

Rapporti tecnici

INGV

**Acquisizione di noise sismico
ambientale nell'area denominata
Boschetto Playa (Catania)**

331



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Direttore Responsabile

Stefano GRESTA

Editorial Board

Luigi CUCCI - Editor in Chief (INGV - RM1)

Raffaele AZZARO (INGV-CT)

Mario CASTELLANO (INGV-NA)

Viviana CASTELLI (INGV-BO)

Rosa Anna CORSARO (INGV-CT)

Mauro DI VITO (INGV-NA)

Marcello LIOTTA (INGV-PA)

Mario MATTIA (INGV-CT)

Milena MORETTI (INGV-CNT)

Nicola PAGLIUCA (INGV-RM1)

Umberto SCIACCA (INGV-RM2)

Alessandro SETTIMI (INGV-RM2)

Salvatore STRAMONDO (INGV-CNT)

Andrea TERTULLIANI (INGV-RM1)

Aldo WINKLER (INGV-RM2)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - Referente

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860068

redazionecen@ingv.it

in collaborazione con:

Barbara Angioni (RM1)



Rapporti tecnici

INGV

ACQUISIZIONE DI NOISE SISMICO AMBIENTALE NELL'AREA DENOMINATA BOSCHETTO PLAYA (CATANIA)

Mario Paratore, Luciano Zuccarello, Giuseppina Tusa

INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania - Osservatorio Etneo)

331

Indice

Introduzione	7
1. Inquadramento geologico dell'area urbana di Catania	7
2. Campagna di acquisizione del 2007	8
3. Campagna di acquisizione del 2014	9
4. Stima dei rapporti spettrali H/V	10
4.1 Metodologia di analisi dei dati	10
4.2 Qualità delle misure di rumore sismico: validazione delle ipotesi di base per la stima dei rapporti H/V	11
4.3 Elaborazione dei dati di <i>noise</i> : campagna acquisizione del 2007	11
4.4 Elaborazione dei dati di <i>noise</i> : campagna di acquisizione del 2014	14
5. Analisi di polarizzazione	15
6. Considerazioni complessive sui risultati ottenuti	17
Bibliografia	17

Introduzione

Lo studio degli effetti di amplificazione sismica locale rappresenta uno strumento fondamentale sia per una corretta pianificazione urbanistica e territoriale, sia per la definizione degli interventi ingegneristici di prevenzione. Attraverso esso è possibile valutare la pericolosità sismica dei siti prima del verificarsi di eventi sismici, non solo ai fini della progettazione antisismica ma anche della mitigazione del rischio. Negli ultimi anni sono state sviluppate tecniche di investigazione geofisica speditive e di basso costo, basate sull'analisi del rumore sismico ambientale. Inoltre, alcuni progetti europei (ad esempio SESAME European Project 2005) hanno cercato di fornire chiare indicazioni sull'utilizzo di queste tecnologie.

Il principale obiettivo delle analisi di microzonazione sismica di primo e secondo livello [Gruppo di lavoro MS, 2008], è quello di identificare eventuali frequenze fondamentali di risonanza dei siti investigati. Le misure possono essere effettuate mediante tecnica a stazione singola [Bard et al., 1999], meglio conosciuta come “metodo H/V o di Nakamura” [Nakamura, 1989]. Tale tecnica utilizza il rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e la componente verticale del segnale sismico acquisito, per individuare la frequenza di risonanza del sito, e, utilizzando la legge del quarto d'onda, la profondità a cui si incontra un significativo contrasto d'impedenza sismica [Ibs-Von Seht and Wohlenberg, 1999].

In tale studio vengono riportati e discussi i risultati ottenuti dall'elaborazione di nuovi dati di *noise* ambientale acquisiti nel 2014 presso la località Boschetto Playa, a sud della città di Catania. Tale area è stata una delle tre sedi oggetto di una precedente campagna condotta nel 2007, che coinvolse l'area urbana della città di Catania, i cui risultati sono descritti in Condorelli et al. [2009] (vedi Rapporti Tecnici INGV n. 110). In particolare nel 2007, utilizzando la medesima strumentazione adottata nel presente studio, gli autori hanno acquisito misure di *noise* sia in due siti ubicati all'interno dell'area urbana di Catania e sia proprio presso il Boschetto Playa. Confrontando i risultati ottenuti per i tre siti investigati, Condorelli et al. [2009] evidenziano la presenza di un picco predominante a 3Hz, che caratterizza fundamentalmente il sito di Boschetto Playa. Gli stessi autori sottolineano come tale risultato desti un certo interesse, e spinge ad investigare ulteriormente sulla natura dei picchi osservati. Partendo proprio da questo risultato abbiamo focalizzato la nostra attenzione sull'area del Boschetto Playa ai fini di stabilire con maggiore dettaglio l'origine dei picchi in frequenza in essa osservati. Per questo, all'analisi dei rapporti HVSR è stata affiancata anche una puntuale analisi di polarizzazione del segnale acquisito [Jurkevics, 1988] utile per individuare eventuali sorgenti direzionali di *noise*. Inoltre, l'analisi dei dati ai fini della determinazione delle funzioni del rapporto $H(f)/V(f)$, è stata eseguita applicando una procedura differente da quella utilizzata da Condorelli et al. [2009]. Questo rappresenta un aspetto importante ai fini dei risultati che ne scaturiscono, poiché il trattamento dei dati (ad esempio il filtraggio delle tracce, il calcolo della media delle componenti del moto del suolo, etc.) condiziona fortemente la funzione $H(f)/V(f)$ ottenuta. Siamo così riusciti a risalire alla reale natura del picco a 3 Hz che caratterizza l'area sotto esame.

1. Inquadramento geologico dell'area urbana di Catania

Nell'area del Comune di Catania affiorano i termini più recenti dei depositi appartenenti al dominio di Avana, corrispondenti a un intervallo temporale che si estende dal Miocene al Quaternario, localmente ricoperti da depositi recenti e attuali, sia marini che continentali [CNR – GNDT Progetto Catania, 1996]. Nella porzione settentrionale del territorio comunale affiorano prevalentemente i prodotti effusivi etnei, rappresentati da alternanze irregolari ed eterogenee di lave massive e livelli scoriacei, ossidati e di colore rossastro se a contatto con paleosuoli, di composizione variabile da mugeariti basiche a hawaiiiti [Monaco et al., 2000]. Più a Sud, nella zona denominata Colline delle Terreforti, affiora una serie sedimentaria di età Pleistocenica (serie sud-etnea). Questa è formata da depositi di ambiente di transizione costituiti da orizzonti di argilla verdastra e gialla intercalata a straterelli e strati di sabbia fine gialla quarzosa, con rari orizzonti di arenarie a cemento carbonatico; sono inoltre presenti intercalazioni di materiale piroclastico. Lo spessore totale massimo di questo orizzonte è dell'ordine dei 50 m. Alla base della serie vi sono argille debolmente marnose di colore grigio-azzurre, in cui si alternano, soprattutto nella porzione più elevata, sottili strati sabbioso-limosi a contenuto quarzoso. Queste argille si ritrovano in affioramento solamente nelle valli e nelle gole più profonde, dove lo spessore è variabile tra i 10 m e i 110 m; la potenza massima della serie è di alcune centinaia di metri, come rilevato dalle perforazioni profonde effettuate nell'area della piana di Catania [CNR – GNDT Progetto Catania, 1996].

A Sud delle Colline delle Terreforti si estende la Piana di Catania, una pianura caratterizzata da depositi alluvionali recenti ed attuali che passano gradualmente a depositi costieri organizzati in un vero e proprio duneto, probabilmente impostatosi a partire dall'Olocene [Giovannini et al., 1960]. Al di sotto di queste alluvioni recenti e attuali, si evidenzia la presenza di argille grigio-azzurre sicuramente correlabili con le unità sopra descritte.

In Figura 1 viene evidenziata l'ubicazione del sito di misura (Boschetto Playa) su una mappa indicante i limiti delle principali unità litotecniche affioranti nel territorio comunale della città di Catania.

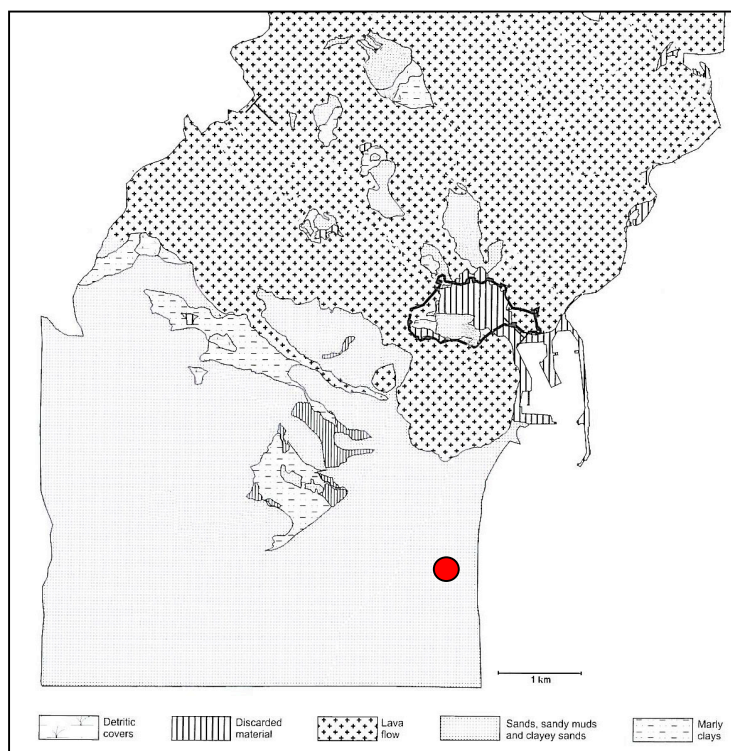


Figura 1. Carta geologica dell'area urbana di Catania [Gresta et al., 2001]. Il pallino rosso indica l'ubicazione del sito di misura.

L'area denominata Boschetto Playa è caratterizzata dall'affioramento di depositi di spiaggia, costituiti da sabbie marine di deposizione recente. Si tratta di sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate, con presenza di lenti di tufi e tufiti, passanti verso il basso alla potente formazione argillosa del Quaternario. Lo spessore complessivo della formazione sabbiosa è stimabile, da sondaggi limitrofi, superiore ai 20 metri. Il livello di falda è superficiale, coincidente all'incirca con il livello medio del mare.

2. Campagna di acquisizione del 2007

Una prima campagna di acquisizione di *noise* sismico presso il Boschetto Playa, è stata eseguita nella notte fra 29/10/2007 e il 30/10/2007. La strumentazione utilizzata durante tale campagna era costituita da stazioni mobili *Nanometrics Taurus*, dotate di un ricevitore GPS e di un clock di sistema, collegate a sensori a larga banda *Lennartz LE-3D 20s* a tre componenti. Le registrazioni furono effettuate in modalità *stand-alone*, archiviando i dati su Compact Flash, e fu impostata una frequenza di campionamento pari a 100 campioni al secondo [Condarelli et al., 2009; Zuccarello et al., 2011]. In particolare, nel sito di indagine furono installate quattro stazioni ad una distanza massima l'una dall'altra di 50 m (Figura 2), allo scopo di ottenere misure di H/V in punti vicini da utilizzare per valutare l'effettiva ripetibilità delle misure [Condarelli et al., 2008]. Tutti i sensori sismici furono installati direttamente sul terreno. In Tabella 1 viene riportata una sintesi delle caratteristiche strumentali e delle modalità di installazione delle predette stazioni di misura.

Acquisitore - Serial Number	Nanometrics Taurus - 629, 630, 633, 967
Data installazione	29/10/2007
Sensore	Lennartz LE-3D 20s
Running Mode	Buffered
Input Range (Vpp)	16
Sampling (Hz)	100
Gain	1
Digitizer Resolution (bit)	24
Modalità installazione	Poggiato su terreno – non interrato
Tempo di acquisizione (min)	120

Tabella 1. Caratteristiche strumentali e modalità di installazione campagna indagini 2007.



Figura 2. Dettaglio dell'area del Boschetto Playa con la collocazione (pallini rossi) dei punti di acquisizione durante la campagna dell'ottobre 2007 [Rapporti Tecnici INGV N. 110, 2009].

3. Campagna di acquisizione del 2014

Nel 2014, precisamente il 17/03/2014, è stata eseguita una nuova acquisizione presso la località Boschetto Playa (Catania), installando due stazioni sismiche, appartenenti alla rete sismica mobile dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Osservatorio Etneo, sezione di Catania (stazioni mobili *Nanometrics Taurus* [<http://www.lennartz-electronic.de>], collegate a sensori a larga banda *Lennartz LE-3D 20sec* a tre componenti [<http://www.nanometrics.ca>]). Le stazioni sono state installate approssimativamente nello stesso sito in cui erano ubicate le stazioni relative alle registrazioni avvenute nel 2007, e precisamente in corrispondenza della stazione di misura n. 630 (Figura 2). A differenza delle acquisizioni relative alla campagna d'indagini del 2007, in cui tutte le registrazioni vennero fatte in ore notturne, le registrazioni di Marzo 2014 sono state eseguite nelle ore diurne, mantenendo comunque una frequenza di campionamento di 100 Hz. Come mostrato in tabella 2, si è scelto di mantenere le stesse caratteristiche strumentali e modalità di installazione della precedente campagna indagini.

Acquisitore – Serial Number	Nanometrics Taurus - 630, 633
Data installazione	17/03/2014
Sensore	Lennartz LE-3D 20s
Running Mode	Buffered
Input Range (Vpp)	16
Sampling (Hz)	100
Gain	1
Digitizer Resolution (bit)	24
Modalità installazione	Poggiato su terreno – non interrato
Tempo di acquisizione (min)	100

Tabella 2. Caratteristiche strumentali e modalità di installazione campagna indagini 2014.



Figura 3. Stazioni sismiche in fase di acquisizione.

4. Stima dei rapporti spettrali H/V

4.1 Metodologia di analisi dei dati

In una prima fase (*pre-processing*), sono state individuate ed eliminate le finestre temporali del segnale sismico contenenti transienti o *spike* dovuti a rumori accidentali di varia natura, attraverso algoritmi appositamente creati in ambiente Matlab[®]. Per ottenere il rapporto spettrale delle componenti orizzontali sulla componente verticale del rumore ambientale secondo la metodologia HVSR, per ogni misura di *noise* si è proceduto, utilizzando il software di analisi dati Geopsy, nel seguente modo:

1. registrazione del segnale ambientale nelle 3 componenti del moto del suolo in finestre temporali orarie;
2. scomposizione del segnale in finestre temporali (25 s) con l'obiettivo di isolare le parti della registrazione in cui il segnale risulta maggiormente stazionario ed eliminare i rumori transitori, o transienti;

3. calcolo dello spettro di ampiezza di tutte le componenti attraverso la trasformata veloce di Fourier (FFT) per ognuna delle finestre selezionate e *smoothing* con la funzione di Konno-Ohmachi [Konno & Ohmachi, 1998];
4. calcolo della media delle due componenti orizzontali per ognuna delle finestre selezionate;
5. calcolo del rapporto H/V per ogni finestra;
6. calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre.

In Condarelli et al. [2009] i segnali transienti venivano eliminati attraverso l'utilizzo del quinto e decimo percentile dell'ampiezza spettrale di ciascuna componente del moto, e confrontando tali valori con il valore medio. Invece, nelle analisi da noi eseguite, i rumori transienti sono stati scartati visivamente durante la scomposizione del segnale in finestre temporali, prima della trasformazione del segnale in frequenza. È stato, inoltre introdotto uno *smoothing* delle ampiezze spettrali con la funzione di tipo Konno-Ohmachi (coefficiente larghezza di banda $b=40$).

Da evidenziare come durante le analisi dei dati acquisiti, non è stata riscontrata in nessuno dei segnali analizzati la presenza di eventi sismici.

4.2 Qualità delle misure di rumore sismico: validazione delle ipotesi di base per la stima dei rapporti H/V

La corretta interpretazione dei massimi della funzione H/V, in termini di risonanza degli strati superficiali, si basa su alcune assunzioni: (i) noise sismico generato da sorgenti casualmente distribuite e lontane dai punti di acquisizione; (ii) stazionarietà temporale dei segnali sismici; (iii) picchi delle funzioni H/V deducibili dal rumore sismico ambientale, e non da interferenze spurie legate a rumori di origine antropica o ad errori strumentali [Gruppo di lavoro MS, 2008].

Allo scopo di verificare la validità della prima assunzione, è stato verificato il carattere stocastico delle sorgenti sismiche mediante il confronto delle ampiezze spettrali medie del rumore acquisito alle due componenti orizzontali. Per verificare la presenza di variazioni temporali e azimutali del campo d'onda (rispettivamente seconda e terza assunzione di base), sono stati considerati i diagrammi di stazionarietà relativi agli spettri di ogni singola componente e di direzionalità del rapporto H/V. I primi rappresentano le variazioni di ampiezza spettrale in funzione del tempo, come mostrato nell'esempio di Figura 4, mentre i secondi consistono nella proiezione della funzione H/V nelle diverse direzioni azimutali comprese tra 0° e 180° (con passo costante di 5°). Infine, dal confronto delle ampiezze spettrali medie di tutte e tre le componenti, è stata stimata la presenza di sorgenti di rumore non associabile a *noise* ambientale. Queste, infatti, vengono evidenziate da picchi di ampiezza similmente presenti in tutte le componenti come, ad esempio, verrà mostrato in Figura 6.

4.3 Elaborazione dei dati di *noise*: campagna acquisizione del 2007

L'area oggetto di indagine è ubicata al di fuori del centro abitato, ad una distanza di circa 300 metri dalle più importanti vie di comunicazione. Le registrazioni risultano pertanto meno soggette a rumori direzionali e transitori di origine antropica. Le analisi condotte mostrano un comportamento analogo per ciascuna delle quattro stazioni. Noi qui mostreremo i risultati ottenuti alla stazione posta sul punto di acquisizione 630, che riteniamo essere la più significativa.

I segnali sismici delle tre componenti del moto del suolo, relativi a complessivi 60 minuti di registrazione, sottoposti alla fase di *pre-processing*, e i relativi spettrogrammi, mostrano l'assenza di considerevoli variazioni di ampiezza (Figura 4), ad eccezione di alcuni picchi isolati, identificando un campo d'onda costante nel tempo.

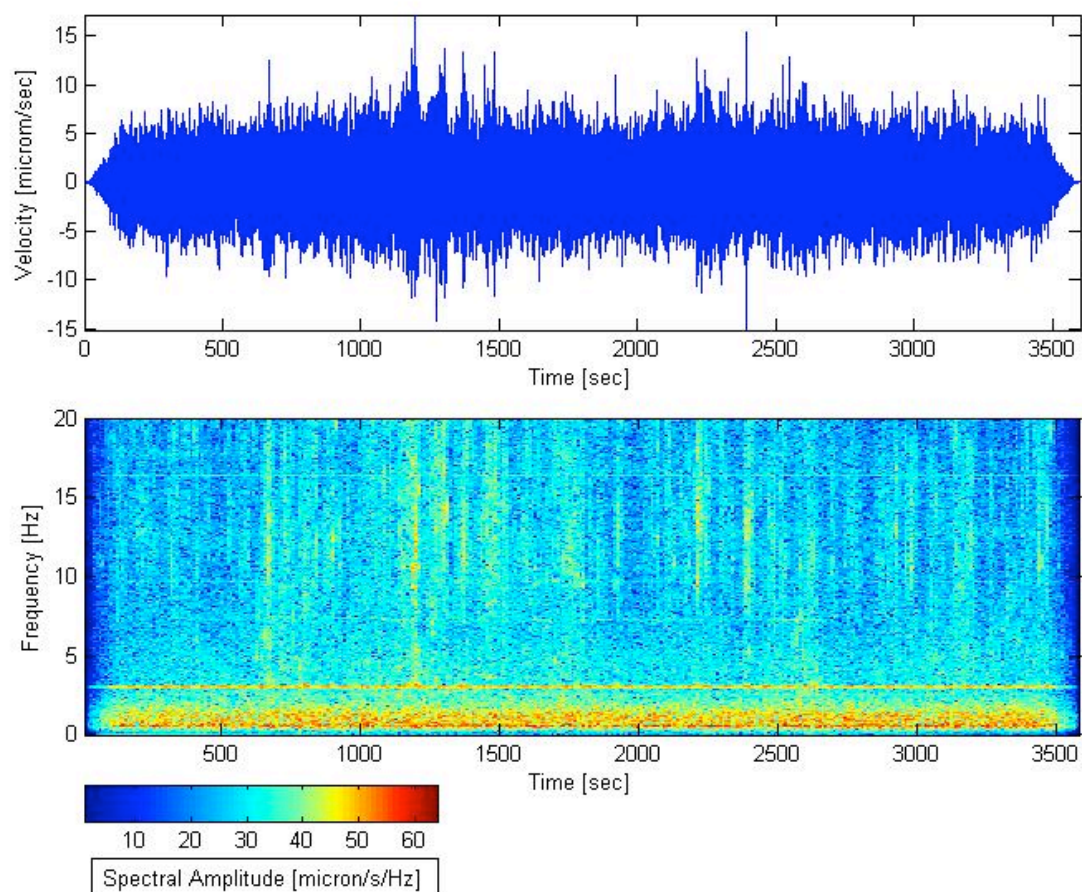


Figura 4. Segnale sismico dopo il *pre-processing* (in alto) e spettrogramma relativo alla componente *z* (in basso) acquisito alla stazione 630.

In Figura 5 sono riportati gli spettri d'ampiezza minimo, medio e massimo relativi alla componente verticale (*z*) calcolati per le registrazioni della stazione 630.

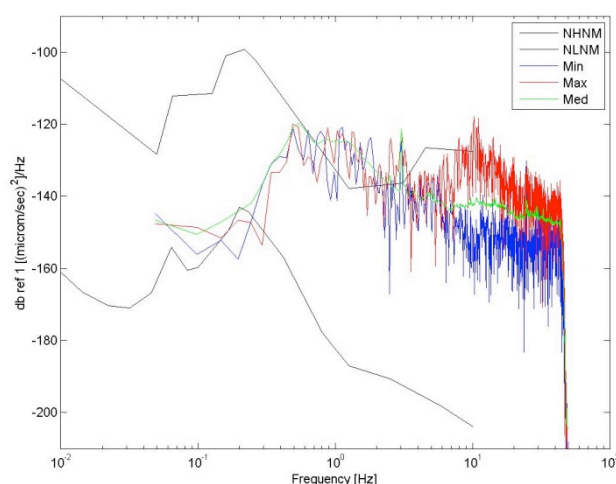


Figura 5. Spettri in frequenza (componente verticale) del segnale registrato alla stazione 630.

La presenza di un massimo spettrale molto ben definito posto a 3 Hz e presente su tutte e tre le componenti del segnale, evidenzia un importante effetto di disturbo associato ad una sorgente di rumore

direzionale. Questa caratteristica è messa bene in evidenza in Figura 6 dove sono mostrate le ampiezze spettrali medie delle componenti orizzontali e della componente verticale, e i loro relativi rapporti. In situazioni di questo tipo, la banda di frequenza interessata dalla sorgente di disturbo “anomala” non va considerata nella fase di interpretazione del segnale [Gruppo di lavoro MS, 2008]. La direzionalità di tali interferenze spurie saranno oggetto di maggiore approfondimento nel corso del presente studio mediante analisi di polarizzazione nel *range* di frequenze interessato.

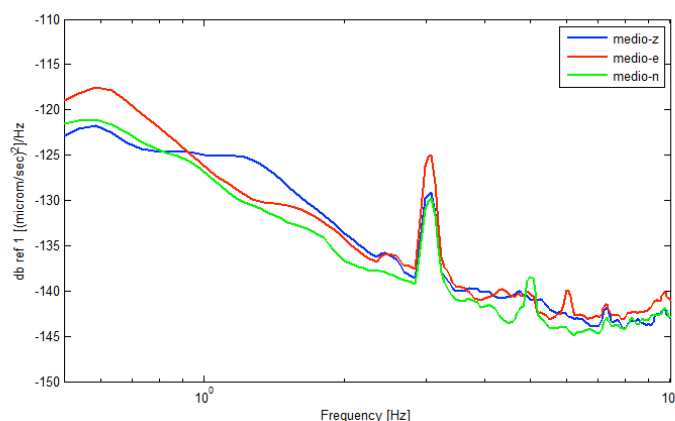


Figura 6. Confronto degli spettri medi per le tre componenti del moto del suolo (verticale, z, est-ovest, e, nord-sud, n) alla stazione posta nel punto di acquisizione 630.

Dall’analisi dei singoli spettri, non si osservano massimi significativi delle componenti orizzontali, associati a valori di ampiezza spettrale minima sulla componente verticale. Tale comportamento determina assenza di picchi rilevanti nella funzione H/V per la banda di frequenza considerata.

In Figura 7a viene ancora evidenziata la presenza di un picco della funzione H/V alla frequenza di 3 Hz al punto di acquisizione 630, che per le sue caratteristiche potrebbe essere erroneamente interpretata come frequenza fondamentale di risonanza del terreno. In realtà, tale picco deriva dal rapporto di massimi spettrali presenti su tutte le componenti del segnale, e pertanto associabile, come già descritto, ad un disturbo che sarà oggetto di approfondimento nel paragrafo 5. Il diagramma di direzionalità rappresentato in Figura 7b, mostra inoltre un comportamento fortemente polarizzato della sorgente del segnale lungo la direttrice ENE-WSW, sempre alla frequenza di 3 Hz.

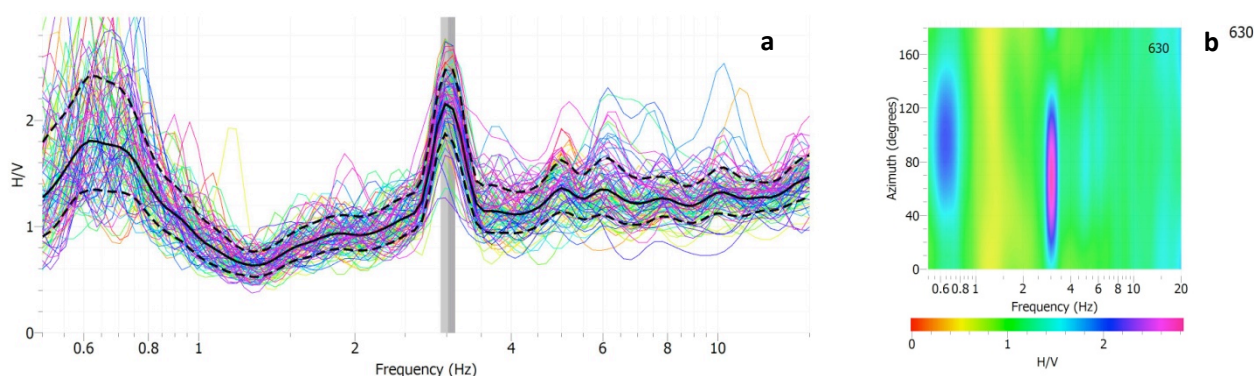


Figura 7. (a) Funzioni H/V e **(b)** diagramma di direzionalità per la stazione posta nel punto di acquisizione 630. La curva nera continua rappresenta i valori medi del rapporto spettrale, mentre le curve nere tratteggiate delimitano l’intervallo di confidenza pari al 95%. Le curve colorate identificano i rapporti relativi alle singole finestre di analisi di durata pari a 25s.

4.4 Elaborazione dei dati di *noise*: campagna di acquisizione del 2014

I segnali sismici delle tre componenti del moto del suolo, registrati durante questa nuova campagna di acquisizione, sono stati analizzati con la medesima procedura di rielaborazione dei dati relativi alla campagna del 2007, come descritto nel paragrafo 4.1. In Figura 8 sono riportati gli spettri d'ampiezza medi che sono stati calcolati per la componente verticale, e le due componenti orizzontali del rumore sismico ambientale acquisito. Seguendo quindi la metodologia HVSR, sono stati calcolati i rapporti spettrali medi delle due componenti orizzontali del moto del suolo sulla componente verticale dello stesso. La curva H/V ottenuta, è mostrata in Figura 9a insieme alle variazioni di ampiezza delle curve H/V calcolate ruotando le componenti orizzontali del rumore per valori di azimuth compresi tra 0° e 180° (Figura 9b).

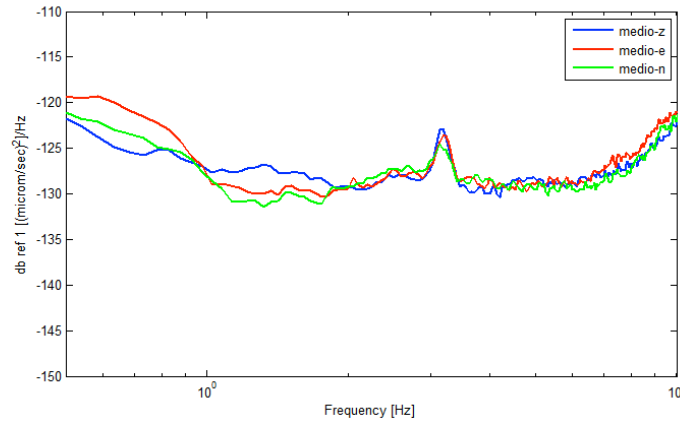


Figura 8. Spettri medi del noise relativi alle tre componenti del moto del suolo.

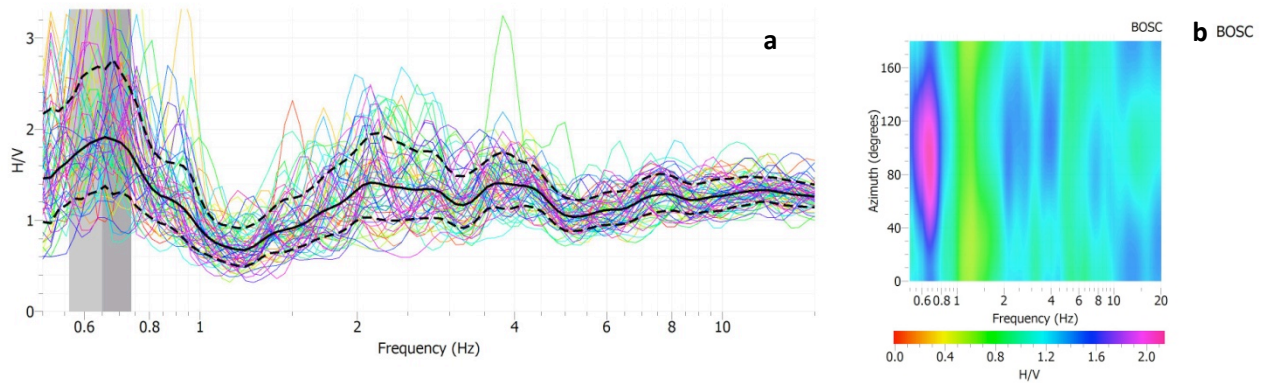


Figura 9. (a) Funzioni H/V e **(b)** diagramma di direzionalità. La curva continua rappresenta i valori medi del rapporto, mentre le curve tratteggiate delimitano l'intervallo di confidenza al 95%. Le curve colorate rappresentano i valori del rapporto relativi alle singole finestre di analisi.

Osservando gli spettri medi delle due componenti orizzontali del moto del suolo mostrati in Figura 8, è possibile notare che non si evidenziano massimi di ampiezza significativi associati a valori di ampiezza spettrale minima della componente verticale. Tale evidenza si traduce nell'assenza di picchi ritenuti qualitativamente valutabili della funzione H/V (ossia rapporto maggiore di 2) nella banda di frequenza considerata, e quindi nell'assenza di frequenze fondamentali di risonanza al sito indagato (Figura 9).

5. Analisi di polarizzazione

Come visto in precedenza, in ciascuna delle stazioni installate gli spettri medi evidenziano la presenza di un picco spettrale a 3 Hz, associabile ad una probabile sorgente di rumore direzionale. Per escludere la possibilità che le misure del 2007 e del 2014 potessero essere influenzate da un disturbo di origine strumentale, è stato eseguito un test di verifica presso la sede INGV di Catania. In particolare, prima di effettuare ulteriori analisi, sono state testate le stazioni (*Nanometrics Taurus*) ed i sensori (*Lennartz LE-3D 20s*) attraverso la comparazione di misure congiunte di *noise* ambientale insieme a strumentazione precedentemente testata e calibrata (*Taurus* equipaggiato con sensore *Trillium compact 120 sec.*). Le acquisizioni sono state effettuate installando i sensori su di un basamento in cemento posto nel seminterrato dell'istituto (Figura 10a), direttamente poggiante sul terreno di fondazione e svincolato dal resto della struttura. In nessun caso le analisi spettrali del segnale hanno mostrato evidenze di picchi di amplificazione a 3 Hz, escludendo così la possibilità che il disturbo, osservato durante le misure in campagna, fosse legato ad un effetto strumentale (Figura 10b).

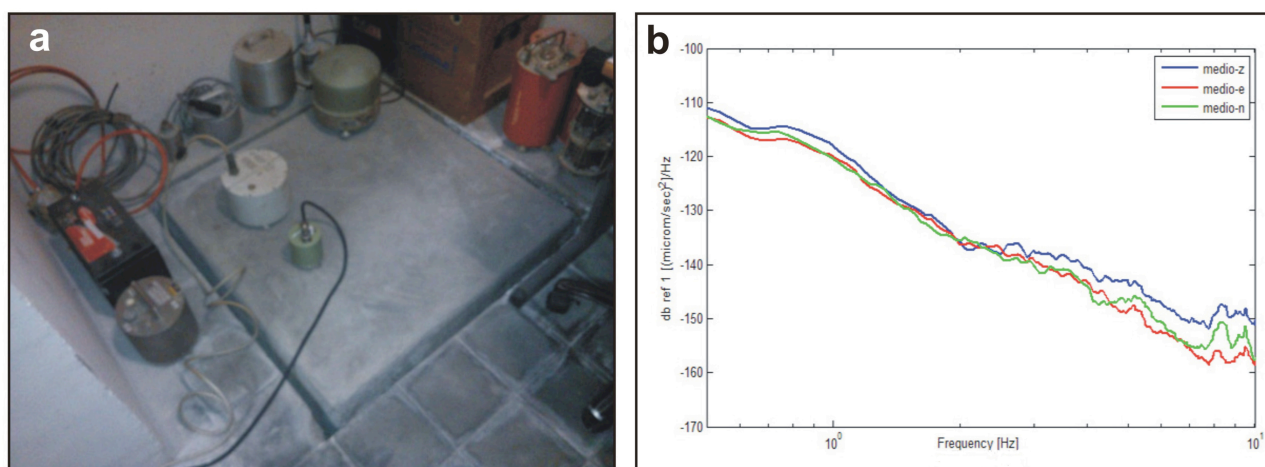


Figura 10. (a) Sensori su basamento in cemento. In bianco il velocimetro Lennartz LE 3D 20s, e in verde il velocimetro Trillium Compact 120s. (b) Componenti medie del segnale spettrale registrate al sensore Lennartz LE 3D 20s.

Una volta esclusi effetti strumentali, è stato eseguito uno studio di dettaglio per comprendere la natura del disturbo registrato alla frequenza di 3 Hz. È stata pertanto effettuata l'analisi di polarizzazione del segnale [Jurkevics, 1988] che, attraverso la scomposizione vettoriale del moto del suolo, permette di definire la presenza di sorgenti direzionali, e la loro posizione rispetto al punto di acquisizione. L'analisi è stata applicata a tutte le stazioni di misura, utilizzando finestre mobili di segnale lunghe 2 secondi, con overlap del 50% di lunghezza.

Anche in questo caso i segnali sismici sono stati trattati in fase di *pre-processing*, in maniera analoga a quanto eseguito per l'analisi delle funzioni *H/V*, al fine di ottenere in massima parte un segnale derivante da rumore sismico ambientale della durata complessiva di 60 minuti.

L'algoritmo che esegue le analisi di polarizzazione, sviluppato in ambiente Matlab[®], consente di definire i seguenti parametri del segnale:

- azimuth, angolo misurato sul piano orizzontale che il vettore di polarizzazione forma con il nord;
- incidenza, angolo misurato nel piano verticale che il vettore di polarizzazione forma con la verticale passante per la sorgente;
- rettilinearità, grado di polarizzazione lineare.

Sul segnale processato è stato effettuato un *tapering* attraverso una finestra di tipo coseno, e un filtraggio passa banda (tramite filtro *Butterworth*) con frequenze di taglio comprese fra 2 e 4 Hz.

Le componenti azimutali dei vettori di polarizzazione suggeriscono tutte una direzione preferenziale di polarizzazione media pari circa N65E. In Figura 11 vengono mostrati i diagrammi a rosa in cui vengono indicate le direzioni di polarizzazione del segnale.

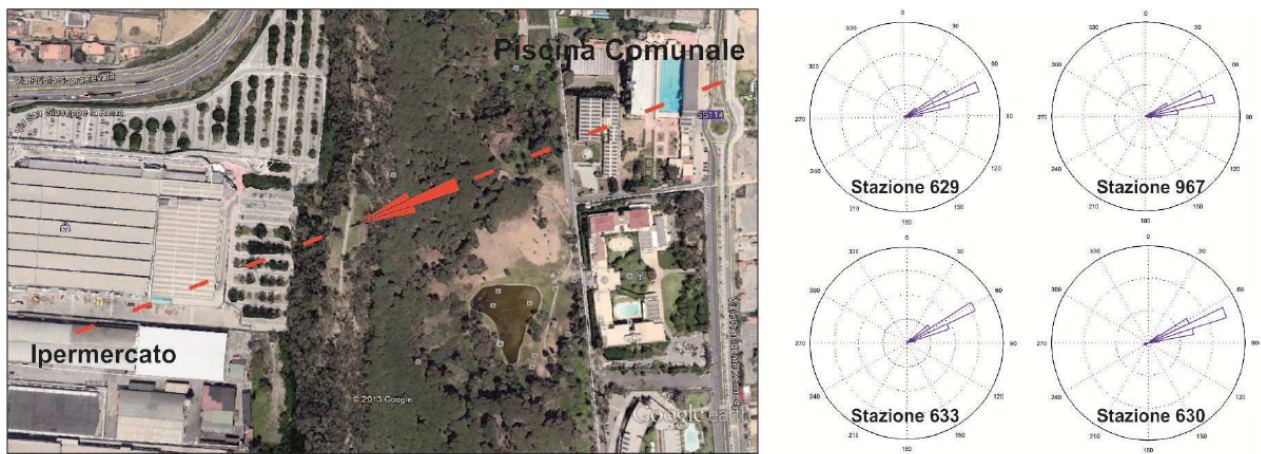


Figura 11. Direzione di polarizzazione del segnale filtrato a 3 Hz ai quattro punti di acquisizione presso il Boschetto Playa.

Come evidenziato in Figura 11, l'asse di polarizzazione interseca nelle immediate vicinanze sia una piscina comunale che un ipermercato, che possono entrambi essere considerati come potenziali aree sorgenti.

La direzione azimutale rimane costante nel tempo (Figura 12a) a tutte le stazioni e la sorgente appare superficiale come evidenziato dall'angolo di incidenza che risulta maggiore di 70° (Figura 12b).

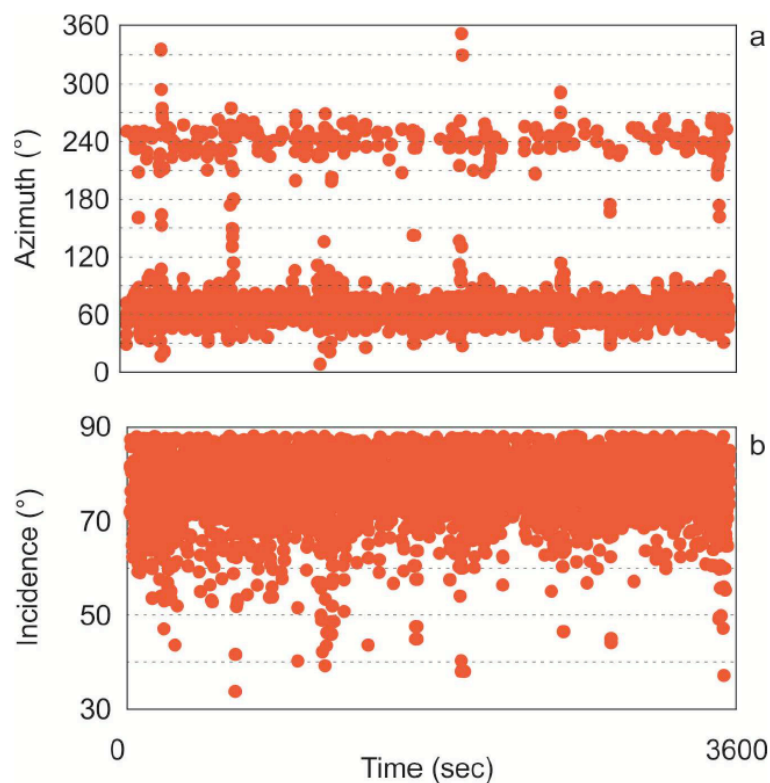


Figura 12. Esempio di variazione temporale degli angoli di azimut (a) e di incidenza (b), calcolati alla stazione 630.

6. Considerazioni complessive sui risultati ottenuti

Confrontando i rapporti spettrali ottenuti mediante la tecnica HVSR relativi alle differenti stazioni di misura, nella banda di frequenza 0.5-10 Hz, è possibile concludere che in nessun caso si evidenziano massimi di ampiezza spettrale riconducibili a frequenze di risonanza, e quindi a contrasti di impedenza. A tale risultato si giunge considerando sia le registrazioni acquisite durante la campagna indagini condotta nel 2007, sia le nuove acquisizioni di noise sismico ambientale effettuate nel 2014 in località Boschetto Playa (Catania).

L'analisi spettrale condotta sui segnali sismici registrati, evidenzia un picco massimo d'ampiezza rilevato alla frequenza di 3 Hz, analogamente a quanto ottenuto con le diverse tecniche di analisi descritte nei Rapporti Tecnici n.110 del 2009. Tuttavia, un approfondimento dell'indagine mediante analisi di qualità delle misure H/V associata ad una analisi di direzionalità, ci ha consentito di imputare tale picco di frequenza ad una importante sorgente di disturbo associabile ad attività antropica nei pressi dei siti di registrazione. La presenza di questa sorgente viene, infatti, evidenziata da un picco della funzione spettrale facilmente riconoscibile su tutte e tre le componenti spaziali del segnale. Inoltre, l'analisi di polarizzazione, eseguita nel *range* di frequenze comprese fra 2 Hz e 4 Hz (contenente pertanto la frequenza in cui sono stati rilevati i picchi anomali), ha messo in evidenza un notevole carattere direzionale dei vettori di propagazione, per i quali è inoltre possibile stabilire un preciso asse di polarizzazione ottenuto dal prolungamento della direzione azimutale e back azimutale del segnale.

Al fine di escludere la possibilità che il disturbo sia legato ad un effetto strumentale, sono stati condotti specifici test, effettuati presso la sede INGV di Catania. In particolare, è stata effettuata un'acquisizione prolungata di *noise* sismico (circa 24 ore), installando le stazioni su di un basamento in cemento posto nel seminterrato dell'istituto. Tale basamento, direttamente poggiante sul terreno di fondazione, è svincolato dal resto della struttura, in modo da eliminare ogni accoppiamento terreno-edificio. Dalle analisi così condotte non è emersa alcuna evidenza di picchi in ampiezza per la frequenza ricercata.

Sulla base dei risultati ottenuti è possibile concludere che l'utilizzo di appropriate tecniche sperimentali di analisi, opportunamente applicate, è in grado di fornire importanti e discriminanti elementi diagnostici utili ai fini di una adeguata interpretazione dei risultati. In tale studio, infatti, l'analisi spettrale congiunta all'analisi di polarizzazione del campo d'onda ha consentito di far luce sull'origine dei picchi di risonanza già evidenziati da Condorelli et al. [2009] durante la campagna di misure del 2007 presso il sito del Boschetto Playa.

Bibliografia

- Bard P.Y., Duval A., Lebrun B., Lachet C., Riepl J., Hatzfeld D., (1999). *Reliability of the H/V technique for effects measurements: an experimental assessment*. 7th International conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, July 19-24, Istanbul, Turkey.
- Condorelli D., Grasso S., Langer H., Maugeri M., Messina A., Rapisarda S., (2008). *Utilizzo delle misure di noise per la definizione dell'input sismico negli studi di risposta sismica locale*. Tesi di Dottorato in Ingegneria Geotecnica. Università di Catania.
- Condorelli D., Messina A., Rapisarda S., Langer H., (2009). *Acquisizione di noise sismico ambientale nell'area urbana di Catania*. Rapporti Tecnici INGV n. 110.
- Giovannini E., Accordi B. & Lugo P. (1960). *I terreni della Piana di Catania. La geologia del bacino del Simeto* - Tecnica Agricola, Anno XII, Vol. 3, pag. 219-244.
- Gresta S., Giampiccolo E., Mucciarelli M., De Guidi G., Gallipoli M.R., (2001). *Information on subsoil geological structure in the city of Catania (Eastern Sicily) from microtremor measurements*. Annali di Geofisica, Vol. 44, n.1.
- Gruppo di lavoro MS, (2008). *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- Ibs-Von Seht M., and Wohlenberg J., (1999). *Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments*. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 89, pp. 250-259.
- Jurkevics A., (1988). *Polarization analysis of three-component array data*. In Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 78, No. 5, pp. 1725-1743.

- Konno K. & Ohmachi T., (1998). *Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremors*. Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 88, pp. 228-241.
- Lennartz electronic GmbH Documentation, (2006). *LE-xD Seismometer Family (doc 990-0003)*. Lennartz electronic GmbH (<http://www.lennartz-electronic.de>).
- Monaco C., Catalano S., De Guidi G., Gresta S., Langer H., Tortorici L. (2000). *The geological map of the urban area of Catania (Eastern Sicily): morphotectonic and seismotectonic implications*. Mem. Soc. Geol. It., 55.
- Nakamura Y., (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremors on the ground surface*. Quarterly Rept. RTRI, Japan, 30.
- Nanometrics Inc. Documentation, (2007). *Taurus Portable Seismograph User Guide (part 15148R5)*. Nanometrics Inc. (<http://www.nanometrics.ca>).
- Zuccarello L., Messina A., Rapisarda S., Platania P.R., Aiesi G., Cappuccio P., Contrafatto D., Larocca G., Manni M., Sassano M., Scuderi L., (2011). *2001-2011: Dieci anni di attività della Rete Sismica Mobile della Sezione di Catania*. Miscellanea INGV, 2011 Riassunti estesi I° Workshop Tecnico “Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell’arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico” Roma 20 | 21 dicembre 2010. AA. VV. a cura di Marco Cattaneo e Milena Moretti.

Quaderni di Geofisica

ISSN 1590-2595

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/quaderni-di-geofisica/>

I Quaderni di Geofisica coprono tutti i campi disciplinari sviluppati all'interno dell'INGV, dando particolare risalto alla pubblicazione di dati, misure, osservazioni e loro elaborazioni anche preliminari, che per tipologia e dettaglio necessitano di una rapida diffusione nella comunità scientifica nazionale ed internazionale. La pubblicazione on-line fornisce accesso immediato a tutti i possibili utenti. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Rapporti tecnici INGV

ISSN 2039-7941

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/rapporti-tecnici-ingv/>

I Rapporti Tecnici INGV pubblicano contributi, sia in italiano che in inglese, di tipo tecnologico e di rilevante interesse tecnico-scientifico per gli ambiti disciplinari propri dell'INGV. La collana Rapporti Tecnici INGV pubblica esclusivamente on-line per garantire agli autori rapidità di diffusione e agli utenti accesso immediato ai dati pubblicati. L'Editorial Board multidisciplinare garantisce i requisiti di qualità per la pubblicazione dei contributi.

Miscellanea INGV

ISSN 2039-6651

<http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/>

La collana Miscellanea INGV nasce con l'intento di favorire la pubblicazione di contributi scientifici riguardanti le attività svolte dall'INGV (sismologia, vulcanologia, geologia, geomagnetismo, geochimica, aeronomia e innovazione tecnologica). In particolare, la collana Miscellanea INGV raccoglie reports di progetti scientifici, proceedings di convegni, manuali, monografie di rilevante interesse, raccolte di articoli ecc..

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Daniela Riposati | Laboratorio Grafica e Immagini | INGV

© 2016 INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Via di Vigna Murata, 605

00143 Roma

Tel. +39 06518601 Fax +39 065041181

<http://www.ingv.it>



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia