

Rapporti tecnici

INGV

**Acquisizione di noise sismico
ambientale nell'area urbana di Catania**

110



Istituto Nazionale di
Geofisica e Vulcanologia

Direttore

Enzo Boschi

Editorial Board

Raffaele Azzaro (CT)

Sara Barsotti (PI)

Mario Castellano (NA)

Viviana Castelli (BO)

Anna Grazia Chiodetti (AC)

Rosa Anna Corsaro (CT)

Luigi Cucci (RM1)

Mauro Di Vito (NA)

Marcello Liotta (PA)

Lucia Margheriti (CNT)

Simona Masina (BO)

Nicola Pagliuca (RM1)

Salvatore Stramondo (CNT)

Andrea Tertulliani - coordinatore (RM1)

Aldo Winkler (RM2)

Gaetano Zonno (MI)

Segreteria di Redazione

Francesca Di Stefano - coordinatore

Tel. +39 06 51860068

Fax +39 06 36915617

Rossella Celi

Tel. +39 06 51860055

Fax +39 06 36915617

redazionecen@ingv.it



Rapporti tecnici INGV

ACQUISIZIONE DI NOISE SISMICO AMBIENTALE NELL'AREA URBANA DI CATANIA

Daria Condarelli³, Alfio Messina², Salvatore Rapisarda¹, Horst Langer¹

¹INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Catania)

²INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Roma2)

³Università degli Studi di Catania (Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale)

110

INDICE

INTRODUZIONE	5
1 CENNI SULLA STRUMENTAZIONE	6
1.1 Panoramica sulla strumentazione utilizzata	6
1.2 Stazione sismica portatile Nanometrics Taurus	7
1.3 Sensore Lennartz LE-3D/20s	8
2 CARATTERIZZAZIONE DELL' AREA DI STUDIO	9
2.1 Caratterizzazione geologica di Piazza Palestro	9
2.2 Caratterizzazione geologica di Via Monterosso	10
2.3 Caratterizzazione geologica del Boschetto Playa	10
2.4 Caratterizzazione geotecnica dei test-sites	11
3 ANALISI DEI DATI	12
3.1 Descrizione delle analisi svolte	12
4 RISULTATI	15
4.1 Acquisizione in Piazza Palestro	15
4.2 Acquisizione in Via Monterosso	18
4.3 Acquisizione al Boschetto Playa	21
4.4 Confronto dei tre siti	24
RINGRAZIAMENTI	25
BIBLIOGRAFIA	25

INTRODUZIONE

L'uso del rumore ambientale nella valutazione della risposta sismica locale sta diventando molto frequente data la sua facile applicabilità e sensibilità alla variazione spaziale della geologia superficiale. Ciò lo rende particolarmente adatto nelle aree urbane, dove la natura delle unità geologiche affioranti è mascherata dagli interventi antropici.

La metodologia di analisi dei microtremori più usata è la tecnica dei rapporti spettrali orizzontali e verticali HVSr [Langston, 1979; Nakamura, 1989], detta anche tecnica di Nakamura. Tali analisi sono usate per stimare la risposta sismica di un sito in termini di frequenza fondamentale e amplificazione. Entrambe queste caratteristiche dipendono dalla struttura geologica e dalle proprietà meccaniche del terreno dell'area oggetto di studio. Tuttavia, la letteratura internazionale tradizionalmente concorda sul fatto che l'utilizzo dei rapporti spettrali H/V risulta accurato per stimare la frequenza fondamentale di un sito, mentre il fattore di amplificazione ad essa associato è considerato sottostimato [Bard, 1997; Bard et al., 1997; Field & Jacob, 1995; Malagnini et al., 1996; Rielp et al., 1998; Toikimatsu, 1995].

Nel corso del 2007, nell'ambito del Dottorato di Ingegneria Geotecnica dell'Università di Catania, si è avviata una collaborazione tra il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale (DICA) dell'Università di Catania e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) Sezione di Catania, per effettuare una campagna di misure di rumore ambientale nel centro urbano di Catania, al fine di stimare la risposta sismica locale [Condarelli, 2008].

In questo lavoro saranno trattate le principali problematiche inerenti le misure sperimentali di rumore in area urbana affrontate nello studio sopra citato.

In una campagna di misure di microtremore la scelta del sito risulta fondamentale. Tale fattore influisce in maniera sostanziale sulla qualità delle registrazioni.

Nel caso specifico dello studio in corso, l'idoneità del sito dipende fondamentalmente da due parametri.

- L'ampiezza dell'area da indagare deve essere tale da permettere il posizionamento di un numero adeguato di stazioni di registrazione, in modo da realizzare delle geometrie che permettano, successivamente, di verificare la validità delle misure all'interno dello specifico sito.
- E' preferibile che la zona sia poco esposta al vento e al traffico, per minimizzare i possibili disturbi dovuti all'oscillazione degli alberi, al passaggio delle autovetture e a tutte le altre forme di rumore antropico.

Essendo lo studio localizzato all'interno dell'area urbana di Catania, risulta praticamente impossibile trovare una zona che non sia soggetta a traffico intenso. Pertanto, le misure sono state eseguite nelle ore notturne, per una durata di circa 2 ore e mezza. In tal modo i disturbi sono stati ridotti notevolmente, anche se non annullati.

La scelta dei siti è stata fatta tra i test-sites del Progetto Catania, progetto finanziato dalla Protezione Civile dal titolo "Scenari dettagliati e provvedimenti finalizzati alla prevenzione sismica nell'area urbana di Catania". In particolare sono stati scelti quei siti per i quali è stato possibile recuperare il maggior numero di informazioni (indagini geotecniche), e che possiedono le caratteristiche adatte per effettuare le registrazioni notturne di noise.

Le misure sono state effettuate in 3 siti (Figura 1):

- Piazza Palestro – sabbia vulcanica – nella notte fra il 14/03/07 e il 15/03/07;
- Via Monterosso – lava – nella notte fra il 16/05/07 e il 17/05/07;
- Boschetto Playa – sabbia silicea – nella notte fra il 29/10/07 e il 30/10/07.

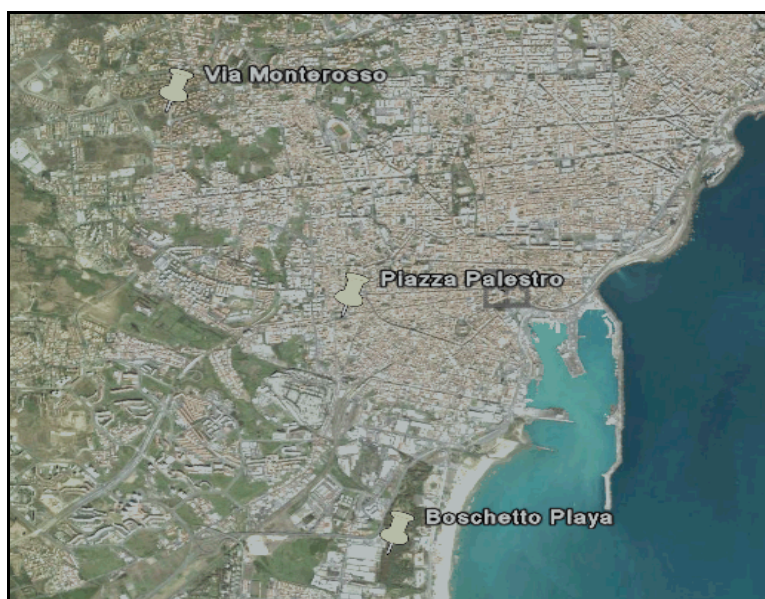


Figura 1. Posizione dei test-sites nella città di Catania.

1 CENNI SULLA STRUMENTAZIONE

1.1 Panoramica sulla strumentazione utilizzata

Per le registrazioni è stata utilizzata la strumentazione del gruppo Rete Mobile dell'Unità Funzionale Sismologia dell'INGV Sezione di Catania. In ognuno dei siti sono state installate quattro stazioni mobili *Nanometrics Taurus* [<http://www.nanometrics.ca>], collegate a sensori a larga banda *Lennartz LE-3D 20sec* a tre componenti (Z, N, E) [<http://www.lennartz-electronic.de>]. Ogni stazione è alloggiata all'interno di una valigetta *Peli* [<http://it.peli.com>] appositamente modificata ed equipaggiata (Figura 2). Oltre la stazione, essa contiene una *batteria per l'alimentazione* (12V, 12Ah), un'*antenna GPS* per la sincronizzazione del segnale tempo e la localizzazione geografica della stazione e un *regolatore di carica* cui si può collegare un pannello fotovoltaico da 23 W, per acquisizioni stand-alone più durature. Il peso complessivo della valigetta è di circa 6 Kg per un ingombro poco superiore a quello di una comune ventiquattrore (48,6x39,2x19,2 cm).



Figura 2. Tipica installazione di una stazione mobile Taurus.

1.2 Stazione sismica portatile Nanometrics Taurus

La stazione sismica portatile *Taurus* [Nanometrics Inc. Documentation, 2007] (Figura 3) racchiude un digitalizzatore tre canali a 24 bit e un data logger all'interno di una struttura piccola e maneggevole. La stazione può essere adoperata sia in modalità *stand-alone* che come componente di una rete di acquisizione di dati sismici. La Taurus è dotata di un ricevitore GPS, un clock di sistema, supporto di memorie di massa rimovibili, quali Hard Disk da 1.8" ATA e Compact Flash, e interfacce per la comunicazione remota. La sua configurazione può essere effettuata sia localmente, utilizzando il display a colori e il browser integrato, che in remoto tramite un browser web e una connessione TCP/IP. I dati *Time-Series* sono conservati nel formato compresso *Steim* [<http://www.ncedc.org/qug/software/steim123.ps.Z>] e possono essere estratti nei formati *MiniSeed*, *Seisan* e *ASCII* (4 colonne) o mandati in streaming nel formato *Nanometrics NP*. Le interfacce di comunicazione supportate dalla stazione sono l'*Ethernet 10/100 Base-T* e la *Seriale*. La lista dei protocolli di comunicazione contiene *UDP/IP*, *TCP/IP*, *SLIP*, *PPP* e *HTTP*.

I supporti di memoria di massa attualmente utilizzati raggiungono le capacità di 40 GB nel caso degli Hard Disk e di 4 GB nel caso delle Compact Flash. Queste grandi capacità di memorizzazione combinate con un basso consumo di potenza rendono la Taurus uno strumento ideale per le campagne della Rete Sismica Mobile, sia che esse durino poche ore, che vari mesi. Ad esempio, è possibile registrare fino a 600 giorni di dati su tre canali con campionamento pari a 100 Hz, utilizzando un hard disk da 40 GB. In alternativa, in caso di registrazioni più brevi, può essere utilizzata una scheda Compact Flash che garantisce, oltre ad una maggiore resistenza alle variazioni di temperatura, anche un minor dispendio energetico. Entrambi i dispositivi di memoria di massa sono facilmente rimovibili dall'apposito alloggiamento nella stazione.

La struttura di archiviazione e organizzazione dei dati in memoria di massa è definita *Store*. Essa contiene, oltre alle time-series (le sequenze temporali dei segnali sismici), informazioni sullo stato di salute del sistema di acquisizione (*State of Health*, SOH) e i log files della stazione. Le dimensioni della Store sono definibili dall'utilizzatore mediante gli appositi parametri di configurazione e variano da poche centinaia di MB fino a comprendere tutta la capacità di memorizzazione del supporto utilizzato. La Store funziona come un *ring-buffer*, ovvero, prevede che i dati più vecchi siano sovrascritti nel caso di riempimento dello spazio a disposizione.

E' possibile scegliere tra due *modalità di funzionamento* della stazione: *Buffered* e *Communication*.

In *Buffered mode* il consumo di energia è minimizzato. La Taurus scrive i dati acquisiti sul suo *Buffer* interno, svegliando il *Controller* solo per trasferire questi ultimi sul supporto di memoria di massa, quando il buffer è pieno. La dimensione del buffer della stazione è di 2 MB. Utilizzando una frequenza di campionamento di 100 Hz per 3 canali, esso, può contenere fino a 30 minuti di dati. Questa modalità non permette la comunicazione remota con la stazione in quanto tutte le interfacce sono disabilitate per ridurre il consumo energetico.

Viceversa, in *Communication mode* il Controller è continuamente attivo permettendo la comunicazione con la Taurus mediante connessione IP. Ciò si traduce in un consumo di energia maggiore rispetto alla precedente modalità.

La *potenza assorbita* dalla stazione è di circa 800 mW utilizzando l'acquisizione in *Buffered mode*, con 3 canali campionati a 100 Hz e registrazione dei dati su Hard Disk. Il dispendio energetico può essere ridotto acquisendo i dati su Compact Flash, ottenendo un consumo di circa 750 mW a 12V.



Figura 3. Stazione portatile Nanometrics Taurus.

La tabella sottostante riporta i valori dei più importanti parametri di configurazione delle stazioni utilizzati durante le acquisizioni di rumore ambientale.

CONFIGURAZIONE DIGITALIZZATORE TAURUS	
Running Mode	Buffered Mode
Channel	3 channels (Z , N , E)
Sample Rate (Hz)	100
Storage	Compact Flash 4 GB
Transducing Coefficient (V /(m/s))	1000
Nominal Sensitivity (cnt / μ V)	1 (with gain = 1)
Hardware and Software Gain (ch 1,2,3)	1
Digitizer Resolution (bit)	24
Input Range (Vref)	16 Vpp
Dinamic Range	> 138 dB (at 100 Hz)
Input Impedance (k Ω)	43.07 (low impedance)

1.3 Sensore Lennartz LE-3D/20s

I geofoni *Lennartz* [Lennartz electronic GmbH Documentation, 2006] della serie *LE-3D/20s* (Figura 4), a tre componenti, sono caratterizzati da un periodo proprio di 20 secondi, raggiunto correggendo elettronicamente la frequenza propria di 2 Hz del geofono elettrodinamico interno. In tal modo si ottiene un comportamento simile a quello di un *larga banda*, mantenendo le caratteristiche di trasportabilità e utilizzo proprie di un classico geofono a corto periodo.

Come tutti i moderni sensori, l'*LE-3D/20s*, sfrutta il principio del *force – feedback* ; esso prevede che non vi sia alcun movimento relativo tra massa e suolo, ma si misuri la forza necessaria per la compensazione di tale movimento. L'utilizzo di questa tecnica garantisce un alto grado di linearità del sensore ed evita inoltre il problema del fine-corsa che si riscontra nei sistemi con masse in movimento, quando la massa stessa raggiunge la massima oscillazione permessa dallo strumento, comportando la *saturation* del geofono.

Di contro, il sensore richiede un'*alimentazione elettrica* (fornita dalla stazione Taurus cui esso è collegato) aumentando di conseguenza il consumo di energia dell'intero sistema di misura.



Figura 4. Sensore Lennartz LE-3D/20s.

Nella tabella seguente si riassumono le principali caratteristiche del sensore.

CARATTERISTICHE SENSORE LE-3D/20s	
Power Supply	10...16 V DC
Power Consumption (mA)	50...100 at 12 V (depending on signal amplitude)
Output Voltage (V/(m/s))	1000 (precisely adjusted on all components)
Damping	0.707 critical (internal damping; independent of datalogger input resistance)
Dimensions (mm)	195 diameter, 165 height
Weight (kg)	6.5
Temperature Range (° C)	-15...+35 (optionally 0 to +50)
Eigenfrequency (Hz)	0.05
Upper Corner frequency (Hz)	> 40
RMS Noise at 1 Hz (nm/s)	< 2

2 CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI STUDIO

2.1 Caratterizzazione geologica di Piazza Palestro

Per quanto riguarda il sito di Piazza Palestro è presente un sondaggio fino alla profondità di m 40.00, effettuato con metodo meccanico a rotazione e carotaggio continuo e prelievo di campione indisturbato.

Nella tabella seguente è mostrata la stratigrafia ottenuta dal sondaggio [Moschella, 1998].

STRATIGRAFIA PIAZZA PALESTRO		
Profondità		Descrizione Litologica
da	a	
0.00	1.00	Riporto di natura sabbiosa
1.00	11.60	Basalto a colorazione chiara per la presenza di fenocristalli di plagioclasti, olivina, biotite, con fratturazioni parallele all'asse da m 2.00 a m 2.50
11.60	15.70	Alluvioni di colore rossastro, che passano a giallo verdastro da m 14.60 a m 15.00, costituite da sabbia con ciottoli, più abbondanti da m 14.00 a m 14.30, meno frequenti da m 14.30 a m 15.30
15.70	24.50	Sabbia verdino - scura (tufiti)
24.50	26.90	Sabbia limosa, argillosa, risedimentata, con presenza di laterizi a m 24.80 e ciottolo a m 24.95
26.90	29.20	Argilla limosa rosso mattone, plastica, con litoide quarzarenitico da m 28.90 a m 29.00
29.20	40.00	Basalto a colorazione grigio scura con fenocristalli di plagioclasti, biotite, con fratturazioni parallele all'asse da m 30.40 a m 31.00; da m 31.20 a m 33.00; microfessure a m 33.60

La colonna stratigrafica mette in evidenza come in questo sito vi siano due sovrapposizioni di lave di epoche diverse, intervallate da materiale più o meno fino.

Andando dall'alto verso il basso si trova un piccolo strato di terreno di riporto a cui segue, per uno spessore di circa 10 m, una lava massiccia con poche fratture sub verticali continue. Secondo quanto riportato in letteratura specifica (carta geologica del Mt. Etna [Ferrara, 1979]) si tratterebbe di colate laviche riconducibili al Mongibello recente. Tali lave si presentano intensamente fessurate per il noto fenomeno di contrazione da raffreddamento e, dette fratture, dividono l'ammasso lavico in grossi elementi prismatici con bordi grosso modo combacianti e mancanti di materiale detritico fine e/o di alterazione.

Successivamente troviamo strati di sabbia quarzosa, ghiaie e conglomerati poligenici e intercolazioni piroclastiche, seguite da uno strato di limo costituito essenzialmente da piroclastiti (tufi e tufiti) e, ancora, argille e limi sabbiosi.

Infine, si ha uno strato di basalto a colorazione grigio scura con fenocristalli di plagioclasti e biotite con fratture parallele.

2.2 Caratterizzazione geologica di Via Monterosso

Nel sito di Via Monterosso è stato eseguito un sondaggio fino alla profondità di m 20.50, effettuato con metodo meccanico a rotazione e carotaggio continuo e prelievo di campione indisturbato.

Nella tabella seguente è mostrata la stratigrafia del terreno limitrofo alla posizione delle stazioni [Turco, 2003].

STRATIGRAFIA VIA MONTEROSSO		
Profondità		Descrizione Litologica
da	a	
0.00	0.07	Asfalto
0.07	3.20	Riporto costituito da blocchi lavici misti a limi sabbiosi bruni e frammenti di laterizi
3.20	4.80	Lava mediamente fratturata e bollosa
4.80	4.90	Lava scoriacea molto bollosa costituita prevalentemente da elementi spigolosi parzialmente rinsaldati tra loro. Presenta una patina d'alterazione rosso vinaccia (Rifusa)
4.90	5.10	Cavità
5.10	6.00	Breccia vulcanica mista a limo sabbioso di colore bruno
6.00	6.20	Lava scoriacea molto bollosa costituita prevalentemente da elementi spigolosi parzialmente rinsaldati tra loro. Presenta una patina d'alterazione rosso vinaccia (Rifusa)
6.20	7.70	Lava mediamente fratturata e bollosa
7.70	8.20	Lava scoriacea molto bollosa costituita prevalentemente da elementi spigolosi parzialmente rinsaldati tra loro. Presenta una patina d'alterazione rosso vinaccia (Rifusa)
8.20	8.30	Breccia vulcanica mista a limo sabbioso di colore bruno
8.30	8.60	Lava mediamente fratturata e bollosa
8.60	17.20	Piroclastiti grigio-neri e vulcanoclastiti rosso vinaccia da fine a grossolane con breccia vulcanica e piccoli trovanti (8 cm < h < 15 cm) di lava scoriacea mediamente bollosa
17.20	20.50	Lava compattata scarsamente fessurata e con rarissimi vacuoli

La colonna stratigrafica mette in evidenza la natura prettamente lavica del terreno in esame.

Dopo un banco di riporto di una certa consistenza, costituito da blocchi lavici misti a limi, fino alla profondità di circa 10 m dal piano campagna (p.c.), si incontra un terreno costituito di lava scoriacea molto bollosa. Tale materiale è da considerarsi come “terreno scadente” dal punto di vista della resistenza.

Successivamente, per quasi l'intera lunghezza del sondaggio, si ha la presenza di piroclastiti e vulcanoclastiti misti a breccia vulcanica di lava scoriacea mediamente bollosa. Si tratta ancora di “terreni scadenti”.

Alla profondità di circa 17 m dal p.c. si incontra lava compatta scarsamente fessurata, di qualità notevolmente maggiore del terreno soprastante.

2.3 Caratterizzazione geologica del Boschetto Playa

Al Boschetto Playa sono stati effettuati 8 sondaggi di profondità variabile da 10 a 30 m, effettuati con metodo meccanico a rotazione e carotaggio continuo, senza prelievo di campione indisturbato.

La tabella nella pagina seguente mostra le 8 stratigrafie del terreno limitrofo alla posizione delle stazioni [Marchetti, 2004].

Profondità		Descrizione Litologica
da	a	
STRATIGRAFIA 1		
0.00	2.50	Riporti di varia natura detritica, principalmente granulari, di origine antropico. Presenza di falda a 1.95 m.
2.50	20.00	Sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate. Presenza di lenti di tufi e tufiti.

STRATIGRAFIA 2		
0.00	2.00	Riporti di varia natura detritica, principalmente granulari, di origine antropico. Presenza di falda a 1.97 m.
2.00	20.00	Sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate. Presenza di lenti di tufi e tufiti.
STRATIGRAFIA 3		
0.00	2.00	Riporti di varia natura detritica, principalmente granulari, di origine antropico. Presenza di falda a 1.95 m.
2.00	7.30	Sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate. Presenza di lenti di tufi e tufiti.
7.30	10.00	Sabbie limose con intercalazioni piroclastiche - depositi granulari grossolani a vari gradi di cementazione.
STRATIGRAFIA 4		
0.00	2.00	Riporti di varia natura detritica, principalmente granulari, di origine antropico. Presenza di falda a 1.92 m.
2.00	30.00	Sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate. Presenza di lenti di tufi e tufiti.
STRATIGRAFIA 5		
0.00	1.80	Riporti di varia natura detritica, principalmente granulari, di origine antropico.
1.80	20.00	Sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate. Presenza di lenti di tufi e tufiti. Presenza di falda a 2.00 m.
STRATIGRAFIA 6		
0.00	2.50	Riporti di varia natura detritica, principalmente granulari, di origine antropico. Presenza di falda a 1.05 m.
2.50	13.00	Sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate. Presenza di lenti di tufi e tufiti.
13.00	20.00	Aternanze di livelli sabbiosi e ghiaioso-ciottolosi con grado di addensamento medio-alto e conglomerati poligenici con intercalazioni piroclastiche. i ciottoli, poligenici e arrotondati, raggiungono dimensioni di 30÷40 cm
20.00	23.60	Sabbie ghiaiose limose con intercalazioni piroclastiche - depositi granulari grossolani a vari gradi di cementazione.
23.60	24.50	Calcari marnosi e alternanze calcareo-marnose, si intercalano lave alcaline e lenti argillose. Presenza di sabbie ghiaiose.
24.50	30.00	Sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate. Presenza di lenti di tufi e tufiti. Presenza di falda a 2.00 m.
STRATIGRAFIA 7		
0.00	2.00	Riporti di varia natura detritica, principalmente granulari, di origine antropico. Presenza di falda a 1.70 m.
2.00	20.00	Sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate. Presenza di lenti di tufi e tufiti.
STRATIGRAFIA 8		
0.00	2.60	Riporti di varia natura detritica, principalmente granulari, di origine antropico. Presenza di falda a 0.90 m.
2.60	20.00	Sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate. Presenza di lenti di tufi e tufiti.

L'area di San G. la Rena è localizzata in prossimità del mare, vicino al porto di Catania. L'area consiste di depositi alluvionali poggianti su una formazione argillosa molto spessa; il livello della falda acquifera coincide con il livello del mare, qualche metro sotto la superficie.

Tutte le stratigrafie riportano lo stesso tipo di terreno: banco di riporto iniziale di natura detritica e, a seguire, sabbie quarzose gialle o brune mediamente addensate, con presenza di lenti di tufi e tufiti.

Raramente si ha la presenza di sabbie limose con intercalazioni piroclastiche e, soltanto per uno dei sondaggi che si spinge fino alla profondità di 30 m, si riscontra un piccolo banco di calcari marnosi, intercalati da lave alcaline e lenti argillose.

2.4 Caratterizzazione geotecnica dei test-sites

Diverse indagini geotecniche sono state effettuate per i siti in studio.

In particolare, per il sito di Piazza Palestro, contemporaneamente all'esecuzione del foro, sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche (SPT) con le quali, in seguito a correlazioni empiriche, è possibile calcolare modulo di taglio G e modulo di elasticità E . Inoltre, sono state effettuate prove sismiche *Down-Hole*, per la determinazione della propagazione in senso verticale (media e di intervallo) delle onde sismiche di volume [Moschella, 1998].

Prospezioni geofisiche in foro di tipo *Down-Hole* sono state eseguite anche nel sito di Via Monterosso [Turco, 2003].

Nel sito del Boschetto Playa, invece, sono state effettuate delle prove con dilatometro sismico (*SDMT*). Queste consentono di ottenere la velocità delle onde di taglio V_s e da questa il valore del modulo di taglio iniziale G_0 [Marchetti, 2004].

La figura 5 mostra l'andamento della velocità delle onde di taglio in funzione della profondità per ogni sito.

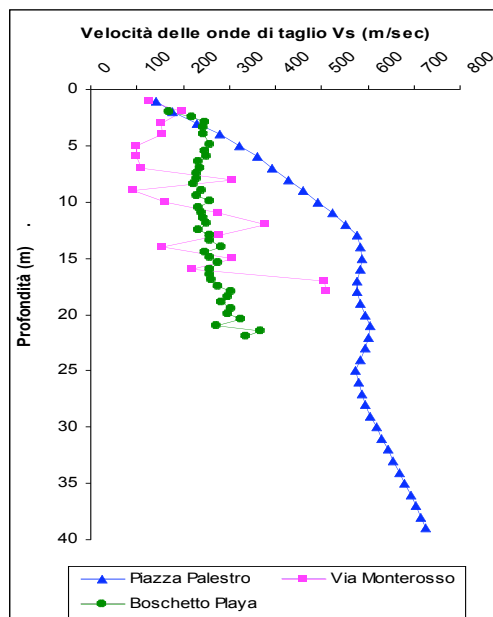


Figura 5. Profilo della velocità delle onde di taglio V_s per i tre test-sites.

La figura mostra un forte contrasto di impedenza nei primi 14 m del sito di Piazza Palestro. In seguito si ha una stabilizzazione e, dove le caratteristiche meccaniche del terreno migliorano, si ha un incremento lineare delle V_s con la profondità.

Il sito del Boschetto Playa, caratterizzato da un'unica tipologia di terreno (sabbioso), risulta molto più regolare. Un piccolo contrasto d'impedenza si nota solo nella parte iniziale caratterizzata da terreno di riporto.

Diverso è il caso del sito di Via Monterosso, che risulta molto discontinuo caratterizzato da improvvisi aumenti e decrementi della velocità delle onde di taglio. Tale condizione potrebbe essere dovuta alle scarse qualità meccaniche del terreno, costituito perlopiù da materiale lavico rimaneggiato.

3 ANALISI DEI DATI

3.1 Descrizione delle analisi svolte

I dati acquisiti sono stati scaricati dalle stazioni nel formato MiniSeed e convertiti successivamente in file ASCII monocolumna. Prima di essere sottoposti alle varie analisi, i file dei dati sono stati tagliati eliminandone la prima e l'ultima parte per ottenere segnali della durata di circa 2 ore. Questa procedura, realizzata per mezzo del programma SEISM [Patanè e Ferrari, 1998], è stata effettuata per due ragioni:

1. Per fare il confronto delle misure realizzate su uno stesso sito su segnali della stessa durata (inizio e fine acquisizione originari non sono contemporanei nei file originari);
2. Per eliminare i disturbi causati dall'operatore che effettua il posizionamento e l'attivazione della stazione a inizio acquisizione e lo spegnimento della stessa a fine misura.

In Figura 6 è mostrata la differenza fra il segnale visualizzato per intero e quello ottenuto in seguito alla procedura di taglio.

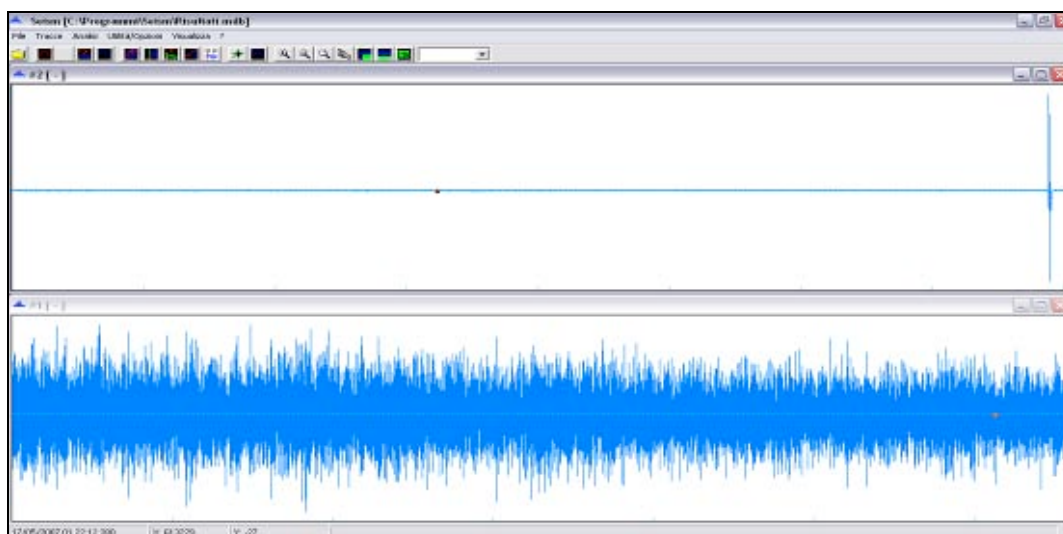


Figura 6. Rappresentazione della componente E della stazione 626 di Via Monterosso, per intero nella parte superiore, elisa della parte iniziale e finale in quella inferiore.

Dopo aver selezionato la finestra utile del segnale, sono stati realizzati gli *Spettri di Fourier* delle singole componenti mediante il programma *SPECGRAM*, messo a disposizione dal Dott. Langer dell'INGV di Catania.

Lo *SPECGRAM* usa lo schema delle *finestre mobili*, creando una tabella di valori spettrali ottenuti ad ogni passo di avanzamento della finestra. Il programma consente di creare tabelle di ampiezze spettrali all'interno di fasce di frequenza, dette "*frequency bins*", la cui dimensione è configurabile dall'utente.

Di seguito vengono riportati i parametri utilizzati per l'elaborazione degli spettri.

Lunghezza finestra spettro – 1024 punti (10.24 s)

Step di spostamento della finestra – 250 punti

Smorzamento parte iniziale e finale dello spettro – 200 punti

Frequenza di campionamento – 100.0 Hz

Risoluzione di frequenza spettro dopo FFT – $100.0/1024 = 0.097$ Hz

Fascia di frequenza – 5

Risoluzione di frequenza spettro finale – $0.097 \times 5 = 0.48$ Hz

Frequenza massima spettro finale – 9.7 Hz

La creazione della tabella consente di monitorare la presenza di transienti indesiderati (rumori dovuti a sorgenti esterne, tra le quali, il passaggio di auto, persone o animali, le raffiche di vento, ecc.) e di porre rimedio tramite operazioni statistiche. Allo scopo si è scelto di utilizzare il confronto tra la media dell'ampiezza spettrale e i quantili per il 5% e il 10%. Infatti, qualunque sia la frequenza considerata, i transienti sono caratterizzati da elevati valori in ampiezza; di conseguenza in presenza di numerose finestre rumorose la media dell'ampiezza spettrale può discostarsi notevolmente dai quantili. L'utilizzo dei quantili costituisce quindi una tecnica per escludere gli effetti indesiderati dei transienti [Di Grazia et al., 2006].

Di seguito è mostrata parte della tabella iniziale ed il risultato delle operazioni di elaborazione dei dati spettrali in essa contenuti. In particolare:

- La sezione **a)** rappresenta uno stralcio del file di output del programma. La riga d'intestazione (in grassetto) indica le *frequenze*, con una frequenza di risoluzione pari a 0.48828, come indicato sopra. La colonna d'intestazione (in grassetto) indica l'*avanzamento temporale della finestra mobile*. I dati interni rappresentano le *ampiezze spettrali*.

- La sezione **b)** contiene gli stessi dati della precedente, ma con le ampiezze spettrali ridistribuite nella loro colonna secondo un ordine crescente.

– La sezione **c)** mostra i risultati delle elaborazioni sui valori spettrali, utilizzati per costruire il grafico in Figura 7: le frequenze (ascissa), le ampiezze spettrali medie dell'intero segnale (ordinata), la riga temporale relativa al quantile al 5% (ordinata) e quella relativa al quantile al 10% (ordinata).

Piazza Palestro – stazione 626 – componente E									
a)	0.34180	0.83008	1.31836	1.80664	2.29492	2.78320	...	9.13086	9.61914
0.0	5.32661	5.04596	4.69947	4.58960	4.65415	4.70431	...	5.24666	5.22845
2.5	5.36329	5.04302	4.63188	4.07833	4.22902	4.58127	...	5.19733	5.17318
5.0	5.10641	5.07143	4.91097	4.63852	4.40995	4.69293	...	5.17200	5.14113
7.5	5.18347	5.02645	4.60339	4.50503	4.54561	4.73661	...	5.20239	5.08306
10.0	5.15290	5.14598	4.65272	4.52585	4.38198	4.48132	...	5.26535	5.09102
12.5	5.12658	5.09839	4.72141	4.68980	4.64320	4.56975	...	5.29318	5.15439
15.0	5.17714	5.10062	4.53780	4.57184	4.39172	4.29226	...	5.24953	5.10487
17.5	5.14882	4.81120	4.59661	4.46648	4.46753	4.51434	...	5.17329	5.12221
...
7185.0	5.35709	4.93991	4.56874	4.25175	4.01933	4.44688	...	3.85434	3.94999
7187.5	5.21200	5.03752	4.65901	4.21557	4.17008	4.48839	...	3.96376	3.93875
b)	0.34180	0.83008	1.31836	1.80664	2.29492	2.78320	...	9.13086	9.61914
0.0	4.46853	4.42200	4.17140	3.82111	3.66334	3.91715	...	3.37114	3.46230
2.5	4.59345	4.47169	4.18387	3.83891	3.75897	3.93467	...	3.41210	3.55977
5.0	4.64693	4.47204	4.20598	3.91167	3.76587	3.98731	...	3.44255	3.59112
7.5	4.65360	4.48188	4.21970	3.93230	3.76834	4.02606	...	3.44302	3.59928
10.0	4.66024	4.48260	4.22536	3.93669	3.78595	4.03695	...	3.45516	3.60162
12.5	4.66513	4.49131	4.23340	3.94106	3.78766	4.05557	...	3.51311	3.60763
15.0	4.66776	4.50215	4.23965	3.94781	3.79940	4.06692	...	3.53713	3.61856
17.5	4.67387	4.50865	4.24738	3.95481	3.80830	4.06699	...	3.54468	3.63487
...
7185.0	7.36463	6.61435	6.38822	6.17659	6.10124	5.97413	...	5.45459	5.50802
7187.5	7.56074	6.77946	6.48784	6.32761	6.25647	6.16992	...	5.61526	5.61243
c)									
Frequenza	0.34180	0.83008	1.31836	1.80664	2.29492	2.78320	...	9.13086	9.61914
Media	5.12868	4.99080	4.64395	4.41516	4.31468	4.47038	...	4.36830	4.42446
355.0 (5%)	4.87110	4.76422	4.40878	4.14853	4.01883	4.22514	...	3.76747	3.83490
715.0 (10%)	4.93334	4.81457	4.46548	4.19936	4.07543	4.27883	...	3.88427	3.93617

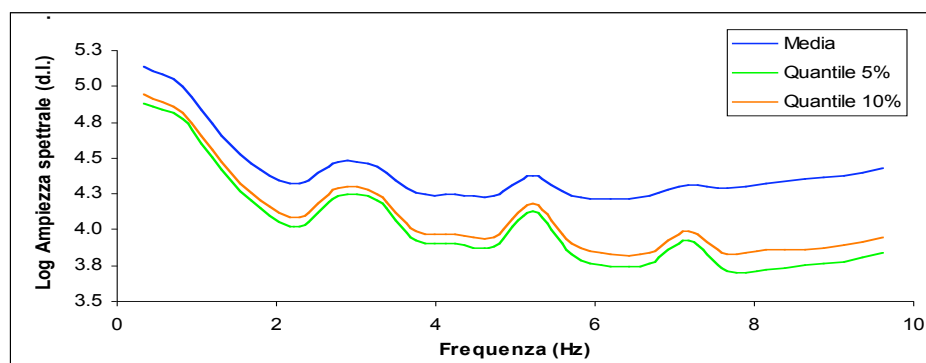


Figura 7. Esempio di confronto fra la media e i quantili dell'ampiezza spettrale.

Per lo studio degli effetti di sito si usano i rapporti spettrali H/V tra le componenti orizzontali (N, E) e la componente verticale (Z) di ogni stazione [Nakamura, 1989] (Figura 8). Con questa procedura si ipotizza che gli effetti dovuti alla sorgente siano largamente eliminati [Gallipoli et al., 2004].

Per ogni sito sono state effettuate le procedure sopra descritte al fine di elaborare i rapporti spettrali.

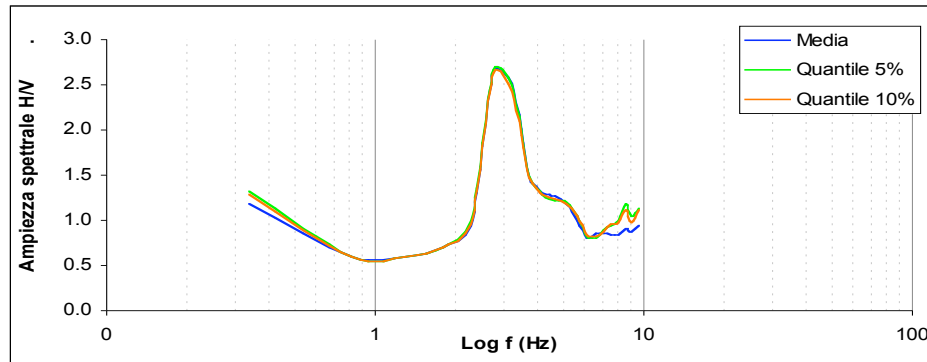


Figura 8. Esempio di Rapporto Spettrale fra le componenti E e Z.

L'osservazione del confronto fra la media e i quantili per le singole componenti mostra come l'operazione statistica effettuata riesca effettivamente a dare un forte contributo nella lettura dei segnali. Si nota, infatti, come nei quantili sia possibile distinguere molto chiaramente alcuni picchi che nella media, invece, risultano appena accennati a causa dei transienti che tendono a coprirli. Si nota anche come l'effetto di rimozione dei disturbi dovuto ai quantili sia maggiore alle alte frequenze. Ciò è dovuto al fatto che i disturbi di natura antropica, più frequenti in aree urbane, sono solitamente a frequenze alte.

Dall'osservazione dei rapporti spettrali si evince la stabilità del metodo di Nakamura, ormai associato nello studio del rumore ambientale. Infatti, il trattamento degli spettri mediante tale metodo porta ad avvicinare in modo significativo la curva della media con quella dei quantili, elidendo dal segnale una buona parte dei disturbi. L'uso dei quantili si ritiene, comunque, più rassicurante perché più efficace ad eliminare i disturbi dai segnali.

Il metodo qui utilizzato per il calcolo dei rapporti spettrali si discosta parzialmente dalla procedura standard che si dovrebbe seguire per ottenere la curva H/V. Tale scelta è dettata dal volere utilizzare i quantili, che vanno applicati non ai rapporti spettrali ma agli spettrogrammi.

4 RISULTATI

4.1 Acquisizione in Piazza Palestro

Nel sito di Piazza Palestro sono state posizionate quattro stazioni secondo una geometria quadrata di circa 50 m di lato (Figura 9). Le stazioni sono state sistemate sulle aiuole in terra.



Figura 9. Posizionamento delle stazioni nel sito di Piazza Palestro.

Le registrazioni sono cominciate intorno alle 00:00 GMT (01:00 ora locale) e si sono concluse intorno alle 02:20 GMT (03:20 ora locale). Si è usata una frequenza di campionamento pari a 100 Hz. I segnali sono stati tagliati per avere 2 ore esatte di segnale utile (00:15 – 02:15 GMT) eliminando quindi gli eventuali *spikes di bordo*.

A seguire si riportano le componenti orizzontali in direzione EW di ogni stazione (Figura 10); è stata scelta la componente orizzontale E in quanto, in tutti i casi, ha sempre ampiezze maggiori rispetto alla NS ed è quindi più rappresentativa degli effetti di sito.

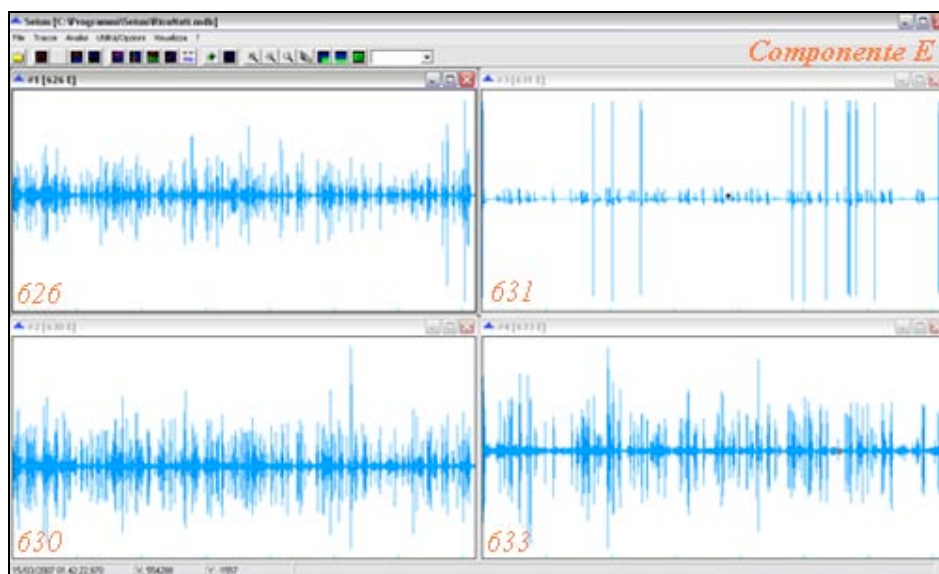


Figura 10. Visualizzazione della componente E di ogni stazione per il sito di Piazza Palestro.

Le registrazioni risultano assolutamente incostanti, presentando picchi più o meno continui per l'intera durata della registrazione. I segnali delle quattro stazioni sono fra loro disomogenei; in particolare, il segnale della stazione 631 è notevolmente disturbato, presentando una serie di picchi di amplificazione altissima che

falsano totalmente il segnale naturale. Nonostante la registrazione sia stata continuamente disturbata dal passaggio di ciclomotori e persone, è probabile che i disturbi della stazione 631 siano stati provocati da un rumore costante nei pressi della stazione, ad esempio un frigorifero o un macchinario simile (la stazione si trovava vicino ad una gastronomia).

Il resto dei segnali risulta più pulito anche se non di buona qualità.

Per avere una rappresentazione più completa del comportamento del sito è necessario fare un confronto diretto fra gli spettri di Fourier delle singole stazioni.

A tal proposito vengono mostrati dei grafici in cui si mettono a confronto gli spettri delle quattro stazioni, per la media (Figura 11) e per il quantile al 5% (Figura 12). Al solito, si mostra solo la componente E.

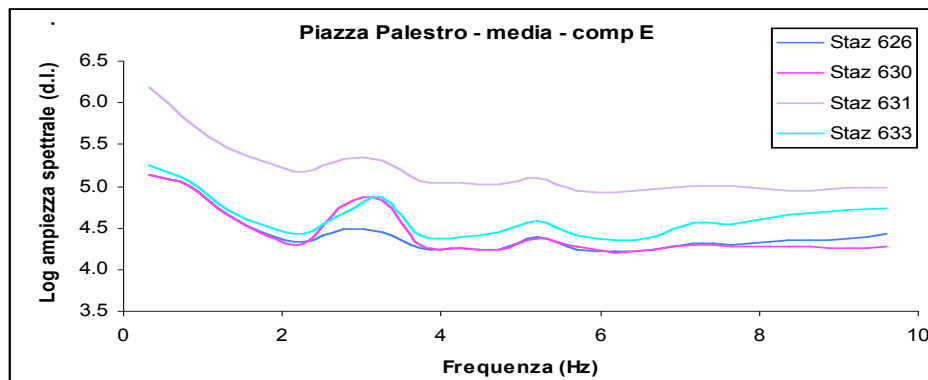


Figura 11. Confronto tra le ampiezze spettrali di ogni stazione del sito di Piazza Palestro per i valori medi.

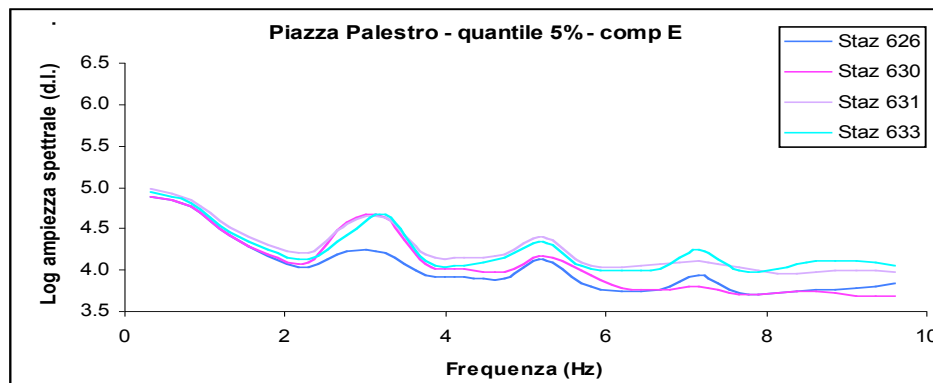


Figura 12. Confronto tra le ampiezze spettrali di ogni stazione del sito di Piazza Palestro per i valori del quantile al 5%.

Dalla Figura 11 si evince la scarsa qualità della misura della stazione 631, che risulta di ampiezza superiore alle altre e non mette in evidenza picchi significativi..

La Figura 12, invece, mette in evidenza nuove caratteristiche delle misure: la prima è che il metodo dei quantili perde efficacia al di sopra dei 6 Hz. Infatti, i segnali, oltre tale valore, mostrano picchi meno marcati, perché affetti da una maggior quantità di transienti. Seconda evidenza è la bassa amplificazione del segnale della stazione 626, soprattutto per quanto riguarda il picco a 3 Hz ben visibile per le altre tre stazioni.

Fondamentalmente sembra che nel sito si abbia un picco ben marcato a circa 3 Hz di ampiezza spettrale fra $4.60 \div 4.70$ e un successivo picco più basso a 5 Hz.

Per meglio osservare le caratteristiche dei picchi ottenuti, i rapporti spettrali sono stati graficati confrontando le quattro stazioni contemporaneamente. Di seguito sono riportati i confronti fra i rapporti spettrali E/Z dei valori medi (Figura 13) e dei quantili al 5% (Figura 14) delle quattro stazioni.

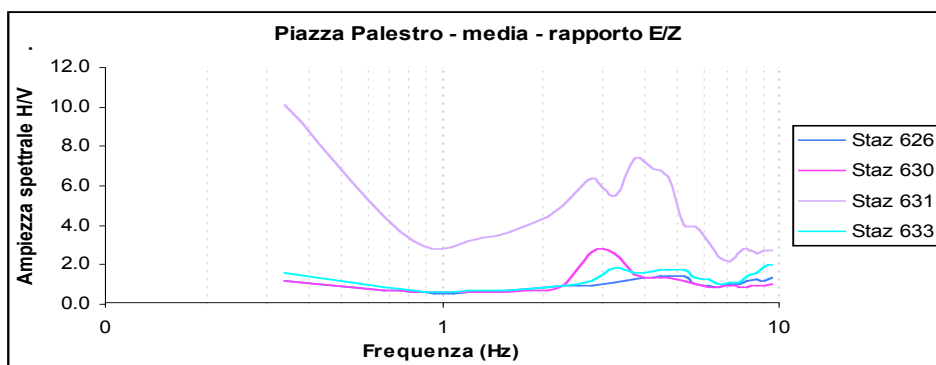


Figura 13. Confronto tra i rapporti spettrali E/Z di ogni stazione del sito di Piazza Palestro per i valori medi.

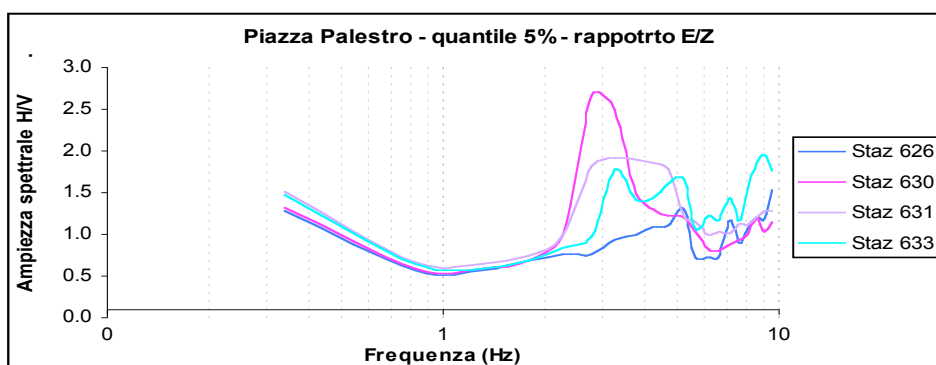


Figura 14. Confronto tra i rapporti spettrali E/Z di ogni stazione del sito di Piazza Palestro per i valori del quantile al 5%.

Il confronto fra le figure chiarisce l'utilità di operare con metodi statistici prima di effettuare i rapporti spettrali. Infatti, mentre i rapporti dati dai valori medi non sono significativi, quelli dei quantili risultano ben definiti seppur molto disturbati.

Per la stazione 630 si riscontra chiaramente il picco a 3 Hz cui si è accennato; la sua amplificazione, però, risulta eccessiva rispetto agli altri picchi. Pertanto si può ipotizzare che anch'essa abbia risentito di qualche disturbo particolare, che nemmeno i rapporti spettrali sono riusciti ad eliminare.

Da notare, inoltre, il picco a 5 Hz della stazione 626.

4.2 Acquisizione in Via Monterosso

Nel sito di Via Monterosso sono state posizionate tre stazioni su un'area sterrata (626, 628, 629) a circa 40 m di distanza l'una dall'altra e una su un'aiuola asfaltata (630) a circa 390 m dal gruppo precedente. La posizione delle stazioni è indicata sulla mappa in Figura 15.



Figura 15. Posizionamento delle stazioni nel sito di Via Monterosso.

Le registrazioni sono iniziate intorno alle 23:30 GMT (01:30 ora locale) e si sono concluse intorno alle 01:50 GMT (03:50 ora locale). La frequenza di campionamento del digitalizzatore è stata impostata sul valore di 100 Hz. Le tracce ottenute sono state tagliate all’inizio e alla fine per ottenere 1 ora e 50 minuti di segnale utile (23:40 – 01:30 GMT).

A seguire si riportano le componenti orizzontali in direzione EW delle quattro stazioni (Figura 16).

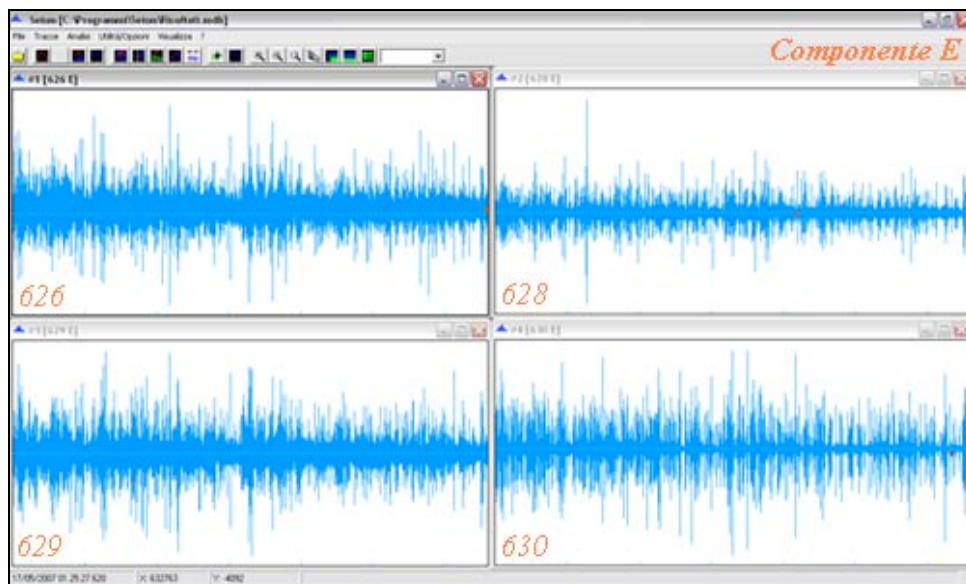


Figura 16. Visualizzazione della componente E di ogni stazione per il sito di Via Monterosso.

La stazione 628, che era la più vicina alle abitazioni, presenta un brusco picco nella parte iniziale della registrazione, ed anche la 630, posizionata nell’aiuola sembra essere più “disturbata” delle altre due.

In effetti, nonostante il sito si trovi nella periferia di Catania, esso è densamente abitato, come si evince dall'immagine sopra riportata (Figura 15) e quindi soggetto a possibili disturbi.

Di seguito sono mostrati i grafici degli spettri delle quattro stazioni, per la media (Figura 17) e per il quantile al 5% (Figura 18). Anche qui si mostra solo la componente E.

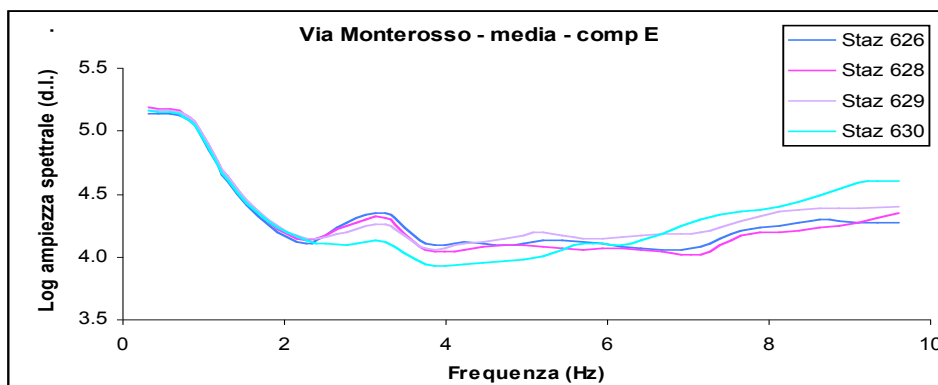


Figura 17. Confronto tra le ampiezze spettrali di ogni stazione del sito di Via Monterosso per i valori medi.

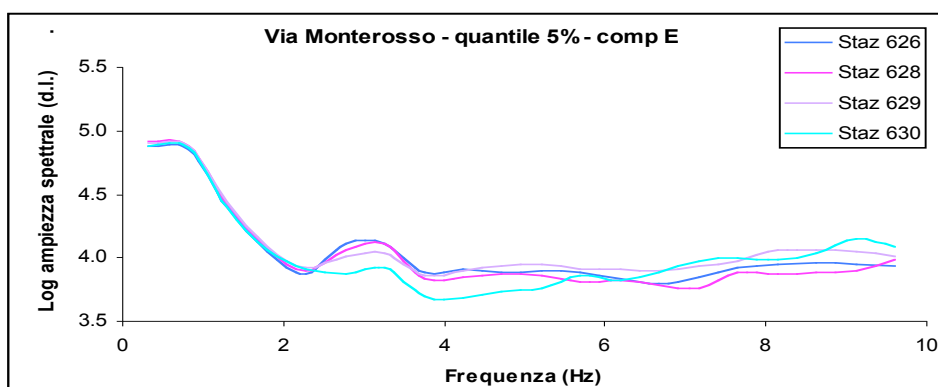


Figura 18. Confronto tra le ampiezze spettrali di ogni stazione del sito di Via Monterosso per i valori del quantile al 5%.

Fino alla frequenza di 3 Hz il comportamento di tre delle quattro stazioni è coincidente. Medie e quantili degli spettri mostrano andamenti simili con una differenza di amplificazione di un fattore di circa 0.2.

Oltre i 2 Hz il segnale della stazione 630 (poggiate sull'aiuola) si discosta dagli altri. La motivazione di tale comportamento può essere ricercata sia nel tipo di terreno differente (questa stazione si trovava su terreno compattato al di sotto del manto stradale mentre le altre erano su roccia vulcanica rimaneggiata, probabilmente derivante dal materiale di risulta dei lavori effettuati per costruire il complesso residenziale circostante), sia nel fatto che, trovandosi circondata dalle abitazioni, sia stata soggetta a forti rumori antropici.

In Figura 19 e in Figura 20 sono mostrati rispettivamente i rapporti spettrali E/Z dei valori medi e dei quantili al 5% delle quattro stazioni.

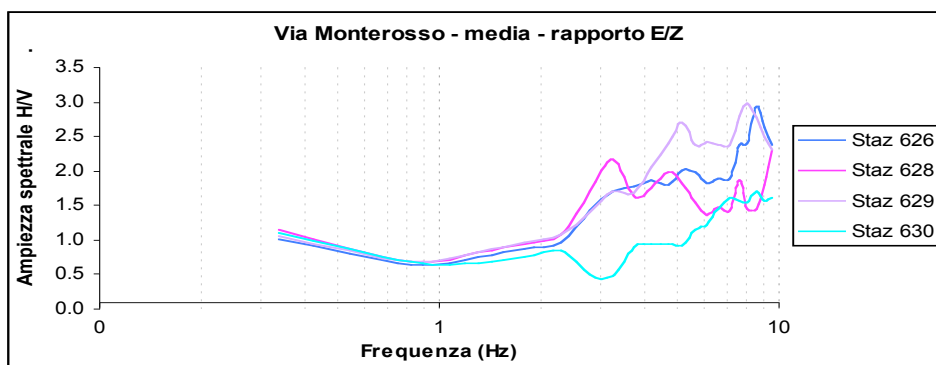


Figura 19. Confronto tra i rapporti spettrali E/Z di ogni stazione del sito di Via Monterosso per i valori medi.

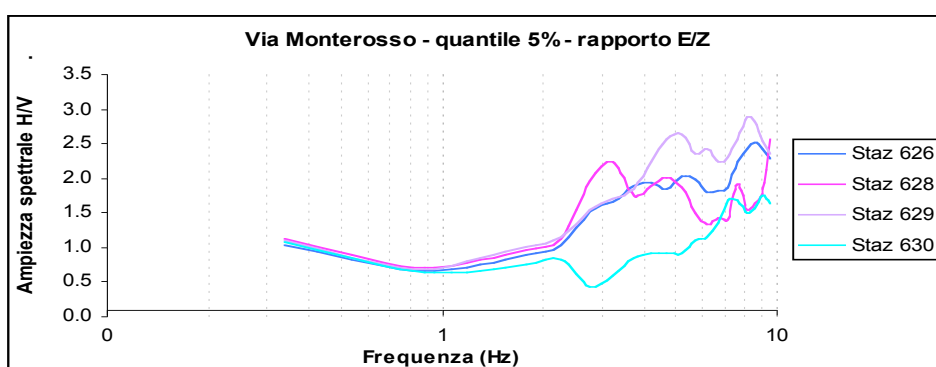


Figura 20. Confronto tra i rapporti spettrali E/Z di ogni stazione del sito di Via Monterosso per i valori del quantile al 5%.

Confrontando le quattro stazioni contemporaneamente si nota come fino a 2 Hz abbiano un comportamento comune che successivamente perdono, diversamente da come mostrato dagli spettri di Fourier.

Il picco a 3 Hz notato per Piazza Palestro qui si riscontra solo per la stazione 628, mentre per le restanti tre non si hanno picchi significativi.

La caratteristica comune è l'avvallamento a 1 Hz e la successiva ascesa di tutti e quattro i segnali, meno rilevante nella stazione 630, che presenta piccole escursioni d'ampiezza fino a 7 Hz.

Tale aumento di ampiezza alle alte frequenze è dovuto probabilmente al fatto che il terreno al di sotto delle stazioni è molto scadente essendo costituito, come detto precedentemente, da un grosso banco di riporto poggiante su materiale lavico fratturato.

4.3 Acquisizione al Boschetto Playa

Nel sito del Boschetto Playa le quattro stazioni sono state posizionate direttamente sul terreno, ad una distanza l'una dall'altra di circa 15 m e circa 40 m nel lato lungo. La posizione delle stazioni è indicata sulla mappa in Figura 21.



Figura 21. Posizionamento delle stazioni nel sito del Boschetto Playa.

Le registrazioni sono iniziate intorno alle 23:50 GMT (00:50 ora locale) e si sono concluse intorno alle 02:25 GMT (03:25 ora locale). La frequenza di campionamento è stata mantenuta al valore di 100 Hz. Le tracce ottenute sono state tagliate all'inizio e alla fine per ottenere 2 ore di segnale utile (00:15 – 02:15 GMT).

In Figura 22 si riportano le componenti orizzontali E registrate per le quattro stazioni.

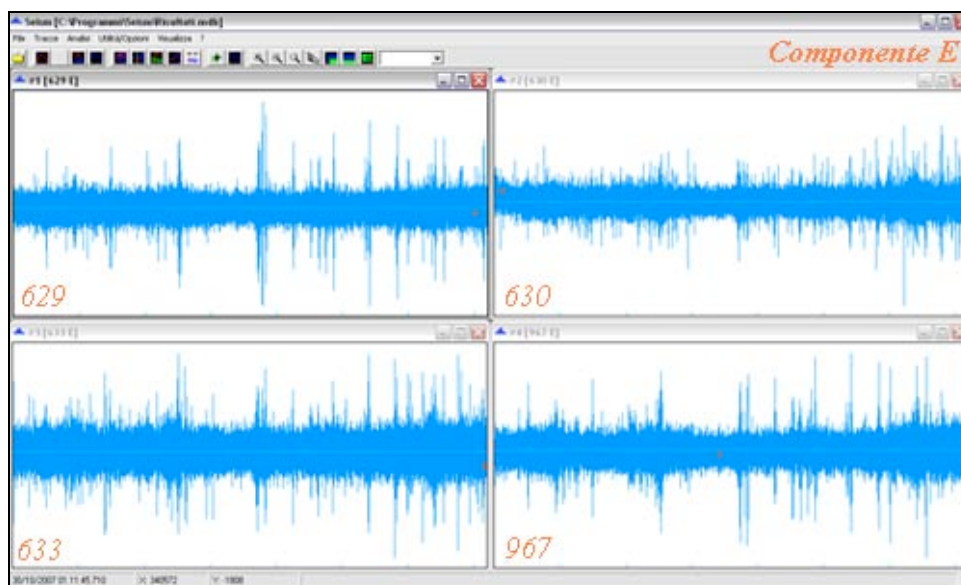


Figura 22. Visualizzazione della componente E di ogni stazione per il sito del Boschetto Playa.

Le misure sono state effettuate all'interno del Boschetto, fuori dal centro abitato. Di conseguenza, i segnali risultano molto più stabili e coerenti l'uno con l'altro, seppur presentando qualche picco disperso.

Il segnale meno affetto da disturbi sembra essere quello della stazione 630, mentre quello che ne ha sofferto maggiormente è quello della 967.

Gli altri due sono in una condizione intermedia; tuttavia si può affermare che la qualità delle registrazioni è buona.

Di seguito sono mostrati gli spettri di Fourier della componente E delle quattro stazioni, per la media (Figura 23) e per il quantile al 5% (Figura 24).

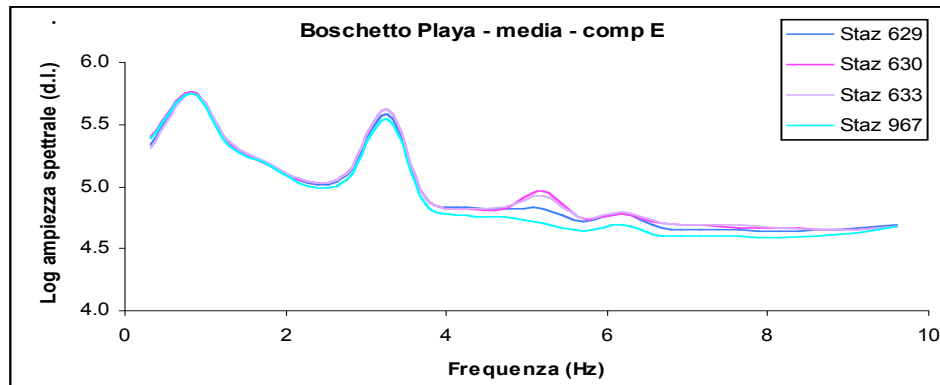


Figura 23. Confronto tra le ampiezze spettrali di ogni stazione del sito del Boschetto Playa per i valori medi.

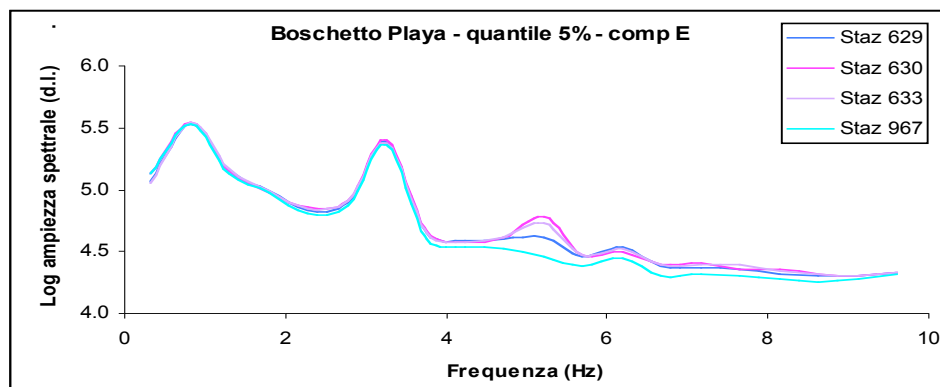


Figura 24. Confronto tra le ampiezze spettrali di ogni stazione del sito del Boschetto Playa per i valori del quantile al 5%.

Il picco a circa 3 Hz, simile a quello presente nel sito di Piazza Palestro, è perfettamente coincidente per tutte e quattro le stazioni sia per le medie che per i quantili. La coincidenza si perde un po' per il picco a circa 5 Hz, presente essenzialmente solo in due stazioni, 630 e 633, e appena accennato nella stazione 629.

Nella stazione 967 tale picco si perde completamente, con il segnale che torna ad essere coincidente con le altre stazioni solo dopo i 6 Hz.

Di seguito sono riportati i confronti fra i rapporti spettrali E/Z dei valori medi (Figura 25) e dei quantili al 5% (Figura 26) delle quattro stazioni.

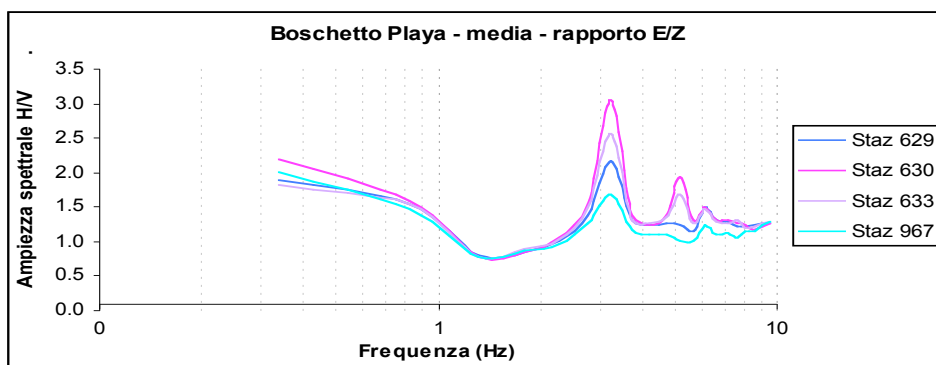


Figura 25. Confronto tra i rapporti spettrali E/Z di ogni stazione del sito del Boschetto Playa per i valori medi.

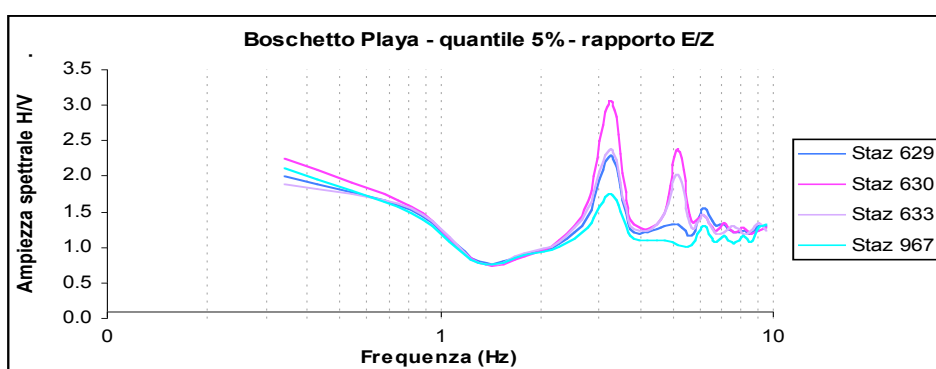


Figura 26. Confronto tra i rapporti spettrali E/Z di ogni stazione del sito del Boschetto Playa per i valori del quantile al 5%.

Confrontando insieme le quattro stazioni si nota che presentano lo stesso andamento, con i picchi principali (~3, ~5, ~7 Hz) ad ampiezze differenti.

Diversamente da come visto negli spettri, il picco a 3 Hz non è coincidente fra le stazioni ma si trova a differente ampiezza. In particolare la risposta maggiore si ha per la stazione 630, che dai segnali (Figura 22) era risultata la più pulita.

4.4 Confronto dei tre siti

Come ultima analisi, si è verificata la tendenza generale dell'area comunale investigata, calcolando per ogni sito una media dei rapporti spettrali delle quattro stazioni ottenuti per la componente E del quantile al 5% (Figura 27).

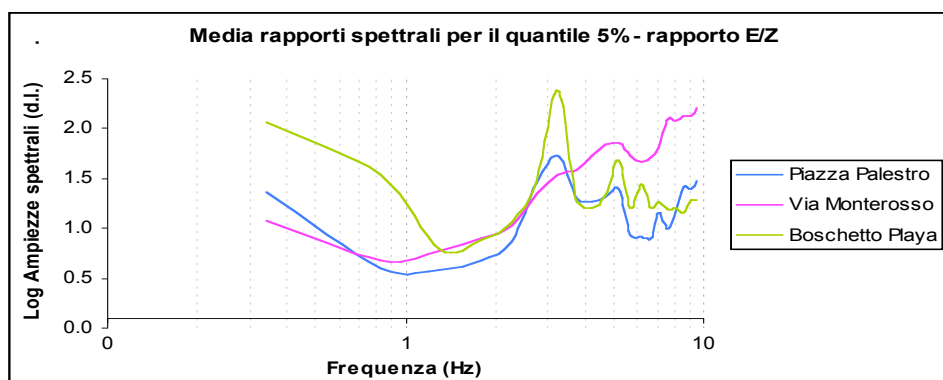


Figura 27. Confronto fra le ampiezze spettrali caratteristiche dei tre siti, ottenute dalla media dei rapporti spettrali E/Z delle quattro stazioni per il quantile al 5%.

Il confronto delle medie delle quattro stazioni dei tre siti mostra, come già affermato precedentemente, la presenza di un picco predominante a circa 3 Hz per i siti di Piazza Palestro e del Boschetto Playa.

Questa evidenza risulta molto singolare e desta un certo interesse, in quanto tale picco è riconducibile, solitamente, a strutture geologiche più estese, come bacini e piane alluvionali, rispetto a strutture a piccola misura le cui caratteristiche mostrano un'alta variabilità orizzontale come nella complessa situazione di Catania. Tale risultato si poteva prevedere per il sito del Boschetto Playa ma era difficilmente intuibile per Piazza Palestro, dove si riscontra una stratigrafia del terreno abbastanza eterogenea.

In Via Monterosso, come si era già notato nei grafici esaminati precedentemente, la tendenza è differente: si riscontrano maggiormente dei picchi fra 5-8 Hz che potrebbero dipendere dalle scarse qualità meccaniche del terreno su cui poggiavano le stazioni.

Infine, si può concludere affermando che le misure eseguite in Via Monterosso e al Boschetto Playa si sono rivelate meno affette da disturbi antropici rispetto quelle acquisite in Piazza Palestro. La spiegazione di ciò è da ricercarsi, soprattutto, nelle differenze di densità di popolazione e di orario di frequentazione delle zone. Entrambi i fattori incidono in modo negativo sul sito di Piazza Palestro che si trova in una zona centrale di Catania, a differenza di Via Monterosso situata in periferia e del Boschetto Playa situato in area boschiva vicino al mare.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori intendono ringraziare tutti coloro che, a vario titolo, hanno contribuito alla realizzazione e allo svolgimento di questo progetto. Un ringraziamento speciale va al *Dott. Luciano Zuccarello*, responsabile del gruppo Rete Mobile dell'Unità Funzionale Sismologia dell'INGV Sezione di Catania e al *Prof. Michele Maugeri*, direttore del Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale della Università di Catania. Si ringrazia, infine, per il supporto logistico, il personale del *Distaccamento Reparto a Cavallo della Polizia di Stato* presso il Boschetto Playa e quello del *Comune di Catania*.

Gli autori desiderano anche ringraziare i *recensori* per l'utile contributo alla stesura finale del documento.

BIBLIOGRAFIA

Bard, P.-Y., (1997). *Local effects on strong ground motion: basic physical phenomena and estimation methods for microzoning studies*. Proc. Advanced study course on seismic risk "SERINA", 21-27 September, Thessaloniki, Greece.

Bard, P.-Y., Duval, A., Lebrun, B., Lachet, C., Riepl, J., Hatzfeld, D., (1997). *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.

- Condarelli, D., (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.
- Di Grazia, G., Falsaperla, S., Langer, H. (2006). *Volcanic tremor location during the 2004 Mt. Etna lava effusion*, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L04304, doi:10.1029/2005GL025177.
- Ferrara, V., (1979). *Carta Geologica del Monte Etna alla scala 1:50.000*. C.N.R. Prog. Fin. Geodinamica. INGV (Catania).
- Field, E. and Jacob, K., (1995). *A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference-site dependent*. BSSA, Vol. 85(4), pp. 1127-1143.
- Gallipoli, M.R., Mucciarelli, M., EERI, M., Gallicchio, S., Tropeano, M., Lizza, C., (2004). *Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) Measurements in the Area Damaged by the 2002 Molise, Italy, Earthquake*. *Earthquake Spectra*, Volume 20, No. S1, pages S81-S93, July 2004.
- Langston, C.A., (1979). *A single-station fault-plane solution method*. *Geophys. Res. Letters*, 6:41-44.
- Lennartz electronic GmbH Documentation, (2006). *LE-xD Seismometer Family (doc 990-0003)*. Lennartz electronic GmbH (<http://www.lennartz-electronic.de>)
- Malagnini, L., P. Tricarico, A. Rovelli, R. Herrmann, S. Opice, G. Biella and R. De Franco, (1996). *Explosion, earthquake and ambient noise recordings in a pliocene sediment-filled valley: inferences on seismic response properties by reference and non-reference site techniques*. BSSA, Vol. 86(3), pp. 670-682.
- Marchetti, (2004). *Indagini Boschetto della Playa S.Giuseppe dell'Arena - Prove con dilatometro sismico (SDMT)*. Università degli studi di Catania, 8 Luglio 2004.
- Moschella, A., (1998). *Caratterizzazione geotecnica di due siti nella città di Catania da prove statiche e dinamiche in situ e in laboratorio*. Tesi di laurea, DICA, Facoltà di Ingegneria di Catania.
- 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>)
- Patanè, D. and Ferrari, F., (1998). *SEISMPOL a VISUAL-BASIC computer program for interactive and automatic earthquake waveform analysis*. *Computer & Geosciences*, Vol.23, No.9.
- Riepl, J., Bard P.-Y., Papaioannou, C., Nechtschein, S., (1998). *Detailed evaluation of site response estimation methods across and along the sedimentary valley of Volvi (EUROSEISTEST)*. BSSA, Vol. 88, pp. 488 – 502.
- Tokimatsu, K., (1995). *Geotechnical site characterization using surface waves*. First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering-IS-TOKYO '95.
- Turco, C.E., (2003). *Analisi della risposta sismica da prove in situ e di laboratorio per due siti con differente tipo di terreno*. Tesi di laurea, DICA, Facoltà di Ingegneria di Catania.

Coordinamento editoriale e impaginazione

Centro Editoriale Nazionale | INGV

Progetto grafico e redazionale

Laboratorio Grafica e Immagini | INGV Roma

© 2009 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