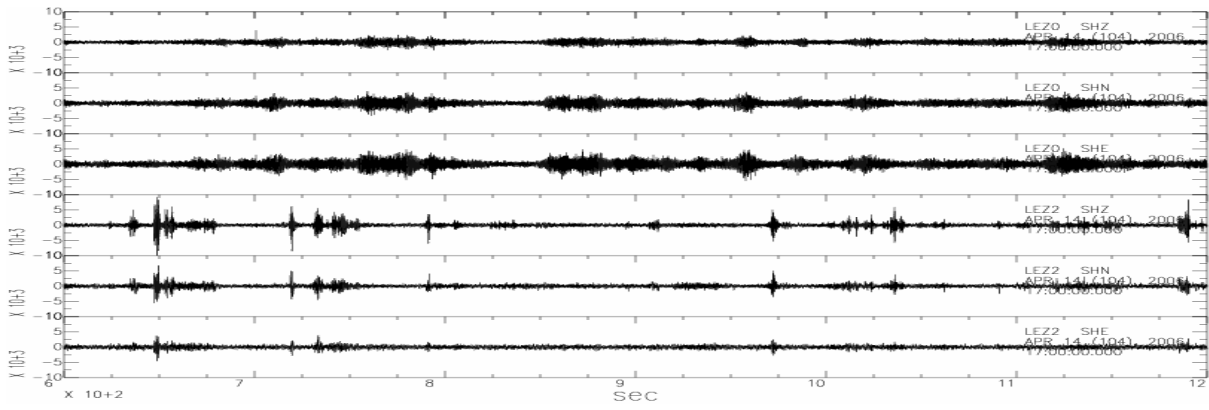


d

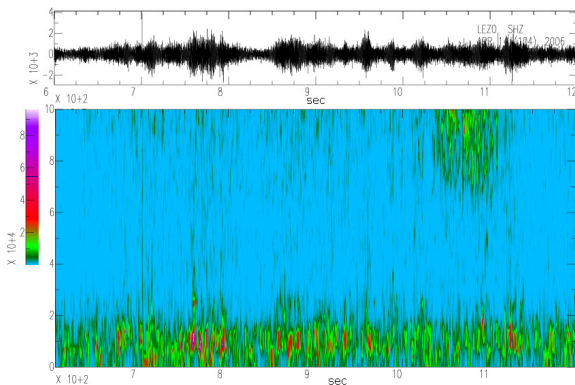


g

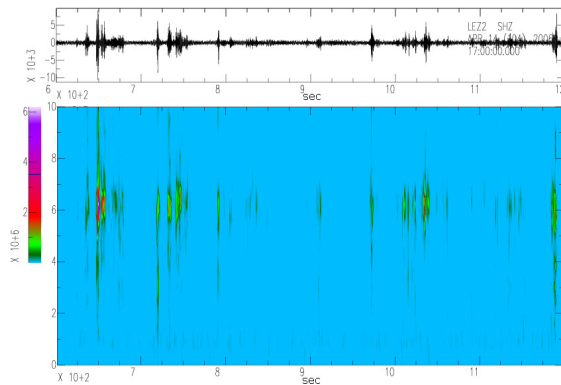
Figura 6. Cavola : (a) Rumore sismico registrato sulle tre componenti (Verticale, N-S ed E-O) delle stazioni cav0 (Flysch - riferimento) e cav1 (Array) il girono 12/04/2006; Tracce sismiche e spettrogrammi per cav0 (b) componente verticale, (c) N-S ed (d) E-O; Tracce sismiche e spettrogrammi per cav1 (e) componente verticale, (f) N-S ed (g) E-O.



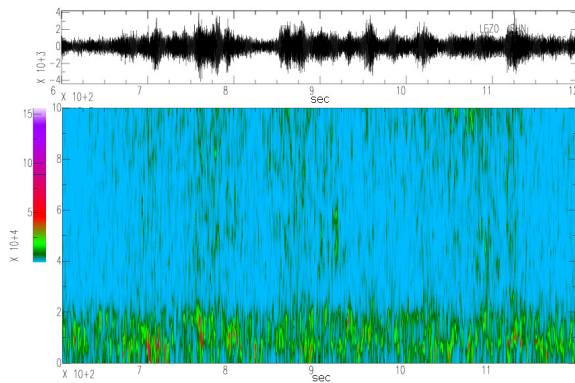
a



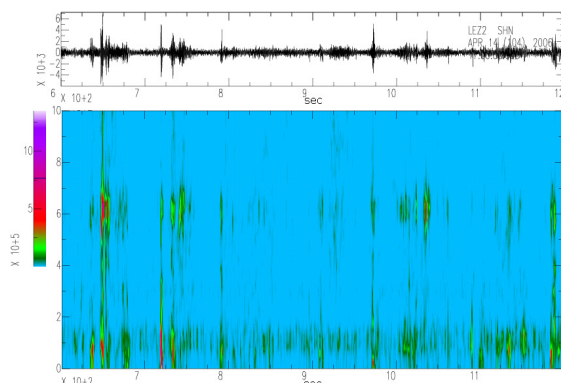
b



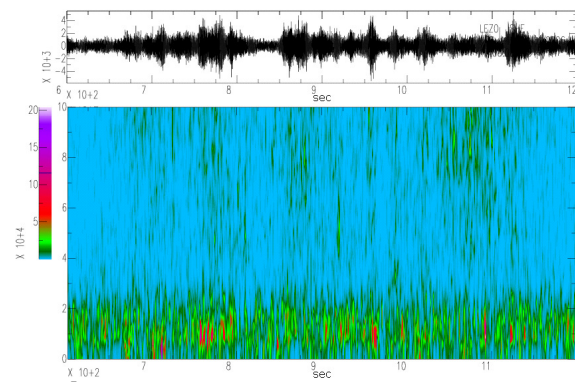
e



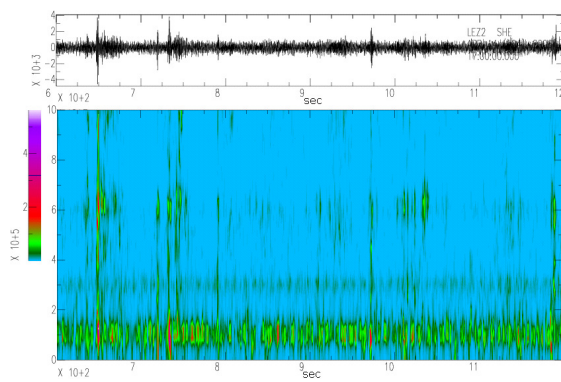
c



f



d



g

Figura 7. La Lezza Nuova : (a) Rumore sismico registrato sulle tre componenti (Verticale, N-S ed E-O) delle stazioni lez0 (Flysch - riferimento) e lez2 (Array) il giorno 14/04/2006; Tracce sismiche e spettrogrammi per lez0 (b) componente verticale, (c) N-S ed (d) E-O; Tracce sismiche e spettrogrammi per lez2 (e) componente verticale, (f) N-S ed (g) E-O.

Conclusioni

In questo rapporto è stato illustrato lo svolgimento dell'esperimento effettuato nell'aprile 2006 su tre frane tipiche (Ca' Lita, Cavola e La Lezza Nuova) dell'Appennino Settentrionale, al confine tra le province di Modena e Reggio Emilia. Sono state eseguite delle misure di rumore di fondo sia puntuali, in siti rappresentativi delle litologie locali, che in configurazione di array. Sui dati relativi ai siti campione s'intende effettuare la stima dell'effetto di sito, mentre con le misure di array si vuole valutare un modello di velocità locale per ogni frana. Dall'analisi preliminare (spettrogrammi) emerge la necessità di approfondire la conoscenza del campo d'onda prima di applicare le tecniche di analisi (Metodo di Nakamura e dei Rapporti Spettrali con Sito di Riferimento per i siti singoli; SPAC e MSPAC per i modelli di velocità). Questo approfondimento sembra essere particolarmente critico nel caso della frana de La Lezza, poiché la presenza di disturbi ad alta frequenza potrebbe mascherare le caratteristiche reali del rumore di fondo. Tali disturbi, essendo presenti su tutte e tre le componenti, sono di probabile natura artificiale.

Ringraziamenti

L'esperimento è stato finanziato parzialmente con fondi FIRB 2.12.11.9 (*Campo d'onda associato al vulcanismo attivo*, responsabile prof. E. Del Pezzo). Si ringrazia il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Modena e Reggio Emilia per aver messo a disposizione i propri mezzi.

Bibliografia

- Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bull. Earthq. Res. Inst.* **35**, 415-456.
- Bard, P.-Y. (1999). Microtremor measurements: a tool for site effect estimation?, State-of-the-art paper, 2nd International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Yokohama, Balkema, **3**, 1251--1279.
- Bettig, B., P.-Y. Bard, F. Scherbaum, J. Riepl, F. Cotton, C. Cornou and D. Hatzfeld (2001). Analysis of dense array noise measurements using the modified spatial auto-correlation method (SPAC). Application to the Grenoble area. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, **42**, 281-304.
- Borcherdt, R.D. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bull. Seis. Soc. Am.*, **60**, 29-61.
- Caliro, S., G. Chiadini, D. Galluzzo, D. Granirei, M. La Rocca, G. Saccorotti and G. Ventura (2005). Recent activity of Nisyros volcano (Greece) inferred from structural, geochemical and seismological data. *Bull. Volcanol.*, **67**, n. 4, 358–369, DOI: 10.1007/s00445-004-0381-7.

- Castaldini, D., R. Genevois, M. Panizza, A. Puccinelli, M. Berti and A. Simoni (1998). An integrated approach for analysing earthquake-induced surface effects: a case study from the Northern Apennines, *Italy. J. Geodynamics*, vol. **26** (2-4), 413-441, Great Britain.
- Celico P. (1986). *Prospezioni Idrogeologiche*, Vol. I. Liguore Editore, 736 pp.
- Cotecchia, V. (1986). Ground deformations and slope instability produced by the earthquake of 23 November 1980 in Campania and Basilicata. *Geol. Appl. Idrogeol.*, **21** (5), 31– 100.
- Group of Scientific Experts (1995). GSETT-3 Documentation, Conference Room Paper/243, Conference on Disarmament, United Nations, Geneva, Switzerland.
- Herrmann R. B. (1973). Some aspects of band-pass filtering of surface waves. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **63**: 663-671.
- Kramer, L. S. (1995). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice Hall.
- Louie J. N. (2001). Faster, better: Shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **91**, 347-364.
- Nakamura Y. (1989). A method for dynamic characteristics. Estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Q. Rept. Railway Tech. Res. Inst.*, **30**, 25-33.