## UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



## FACOLTÀ DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE E NATURALI

## DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE DELLA TERRA XVIII CICLO



## MISURE DI VIBRAZIONI SISMICHE NELL'AREA URBANA DI NAPOLI

RELATORE: PROF. CONCETTINA NUNZIATA

COORDINATORE: PROF. GIULIANO CIAMPO DOTTORANDA: CAROLA DI ALESSANDRO

## **INDICE**

### INTRODUZIONE

#### 1 - REVIEW BIBLIOGRAFICO SULLE VIBRAZIONI SISMICHE

| 1.1 Introduzione   | 9  |
|--|----|
| 1.1.1 Origine del rumore sismico                         | 9  |
| 1.1.2 Campo d'onda del rumore sismico                    | 10 |
| 1.2 Microtremori e risposta di sito                      | 11 |
| 1.2.1 Utilizzo dei microtremori                          | 11 |
| 1.2.2 Spettri assoluti                                   | 12 |
| 1.2.3 Rapporti spettrali con un sito di riferimento      | 13 |
| 1.2.4. Rapporti spettrali H/V                            | 13 |
| 1.2.5 Array sismici                                      | 16 |
| 1.3 Misura delle vibrazioni secondo le normative vigenti | 17 |
| 1.3.1 Caratteristiche generali del fenomeno vibratorio   | 17 |
| 1.3.2 Norma UNI 9916-2004                                | 19 |
| 1.3.3 Norma UNI 11048-2003                               | 22 |

# 2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOFISICO DELL'AREA URBANA DI NAPOLI

| 2.1 Classificazione sismica e sismicità storica                            | 26 |
|--|----|
| 2.2 Inquadramento geologico  | 28 |
| 2.2.1 Introduzione e prodotti vulcanici presenti                           | 28 |
| 2.2.2 Inquadramento geologico dell'area urbana napoletana                  | 32 |
| 2.3 Caratterizzazione geologico – tecnica e geofisica dei terreni presenti | 34 |
| 2.4 Studi di Microzonazione sismica e stime di amplificazione sismica      | 37 |
|  |    |

### 3 - METODOLOGIA DI ANALISI DEI SEGNALI

| 3.1 Strumentazione utilizzata                          | 41 |
|--|----|
| 3.2 Analisi dei segnali                                | 43 |
| 3.2.1 Introduzione                                     | 43 |
| 3.2.2 Preprocessamento dei segnali estratti dalla Q330 | 43 |
| 3.2.3 Analisi spettrale                                | 47 |
| 3.2.4 Integrazione delle tracce ed analisi spettrale   | 51 |

## 4 - MISURE DI RUMORE SISMICO NEL TERRITORIO URBANO DI NAPOLI

| 4.1 Introduzione | 55 |
|------------------|----|
| 4.2 Zona 1       | 58 |

pag.

6

| 4.2.1 Inquadramento generale                                   | 58  |
|--|-----|
| 4.2.2 Punti di misura e risultato delle analisi                | 59  |
| 4.2.3 Sintesi dei risultati per la Zona 1                      | 69  |
| 4.3 Zona 2   | 71  |
| 4.3.1 Inquadramento generale                                   | 71  |
| 4.3.2 Punti di misura e risultato delle analisi                | 71  |
| 4.3.3 Sintesi dei risultati per la Zona 2                      | 95  |
| 4.4 Zona 3   | 98  |
| 4.4.1 Inquadramento generale                                   | 98  |
| 4.4A Zona 3 N  | 98  |
| 4.4A.1 Inquadramento   | 98  |
| 4.4A.2 Punti di misura e risultato delle analisi               | 98  |
| 4.4A.3 Sintesi dei risultati per la Zona 3 N                   | 106 |
| 4.4B Zona 3 S  | 108 |
| 4.4B.1 Inquadramento   | 108 |
| 4.4B.2 Punti di misura e risultato delle analisi               | 108 |
| 4.4B.3 Sintesi dei risultati per la Zona 3 S                   | 126 |
| 4.5 Zona 4   | 129 |
| 4.5.1 Inquadramento generale                                   | 129 |
| 4.5.2 Punti di misura e risultato delle analisi                | 129 |
| 4.5.3 Sintesi dei risultati per la Zona 4                      | 135 |
| 4.6 Zona 5   | 137 |
| 4.6.1 Inquadramento generale ed introduzione misure effettuate | 137 |
| 4.6A Misure nell'area urbana                                   | 138 |
| 4.6A.1 Punti di misura e risultato delle analisi nei siti      | 138 |
| 4.6B Misure nel Complesso di San Marcellino                    | 143 |
| 4.6B.1 Cenni storici ed informazioni sull'edificio             | 143 |
| 4.6B.2 Punti di misura   | 146 |
| 4.6B.3 Risultati delle analisi                                 | 147 |
| 4.6B.4 Discussione sui risultati                               | 154 |
| 4.6.2 Sintesi dei risultati per la Zona 5                      | 155 |
| 4.7 Zona 6   | 157 |
| 4.7.1 Inquadramento generale                                   | 157 |
| 4.7.2 Punti di misura e risultato delle analisi                | 157 |
| 4.7.3 Sintesi dei risultati per la Zona 6                      | 160 |
|  |     |

## 5 – ANALISI LIVELLI VIBRAZIONI SECONDO NORMATIVA

| 5.1 Introduzione e metodologia di analisi | 162 |
|---|-----|
| 5.2 Zona 1                                | 163 |
| 5.3 Zona 2                                | 166 |
| 5.4 Zona 3                                | 173 |
| 5.4.1 Zona 3N                             | 173 |
| 5.4.2 Zona 3S                             | 175 |
| 5.5 Zona 4                                | 182 |
| 5.6 Zona 5                                | 184 |

| 5.6.1 Area urbana                 | 184 |
|-----------------------------------|-----|
| 5.6.2 Complesso di San Marcellino | 185 |
| 5.7 Zona 6                        | 186 |

## 6 - ANALISI REGISTRAZIONI ACCELEROMETRICHE

| 6.1 Introduzione  | 189 |
|---|-----|
| 6.2 Analisi dell'evento sismico del 26 Novembre 2003        | 189 |
| 6.2.1 Segnale registrato al Parco Virgiliano (Posillipo)    | 189 |
| 6.2.2 Analisi spettrale dei segnali                         | 194 |
| 6.2.3 Confronto con le analisi dei microtremori             | 199 |
| 6.3 Analisi dell'evento sismico del 21 Maggio 2005          | 200 |
| 6.3.1 Localizzazione e parametri dell'evento                | 200 |
| 6.3.2 Segnali registrati dalle stazioni sismiche temporanee |     |
| installate a Posillipo, Mostra d'oltremare e Ponticelli     | 204 |
| 6.3.3 Analisi spettrale dei segnali                         | 205 |
| 6.3.4 Confronto con le analisi dei microtremori             | 218 |

### 7 – CONCLUSIONI

| 7.1 Sintesi sulle analisi di vibrazioni sismiche             | 224 |
|--|-----|
| 7.1.1 Livello di velocità                                    | 224 |
| 7.1.2 Livello di accelerazione                               | 226 |
| 7.2 Sintesi delle analisi di microtremore con la tecnica H/V | 228 |
| 7.2.1 Distribuzione dei risultati                            | 228 |
| 7.2.2 Discussione sui risultati                              | 231 |
| 7.3 Tematiche aperte e prospettive future                    | 234 |
|  |     |

| RINGRAZIAMENTI | 236 |
|----------------|-----|
| BIBLIOGRAFIA   | 237 |

**INTRODUZIONE** 

#### Introduzione

Il presente lavoro riguarda le analisi del rumore sismico acquisito in varie aree dell'area urbana napoletana, con il duplice scopo di valutarne il livello delle vibrazioni naturali e di stimarne l'amplificazione del moto sismico al suolo per effetto della copertura dei terreni presenti.

In questa ottica, il progetto svolto ha previsto le analisi di misure condotte in siti che sono risultati passibili di una amplificazione sismica non trascurabile in studi precedenti effettuati dalla prof. Nunziata nell'ambito del progetto "Realistic modeling of seismic input for megacities and large urban areas (the UNESCO/IUGS/IGCP project 414)", infittendo di conseguenza le stime in alcune aree specifiche ed estendendo lo studio ad ulteriori siti caratterizzati da rilevanza strategica dal punto di vista architettonico, culturale, economico o di importanza civile.

L'analisi condotta è stata svolta a posteriori della revisione critica dei dati relativi alla geologia di superficie ed agli aspetti stratigrafico - morfologici, geofisici e sismologici; tale indagine di dettaglio fa emergere la complessità della zona di interesse, caratterizzata da una varietà di situazioni geolitologiche e geomorfologiche che determinano l'effettivo modo di esplicarsi delle sollecitazioni prodotte da un eventuale sisma.

Le misure strumentali condotte tramite stazioni sismiche temporanee in tali siti strategici hanno portato all'analisi della sismicità di fondo imputabile sia a cause antropiche sia a reali sorgenti sismiche; a tal proposito, vale la pena menzionare la fortunata coincidenza di un evento sismico di Magnitudo 3.8 originatosi nell'area beneventana il 21 Maggio 2005 e registrato durante la campagna di acquisizione di microtremori nel quartiere di Ponticelli.

Il lavoro svolto ha permesso l'ottimizzazione delle analisi dei microtremori attraverso un software realizzato ad hoc in ambiente Matlab, volto al processing dei segnali stessi in termini di analisi spettrale, con particolare riguardo alla implementazione della tecnica di Nakamura; ideata da Nakamura nel 1989 ed utilizzata con successo in numerosi casi di studi volti a stimare la risposta sismica locale di alcuni siti sia in ambito urbano che extraurbano (citiamo ad esempio i lavori di Kobayashi, 1997; Irikura & Kawanata, 1980; Bard, 1998; Lermo *et al.*, 1988; Seo, 1998; Hough *et al.*, 1991 e 1992; Yamanaka *et al.*, 1993; Field *et al.*, 1990; Milana *et al.*, 1996; Field & Jacob, 1993; Ibs-Von Seht & Wohlenberg, 1999), questa tecnica utilizza il rapporto tra la media degli spettri in frequenza delle componenti orizzontali dei segnali sismici rispetto a quello verticale, e, tramite alcune assunzioni, consente l'individuazione della frequenza fondamentale di risonanza dei siti.

Le finalità del lavoro svolto si concretizzano nella quantificazione del livello delle vibrazioni naturali dei siti, con particolare attenzione alla vigente normativa in materia (normative UNI 9916 ed UNI 11048), ed alla stima delle frequenze di risonanza nell'area urbana.

In prospettiva futura, il riconoscimento delle aree maggiormente passibili di amplificazione, congiuntamente all'individuazione delle zone di importanza civile o strategica per la produzione economica oppure di rilevanza artistica o culturale, può permettere l'adeguata progettazione e realizzazione di una rete sismica adibita al monitoraggio su scala comunale composta da stazioni a geometria fissa, mentre l'insieme dei dati raccolti può consentire una verosimile generazione di scenari di evento.

Le analisi descritte possono quindi fornire validi strumenti per una corretta politica di pianificazione territoriale a fini di espansione urbana e/o industriale, consentendo di individuare specifici parametri ingegneristici volti all'adeguamento di strutture preesistenti oppure alla progettazione di nuove.

In tal modo risulta possibile ridurre il Rischio Sismico in aree urbane densamente antropizzate dove la pericolosità sismica si lega ad elevati valori di Esposizione e Vulnerabilità.

## **CAPITOLO 1**

# REVIEW BIBLIOGRAFICO SULLE VIBRAZIONI

#### **1. REVIEW BIBLIOGRAFICO SULLE VIBRAZIONI**

#### **1.1 INTRODUZIONE**

#### 1.1.1 Origine del rumore sismico

Già a partire dagli ultimi anni del XIX secolo, sono stati pubblicati numerosi articoli incentrati sulle vibrazioni del terreno e sulle cause che le provocano. In generale, le vibrazioni sono causate da un vasto range di sollecitazioni, non soltanto sismiche, che nel loro insieme costituiscono il rumore sismico.

Il rumore sismico è costituito da oscillazioni della superficie terrestre di piccola ampiezza, con spostamenti dell'ordine di  $10^{-4} - 10^{-2}$  mm (Okada, 2003), spesso al di sotto della soglia di percezione umana.

Tali oscillazioni possono esser prodotte da sorgenti naturali, come vento, onde del mare e perturbazioni meteorologiche, oppure da sorgenti artificiali per lo più legate all'attività antropica, come ad esempio il traffico veicolare, attività industriali etc.

Alcuni studi (Gutenberg 1958, Asten 1978, Asten et Henstridge 1984) introducono la distinzione tra microsismi e microtremori a seconda dell'origine naturale od antropica degli stessi, indagando gli intervalli di frequenza delle vibrazioni connesse. La seguente Tabella 1.1 illustra una sintesi dei risultati proposti negli articoli precedentemente citati.

| SODCENTI                                    | Gutenberg (1958) | Asten         |  |
|---|------------------|---------------|--|
| SORGENTI                                    |                  | (1978 – 1984) |  |
| Onde oceaniche sulle coste                  | 0.05 – 0.1 Hz    | 0.5 – 1.2 Hz  |  |
| Perturbazioni metereologiche a grande scala | 0.1 – 0.25 Hz    | 0.16 – 0.5 Hz |  |
| Cicloni oceanici                            | 0.3 – 1 Hz       | 0.5 – 3 Hz    |  |
| Condizioni meteorologiche locali            | 1.4 – 5 Hz       |               |  |
| Tremori vulcanici                           | 2 - 10 Hz        |               |  |
| Attività antropica                          | 1 – 100 Hz       | 1.4 – 30 Hz   |  |

**Tab. 1.1:** Sintesi delle sorgenti di rumore sismico in funzione degli intervalli di frequenza, secondo i lavori di Guntenberg (1958) e Asten (1978,1984).

Per quanto riguarda le sorgenti di rumore sismico, si può quindi affermare che a basse frequenze (inferiori ad 1 Hz) le sorgenti sono naturali, ad esempio oceani,

condizioni metereologiche a grande scala (Santo 1960, 1963; Sakaji 1998); a frequenze intermedie (tra 1 e 5 Hz) le sorgenti sono sia naturali (condizioni atmosferiche locali) sia antropiche, mostrando una variabilità diurna e notturna ma dimostrandosi perlopiù stazionarie in un intorno spaziale di 1.5 Km e per un estensione temporale di 45 minuti (Okada, 2003); a frequenze superiori (maggiori di 5 Hz) le sorgenti sono essenzialmente antropiche.

#### 1.1.2 Campo d'onda del rumore sismico

Per quanto riguarda la descrizione della natura del rumore sismico, l'analisi della bibliografia disponibile rivela una assenza di conclusioni univoche.

In generale, per definire la composizione del campo d'onda del rumore sismico occorre investigare i rapporti tra le onde di volume e superficiali, tra le onde di Rayleigh e le onde di Love, e tra il modo fondamentale di Rayleigh ed i modi superiori

Come riportato in Bonnefoy (2004), in letteratura sono state applicate numerose tecniche per stimare il rapporto tra le onde di volume e le onde superficiali; ad esempio, la tecnica applicata da Douze (Douze 1964, 1967) analizza la variazione del rapporto tra l'ampiezza spettrale del rumore misurato in profondità e del rumore misurato in superficie in funzione del periodo, mostrando che a frequenze superiori a 0.5 Hz le onde registrate in superficie sono essenzialmente onde superficiali con una frazione di onde P. Altre analisi (Yamanaka *et al.* 1994) hanno confrontato il rapporto spettrale tra le componenti orizzontali e la componente verticale del segnale registrato in superficie con le curve di ellitticità per il modo fondamentale delle onde di Rayleigh, mostrando che, per siti posti su sedimenti, esiste una buona correlazione tra 0.1 e 10 Hz. In generale, includendo anche i lavori di Li et al. (Li *et al.* 1984) e di Horike (Horike 1985), si può concludere che il rumore sismico a frequenza inferiore ad 1 Hz è costituito maggiormente dal modo fondamentale delle onde di Rayleigh, mentre a frequenze superiori si realizza un melange complesso tra onde P e modi superiori delle onde di Rayleigh.

Per quanto riguarda la stima del rapporto tra onde di Rayleigh e le onde di Love, le analisi condotte da diversi gruppi di ricerca portano a risultati tra loro discordi. Come evidenziato da Ohmachi e Umezono (Ohmachi *et al.* 1998), la proporzione delle onde di Rayleigh all'interno del rumore sismico varia in funzione del tipo di eccitazione

(forza in direzione verticale, trasversale o radiale), della direzione di osservazione e del contrasto di impedenza sismica dei terreni presenti. Chouet et al. (Chouet *et al.* 1998) Yamamoto (Yamamoto, 2000) ed Arai (Arai *et al.* 1998, 2000) hanno utilizzato metodi di autocorrelazione spaziale SPAC (Aki 1957, 1965), nel dominio F-K (tecnica "beamforming"), al fine di investigare tremori vulcanici e rumore antropico, mentre Cornou (Cornou, 2002) ha applicato la tecnica MUSIC per investigare le basse frequenze (< 1 Hz) nel bacino sedimentario di Grenoble (Francia); i risultati da loro ottenuto mostrano che il rapporto tra le onde di Rayleigh e le onde di Love varia da 23% e 77% (siti vulcanici) a 60% e 40% (bacini sedimentari con di profondità ~ 500 metri).

Per quanto riguarda la questione della presenza dei modi superiori delle onde di Rayleigh all'interno del campo d'onda del rumore sismico, Tokimatsu (Tokimatsu, 1997) propone una serie di curve teoriche di dispersione dei vari modi delle onde di Rayleigh, evidenziando che in generale il rumore sismico contiene i modi superiori, la cui eccitazione dipende essenzialmente dal profilo di velocità delle onde S rispetto alla profondità.

#### **1.2 MICROTREMORI E RISPOSTA DI SITO**

#### 1.2.1 Utilizzo dei microtremori

Dovuto al costo limitato, alla relativa facilità ed al carattere non invasivo dell'acquisizione di rumore sismico, sia in contesti urbani che al di fuori di aree antropizzate, negli ultimi anni si sono moltiplicati i casi di utilizzo dei microtremori applicati agli studi di risposta di sito ed alle stime degli effetti locali.

A partire dal terremoto del Messico nel 1985, si sono investigate le possibilità che i rapporti spettrali condotti su microtremori possano ben correlarsi, e quindi predire, effetti di amplificazione sismica osservati in siti posti su terreni sciolti all'occorrenza di eventi sismici.

Già introdotto in Giappone da parecchio tempo, il metodo di analisi dei microtremori suscita ancora scetticismi nel mondo scientifico "occidentale", principalmente a causa della difficoltà riscontrata nella discriminazione degli effetti legati alla sorgente sismica da quelli legati puramente alle condizioni del sito, e delle discrepanza osservata tra microtremori ed eventi sismici.

11

Infatti, anche per siti non lontani tra loro, le sorgenti possono variare notevolmente, specialmente in un breve lasso di tempo; di conseguenza esistono incertezze nella determinazione delle ampiezze spettrali, che non sono legate soltanto alle condizioni di sito, ma anche agli effetti di sorgenti e di propagazione. Inoltre, a causa di variazioni significative dei livelli di rumore durante il giorno e la notte, sarebbe opportuno ripetere le misurazioni in diverse ore del giorno, incrementando di conseguenza i costi ed i tempi di esecuzione delle analisi.

I microtremori possono esser utilizzati in quattro differenti maniere in relazione alle condizioni di sito, prendendo in considerazione:

- Spettri assoluti
- Rapporti spettrali con un sito di riferimento
- Rapporti spettrali H/V
- Array sismici

#### 1.2.2 Spettri assoluti

Nell'assunzione proposta da Kanai (1954) che i microtremori corrispondano alle onde S incidenti verticalmente, e che lo spettro incidente sia bianco (similarità con i terremoti), le caratteristiche spettrali dei microtremori potrebbero esser relazionati alla funzione di trasferimento delle onde S per terreni superficiali.

E' stato frequentemente notato da scienziati giapponesi che le caratteristiche spettrali dei microtremori mostrano una correlazione con le condizioni geologiche di sito: per esempio, frequenze alte di picco (f > 5 Hz) indicano siti posti su terreni rigidi, mentre frequenze di picco inferiori sono indicative di siti posti su depositi più soffici e spessi. In generale, un aumento di ampiezza degli spettri è associato alla diminuzione di rigidezza dei terreni. In tal modo, attraverso l'individuazione combinata delle frequenze e delle ampiezze di picco di spettri assoluti mediati, si possono fornire indicazioni qualitative per le condizioni di sito (Kanai, 1983).

Le frequenze di picco possono esser interpretate come le frequenze fondamentali di risonanza per i siti investigati; è stato notato da Bard (1999) che tale assunzione è tanto più riscontrabile quanto più i siti presentano un elevato contrasto di impedenza, tale da intrappolare le onde sismiche (Città del Messico – Lermo *et al.*, 1988, Seo, 1998; San Francisco Bay – Hough *et al.*, 1991; Valle Tiberina – Hough *et al.*, 1992). Quando il

contrasto di impedenza è meno accentuato, lo spettro dei microtremori può riflettere maggiormente gli effetti di sorgente, sia naturale che antropica (Los Angeles – Yamanaka *et al.*, 1993; New York – Field *et al.*, 1990; Rieti – Milana *et al.*, 1996).

La tecnica descritta può esser applicata ad ogni sito, ed è stata spesso utilizzata per identificare le variazioni e discontinuità laterali (Irikura & Kawanata, 1980), correlare i danneggiamenti osservati dopo eventi sismici (Seo, 1996 e 1998; Koyama, 1996), e effettuare un rapido screening per le condizioni di sito da applicare, ad esempio, in contesti urbanizzati (Kobayashi, 1997).

#### 1.2.3 Rapporti spettrali con un sito di riferimento

Modificata dalla tecnica originale proposta da Borcherdt (1970) nel caso di eventi sismici di moderata magnitudo, la tecnica si basa sul computo dei rapporti spettrali tra componenti omologhe registrate in contemporanea, rispettivamente su terreni sciolti e su sito di riferimento.

La tecnica presuppone che il sito di riferimento si trovi nelle vicinanze, sia costituito da roccia o da terreno consistente e che non sia condizionato da eventuali effetti di sito; inoltre, si presuppone che il campo d'onda misurato sia omogeneo e consistente, almeno nell'area di indagine. Ciò può non verificarsi in contesti urbanizzati, in cui sussistono sorgenti di rumore generate dall'attività antropica, che variano notevolmente nel tempo e nello spazio.

In generale, i rapporti spettrali col sito di riferimento esibiscono una buona stabilità per frequenze ragionevolmente basse; qualora si vogliano investigare frequenze più alte, occorre selezionare siti di riferimento posti a distanza massima di circa 500 metri.

#### 1.2.4. Rapporti spettrali H/V

La presente tecnica prevede il computo del rapporto spettrale tra la media degli spettri di Fourier delle componenti orizzontali e della componente verticale ed è facilmente applicabile alle registrazioni provenienti da stazioni singole poste su sedimenti.

Numerosi autori giapponesi, tra cui Nogoshi & Igashi (1971) e Kobayashi (1980), hanno mostrato una buona correlazione tra i rapporti H/V dei microtremori con la forma dell'ellitticità delle onde di Rayleigh, la cui prima frequenza di risonanza coincide con la frequenza fondamentale di risonanza per un sito posto su sedimenti; la forma della curva di ellitticità dipende fortemente dal contrasto di impedenza tra i sedimenti, e risulta condizionata dalla polarizzazione del modo fondamentale delle onde di Rayleigh.

In questa ottica, si presuppone che il campo d'onda del rumore sia costituito in predominanza da onde superficiali e che la componente verticale del rumore sia predominata dalle onde di Rayleigh; in questo caso, numerosi autori concordano che la forma della curva di ellitticità dipende dalla frequenza e presenta un forte picco nell'intorno della frequenza fondamentale di siti caratterizzati da un forte contrasto di impedenza tra i materiali in affioramento ed in profondità (oltre i precedenti, Field & Jacob, 1993; Lachet & Bard, 1994; Horike, 1996; Tokimatsu et al., 1996; Konno & Ohmachi, 1998 e Fäh, Kind e Giardini, 2001).

La tecnica è stata modificata da Nakamura (1989), il quale interpreta il rapporto H/V come una affidabile stima della funzione di trasferimento delle onde S per un dato sito, trascurando la presenza di onde superficiali nel campo d'onda.

Successivamente alle critiche formulate per questa assunzione, Nakamura ha revisionato la sua tecnica, proponendone una versione modificata nel 1996. In base a questa, gli spettri di Fourier delle componenti orizzontali e verticale del rumore (rispettivamente  $S^{HN}$  (f) e  $S^{NV}$  (f)), sono costituiti sia da onde di volume (pedice b) che di superficie (pedice s) e sono esprimibili come:

$$S^{NH}(f) = S_b^{H}(f) + S_s^{H}(f) = H_T(f) * R_b^{H}(f) + S_s^{H}(f)$$
$$S^{NV}(f) = S_b^{V}(f) + S_s^{V}(f) = V_T(f) * R_b^{V}(f) + S_s^{V}(f)$$

dove  $H_T$  (f) e  $V_T$  (f) sono le vere funzioni di amplificazione in funzione della frequenza, rispettivamente per le componenti orizzontali e verticale, e  $R_b^H$  (f) e  $R_b^V$  (f) sono gli spettri delle onde di volume del rumore registrato in un sito di riferimento.

Matematicamente si può dimostrare che il rapporto spettrale  $A^{NHV}$  (f) tra  $S^{NH}$  (f) e  $S^{NV}$  (f) può esser scritto come:

$$A^{\text{NHV}}(f) = [H_T(f) * A_r^{\text{NHV}}(f) + \beta * A_S(f)] / [V_T(f) + \beta]$$

dove  $A_r^{NHV}(f)$  è il rapporto spettrale H/V per un sito su roccia,  $\beta$  è la proporzione di onde superficiali nel rumore, misurato nella componente verticale, ed  $A_s$  (f) è il rapporto H/V ascrivibile solo alle onde superficiali.

L'assunzione che, alla frequenza fondamentale di risonanza  $f_{H0}$ , il rapporto H/V misurato in un sito su sedimenti coincida con la funzione di trasferimento, ovvero che

$$A^{\text{NHV}}(f_{\text{H0}}) = H_{\text{T}}(f_{\text{H0}})$$

presuppone che la componente verticale non venga amplificata a  $f_{H0}$ , che il rapporto H/V sia uguale ad 1 a  $f_{H0}$  per i siti su roccia, che  $\beta$  sia molto minore di 1 a  $f_{H0}$ , ed infine che la quantità  $\beta * A_S (f_{H0})$  sia molto inferiore di  $H_T (f_{H0})$ .

L'assunzione presentata risulta accettabile nei siti in cui si verifichi un forte contrasto di impedenza nel profilo dei terreni, ma non può esser estesa a frequenze diverse da quella fondamentale.

In generale il rapporti H/V presentano un picco che è più facilmente correlabile con la frequenza fondamentale di risonanza di un sito rispetto a quanto mostrato dagli spettri assoluti, ma l'ampiezza del picco non è sempre ben correlata con l'amplificazione delle onde S alla frequenza di risonanza, poiché può esser notevolmente influenzata dalla variabilità di alcuni parametri (ad esempio il rapporto di Poisson) vicino alla superficie.

Nonostante la tecnica individui facilmente la frequenza fondamentale, essa fallisce con i picchi successivi e sottostima spesso le amplificazioni osservate.

Tra gli esempi applicativi della tecnica descritta, citiamo il tentativo di mappatura dello spessore dei sedimenti soffici (Ibs-Von Seht & Wohlenberg, 1999) assumendo valida la legge del quarto della lunghezza d'onda, che pone in relazione la frequenza fondamentale di risonanza con lo spessore dei sedimenti H e la velocità delle onde S Vs

$$F_{\rm HO} = V_{\rm S} / 4 * {\rm H}$$

Fah *et al.*, (2003) ha utilizzato i rapporti H/V ottenuti da microtremori per ricavare il profilo delle onde S, relazionando l'ellitticità del modo fondamentale delle onde di Rayleigh e l'ampiezza dei rapporti spettrali calcolati. Tramite l'assunzione di un mezzo omogeneo, stratificato orizzontalmente e monodimensionale, i risultati dell'inversione

sono stati posti a confronto con la curva di ellitticità analitica ottenuta modellando il profilo delle Vs noto attraverso misure in foro, ed i risultati hanno mostrato notevole accordo.

#### 1.2.5 Array sismici

Un ultima tecnica che utilizza i microtremori presuppone la misura in contemporanea lungo stendimenti di sensori con diverse geometrie ad apertura relativamente piccola. Questa tecnica è denominata "correlation method" o SPAC ed è stata introdotta da Aki nel 1957 e ripresa nel 1965, con il presupposto che il campo del rumore sia un campo stocastico e stazionario. La teoria è sviluppata per onde bidimensionali, dispersive e stazionarie sia nello spazio che nel tempo; attraverso l'utilizzo di una antenna sismica e di correlazioni spaziali, è possibile determinare il tipo di onde, le polarizzazioni, e la velocità di fase delle onde che costituiscono il rumore, al fine di invertire le caratteristiche del sottosuolo.

Assumendo che le onde analizzate siano solamente onde superficiali, questa tecnica è consigliata per casi di sorgente di rumore poco profonde e casualmente distribuite in cui le onde superficiali di Rayleigh e Love siano predominanti e per registrazioni di una buona durata, al fine di cogliere l'aspetto stazionario del rumore. Il metodo è stato estensivamente utilizzato in letteratura (Chouet *et al.*, 1998 (a, b); Milana *et al.*, 1996; Barba, 1993).

Per studiare le componenti transitorie del campo del rumore e per individuare i contributi di diverse sorgenti, sono necessari metodi deterministici di analisi F-K (frequenza-numero d'onda). Le diverse tecniche citate di seguito si distinguono per la metodologia di stima della densità spettrale di potenza P(Kx,Ky,f) nel dominio della frequenza e dei numeri d'onda. Questa stima richiede di stimare la matrice cross-spettrale (cross spectral matrix) formata dagli spettri di potenza delle tracce registrate da tutti gli elementi dell'array e dai cross-spettri calcolati tra coppie di elementi distinti.

Il "Metodo Convenzionale", denominato anche "Beam Forming", opera una trasformata bidimensionale del rumore registrato secondo "Slowness-K"; tale metodo è stato applicato ad esempio nella metodologia ReMi (Refraction Microtremor) proposta da John N. Louie nel 2001.

Il metodo denominato "High-Resolution" oppure "High-Resolution Maximum Likehood" è stato introdotto da Capon (1969) il quale assume che il segnale osservato sia stazionario e i suoi costituenti siano non correlati. Queste assunzioni potrebbero funzionare bene per la coda dei sismogrammi, ma non per segnali transienti come le onde di volume oppure segnali che arrivano simultaneamente da diverse direzioni (multipath). Alcuni esempi di applicazione comprendono Liu *et al.*, (2000) e Frankel *et al.*, (1991).

Il metodo denominato "MUSIC" (Multiple Signal Characterization), oppure "Frequency-Slowness Method", presenta un potere risolutivo maggiore, riuscendo a risolvere sorgenti multiple ravvicinate, funziona con segnali sia stazionari che non, è più sensibile alle sorgenti più forti e fornisce una interpretazione geometrica al problema del trovare la direzione di provenienza dei segnali. Introdotto da Schmidt R.O. (1981) e successivamente implementato (Goldstein, 1988; Goldstein & Archuleta, 1987 e 1991 (a,b)), è stato estensivamente applicato a tremori vulcanici (Saccaroti *et al.*, 2003; Almendros *et al.*, 2001 (a,b); Chouet *et al.*, 1997; Chouet, 1996 e 2003).

#### 1.3 MISURA DELLE VIBRAZIONI SECONDO LE NORMATIVE VIGENTI

#### **1.3.1** Caratteristiche generali del fenomeno vibratorio

Il fenomeno vibratorio è un argomento trattato da numerose normative UNI ed ISO: in particolare, le due normative più aggiornate, ovvero la UNI 9916 del 2004 e la UNI11048 del 2003, sono dedicate alla trattazione del fenomeno vibratorio in funzione, rispettivamente, dei criteri di misura e della valutazione degli effetti di queste sugli edifici e come disturbo percepito dalle persone, stabilendo valori di soglia accettabili per i livelli di vibrazione stessi.

La norma 9916 inoltre descrive il fenomeno vibratorio in maniera esaustiva, tenendo in considerazione i fattori che caratterizzano la natura della sorgente di eccitazione e le caratteristiche dinamiche degli edifici su cui si esplicano gli effetti.

In generale, la norma UNI 9916 propone di tener conto dei seguenti fattori:

#### Meccanismo di eccitazione e trasmissione

L'eccitazione prodotta da una sorgente può presentarsi come un moto impresso alla base dell'edificio tramite il terreno oppure come una forza direttamente applicata all'edificio o a suoi elementi o tramite trasferimento di energia per via aerea.

Si possono dunque identificare sorgenti esterne all'edificio (quali ad esempio, *nel caso di moto impresso alla base*: il traffico stradale o ferroviario, le attività di costruzione o demolizione, l'esplosione di mine, il funzionamento di macchine rotanti o di macchine impulsive; *nel caso di forza applicata*: le raffiche di vento e il moto ondoso), e sorgenti interne all'edificio (quali per esempio, il movimento di persone, il movimento di mezzi, il funzionamento di macchine rotanti o impulsive.

#### Durata del fenomeno

In base alla durata del fenomeno vibratorio, si possono distinguere fenomeni continui quando l'eccitazione è presente senza interruzioni per lunghi periodi (per esempio con il periodo di presenza di traffico intenso) o, comunque, quando la durata dell'eccitazione è maggiore di 5  $\tau_0$ , essendo  $\tau_0$  la costante di tempo dell'edificio, definita come:

$$\tau_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \varsigma_0 \cdot f_0}$$

dove  $f_0$  è la frequenza fondamentale dell'edificio e $\varsigma_0$  è il coefficiente di smorzamento associato. Nel caso di fenomeni transitori, l'eccitazione è costituita da una forzante con durata limitata nel tempo e comunque minore di  $5\tau_0$ ; in questo caso il fenomeno è spesso intermittente come, per esempio, nel funzionamento di magli o prese. Se la durata del fenomeno forzante è molto breve, si parla in generale di fenomeno impulsivo.

#### Natura deterministica o aleatoria del fenomeno

Il fenomeno vibratorio può esser considerato come deterministico o aleatorio. Nel primo caso armonico, periodico, quasi-periodico, transitorio ed infine impulsivo. Nel secondo caso rientrano i fenomeni caratterizzati da un andamento stazionario, ergodico, non stazionario di tipo uniformemente modulato ed infine non stazionario generico.

Le distinzioni introdotte sono date solo a titolo di classificazione, poiché, nella realtà, l'eccitazione è caratterizzata da una sovrapposizione delle tipologie individuate.

Distribuzione spettrale del moto

Ciascun tipo di sorgente, e quindi di risposta dell'edificio, si caratterizza per una forma caratteristica dello spettro e per un determinato campo di frequenza in cui lo spettro è concentrato.

Mentre la forma spettrale del moto risultante sull'edificio è profondamente influenzata dalle frequenze proprie e smorzamenti dell'edificio e dei suoi componenti strutturali e varia quindi da caso a caso, il campo di frequenza entro cui si colloca lo spettro per i diversi tipi di sorgente presenta dei valori caratteristici. A tal fine si rimanda a quanto descritto nel paragrafo 1.1.1.

#### 1.3.2 Norma UNI 9916-2004

La norma in questione fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratori al fine di permettere la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica.

In particolare, la norma individua la velocità come la grandezza da misurare, ottenuta sia mediante l'impiego diretto di stazioni sismiche strumentate con velocimetri, sia attraverso integrazione di segnali accelerometrici.

Le modalità di registrazione adottate devono permettere una raccolta di dati nella forma e in quantità sufficienti per una corretta valutazione di tutte le proprietà significative del segnale, distinguendo i casi in cui il fenomeno vibratorio presenti un carattere random (aleatorio), non stazionario oppure intermittente/irregolare.

La scelta delle posizioni di misurazione è determinata dalla tipologia strutturale, dalla natura della sorgente e deve essere effettuata caso per caso in funzione delle finalità dello studio. In linea di principio, occorrerebbe effettuare misure in contemporanea eseguite nei punti strutturali principali dell'edificio, ovvero quelli che determinano la rigidezza dell'edificio, oppure nei punti in cui si presume che il fenomeno vibratorio presenti la massima ampiezza (ad esempio i solai). Secondo le raccomandazioni proposte, nel caso si desideri verificare il livello di vibrazioni alla base dell'edificio, per esempio in rapporto a valori di riferimento forniti da normative, oppure calcolare una funzione di trasferimento tra la vibrazione alla base e la risposta dell'edificio, la posizione di misurazione deve essere scelta in corrispondenza alla fondazione o, nel caso di edifici senza fondazioni, alla base del muro di sostegno esterno. I punti di misurazione sulla fondazione devono essere predisposti, se possibile, sul lato dell'edificio prossimo alla sorgente di vibrazione. Le vibrazioni per ciascun punto devono essere misurate sia in direzione verticale che in due direzioni orizzontali ortogonali, queste ultime scelte possibilmente con riferimento agli assi principali dell'edificio. Nei casi in cui si debba tenere conto della funzione di trasferimento tra sorgente di vibrazione e fondazione, per esempio per valutare l'influenza del terreno sul comportamento dinamico dell'edificio, si devono eseguire misurazioni contemporanee in prossimità della sorgente e della fondazione.

Le modalità di trattamento dei dati dipendono dalla natura dei segnali da analizzare, di tipo deterministico o non deterministico (aleatorio), stazionario o non stazionario, periodico o non periodico, dalla loro durata e distribuzione di energia nel dominio della frequenza, dalle finalità che l'elaborazione si prefigge e dall'accuratezza richiesta all'analisi. In particolare la normativa introduce le seguenti grandezze fisiche:

#### VELOCITA' DI PICCO PUNTUALE (P.P.V. - "Peak Particle Velocity")

E' definita come il valore massimo del modulo del vettore velocità misurato in un dato punto, o ottenuto per integrazione. La determinazione della velocità di picco puntuale (p.p.v.) richiede la misurazione simultanea delle tre componenti mutuamente perpendicolari della velocità nel punto considerato (di solito due componenti orizzontali e la verticale). Le tre componenti devono esser combinate settorialmente per determinare il modulo della velocità risultante, che deve esser confrontato con il valore della velocità di soglia di riferimento stabilito da una apposita normativa. Per l'individuazione di tali valori, si rimanda alla normativa BS 5228 del 1992, la quale tratta il controllo delle effetti dovuti a vibrazioni transitorie (ad esempio le battiture dei pali), ed alla normativa SN 640312 del 1992, la quale riguarda le vibrazioni provocate, ad esempio, dal traffico su strada e ferroviario; questa norma è applicabile alle vibrazioni con frequenza maggiore di 8 Hz, ed i valori di riferimento indicati sono in funzione della frequenza dominante individuata mediante analisi spettrale della componente del vettore velocità con ampiezza maggiore.

## <u>VELOCITA' DI PICCO DI UNA COMPONENTE PUNTUALE (P.C.P.V. – "Peak</u> <u>Component Particle Velocity")</u>

E' definita come il valore massimo (p.c.p.v.) del modulo di una delle tre componenti ortogonali misurate simultaneamente in un punto o ottenute mediante integrazione.

Il valore del p.c.p.v. deve esser confrontato con i valori di soglia forniti all'interno della norma UNI 9916 stessa, associando dove possibile tale valore alle frequenze che risultano predominanti nella registrazione.

I valori di riferimento sono distinti secondo le tre classi di edifici riportate in tabella X e variano a seconda se si riferiscono a vibrazioni di breve durata oppure permanenti.

I valori di riferimento relativi alle vibrazioni di breve durata (cioè tali da escludere problemi di fatica e amplificazioni dovute a risonanza nella struttura interessata) sono riportati nella tabella 1.2 e riguardano sia le misurazioni in fondazione sia le componenti orizzontali della velocità ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato. Per la componente verticale dei singoli solai, la norma indica come valore di riferimento per la p.c.p.v. 20 mm/s limitatamente alle prime due classi di edifici. Tale valore è indipendente dal contenuto in frequenza della registrazione e può essere inferiore per la terza classe di edifici.

|  |                                 | Valori di riferimento per la velocità di vibrazione<br>p.c.p.v in mm/s |             |             |              |
|--|---------------------------------|--|-------------|-------------|--------------|
| Classe   | Tipo edificio                   | Fondazioni   |             | Piano alto  |              |
|  |                                 | Da 1 Hz  | Da 10 Hz    | Da 50 Hz    | Per tutte le |
|  |                                 | a 10 Hz  | a 50 Hz     | a 100 Hz(*) | frequenze    |
|  | Costruzioni industriali         |  | Varia       | Varia       |              |
| 1  | Edifici industriali             | 20   | linearmente | linearmente | 40           |
|  | Costruzioni simili              |  | da 20 a 40  | da 40 a 50  |              |
|  | Edifici residenziali            |  | Varia       | Varia       |              |
| 2  | Costruzioni simili              | 5  | linearmente | linearmente | 15           |
|  | Costruzioni sinini              |  | da 5 a 15   | da 15 a 20  |              |
|  | Costruzioni non classificati in |  | Varia       | Varia       |              |
| 3  | 3 1 e 2 ma degne di esser       | 3  | linearmente | linearmente | 8            |
|  | tutelate (es. monumenti)        |  | da 3 a 8    | da 8 a 10   |              |
| (*) Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz |                                 |  |             |             |              |

**Tab 1.2**: Tabella dei valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni.

I valori di riferimento relativi alle vibrazioni con carattere continuo (cioè tali da indurre fenomeni di fatica o amplificazioni dovute alla risonanza nella struttura interessata) sono riportati nella tabella 1.3. I valori sono indipendenti dal contenuto in frequenza del segnale e riguardano indistintamente sia le misurazioni in fondazione sia le componenti orizzontali della velocità ai piani superiori, con particolare riferimento al piano più elevato. Per la componente verticale dei singoli solai, la norma indica come valore di riferimento per la p.c.p.v. 10 mm/s limitatamente alle prime due classi di edifici. Tale valore è indipendente dal contenuto in frequenza della registrazione e può essere inferiore per la terza classe di edifici.

| Classe | Tipo edifício  | Valori di riferimento per la velocità di<br>vibrazione<br>p.c.p.v in mm/s (per tutte le frequenze) |
|--------|--|--|
| 1      | Costruzioni industriali, Edifici industriali e<br>Costruzioni strutturalmente simili | 10   |
| 2      | Edifici residenziali e Costruzioni simili  | 5  |
| 3      | Costruzioni non classificati in 1 e 2 ma degne di esser tutelate (es. monumenti)     | 2.5  |

**Tab 1.3**: Tabella dei valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni durature sulle costruzioni.

#### 1.3.3 Norma UNI 11048-2003

La norma in oggetto è sperimentale, affianca la UNI 9614 e definisce i metodi di misurazione delle vibrazioni e degli urti trasmessi agli edifici ad opera di sorgenti esterne o interne agli edifici stessi, al fine di valutare il disturbo arrecato ai soggetti esposti.

La grandezza fisica presa in considerazione è l'accelerazione a, il cui valore è espresso in m/s<sup>2</sup>. In alternativa, il tale grandezza può esser espressa come livello dell'accelerazione L, espresso in decibel (dB). Tale livello è legato all'accelerazione tramite la relazione:

 $L = 10 \log (a/a_0)^2$ ,

dove  $a_0$  è il valore dell'accelerazione di riferimento, pari a  $10^{-6} \text{ m/s}^2$ .

La norma indaga l'interallo di frequenza compreso tra 1 e 80 Hz, e prevede l'utilizzo di un filtro combinato *W*m che pondera le accelerazioni a seconda di come la sensazione percettiva dell'individuo varia con la frequenza. Tale filtro è definito tramite fattori di ponderazione riportati nella normativa. La forma analitica del filtro Wm di ponderazione è riportata nella Fig. 1.1.



**Figura 1.1:** Formulazione analitica del filtro di attenuazione Wm, definito nella normativa 11048 del 2003, da applicare in analisi spettrali in bande di terzi di ottava.

La metodologia analitica individuata dalla norma prevede una ponderazione degli spettri in frequenza, moltiplicando le componenti per bande di 1/3 di ottava,  $a_i$ , per i fattori di ponderazione riportati; le componenti ponderate,  $a_{w,i}$ , devono esser sommate tra loro in termini quadratici al fine di ottenere l'accelerazione ponderata equivalente in frequenza,  $a_w$ , oppure il livello ponderato equivalente della accelerazione,  $L_w$ . Nell'ipotesi di considerare dati continui, le grandezze risultano così definite:

$$a_{w} = \left[\frac{1}{T}\int_{0}^{T} \left[a_{w,i}(t)\right]^{2} dt\right]^{0.5} e L_{w} = 10 \log\left[\frac{1}{T}\int_{0}^{T} \left[\frac{a_{w,i}(t)}{a_{0}}\right]^{2} dt\right]$$

Utilizzando la definizione di valore R.M.S., le grandezze precedentemente introdotte possono esser anche espresse come:

$$a_{w} = R.M.S[(a_{w,i}(t)] \ e \ L_{w} = 10 \log \left[\frac{\left(R.M.S[a_{w,i}(t)]\right)^{2}}{a_{0}^{2}}\right]$$

Per una valutazione del disturbo associato a vibrazioni di livello costante, i valori delle accelerazioni ponderate equivalenti in frequenza, oppure i rispettivi livelli, riscontrati sui tre assi, possono esser confrontati con i valori limiti riportati nella seguente tabella 1.4, relativi a casi in cui la postura dell'individuo non sia nota oppure variabile nel tempo.

| Tipologie di edifici | $a (\mathrm{m/s}^2)$  |                       | <i>L</i> (dB) |            |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|------------|
| ripologie a canter   | Asse Z                | Assi X e Y            | Asse Z        | Assi X e Y |
| Aree critiche        | 5.0 10 <sup>-3</sup>  | 3.6 10 <sup>-3</sup>  | 74            | 71         |
| Abitazioni (notte)   | 7.0 10 <sup>-3</sup>  | 5.0 10 <sup>-3</sup>  | 77            | 74         |
| Abitazioni (giorno)  | 10.0 10 <sup>-3</sup> | 7.2 10 <sup>-3</sup>  | 80            | 77         |
| Uffici               | 20.0 10 <sup>-3</sup> | 14.4 10 <sup>-3</sup> | 86            | 83         |
| Fabbriche            | 40.0 10 <sup>-3</sup> | 28.8 10 <sup>-3</sup> | 92            | 89         |

**Tab 1.4**: Valori e livelli limite delle accelerazioni complessive ponderate i frequenza nel caso di vibrazioni a livello costante, valide per i tre assi Z, X e Y.

Per una valutazione del disturbo associato a vibrazioni impulsive, può esser rilevato il valore di picco dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza; tale valore va moltiplicato per il fattore 0.71 per stimare il corrispondente valore efficace (ciò equivale a dire che, se si è stimato il livello di picco, questo va diminuito di 3 dB). I valori riscontrati vanno confrontati con i valori di soglia riportati nella seguente tabella 1.5.

| Tipologie di edifici | $a (m/s^2)$          |                      | <i>L</i> (dB) |            |  |
|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|------------|--|
| ripologie di editier | Asse Z               | Assi X e Y           | Asse Z        | Assi X e Y |  |
| Aree critiche        | 5.0 10 <sup>-3</sup> | 3.6 10 <sup>-3</sup> | 74            | 71         |  |
| Abitazioni (notte)   | 7.0 10 <sup>-3</sup> | 5.0 10 <sup>-3</sup> | 77            | 74         |  |
| Abitazioni (giorno)  | 0.30                 | 0.33                 | 109           | 110        |  |
| Uffici e Fabbriche   | 0.64                 | 0.46                 | 116           | 113        |  |

**Tab 1.5**: Valori e livelli limite per i valori di picco delle accelerazioni complessive ponderate i frequenza nel caso di vibrazioni impulsive, valide per i tre assi Z, X e Y.

Nel caso particolare dei disturbi prodotti da veicoli ferroviari e risentiti nelle abitazioni private, i valori di risentimento sono dell'ordine dei  $30*10^{-3}$  (asse Z) e  $21.6*10^{-3}$  (assi X e Y) m/s<sup>2</sup>.

## **CAPITOLO 2**

# INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOFISICO DELL'AREA URBANA DI NAPOLI

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOFISICO DELL' AREA URBANA DI NAPOLI

#### 2.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA E SISMICITÀ STORICA

La città di Napoli rappresenta un'area problematica dal punto di vista della classificazione sismica: a posteriori del terremoto dell'Irpinia del 1980, il comune è stato posto sotto 3a categoria, la quale è stata mantenuta nella classificazione del 1999 (sebbene la proposta del 1998 prevedeva la 2a categoria), per poi passare definitivamente sotto 2a categoria con la recente riclassificazione del Giugno 2003 (Fig 2.1).



Fig 2.1: confronto tra vecchia e nuova classificazione sismica relativa ai comuni della Regione Campania

**3**a

NC

**2**a

L'area ha spesso risentito di intensi danneggiamenti dovuti a terremoti appenninici, sebbene si stima che danneggiamenti maggiori siano attesi per terremoti collegati all'attività vulcanica della struttura Somma – Vesuvio. Studi di carattere storico (Esposito *et al.*, 1992) mostrano come Napoli abbia subito intensità del VII-VIII grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg, riferite ad eventi caratterizzati da intensità epicentrale del X-XI grado (1456-1688-1694-1980); questo ultimo terremoto ha avuto magnitudo Ms=6.9 ed è stato il primo evento registrato nella stazione di Torre del

Greco, posta circa 20 km di distanza dal centro di Napoli e lungo lo stesso azimut rispetto alla sorgente.

Per quanto riguarda gli eventi molto antichi e medioevali (322 a.C.; 2 a.C.; 37 d.C.; 62 e 64 d.C.; 324, 344, 346, 369 e 375 d.C.; 472, 512, 685 e 787 d.C; 848 e 894 d.C; 990,1125, 1180, 1198 Solfatara, 1228 Ischia, 1349 e 1361 d.C) le informazioni ci sono state trasmesse tramite descrizioni di storici o cronache locali. Tra questi eventi, il terremoto del Vesuvio del 62 d.C. rappresenta il massimo terremoto osservato nell'area (Intensità massima VIII grado).

| Anno | Giorno | Mese      | Magnitudo | L (Km) |  |
|------|--------|-----------|-----------|--------|--|
| 1456 | 5      | Dicembre  | 7.5       | 100    |  |
| 1688 | 5      | Giugno    | 6.8       | 45     |  |
| 1694 | 8      | Settembre | 7.0       | 53     |  |
| 1732 | 29     | Novembre  | 6.8       | 45     |  |
| 1805 | 26     | Luglio    | 6.8       | 45     |  |
| 1857 | 16     | Dicembre  | 7.0       | 53     |  |
| 1930 | 23     | Luglio    | 6.8       | 45     |  |
| 1980 | 23     | Novembre  | 6.8       | 45     |  |

**Tab. 2.1:** i terremoti di maggiore energia dell'Appennino meridionale; L = lunghezza della faglia espressa in Km (Esposito et al., 1992)

A partire dal grande terremoto del 1456, noto come il grande terremoto del Matese, le conoscenze sulla sismicità dell'Appennino meridionale diventano più attendibili attraverso l'analisi critica delle numerose fonti disponibili; è stato di conseguenza possibile ricostruire il campo macrosismico dei più grandi terremoti avvenuti da quella data ad oggi e principalmente originatisi nelle aree sismogenetiche del Matese, Sannio ed Irpinia. Nell'elenco dei più grandi terremoti riportati nella Tabella 2.1 sottoindicata manca l'evento del 1561, noto come terremoto di Buccino, in quanto non è disponibile una ricostruzione attendibile nel campo macrosismico.

Per i terremoti del 1456, 1688, 1694, 1805, 1980, 1983 esistono mappe su cui sono riportati i danni rilevati al centro storico della città di Napoli secondo tre livelli di danneggiamento: danni lievi (piccole lesioni), danni seri (danni diffusi), danni gravi (collassi parziali). L' allineamento delle isosiste di massima intensità dei terremoti

storici secondo la direzione appenninica NW-SE risulta coerente con la distribuzione dei lineamenti tettonici più significativi.

In Fig. 2.2 viene riportata una suddivisione dei quartieri di Napoli a seconda dell'intensità di danneggiamento subita nel terremoto del 1980.



**Fig 2.2**: Mappa urbana di Napoli con i limiti dei quartieri (numeri), suddivisi a seconda dell'intensità di danno causata dal terremoto dell'Irpinia del 1980. I punti in grigio rappresentano l'ubicazione dei sondaggi disponibili ed i punti in nero indicano i siti in cui sono state condotte analisi FTAN (modificato da Nunziata, 2004)

#### 2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

#### 2.2.1 Introduzione e prodotti vulcanici presenti

Il golfo di Napoli è situato nella porzione meridionale di una depressione tettonica conosciuta come Depressione Campana, la quale include la Piana Campana. Tale depressione rappresenta l'effetto dell'estensione di retro arco che ha accompagnato l'accrezione della catena appenninica verso NE (figura 2.3). La zona napoletana si



colloca tra il sistema calderico dei Campi Flegrei ed il complesso vulcanico Somma – Vesuvio.

Figura 2.3: Schema geologico della Piana Campana

L'assetto attuale dei sedimenti che costituiscono il territorio napoletano è condizionato dalla complessa e ripetuta interazione tra fenomeni vulcanici relativi al vulcanismo flegreo e del Somma – Vesuvio, fenomeni tettonici, processi sedimentari e variazioni eustatiche.

In funzione di queste distinzioni, il territorio urbano può essere diviso in 2 parti: una extracalderica rappresentata dal territorio ad oriente della collina di Posillipo, ed una intracalderica rappresentata dai quartieri di Fuorigrotta, Bagnoli, Soccavo e Pianura.

I Campi Flegrei sono un complesso vulcanico posto a Nord-Ovest della città di Napoli, consistono in una depressione quasi circolare punteggiata da numerosi coni vulcanici monogenici, la cui morfologia è stata condizionata dalle eruzioni e dal parziale colmamento degli sprofondamenti avvenuti con i prodotti eruttati. L'area presenta meccanismi eruttivi di vario tipo, con una netta prevalenza di quelli esplosivi a carattere freatomagmatico (Fig. 2.4).

È possibile distinguere quattro cicli di attività vulcanica flegrea:

- Prodotti precedenti l'eruzione dell'Ignimbrite Campana;
- Prodotti dell'Ignimbrite Campana;

- Prodotti del Tufo Giallo Napoletano;
- Prodotti dell'attività vulcanica recente.



Figura 2.4: Schema geologico dei Campi Flegrei

I prodotti più antichi sono datati fra 47.000 e 40.000 anni fa e sono il risultato di una serie di piccole eruzioni esplosive che formarono cinque centri vulcanici nell'area di Chiaia e Capodimonte. Le eruzioni successive si sono concentrate nell'area dei Campi Flegrei.

La più grande eruzione esplosiva è quella che ha messo in posto l'Ignimbrite Campana (IC), avvenuta circa 35.000 anni fa con meccanismo di eruzione da una o più fratture anulari. I prodotti di questa eruzione consistono prevalentemente in depositi di uno o più flussi piroclastici di cenere, pomici e scorie nere più o meno schiacciate e deformate (chiamate fiamme), inglobate in una matrice di cenere e subordinate quantità di litici e cristalli. Tali flussi hanno ricoperto un'area di 7.000 km<sup>2</sup> ed il volume di magma emesso è stato stimato dell'ordine di 80 km<sup>3</sup>. Il deposito dell'Ignimbrite Campana affiora lungo i bordi di tutta la piana campana, con spessori variabili da 20 a 60 metri. Dopo la messa in posto di tale materiale, una parte dell'area è collassata, determinando lo sprofondamento di una vasta area che va da Soccavo a Chiaia. In seguito, l'attività vulcanica si è spostata al Vesuvio e nella zona tra Napoli e l'isola di Procida.

L'eruzione del Tufo Giallo Napoletano (TGN), seconda per importanza dopo l'Ignimbrite Campana, è avvenuta circa 12.000 anni fa ed ha influenzato notevolmente la morfologia della zona occidentale. L'eruzione ha dato luogo ad un vasto deposito da flusso piroclastico ed in minor misura da caduta, i cui prodotti risultano ampiamente distribuiti lungo il bordo della caldera e al suo interno. Una stima del volume di magma emesso durante questa eruzione è di circa 50 km<sup>3</sup> distribuito su un'area di circa 350 km<sup>2</sup>. Il Tufo Giallo Napoletano presenta due facies diagenetiche distinte in funzione dei processi di zeolitizzazione subiti, ovvero una facies litificata ed una non litificata, questa ultima maggiormente presente nella periferia orientale della città.

Alcuni autori ritengono che dopo l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano, la parte più bassa dei Campi Flegrei sia stata invasa dal mare; tale ipotesi è stata poi confermata da alcuni studiosi i quali hanno dedotto, basandosi sulle caratteristiche stratigrafiche, sedimentologiche e composizionali del TGN, che nel corso dell'eruzione incominciò a verificarsi un collasso calderico della parte centrale dei Campi Flegrei, legato alla grande quantità di materiale emesso. Il versante occidentale ad alto angolo della collina di Posillipo fornisce una probabile evidenza morfologica del fenomeno di collasso esplicatosi, rappresentando una scarpata di faglia prodottasi durante il collasso stesso.

L'eruzione del TGN pone fine ad ogni attività all'esterno della caldera (Procida, Monte di Procida) e le eruzioni successive sono confinate all'interno e, frequentemente, lungo i margini della depressione calderica, essendo le linee di collasso divenute vie preferenziali di risalita che hanno agevolato la formazione di un gran numero di vulcani monogenici all'interno della caldera.

Le eruzioni più recenti presentano essenzialmente carattere esplosivo e derivanti principalmente dall'interazione acqua-magma; esse sono concentrate in tre epoche di intensa attività, alternate a periodi di quiescenza. Secondo gli studi più recenti nella prima epoca (periodo tra 15.000 e 9.500 anni fa) hanno avuto luogo 34 eruzioni esplosive, nella seconda epoca (periodo tra 8.600 e 8.200 anni fa) si sono verificate 6 eruzioni esplosive, nella terza epoca (periodo tra 4.800 e 3.800 anni fa) sono avvenute

16 eruzioni esplosive e 4 eruzioni effusive. L'ultima eruzione è stata quella del Monte Nuovo nel 1538 dopo un periodo di quiescenza durato circa 3.000 anni ed è tra le eruzioni di minore intensità avvenute ai Campi Flegrei.

Per quanto riguarda l'attività del Somma – Vesuvio, l'attività precedente a circa 19.000 anni fa fu prevalentemente effusiva e subordinatamente esplosiva. A questa fase di bassa energia è seguito un periodo dominato da due grandi eruzioni pliniane: l'eruzione delle Pomici di Base (18.300 anni fa) e l'eruzione delle Pomici Verdoline (16.000 anni fa). Ai depositi di queste due eruzioni si intercalano lave prodotte da modeste eruzioni effusive. Con la prima eruzione pliniana delle Pomici di Base è cominciato il collasso dell'apparato vulcanico del Somma e la formazione della caldera nella quale si accrescerà il nuovo edificio del Vesuvio. Nel corso del periodo compreso tra 8.000 anni fa ed il 79 d.C. si sono verificate tre eruzioni pliniane: l'eruzione delle Pomici di Mercato (8.000 anni fa), l'eruzione delle Pomici di Avellino (3.800 anni fa) e l'eruzione di Pompei (79 d.C.); tra queste eruzioni si sono intercalate almeno sei eruzioni subpliniane, di età compresa tra le eruzioni di Avellino e Pompei, precedute da lunghi periodi di riposo. L'attività successiva include almeno due eruzioni subpliniane: l'eruzione di Pollena (avvenuta nel 472 d.C.) e l'eruzione del 1631, ed una serie di piccole eruzioni effusive ed esplosive a bassa energia che hanno dato colate di lava lungo i fianchi occidentali e meridionali del vulcano e livelli di scorie stromboliane di età medievale.

Dopo l'eruzione del 1631 e fino al 1944 il Vesuvio è stato caratterizzato da attività a condotto sostanzialmente aperto; in questo periodo sono stati distinti 18 cicli stromboliani, separati da brevi periodi di assenza di attività.

#### 2.1.1 Inquadramento geologico dell'area urbana napoletana

Gli affioramenti più comuni sono costituiti da recenti depositi eluviali e lacustri, da sabbie costiere, ed infine da prodotti vulcanici più giovani del Tufo Giallo Napoletano (12000 anni). Sia questa ultima formazione che la più antica Ignimbrite Campana (35.000 anni), sono ben esposte lungo le scarpate e le strutture rilevate che caratterizzano i bordi della depressione calderica dei Campi Flegrei (Rosi & Sbrana, 1987; Orsi *et al.*, 1996).

Un deposito molto comune è costituito dalla cosiddetta *pozzolana*: essa rappresenta una facies cineritica non litificata, caratterizzata da depositi incoerenti di colore grigio che presentano graduale transizione laterale verso la facies litificata costituita dai depositi zeolitizzati del Tufo Giallo Napoletano. Entrambi i depositi costituiscono due distinte facies diagenetiche di un unico evento eruttivo con dinamica variabile tra freatopliniana e freatomagmatica.

In Fig. 2.5 è presentato uno schema sugli affioramenti presenti nel territorio urbano.

Numerose analisi di terreno, integrate con stratigafie di pozzi, permettono di effettuare accurate ricostruzioni delle sequenze stratigrafiche; queste evidenziano due aree distinte per il settore orientale e quello occidentale della città. (AA.VV., 1967; AGIP 1987; Vinale, 1988; Comune di Napoli, 1994; Nunziata *et al.*, 1999).



**Figura 2.5**: Schema geologico del territorio urbano di Napoli, considerando i primi 10 metri di successioni; per quanto riguarda la denominazione delle litologie in affioramento, MG riporti antropici, ES sabbie eluviali, PMS sabbie marine di ambiente attuale, RMS sabbie marine recenti, FLD depositi fluvio – lacustri, VA cineriti del Vesuvio, RPD depositi piroclastici recenti, VT tufo vesuviano (facies sciolta), NYTs Tufo Giallo Napoletano (facies semilitoide), NYT Tufo Giallo Napoletano (facies litoide), CI ignimbrite campana. Modificato da Nunziata et al., 2004.

A partire dalla superficie, per il settore occidentale la tipica sequenza stratigrafica è costituita da prodotti vulcanici (pomici e ceneri) più giovani di 12.000 anni (spessore variabile tra 3 e 65 metri), da depositi di pozzolana (spessore variabile tra 2 e 20 metri), ed infine dal Tufo Giallo Napoletano, con spessore superiore ai 30 metri. In una ristretta

area, al posto dei prodotti vulcanici più giovani affiorano depositi attuali e recenti di sabbia costiera, con spessore compreso tra 15 e 26 metri.

Il settore orientale comprende la depressione di Volla, dove in tempi passati scorreva il fiume Sebeto; la stratigrafia tipica è costituita da ceneri rimaneggiate, depositi eluviali sabbiosi e lacustri con livelli torbosi (spessore complessivo compreso tra 10 e 24 metri), prodotti vulcanici eruttati dal Vesuvio (spessore 8 - 24 metri), pozzolana (spessore 14 - 50 metri), e rara presenza del Tufo Giallo Napoletano (spessore circa 30 metri).

In generale, il limite della facies litoide del TGN si rinviene a profondità di 10 - 30 metri, ma immerge nell'area occidentale fino a 100 metri di profondità, mentre nell'area orientale supera i 40 metri di profondità (Fig. 2.6).



Figura 2.6: Mappa delle isobate del limite della facies litoide del TGN. Da Nunziata et al., 2004.

## 2.3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – TECNICA E GEOFISICA DEI TERRENI PRESENTI

Le caratteristiche geofisiche più importanti, tra cui le velocità delle onde di taglio Vs dei depositi presenti, sono state investigate attraverso misurazioni sia in situ che in laboratorio. Lo stato dell'arte della conoscenza delle caratteristiche dei terreni napoletani è riportato in due fondamentali articoli di Nunziata *et al.*, (1999 e 2004). I suddetti articoli sintetizzano i risultati ottenuti sia tramite analisi effettuate sul terreno,

costituite per lo più da misure in sondaggi, Cross-hole e Down-hole, SASW e FTAN, sia in laboratorio, eseguite attraverso colonna risonante e ultrasuoni (Vinale, 1988; Guadagno *et al.*, 1992; Comune di Napoli, 1994; Mele & Nunziata,1996).

La caratterizzazione tecnica dei terreni è stata portata avanti a partire dagli anni '60, permettendo di distinguere 6 zone geotecniche (AA.VV., 1967). Successivamente all'integrazione di questi dati con più recenti analisi, è stato condotto un esperimento di mettere a confronto le caratteristiche geofisiche con le proprietà indici dei materiali e con le caratteristiche geotecniche, al fine di evidenziare la presenza o meno di un trend continuo. I risultati ottenuti (Guadagno *et al.*, 1992) evidenziano un complesso range di variazioni, dovute per lo più all'ampia variabialità di proprietà fisiche e tessiturali, come anche ai differenti gradi di diagenizzazione e di alterazione.

| LITOTIPO                      | γ <sub>s</sub> (kNm <sup>-3</sup> ) | γ <sub>n</sub> (kNm <sup>-3</sup> ) | n (%)   | φ°      | W (%)     |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|-----------|
| Depositi eluviali             | 23.0-25.8                           | 11.0-20.7                           | 34-66   | 32-41   | 18.8-53.7 |
| Sabbie marine attuali         | 24.0-26.8                           | 16.5-20.8                           | 33-50   | 29-42   | 13.5-37.4 |
| Sabbie marine recenti         | 22.9-25.7                           | 15.7-18.8                           | 35-54   | 26-40   | 19.3-50.8 |
| Depositi fluvio-lacustri      | 17.5-26.6                           | 10.0-20.7                           | 34-90   | 32-41   | 18.8-61.3 |
| Cineriti vesuviane            | 21.0-27.0                           | 10.0-20.0                           | 37-86   | 26-39   | 19.1-60.2 |
| Depositi piroclastici recenti | 23.5-26.3                           | 13.5-14.5                           | 40-64   | 21-45   | 9.9-62.3  |
| TGN (semilitoide)             | 22.1-26.0                           | 10.6-18.6                           | 38-64   | 18-41   | 6.5-47.5  |
| TGN (litoide)                 | 22.3-24.5                           | 9.4-15.3                            | 38-58   | No data | No data   |
| Tufo vesuviano (semilitoide)  | 20.5-26.8                           | 11.0-20.3                           | 30-41   | 36-64   | 18.1-50.8 |
| Tufo vesuviano (litoide)      | 24.7-26.3                           | 16.0-17.6                           | 44-54   | 30      | 26.9-41.3 |
| Ignimbrite Campana            | 23.3-26.9                           | 11.0-21.7                           | No data | 30-41   | No data   |

Tab. 2.2: Caratteristiche geotecniche delle litologie napoletane:

Per quanto riguarda la sintesi delle proprietà indice dei terreni napoletani ( $\gamma$ s peso di volume saturo, $\gamma$ n peso di volume naturale, n porosità,  $\phi$  angolo di attrito, W contenuto di acqua), la Tabella 2.2 illustra il range di variabilità.

Per quanto riguarda la stima dalle Vs in funzione della profondità per i diversi terreni, le sintesi proposte negli articoli propongono valori ampiamente dispersi. In generale, i depositi piroclastici recenti presentano Vs variabile tra 80 m/s e 600 m/s, per quanto raramente superano i 400 m/s.

Per quanto riguarda i prodotti vesuviani, le facies semilitoidi presentano Vs comprese tra 300 e 600 m/s, mentre le facies litoidi presentano Vs comprese tra 650 e 1100 m/s.

I depositi dell'ignimbrite campana presentano Vs comprese tra 250 e 450 m/s (da FTAN) oppure tra 600 e 700 m/s (DH e CH)

I depositi sabbiosi presentano un range di variabilità molto marcato, in funzione dell'ambiente di sedimentazione (piane costiere attuali o recenti, zone paludose o fluvio - lacustri), dei processi di alterazione subiti e della profondità a cui si rinvengono; si rimanda agli articoli citati per maggiori dettagli.



Fig. 2.7 Distribuzione delle velocità del TGN in facies litoide e semi litoide (Nunziata et al., 2004)

Per quanto riguarda i depositi del Tufo Giallo Napoletano, le Vs assumono un valore variabile a seconda dei processi di compattazione dovuta ad alterazione idrotermale subiti in generale, la facies litoide presenta Vs comprese tra 300 e 1300 m/s, mentre quella semilitoide presenta Vs tra i valori di 150 e 400 m/s.

La variabilità riscontrabile nella facies litoide (Fig. 2.7) è ascrivibile alle differenti proprietà tessiturali come la litificazione, le porosità e la percentuale di frazioni
pomicee: il più basso valore di Vs può essere assegnato alla porzione più superficiale che presenta un tufo alterato con velocità comprese tra 300 e 700 m/s, mentre il tufo vacuolare ha un range che va da 500 a 650 m/s. Per quanto riguarda il tufo fratturato, la velocità caratteristica cresce con la profondità ed oltre i 20 m tutte le fratture sono chiuse e la velocità si assesta su valori maggiori di 700 m/s.

# 2.4 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA E STIME DI AMPLIFICAZIONE SISMICA

La formulazione di un problema di microzonazione sismica di un'area estesa implica necessariamente il riconoscimento e la distinzione di aree omogenee dal punto di vista della risposta sismica locale.



Fig. 2.8: Suddivisione dell'area urbana in 6 zone omogenee. Da AA.VV 1967.

Un primo esempio di distinzione del territorio urbano in zone omogenee dal punto di vista della caratterizzazione geologico tecnica è stato proposto da AA.VV (1967). Negli atti di quel convegno infatti viene riportata una suddivisione indicativa in 6 zone omogenee, tenendo in considerazione la conoscenza del sottosuolo disponibile all'epoca (Fig. 2.8).

Negli anni successivi, numerose indagini hanno fornito nuovi spunti per la conoscenza delle caratteristiche stratigrafiche di dettaglio, e dei parametri geotecnici e geofisici dei terreni napoletani (AGIP 1987; Vinale, 1988; Guadagno *et al.*, 1992; Comune di Napoli, 1994; Nunziata *et al.*, 1999, 2004).

In tal maniera, sono state collezionate numerose e dettagliate informazioni delle caratteristiche geologiche e geomeccaniche del sottosuolo, integrate con le stime di velocità delle onde di taglio Vs attraverso metodologia FTAN e SASW (Nunziata *et al.*, 1999); la creazione di questo database ha fornito i mezzi per poter suddividere il territorio urbano napoletano in 6 differenti zone omogenee (Fig. 2.8) (Nunziata, 2004).



**Fig. 2.8:** Suddivisione dell'area urbana in 6 zone omogenee. In grigio compaiono i limiti dei quartieri. Da Nunziata, 2004.

La mancanza di registrazioni strong motion nella città però implica la necessità di utilizzare sismogrammi sintetici realistici per valutare la risposta sismica di sito e per formulare adeguati spettri di progetto. Il terremoto del 1980 è stato però registrato a Torre del Greco, vicino a Napoli. Tale registrazione è stata utilizzata per testare la validità della tecnica della somma dei modi e del mezzo di propagazione anelastico dalla sorgente alla stazione accelerometrica di Torre del Greco. Il buon accordo tra accelerogrammi registrati e sintetici ha permesso di calcolare la risposta sismica locale di Napoli con un metodo ibrido (Fah *et al.*, 1992), che accoppia il metodo della somma dei modi, nella parte 1D del modello, e quello delle differenze finite, all'interno della sezione geologica 2D.

Il moto al suolo di Napoli per il terremoto dell'Irpinia del 23 Novembre 1980 è stato calcolato lungo profili nel Centro Direzionale, nel settore orientale della città (Nunziata *et al.*, 1997) e nel centro storico di Napoli (Nunziata *et al.*, 1999 e 2000), valutando in questo caso anche l'effetto delle cavità nel tufo sulla risposta sismica (Nunziata *et al.*, 1999).

Nel 2004, Nunziata ha completato il calcolo del noto al suolo di Napoli in ognuna delle 6 zone geologiche, prendendo in considerazione tutti i possibili modelli di velocità di taglio.

# **CAPITOLO 3**

# METODOLOGIA DI ANALISI DEI SEGNALI

# 3. METODOLOGIA DI ANALISI DEI SEGNALI

# 3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

I segnali acquisiti ed elaborati sono stati registrati con l'ausilio di una stazione sismica Kinemetrics Quanterra Q330 a sei canali ed equipaggiata con un sensore broadband FBA (Force Balance Accelerometer - accelerometro controbilanciato) a tre componenti Episensor ES-T (Fig. 3.1) le cui caratteristiche sono riportate nella Tabella 3.1.



Figura 3.1: Accelerometro Episensor ES-T

| Episensor ES-T             | Accelerometro controbilanciato a 3 componenti   |  |  |  |  |
|----------------------------|---|--|--|--|--|
| Dynamic range              | 155dB +   |  |  |  |  |
| Ampiezza di banda          | DC - 200Hz (piatto fino a $\approx$ 50Hz)   |  |  |  |  |
| Fondo scala                | $\pm 1g$ (selezionabile dall'operatore tra: $\pm 0.25g$ ; $\pm 0.5g$ ; $\pm 1g$ ; $\pm 2g$ ; $\pm 4g$ )                             |  |  |  |  |
| Output a fondo scala       | a fondo scala $\pm 20V$ (selezionabile dall'operatore tra: $\pm 2.5V$ , $\pm 10V$ in single-ended<br>5V, $\pm 20V$ in differential) |  |  |  |  |
| Consumo energetico         | +12VDC - 35mA in modalità "low-noise" (selezionabile anche +12VDC<br>12mA in modalità "standard")                                   |  |  |  |  |
| Costante di<br>trasduzione | 20V/g   |  |  |  |  |
| Dimensioni                 | 13.3 cm diametro e 6.2 cm di altezza  |  |  |  |  |
| Temperatura di             | -20° to 70°C (0° to 160°F)  |  |  |  |  |
| operatività                |   |  |  |  |  |
| Note                       | I sensori sono installati in modo che:  |  |  |  |  |
|                            | canale1=Z (orientamento verticale)  |  |  |  |  |
|                            | canale2=Y (orientamento Nord - Sud)   |  |  |  |  |
|                            | canale3=X (orientamento Est - Ovest).   |  |  |  |  |
|                            | Compressione al ricevitore è identificata da valori positivi.   |  |  |  |  |

Tab 3.1: Caratteristiche dei sensori Episensor ES-T riportati dalla casa costruttrice.



La stazione sismica Q330 (Fig. 3.2) presenta le caratteristiche riassunte nella Tabella 3.2.

**Figura 3.2:** Stazione sismica Quanterra Q330 in un esempio di installazione di campagna.

| Stazione Q330       | Stazione sismica  |  |  |  |  |
|---------------------|---|--|--|--|--|
| Canali              | 6   |  |  |  |  |
| Dynamic range       | 135dB   |  |  |  |  |
| Formato             | 32 bit  |  |  |  |  |
| Input a fondo scala | 40V Picco-Picco   |  |  |  |  |
| Amplificazione      | selezionabile dall'operatore tra 1 e 30                             |  |  |  |  |
| Filtraggio          | Digitale, lineare o a fase minima                                   |  |  |  |  |
| Frequenza di        | 200, 100, 40, 20, 1 avantuali ultariari                             |  |  |  |  |
| campionamento       | 200, 100, 40, 20, 1 – eventuali ulteriori                           |  |  |  |  |
| Timing              | GPS, precisione <0.1msec.   |  |  |  |  |
| DSP/CPU:            | AD-2189M  |  |  |  |  |
| Telemetria:         | Simplex or Duplex, finestra mobile su UDP/IP.                       |  |  |  |  |
| Temperatura:        | Dichiarata -20 / +50C; Operativa -40 / +70C                         |  |  |  |  |
| Controllo Sensore   | Step di Calibrazione, sinusoidale o casuale. Rientramento a comando |  |  |  |  |
| Dati Ausiliari:     | Temperatura, voltaggio DC, status del GPS                           |  |  |  |  |
| Memoria:            | 8Mb RAM standard  |  |  |  |  |
| Network:            | IEEE 802 10Base-T EthernetUDP/IP Protocol Stack                     |  |  |  |  |
| Porte Seriali:      | 2 seriali per telemetria e 1 porta per console fino a 115kbaud      |  |  |  |  |
| Wireless:           | IrDA interfaccia supportata.  |  |  |  |  |
| Tempo:              | antenna GPS dotata di 16m di cavo.                                  |  |  |  |  |
| Potenza:            | <1W 12VDC 3-canali  |  |  |  |  |

Tab 3.2: Caratteristiche delle stazioni sismiche Quanterra Q330 riportati dalla casa costruttrice.

I segnali acquisiti sono memorizzati sul buffer interno della stazione quindi al completamento del buffer i segnali sono spediti al BALER PB-14F e salvati in formato MSEED. La modalità di estrazione dei segnali acquisiti è consequenziale alla duplice opzione di configurazione della stazione sismica Q330, così come illustrato tramite lo schema presentato in Fig. 3.3; i dati registrati possono esser estratti direttamente sul posto collegando il PC all'unità di contenimento Baler attraverso porta seriale (connettore consol), oppure in remoto tramite rete LAN.



**Figura 3.3:** Schema di installazione della stazione sismologica Quanterra Q330 (modificato da Fabrizio Imperio, comunicazione interna 2005)

## 3.2 ANALISI DEI SEGNALI

#### 3.2.1 Introduzione

Con l'ausilio delle tecniche di programmazione ed analisi apprese durante il periodo trascorso presso l'U.S. Geological Survey di Menlo Park, California, sono state realizzate una serie di routines e funzioni ideate ad hoc, con la finalità di gestire i dati acquisiti ed implementare l'analisi spettrale in ambiente MATLAB.

In particolare, si è sviluppato un pacchetto elaborativo dedicato ai dati acquisiti con la stazione sismica Kinemetrics Q330

Nel loro insieme, le routines prodotte si sono basate sulle procedure analitiche descritte nei paragrafi successivi.

#### 3.2.2 Preprocessamento dei segnali estratti dalla Q330

#### I. Conversione da formato SAC a formato MATLAB

Il primo passo attuato al fine di analizzare i segnali estratti dalla stazione sismica Q330 ed immagazzinati in una macchina Sun-Solaris, è stato quello di convertire i files dal formato SAC – sun binario al formato MATLAB.

A tal proposito, mediante una modificazione ad hoc della funzione *sac\_sun2pc\_mat* scritta da C. D. Saragiotis (2003), si sono letti i files SAC binari ottenuti da una piattaforma SUN ed a cui era già stato effettuato il demultiplexing (ovvero la scomposizione del segnale nelle tre componenti ortogonali che lo caratterizzano), quindi si sono creati files MATLAB che consistono di una struttura, H, che contiene tutte le informazioni dell'header, ed un vettore, X, che contiene le forme d'onda in formato grezzo (ovvero in counts).

In seguito, in conformità ai parametri di digitalizzazione e di acquisizione con cui è stata settata la stazione sismica, i dati in counts sono stati trasformati in unità di moto (accelerazione m/s\*s) applicando ai segnali la seguente procedura:

- moltiplicazione per il fattore di conversione tra microVolts e Counts (1 microVolt = 2.384186 counts)
- trasformazione in Volts, mediante divisione per 10-6

- trasformazione in unità di accelerazione di gravità g mediante divisione per la sensitività della stazione, settata a 20 Volts/g
- trasformazione in unità di accelerazione m/s<sup>2</sup> mediante moltiplicazione per la costante 9.81.

Alle tracce così processate, infine, è stata applicata una rimozione della media del segnale.

## II. Rimozione del trend e sincronizzazione dei segnali

Nella fase successiva, i segnali sono stati corretti iterativamente al fine di minimizzare l'effetto della deriva che si nota all'inizio delle registrazioni, probabilmente dovuta a fenomeni di self – noise intrinseci al sensore oppure alla necessità che esso si stabilizzi a posteriori di un trasporto.

A seconda dei comandi forniti dall'operatore, alle tracce relative ai tre canali sono stati applicate una o più operazioni tra quelle descritte di seguito:

- rimozione del trend lineare
- filtraggio di tipo passa alto con frequenza definita dall'operatore mediante un filtro Butterworth ad 1 polo con due passate (al fine di minimizzare la distorsione della fase) applicato alle tracce le cui estremità siano state taperate tramite una funzione cosinusoidale al 10% della lunghezza complessiva della traccia stessa

In seguito, è stata operata una sincronizzazione delle tracce inerenti le 3 componenti ed è stata estratta una finestra temporale comune, considerando attentamente il tratto di registrazione non affetto dalle eventuali operazioni di correzione per la deriva.

In Fig. 3.4 viene mostrata, per tutte e 3 le componenti, la sovrapposizione della registrazione originale, della registrazione corretta per il trend e della porzione di questa che viene estratta.

## III. Rotazione delle tracce

Nel caso particolare in cui le componenti orizzontali necessitino di una rotazione, è stato generato un programma specifico, che richiama la funzione

function [nn,ee]=rotateSAC(ns,ew,azr)

in cui nn ed ee sono le componenti ruotate, ns ed ew sono le componenti da ruotare, e l'angolo azr esprime l'angolo di rotazione antioraria; in questo modo è possibile ottener le tracce ruotate e salvare i nuovi vettori in un file opportunamente rinominato.



Figura 3.4: Esempio di correzione per la deriva strumentale e di estrazione di tracce sincronizzate per le tre componenti.

#### IV. Finestratura dei segnali

Una volta corretti per il trend e selezionati con inizio e termine comune, i segnali sono stati suddivisi in finestre della lunghezza desiderata (30 secondi), quindi sono state riconosciute e scartate le finestre affette da passaggio di persone o di automezzi (Fig. 3.5), al fine di escluderne il contributo per le successive analisi spettrali e per il computo dei rapporti di Nakamura

A tutte le finestre generate è stato applicato un taper cosinusoidale dimensionato al 10% della durata complessiva, quindi ne è stato calcolato lo spettro di Fourier in ampiezza mediante l'applicazione dell'algoritmo FFT (Fast Fourier Transform) calcolato su un numero di punti equivalente alla potenza di due immediatamente precedente il numero totale dei punti della traccia originaria.



Esempi di finestre influenzate dal transito di persone o da mezzi pesanti su strada

**Figura 3.5:** Esempio di finestre selezionate ed eliminate poiché affette da passaggio di persone (finestra superiore) oppure da mezzi pesanti sulla strada limitrofa (finestra inferiore)

Agli spettri generati sono state applicate diverse routines di lisciamento (smoothing); nello specifico, a media mobile ("Running average"), su finestra rettangolare ("Rectangular") oppure triangolare ("Triangular"). Le tre tipologie di lisciamento prevedono la convoluzione degli spettri con una funzione di smoothing i cui pesi siano mediati e con offset operato sulla metà della dimensione della funzione stessa (definita dall'operatore e generalmente posta a 0.3 Hz). In Fig. 3.6 viene riportata una finestra esemplificativa che mostra gli spettri originali dei segnali e gli spettri lisciati con le tre routines di smoothing.

In generale, i risultati ottenuti tramite le tre routines di smoothing sono abbastanza similari; la routines che utilizza una finestra triangolare risulta preferibile nel caso in cui si riscontrino numerosi picchi, per quanto restituisce una ampiezza lisciata in generale inferiore rispetto alle altre due routines.



**Figura 3.6**: Esempio di confronto tra uno spettro originale in ampiezza dei segnali in accelerazione e gli spettri lisciati con le tre routines di smoothing descritte sopra.

## 3.2.3 Analisi Spettrale

# I. Analisi spettrale mediata

Nella prima parte delle analisi spettrali sono stati considerati i segnali in accelerazioni, per i quali sono stati calcolati gli spettri medi per ogni singola componente al fine di ottenere:

- spettri medi ottenuti dagli spettri lisciati con routine di smoothing triangolare e relativi a tutte le finestre selezionate e le relative deviazioni standard (Fig. 3.7)
- spettri medi ottenuti da spettri originali relativi a tutte le finestre selezionate
- spettri lisciati ottenuti dallo smoothing a media mobile degli spettri medi calcolati su spettri originali relativi a tutte le finestre selezionate (Fig. 3.8)

Dal confronto tra gli spettri medi ottenuti nelle diverse maniere descritte (Fig. 3.9), si può evincere che i risultati sono sostanzialmente analoghi e che in generale è preferibile comunque ricorrere alle routines di smoothing al fine di ottenere risultati più stabili.



Spettri mediati e lisciati (df=0.3 Hz) ottenuti da 170 finestre

Figura 3.7: Esempio di spettri di Fourier in ampiezza ottenuti da dati in accelerazione, mediati (linea nera e lisciati (linea blu). La dimensione della deviazione standard è espressa dalle linee celesti a tratteggio.

Spettri mediati e lisciati (df=0.3 Hz) ottenuti da 170 finestre



Frequenza (Hz)

Figura 3.8: Esempio di visualizzazione complessiva degli spettri di Fourier in ampiezza ottenuti da dati in accelerazione e mediati



Spettri mediati e lisciati (df=0.3 Hz) ottenuti da 170 finestre Capodimonte – P.S.I. Elena d'Aosta

**Figura 3.9:** Esempio di un confronto di risultati ottenuti tramite diverse metodologie applicate al fine di computare gli spettri medi, descritte nell'attuale paragrafo.

# II. Analisi di Nakamura

Poiché è noto che esistono numerose maniere di calcolare i rapporti di Nakamura, prima di effettuare i rapporti spettrali su tutti i dati acquisiti, si è effettuata una analisi parametrica applicando differenti metodologie di calcolo, al fine di selezionare la procedura che fornisca risultati più stabili ed affidabili.

Sostanzialmente, sono state prese in considerazione le seguenti modalità di elaborazione:

1. Nakamura di spettri originali:

sono stati considerati gli spettri originali delle finestre (tutte o soltanto quelle selezionate), quindi per ogni finestra è stato calcolato il rapporto di Nakamura (media aritmetrica delle componenti spettrali orizzontali divisa per la componente spettrale verticale), ed infine calcolate la media e la deviazione standard tra i rapporti di Nakamura di tutte le finestre considerate.

2. Nakamura di spettri lisciati triangolarmente:

sono stati considerati gli spettri delle finestre (tutte o soltanto quelle selezionate), lisciati tramite uno smoothing triangolare della dimensione di 0.3 Hz, quindi per ogni finestra è stato calcolato il rapporto di Nakamura, ed infine calcola la media e la deviazione standard tra i rapporti di Nakamura. Inoltre, è stato separato il contributo delle due componenti orizzontali, computando il valore del rapporto di Nakamura qualora si prendesse in esame la sola componente Nord – Sud oppure quella Est – Ovest (Fig. 3.10 - a1).

- Smoothing triangolare di Nakamura degli spettri originali: il programma effettua un lisciamento triangolare sul rapporto di Nakamura ottenuto dalla media dei rapporti di Nakamura calcolati sulle finestre selezionate a partire dagli spettri originali (Fig. 3.10 – a2)
- 4. Smoothing di Nakamura di spettri lisciati tramite finestra triangolare:
  è stato effettuato un lisciamento triangolare sul rapporto di Nakamura ottenuto dalla media dei rapporti di Nakamura calcolati sulle finestre selezionate a partire dagli spettri lisciati triangolarmente
- 5. Nakamura di spettri medi:

sono stati calcolati i rapporti di Nakamura facendo il rapporto tra gli spettri lisciati triangolarmente e mediati su tutte le finestre selezionate, computandone la varianza associata mediante combinazione delle deviazioni standard associate alle medie degli spettri, componente per componente (Fig. 3.10 - a3).

Attraverso il confronto tra i risultati ottenuti applicando le diverse modalità di calcolo, avvalendosi delle precedenti figure e della Fig. 3.10, si possono ricavare le seguenti conclusioni:

- Il rapporto di Nakamura ottenuto dalla media dei rapporti di Nakamura calcolati su tutte le finestre a partire da spettri lisciati triangolarmente corrisponde al risultato più stabile. Rispetto ai rapporti di Nakamura (sia lisciati che non) ottenuti da spettri originali, questo risultato tende a valori di poco inferiori, ma decisamente non influenzati da piccole variabilità dovute a disturbi nei segnali.
- Il rapporto di Nakamura ottenuto da spettri mediati su tutte le finestre presenta sostanzialmente un valore comparabile con quello ottenuto dalla media dei rapporti di Nakamura calcolati finestra per finestra, ma rispetto a questo presenta dei valori di deviazione standard decisamente superiori.



Confronto tra diverse routines di calcolo per il rapporto H/V

Figura 3.10: Confronto tra rapporto spettrali calcolati con le diverse tecniche descritte precedentemente: a1: rapporto spettrale calcolato attraverso la media del rapporto di Nakamura calcolato, per ogni finestra selezionata, a partire da spettri lisciati tramite finestra triangolare; a2: rapporto spettrale calcolato attraverso la media del rapporto di Nakamura calcolato, per ogni finestra selezionata, a partire da spettri originali; a3: rapporto spettrale calcolato sugli spettri mediati, componente per componente, su tutte le finestre selezionate; b: confronto tra i risultati ottenuti attraverso le tre modalità di calcolo, graficate sulla stessa scala.

#### 3.2.4 Integrazione delle tracce ed analisi spettrale

Poiché le tracce originali sono in accelerazione, al fine di analizzarne le caratteristiche in velocità è stato necessario integrare i segnali registrati.

Poiché in ambiente MATLAB non è banale effettuare una integrazione numerica, è stato creato un programma di integrazione che si avvale di un fitting polinomiale con la traccia originale; le tracce integrate sono state filtrate mediante un filtro Butterworth passa alto con frequenza di taglio selezionata dall'operatore, quindi ne sono state

calcolate le velocità medie (in senso RMS), le relative deviazioni standard ed i valori massimi.

Per testare l'accuratezza della routine di integrazione, essa è stata applicata su una serie di funzioni note e su un segnale casuale (random noise) con portanti sinusoidali (Fig. 3.11), ed i risultati ottenuti hanno confermato la validità dell'analisi svolta.



**Figura 3.11:** Confronto tra i risultati ottenuti attraverso l'integrazione di funzioni Test (in nero) mediante algoritmo di calcolo elaborato ad hoc (in viola) e risultato analitico aspettato (in celeste)

Analogamente a quanto svolto per le tracce in accelerazione, anche per le tracce in velocità sono stati calcolati gli spettri mediati e lisciati secondo le modalità descritte in

precedenza. I risultati delle analisi spettrali sono raffigurati in Fig. 3.12, la quale mostra gli spettri mediati e lisciati per le tre distinte componenti, comprensivi di deviazione standard.



Figura 3.12: Esempio di spettri di Fourier in ampiezza ottenuti da dati integrati in velocità, mediati secondo differenti algoritmi e compresivi di deviazione standard (linee celesti a tratteggio).

# **CAPITOLO 4**

# MISURE DI RUMORE SISMICO NEL TERRITORIO URBANO DI NAPOLI

# 4. MISURE DI RUMORE SISMICO NEL TERRITORIO URBANO DI NAPOLI

#### **4.1 INTRODUZIONE**

Nel corso del 2005, con l'ausilio della stazione sismica Kinemetrics Q330, si sono acquisite una serie di misure di rumore sismico in vari siti del comune di Napoli. La selezione dei siti stessi è stata effettuata in base alla disponibilità di informazioni geologiche, geofisiche e geotecniche reperibili allo stato attuale. In particolare, è stata prestata cura nell'effettuare le misure nei medesimi siti (o nelle immediate vicinanze) in cui erano state condotte analisi con metodologia FTAN (Nunziata *et al.*, 2004) nell'ambito del progetto "Realistic modeling of seismic input for megacities and large urban areas (the UNESCO/IUGS/IGCP project 414)", infittendo di conseguenza le misure in alcune aree specifiche riconosciute passibili di amplificazione sismica ed estendendo lo studio ad ulteriori siti caratterizzati da rilevanza strategica dal punto di vista architettonico, culturale, economico o di importanza civile. Per molti siti è stato possibile ricostruire le caratteristiche geologiche di dettaglio grazie alla presenza di numerosi sondaggi geognostici eseguiti per il PRG del 1994 ed ai lavori precedenti che avevano indagato le zone per finalità diverse (sondaggi per il Centro Direzionale, Comune di Napoli, 1994; Vinale, 1988).

Nella Fig. 4.1 viene presentato un quadro di unione di tutte le misure eseguite nell'ambito urbano del territorio comunale di Napoli; i siti analizzati sono ripartiti all'interno di zone riconosciute esser omogenee dal punto di vista delle caratteristiche geologico - tecniche e geofisiche (Nunziata, 2004).

I siti in cui sono state condotte le misure sono presentati di seguito:

ZONA 1

1A.Città della Scienza – quartiere Bagnoli (BAG)
1B.S. Giovanni Battista - quartiere Soccavo (SOC)
1C.Vigili del Fuoco - quartiere Pianura (PIA)
1D.Mostra Oltremare – quartiere Fuorigrotta (FRG)



Figura 4.1: quadro di unione dei siti investigati nel Comune di Napoli. Si rimanda al testo per la descrizione delle zone (da 1 a 6) e dei siti.

# ZONA 2

- 2A.Piazza S. di Giacomo quartiere Posillipo (POS1)
- 2B. Parco Virgiliano quartiere Posillipo (POS2)
- 2C. Via Cupa Angara quartiere Posillipo (POS3)
- 2D.Capo Posillipo quartiere Posillipo (POS4)
- 2E. Vecchio Osservatorio Vesuviano quartiere Posillipo (POS5)
- 2F. Giuseppone a Mare quartiere Posillipo (POS6)
- 2G. Via Manzoni quartiere Posillipo (POS7)
- 2H.Via Petrarca quartiere Posillipo ((POS8)
- 2I. Villa Floridiana quartiere Vomero (VOM)
- 2J. Parco del Museo di Capodimonte quartiere S. Carlo all' Arena (CAP)
- 2K.Parco Margherita quartiere Chiaia (CHI)

#### ZONA 3 N

- 3A.Ospedale Don Bosco quartiere S. Carlo all'Arena (DOG1)
- 3B. Comando Vigili Urbani (Via de Giaxa) quartiere S. Carlo all'Arena (DOG2)
- 3C. Via Stadera quartiere Poggioreale (STA)

# ZONA 3 S

- 3A.CNR (ad. Via Argine) quartiere Ponticelli (PON1)
- 3B. Via Inganci (serra FELACO, ad. Autostrada A1) quartiere Ponticelli (PON2)
- 3C. Via de Meis quartiere Ponticelli (PON3)
- 3D.Via Ulisse Prota Giurleo quartiere Ponticelli (PON4)
- 3E. Via Lettieri (zona Villetta) quartiere Ponticelli (PON5)
- 3F. Via Madonnelle (zona Porchiano) quartiere Ponticelli (PON6)
- 3G.Maria SS della Neve (ad. Corso Ponticelli) quartiere Ponticelli (PON7)
- 3H. Via Bartololongo quartiere Ponticelli (PON8)
- 3I. Via Botteghelle quartiere Ponticelli (PON9)

# ZONA 4

4A. Via Partenope – quartiere San Ferdinando (PAR)4B. Corso Novara – quartiere Vicaria (ad. San Lorenzo) (CNV)

#### ZONA 5

5A.Supportico Lopez – Zona Vergini (ad. Piazza Cavour) – quartiere Stella (SUP)
5B.P.S.I. Elena d'Aosta – quartiere Stella (PSI)
5C.San Marcellino – quartiere Pendino (ad. San Lorenzo) (SNM)

# ZONA 6

6A.Mercato Ortofrutticolo (ad. Centro Direzionale) - quartiere Poggioreale (ORT)

4.2 ZONA 1

#### 4.2.1 Inquadramento generale

La Zona 1 comprende i quartieri di Fuorigrotta, Bagnoli, Soccavo e Pianura, siti nell'area occidentale di Napoli. L'area confina con gli apparati vulcanici flegrei ed è la più esposta all'attività bradisismica attuale.

Dal punto di vista dell'inquadramento morfologico, le aree di Bagnoli e Fuorigrotta sono poste a circa 25-30 metri s.l.m.; inoltre, la piana di Fuorigrotta è un falsopiano con pendenze molto dolci rivolte verso occidente; le quote degradano dolcemente partendo da 40metri s.l.m. in corrispondenza dell'uscita del tunnel da Piedigrotta, fino a raccordarsi al mare nella zona di Bagnoli. Le anomalie morfologiche presenti sono ascrivibili al piccolo conetto vulcanico monte S. Teresa, a ridosso della stazione FF.SS. di Via Cavalleggeri d'Aosta, ed alla rottura di pendio nella zona di Via Giochi del Mediterraneo, dovuta al raccordo con la retrostante collina di M.te S. Angelo. L'alveo dell'Arena S. Antonio si presenta incondottato in sotterraneo, e sfocia nella zona di Coroglio a ridosso della falesia del parco Virgiliano.

La piana di Soccavo è delimitata a Nord dalla collina dei Camaldoli, ad est dalla collina del Vomero, ad ovest dai rilievi di Agnano (M.te S. Angelo) ed a sud dalla piana di Fuorigrotta. Fra questa piana e quella di Pianura vi è un salto di circa 75 metri, avendo la piana di Soccavo un andamento altimetrico medio di circa 86 metri s.l.m. Le evidenze morfologiche predominanti sono costituite dall'alveo Arena S. Antonio e dal Verdolino, mentre sono numerose le piccole linee di impluvio che drenano il versante dei Camaldoli verso la piana stessa.

La piana di Pianura ha una quota media di 160 metri s.l.m. ed è circondata su tre lati dalla collina dei Camaldoli, mentre il lato sud è delimitato dai versanti esterni delle conche di Agnano e degli Astroni.

Dall'analisi di numerose stratigrafie emerge che l'area è abbastanza omogenea, essendo caratterizzata da un substrato costituito prevalentemente da prodotti piroclastici recenti (<12,000 anni fa) di notevole spessore (maggiore di un centinaio di metri), con intercalazioni di paleosuoli, sovrapposti a sabbie marine od occasionalmente alla formazione del Tufo Giallo Napoletano.

In particolare, nella zona si riconoscono i prodotti della serie cosiddetta "Serie Urbana Recente", che si apre con i prodotti delle eruzioni di Minopoli (Soccavo) e delle Pomici Principali (Agnano) avvenute circa 9000 anni fa, e termina in alto con i prodotti di M.te Spina (Agnano) e quelli di caduta degli Astroni. Al di sotto della "Serie Urbana Recente" si rinviene talvolta il Tufo Giallo Napoletano e, nelle zone di Pianura e Soccavo (Vallone del Verdolino), i prodotti ad esso antecedenti, ovvero il Piperno Breccia Museo ed i Tufi antichi di Torre dei Franchi.

#### 4.2.2 Punti di misura e risultato delle analisi

Le misure effettuate nella Zona 1 e le caratteristiche delle registrazioni eseguite sono schematizzate nella Tabella 4.1 sottostante e nella Fig. 4.2.

| STAT-ID | DATA      | QUARTIERE   | LUOGO                             | ORA<br>INIZIO<br>(UTM) | ORA<br>FINE<br>(UTM) | ESTRAZIONE<br>(UTM)    |
|---------|-----------|-------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| BAG     | 10/4/2005 | Bagnoli     | Città della<br>Scienza            | 10:40:47               | 12:18:35             | 11:00:00 -<br>12:00:00 |
| SOC     | 20/7/2005 | Soccavo     | Chiesa S.<br>Giovanni<br>Battista | 8:46:23                | 10:57:18             | 8:50:00 -<br>10:40:00  |
| PIA     | 20/7/2005 | Pianura     | Caserma<br>Vigili del<br>Fuoco    | 11:52:24               | 13:49:00             | 12:02:00-<br>13:40:00  |
| MOS     | 9/4/2005  | Fuorigrotta | Mostra<br>d'Oltremare             | 1:00:00                | 2:00:00              | 1:00:30 -<br>1:59:30   |

Tab. 4.1: Schema riassuntivo delle misure effettuate nella zona 1.

# 1A.BAGNOLI - CITTÀ DELLA SCIENZA - (BAG)

La misura è stata effettuata all'interno del comprensorio della Città della Scienza (Fig. 4.3), nel padiglione Marie Curie (lato I.L.V.A.), posizionando il sensore su malta con spessore di pochi centimetri.



Figura 4.2: Quadro di unione dei siti investigati nella Zona 1 (simbolo stella) ed ubicazione dei sondaggi geognostici relativi al PRG 1994.

Le caratteristiche stratigrafiche di dettaglio possono esser facilmente estrapolate grazie alla vicinanza del sito ai sondaggi S5 (Via Coroglio - Parcheggio I.L.V.A.), S80 ed S81 (entrambi I.L.V.A.), oltre che al sondaggio S24 (Bagnoli, località non specificata) che raggiunge la profondità di103 m dal piano campagna.

La successione stratigrafica tipo è costituita da riporti recenti, materiali piroclastici alterati provenienti dalle eruzioni flegrei recenti intercalati a livelli fluvio-palustri ed a sabbie marine recenti miste a limi fossiliferi. Il Tufo Giallo è molto profondo, all'incirca ad una profondità di 50-80 m dalla superficie (Nunziata *et al.*, 2004).



Figura 4.3: Ubicazione del punto di misura di Bagnoli (simbolo stella) e collocazione ipotetica dei sondaggi PRG 1994 e particolare della stazione temporanea installata nel Padiglione Marie Curie all'interno della Città della Scienza.

Di seguito sono mostrati alcuni risultati più significativi ottenuti attraverso le analisi spettrali condotte (la cui metodologia è stata descritta nel paragrafo 3.2.3).

In Fig. 4.4 sono presentati gli spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione, in velocità, ed i rapporti H/V calcolati.

E' possibile notare che lo spettro in accelerazione della componente verticale presenta l'ampiezza maggiore; in generale, tutte e tre le componenti presentano maggiore energia all'incirca tra i 7 e 18 Hz.

I rapporti H/V ottenuti per i sito evidenziano di conseguenza un debole picco centrato a frequenze bassissime (intorno a 0.8 Hz), cui fa riscontro una deamplificazione per le frequenze superiori a circa 1.5 Hz.



**Figura 4.4:** Sito di Bagnoli - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

#### 1B. SOCCAVO - S. GIOVANNI BATTISTA - (SOC)

La misura è stata effettuata all'interno della Parrocchia San Giovanni Battista, sita in Piazza Ettore Vitale, nei pressi del sito FTAN 8 (Nunziata, 2004).



Figura 4.5: Ubicazione del punto di misura di Soccavo

Il sensore è stato interrato in una buca profonda circa 40 cm., in terreno presumibilmente di riporto, in corrispondenza di una aiuola vicino la torre campanaria (Fig. 4.5).

Le caratteristiche stratigrafiche del sito possono esser estrapolate attraverso il sondaggio S17 (Soccavo, località imprecisata ). La successione stratigrafica tipo è costituita da uno spessore limitato di riporti, quindi una alternanza di cineriti e pomici ascrivibili alla recente attività piroclastica flegrea. Anche in questo sito il Tufo Giallo Napoletano non è incontrato in sondaggio, e la presunta profondità si assesta intorno ai 70m al di sotto della superficie.

Gli spettri in ampiezza di Fourier relativo alle tracce in accelerazione ed in velocità (Fig. 4.6) presentano caratteristiche simili a quelle relative al sito di Bagnoli.

I rapporti H/V mostrati nella stessa figura presentano sostanzialmente una assenza di amplificazione fino a 4 Hz, quindi una leggera deamplificazione a frequenze superiori.



**Figura 4.6:** Sito di Soccavo - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

#### A. PIANURA - VIGILI DEL FUOCO - (PIA)

La misura è stata effettuata in corrispondenza della Caserma dei vigili del Fuoco di Pianura, adiacente il polo artigianale di Via montagna Spaccata (Fig. 4.7), nei pressi del sito FTAN 7 (Nunziata *et al.*,2004).



Il sensore è stato interrato in una buca profonda circa 35 cm, in corrispondenza di una aiuola del muro perimetrale occidentale.

**Figura 4.7:** Ubicazione del punto di misura di Pianura (simbolo stella) e collocazione del sito FTAN 7 (Nunziata, 2004)

Le caratteristiche stratigrafiche del sito possono esser estrapolate attraverso i sondaggi S18 ed S28 (Pianura, località imprecisata ) ed S19 (Pianura - Cimitero). Tra questi sondaggi, solamente l'S28 intercetta il Tufo Giallo Napoletano a 76 m di profondità dal piano campagna, alla fine di una sequenza di spessori ingenti di cineriti con intercalazioni di livelli pomicei ed un paleosuolo a circa 26 m di profondità.

Le caratteristiche spettrali delle registrazioni sono praticamente coincidenti con quelle relative ai due siti precedenti, sia per quanto riguarda gli spettri che le analisi dei rapporti spettrali (Fig. 4.8). In particolare, queste ultime mostrano una debolissima amplificazione intorno ai 2 Hz ed una deamplificazione a frequenze superiori.



**Figura 4.8:** Sito di Pianura - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

#### B. FUORIGROTTA - MOSTRA OLTREMARE - (MOS)

La misura è stata effettuata in corrispondenza del padiglione Libia all'interno della Mostra d'Oltremare (Fig. 4.9), in collaborazione con l'INGV di Roma (gruppo di lavoro "effetti di sito"), nell'ambito degli studi inseriti nel progetto strategico MIUR



"Diagnostica e salvaguardia dei manufatti architettonici con particolare riferimento agli effetti derivanti da eventi sismici ed altre calamità naturali".

Figura 4.9: Ubicazione del punto di misura di Fuorigrotta (simbolo stella) e collocazione ipotetica del sondaggio S26 del PRG 1994.

Le caratteristiche stratigrafiche del sito possono esser estrapolate tramite il sondaggio S26 (Mostra d'Oltremare), il quale raggiunge la profondità di 144 m e campiona circa 72 m di intercalazioni di cineriti, paleosuoli, sabbie marine e limi fossiliferi, quindi 10 m circa di tufiti, ed infine nuovamente alternanze di cineriti con intercalati rari livelli sabbiosi, riferibili al Tufo Giallo Napoletano (da 94 m circa di profondità fino a fine sondaggio).

Le analisi spettrali sono state condotte sulle tracce in velocità a causa della tipologia di stazione sismica utilizzata per acquisire i segnali e delle caratteristiche dei sensori con cui è stata equipaggiata (si rimanda al paragrafo 6.2.2 per la descrizione dettagliata della configurazione di acquisizione).

Gli spettri dei segnali in velocità (Fig. 4.10) si discostano da quelli precedentemente presentati, mostrando infatti un notevole picco a basse frequenze (intorno a 0.6 Hz), comune per tutte e tre le componenti; la causa di questo risultato potrebbe esser

imputata all'azione del moto ondoso oppure potrebbe rappresentare effettivamente una frequenza per cui il sito amplifica.

I risultati delle analisi dei rapporti H/V evidenziano analogamente il picco presente a quelle frequenze, ma mostrano anche dei picchi secondari centrati intorno alla frequenza di 1.2 Hz e 4 Hz.



**Figura 4.10:** Sito di Fuorigrotta - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in velocità e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

I risultati ottenuti tramite le analisi eseguite in ambiente Matlab, sono perfettamente concordanti con quelli ottenuti all'INGV tramite l'applicazione del pacchetto di analisi SESAME (Fig. 4.11).



Figura 4.11: Risultati della analisi di Nakamura ottenute attraverso l'applicazione del software SESAME

#### 4.2.3 Sintesi dei risultati per la Zona 1

Dal confronto dei risultati delle analisi spettrali per i siti relativi alla Zona 1 (Fig. 4.12), si può evincere che SOC presenta le ampiezze spettrali maggiori. Inoltre, BAG e FRG sono comparabili, a parte l'ampiezza spettrale della componente verticale, che risulta maggiore per il primo sito; da notare però la probabile influenza esercitata dalle differenti condizioni sperimentali, in base alle quale gli unici segnali acquisiti di notte sono riferibili al sito di FRG.

Riguardo ai rapporti H/V, si può notare un pattern similare per i siti di PIA e SOC, mentre i restanti siti si distinguono: interessante risulta il risultato per il sito di FRG, per il quale si può riconoscere un primo picco a basse frequenze, seguito da due picchi minore a frequenze, rispettivamente, di 2 e 7 Hz.



Figura 4.12: Zona 1 – Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi spettrali

4.3 ZONA 2

#### 4.3.1 Inquadramento generale

La zona 2 include i quartieri di Chiaiano, S. Carlo all'Arena, Vomero e Posillipo, ed è caratterizzata dalla presenza di materiali piroclastici recenti e di riporti antropici sovrapposti al Tufo Giallo Napoletano, con facies sia litoide che semilitoide. Il tetto del Tufo Giallo è solitamente posto a 15m di profondità dal piano campagna, ma sporadicamente si presenta molto superficiale (< 5 m) oppure a profondità maggiori di 20m.

In particolare, il basamento della collina di Posillipo è costituito interamente da tufo di colore giallo che verso mare forma numerose falesie. Il tufo risulta inoltre coperto dalle piroclastici sciolte della Serie Urbana lungo i versanti e nella parte alta.

Nell'area di Coroglio, si nota facilmente la coltre di copertura del Tufo Giallo Napoletano, formata da piroclastiti sciolte del 4° ciclo il cui spessore medio è di circa 30m. Al di sotto, il Tufo Giallo Napoletano è visibile con uno spessore che arriva fino a 50m s.l.m dove va in transizione con una formazione tufacea giallo grigiastra debolmente stratificata, con immersione N-NO, entro cui si imposta l'imbocco locale della grotta di Seiano. Questa formazione tufacea viene attribuita all'attività del Vulcano di Fuorigrotta, i cui prodotti sono sovrapposti ad un tufo stratificato attribuito all'attività del vulcano di Chiaia, facilmente visibile alla base della scarpata di Via De Bonis, al di sotto del Tufo Giallo Napoletano. La morfologia ripida di tale scarpata, che arriva a Fuorigrotta da Posillipo, viene attribuita allo sprofondamento vulcano – tettonico successivo alla messa in posto del Tufo Giallo Napoletano (Baldi, 1993).

Per quanto riguarda il Vomero, anche in questa area il Tufo Giallo Napoletano affiora estesamente, soprattutto in corrispondenza delle zone sbancate per fini costruttivi od estrattivi. Dove non sbancati o rimaneggiati dall'attività antropica, i materiali sovrapposti al tufo ben rappresentano la successione del 4° ciclo della Serie Urbana.

#### 4.3.2 Punti di misura e risultato delle analisi

Le misure effettuate nella Zona 2 e le caratteristiche delle registrazioni eseguite sono schematizzate nella Tabella 4.2:

|         | -          |           |                | ORA      | ORA        |            |
|---------|------------|-----------|----------------|----------|------------|------------|
|         |            |           |                |          |            | ESTRAZIONE |
| STAT-ID | DATA       | QUARTIERE | LUOGO          | INIZIO   | FINE       | (UTM)      |
|         |            |           |                | (UTM)    | (UTM)      | (01111)    |
| POS1    | 8/4/2005   | Posillino | Piazza S. di   | 16.43.00 | 18:00:00   | 14:43:00 - |
| 1051    | 0/4/2005   | rosnipo   | Giacomo        | 10.45.00 | 10.00.00   | 14:54:00   |
| POST    | 8/4/2005   | Posillipo | Parco          | 18:50:00 | 20:10:00   | 19:04:30 - |
| 1052    | 0/4/2005   |           | Virgiliano     |          |            | 20:09:30   |
| POS3    | 8/4/2005   | Posillipo | Via Cupa       | 21:00:00 | 09:00:00   | 2:05:00 -  |
| 1055    | 0/4/2005   |           | Angara         |          | (9/4/05)   | 2:55:00    |
| POS4    | 9/4/2005   | Posillipo | Piazza Capo    | 10.25.00 | 12:05:00   | 8:30:00 -  |
| 1054    | J/4/2003   |           | Posillipo      | 10.25.00 |            | 8:40:00    |
|         |            |           | Vecchio        |          |            | 13.17.00 - |
| POS5    | 9/4/2005   | Posillipo | Osservatorio   | 13:05:00 | 14:40:00   | 14.39.00   |
|         |            |           | Vesuviano      |          |            | 11.59.00   |
| POS6    | 9/4/2005   | Posillino | Giuseppone a   | 19.10.00 | 10:20:00   | 2:05:00 -  |
| 1050    | 97 172003  | rosimpo   | Mare           | 19.10.00 | (10/04/05) | 2:55:00    |
| POS7    | 10/4/2005  | Posillino | Via Manzoni    | 17:05:00 | 18.25.00   | 15:27:00 - |
| 1057    | 10/ 1/2005 | rosimpo   | Viu Wiunzonn   | 17.00.00 | 10.25.00   | 16:12:00   |
| POS8    | 28/4/2005  | Posillino | Via Petrarca   | 17.30.00 | 18.20.00   | 15:31:00 - |
| 1050    | 20/ 1/2005 | rosimpo   | v la l'ettarea | 17.50.00 | 10.00.00   | 15:59:00   |
| VOM     | 22/7/2005  | Vomero    | Villa          | 8.35.00  | 10.32.00   | 8:40:00-   |
| v UN    | 22/11/2003 | voniero   | Floridiana     | 0.55.00  | 10.52.00   | 10:25:00   |
|         |            |           | Parco Museo    |          |            | 10.35.00 - |
| САР     | 17/6/2005  | S.Carlo   | di             | 8:04:00  | 11:07:00   | 11:05:00   |
|         |            |           | Capodimonte    |          |            | 11.00.00   |
|         |            |           | Parco          |          | 06.30.00   | 1:00:30-   |
| СНІ     | 17/3/2005  | Chiaia    | Margherita     | 14:15:00 | (20/3/05)  | 1:59:30    |
|         |            | 1         |                |          | (20/0/00)  | (20/3/05)  |

Tab. 4.2: Schema riassuntivo delle misure effettuate nella zona 2.



**Figura 4.13:** Quadro di unione dei siti investigati nel quartiere di Posillipo (simbolo stella) ed ubicazione dei sondaggi geognostici relativi al PRG 1994.
Data la vastità della Zona 2, la Fig. 4.13 raffigura un dettagliato quadro di unione relativo alle misure condotte nel quartiere di Posillipo, soltanto nel quale sono state condotte ben otto misure sulle undici totali.

### 2A.PIAZZA SALVATORE DI GIACOMO – (POS1)

La misura è stata condotta vicino l'estremità orientale della piazza (Fig. 4.14), a circa 15 metri di distanza da una giostra, posizionando il sensore sul cemento a ridosso di una aiuola (Fig. 4.15).



**Figura 4.14:** Ubicazione del punto di misura di Posillipo – Piazza Salvatore di Giacomo (simbolo stella) e collocazione del sondaggio S8 del PRG 1994.

L'assetto geologico della zona può esser facilmente ricostruito avvalendosi delle stratigrafie relative al sondaggio S8 (Piazza S. Di Giacomo – inizio Via Belsito), il quale campiona 16.3 m di riporti antropici, 3 m di sabbia cineritica rimaneggiata (detriti e depositi eluviali e colluviali), prima di incontrare il tetto del Tufo Giallo Napoletano (facies litoide) a 20 m di profondità dal piano campagna fino a fine sondaggio (31 m di profondità).

Le analisi spettrali eseguite sia in termini di accelerazione che velocità (Fig. 4.16) mostrano che la componente verticale presenta le ampiezze spettrali maggiori, soprattutto in corrispondenza dei picchi oltre i 10 Hz.



Figura 4.15: Particolare della configurazione di acquisizione dei segnali a Piazza Salvatore di Giacomo.



SPETTRI in ACCELERAZIONE medi e lisciati a Posillipo - P.zza S. Di Giacomo su tutte le 22 finestre

**Figura 4.16:** Sito di Posillipo – Piazza Salvatore di Giacomo – Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

I rapporti di Nakamura calcolati per il sito sono caratterizzati da un picco ben visibile, centrato tra le frequenza di 4 e 5 Hz, che mostra un livello di amplificazione del valore di circa 3.

# 2B. PARCO VIRGILIANO - (POS2)

La misura è stata condotta all'interno del Parco Virgiliano (Fig. 4.16), lungo la salita sinistra in corrispondenza del secondo chiosco posizionando il sensore sul terreno alle spalle di una panchina (Fig. 4.17).



Figura 4.16: Ubicazione del punto di misura di Posillipo – Parco Virgiliano (simbolo stella)



Figura 4.17: Particolare della configurazione di acquisizione dei segnali a Posillipo – Parco Virgiliano

Per quanto riguarda le analisi spettrali, lo spettro in accelerazione mostra un trend crescente dell'ampiezza spettrale spostandoci verso le frequenze superiori a 10 Hz, dove si concentra la maggior parte dell'energia. Gli spettri dei segnali in velocità (Fig. 4.18) evidenziano un picco a basse frequenze, circa a 0.6 Hz, imputabile forse all'effetto del moto ondoso.



**Figura 4.18:** Sito di Posillipo – Parco Virgiliano - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

I risultati delle analisi di Nakamura evidenziano un plateau di modesta amplificazione compreso all'incirca tra le frequenze di 1 e 5 Hz. A frequenze superiori il rapporto di Nakamura assume valori molto prossimi all'unità, mostrando praticamente assenza di amplificazione per frequenze superiori a 5 Hz. Il pattern di amplificazione potrebbe esser ascrivibile a qualche fenomeno legato alla morfologia del sito, poiché la presenza del tufo potrebbe far escludere fenomeni di amplificazione dovuti alle caratteristiche stratigrafiche.

# 2C. VIA CUPA ANGARA Nº 20 - (POS3)

La registrazione è stata effettuata durante il periodo notturno (Fig. 4.19), ed il sensore è stato posizionato in una cantina cementata a circa 1 m di profondità dal piano campagna (Fig. 4.20).



Figura 4.19: Ubicazione del punto di misura di Posillipo – Via Cupa Angara (simbolo stella)



Figura 4.20: Particolare della configurazione di acquisizione dei segnali a Posillipo – Via Cupa Angara

Le analisi spettrali dei segnali in velocità (Fig. 4.21) sono simili a quelle relative al sito precedente, per cui valgono le stesse considerazioni fatte. Per quanto riguarda gli spettri dei segnali in accelerazione, si nota che la componente verticale presenta ampiezze spettrali superiori rispetto alle componenti orizzontali, a basse frequenze ( $\leq 2$  Hz) ed alte frequenze ( $\geq 11$  Hz circa).



**Figura 4.21:** Sito di Posillipo – Via Cupa Angara - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

Probabilmente queste caratteristiche spettrali influenzano i rapporti di Nakamura, anch'essi mostrati nella Fig. 4.21. Si può notare infatti la presenza di un grosso picco compreso tra le frequenze di 2 e 7 Hz, con il vertice splittato il cui inviluppo cadrebbe intorno ai 4 Hz. Poiché questo picco si riscontra nell'intervallo di frequenze in cui il segnale non presenta energia marcata, occorre valutare l'affidabilità dei risultati, i quali potrebbero esser influenzati da disturbi locali oppure dalle caratteristiche morfo-stratigrafiche del sito, per il quale si potrebbero estrapolare le informazioni geologiche derivanti dalla stratigrafia del sondaggio S8.

## 2D.PIAZZA CAPO POSILLIPO- (POS4)

La registrazione è stata effettuata nel giardino di una abitazione privata (Fig. 4.22), posizionando il sensore sul terreno, alla base di un muro addossato alla parete tufacea di Discesa Coroglio (Fig. 4.23).

Discosa Corogno (11g. 1.25).



Le analisi spettrali mostrano risultati interessanti: gli spettri dei segnali in accelerazione (Fig. 4.24) presentano due picchi, di cui il primo centrato intorno ai 0.7 Hz, ed il secondo intorno ai 10 Hz, con qualche picco secondario a frequenze maggiori



probabilmente imputabile a disturbi presenti nella registrazione.

Figura 4.24: Sito di Posillipo – Piazza Capo Posillipo - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

I risultati delle analisi sui rapporti di Nakamura (Fig. 4.24) mostrano in maniera quasi didattica che non è individuabile alcun fenomeno di amplificazione, mantenendosi il rapporto spettrale centrato intorno al valore unitario per il range di frequenze compreso tra 0.5 e 10 Hz. Sulla base di questo risultato, è possibile individuare in questo sito le caratteristiche proprie di una stazione di riferimento posta su roccia.

# 2E. VECCHIO OSSERVATORIO VESUVIANO (Via Padula) - (POS5)

La misura è stata condotta in prossimità della sede ormai non più agibile dell'Osservatorio Vesuviano (Fig. 4.25), ponendo il sensore semi-interrato in prossimità di un bordo di riporto terrazzato con spessore di circa 2.5 m., sul lato del Commissariato di Polizia della zona Posillipo (Fig. 4.26 a e b).



**Figura 4.25:** Ubicazione del punto di misura di Posillipo – Vecchio Oss. Vesuviano (simbolo stella) e collocazione del sondaggio S30 del PRG 1994.





**Figura 4.26**: Particolare della configurazione di acquisizione dei segnali a Piazza Salvatore di Giacomo. E' possibile notare la collocazione del sensore semi interrato (b) all'interno del terreno di una scarpata adiacente all'edificio pericolante un tempo sede dell'Osservatorio Vesuviano (a)

La stratigrafia descritta dal limitrofo sondaggio S30 (Vecchia sede dell'Osservatorio Vesuviano), mostra che il sito presenta 3.5 m di riporti antropici di natura pozzolanico –

sabbiosa molto addensati (valori riportati di  $N_{STP}$  di 40), 11.5 m di sabbie limose cineritiche con inclusi pomicei ascrivibili all'attività recente dei Campi Flegrei (3750 – 10000 anni dal presente), separati dal tetto del Tufo Giallo Napoletano (facies litoide) attraverso un sottile paleosuolo. Il Tufo Giallo Napoletano si rinviene di conseguenza tra 15 m circa e fine sondaggio (30 m di profondità da piano campagna) e presenta una struttura vacuolare.



Frequenza (Hz)

**Figura 4.27:** Sito di Posillipo – Vecchio Osservatorio Vesuviano - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

I risultati delle analisi spettrali mostrano che le tre componenti presentano un andamento simile per quanto riguarda gli spettri dei segnali in accelerazione ed in velocità (Fig. 4.27), in cui la maggiore energia è concentrata sopra gli 8 Hz.

Queste caratteristiche comportano una mancanza di amplificazione facilmente individuabile dai risultati delle analisi di Nakamura, presentando i rapporti spettrali picchi non accentuati e comunque contraddistinti da valori non marcati che oscillano tra 1 e 2.

Queste caratteristiche comportano una mancanza di amplificazione facilmente individuabile dai risultati delle analisi di Nakamura, presentando i rapporti spettrali picchi non accentuati e comunque contraddistinti da valori non marcati che oscillano tra 1 e 2. Con una attenta analisi dei rapporti spettrali, si potrebbero individuare due picchi molto ravvicinati tra 3 e 5 Hz, replicati grossomodo tra 8 e 12 Hz, che potrebbero però esser ascrivibili alle variabilità connesse con il calcolo dei rapporti spettrali stessi.

## 2F. GIUSEPPONE A MARE (Via F. Russo) - (POS6)

La registrazione è stata effettuata durante la notte nell'area residenziale denominata "Giuseppone a Mare", limitrofa alla omonima località balneare (Fig. 4.28)

Il sensore è stato posizionato a contatto con il terrapieno in un appartamento in ricostruzione la cui base ha subito uno sbancamento di circa 1 metro (Fig. 4.29).





**Figura 4.28:** Ubicazione del punto di misura di Posillipo – Giuseppone a Mare (simbolo stella)

**Figura 4.29:** Particolare della configurazione di acquisizione dei segnali a Posillipo – Giuseppone a Mare

Gli spettri in accelerazione (Fig. 4.30) mostrano che la componente verticale ha caratteristiche più pronunciate a frequenze inferiori a 2 Hz e comprese tra 10 e 12 Hz circa, mentre si presenta meno frastagliata tra 3 e 9 Hz. Le analisi spettrali dei segnali in velocità risultano particolarmente influenzate da un trend crescente verso le basse frequenze, probabilmente riferibile all'azione esercitata dal moto ondoso oppure alla modalità di integrazione dei segnali.



**Figura 4.30:** Sito di Posillipo – Giuseppone a Mare - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

Le caratteristiche spettrali descritte influenzano i risultati del rapporto di Nakamura: è possibile individuare un picco principale centrato intorno alla frequenza di 6 Hz, ed affiancato da due picchi minori che potrebbero rappresentarne le propaggini a frequenze immediatamente inferiori o superiori.

## 2G. VIA MANZONI - (POS7)

La registrazione è stata eseguita all'interno di un deposito ubicato su un terrapieno a circa 5 m da una scarpata terrazzata che affaccia su Via de Bonis (Fig. 4.31), cui si accede tramite una stradina privata su Via Manzoni, all'altezza della scuola elementare "Villanova".



Figura 4.31: Ubicazione del punto di misura di Posillipo – Via Manzoni (simbolo stella)

Le analisi spettrali mostrano un comportamento simile per le tre componenti; le maggiori variabilità si riscontrano per gli spettri dei segnali in accelerazione, in cui la componente verticale presenta una ampiezza spettrale inferiore a quella delle componenti orizzontali nel range di frequenze compreso tra 3 e 9 Hz. Anche in questo sito la maggiore energia si concentra a frequenza superiore a 8 Hz (segnali in accelerazione) oppure intorno a 0.5 Hz (segnali in velocità).

Le caratteristiche spettrali qui descritte influenzano i risultati delle analisi dei rapporti di Nakamura (Fig. 4.32). I rapporti spettrali presentano infatti un vistoso picco intorno a 6 Hz, la cui ampiezza oscilla tra 4.5 e circa 8 in funzione della metodologia applicata nel corso dell'analisi.



**Figura 4.32:** Sito di Posillipo – Via Manzoni - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

#### 2H. VIA PETRARCA- (POS8)

La registrazione è stata effettuata all'interno di un parco privato su Via Petrarca (Fig. 4.33), in corrispondenza di un terrapieno addossato alla scarpata tufacea rivestita con muro di contenimento, ponendo il sensore seminterrato nel suolo.

Sebbene posto ad una altezza non specificata di Via Petrarca, il sondaggio S33 può descrivere con sufficiente accuratezza le caratteristiche stratigrafiche del sito. Le stratigrafie riportate mostrano infatti la presenza di un sottile livello (2 m) di terreno di riporto di natura sabbioso – pozzolanico, sovrapposto al membro litoide del Tufo Giallo Napoletano, che si presenta con struttura da granulare a vacuolare con inclusi litici.



**Figura 4.33:** Ubicazione del punto di misura di Posillipo – Via Petrarca (simbolo stella) e localizzazione presunta del sondaggio S5 del PRG 1994

Dalle analisi spettrali condotte (Fig. 4.34) si può evincere che le tre componenti presentano un andamento alquanto comparabile. Infatti, a partire dai 3 Hz in su, le tre componenti presentano in generale un andamento confrontabile su cui però si impostano piccole variazioni riguardanti la collocazione dei picchi e la loro forma spettrale.

Queste variabilità condizionano i risultati delle analisi di Nakamura. Dai grafici si può individuare infatti la presenza di un picco appena pronunciato (ampiezza circa 2 - 3 a seconda del metodo utilizzato), centrato intorno a 3.5 Hz ma caratterizzato da una forma spettrale molto ampia; a questo picco principale seguono altri minori (frequenze superiori a 10 Hz) associati da una ampiezza di poco superiore all'unità.



**Figura 4.34:** Sito di Posillipo – Via Petrarca - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

#### 2.1 VILLA FLORIDIANA (Quartiere Vomero) – (VOM)

La registrazione è stata effettuata all'interno del parco della Villa Floridiana, di spalle al gabbiotto di ingresso da Via Falcone (Fig. 4.35), con il sensore interrato a circa 35 cm dalla superficie.



Figura 4.35: Ubicazione del punto di misura del Vomero - Villa Floridiana (simbolo stella)

In mancanza attuale di informazioni geologiche di dettaglio, è possibile assimilare l'assetto stratigrafico del sito a quello descritto dal sondaggio S39 (Via Tasso); in base a questo, si può ipotizzare la presenza di circa 4 m di riporti antropici, circa 7.5 m di sabbie e limi cineritici ascrivibili ai prodotti del 4° ciclo dei Campi Flegrei (Baldi, 1993) e caratterizzati da valori di N<sub>SPT</sub> molto bassi (da 4 a 6), e circa mezzo metro di cappellaccio tufaceo (Tufo Giallo Napoletano alterato, facies semilitoide). Il Tufo Giallo Napoletano litoide si incontra quindi da 12.5 m di profondità e si campiona fino a fine sondaggio (31 m).

I risultati delle analisi spettrali (Fig. 4.36) mostrano che la maggiore energia è concentrata a frequenze superiori a 10 Hz, non evidenziando alcun picco a basse frequenze diversamente dai casi analizzati precedentemente.

I rapporti spettrali ottenuti con l'analisi di Nakamura pongono in risalto la presenza di un picco centrato intorno a 6.5 Hz, caratterizzato da amplificazione non trascurabile (del valore di circa 3.5).



**Figura 4.36:** Sito del Vomero – Villa Floridiana - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata)

# PARCO MARGHERITA (Quartiere Chiaia) - (CHI)

La stazione sismica è stata installata nella cantina di una abitazione privata sita all'indirizzo Via del Parco Margherita 24 (Fig. 4.37), e si è mantenuta in registrazione continua per quattro giorni. Le analisi riportate si riferiscono ad una finestra notturna di

registrazioni, presumibilmente meno affette da disturbi antropici ed ottimali per investigare l'effetto locale dovuto alle caratteristiche intrinseche del sito.



Figura 4.37: Ubicazione del punto di misura di Chiaia – Parco Margherita (simbolo stella)

Nel caso di questo sito, valgono le stesse considerazioni geologiche espresse nel caso del Vomero, nonostante si potrebbero riscontrare i prodotti tufacei stratificati ascrivibili all'attività del Vulcano di Chiaia.

Dall'osservazione dei risultati relativi alle analisi spettrali (Fig. 4.38), si evince che in generale le tre componenti presentano caratteristiche confrontabili, tranne nel caso di alcune variabilità che si verificano tra 3 e 4 Hz, in cui la componente verticale presenta picchi caratterizzati da ampiezza spettrale superiore rispetto le componenti orizzontali.

Le analisi di Nakamura evidenziano il fatto che i rapporti spettrali non mostrano amplificazione per tutto il range di frequenze investigato; i rapporti di Nakamura presentano quindi un valore che si mantiene intorno all'unità, con una singolare deamplificazione per le frequenze comprese tra 2 e 3 Hz, in concordanza con quanto ci saremmo aspettati in base alle caratteristiche spettrali.

Il sito dimostra di possedere le caratteristiche per poter esser considerato un plausibile sito di riferimento su roccia, per quanto dovrebbero esser chiarite le cause che sembrano comportare la deamplificazione riscontrata.

91



**Figura 4.38:** Sito di Chiaia – Parco Margherita - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

# 2.J <u>PARCO del MUSEO DI CAPODIMONTE (Quartiere S. Carlo all'Arena) –</u> (CAP)

La registrazione è stata effettuata nel parco del Museo di Capodimonte, ubicando la stazione sismica nel giardino interno della struttura "Casina dei Principi" (Fig. 4.39), ed interrando il sensore a circa 50 cm di profondità.



**Figura 4.39:** Ubicazione del punto di misura di Capodimonte – Museo di Capodimonte (simbolo stella) e collocazione ipotetica dei sondaggi S13, S46 ed S47 del PRG 1994.

Nonostante nell'area di misura ricadano i tre sondaggi S13 ed S49 (Capodimonte, Località non specificata) ed S47 (Tondo di Capodimonte), il secondo di essi presenta la quota del boccaforo e le caratteristiche più atte alla ricostruzione dell'assetto geologico di dettaglio. La stratigrafia del sondaggio S46 riporta infatti la presenza di 1.5 m di riporti, 3.5 m di ceneri e pomici appartenenti all'attività recente dei Campi Flegrei, 12 m di Tufo Giallo Napoletano in facies semilitoide che transita alla fase litoide alla profondità di 17 m dal piano campagna; da circa 31 m a 68 m di profondità si riscontrano cineriti rimaneggiate in cui si imposta una cavità all' incirca tra 52 e 54 m. Tra 68 e 100 m si rinviene l'Ignimbrite Campana, cui seguono i depositi cineritici (fino a fine sondaggio – 150 m) ascrivibili ai Tufi di Monte Franco, ai Tufi Antichi Vesuviani ed ai prodotti della Serie Urbana di età superiore a 30-35000 anni (PRG 1994).

Le analisi spettrali in accelerazione ed in velocità (Fig. 4.40) mostrano un comportamento analogo per le tre componenti, per quanto in generale la componente verticale presenta una ampiezza spettrale inferiore nel range di frequenze compreso tra 1 e 12 Hz circa.

I rapporti di Nakamura presentano un andamento pressoché piatto, caratterizzato da valori di poco superiore all'unità per tutto l'intervallo di frequenze analizzate.







Rapporto H/V di spettri lisciati +/- stndev per Museo di Capodimonte - no basetta calcolati su 60 finestre selezionate

**Figura 4.40:** Sito di Capodimonte – Museo di Capodimonte - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

# 4.3.3 Sintesi dei risultati per la Zona 2

La sintesi dei risultati ottenuti tramite le analisi spettrali sono presentati nelle figure 4.41 e 4.42, rispettivamente relative ai soli siti che insistono nel quartiere di Posillipo e per tutti gli altri siti.

Le forme spettrali denotano una variabilità abbastanza spiccata per quanto riguarda le ampiezze, mentre in generale gli andamenti sono abbastanza confrontabili: le maggiori energie risultano concentrate a frequenze superiori di 10 Hz.

I risultati dei rapporti spettrali presentano interessanti caratteristiche; in generale si può affermare che:

- POS4, CAP e CHI non presentano amplificazione notabile, permettendone la classificazione come siti su roccia.
- POS3, POS5, POS8 e limitatamente POS1 presentano una notevole somiglianza, essendo caratterizzati da picchi compresi tra le frequenze di 3.5 e 4.5 Hz circa.
- POS6, POS7 e VOM presentano senza dubbio delle analogie, essendo caratterizzati da picchi centrati tra le frequenze di 6 e 7 Hz, per quanto i risultati siano complicati da picchi secondari e frequenze di 8 Hz e 4 Hz (simili quindi al precedente gruppo di siti).
- POS2 si discosta da tutti gli altri siti, presentando una amplificazione distribuita su una banda di frequenze compresa tra 1 e 4 Hz.



**Figura 4.41:** Zona 2 – Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi spettrali per i siti localizzati nel quartiere di Posillipo



Figura 4.42: Zona 2 - Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi spettrali per gli altri siti

4.4 ZONA 3

#### 4.4.1 Inquadramento generale

La Zona 3 è localizzata nel distretto orientale di Napoli ed è stata suddivisa in 2 porzioni; l'area settentrionale, denominata Zona 3N, comprende i quartieri di Piscinola, Miano, Secondigliano, Scampia, S. Pietro ed una porzione di Poggioreale, mentre l'area meridionale, denominata Zona 3S, comprende i quartieri di Ponticelli, Barra e S. Giovanni a Teduccio.

La Zona 3 è caratterizzata dalla presenza di orizzonti tufacei antichi; in generale, la Zona 3N è contraddistinta da una copertura di pozzolana afferente al Tufo Giallo Napoletano e da prodotti dell'Ignimbrite Campana, mentre la Zona 3S è contraddistinta dalla presenza di prodotti tufacei delle eruzioni vesuviani, sia nella facies litoide che semilitoide.

4.4A ZONA 3 N

### 4.4A.1 Inquadramento

La caratterizzazione geologico – stratigrafica dell'area conduce al riconoscimento di terreni vulcanici prevalentemente sciolti costituiti da livelli di pozzolane, pomici, sabbie con intercalazioni di paleosuoli e localmente torbe. I terreni vulcanici presenti sono riferibili all'attività dei Campi Flegrei e comprendono anche il Tufo Giallo Napoletano che in questa area si presenta prevalentemente nella sua facies non litificata, con spessori di alcune decine di metri. Queste piroclastici poggiano sull'Ignimbrite Campana messa in posto circa 35000 anni fa e su vulcaniti più antiche comprendenti anche colate di lava riferibili ad eruzioni locali. La geometria dei terreni vulcanici è estremamente variabile lateralmente e verticalmente a causa delle azioni erosive e deposizionali verificatesi negli ultimi periodi glaciali.

#### 4.4A.2 Punti di misura e risultato delle analisi

Le misure effettuate sono state acquisite in corrispondenza dei medesimi siti investigati con metodologia FTAN (Nunziata *et al.*, 2004). Si possono individuare due aree investigate corrispondenti alla zona della Doganella e di Via Stadera.

| STAT-ID | DATA      | QUARTIERE   | LUOGO                 | ORA<br>INIZIO<br>(UTM) | ORA<br>FINE<br>(UTM) | ESTRAZIONE<br>(UTM)    |
|---------|-----------|-------------|-----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| DOG1    | 10/6/2005 | S. Carlo    | Ospedale Don<br>Bosco | 8:02:00                | 10:42:00             | 9:15:00 -<br>10:35:00  |
| DOG2    | 10/6/2005 | S. Carlo    | Comando<br>VV.UU      | 13:23:00               | 15:11:00             | 13:35:00 -<br>14:50:00 |
| STA     | 11/5/2005 | Poggioreale | Via Stadera           | 11:06:00               | 13:01:00             | 11:36:00 -<br>12:50:00 |

Le caratteristiche delle registrazioni eseguite sono schematizzate nella Tabella 4.3 sottostante

Tab. 4.3: Schema riassuntivo delle misure effettuate nella zona 3N.

Nella seguente Figura 4.43 è presentato un quadro di unione relativo alle due misure effettuate nell'area della Doganella e descritte di seguito.



Figura 4.43: Quadro di unione dei siti investigati nella zona della Doganella

#### 3N.A OSPEDALE DON BOSCO, quartiere S. Carlo all'Arena – (DOG1)

La misura è stata condotta nel comprensorio dell'Ospedale Don Bosco (Fig. 4.44), alle spalle del padiglione di recente costruzione, all'interno dell'aiuola che divide il parcheggio dipendenti dall'ingresso della farmacia, nelle vicinanze del sito FTAN 3 (Nunziata *et al.*, 2004). Il sensore è stato interrato in una buca profonda circa 35 cm., all'interno della quale si potevano riconoscere i primi 10 cm consistenti di riporto, quindi una successiva zona radicale ed infine il terreno compattato artificialmente, con presenza di ghiaietto di riporto.



**Figura 4.44:** Ubicazione del punto di misura della Doganella – Ospedale Don Bosco (simbolo stella) e collocazione del sito FTAN 3 (Nunziata et al., 2004)

L'assetto geologico si può estrapolare grazie alla vicinanza del sondaggio S57 (località imprecisata lungo Viale U. Maddalena), che campiona circa 3 m di riporti, 5 m di intercalazioni di pomici riferibili a prodotti distali delle eruzioni dei Campi Flegrei, 2 livelli sottili di paleosuoli, ed infine 21 m circa (fino a fine sondaggio – 30 m di profondità dal piano campagna) di Tufo Giallo Napoletano (facies semilitoide) costituito da cineriti grigie e gialle.

Dall'analisi spettrale dei segnali in accelerazione (Fig. 4.45) si evince che la componente verticale presenta una ampiezza spettrale superore rispetto alle componenti orizzontali a frequenze superiori di circa 7 Hz, dove il segnale presenta la maggiore concentrazione di energia. Dall'analisi relativa alle tracce in velocità, si nota la presenza

0

10<sup>0</sup>

di picchi in corrispondenza delle frequenze di circa 2.5 Hz e tra 8 e circa 15 Hz; di questi picchi, il primo non si riscontra nella componente verticale, mentre il secondo risulta esser caratterizzato dall'ampiezza spettrale maggiore, in conformità con quanto osservato nelle tracce in accelerazione.



Frequenza (Hz) Figura 4.45: Sito della Doganella – Ospedale Don Bosco – Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

10<sup>1</sup>

Le caratteristiche spettrali descritte influenzano di conseguenza i rapporti di Nakamura, i quali mostrano una leggera amplificazione con un picco centrato intorno i 2.5 Hz.

# 3N.B <u>COMANDO VIGILI URBANI (Via de Giaxa)</u>, quartiere S. Carlo all'Arena– (DOG1)

La registrazione è stata acquisita all'interno del Comando dei Vigili Urbani, ubicato in una traversa di Via Giaxa e raggiungibile da Corso U. Maddalena (Fig. 4.46), in corrispondenza del sito FTAN 4 (Nunziata *et al.*, 2004). La stazione sismica è stata posizionata al lato del piastrino di cemento dove è installata la stazione fissa "Doganella" della rete RAN operata dal Servizio Sismico Nazionale – Dip. Protez. Civile, ed il sensore è stato interrato in una buca profonda circa 35 cm.



**Figura 4.46:** Ubicazione del punto di misura della Doganella – Comando Vigili Urbani (simbolo stella) e collocazione del sito FTAN 4 (Nunziata et al., 2004)

La descrizione geologica è assimilabile a quella descritta per il precedete sito

Dall'analisi spettrale dei segnali in accelerazione (Fig. 4.47) si evince che le tre componenti presentano un ampiezza spettrale confrontabile tra loro, mentre da quella relativa alle tracce in velocità si nota la presenza comune di due picchi alle frequenze di circa 2.8 Hz e tra 8 e circa 15 Hz. Anche per questo sito l'energia appare concentrata a frequenze superiori a 8 Hz circa.

I risultati relativi ai rapporti di Nakamura mostrano una leggerissima amplificazione per le frequenze comprese tra circa 2 e 4 Hz, con rilevanza pressoché trascurabile dato il modesto valore associato.



**Figura 4.47:** Sito della Doganella – Comando Vigili Urbani - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

# 3N.C VIA STADERA, quartiere Poggioreale - (STA)

La registrazione è stata effettuata in una zona limitrofa al sito FTAN 2 (Nunziata *et al.*, 2004), più precisamente lungo Via Stadera, in corrispondenza del sito in cui si verificò il crollo del palazzo durante il terremoto del 1980 (Fig. 4.48); la stazione è stata localizzata nei locali addetti a garage della palazzina limitrofa alla scuola materna "Chiara d'Assisi", ponendo il sensore a contatto sul pavimento cementato.



**Figura 4.48:** Ubicazione del punto di misura di Poggioreale – Via Stadera (simbolo stella), collocazione ipotetica del sondaggio S67 del PRG 1994 ed ubicazione del sito FTAN 2 (Nunziata et al., 2004)

L'assetto geologico – stratigrafico di dettaglio può esser ricostruito tramite le stratigrafie dei sondaggi S67 (Via stadera – altezza imprecisata), S62 (Via Miraglia), S66 (Via Arpino al confine con il comune di Casoria), S4 (Cimitero di Poggioreale) ed S61 (Via del Riposo). In particolare, i sondaggi S67 ed S62 risultano i più indicati, data la vicinanza rispetto al sito e considerando la loro collocazione rispetto ai lineamenti morfologici che contraddistinguono la rottura di pendio di Poggioreale. Nonostante la vicinanza tra i sondaggi, le stratigrafie del sondaggio S62 si discostano da quelle del sondaggio S67; infatti, nel primo si riscontrano frequenti livelli fluvio – lacustri e palustri, con presenza di cospicui livelli torbosi, sovrapposti al Tufo Giallo Napoletano (facies semilitoide) che si rinviene a profondità di 20 m dal piano campagna, mentre nel secondo sondaggio la colonna stratigrafica è costituita da 4 m di riporti, circa 3 m di cineriti associate all'eruzione di Avellino, separate dal Tufo Giallo Napoletano (facies semilitoide) da un sottile livello di paleosuoli. Il Tufo Giallo Napoletano presenta uno spessore di circa 7 m (da 7.3 a 14 m di profondità dal piano campagna) ed è sovrapposto

all'Ignimbrite Campana, presente fino a fine sondaggio (30 m di profondità dal piano campagna).



**Figura 4.49:** Sito di Poggioreale – Via Stadera - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Le analisi spettrali presentate in Fig. 4.49 fanno emergere un quadro piuttosto complesso, da cui si può in generale notare che la componente verticale presenta le ampiezze spettrali maggiori (almeno per frequenze superiori a 1.5 Hz circa) in cui si

possono individuare diversi picchi. Dagli spettri in velocità si notano infatti alcuni picchi centrati intorno alle frequenze di 1.5 Hz circa e 2.5 Hz.

I risultati dei rapporti di Nakamura mostrano un picco di amplificazione centrato intorno ad 1Hz, seguito da una banda di deamplificazione a frequenze superiori.

# 4.4A.3 Sintesi dei risultati per la Zona 3 N

Attraverso il confronto tra i risultati delle analisi spettrali per i siti contenuti all'interno della Zona 3N (Fig.4.50), emerge la notevole somiglianza tra i siti DOG1 e DOG2, in conformità a quanto ci saremmo potuti aspettare considerandone l'assetto stratigrafico pressoché identico. I due siti infatti insistono sulle medesime litologie, per quanto attualmente i siti risultano separati fisicamente dalla tangenziale; a tal proposito, è probabile che i picchi ad alte frequenze siano proprio ascrivibili al traffico veicolare che insiste sulla limitrofa strada ad alto scorrimento.

Per quanto riguarda i rapporti spettrali, i siti DOG1 e DOG2 presentano entrambi una modesta amplificazione intorno a 2.5 Hz.

Il sito STA si discosta da questo pattern, presentando una amplificazione di simile ampiezza, ma centrata a frequenze più basse (circa 1 Hz).



Figura 4.50: Zona 3N – Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi spettrali.

4.4B ZONA 3 S

## 4.4B.1 Inquadramento

Quest'area era denominata dagli antichi greci "clanis", toponimo largamente diffuso in Campania per indicare corsi d'acqua a lento deflusso e da cui sarebbe successivamente derivato l'odierno "Lagno"; solo negli ultimi decenni tale area è stata incorporata nell'espansione urbanistica della città con il prosciugamento delle paludi.

Il sottosuolo dell'area è caratterizzato dalla presenza di discontinuità sia laterali che verticali tra i vari materiali, dovute all'interdigitazione tra prodotti delle eruzioni flegrei e vesuviane ed i periodi di quiete rappresentati da ambienti palustri ed invasioni marine.

A parte piccole variazioni laterali, al di sotto dei prodotti delle eruzioni del 79 d.C. e di Avellino, è presente un tufo originatosi da una eruzione vesuviana (Tufo Vesuviano). Questo tufo si presenta con due facies di cui una di colore grigio, con consistenza da sciolta a semilitoide, e l'altra di colore giallo completamente litoide. Questo tufo è caratterizzato dalla presenza, nella massa, di frammenti di calcare e piccoli blocchi di lava.

Al di sotto, separata da un paleosuolo, si rinviene la formazione del Tufo Giallo Napoletano che si presenta in facies prevalentemente grigia, non cementato, e con spessori variabili tra 10 e 20 m. L'unità ha uno spessore medio di circa 10 m ed è compresa tra le Pomici Principali, nella parte alta, e l'Ignimbrite Campana, nella parte bassa; quest'ultima non viene campionata dai sondaggi disponibili nella zona.

### 4.4B.2 Punti di misura e risultato delle analisi

Le misure effettuate sono state concentrate nel quartiere di Ponticelli. La Fig. 4.51 mostra un quadro di insieme delle registrazioni eseguite, le cui caratteristiche sono schematizzate nella Tabella 4.4 sottostante

| STAT-ID | DATA      | QUARTIERE  | LUOGO                            | ORA<br>INIZIO<br>(UTM) | ORA<br>FINE<br>(UTM) | ESTRAZIONE<br>(UTM)    |
|---------|-----------|------------|----------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| PON1    | 19/5/2005 | Ponticelli | CNR                              | 13:26:00               | 15:25:00             | 13:40:00 -<br>15:00:00 |
| PON2    | 19/5/2005 | Ponticelli | Via Inganci –<br>serra<br>FELACO | 16:26:00               | 18:15:00             | 16:40:00 -<br>18:10:00 |
| PON3 | 19/5/2005 | Ponticelli | Via de Meis              | 20:48:00 | 09:33:00<br>(20/5/05) | 2:05:00 -<br>2:55:00(20/5/05)  |
|------|-----------|------------|--------------------------|----------|-----------------------|--------------------------------|
| PON4 | 20/5/2005 | Ponticelli | Via Prota<br>Giurleo     | 8:14:00  | 10:12:00              | 8:16:00 - 8:26:00              |
| PON5 | 20/5/2005 | Ponticelli | Via Lettieri<br>Villetta | 11:25:00 | 13:55:00              | 11:42:00 -<br>13:45:00         |
| PON6 | 20/5/2005 | Ponticelli | Madonnelle<br>Porchiano  | 14:40:00 | 16:44:00              | 15:00:00 -<br>16:30:00         |
| PON7 | 21/5/2005 | Ponticelli | Chiesa Maria<br>SS neve  | 7:43:00  | 9:22:00               | 8:08:00 - 9:15:00              |
| PON8 | 21/5/2005 | Ponticelli | Via<br>Bartololongo      | 11:54:00 | 06:33:00<br>(22/5/05) | 2:05:00 - 2:55:00<br>(22/5/05) |
| PON9 | 22/5/2005 | Ponticelli | Via<br>Botteghelle       | 18:25:00 | 7:23:00<br>(23/5/05)  | 2:05:00 -<br>2:55:00(23/5/05)  |

 Tab. 4.4: Schema riassuntivo delle misure effettuate nella zona 3S.



**Figura 4.51:** Quadro di unione dei siti investigati nel quartiere di Ponticelli (simbolo stella) ed ubicazione dei sondaggi geognostici relativi al PRG 1994.

#### 3S.A CNR (ad. Via Argine) - quartiere Ponticelli (PON1)

La registrazione è stata eseguita in corrispondenza della scuola "Emanuele De Cillis" coincidente con una sede del CNR, ubicata in Via Argine nº 1085 (Fig. 4.52); la stazione è stata localizzata nel campo adiacente l'edificio scolastico, ed il sensore è stato interrato ad una profondità di circa 0.5 m.



Figura 4.52: Ubicazione del punto di misura di Ponticelli – CNR Via Argine (simbolo stella)

Risulta un po' complesso fornire la descrizione geologica di dettaglio della zona, poiché i sondaggi disponibili nella zona di Ponticelli sono spesso sprovvisti di localizzazioni precise. In ogni caso, il sondaggio S73 risulta eseguito in Via Argine (altezza non specificata) e può esser associato al sito. In base alle stratigrafie riportate, il sondaggio campiona circa 2 m di riporti antropici prima di incontrare i depositi cineritici stratificati marroncini e grigi contenenti pomici ed ascrivibili alle eruzioni di Avellino e del 79 d.C (da 2.2 a 7.5 m di profondità dal piano campagna); un livello di paleosuolo di circa 1.5 m separa le cineriti dal Tufo Vesuviano, presente nella facies semilitoide, di colore grigiastro e con inclusi litici (da circa 9 a circa 22.5 m di profondità dal piano campagna). Un ulteriore livello di paleosuolo dello spessore di 2 m fa da transizione ai tufi antichi della serie urbana e del Somma – Vesuvio, intercalati da un ulteriore livello di paleosuolo; tale successione si rinviene fino a fine sondaggio (circa 31 m di profondità).

Le analisi spettrali (Fig. 4.53) mostrano che la maggior parte dell'energia è collocata a frequenze superiori a 10 Hz, con picchi marcati introno a 25 Hz.



**Figura 4.53:** Sito di Ponticelli – CNR Via Argine - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Gli spettri di Nakamura pongono in evidenza la presenza di una modesta amplificazione compresa tra 2 e 3.5 Hz circa, caratterizzata da valori del rapporto spettrale di circa 2.

# 3S.B <u>VIA INGANCI (serra FELACO, ad. Autostrada A1) - quartiere Ponticelli</u> (PON2)

La misura è stata effettuata all'interno della serra FELACO, situata in Via V. Inganci nº 2, in posizione limitrofa rispetto all'autostrada A1 denominata "del sole" (Fig. 4.54). Il sensore è stato posizionato sulla basetta di cemento che circonda le aree di coltura.



Figura 4.54: Ubicazione del punto di misura di Ponticelli –Via Inganci (simbolo stella)

Come nel caso precedente, anche questo la stratigrafia di questo sito può esser estrapolata dal sondaggio S68, eseguito lungo la vicina Via Brecce (cantiere Raiola); il sondaggio campiona 2 m di riporti antropici, circa 9 m di limi e sabbie cineritiche ascrivibili alle eruzioni di Avellino e del 79 d.C, quindi Tufo Vesuviano in facies semilitoide (da circa 11 a circa 18 m di profondità) e litoide molto compatto (da circa 18 m a fine sondaggio, ovvero 29.5 m circa).

Sebbene anche il sondaggio S78 risulti effettuato lungo Via Brecce (altezza imprecisata), si rinvengono i prodotti di caduta dei Campi Flegrei sovrapposti al Tufo Vesuviano; inoltre, essendo il sondaggio più profondo, questo supera la base del Tufo Vesuviano e raggiunge sabbie e limi di ambiente litorale, a loro volta sovrapposte al Tufo Giallo Napoletano, facies semilitoide (da 45.5 m a fine sondaggio, ovvero 57 m di profondità).

Le forme spettrali (Fig. 4.55) ottenute dall'elaborazione dei segnali concordano con i risultati precedenti per quanto riguarda la maggiore concentrazione di energia alle alte frequenze, per quanto gli spettri risultano affetti da picchi concentrati ed intensi, dovuti quasi sicuramente alla presenza della vicina autostrada ed all'interferenza delle apparecchiature elettriche e meccaniche presenti nella serra al momento delle misure (generatore di corrente, copertura meccanizzata del soffitto, pompa dell'acqua etc.).





Rapporto H/V di spettri lisciati +/- stndev per Ponticelli - Via Inganci (Autosole) calcolati su 180 finestre selezionate



**Figura 4.55:** Sito di Ponticelli – Via Inganci – Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Il picco che si rinviene a 8 Hz influenza di conseguenza anche i risultati dei rapporti spettrali; questo picco sembra sovrapporsi infatti ad un generale andamento che mostra un massimo centrato intorno 6 Hz e caratterizzato da una ampiezza di circa 3. A seconda della metodologia utilizzata per calcolare i rapporti di Nakamura, si può scorgere anche un picco a 1.5 Hz di difficile interpretazione (non mostrato in questa sede).

# 3S.C VIA DE MEIS - quartiere Ponticelli (PON3)

La registrazione è stata effettuata nel garage di una palazzina sita in Via De Meis (Fig. 4.56), ponendo il sensore a contatto con il pavimento in cemento. La stazione è stata mantenuta attiva per tutta la notte, ed è stata analizzata una finestra notturna verosimilmente poco affetta da forti disturbi.



Figura 4.56: Ubicazione del punto di misura di Ponticelli –Via De Meis (simbolo stella)

Per quanto riguarda la descrizione geologica di dettaglio, essa risulta alquanto complessa; infatti, tranne che per il sito di Via Madonnelle (zona Porchiano), per il quale è disponibile il sondaggio S72, nel caso dei rimanenti siti si può dedurre la stratigrafia attraverso l'analisi dei sondaggi S74, S75 ed S76, i quali riportano l'ubicazione generica "Ponticelli".

Mediando le stratigrafie dei tre sondaggi, si possono assumere circa 1 metro tra riporti e colluvio, circa 9 m comprensivi dei prodotti delle eruzioni del 79 d.C., di Avellino ed eventuali livelli torbosi o di paleosuoli interposti, da un minimo di 2 ad un massimo di 12 m di Tufo Vesuviano in facies semilitoide, da un minimo di 7.5 ad un

massimo di almeno 18 m di Tufo Vesuviano in facies litoide, un locale livello di sabbia marina di circa 9 m di spessore, ed infine almeno 20 m di Tufi Antichi.

Le analisi spettrali (Fig. 4.57) mostrano che in generale la componente verticale presenta una ampiezza superiore, con la maggior parte dell'energia concentrata oltre i 4 Hz, per quanto il livello di intensità delle vibrazioni risulti molto modesto.





Di difficile interpretazione sono i due picchi marcati introno alle frequenze di 25 e 28 Hz, forse causati da segnali transienti oppure dall'accoppiamento sensore - terreno. La forma spettrale condiziona i risultati dei rapporti di Nakamura, i quali mostrano una debolissima amplificazione compresa tra i 2 e 4 Hz, cui fa riscontro una lieve deamplificazione a frequenze superiori.

# 3S.D VIA ULISSE PROTA GIURLEO - quartiere Ponticelli (PON4)

La stazione temporanea è stata ubicata in un campo adibito alla coltivazione, sito in Via Ulisse Prota Giurleo nº 19, ponendo il sensore interrato al margine del campo coltivato (Fig. 4.56 a e b).





**Figura 4.56:** Ubicazione del punto di misura di Ponticelli –Via Prota Giurleo (simbolo stella) (a) e particolare della configurazione di acquisizione dei segnali (b)

Analogamente ai precedenti siti, le analisi spettrali mostrano che la maggior parte dell'energia è concentrata oltre i 10 Hz (Fig. 4.57). Le componenti orizzontali mostrano una anomalia intorno ai 18 Hz, probabili effetto di disturbi presenti nella breve registrazione recuperata a posteriori di un malfunzionamento della stazione.

Le componenti orizzontali risultano amplificate rispetto quella verticale, nel range di frequenze comprese tra 5 e 10 Hz.

I risultati delle analisi di Nakamura confermano questo risultato, mostrando una amplificazione non trascurabile (6.5 - 8 a seconda della metodologia utilizzata) e contraddistinta da un picco centrato tra 7 e 9 Hz.



SPETTRI in ACCELERAZIONE medi e lisciati a Ponticelli - Via Ulisse Prota Giurleo su 20 finestre selezionate





**Figura 4.57:** Sito di Ponticelli – Via Prota Giurleo - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

## 3S.E VIA LETTIERI (zona Villetta) - quartiere Ponticelli (POS5)

La registrazione è stata effettuata nella zona della Villetta di Ponticelli (Fig. 4.58), ubicando la stazione nel cortile di una abitazione privata e posizionando il sensore interrato nel terreno.



Figura 4.58: Ubicazione del punto di misura di Ponticelli –Via Lettieri (simbolo stella)



**Figura 4.59:** Sito di Ponticelli – Via Lettieri - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Le analisi spettrali (Fig. 4.59), mostrano chiaramente che la maggior parte delle misure è concentrata a frequenze superiori a 10 Hz. La componente verticale presenta un valore di ampiezza spettrale mediamente superiore rispetto alle componenti orizzontali; in particolare, come è ben visibile dagli spettri delle tracce in velocità; i picchi a basse frequenze presentano l'ampiezza spettrale più pronunciata proprio in corrispondenza della componente verticale.

Questa caratteristica si riflette nell'andamento dei rapporti spettrali; i rapporti di Nakamura si attestano infatti attorno a valori di poco inferiori all'unità per tutto il range di frequenze fino a 10 Hz, mostrando in seguito una leggera amplificazione a frequenze superiori.

#### 3S.F VIA MADONNELLE (zona Porchiano) - quartiere Ponticelli (PON6)

La registrazione è stata effettuata all'interno di una cantina di una abitazione privata,

con il sensore posto direttamente sul terreno sbancato (Fig. 4.60 a e b.).



**Figura 4.60:** Ubicazione del punto di misura di Ponticelli – Via Madonnelle (simbolo stella) (a) e particolare della configurazione di acquisizione dei segnali (b)



Per questo sito è possibile ricostruire la geologia di dettaglio grazie al limitrofo sondaggio S72 (Porchiano), il quale campiona circa 1.5 m di riporti, 14 m di prodotti ascrivibili alle eruzioni del 49 d.C. e di Avellino alternati a sottili livelli di paleosuolo, circa 11 m di cineriti ascrivibili Tufo Vesuviano in facies semilitoide (da 16.6 a 27.4 m di profondità dal piano campagna) la cui ultima porzione è costituita dal famoso livello di circa un metro di spessore di pomici bianche; attraversando circa 1.5 m tra paleosuolo e livello sabbioso marino, il sondaggio incontra il Tufo Giallo Napoletano (facies semilitoide) a 28.7 m e lo campiona fino a fine sondaggio (31.5 m di profondità). L'analisi spettrale (Fig. 4.61) rivela in generale che la componente verticale presenta l'ampiezza spettrale più marcata per frequenze inferiori a 1.5 Hz e superiori a 4 Hz, dove sono caratterizzate da un picco a 10 Hz; le componenti orizzontali appaiono maggiormente pronunciate rispetto la componente verticale nel range di frequenze tra 1.5 e 4 Hz. Gli spettri dei segnali in velocità mostrano che tutte e tre le componenti presentano picchi molto marcati alle basse frequenze.



**Figura 4.61:** Sito di Ponticelli – Via Madonnelle - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Le caratteristiche spettrali qui descritte influenzano i rapporti di Nakamura i quali mostrano chiaramente che, tra 2 e 3 Hz, le componenti orizzontali dei segnali subiscono una amplificazione di circa 3 volte rispetto la componente verticale.

# 3S.G <u>MARIA SANTISSIMA DELLA NEVE (ad. Corso Ponticelli) - quartiere</u> <u>Ponticelli - (PON7)</u>

La stazione sismica temporanea è stata ubicata vicino a Corso Ponticelli, tra Piazza V. Aprea e Via S. Pietro, in corrispondenza del cortile della chiesa SS. Maria della Neve, di notevole importanza storica (Fig. 4.62).

Il sensore è stato interrato in una buca di circa 15 cm di profondità: il terreno rimosso presentava un colore ocra contenete clasti a spigoli vivi, di dimensioni centimetriche; i clasti presenti contenevano scorie vulcaniche e frammenti litici vari.





**Figura 4.62:** Ubicazione del punto di misura di Ponticelli – Maria SS della Neve (simbolo stella) (a) e particolare della configurazione di acquisizione dei segnali (b)

Le analisi spettrali mostrano che il maggior contenuto energetico è compreso a frequenze mediamente sopra i 10 Hz (Fig. 4.63); intorno a quella frequenza gli spettri delle componenti orizzontali risultano caratterizzati da maggiore ampiezza, mentre a frequenze inferiori a circa 2 Hz la componente verticale risulta prevalere.

Le analisi di Nakamura non mettono in luce una particolare suscettività ad amplificazione, poiché i rapporti spettrali si scostano di poco in rispetto al valore unitario; si possono intravedere due piccoli picchi a frequenze rispettivamente di 3 e 9 Hz, ma dotati di ampiezza molto ridotta (circa 1.6).







H/V +stndev

H/V - stndev

H/V (N-S comp.) H/V (E-W comp.

10<sup>0</sup>

2

1.5

0.5

0

Rapporto Spettrale

Rapporto H/V di spettri lisciati +/- stndev per Ponticelli - Maria SS della Neve (Corso Ponticelli) calcolati su 134 finestre seleziona

Figura 4.63: Sito di Ponticelli - Maria SS della Neve - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Frequenza (Hz)

10<sup>1</sup>

# 3S.H VIA BARTOLOLONGO - quartiere Ponticelli (PON8)

La registrazione è stata effettuata nella zona meridionale di Ponticelli, in Via Notari n<sup>o</sup> 15, adiacente a Via Bartololongo. La stazione è stata collocata in una cantina al di sotto di una palazzina, ed il sensore è stato posto a contatto con il pavimento cementato (Fig. 4.64). Il sito riveste una importanza notevole poiché presenta la registrazione dell'evento sismico verificatosi il 21 Maggio 2005 e qui registrato durante l'acquisizione in continuo. Per l'analisi dei dati accelerometrici si rimanda al paragrafo 6.2.

**Figura 4.64:** Ubicazione del punto di misura di Ponticelli – Via Bartololongo (simbolo stella) (a) e particolare della configurazione di acquisizione dei segnali (b)





L'analisi degli spettri (Fig. 4.65) conferma la concentrazione di energia a frequenze superiori a 10 Hz, ma evidenzia altresì la presenza di un picco intorno a 0.6 - 0.7 Hz, ben riconoscibile dai dati in velocità.

I rapporti di Nakamura risultano probabilmente condizionati dal comportamento delle componenti orizzontali, le quali si discostano rispetto all'andamento della componente orizzontale per frequenze comprese tra 3 e 9 Hz. Questo fenomeno si traduce in una serie di picchi di ampiezza intorno a 2.5.



**Figura 4.65:** Sito di Ponticelli – Via Bartololongo - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

# 3S.J VIA BOTTEGHELLE - quartiere Ponticelli (PON9)

La stazione di misura è stata ubicata in Via Botteghelle nº 244, nella zona nord – occidentale di Ponticelli, in corrispondenza del garage di una abitazione privata, con il

sensore posto sul pavimento cementato (Fig. 4.66). I segnali analizzati provengono da una finestra notturna selezionata tra i segnali acquisiti in continuo durante tutta la notte.



Figura 4.66: Ubicazione del punto di misura di Ponticelli – Via Botteghelle (simbolo stella)

Le analisi spettrali forniscono interessanti risultati che sembrano discostarsi da quelli ottenuti per gli altri siti di Ponticelli (Fig. 4.67). Infatti, gli spettri in accelerazione mostrano diversi picchi centrati alle frequenze di circa 3 Hz, 5.5 Hz e 10-12 Hz, di ampiezza ragionevolmente comparabile tra le componenti orizzontali e verticale.

Gli spettri in velocità non mostrano i picchi a bassa frequenza, ma risultano caratterizzati da un picco principale a 2.8 Hz, seguito da due picchi minori a 6 Hz e 9 Hz (componente verticale) oppure 5 e 12 Hz (componenti orizzontali).

I risultati dell'analisi di Nakamura mostrano un largo picco di amplificazione centrato intorno a 1 Hz, caratterizzato da una ampiezza di 2, seguito da altri picchi più modesti, che raggiungono raramente l'ampiezza di 1.5.



**Figura 4.67:** Sito di Ponticelli – Via Botteghelle – Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

#### 4.4B.3 Sintesi dei risultati per la Zona 3 S

Nella figura 4.68 sono sintetizzati i risultati delle analisi spettrali per le misure effettuate nella Zona 3 S, praticamente corrispondente al quartiere di Ponticelli. Dal confronto degli spettri dei segnali in accelerazione ed in velocità si può subito notare

che i siti PON1 e PON4 presentano le ampiezze spettrali maggiori, immediatamente seguiti dai siti PON2 e PON5.



Figura 4.68: Zona 3S – Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi spettrali.

I risultati ottenuti confermano una stima preventiva che era stata formulata tenendo presente che i suddetti siti risultano localizzati nelle vicinanze di strade ad alto scorrimento; infatti PON1 e PON2 sono in prossimità rispettivamente della congiunzione della Tangenziale con Via Argine e dell' Autostrada A1), mentre PON4 e PON5 rappresentano misure acquisite durante ore diurne, in zone notevolmente antropizzate e trafficate). Una conferma di questa stima risulta proprio dai picchi ad ampia banda che caratterizzano i sopraccitati siti e che potrebbero esser relazionati all'effetto di mezzi pesanti in movimento nelle vicinanze.

Per quanto riguarda i risultati dei rapporti spettrali H/V, si nota che essi si distribuiscono grossomodo secondo 2 cluster principali, centrati rispettivamente attorno alle frequenze di 2.5 e 7.5 Hz. Nello specifico:

- I picchi di PON1, PON3, PON6 e PON7 risultano centrati nel range di frequenze compreso tra 2 e 3 Hz; è interessante notare che l'ampiezza maggiore risulta associata al sito PON6, e che in generale la forma dei rapporti spettrali presenta notevoli analogie (picco debolmente splittato e valori di amplificazione comparabili).
- I picchi di PON2, PON4 e limitatamente PON8 si distribuiscono intorno alla frequenza di 6 – 8 Hz; il sito che presenta amplificazione maggiore risulta essere PON4, il cui picco raggiunge quasi il valore di 7.
- I siti PON5 e PON9 risultano abbastanza atipici, essendo caratterizzato il primo da assenza di amplificazione nell'intorno delle frequenze analizzate, mentre il secondo da un debole picco di amplificazione a frequenze inferiori (1 Hz circa) rispetto al primo cluster.

4.5 ZONA 4

#### 4.5.1 Inquadramento generale

La Zona 4 include i quartieri di Chiaia, la porzione meridionale di S. Ferdinando, la porzione meridionale di Porto, Mercato, Pendino, Vicaria ed infine la Zona Industriale.

La superficie del suolo raggiunge quote di circa 25 - 30 m s.l.m. e la falda è posta a pochi m dal piano campagna lungo la costa, mentre si rinviene a 40 m al di sotto dell'area del museo.

Essendo stata sommersa negli ultimi periodi, la colonna stratigrafica rappresentative di questa zona consiste in sabbie marine, terreni alluvionali e palustri sovrapposti al Tufo Giallo Napoletano, nella facies sia litoide che semilitoide. Il top del Tufo Giallo Napoletano si rinviene di solito intorno ai 30 m di profondità, e si approfondisce verso il lato sud-orientale della città.

# 4.5.2 Punti di misura e risultato delle analisi

Le misure effettuate nella Zona 4 e le caratteristiche delle registrazioni eseguite sono schematizzate nella Tabella 4.5 sottostante

| STAT-ID | DATA      | QUARTIERE         | LUOGO                                 | ORA<br>INIZIO<br>(UTM) | ORA<br>FINE<br>(UTM) | ESTRAZIONE<br>(UTM)    |
|---------|-----------|-------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|
| PAR I   | 17/3/2005 | San<br>Ferdinando | Via Partenope<br>Hotel<br>Continental | 8:07:00                | 9:27:00              | 8:25:00 -<br>9:18:00   |
| PAR I   | 17/3/2005 | San<br>Ferdinando | Via Partenope<br>Castel<br>dell'Ovo   | 9:51:00                | 10:34:00             | 10:04:00 -<br>10:28:00 |
| CNV     | 9/5/2005  | Vicaria           | Corso Novara                          | 10:52:00               | 12:56:00             | 11:00:00-<br>12:45:00  |

Tab. 4.5: Schema riassuntivo delle misure effettuate nella zona 4.

#### 4.A VIA PARTENOPE – quartiere San Ferdinando (PAR I e PAR II)

Le due misure eseguite sono state condotte a Via Partenope, collocando il sensore rispettivamente sul marciapiede di fronte l'Hotel Continental ed in seguito sul marciapiede opposto, più prossimale al lungomare (Fig. 4.69).

Le caratteristiche geologiche di dettaglio del sito si possono estrapolare dal limitrofo sondaggio S9 (Castel dell'Ovo), il quale campiona circa 5 m di riporti, circa 3 m di sabbie fossilifere e 20 m di cineriti entrambe di ambiente litorale recente, 5.5 m di Tufo Giallo Napoletano (facies semilitoide) ed infine Tufo Giallo Napoletano (facies litoide) da 33 m di profondità da piano campagna fino a fine sondaggio (63 m). Interessante è anche la stratigrafia di un sondaggio riportato in Baldi 1998, collocato a Via Partenope altezza hotel Royal: in base a questa, dall'alto verso il basso si riscontrano 4 m circa di terreni di riporto, altri 4 m circa di piroclastiti sciolte a granulometria limosa sabbiosa (Pozzolana), 1 metro di sabbia fine ed infine il tetto del Tufo Giallo Napoletano a 9 m di profondità dal piano campagna.



sul lato dell'Hotel Continental (b) e sul lato del Castel dell'Ovo (c) e (d)

Le figure 4.70 e 4.71 illustrano i risultati delle analisi spettrali, presentando una scala comune per permetterne il confronto.



**Figura 4.70:** Sito di San Ferdinando – Via Partenope I - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Per entrambi i siti, gli spettri delle tracce in accelerazione mostrano che la maggior parte dell'energia è concentrata oltre i 10 Hz e che è possibile distinguere alcuni picchi marcati, sovrapposti al trend generale, forse legati al transito di pedoni nelle immediate vicinanze o/e all'accoppiamento sensore – terreno. A parte un debole trend a basse frequenze e pochi disturbi ad alte frequenze, gli spettri in velocità sono pressoché piatti.

Il primo sito è caratterizzato da un notevole valore di deviazione standard associato alle componenti orizzontali della registrazione, che al contrario non si rinviene nella registrazione successiva; questo fatto risulta quindi imputabile maggiormente alle caratteristiche sperimentali dell'acquisizione dei segnali piuttosto che alle caratteristiche intrinseche del sito.



**Figura 4.71:** Sito di San Ferdinando – Via Partenope II - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Le analisi di Nakamura presentate mostrano un piccolo disaccordo alle basse frequenze; comunque, in generale, i rapporti spettrali sono caratterizzati da un valore pressoché trascurabile di amplificazione.

## 4.BCORSO NOVARA - quartiere Vicaria (ad. San Lorenzo) - (CNV)

La stazione di misura è stata localizzata in prossimità del sito FTAN 5, più precisamente su Corso Novara, angolo Via Casanova (Fig. 4.72), lato negozio "Abbigliamento Napoletano", con il sensore posto sul marciapiede al lato del muro.

Sebbene il sito sia prossimale al sondaggio S52 (Piazza Nazionale), dallo studio della stratigrafia dello stesso si evince l'assenza di quei sedimenti alluvionali che invece contraddistinguono il canalone in cui si è impostata in seguito Corso Novara.



Figura 4.72: Ubicazione del punto di misura di Corso Novara (simbolo stella) e collocazione del sondaggio S52 del PRG 1994.

Gli spettri dei segnali in accelerazione (Fig. 4.73) presentano una concentrazione di energia a frequenze superiori a 8 Hz, mostrando la componente verticale un singolare picco intorno i 10 Hz.

Gli spettri in velocità sono contraddistinti da un picco all'incirca alla frequenza di 10 Hz, particolarmente visibile nella componente verticale; comune a tutte e tre le componenti è invece un picco minore, centrato intorno alla frequenza di 3 Hz. I rapporti di Nakamura risultano influenzati proprio da questo picco, poiché i rapporti spettrali stessi sono caratterizzati dalla presenza di un massimo non trascurabile, centrato intorno alla frequenza di 2 - 3 Hz e di ampiezza circa 2.



**Figura 4.73:** Sito di Via Novara - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).



# 4.5.3 Sintesi dei risultati per la Zona 4

Figura 4.74: Zona 4 – Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi spettrali.

Attraverso l'analisi del quadro di unione dei risultati relativi alle analisi spettrali per i siti della Zona 4 (Fig. 4.74), si può notare che gli spettri non presentano picchi accentuati, essendo caratterizzati piuttosto da bande in cui ricade la maggior parte dell'energia; questa caratteristica è particolarmente accentuata per il sito CNV, per il quale gli spettri in accelerazione non mostrano un picco netto. In parziale contrasto risultano i due siti PAR I e PARII, i cui spettri presentano dei picchi localizzati certamente imputabili univocamente a sorgenti antropiche (probabilmente traffico veicolare).

Per quanto riguarda i risultati dei rapporti spettrali H/V, non si rilevano amplificazioni degne di nota; solamente il sito CNV presenta un picco distinguibile, centrato circa a 2 Hz e caratterizzato da ampiezza 2.

4.6 ZONA 5

# 4.6.1 Inquadramento generale e introduzione misure effettuate

La Zona 5 comprende il centro storico di Napoli, ovvero i quartieri di S. Lorenzo, Avvocata, Montecalvario, S. Giuseppe, Stella, e la porzione meridionale di S. Carlo all'Arena.

La caratteristica peculiare dell'area riguarda la presenza di numerose cavità nella formazione tufacea; le prime estrazioni furono cave di tufo ed acquedotti, datate al VIII secolo a.C. Il tufo veniva estratto per esser utilizzato come materiale edile preferibilmente nello stesso sito; per questo motivo, era comune che un edificio fosse costruito con blocchi di materiale estratti dal terreno sottostante.

L'assetto geologico poco profondo risulta complicato da imponenti modificazioni morfologiche dovute a cause naturali od antropiche, come ad esempio il riempimento di letti fluviali e di cavità con materiali alluvionali e con i materiale edilizio. Di conseguenza, il centro di Napoli è caratterizzato da una copertura di riporti antropici che arrivano fino a 20 m di spessore, e da pozzolana sovrapposta al Tufo Giallo Napoletano con numerose cavità.

Nella figura 4.75 è presentato un quadro di unione relativo alle misure effettuate nell'area della zona 5 e descritte di seguito.

Poiché alle misure nel Complesso di San Marcellino è riservato l'intero Paragrafo 4.6B, vengono di seguito riportate le caratteristiche delle registrazioni eseguite all'interno dell'area urbana di Napoli (Tabella. 4.6)

| STAT-ID | DATA      | QUARTIERE | LUOGO                          | ORA<br>INIZIO<br>(UTM) | ORA<br>FINE<br>(UTM)   | ESTRAZIONE<br>(UTM)                 |
|---------|-----------|-----------|--------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------------------|
| SUP     | 28/4/2005 | Stella    | Vergini<br>Supportino<br>Lopez | 6:02:00                | 5:36:00<br>(29/4/2005) | 1:05:00 -<br>1:55:00<br>(29/4/2005) |
| PSI     | 22/7/2005 | Stella    | P.S.I. Elena<br>d'Aosta        | 11:43:00               | 13:40:00               | 12:00:00 -<br>13:25:00              |

Tab. 4.6: Schema riassuntivo delle misure effettuate nella zona 5 – area urbana.



Figura 4.75: Quadro di unione dei siti investigati nella zona 5 ed ubicazione dei sondaggi PRG 1994

# 4.6A MISURE NELL'AREA URBANA

# 4.6A.1 Punti di misura e risultato delle analisi nei siti

# 5.A VERGINI (Via Supportico Lopez ad. Piazza Cavour) - quartiere Stella - (SUP)

La registrazione è stata effettuata all'interno di un locale circoscritto nel cortile del palazzo ubicato al civico 32 del Vicolo Supportico Lopez, zona Vergini (Fig. 4.76), con il sensore posto sul cemento del pavimento, vicino il muro del palazzo.

Le caratteristiche geologiche di dettaglio possono esser estrapolate dal sondaggio S48 (Piazza Cavour) che risulta molto vicino, e secondariamente dal sondaggio S56 (Via Foria, altezza imprecisata).



Figura 4.76: Ubicazione del punto di misura dei Vergini – Supportico Lopez (simbolo stella) e collocazione del sondaggio S48 del PRG 1994

Il sondaggio S48 campiona ben 16 m di materiali di riporto, caratterizzati da  $N_{SPT}$  molto bassi (5 intorno a 3 m, 13-14 tra 6 e 11 m, 28 a 13 m), quindi perfora il Tufo Giallo Napoletano (facies litoide) tra i 16 ed i 101 m di profondità dal piano campagna (complessivi 85 m di spessore). Al di sotto, si rinvengono 32 m di materiale tufaceo associabile ai Tufi Antichi della Serie Urbana e del Somma – Vesuvio, e tra i 133.5 m dal piano campagna fino a fine sondaggio (143 m), si incontrano sabbie marine antiche.

Sebbene il sondaggio S56 sia vicino al sondaggio S48, differisce da questo soprattutto per la porzione superficiale; infatti, in questo caso il sondaggio campiona i primi 12.4 m circa costituiti da materiale eluviale, colluviale e detritico, intercalato nella porzione inferiore con cineriti e paleosuoli ascrivibili a depositi distali delle eruzioni recenti dei Campi Flegrei.

I risultati delle analisi spettrali sono presentati in Fig. 4.77; in generale, gli spettri dei segnali in ampiezza sono caratterizzati da ampiezze confrontabili per tutte le tre componenti, tranne che ne range di frequenze tra 7 e 18 Hz in cui le componenti orizzontali presentano ampiezze di poco superiori. Tranne un picco a 35 Hz, non si riconoscono picchi netti per tutte le frequenze rappresentate.

Questa caratteristica non si presenta per gli spettri delle tracce in velocità, le quali sono caratterizzate da tre picchi, centrati rispettivamente intorno alle frequenze di 3, 6 e 10 Hz; le componenti orizzontali presentano le ampiezze spettrali maggiori.





**Figura 4.77:** Sito di Piazza Cavour – Vergini – Supportino Lopez - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Per quanto riguarda i rapporti spettrali H/V, si riconoscono alcuni deboli picchi intorno 2, 5 e 12 Hz circa, caratterizzati rispettivamente da ampiezza 1.8, 2 e 3.5.

# 5.BP.S.I. ELENA D'AOSTA – quartiere Stella – (PSI)

La stazione temporanea è stata collocata in Via Cagnazzi (Fig. 4.78), al margine meridionale del parcheggio antistante la struttura sanitaria Elena d'Aosta ed in corrispondenza del sito FTAN 6 (Nunziata *et al.*, 2004); il sensore è stato posto a diretto contatto con il terreno.



Figura 4.78: Ubicazione del punto di misura del P.S.I. Elena d'Aosta.

Al fine di descrivere le caratteristiche geologiche di dettaglio del sito, è possibile analizzare le stratigrafie relative al sondaggio S47 (Tondo di Capodimonte) che, sebbene non vicinissimo e posto a quote topografiche maggiori, risulta l'unico disponibile nei dintorni. Il sondaggio campiona circa 2.5 m di depositi eluviali e colluviali, prima di incontrare il Tufo Giallo Napoletano (facies semilitoide), che a 9 m di profondità dal piano campagna lascia il posto alla medesima formazione, ma con facies compatta. Dopo 3.5 m di tufo compatto, il sondaggio incontra sabbie cineritiche ghiaiose prodotte dal riempimento di cava, fino a fine sondaggio (30 m dal piano campagna).

I risultati delle analisi spettrali sono presentati nella Fig. 4.79.



**Figura 4.79:** Sito di P.S.I. Elena d'Aosta - Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Sia per quanto riguarda gli spettri delle tracce in accelerazione e velocità, si può notare che le tre componenti presentano ampiezza confrontabili, e che è possibile riconoscere picchi chiari soltanto per le tracce in velocità: si può notare infatti la presenza di un picco a circa 5 Hz, comune soltanto alle componenti orizzontali, ed un picco a 10 Hz comune a tutte le componenti. Per quanto riguarda i rapporti spettrali H/V, si può individuare un picco a 4 Hz circa, caratterizzato da ampiezza di quasi 4.

# 4.6B MISURE NEL COMPLESSO DI SAN MARCELLINO

# 4.6b.1 Inquadramento del Complesso di San Marcellino

# 4.6B.1.1 Cenni storici ed informazioni sull'edificio



**Figura 4.80:** Sito di San Marcellino – Visuale panoramica dell'ala Occidentale, sede della facoltà di Scienze Politiche, e del giardino interno.

Il complesso di San Marcellino occupa, per una superficie di circa 12.000 m<sup>2</sup> la parte sud occidentale del nucleo del centro storico di Napoli corrispondente all'antica Neapolis.

Si tratta di un consistente settore, caratterizzato da una vicenda insediativa complessa, sviluppatosi su un articolato e scosceso paesaggio, poco leggibile da un osservatore contemporaneo.

L'isolato appare trapezoidale (Fig. 4.81), con il lato meridionale più breve ed i margini occidentali ed orientali sinuosi, una forma sicuramente condizionata dall'orografia del luogo e della collocazione, adiacenti alla cinta muraria greca.



Figura 4.81: Mappa del Complesso di San Marcellino

La superficie del complesso, corrispondente ad un ingombro pari ai tre isolati sovrastanti dell'impianto greco, non presenta all'interno tracciati stradali.

Il complesso di San Marcellino infatti, organizzato su livelli sfalsati, occupa parte della scarpata con cui il pianoro di *Neapolis* degradava verso la spiaggia.

Il complesso ha subito nel corso dei secoli numerose trasformazioni. Interventi per i danni prodotti dai terremoti sono stati realizzati negli anni '30 (terremoto dell'Irpinia del 1930) ed anni '80 (terremoto dell'Irpinia del 1980). Il recente intervento di restauro iniziato nel 1987, si è concluso nel 2001(Fratta, 2000).

Il monumentale chiostro di San Marcellino è un vasto edificio di forma quasi rettangolare, situato a nord-est del nuovo palazzo universitario al Corso Umberto I e

confinante ad ovest con gli antichi conventi del Gesù e del Salvatore, egualmente assegnati all'Università di Napoli.

Il complesso è costituito ad oriente dalla chiesa omonima, a nord e ad occidente da un ampio corpo di fabbrica a tre piani, oltre al pian terreno e all'ammezzato, e si apre sul mare dal lato di mezzogiorno con un ampio giardino (Fig.4.80 e 4.82).

L'edificio fu elevato verso la fine del secolo XVI per riunirvi le monache dei due contigui monasteri (San Marcellino e Pietro ad oriente, San Festo e Desiderio a ponente), allora demoliti, che sorgevano fin dall'ottavo secolo su questa stessa area.



**Figura 4.82:** Panoramica della chiesa di San Marcellino e dell'ala orientale del Complesso, sede della Facoltà di Scienze della terra.

Sul finire del 1860 in questo complesso fu collocato il corso di Geologia e successivamente altri insegnamenti (l'incarico della Paleontologia nel 1889, e dal 1902 l'insegnamento della Geografia Fisica), che della geologia costituivano dapprima semplici branche, divenute successivamente autonome col progredire delle Scienze della Terra.

Con la legge del 14 luglio 1907, si disponeva il passaggio dell'intero edificio di San Marcellino e dell'annessa chiesa al patrimonio universitario di Napoli.

Accordi successivi stabilirono che in questo chiostro trovassero sistemazione gli Istituti di Chimica, di Fisica Terrestre, di Geologia e Paleontologia.

All'Istituto di Chimica vennero assegnate tutta l'ala occidentale e la parte inferiore del fabbricato; a quelli di Fisica Terrestre rispettivamente il secondo ed il terzo piano dell'ala settentrionale; e all'Istituto di Geologia il primo piano del lato nord, i locali ad
oriente ed a sud della chiesa, nonché quelli dell'ammezzato e del pianterreno della metà orientale dell'edificio. Si giunse così ad accentrare in S. Marcellino la maggior parte degl'insegnamenti e delle raccolte riguardanti le Scienze della Terra, e cioè: Geologia, Geografia fisica, Paleontologia, Geografia generale, Fisica Terrestre.

# 4.6B.1.2 Morfologia e geologia

Il complesso di San Marcellino, organizzato su livelli sfalsati, occupa parte della scarpata con cui il pianoro di *Neapolis* digradava verso la spiaggia.

L'analisi delle curve di livello dell'area dell'insediamento antico rivela che la pendenza da nord a sud del pianoro era articolata in salti progressivi, separati da strette fasce pianeggianti (Fig. 4.83).

Una di tali fasce corrisponde al Largo San Marcellino, dalla quale ha



**Figura 4.83:** Morfologia di dettaglio dell'area del Complesso di San Marcellino, comprensiva di curve di livello, indicazioni di paleoalvei e ritrovamenti di manufatti storici.

inizio una lieve pendenza sia ad est sia a sud,salti di quota più rilevanti si rilevano in corrispondenza delle rampe del Salvatore su via Palladino ad ovest ed in corrispondenza del lato orientale del Chiostro e dell'abside della chiesa di San Marcellino.



**Figura 4.84:** Particolare della formazione del Tufo Giallo Napoletano affiorante nei sotterranei del Complesso di San Marcellino

A questi salti di quota (Via Palladino e Rampe di San Marcellino) corrispondono due alvei ortogonali alla linea di costa.

Gli scavi effettuati per l'istallazione di cavi telefonici hanno attraversato nella parte sommatale della scarpata il basamento naturale formato dai prodotti dell'eruzione Agnano-Monte Spina mentre alla base della scarpata sono stati rinvenuti livelli di riempimento, i più antichi dei quali risalgono ad età medioevale. Ai prodotti attribuiti all'eruzione di Agnano- Monte Spina seguono procedendo in profondità quelli del Tufo Giallo Napoletano, come può rilevarsi del taglio delle canne del pozzo situata nella parte mediana dell'asse Est-Ovest del complesso di San Marcellino ai confini con l'omonimo Largo (Fig. 4.84). Il pozzo conduce alla sala dei sismografi alla profondità di circa 30 m dal calpestio della strada che corrisponde circa al livello del mare.

# 4.6b.2 Punti di misura

Tra l'inverno e l'estate 2005 sono state effettuate numerose acquisizioni di segnali sismici all'interno del Complesso di San Marcellino; in Tabella 4.7 sono presentate alcune registrazioni tra le più rappresentative, la cui collocazione è illustrata in Fig.4.85.

| PIANO       | SITO                                   | STA   | DATA     |
|-------------|--|-------|----------|
| IV          | Stanza Prof. Nunziata (muro maestro)   | IVCa  | 17/02/05 |
| Torretta    | Torretta metereologica                 | TOR   | 3/03/05  |
| Ι           | Biblioteca Storica                     | ICa   | 3/03/05  |
| III         | Stanza Prof. Sgarrella                 | IIICa | 3/03/05  |
| Sotterranei | Sotterranei                            | SOT1  | 3/03/05  |
| Sotterranei | Sotterranei                            | SOT2  | 18/04/05 |
| Ι           | Stanza Prof. Incoronato (muro maestro) | IEa   | 19/04/05 |
| Ι           | Tetto Museo Paleontologia              | Ра    | 19/04/05 |
| Ι           | Estremità Terrazzo Est                 | IEb   | 19/04/05 |
| Terra       | Museo Paleontologia                    | Pb    | 20/04/05 |
| IV          | Presidenza Scienze Politiche 1         | IVOa  | 22/04/05 |
| IV          | Presidenza Scienze Politiche 2         | IVOb  | 22/04/05 |
| Ι           | Sc. Politiche                          | IOa   | 22/04/05 |
| Sottotetto  | Sottotetto                             | SUP   | 26/04/05 |
| Fondazioni  | Fondazioni                             | FONa  | 26/04/05 |
| IV          | Stanza Prof. Nunziata (solaio)         | IVCb  | 27/04/05 |
| III         | Biblioteca Paleontolog.                | IIICb | 27/04/05 |
| III         | Scienze Politiche                      | IIIOa | 27/04/05 |
| III         | Scienze Politiche                      | IIIOb | 27/04/05 |
| Fondazioni  | Deposito D.S.T.                        | FONb  | 4/07/05  |
| Terra       | Porticato                              | POR   | 15/07/05 |

**Tab. 4.7:** Schema riassuntivo sui siti investigati nel Complesso di San Marcellino (vd. Fig. 4.85 per la collocazione delle stazioni).



**Fig. 4.85:** ubicazione dei siti investigati all'interno del Complesso di San Marcellino; i differenti colori dei punti di misura corrispondono ai diversi piani dell'edificio. Si rimanda alla Tabella 4.7 per la denominazione dell'identificativo dei siti.

Per quanto riguarda le caratteristiche delle registrazioni effettuate, il sensore è stato di volta in volta orientato secondo la direzione longitudinale e trasversale dell'ala centrale dell'edificio; le misure sono inoltre state eseguite in corrispondenza di elementi strutturali dell'edificio stesso, come ad esempio nelle vicinanze dei muri maestri, tranne in un caso in cui si è voluto verificare l'influenza del solaio.

#### 4.6b.3 Risultati delle analisi

Per ogni sito investigati è stata effettuata l'analisi spettrale di Fourier, applicata sui segnali integrati in velocità e volta a fornire, per le tre componenti, spettri mediati su tutte le finestre in cui sono state suddivise le tracce acquisite.

La Fig. 4.86 mostra gli spettri medi in velocità calcolati per ciascuna delle componenti, relativamente alle prove effettuate lungo tre allineamenti verticali all'interno dell'ala centrale, dell'ala occidentale e dell'ala corrispondente al Museo di Paleontologia.



**Fig. 4.86:** spettri medi in velocità calcolati per ciascuna delle componenti, lungo gli allineamenti verticali all'interno dell'ala centrale, dell'ala Occidentale e dell'ala del Museo di Paleontologia. La scala verticale è normalizzata al massimo valore spettrale individuato lungo l'allineamento considerato, corrispondente al picco dello spettro del segnale registrato alla Torretta meteorologica.

La Fig. 4.87 si riferisce invece agli spettri medi in velocità relativi alle registrazioni effettuate al IV, III e I piano dell'edificio; i questo caso vengono raggruppati i risultati per siti collocati in diverse ali dell'edificio.

La Fig. 4.88 illustra infine i risultati delle analisi spettrali effettuate per i siti collocati al piano terra (Porticato), al livello delle fondazioni e nei sotterranei.

148



Fig. 4.87: spettri medi in velocità calcolati per ciascuna delle componenti, lungo il IV, III e I piano. La scala verticale è normalizzata al massimo valore spettrale individuato lungo gli allineamenti considerati, corrispondente al picco dello spettro del segnale registrato alla Presidenza di Scienze PoliticheI.

Attraverso una analisi approfondita di come si distribuiscono le ampiezze spettrali e le frequenze dei picchi, si possono formulare le seguenti considerazioni:

 L'ampiezza dei picchi presenta i valori massimi in corrispondenza dei piani alti (Torretta, IV piano) e generalmente decrementa dall'alto verso il basso;

- Per ogni registrazione riferibile ai piani dal I in su, la componente orientata secondo la direzione trasversale presenta i picchi caratterizzati da ampiezza spettrale maggiore.
- Per quanto riguarda le frequenze di risonanza individuate, si nota che per le componenti trasversali i picchi più elevati si rilevano in corrispondenza di circa 1.8 Hz, mentre per le componenti longitudinali i picchi più elevati si rinvengono a circa 2.4 Hz.
- Esiste una variabilità per quanto riguarda la distribuzione dei picchi i funzione dell'ala in cui è stata condotta la misura: nello specifico, le forme spettrali dell'ala centrale sono pienamente confrontabili con quelle dell'ala est, mentre i picchi delle componenti trasversali delle stazioni poste nell'ala ovest manifestano picchi a frequenza intermedia tra 1.8 e 2.4 Hz. Anche i picchi delle componenti longitudinali manifestano questo spostamento verso frequenze più alte, in quanto essi si rinvengono a circa 2.6 3 Hz.
- Per quanto riguarda i risultati delle analisi spettrali per l'ala del Museo di Paleontologia, si nota che in generale le ampiezze spettrali sono inferiori rispetto a quelle di siti posti sullo stesso livello; in particolare, relativamente alla registrazione effettuata sul tetto del Museo, la componente verticale appare più pronunciata a frequenze superiori ad 8 Hz, mentre la componente trasversale presenta ampiezze inferiori in corrispondenza del picco collocato a frequenza di poco maggiore di 2 Hz. La componente longitudinale presenta le ampiezze spettrali maggiori, in particolare nell'intervallo di frequenze compreso tra 3 e 4 Hz.
- Gli spettri dei segnali registrati nei piani inferiori (Fig. 4.88) presentano ampiezze spettrali nettamente inferiori rispetto agli alti siti, e non sono caratterizzati da evidenti picchi; la registrazione effettuata al piano terra mostra al contrario qualche picco, la cui ampiezza è comunque molto contenuta.



Fig. 4.88: spettri medi in velocità calcolati per ciascuna delle componenti, relativamente ai siti collocati al piano terra, a livello delle fondazioni e nei sotterranei. Da notare la scala verticale non confrontabile con le figure precedenti ma scelta al fine di mostrare più chiaramente i risultati.

- L'influenza della scelta di ubicazione del sensore si può evincere tramite il confronto tra i risultati delle analisi spettrali dei siti IVCa e IVCb, riferiti rispettivamente ad una misura condotta in corrispondenza del muro maestro esterno, e ad una misura condotta in corrispondenza del solaio limitrofo (centro del pavimento): in questo caso le forme spettrali risultano simili per quanto riguarda l'individuazione della frequenza di risonanza, ma le ampiezze dei segnali riferibili al solaio sono minori.

Le Fig. 4.89 e 4.90 illustrano i risultati ottenuti attraverso il calcolo dei rapporti spettrali H/V per ogni sito investigato. La Fig. 4.89 si riferisce alle prove effettuate lungo tre allineamenti verticali all'interno dell'ala centrale, dell'ala occidentale e dell'ala corrispondente al Museo di Paleontologia (analogamente ai dati presentati in Fig. 4.86), mentre la Fig. 4.90 si riferisce alle prove effettuate ai diversi livelli dell'edificio (piani IV, III, I e terra, livello delle fondazioni e sotterranei) con parziale analogia alla Fig. 4.87.

Dall'osservazione dei risultati, si possono formulare le seguenti considerazioni:

- I picchi dei rapporti spettrali tendono a ricadere in prossimità delle frequenze in cui si rinvengono i massimi valori assunti dagli spettri mediati in velocità.



**Fig. 4.89:** rapporti spettrali calcolati per ciascuna delle componenti, lungo gli allineamenti verticali all'interno dell'ala centrale, dell'ala Occidentale e dell'ala del Museo di Paleontologia. La scala verticale è normalizzata al massimo valore del rapporti spettrale individuato lungo l'allineamento considerato, corrispondente alla Torretta meteorologica.

- In conformità a quanto notato per le ampiezze spettrali, anche le ampiezze dei rapporti spettrali assumono valori maggiori procedendo dai piani bassi verso i piani più alti
- Il dato della Torretta meteorologica presenta le ampiezze dei rapporti spettrali superiori rispetto agli altri siti investigati: essa presenta quattro picchi centrati rispettivamente a 1.8, 2.4, 3.2 e 4 Hz. I due picchi maggiori corrispondono alle frequenze 1.8 Hz e 2.4 Hz per i quali i fattori di amplificazione raggiungono valori superiori ad un ordine di grandezza.
- Prendendo in considerazione le diverse ali dell'edificio, si può notare che le forme dei rapporti spettrali presentano alcune differenze: mentre l'ala

centrale mostra almeno tre picchi, comuni a tutti i piani alti investigati, l'ala est presenta un unico picco centrato in corrispondenza della seconda frequenza di picco dell'ala centrale; i rapporti spettrali per l'ala del museo di Paleontologia presentano invece una mancanza di picchi netti, mostrando al contrario una ampia banda di picco compresa tra 2 e 5 Hz.



**Fig. 4.90:** rapporti spettrali calcolati lungo il vari piani dell'edificio. La scala verticale è equivalente a quella adottata per la precedente figura.

 I rapporti spettrali per i piani inferiori pongono in luce il comportamento dei siti collocati nei sotterranei: per essi il rapporto spettrale assume valore prossimo all'unità, caratteristico dei siti posti su roccia

#### 4.6b.4 Discussione sui risultati

Le analisi spettrali effettuate per i diversi siti della struttura hanno consentito di valutare il periodo proprio delle varie parti del Complesso monumentale di San Marcellino utilizzando i picchi delle componenti orizzontali. La parte più articolata e strutturalmente più complessa dell'intero edificio è quella orientale dove vi sono corpi a geometria più complessa come la chiesa di San Marcellino ed il corpo che costituisce il Museo di Paleontologia.

Con l'intento di porre a confronto i risultati sperimentali con risultati analitici basati sulla stima dei periodi di vibrazione a partire dalle caratteristiche strutturali dell'edificio in analisi, si è stimato il primo modi di vibrazione relazionando il periodo proprio della struttura ( $T_0$ ) con le sue caratteristiche geometriche secondo al relazione

$$T_0 = 0.1 (H / \sqrt{B})$$

in cui H è l'altezza del fabbricato e B è la dimensione in pianta nella direzione del sisma considerato, entrambe espresse in m.

Dalla pianta del Complesso di San Marcellino si ricavano le dimensioni delle diverse parti strutturali dell'edificio e da queste i periodi propri (Fig. 4.91).

I dati sul periodo proprio della struttura ottenuti dalle dimensioni della stessa e dagli spettri sono coerenti, in quanto i primi cadono nell'intervallo 0.2 - 0.8 s ed i secondi tra 0.3 - 0.5 s.

I dati sperimentali mostrerebbero, in buona sostanza, che le varie parti della struttura hanno un comportamento alle sollecitazioni più omogeneo di quanto indicherebbe la geometria del fabbricato.

Questi dati evidenziano i punti critici del Complesso alla congiunzione dell'ala centrale con le altre due ali (occidentale ed orientale) per i diversi periodi di oscillazione delle diverse parti della struttura ed all'estremità meridionale (ala del Museo di Paleontologia), dell'ala occidentale per mancanza di contrasto in quanto è la parte terminale libera dell'ala.

I dati ottenuti con gli spettri di ampiezza sono ulteriormente confermati dai rapporti spettrali con picchi ancora più significativi alla frequenza propria delle varie parti del Complesso.



**Figura 4.91:** stima dei periodi di vibrazione a partire dalle caratteristiche strutturali del Complesso di San Marcellino.  $T_{0L}$  = periodo secondo la direzione di maggiore sviluppo orizzontale della struttura (direzione longitudinale) e  $T_{0T}$  = periodo secondo la direzione di minore sviluppo orizzontale della struttura (direzione trasversale).

#### 4.6.2 Sintesi dei risultati per la Zona 5

La Fig. 4.92 illustra il quadro di unione dei risultati relativi alle analisi spettrali per i siti della Zona 5.

Si può notare che, per quanto riguarda gli spettri di Fourier, il sito PSI presenta le ampiezze maggiori; questo fatto è ben comprensibile considerando che i segnali si riferiscono ad una finestra di registrazione diurna in ambiente affetto da disturbi locali.

Il dato più significativo emerge dal confronto tra i risultati delle analisi dei rapporti spettrali: si nota infatti che i siti riferibili a San Marcellino (SNM I e II, riferiti rispettivamente ai sotterranei e alle fondazioni) mostrano praticamente assenza di amplificazione, mentre al contrario il sito di PSI presenta un picco distinguibile, centrato circa a 4 Hz e caratterizzato da ampiezza 4.



I risultati per il sito SUP sono in qualche modo intermedi, essendo essi caratterizzati da una debole amplificazione alle frequenze di 2, 5 ed 11 Hz.

Figura 4.92: Zona 5 – Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi spettrali.

4.7 ZONA 6

#### 4.7.1 Inquadramento generale

Questa zona include la porzione meridionale del quartiere di Poggioreale. L'area si presenta morfologicamente piatta, con quote medie di circa 10 m s.l.m. e con la falda a pochi m di profondità. Inoltre, la zona era caratterizzata dalla presenza di una palude, recentemente drenata a causa dell'espansione urbanistica e per la riduzione del fabbisogno idrico; i canali sono stati in seguito colmati con materiali edilizi di risulta.

Per questa zona sono disponibili numerose informazioni sulle caratteristiche geologiche, geotecniche e geofisiche dei terreni poiché nell'area del Centro Direzionale sono stati edificati numerosi grattacieli a posteriori del terremoto del 1980. I sondaggi eseguiti (Vinale, 1988) hanno permesso di ricostruire la successione stratigrafica individuando, fra l'altro, due importanti livelli palustri: il primo immediatamente a tetto del Tufo Giallo, il secondo a letto. Da datazioni radiometiche, il primo è stato datato 5800 anni dal presente, il secondo 17000 anni.

Il sottosuolo risulta affetto da eteropie laterali significative, ed è essenzialmente costituito da riporti antropici, sedimenti alluvionali (cineriti, sabbie e torbe), pozzolane sciolte e debolmente cementate, Tufo Giallo Napoletano e sabbie marine antiche (Nunziata *et al.*, 2000).

#### 4.7.2 Punti di misura e risultato delle analisi

La misura effettuata nella Zona 6 e le caratteristiche della stessa sono schematizzate nella Tabella 4.8 sottostante

| STAT-ID | DATA      | QUARTIERE   | LUOGO                     | ORA<br>INIZIO<br>(UTM) | ORA<br>FINE<br>(UTM) | ESTRAZIONE<br>(UTM)   |
|---------|-----------|-------------|---------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| ORT     | 17/5/2005 | Poggioreale | Mercato<br>ortofrutticolo | 9:10:00                | 11:10:00             | 9:40:00 -<br>10:40:00 |

Tab. 4.8: Schema riassuntivo della misura effettuata nella zona 6.

# 6.A <u>MERCATO ORTOFRUTTICOLO (ad. Centro Direzionale)</u>, quartiere <u>Poggioreale - (ORT)</u>

La stazione temporanea è stata collocata nei pressi del Mercato Ortofrutticolo situato al lato Est del Centro Direzionale, nelle vicinanze del sito FTAN 1 (Nunziata et

*al.*, 2004). La misura è stata condotta di fronte l'officina meccanica "Salvati", in corrispondenza di una piccola via comunale delimitata da terreno incolto, in cui è stato interrato il sensore (Fig. 4.93).



**Figura 4.93:** Ubicazione del punto di misura di Poggioreale – Mercato Ortofrutticolo (simbolo stella) e collocazione ipotetica dei sondaggi PGR 1994 (a) e particolare della configurazione di acquisizione dei segnali (b e c)



Le caratteristiche geologiche del sito possono esser descritte avvalendoci della stratigrafia del limitrofo sondaggio S63 (Via Grimaldi). In base alle descrizioni geologiche riportate, il sondaggio incontra 4 m di riporti sciolti e cementati, quindi un livello di circa 2 m di ceneri e pomici dell'eruzione del 79 d.C., separato dalle cineriti di Avellino da un livello di paleosuolo spesso poco meno di 1 metro. Al di sotto delle cineriti, tra 11.5 e 15.2 m di profondità dal piano campagna, è presente un livello di torba con resti vegetali, dello spessore di 3.7 m. Al di sotto, si rinviene il Tufo Giallo Napoletano (facies semilitoide) per 11 m, che passa alla facies litoide a 26 m fino a fine sondaggio (31 m).

I risultati delle analisi spettrali sono mostrati in Fig. 4.94. Sia per quanto riguarda gli spettri dei segnali in velocità che per i segnali in accelerazione, si nota che le ampiezze spettrali maggiori sono assunte dalla componente verticale, la quale mostra un picco a frequenza di circa 2.5 Hz (comune sia ai dati in accelerazione che velocità) ed un picco allargato tra 6 e 15 Hz (ben evidente solo nei dati in accelerazione).

I rapporti spettrali mostrano un chiaro picco centrato alla frequenza di 1.1 Hz circa, la cui ampiezza assume valore compreso tra 2.5 e 3.



Figura 4.94: Sito di Mercato Ortofrutticolo - Poggioreale. Spettri di Fourier in ampiezza delle tre componenti per i segnali in accelerazione e velocità, e rapporti H/V calcolati (vd. Par.3.2.3 per la spiegazione dettagliata).

Frequenza (Hz)

10

#### 4.7.3 Sintesi dei risultati per la Zona 6

In conformità a quanto effettuato per le precedenti zone, viene di seguito riportata una sintesi dei risultati ottenuti per la Zona 6, nonostante sia annoverata una sola misura. La visualizzazione dei risultati risulta semplificata dalla separazione tra le tre componenti che costituiscono il segnale.



Figura 4.95: Zona 6 – Sintesi dei risultati ottenuti dalle analisi spettrali.

# **CAPITOLO 5**

# ANALISI LIVELLI VIBRAZIONI SECONDO NORMATIVA

# 5. ANALISI LIVELLI VIBRAZIONI SECONDO NORMATIVA

#### 5.1 INTRODUZIONE E METODOLOGIA DI ANALISI

Nel presente capitolo si riportano e discutono i risultati delle analisi volte alla quantificazione del livello delle vibrazioni misurate nei diversi siti investigati.

Al fine di applicare le normative vigenti in materia di vibrazioni, i cui punti sono stati descritti approfonditamente nei Paragrafi 1.3.2 ed 1.3.3., si è sviluppata una metodologia sperimentale che è stata applicata alle registrazioni acquisiste.

In particolare, per quanto concerne la normativa UNI 11048, si sono analizzate le accelerazioni relative ai siti assimilabili ad edifici; la metodologia di analisi è stata già descritta nel paragrafo sopra citato, quindi si rimanda lì per ogni approfondimento.

Per quanto riguarda la normativa UNI 9916, essa è stata applicata a tutte le registrazioni acquisite, e la metodologia di analisi è qui descritta brevemente; nello specifico, si è proceduti in questo modo:

- Per ogni componente sono stati calcolati:
  - Una finestra rappresentativa nel dominio del tempo, ottenuta mediante lo stacking di finestre di velocità della durata di 30 secondi, normalizzata al numero di finestre sommate.
  - La deviazione standard associata all'operazione di stacking delle finestre disponibili
  - La media ed il valore di RMS per i valori della finestra rappresentativa
  - Il valore di P.V.P.V. (Peak Component Particle Velocità descritto nel Paragrafo 1.3.2)
  - Per la componente che presenta l'ampiezza di picco maggiore, lo spettro di Fourier della finestra normalizzata e la frequenza a cui si verifica il picco oppure i picchi, qualora si possano riconoscere più picchi caratterizzati da ampiezza analoga
- Considerando le 3 componenti contemporaneamente, è stato calcolato:

- Il valore di P.P.V. (Peak Particle Velocity - massimo del modulo velocità fornito dalla composizione delle tre componenti, descritto nel Paragrafo 1.3.2).

Per ogni sito investigato viene riportata una tabella sintetica che evidenzia le condizioni sperimentali delle misure e presenta i livelli assunti dalle vibrazioni, confrontandone i valori con le soglie più restrittive proposte a seconda della tipologia edilizia o di destinazione d'uso che caratterizzano il sito stesso; infatti, considerando il carattere preventivo delle misure effettuate e la scelta di una finestra di stack come finestra rappresentativa del livello medio di vibrazioni presenti nel sito, possiamo operare un confronto con quanto previsto in casi più drammatici e critici, adottando quindi i valori più restrittivi delle soglie.

# 5.2 ZONA 1

# 1A. Città della Scienza - quartiere Bagnoli (BAG)

La Tabella 5.1 riportata di seguito illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Bagnoli, Città della Scienza; trattandosi di un sito in cui risiedono gli uffici della struttura museale "Città della Scienza" ed in cui, storicamente, sorgevano gli stabilimenti dell'ILVA, si può assimilare tale sito sia alla classe 1 che alla classe 3.

| CLASSE (9916)                            | (   | CLASSE (11048)  | С                | ONDIZIO            | NI Sperim   | entali       | ORARIO             |  |  |
|--|-----|-----------------|------------------|--------------------|-------------|--------------|--------------------|--|--|
| 1 e 3                                    |     | Non applicabile |                  | Fre                | e Field     | mattina      |                    |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s) |     |                 |                  |                    |             |              |                    |  |  |
| COMPONENTE                               |     |                 | MED              | IE                 |             |              | PICCO              |  |  |
| COMPONENTE                               |     | Media           | Deviazione       |                    |             | S            | пссо               |  |  |
| Verticale UD                             |     | 5.8698e-011     | 1.32             | 15e-005            | 1.2433e-006 |              | 5.2267e-006        |  |  |
| Nord – Sud NS                            |     | 7.7643e-011     |                  | 21e-006            | 3.3977e     | -007         | 1.1994e-006        |  |  |
| Est – Ovest EW                           |     | 8.4791e-011     | 3.5218e-006 3.18 |                    | 3.1828e     | -007         | 1.0758e-006        |  |  |
| P.P.V                                    |     | P.C.P.V         |                  | Componente P.C.P.V |             |              | FREQUENZA          |  |  |
| 1.7447e-006                              |     | 5.2267e-006     |                  | Verticale          |             |              | Dato non rilevante |  |  |
| CONFRO                                   | NTO | rispetto VALORI | di SO            | GLIA più 1         | restrittivi | - UNI 9      | 916 (%)            |  |  |
| DURATA                                   | (   | CLASSE 1 (%)    | CLASSE 2         | (%)                |             | CLASSE 3 (%) |                    |  |  |
| Breve                                    |     | 0.026           |                  | 0.10               |             |              | 0.17               |  |  |
| Permanente                               |     | 0.05            | 0.10             |                    |             |              | 0.21               |  |  |

**Tab. 5.1:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito BAG – Bagnoli – Città della Scienza.

Poiché le analisi mostrano che la componente verticale è quella che presenta valori di picco più accentuati, secondo la norma 9916 le soglie di riferimento per le velocità non mostrano dipendenza dalla frequenza alla quale il picco dello spettro presenta un massimo. Secondo la scelta dichiarata nell'introduzione di non applicare pedissequamente la normativa in questione al fine di tenere in considerazione uno scenario più gravoso, se si impongono come valori di soglia quelli più restrittivi (cioè quelli minori, rispettivamente per ogni classe di edificio), si conclude i livelli di vibrazioni misurate si assestano ben al di sotto dei limiti previsti.

#### 1B.S. Giovanni Battista - quartiere Soccavo (SOC)

La Tabella 5.2 illustra i valori misurati delle vibrazioni nel sito di Soccavo, Parrocchia S. Giovanni Battista; trattandosi di un edificio di culto, di importanza civile, si può assimilare tale sito alla classe 3 (UNI 9916)

Nonostante la massima ampiezza del segnale si realizzi sulla componente Est-Ovest, l'ampiezza spettrale massima si rinviene in corrispondenza della componente verticale. Per questo motivo sono state prese in considerazione sia la frequenza di 2.3 Hz (picco dello spettro in velocità per la componente Est – Ovest), sia la frequenza di 15 Hz (picco dello spettro in velocità per la componente verticale). Operando l'opzione di fornire i risultati considerando lo scenario più critico, i valori di riferimento sono rapportati alla frequenza più bassa (valore di soglia più basso).

| CLASSE (9916)                            | (    | CLASSE (11048)  | С                    | ONDIZIO            | NI Sperim   | entali  | ORARIO           |  |  |
|--|------|-----------------|----------------------|--------------------|-------------|---------|------------------|--|--|
| 3  |      | Non applicabile |                      | Fr                 | ee field    | mattina |                  |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s) |      |                 |                      |                    |             |         |                  |  |  |
| COMPONENTE                               |      |                 | MED                  | IE                 |             |         | DICCO            |  |  |
| COMPONENTE                               |      | Media           | Dev                  | viazione           | RM          | S       | FICCO            |  |  |
| Verticale UD                             | 1.21 | 153e-010        | 2.147                | 70e-005            | 1.6905e-    | 006     | 1.5452e-005      |  |  |
| Nord – Sud NS                            | 4.20 | )95e-011        | 1.101                | 1.1015e-005 8.9507 |             | 007     | 6.8320e-006      |  |  |
| Est – Ovest EW                           | 7.5  | 199e-011        | 1.3961e-005 1.5689e- |                    | 1.5689e-0   | 006     | 1.7447e-005      |  |  |
| P.P.V                                    |      | P.C.P.V         |                      | Componente P.C.P.V |             |         | FREQUENZA        |  |  |
| 8.0561e-006                              |      | 1.7447e-005     |                      | E                  | st - Ovest  |         | 2.3 oppure 15 Hz |  |  |
| CONFRO                                   | NTO  | rispetto VALORI | di SO(               | GLIA più           | restrittivi | – UNI 🤉 | 9916 (%)         |  |  |
| DURATA                                   | CLA  | ASSE 1 (%)      | CLA                  | SSE 2 (%           | )           | CLAS    | SE 3 (%)         |  |  |
| Breve                                    |      | 0.087           |                      | 0.35               |             |         | 0.58             |  |  |
| Permanente                               |      | 0.17            | 0.35                 |                    |             |         | 0.70             |  |  |

**Tab. 5.2:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito SOC – Soccavo – Parrocchia S. Giovanni Battista

I risultati dimostrano che, a qualsiasi tipologia di categoria si assimili il sito, i valori riscontrati sono ben al di sotto dei valori indicati come soglia.

#### 1C. Vigili del Fuoco - quartiere Pianura (PIA)

La Tabella 5.3 illustra i valori misurati delle vibrazioni nel sito di Pianura, Caserma dei Vigili del Fuoco; trattandosi di un edificio di importanza civile strategica ed amministrativa, si può assimilare tale sito alle classi 1 e 3 (UNI 9916).

In generale, i valori rilevati si assestano su livelli nettamente inferiori alle soglie proposte nelle normative, anche nel caso di situazioni più critiche.

| CLASSE (9916)                            | (    | CLASSE (11048)  | С                | ONDIZIO     | NI Sperin   | ientali  | ORARIO      |  |  |  |  |
|--|------|-----------------|------------------|-------------|-------------|----------|-------------|--|--|--|--|
| 1 e 3                                    |      | Non applicabile | Free field       |             |             |          | mattina     |  |  |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s) |      |                 |                  |             |             |          |             |  |  |  |  |
| COMPONENTE                               |      |                 | MED              | IE          |             |          | PICCO       |  |  |  |  |
| COMPONENTE                               |      | Media           | Deviazione RM    |             |             | S        | пссо        |  |  |  |  |
| Verticale UD                             |      | 1.0984e-010     | 1.3877e-005      |             | 1.0215e-006 |          | 3.3439e-006 |  |  |  |  |
| Nord – Sud NS                            |      | 1.3817e-010     |                  | 1.1869e-005 |             | e-006    | 4.5273e-006 |  |  |  |  |
| Est – Ovest EW                           |      | 5.9003e-012     | 8.7692e-006 6.78 |             | 6.7800€     | -007     | 3.1372e-006 |  |  |  |  |
| P.P.V                                    |      | P.C.P.V         |                  | Compo       | nente P.C.  | .P.V.    | FREQUENZA   |  |  |  |  |
| 1.8728e-006                              |      | 4.5273e-006     |                  | N           | ord - Sud   |          | 10 Hz       |  |  |  |  |
| CONFRO                                   | ONTO | rispetto VALORI | di SO            | GLIA più 1  | restrittivi | – UNI 9  | 916 (%)     |  |  |  |  |
| DURATA                                   | CLA  | ASSE 1 (%)      | SSE 2 (%)        | )           | CLAS        | SE 3 (%) |             |  |  |  |  |
| Breve                                    |      | 0.023           |                  | 0.09        |             |          | 0.15        |  |  |  |  |
| Permanente                               |      | 0.05            | 0.09             |             |             |          | 0.18        |  |  |  |  |

**Tab. 5.3:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PIA – Pianura – Caserma dei Vigili del Fuoco.

#### 1D. Mostra Oltremare - quartiere Fuorigrotta (FRG)

La Tabella 5.4 illustra i valori misurati delle vibrazioni nel sito di Fuorigrotta, Mostra d'Oltremare; trattandosi di un sito in cui insiste un padiglione della struttura espositiva omonima, si può assimilare tale sito alle classi 1 e 2 (UNI 9916).

In generale, i valori rilevati si assestano su livelli nettamente inferiori alle soglie proposte nelle normative, anche nel caso di situazioni più critiche.

Degno di nota è il risultato dell'analisi spettrale applicata alla finestra di stack, in base alla quale si rileva la presenza di un picco molto accentuato, centrato alla frequenza di 12 Hz, probabilmente legato a qualche sorgente di rumore antropico.

| CLASSE (9916)                            | CLASSE (11048)       |                 |             | ONDIZIO           | NI Sperin   | ientali | ORARIO      |  |  |  |  |
|--|----------------------|-----------------|-------------|-------------------|-------------|---------|-------------|--|--|--|--|
| 1 e 2                                    |                      | Non applicabile |             | Fre               | ee field    | notte   |             |  |  |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s) |                      |                 |             |                   |             |         |             |  |  |  |  |
| COMPONENTE                               |                      |                 | MED         | IE                |             |         | DICCO       |  |  |  |  |
| COMPONENTE                               |                      | Media           | Dev         | iazione           | RM          | S       | пссо        |  |  |  |  |
| Verticale UD                             | <b>)</b> 6.2785e-024 |                 |             | 53e-006           | 5.5520€     | -007    | 2.0215e-006 |  |  |  |  |
| Nord – Sud NS                            |                      | 2.2656e-023     | 8.2015e-006 |                   | 9.4722e-007 |         | 3.3689e-006 |  |  |  |  |
| Est – Ovest EW                           |                      | 3.0509e-023     | 8.72        | 8.7271e-006 9.765 |             | e-007   | 3.3881e-006 |  |  |  |  |
| P.P.V                                    |                      | P.C.P.V         |             | Compo             | nente P.C.  | .P.V.   | FREQUENZA   |  |  |  |  |
| 1.2037e-006                              |                      | 3.3881e-006     |             | E                 | st - Ovest  |         | 12 Hz       |  |  |  |  |
| CONFRO                                   | DNTO                 | rispetto VALORI | di SO       | GLIA più 1        | restrittivi | - UNI 9 | 916 (%)     |  |  |  |  |
| DURATA CLASSE 1 (%)                      |                      |                 |             | SSE 2 (%)         | )           | CLAS    | SE 3 (%)    |  |  |  |  |
| Breve                                    | 0.01                 | 0.017           |             | 0.07              |             | 0.11    |             |  |  |  |  |
| Permanente                               | anente 0.034         |                 |             | 0.07 0.14         |             |         |             |  |  |  |  |
| Breve<br>Permanente                      | 0.017 0.034          |                 |             | 0.07<br>0.07      |             |         |             |  |  |  |  |

**Tab. 5.4:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito FRG – Fuorigrotta – Mostra d'Oltremare.

#### 5.3 ZONA 2

#### 2A. Piazza S. di Giacomo – quartiere Posillipo (POS1)

La Tabella 5.5 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Posillipo, Piazza S. di Giacomo; trattandosi di una piazza molto trafficata, nonostante il piccolo parco ad essa associato, si può assimilare tale sito alla classe abitativa 2 (UNI 9916).

| CLASSE (9916)                            | CLASSE (11048)  |                 |             | ONDIZIO    | NI Sperim   | ientali    | ORARIO             |  |  |
|--|-----------------|-----------------|-------------|------------|-------------|------------|--------------------|--|--|
| 2  | Non applicabile |                 |             | Fre        | ee field    | pomeriggio |                    |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s) |                 |                 |             |            |             |            |                    |  |  |
| COMPONENTE                               |                 |                 | MED         | IE         |             |            | PICCO              |  |  |
| COMPONENTE                               |                 | Media           | Dev         | viazione   | RM          | S          | пссо               |  |  |
| Verticale UD                             |                 | 4.1527e-010     | 3.06        | 699e-005   | 6.71386     | e-006      | 3.4262e-005        |  |  |
| Nord – Sud NS                            |                 | 4.8202e-010     | 1.9657e-005 |            | 4.45086     | -006       | 1.8671e-005        |  |  |
| Est – Ovest EW                           |                 | 6.7006e-011     | 2.1967e-005 |            | 5.1215e     | e-006      | 2.1719e-005        |  |  |
| P.P.V                                    |                 | P.C.P.V         |             | Compo      | nente P.C.  | .P.V.      | FREQUENZA          |  |  |
| 1.1457e-005                              |                 | 3.4262e-005     |             | V          | Verticale   |            | Dato non rilevante |  |  |
| CONFRO                                   | ONTO            | rispetto VALORI | di SO       | GLIA più 1 | restrittivi | - UNI 9    | 916 (%)            |  |  |
| DURATA                                   | CLA             | ASSE 1 (%)      | CLA         | SSE 2 (%)  | )           | CLAS       | SE 3 (%)           |  |  |
| Breve                                    | 0.17            |                 | 0.69 1.14   |            |             | 1.14       |                    |  |  |
| Permanente                               | 0.34            |                 | 0.69 1.37   |            |             | 1.37       |                    |  |  |

**Tab. 5.5:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito POS1 – Posillipo – Piazza Salvatore di Giacomo.

Sia tenendo in considerazione la tipologia del sito in questione, sia optando per il vincolo più restrittivo, si può asserire che i valori rilevati si assestano su livelli nettamente inferiori alle soglie proposte nelle normative.

# 2B. Parco Virgiliano - quartiere Posillipo (POS2)

La Tabella 5.6 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Posillipo, Parco Virgiliano. Per il sito in questione valgono le stesse considerazioni espresse per il sito POS1.

| CLASSE (9916)                            | (    | CLASSE (11048)  | С           | ONDIZIO    | NI Sperim   | entali     | ORARIO             |  |  |
|--|------|-----------------|-------------|------------|-------------|------------|--------------------|--|--|
| 2  |      | Non applicabile |             | Fre        | ee field    | pomeriggio |                    |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s) |      |                 |             |            |             |            |                    |  |  |
| COMPONENTE                               |      |                 | MED         | IE         |             |            | PICCO              |  |  |
| COMPONENTE                               |      | Media           | Dev         | viazione   | RM          | S          | пссо               |  |  |
| Verticale UD                             |      | 2.0237e-010     | 5.98        | 23e-006    | 5.3389e     | -007       | 1.9084e-006        |  |  |
| Nord – Sud NS                            |      | 1.8636e-011     |             | 258e-006   | 5.0548e     | -007       | 1.7082e-006        |  |  |
| Est – Ovest EW                           |      | 5.6322e-011     | 6.1746e-006 |            | 5.2921e     | -007       | 1.7628e-006        |  |  |
| P.P.V                                    |      | P.C.P.V         |             | Compo      | nente P.C.  | P.V.       | FREQUENZA          |  |  |
| 7.4388e-007                              |      | 1.9084e-006     |             | V          | Verticale   |            | Dato non rilevante |  |  |
| CONFRO                                   | )NTO | rispetto VALORI | di SO       | GLIA più : | restrittivi | - UNI 9    | 916 (%)            |  |  |
| DURATA                                   | CLA  | ASSE 1 (%)      | CLA         | SSE 2 (%)  | )           | CLAS       | SE 3 (%)           |  |  |
| Breve                                    |      | 0.01            | 0.038       |            |             |            | 0.064              |  |  |
| Permanente                               |      | 0.019           | 0.038       |            |             |            | 0.076              |  |  |

**Tab. 5.6:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito POS2 – Posillipo – Parco Virgiliano.

# 2C. Via Cupa Angara - quartiere Posillipo (POS3)

La Tabella 5.7 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Posillipo, Via Cupa Angara; trattandosi di una finestra di registrazione estratta nelle ore notturne, appare appropriato classificare il sito come classe abitativa 2 (UNI 9916) ed alla categoria Abitazioni (orario notturno) (UNI 11048).

Mentre i livelli di velocità si mantengono ben al di sotto dei valori di soglia, si può notare che i livelli di accelerazioni sono prossimi ai valori di soglia previsti nei casi di abitazioni in orario notturno per vibrazioni di limitata durata.

| CLASSE (9916)  | (                 | CLASSE (11048) CONDIZIONI Sperimentali |                         |   |                | ORARIO             |
|----------------|-------------------|--|-------------------------|---|----------------|--------------------|
| 2              | A                 | Abitazioni (notte)                     | Cantina - Fondazioni    |   |                | notte              |
|                |                   |  |                         |   |                |                    |
| COMBONENTE     |                   |  | MED                     | IE  |                | DICCO              |
| CONFORMENTE    |                   | Media                                  | Dev                     | viazione  | RMS            | ricco              |
| Verticale UD   |                   | 2.1732e-010                            | 6.02                    | 212e-006  | 7.0681e-007    | 3.5785e-006        |
| Nord – Sud NS  |                   | 1.0552e-011                            | 2.99                    | 930e-006  | 2.8241e-007    | 1.4022e-006        |
| Est – Ovest EW |                   | 2.1661e-010                            | 010 3.4062e-006 3.4784e |   |                | 1.4953e-006        |
| P.P.V          |                   | P.C.P.V                                |                         | Compo   | nente P.C.P.V. | FREQUENZA          |
| 1.2343e-006    | e-006 3.5785e-006 |  |                         | , in the second s | Verticale      | Dato non rilevante |

| CONFRONTO rispetto VALORI di SOGLIA più restrittivi – UNI 9916 (%) |        |        |  |        |  |        |        |             |                  |                 |       |                |       |        |           |
|--|--------|--------|--|--------|--|--------|--------|-------------|------------------|-----------------|-------|----------------|-------|--------|-----------|
| DURATA   |        | (      | CLASSE 1 (%)         CLASSE 2 (%)         CLASSE 3 (%) |        |  |        |        | 6 (%)       |                  |                 |       |                |       |        |           |
| Breve  |        |        |  | 0.018  | ;  |        |        | 0.072 0.119 |                  |                 |       |                |       |        |           |
| Permanente   |        |        | 0.036  |        |  |        |        | 0.0         | 72               |                 |       |                | 0.143 |        |           |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (R.M.S. ACCELERAZIONI m/s <sup>2</sup> )  |        |        |  |        |  |        |        |             |                  |                 |       |                |       |        |           |
| Comp.  | VERT   | ICAI   | LE   |        | Co                                       | omp. I | NORD   | - SUD       | )                |                 | Con   | ıp. ES         | Γ-Ο\  | /EST   |           |
| m/s <sup>2</sup>   |        |        | dB   |        | n  | n/s²   |        | d           | B                |                 | m/s   | s <sup>2</sup> |       | dB     | 3         |
| 2.2643e-00   | )4     |        | 192  |        | 7.538                                    | le-00  | 5      | 20          | 02 8.3884e-005 2 |                 |       |                | 20    | 1      |           |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (PICCHI ACCELERAZIONE m/s <sup>2</sup> )  |        |        |  |        |  |        |        |             |                  |                 |       |                |       |        |           |
| Comp. VEI  | RTICA  | LE (   | $m/s^2$ )  | (      | Comp                                     | . NOI  | RD – S | SUD (n      | 1/ s²)           | C               | omp.  | EST –          | OVES  | ST (m  | $(s^{2})$ |
| (  | 0.0076 |        |  |        |  | (      | ).0029 |             |                  |                 |       | 0.0            | 023   |        |           |
|  |        | CON    | FRON   | TO ris | spetto                                   | VAL    | ORI d  | li SOG      | LIA –            | UNI 1           | 1048  | (%)            |       |        |           |
| DURATA   | Are    | e Crit | tiche  | A      | bitazioni Abitazioni<br>(notte) (giorno) |        |        |             |                  |                 | Uffic | i              | Fa    | abbric | che       |
| Comp.  | UD     | NS     | EW   | UD     | NS                                       | EW     | UD     | NS          | EW               | UD NS EW UD N   |       |                | NS    | EW     |           |
| Permanente   | 5      | 2      | 2  | 3      | 2  | 2      | 0.2    | 0.1         | 0.1              | 0.1 0.1 0.1 0.1 |       |                | 0     | 0      |           |
| Breve  | 152    | 81     | 64   | 109    | 58                                       | 46     | 2.5    | 0.9         | 0.7              | 1.              | 2     | 0.             | .6    | 0      | .5        |

**Tab. 5.7:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito POS3 – Posillipo – Via Cupa Angara.

#### 2D.Capo Posillipo – quartiere Posillipo (POS4)

La Tabella 5.8 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Posillipo, Piazza Capo Posillipo; trattandosi di una registrazione effettuata all'interno del cortile di una casa privata, il sito può esser classificato come classe abitativa 2 (UNI 9916).

| CLASSE (9916)                            | (               | CLASSE (11048)  | С                | ONDIZIO          | NI Sperim   | ientali | ORARIO            |  |  |  |
|--|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------|---------|-------------------|--|--|--|
| 2  | Non applicabile |                 |                  | Fre              | e field     |         | mattina           |  |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s) |                 |                 |                  |                  |             |         |                   |  |  |  |
| COMPONENTE                               |                 |                 | MED              | IE               |             |         | PICCO             |  |  |  |
| COMPONENTE                               |                 | Media           | Media Deviazione |                  |             | S       | пссо              |  |  |  |
| Verticale UD                             |                 | 3.8375e-011     | 6.02             | 212e-006         | 6.1035e-007 |         | 1.9409e-006       |  |  |  |
| Nord – Sud NS                            |                 | 1.0097e-009     |                  | 930e-006         | 8.8150e     | e-007   | 5.9135e-006       |  |  |  |
| Est – Ovest EW                           |                 | 1.1523e-009     | 3.40             | 3.4062e-006 6.00 |             | e-007   | 2.9851e-006       |  |  |  |
| P.P.V                                    |                 | P.C.P.V         |                  | Compo            | nente P.C.  | .P.V.   | FREQUENZA         |  |  |  |
| 2.1997e-006                              |                 | 5.9135e-006     |                  | N                | ord - Sud   |         | Inferiore ad 1 Hz |  |  |  |
| CONFRO                                   | ONTO            | rispetto VALORI | di SO            | GLIA più 1       | restrittivi | - UNI 9 | 916 (%)           |  |  |  |
| DURATA                                   | CLA             | ASSE 1 (%)      | CLA              | SSE 2 (%)        | )           | CLAS    | SE 3 (%)          |  |  |  |
| Breve                                    |                 | 0.030           | 0.118            |                  |             |         | 0.197             |  |  |  |
| Permanente                               |                 | 0.059           | 0.118            |                  |             |         | 0.237             |  |  |  |

**Tab. 5.8:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito POS4 – Posillipo – Piazza Capo Posillipo.

Anche in questo caso, i valori rilevato si mantengono al di sotto dei valori di soglia previsti dalla normativa vigente.

# 2E. Vecchio Osservatorio Vesuviano - quartiere Posillipo (POS5)

La Tabella 5.9 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Posillipo, vecchia sede dell'Osservatorio Vesuviano; trattandosi di una registrazione effettuata in prossimità del comando della Polizia, il sito può esser classificato come classe 2 e 3 (UNI 9916).

| CLASSE (9916)                            | (    | CLASSE (11048)  | С                 | ONDIZIO       | NI Sperim   | entali  | ORARIO         |  |
|--|------|-----------------|-------------------|---------------|-------------|---------|----------------|--|
| 2 e 3                                    |      | Non applicabile | Free field        |               |             |         | mattina        |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s) |      |                 |                   |               |             |         |                |  |
| COMPONENTE                               |      |                 | MED               | IE            |             |         | PICCO          |  |
| COMPONENTE                               |      | Media           | Dev               | viazione      | RM          | S       | пссо           |  |
| Verticale UD                             |      | 6.6835e-011     | 1.73              | 69e-005       | 1.4337e-006 |         | 5.4319e-006    |  |
| Nord – Sud NS                            |      | 1.6972e-010     | 1.8465e-005       |               | 1.5787e     | -006    | 5.8572e-006    |  |
| Est – Ovest EW                           |      | 2.0638e-010     | 1.61              | 1.6125e-005 1 |             | -006    | 4.913e-006     |  |
| P.P.V                                    |      | P.C.P.V         |                   | Compo         | nente P.C.  | P.V.    | FREQUENZA      |  |
| 2.0435e-006                              |      | 5.8572e-006     |                   | N             | ord - Sud   |         | Spettro piatto |  |
| CONFRO                                   | ONTO | rispetto VALORI | di SO             | GLIA più 1    | restrittivi | - UNI 9 | 916 (%)        |  |
| DURATA                                   | CLA  | ASSE 1 (%)      | CLASSE 2 (%) CLAS |               |             | CLAS    | SE 3 (%)       |  |
| Breve                                    |      | 0.029           |                   | 0.117         |             |         | 0.195          |  |
| Permanente                               |      | 0.059           |                   | 0.117         |             |         | 0.234          |  |

**Tab. 5.9:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito POS5 – Posillipo – Vecchia sede dell'Osservatorio Vesuviano

Anche in questo caso, i valori rilevato si mantengono al di sotto dei valori di soglia previsti dalla normativa vigente.

# 2F. Giuseppone a Mare - quartiere Posillipo (POS6)

La Tabella 5.10 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Posillipo, Giusepopne a Mare; trattandosi di una registrazione effettuata durante la notte ed in una abitazione privata, all'altezza del piano terra, il sito può esser classificato come classe abitativa 2 (UNI 9916) e categoria abitazioni notturne (11048).

L'analisi del confronto tra i valori di vibrazioni misurati ed i valori delle soglie più restrittive, permette di concludere che i livelli rilevati si assestano al di sotto di limiti ammessi.

| CLASSE (         | 9916)  |        | CLA       | ASSE        | (1104              | 8)               | CO            | NDIZ          | IONI S    | Sperin  | nental | i                             | ORARIO       |              |           |
|------------------|--------|--------|-----------|-------------|--------------------|------------------|---------------|---------------|-----------|---------|--------|-------------------------------|--------------|--------------|-----------|
| 2                |        |        | Abi       | tazioni     | i (notte           | e)               |               | Canti         | na - Fo   | ndazio  | ni     |                               | n            | otte         |           |
|                  |        | ]      | LIVEL     | LO D        | ELLF               | E VIB            | RAZI          | ONI (V        | /ELO(     | CITA'   | m/s)   |                               |              |              |           |
| COMPON           | ENTE   |        |           |             |                    |                  | MEDI          | E             |           |         |        |                               | PI           | $00^{\circ}$ |           |
| comon            |        | '      |           | Medi        | a                  |                  | Devi          | azione        |           | RM      | S      |                               | 11           |              |           |
| Verticale        | UD     |        | 9.        | 7009e-      | -011               |                  | 1.498         | 9e-006        | 5 1       | .4449e  | -007   |                               | 5.1194e-007  |              |           |
| Nord – Su        | d NS   |        | 4.        | 0231e-      | -011               |                  | 1.1054e-006 1 |               |           | .12766  | -007   |                               | 4.186        | 1e-00        | 7         |
| Est – Oves       | st EW  |        | 1.        | 1.2353e-010 |                    |                  |               | 1.1662e-006 1 |           |         | -007   |                               | 4.496        | 7e-00        | 7         |
| P.               | P.V    |        |           | ]           | P.C.P.             | .V               |               | Com           | ponen     | te P.C. | .P.V.  | ]                             | FREQ         | UENZ         | ZA        |
| 1.785            | 0e-007 |        |           | 5.          | 1194e              | -007             |               |               | Verti     | icale   |        | Da                            | ato noi      | n rilev      | ante      |
|                  | CONF   | FRON   | TO ris    | petto       | VALO               | ORI d            | li SOG        | LIA pi        | iù resti  | rittivi | – UNI  | 9916 [                        | (%)          |              |           |
| DURATA           |        | (      | CLASS     | E 1 (%      | 6)                 |                  | CLAS          | SE 2 (        | %)        |         | CLA    | ASSE 3                        | (%)          |              |           |
| Breve            |        |        |           | 0.003       | 5                  |                  |               | 0.0           | 10        |         |        |                               | 0.017        |              |           |
| Permanente       |        |        |           | 0.005       | 5                  |                  |               | 0.0           | 10        |         |        |                               | 0.020        |              |           |
|                  | LI     | VELI   | O DE      | LLE V       | /IBR/              | AZIO             | NI (R.        | M.S. A        | ACCEI     | LERA    | ZION   | [ <b>I</b> m/s <sup>2</sup> ] | )            |              |           |
| Comp.            | VERT   | ICAI   | LE        |             | Co                 | omp. l           | NORD          | - SUD         |           |         | Con    | ip. EST                       | <u>г - О</u> | /EST         |           |
| m/s <sup>2</sup> |        |        | dB        |             | n                  | 1/s <sup>2</sup> |               | dl            | B         |         | m/s    | s <sup>2</sup>                | dB           |              | 3         |
| 1.5796e-00       | )5     |        | -216      |             | 1.432              | 6e-00            | 15            | -21           | 16        | 1       | .6593  | e-005                         |              | -21          | 5         |
|                  | LIV    | 'ELL   | O DEL     | LE V        | IBRA               | ZION             | VI (PIC       | CCHI A        | ACCE      | LERA    | ZION   | E m/s <sup>2</sup>            | 2)           |              |           |
| Comp. VE         | RTICA  | ALE (  | $m/s^2$ ) | (           | Comp               | . NO             | RD – S        | UD (n         | $1/s^2$ ) | C       | omp.   | EST –                         | OVES         | ST (m        | $(s^{2})$ |
| 3.0              | 241e-( | )04    |           |             |                    | 2.6              | 724e-0        | 04            |           |         |        | 3.078                         | 0e-004       | 1            |           |
|                  |        | CON    | FRON      | TO ri       | spetto             | VAL              | ORI d         | li SOG        | LIA –     | UNI 1   | 1048   | (%)                           |              |              |           |
| DURATA           | Are    | e Crit | tiche     | A           | Abitazioni Abitazi |                  |               |               | oni       |         | Uffic  | i                             | F            | abbrid       | he        |
| 2010111          |        |        |           |             | (notte) (giorno)   |                  |               |               | -         |         |        |                               |              |              |           |
| Comp.            | UD     | NS     | EW        | UD          | NS                 | EW               | UD            | NS            | EW        | UD      | NS     | EW                            | UD           | NS           | EW        |
| Permanente       | 0.3    | 0.4    | 0.5       | 0.2         | 0.3                | 0.3              | 0.2           | 0.1           | 0.1       | 0       | 0      | 0                             | 0            | 0            | 0         |
| Breve            | 6      | 7      | 9         | 4           | 5                  | 6                | 0.1           | 0.1           | 0.1       | 0.      | .1     | 0.                            | 1            | 0            | .1        |

**Tab. 5.10:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito POS6 – Posillipo – Giuseppone a mare

# 2G. Via Manzoni – quartiere Posillipo (POS7)

| CLASSE (9916)  | (    | CLASSE (11048)  | С                  | ONDIZIO    | NI Sperim   | entali  | ORARIO      |
|----------------|------|-----------------|--------------------|------------|-------------|---------|-------------|
| 2              |      | Non applicabile |                    | Fre        | e field     |         | pomeriggio  |
|                | LIV  | ELLO DELLE VI   | BRAZ               | IONI (VEI  | LOCITA'     | m/s)    |             |
| COMPONENTE     |      |                 | MED                | IE         |             |         | PICCO       |
| COMPONENTE     |      | Media           | Dev                | viazione   | RM          | S       | пссо        |
| Verticale UD   |      | 3.0257e-010     | 5.76               | 21e-006    | 6.1145e     | -007    | 2.1827e-006 |
| Nord – Sud NS  |      | 6.1424e-010     | 4.87               | 79e-006    | 5.2675e     | -007    | 2.0153e-006 |
| Est – Ovest EW |      | 6.2660e-010     | 6.44               | 77e-006    | 6.7824e     | -007    | 2.5887e-006 |
| P.P.V          |      | P.C.P.V         | Componente P.C.P.V |            |             |         | FREQUENZA   |
| 9.6690e-007    |      | 2.5887e-006     |                    | Es         | st - Ovest  |         | 11 Hz       |
| CONFRO         | ONTO | rispetto VALORI | di SO              | GLIA più 1 | restrittivi | - UNI 9 | 916 (%)     |
| DURATA         | CLA  | ASSE 1 (%)      | CLA                | SSE 2 (%)  |             | CLAS    | SE 3 (%)    |
| Breve          |      | 0.013           | 0.052              |            |             |         | 0.086       |
| Permanente     |      | 0.026           | 0.052              |            |             |         | 0.104       |

Tab. 5.11: Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito POS7 - Posillipo - Via Manzoni

La Tabella 5.11 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Posillipo, Via Manzoni; il sito può esser classificato come classe abitativa 2 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive

| CLASSE (9916)  | (     | CLASSE (11048)  | C                  | ONDIZIO    | NI Sperim   | entali  | ORARIO            |
|----------------|-------|-----------------|--------------------|------------|-------------|---------|-------------------|
| 2              |       | Non applicabile |                    | Fre        | ee field    |         | pomeriggio        |
|                | LIV   | ELLO DELLE VI   | BRAZ               | IONI (VE   | LOCITA'     | m/s)    |                   |
| COMDONENTE     |       |                 | MED                | IE         |             |         | DICCO             |
| COMPONENTE     |       | Media           | Dev                | viazione   | RM          | S       | FICCO             |
| Verticale UD   |       | 8.5410e-011     | 8.79               | 63e-006    | 1.1888e-006 |         | 3.9433e-006       |
| Nord – Sud NS  |       | 2.6252e-011     | 1.04               | 05e-005    | 1.4175e     | e-006   | 5.5560e-006       |
| Est – Ovest EW |       | 1.3401e-010     | 9.02               | 43e-006    | 1.2476€     | e-006   | 4.2698e-006       |
| P.P.V          |       | P.C.P.V         | Componente P.C.P.V |            |             |         | FREQUENZA         |
| 1.8869e-006    |       | 5.5560e-006     |                    | N          | ord - Sud   |         | Non individuabile |
| CONFRO         | ONTO  | rispetto VALORI | di SO              | GLIA più 1 | restrittivi | - UNI 9 | 916 (%)           |
| DURATA         | CLA   | ASSE 1 (%)      | CLA                | SSE 2 (%)  | )           | CLAS    | SSE 3 (%)         |
| Breve          | 0.028 |                 | 0.111              |            |             |         | 0.185             |
| Permanente     |       | 0.056           |                    | 0.111      |             |         | 0.222             |

# 2H. Via Petrarca - quartiere Posillipo (POS8)

Tab. 5.12: Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito POS8 – Posillipo – Via Petrarca.

La Tabella 5.12 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Posillipo, Via Petrarca; il sito può esser classificato come classe abitativa 2 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

# 2I. Villa Floridiana - quartiere Vomero (VOM)

| CLASSE (9916)  | (     | CLASSE (11048)  | C     | ONDIZIO    | NI Sperim   | ientali | ORARIO      |
|----------------|-------|-----------------|-------|------------|-------------|---------|-------------|
| 3              |       | Non applicabile |       | Fre        | ee field    |         | mattina     |
|                | LIV   | ELLO DELLE VI   | BRAZ  | IONI (VE   | LOCITA'     | m/s)    |             |
| COMPONENTE     |       |                 | MED   | IE         |             |         | PICCO       |
| COMPONENTE     |       | Media           | Dev   | viazione   | RM          | S       | пссо        |
| Verticale UD   |       | 1.2925e-010     | 2.19  | 06e-005    | 1.5301e     | e-006   | 5.1475e-006 |
| Nord – Sud NS  |       | 1.7169e-011     | 2.18  | 324e-005   | 1.5084e-006 |         | 6.1942e-006 |
| Est – Ovest EW |       | 1.3253e-010     | 2.14  | 63e-005    | 1.5283e     | e-006   | 5.5422e-006 |
| P.P.V          |       | P.C.P.V         |       | Compo      | nente P.C.  | .P.V.   | FREQUENZA   |
| 2.3601e-006    |       | 6.1942e-006     |       | N          | ord - Sud   |         | 13 Hz       |
| CONFRO         | ONTO  | rispetto VALORI | di SO | GLIA più 1 | restrittivi | – UNI 9 | 916 (%)     |
| DURATA         | CLA   | ASSE 1 (%)      | CLA   | .SSE 2 (%) | )           | CLAS    | SE 3 (%)    |
| Breve          | 0.031 |                 |       | 0.124      |             |         | 0.206       |
| Permanente     |       | 0.062           | 0.124 |            |             |         | 0.248       |

**Tab. 5.13:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito VOM – Vomero – Villa Floridiana.

La Tabella 5.13 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito del Vomero, Villa Floridiana; trattandosi di un luogo caratterizzato da una struttura museale, il sito può esser classificato come classe 3 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

# 2J. Parco del Museo di Capodimonte – quartiere S. Carlo all' Arena (CAP)

La Tabella 5.13 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito del Vomero, Villa Floridiana; trattandosi di un luogo caratterizzato da una struttura museale, il sito può esser classificato come classe 3 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

Da notare che i valori riportati risultano dalla media tra due misure effettuate nel medesimo sito ma con differenti condizioni di interramento del sensore.

| CLASSE (9916)  | (     | CLASSE (11048)        | C     | ONDIZIO    | NI Sperin   | ientali | ORARIO      |
|----------------|-------|-----------------------|-------|------------|-------------|---------|-------------|
| 3              |       | Non applicabile       |       | Fre        | ee field    |         | mattina     |
|                | LIV   | <b>ELLO DELLE VII</b> | BRAZ  | IONI (VE   | LOCITA'     | m/s)    |             |
| COMPONENTE     |       |                       | MED   | IE         |             |         | PICCO       |
| COMPONENTE     |       | Media                 | Dev   | viazione   | RM          | S       | пссо        |
| Verticale UD   |       | 1.2208e-010           | 1.50  | 91e-005    | 1.5089€     | e-006   | 5.7122e-006 |
| Nord – Sud NS  |       | 1.0234e-010           | 1.71  | 97e-005    | 1.7195e-006 |         | 6.4614e-006 |
| Est – Ovest EW |       | 9.0197e-011           | 1.68  | 332e-005   | 1.6830€     | e-006   | 6.5583e-006 |
| P.P.V          |       | P.C.P.V               |       | Compo      | nente P.C.  | .P.V.   | FREQUENZA   |
| 2.4649e-006    |       | 6.5583e-006           |       | Est – O    | Ovest med   | iata    | 10 Hz       |
| C              | ONFR  | ONTO rispetto VA      | LOR   | di SOGL    | IA – UNI 🤉  | 9916 (% | b)          |
| DURATA         | CLA   | ASSE 1 (%)            | CLA   | .SSE 2 (%) | )           | CLAS    | SE 3 (%)    |
| Breve          | 0.033 |                       | 0.131 |            |             |         | 0.219       |
| Permanente     |       | 0.066                 |       | 0.131      |             |         | 0.262       |

**Tab. 5.14:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito CAP – Parco del Museo di Capodimonte.

# 2K.Parco Margherita - quartiere Chiaia (CHI)

La Tabella 5.15 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Chiaia, Parco Margherita; trattandosi di una finestra di rumore estratta durante la notte e negli scantinati di in una abitazione privata, il sito può esser classificato come classe abitativa 2 (UNI 9916) e categoria abitazioni notturne (11048). L'analisi del confronto tra i valori di vibrazioni misurati ed i valori delle soglie più restrittive, permette di concludere che i livelli rilevati si assestano al di sotto di limiti ammessi, anche considerando il caso di vibrazioni dalla durata breve

| CLASSE (         | 9916)  |       | CLASSE (11048) CONDIZION           |        |         |             |            |         | IONI S    | Sperin  | nental      | i              | ORARIO         |                                     |           |  |
|------------------|--------|-------|------------------------------------|--------|---------|-------------|------------|---------|-----------|---------|-------------|----------------|----------------|-------------------------------------|-----------|--|
| 2                |        |       | Abi                                | tazion | i (nott | e)          |            | Canti   | na - Fo   | ndazio  | ni          |                | n              | otte                                |           |  |
|                  |        | ]     | LIVEL                              | LO D   | ELLE    | E VIB       | RAZI       | ONI (V  | /ELOO     | CITA'   | m/s)        |                |                |                                     |           |  |
| COMPON           | ENTE   |       |                                    |        |         |             | MEDI       | E       |           |         |             |                | PI             | $\mathbf{O}\mathbf{O}^{\mathbf{T}}$ |           |  |
| comon            |        | '     |                                    | Medi   | ia      |             | Deviazione |         |           | RM      | S           |                | 11             |                                     |           |  |
| Verticale        | e UD   |       | 5.                                 | 3366e  | -012    |             | 1.392      | 27e-006 | 5 1       | .22846  | e-007       |                | 4.7320e-007    |                                     |           |  |
| Nord – Su        | id NS  |       | 2.                                 | 2874e  | -012    |             | 1.139      | 93e-006 | 5 1       | .0282¢  | -007        |                | 4.420          | 3e-00                               | 7         |  |
| Est – Oves       | st EW  |       | 2.                                 | 4783e  | -012    |             | 1.068      | 84e-006 | 5 9       | .9003e  | -008        |                | 3.6523e-007    |                                     |           |  |
| P.               | P.V    |       | P.C.P.V                            |        |         |             |            | Com     | ponen     | te P.C  | .P.V.       | ]              | FREQ           | UENZ                                | ZA        |  |
| 1.699:           | 5e-007 |       |                                    | 4.′    | 7320e   | -007        |            |         | Verti     | icale   |             | D              | ato noi        | n rilev                             | ante      |  |
|                  | CONF   | RON   | TO ris                             | spetto | VAL     | ORI d       | li SOG     | LIA pi  | iù resti  | rittivi | – UNI       | [ 9916         | (%)            |                                     |           |  |
| DURATA           |        | (     | CLASS                              | E 1 (% | 6)      |             | CLAS       | SSE 2 ( | %)        |         | CLA         | ASSE 3         | 6 (%)          |                                     |           |  |
| Breve            |        |       |                                    | 0.002  | 2       |             |            | 0.0     | 09        |         |             |                | 0.016          |                                     |           |  |
| Permanente       |        |       |                                    | 0.005  | 5       |             |            | 0.0     | 09        |         |             |                | 0.019          |                                     |           |  |
|                  | LI     | VELI  | O DE                               | LLE V  | /IBR/   | AZIO        | NI (R.     | M.S. A  | ACCEI     | LERA    | ZION        | $I m/s^2$      | )              |                                     |           |  |
| Comp.            | VERT   | ICAI  | LE                                 |        | Co      | omp. I      | NORD       | - SUD   | )         |         | Con         | ıp. ES         | Г - О\         | /EST                                |           |  |
| m/s <sup>2</sup> |        |       | dB                                 |        | n       | n/s²        |            | d       | B         |         | <b>m</b> /: | s <sup>2</sup> |                | dE                                  | 3         |  |
| 3.9895e-00       | )5     |       | -207                               |        | 3.264   | 8e-00       | )5         | -20     | )9        | 3       | .0587       | e-005          |                | -21                                 | 0         |  |
|                  | LIV    | 'ELL  | O DEL                              | LE V   | IBRA    | ZION        | NI (PIC    | CCHI A  | ACCE      | LERA    | ZION        | VE m/s         | <sup>2</sup> ) |                                     |           |  |
| Comp. VEI        | RTICA  | ALE ( | $m/s^2$ )                          |        | Comp    | <b>.</b> NO | RD – S     | SUD (n  | $n/s^2$ ) | С       | omp.        | EST –          | OVES           | 6T (m                               | $(s^{2})$ |  |
| 6.8              | 231e-( | 004   |                                    |        |         | 3.7         | 979e-0     | 04      |           |         |             | 3.612          | 6e-004         | 1                                   |           |  |
|                  |        | CON   | FRON                               | TO ri  | spetto  | VAL         | ORI d      | li SOG  | LIA –     | UNI 1   | 1048        | (%)            |                |                                     |           |  |
| ПИРАТА           | Aro    | o Cri | itisha Abitazioni Abitazioni Uffia |        |         |             |            | :       | F         | hhrid   | ha          |                |                |                                     |           |  |
| DUNATA           | AIC    | eun   | ucite                              |        | (notte  | e)          | (giorno)   |         |           |         |             | га             |                | .ne                                 |           |  |
| Comp.            | UD     | NS    | EW                                 | UD     | NS      | EW          | UD         | NS      | EW        | UD      | NS          | EW             | UD             | NS                                  | EW        |  |
| Permanente       | 0.8    | 0.9   | 0.8                                | 0.6    | 0.7     | 0.6         | 0          | 0       | 0         | 0       | 0           | 0              | 0              | 0                                   | 0         |  |
| Breve            | 14     | 11    | 10                                 | 10     | 8       | 7           | 0.2        | 0.1     | 0.1       | 0.      | .1          | 0.             | .1             | 0                                   | ).1       |  |

**Tab. 5.15:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito CHI – Chiaia - Parco Margherita.

# 5.4 ZONA 3

# 5.4.1 Zona 3N

# 3A. Ospedale Don Bosco - quartiere S. Carlo all'Arena (DOG1)

La Tabella 5.16 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito della Doganella, Ospedale Don Bosco; trattandosi di una struttura ospedaliera, il sito può esser classificato come classe 3 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (9916)  | Ć     | CLASSE (11048)  | С                  | ONDIZIO    | NI Sperim   | ientali | ORARIO             |
|----------------|-------|-----------------|--------------------|------------|-------------|---------|--------------------|
| 3              |       | Non applicabile |                    | Fre        | ee field    | mattina |                    |
|                | LIV   | ELLO DELLE VI   | BRAZ               | IONI (VE   | LOCITA'     | m/s)    |                    |
| COMPONENTE     |       |                 | MED                | IE         |             |         | DICCO              |
| COMPONENTE     |       | Media           | Dev                | viazione   | RM          | S       | пссо               |
| Verticale UD   |       | 1.5337e-011     | 2.17               | 737e-005   | 1.7090e     | e-006   | 5.7011e-006        |
| Nord – Sud NS  |       | 1.0595e-011     | 1.71               | 34e-005    | 1.3486e-006 |         | 4.9906e-006        |
| Est – Ovest EW |       | 1.2581e-010     | 1.55               | 533e-005   | 1.1948¢     | e-006   | 3.9437e-006        |
| P.P.V          |       | P.C.P.V         | Componente P.C.P.V |            |             |         | FREQUENZA          |
| 1.9973e-006    |       | 5.7011e-006     |                    | V          | Verticale   |         | Dato non rilevante |
| CONFRO         | DNTO  | rispetto VALORI | di SO              | GLIA più 1 | ristrettivi | - UNI 9 | 916 (%)            |
| DURATA         | CLA   | ASSE 1 (%)      | CLA                | SSE 2 (%)  | )           | CLAS    | SSE 3 (%)          |
| Breve          | 0.029 |                 | 0.114              |            |             |         | 0.190              |
| Permanente     |       | 0.057           | 0.114              |            |             |         | 0.228              |

Tab. 5.16: Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito DOG1 – Doganella – Ospedale

Don Bosco.

| CLASSE (9916)  | (           | CLASSE (11048)  | C                | ONDIZIO    | NI Sperim   | entali  | ORARIO      |
|----------------|-------------|-----------------|------------------|------------|-------------|---------|-------------|
| 2              |             | Non applicabile |                  | Fre        | ee field    |         | pomeriggio  |
|                | LIV         | ELLO DELLE VI   | BRAZ             | IONI (VE   | LOCITA'     | m/s)    |             |
| COMPONENTE     |             |                 | MED              | IE         |             |         | DICCO       |
| COMPONENTE     |             | Media           | Dev              | viazione   | RM          | S       | FICCO       |
| Verticale UD   |             | 8.4066e-011     | 2.48             | 02e-005    | 2.1252¢     | -006    | 7.1934e-006 |
| Nord – Sud NS  |             | 4.2503e-010     | 2.39             | 88e-005    | 2.1147e     | -006    | 7.6516e-006 |
| Est – Ovest EW |             | 8.7979e-011     | 2.35             | 48e-005    | 1.8256      | -006    | 7.1704e-006 |
| P.P.V          |             | P.C.P.V         | Componente P.C.P |            |             | P.V.    | FREQUENZA   |
| 2.9058e-006    |             | 7.6516e-006     |                  | N          | ord - Sud   |         | 12 Hz       |
| CONFRO         | <b>DNTO</b> | rispetto VALORI | di SO            | GLIA più 1 | ristrettivi | - UNI 9 | 916 (%)     |
| DURATA         | CLA         | ASSE 1 (%)      | CLA              | SSE 2 (%)  |             | CLAS    | SE 3 (%)    |
| Breve          | 0.038       |                 | 0.153            |            |             |         | 0.255       |
| Permanente     | 0.077       |                 |                  | 0.153      |             |         | 0.306       |

#### 3B. Comando Vigili Urbani (Via de Giaxa) – quartiere S. Carlo all'Arena (DOG2)

Tab. 5.17: Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito DOG2 - Doganella - Comando dei Vigili Urbani Via de Giaxa.

La Tabella 5.17 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito della Doganella, Comando dei Vigili Urbani sito in via de Giaxa; il sito può esser classificato come classe 2 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (         | 9916)  |        | CLASSE (11048) |                       |                        |       | CONDIZIONI Sperimentali |        |          |         |       |                    | ORARIO      |         |           |  |
|------------------|--------|--------|----------------|-----------------------|------------------------|-------|-------------------------|--------|----------|---------|-------|--------------------|-------------|---------|-----------|--|
| 2                |        |        | Abit           | azioni                | (giorn                 | 10)   |                         | Canti  | na - Fo  | ndazio  | ni    |                    | mattina     |         |           |  |
|                  |        | ]      | LIVEL          | LO D                  | ELLF                   | E VIB | RAZI                    | ONI (V | /ELOO    | CITA'   | m/s)  |                    |             |         |           |  |
| COMPON           | FNTF   |        |                |                       |                        |       | MEDI                    | E      |          |         |       |                    | PI          | -CO     |           |  |
| comon            |        | ·      |                | Medi                  | a                      |       | Devi                    | azione |          | RM      | S     |                    | 11          |         |           |  |
| Verticale        | UD     |        | 1.             | 0975e                 | -010                   |       | 6.225                   | 1e-006 | 5 5      | .1589e  | -007  |                    | 1.8754e-006 |         |           |  |
| Nord – Su        | d NS   |        | 3.             | 2851e                 | -011                   |       | 3.415                   | 1e-006 | 5 2      | .6545e  | -007  |                    | 8.872       | 4e-00   | 7         |  |
| Est – Oves       | st EW  |        | 1.             | 5955e                 | -011                   |       | 3.482                   | 5e-006 | 5 2      | .7824e  | -007  |                    | 9.9161e-007 |         |           |  |
| P.               | P.V    |        | P.C.P.V        |                       |                        |       |                         | Com    | ponent   | te P.C. | .P.V. |                    | FREQ        | UENZ    | ZA        |  |
| 6.504            | 9e-007 |        |                | 1.8                   | 8754e                  | -006  |                         |        | Verti    | icale   |       | Da                 | ato noi     | n rilev | ante      |  |
| (                | CONF   | RON    | TO ris         | petto                 | VALO                   | )RI d | i SOG                   | LIA p  | iù resti | rittivi | – UNI | 9916               | (%)         |         |           |  |
| DURATA           |        | (      | CLASS          | E 1 (%                | 6)                     |       | CLAS                    | SE 2 ( | %)       |         | CLA   | ASSE 3             | (%)         |         |           |  |
| Breve            |        |        |                | 0.009                 | )                      |       | 0.038                   |        |          |         |       |                    | 0.063       |         |           |  |
| Permanente       |        |        |                | 0.019                 | )                      |       |                         | 0.0    | 38       |         |       |                    | 0.075       |         |           |  |
|                  | LI     | VELI   | O DE           | LLE V                 | /IBR/                  | ZIO   | NI (R.                  | M.S. A | ACCEI    | LERA    | ZION  | $[I m/s^2]$        | )           |         |           |  |
| Comp.            | VERT   | ICAI   | Æ              |                       | Co                     | mp. l | NORD                    | - SUD  |          |         | Con   | ıp. EST            | Γ-Ο\        | /EST    |           |  |
| m/s <sup>2</sup> |        |        | dB             |                       | n                      | n/s²  |                         | d      | B        |         | m/s   | s <sup>2</sup>     |             | dE      | 3         |  |
| 1.1240e-00       | )4     |        | -198           |                       | 4.915                  | 3e-00 | 5                       | -20    | )6       | 5       | .2398 | e-005              |             | -20     | 5         |  |
|                  | LIV    | ELL    | O DEL          | LE V                  | IBRA                   | ZION  | NI (PIC                 | CCHI A | ACCE     | LERA    | ZION  | E m/s <sup>2</sup> | 2)          |         |           |  |
| Comp. VEI        | RTICA  | ALE (  | $m/s^2$ )      | (                     | Comp                   | . NO  | RD – S                  | UD (n  | n/ s²)   | С       | omp.  | EST –              | OVES        | ST (m   | $(s^{2})$ |  |
| 9.7              | 464e-0 | 04     |                |                       |                        | 3.2   | 315e-0                  | 04     |          |         |       | 2.813              | 9e-004      | 1       |           |  |
|                  |        | CON    | FRON           | TO ri                 | spetto                 | VAL   | ORI d                   | li SOG | LIA –    | UNI 1   | 1048  | (%)                |             |         |           |  |
| ΠΙΡΑΤΑ           | Aro    | o Crit | ticho          | Abitazioni Abitazioni |                        |       |                         |        |          | Liffic  |       | F                  | hhrid       | ha      |           |  |
| DUKATA           | Ale    | ecn    | liche          |                       | (notte) (giorno) Unici |       |                         |        |          | га      |       |                    |             |         |           |  |
| Comp.            | UD     | NS     | EW             | UD                    | NS                     | EW    | UD                      | NS     | EW       | UD      | NS    | EW                 | UD          | NS      | EW        |  |
| Permanente       | 2.2    | 1.4    | 1.5            | 1.6                   | 1                      | 1     | 0.1                     | 0.1    | 0.1      | 0.1     | 0     | 0                  | 0           | 0       | 0         |  |
| Breve            | 19     | 9      | 8              | 14                    | 6                      | 6     | 0.3                     | 0.1    | 0.1      | 0.      | .2    | 0.                 | 0.1 0.1     |         |           |  |

#### 3C. Via Stadera – quartiere Poggioreale (STA)

**Tab. 5.18:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito STA – Poggioreale – Via Stadera.

La Tabella 5.18 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Via Stadera; essendo stata effettuata la registrazione in corrispondenza del garage di una abitazione privata, il sito può esser classificato come classe 2 (UNI 9916) e come categoria abitativa diurna 3 (11048). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

#### 5.4.2 Zona 3S

#### 3A. CNR (ad. Via Argine) - quartiere Ponticelli (PON1)

La Tabella 5.19 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Ponticelli - CNR; essendo stata effettuata la registrazione in corrispondenza del giardino antistante la struttura scolastica che ospita l'istituto di ricerca, il sito può esser classificato come classe 3 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (9916)  | (    | CLASSE (11048)  | С      | ONDIZIO    | NI Sperim       | entali  | ORARIO      |
|----------------|------|-----------------|--------|------------|-----------------|---------|-------------|
| 3              |      | Non applicabile |        | Fre        | ee field        |         | mattina     |
|                | LIV  | ELLO DELLE VI   | BRAZ   | IONI (VE   | LOCITA'         | m/s)    |             |
| COMDONENTE     |      |                 | MED    | IE         |                 |         | DICCO       |
| COMPONENTE     |      | Media           | Dev    | viazione   | RM              | S       | ricco       |
| Verticale UD   |      | 7.0443e-011     | 1.14   | 93e-005    | 8.95986         | -007    | 3.1010e-006 |
| Nord – Sud NS  |      | 2.3556e-010     | 1.25   | 63e-005    | 53e-005 9.8320e |         | 4.0460e-006 |
| Est – Ovest EW |      | 1.0343e-010     | 1.12   | 33e-005    | 8.8702e         | -007    | 3.3579e-006 |
| P.P.V          |      | P.C.P.V         |        | Compo      | nente P.C.      | P.V.    | FREQUENZA   |
| 1.4330e-006    |      | 4.0460e-006     |        | N          | ord - Sud       |         | 13 Hz       |
| CONFRO         | ONTO | rispetto VALORI | di SO( | GLIA più 1 | restrittive     | - UNI 9 | 916 (%)     |
| DURATA         | CLA  | ASSE 1 (%)      | CLA    | SSE 2 (%)  | )               | CLAS    | SE 3 (%)    |
| Breve          |      | 0.020           | 0.081  |            |                 |         | 0.135       |
| Permanente     |      | 0.040           | 0.081  |            |                 |         | 0.162       |

Tab. 5.19: Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PON1 – Ponticelli – CNR

# 3B. Via Inganci (serra FELACO, ad. Autostrada A1) - quartiere Ponticelli (PON2)

La Tabella 5.19 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Ponticelli – Via Inganci; essendo stata effettuata la registrazione in corrispondenza del pavimento di una serra, il sito può esser classificato come classe 1 (UNI 9916) e come categoria edifici industriali (11048). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive, tranne nel caso in cui il sito fosse stato associato ad area critica; considerando invece la tipologia edilizia presente, i valori si mantengono al di sotto delle soglie previste, nonostante i macchinari in funzione al momento dell'acquisizione dei segnali ed il traffico veicolare sostenuto nella limitrofa autostrada..

Degna di nota è la presenza di un picco marcato in corrispondenza della frequenza di 8 Hz, ben visibile attraverso le analisi spettrali effettuate sulla finestra rappresentativa di stack.

| CLASSE (9916)                            | CLASSE (11048)      | CONDIZIO    | NI Sperimentali | ORARIO      |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--|---------------------|-------------|-----------------|-------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1  | Edifici industriali | Pav         | vimento         | pomeriggio  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s) |                     |             |                 |             |  |  |  |  |  |  |  |  |
| COMPONENTE                               |                     |             | PICCO           |             |  |  |  |  |  |  |  |  |
| COMPONENTE                               | Media               | Deviazione  | RMS             | пссо        |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Verticale UD                             | 1.4743e-010         | 8.6206e-006 | 6.8096e-007     | 2.8196e-006 |  |  |  |  |  |  |  |  |

| Nord – Su        | d NS                      |                | 2.        | 5437e- | -010                |          | 7.297                                    | 975e-006 5.51       |           |                      | 5.5169e-007 |                    |       | 2.4297e-006 |         |  |
|------------------|---------------------------|----------------|-----------|--------|---------------------|----------|--|---------------------|-----------|----------------------|-------------|--------------------|-------|-------------|---------|--|
| Est – Oves       | st EW                     |                | 6.        | 5048e- | -011                |          | 8.085                                    | 55e-006             | 6         | .3608e               | -007        |                    | 2.836 | 0e-00       | 6       |  |
| P.               | P.V                       |                |           | ]      | P.C.P.              | V        |  | Com                 | ponent    | nte P.C.P.V. FREQUEN |             |                    |       | UENZ        | ZA      |  |
| 1.020            | )e-006                    |                |           | 2.8    | 2.8360e-006 Est - C |          |  |                     |           | Ovest 8 Hz           |             |                    |       |             |         |  |
| l                | CONFRONTO rispetto VALORI |                |           |        |                     | )RI d    | di SOGLIA più restrittive – UNI 9916 (%) |                     |           |                      |             |                    |       |             |         |  |
| DURATA           | URATA CLASSE 1 (%)        |                |           |        |                     |          | CLAS                                     | SSE 2 (             | %)        |                      | CLA         | ASSE 3             | (%)   |             |         |  |
| Breve            |                           | 0.014          |           |        |                     |          |  | 0.0                 | 57        |                      |             |                    | 0.095 |             |         |  |
| Permanente       |                           |                |           | 0.028  |                     |          |  | 0.0                 | 57        |                      |             |                    | 0.113 |             |         |  |
|                  | LI                        | VELI           | LO DE     | LLE V  | <b>IBR</b> A        | ZIO      | NI (R.                                   | M.S. A              | CCEI      | LERA                 | ZION        | $[I m/s^2]$        | )     |             |         |  |
| Comp.            | VERT                      | ICA            | LE        |        | Co                  | mp. I    | NORD                                     | - SUD               |           | Comp. EST - OVEST    |             |                    |       |             |         |  |
| m/s <sup>2</sup> |                           |                | dB        |        | n                   | n/s²     |  | d                   | 3         |                      | m/9         | $s^2$              |       | dB          | 3       |  |
| 2.1554e-00       | )4                        |                | -193      |        | 1.650               | 4e-00    | 94                                       | -19                 | 95        | 1                    | .9815       | e-004              |       | -19         | 4       |  |
|                  | LIV                       | ELL            | O DEI     | LE V   | IBRA                | ZION     | NI (PIC                                  | CCHI A              | ACCEI     | LERA                 | ZION        | E m/s <sup>2</sup> | 2)    |             |         |  |
| Comp. VEI        | RTICA                     | ALE (          | $(m/s^2)$ | (      | Comp                | . NOI    | RD – S                                   | SUD (n              | $1/s^2$ ) | C                    | omp. ]      | EST –              | OVES  | 5T (m       | $(s^2)$ |  |
|                  | 0.0076                    |                |           |        |                     |          | 0.0031                                   |                     |           |                      |             | 0.0                | 050   |             |         |  |
|                  | 0                         | CON            | FRON      | TO ris | spetto              | VAL      | ORI d                                    | li SOG              | LIA –     | UNI 1                | 1048        | (%)                |       |             |         |  |
| DURATA           | Are                       | e Cri          | tiche     | A      | bitazio<br>(notte   | oni<br>) | A  | Abitazio<br>(giorno | oni<br>D) | Uffici               |             | i                  | Fa    | abbric      | he      |  |
| Comp.            | UD                        | NS             | EW        | UD     | NS                  | EW       | UD                                       | NS                  | EW        | UD                   | NS          | EW                 | UD    | NS          | EW      |  |
| Permanente       | 4.3                       | 4.6            | 5.5       | 3.1    | 3.3                 | 4        | 0.2                                      | 0.2                 | 0.3       | 0.1                  | 0.1         | 0.1                | 0.1   | 0.1         | 0.1     |  |
| Breve            | 152                       | 152 86 139 109 |           |        |                     | 100      | 2.5                                      | 0.9                 | 1.5       | 1.                   | 2           | 0.                 | 7     | 1           | .1      |  |

**Tab. 5.20:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PON2 – Ponticelli – Via Inganci, serra FELACO

#### 3C. Via de Meis - quartiere Ponticelli (PON3)

La Tabella 5.21 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Ponticelli – Via De Meis; essendo stata effettuata la registrazione in corrispondenza del garage di una abitazione privata durante la notte, il sito può esser classificato come classe 2 (UNI 9916) e come categoria abitativa (orario notturno) secondo la UNI 11048. I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (9916)  | <b>CLASSE (11048)</b> |             |                     | ONDIZIO   | NI Sperin   | nentali | ORARIO             |  |  |  |
|--|-----------------------|-------------|---------------------|-----------|-------------|---------|--------------------|--|--|--|
| 2  | Abitazioni (notte)    |             |                     | Garage    | - Fondazio  | ni      | notte              |  |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s)                           |                       |             |                     |           |             |         |                    |  |  |  |
| COMPONENTE   |                       |             | MED                 | IE        |             |         | PICCO              |  |  |  |
| COMPONENTE   |                       | Media       | Dev                 | viazione  | RM          | S       | пссо               |  |  |  |
| Verticale UD   |                       | 5.3348e-011 | 2.58                | 51e-006   | 2.8252e-007 |         | 1.5277e-006        |  |  |  |
| Nord – Sud NS  | 7.2641e-011           |             | 1.4259e-006         |           | 1.6387e-007 |         | 6.7442e-007        |  |  |  |
| Est – Ovest EW   | 3.6422e-011           |             | 1.2407e-006         |           | 1.2289e-007 |         | 5.0731e-007        |  |  |  |
| P.P.V  | P.P.V P.C.P.V         |             |                     | Compo     | nente P.C.  | .P.V.   | FREQUENZA          |  |  |  |
| 5.1518e-007  |                       | 1.5277e-006 |                     | Verticale |             |         | Dato non rilevante |  |  |  |
| CONFRONTO rispetto VALORI di SOGLIA più restrittivi – UNI 9916 (%) |                       |             |                     |           |             |         |                    |  |  |  |
| DURATA   | CLA                   | ASSE 1 (%)  | SE 1 (%) CLASSE 2 ( |           |             | CLAS    | SSE 3 (%)          |  |  |  |
| Breve  |                       | 0.008       |                     | 0.031     |             | 0.051   |                    |  |  |  |
| Permanente   |                       | 0.015       |                     | 0.031     |             | 0.061   |                    |  |  |  |

| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (R.M.S. ACCELERAZIONI m/s <sup>2</sup> ) |   |        |           |     |                              |          |                        |                   |           |    |                  |       |           |       |           |  |  |
|---|---|--------|-----------|-----|------------------------------|----------|------------------------|-------------------|-----------|----|------------------|-------|-----------|-------|-----------|--|--|
| Comp.   | Comp. VERTICALE Comp. NORD - SUD                    |        |           |     |                              |          |                        | Comp. EST - OVEST |           |    |                  |       |           |       |           |  |  |
| m/s <sup>2</sup>  |   |        | dB        |     | n                            | n/s²     |                        | dl                | 3         |    | m/s <sup>2</sup> |       |           | dB    |           |  |  |
| 6.4367e-00  | )5  | -      | -203      |     | 2.7795e-005 -211 2.3740e-005 |          |                        | 2.3740e-005       |           |    | -212             |       |           |       |           |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (PICCHI ACCELERAZIONE m/s <sup>2</sup> ) |   |        |           |     |                              |          |                        |                   |           |    |                  |       |           |       |           |  |  |
| Comp. VE  | RTICA   | ALE (1 | $m/s^2$ ) | (   | Comp                         | . NOR    | <b>D</b> – <b>S</b>    | UD (m             | $1/s^2$ ) | C  | omp.             | EST – | OVES      | ST (m | $(m/s^2)$ |  |  |
|   | 0.0034  |        |           |     |                              | 9.20     | 74e-00                 | )4                |           |    |                  | 6.319 | 7e-004    | -004  |           |  |  |
|   | CONFRONTO rispetto VALORI di SOGLIA – UNI 11048 (%) |        |           |     |                              |          |                        |                   |           |    |                  |       |           |       |           |  |  |
| DURATA  | Are   | e Crit | tiche     | A   | bitazio<br>(notte            | oni<br>) | Abitazioni<br>(giorno) |                   |           |    | Uffic            | i     | Fabbriche |       |           |  |  |
| Comp.   | UD  | NS     | EW        | UD  | NS                           | EW       | UD                     | NS                | EW        | UD | NS               | EW    | UD        | NS    | EW        |  |  |
| Permanente  | 1.3   | 0.8    | 0.7       | 0.9 | 0.4                          | 0.5      | 0.1                    | 0                 | 0         | 0  | 0                | 0     | 0         | 0     | 0         |  |  |
| Breve   | 68  | 26     | 18        | 49  | 18                           | 13       | 1.1                    | 0.3               | 0.2       | 0. | 5                | 0.    | 2         | 0     | .1        |  |  |

**Tab. 5.21:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PON3 – Ponticelli – Via De Meis.

#### 3D. Via Ulisse Prota Giurleo - quartiere Ponticelli (PON4)

La Tabella 5.22 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Ponticelli – Via Prota Giurleo; il sito può esser classificato come classe 2 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (9916)                                      | CLASSE (11048) |                 |                  | ONDIZIO     | NI Sperim   | ientali      | ORARIO      |  |  |  |
|--|----------------|-----------------|------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|--|--|--|
| 2  |                | Non applicabile |                  | Fre         | ee field    |              | mattina     |  |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s)           |                |                 |                  |             |             |              |             |  |  |  |
| COMPONENTE   |                |                 | MED              | IE          |             |              | PICCO       |  |  |  |
| COMPONENTE   |                | Media           | Dev              | iazione     | RMS         |              | пссо        |  |  |  |
| Verticale UD                                       |                | 6.1197e-010     | 1.16             | 87e-005     | 2.7321e-006 |              | 1.2433e-005 |  |  |  |
| Nord – Sud NS                                      |                | 7.6534e-010     | 1.14             | 17e-005     | 2.5597e-006 |              | 1.0146e-005 |  |  |  |
| Est – Ovest EW                                     |                | 2.7660e-010     | 1.14             | 17e-005     | 2.9387e-006 |              | 1.3668e-005 |  |  |  |
| P.P.V  |                | P.C.P.V         | Componente P.C.P |             |             | .P.V.        | FREQUENZA   |  |  |  |
| 5.5299e-006  |                | 1.3668e-005     |                  | Est - Ovest |             |              | 13 Hz       |  |  |  |
| CONFRONTO rispetto VALORI di SOGLIA – UNI 9916 (%) |                |                 |                  |             |             |              |             |  |  |  |
| DURATA   | CLA            | ASSE 1 (%)      | CLASSE 2 (%)     |             |             | CLASSE 3 (%) |             |  |  |  |
| Breve  |                | 0.068           | 0.273            |             |             | 0.456        |             |  |  |  |
| Permanente   | 0.137          |                 |                  | 0.273       |             | 0.547        |             |  |  |  |

**Tab. 5.22:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PON4 – Ponticelli – Via Ulisse Prota Giurleo.

#### 3E. Via Lettieri (zona Villetta) - quartiere Ponticelli (PON5)

La Tabella 5.23 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Ponticelli – Via Lettieri; il sito può esser classificato come classe 2 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (9916)  | CLASSE (11048)  |             | C           | ONDIZIO        | NI Sperin   | ientali | ORARIO             |  |  |  |
|--|-----------------|-------------|-------------|----------------|-------------|---------|--------------------|--|--|--|
| 2  | Non applicabile |             |             | Fre            | ee field    |         | pomeriggio         |  |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s)                           |                 |             |             |                |             |         |                    |  |  |  |
| COMPONENTE   |                 | PICCO       |             |                |             |         |                    |  |  |  |
| COMINICATE   |                 | Media       | Dev         | viazione       | RMS         |         | ricco              |  |  |  |
| Verticale UD   | 6.9580e-011     |             | 8.19        | 38e-006        | 5.5267e-007 |         | 2.2671e-006        |  |  |  |
| Nord – Sud NS  | 7.4511e-011     |             | 7.6781e-006 |                | 5.1515e-007 |         | 1.8993e-006        |  |  |  |
| Est – Ovest EW   | 2.1251e-011     |             | 6.8402e-006 |                | 4.3192e-007 |         | 1.5525e-006        |  |  |  |
| P.P.V  |                 | P.C.P.V     |             | Componente P.C |             | .P.V.   | FREQUENZA          |  |  |  |
| 8.7526e-007  |                 | 2.2671e-006 |             | Verticale      |             |         | Dato non rilevante |  |  |  |
| CONFRONTO rispetto VALORI di SOGLIA più restrittivi – UNI 9916 (%) |                 |             |             |                |             |         |                    |  |  |  |
| DURATA   | CLA             | ASSE 1 (%)  | CLA         | CLASSE 2 (%)   |             |         | SE 3 (%)           |  |  |  |
| Breve  | 0.011           |             |             | 0.045          |             |         | 0.076              |  |  |  |
| Permanente   |                 | 0.023       |             | 0.045          |             | 0.091   |                    |  |  |  |

Tab. 5.22: Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PON5- Ponticelli - Via Lettieri.

# 3F. Via Madonnelle (zona Porchiano) - quartiere Ponticelli (PON6)

| CLASSE (  | 9916)  |       | CL                            | ASSE   | (1104       | 8)    | CONDIZIONI Sperimentali |            |                     |             |             |                | ORARIO         |         |           |  |
|---|--|-------|-------------------------------|--------|-------------|-------|-------------------------|------------|---------------------|-------------|-------------|----------------|----------------|---------|-----------|--|
| 2   |  |       | Ab                            | tazion | i (notte    | e)    |                         | Canti      |                     | notte       |             |                |                |         |           |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s)                          |  |       |                               |        |             |       |                         |            |                     |             |             |                |                |         |           |  |
| COMPON  | COMPONENTE MEDIE   |       |                               |        |             |       |                         |            | PI                  | -CO         |             |                |                |         |           |  |
| comon   | COMPONENTE   |       |                               | Media  |             |       |                         | Deviazione |                     |             | RMS         |                |                |         |           |  |
| Verticale   | e UD   |       | 2                             | 6252e  | -010        |       | 4.429                   | 97e-007    | 7 4                 | .4290e      | e-007       |                | 1.594          | 6e-00   | 6         |  |
| Nord – Su   | id NS  |       | 1                             | 8180e  | -011        |       | 2.982                   | 24e-007    | 7 2                 | .9819e      | e-007       |                | 1.033          | 9e-00   | 6         |  |
| Est – Oves  | st EW  |       | 7                             | 0267e  | -011        |       | 2.850                   | 05e-007    | 7 2                 | .8500e      | e-007       |                | 1.199          | 1e-00   | 6         |  |
| P.  | P.V  |       |                               |        | P.C.P.      | .V    |                         | Com        | ponen               | te P.C.     | .P.V.       | ]              | FREQ           | UENZ    | ZA        |  |
| 5.3984  | 4e-007   | 1     |                               | 1.     | 5946e       | -006  |                         |            | Verti               | icale       |             | D              | ato noi        | n rilev | ante      |  |
| CONFRONTO rispetto VALORI di SOGLIA più restittivi – UNI 9916 (%) |  |       |                               |        |             |       |                         |            |                     |             |             |                |                |         |           |  |
| DURATA  |  | (     | CLASS                         | E 1 (% | <i>(</i> 0) |       | CLAS                    | SSE 2 (    | %)                  |             | CLA         | ASSE 3 (%)     |                |         |           |  |
| Breve   |  |       |                               | 0.008  | 3           |       |                         | 0.0        | 32                  | 0.053       |             |                |                |         |           |  |
| Permanente  |  |       |                               | 0.016  | 5           |       |                         | 0.0        | 32                  |             |             |                | 0.064          |         |           |  |
|   | LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (R.M.S. ACCELERAZIONI m/s <sup>2</sup> )  |       |                               |        |             |       |                         |            |                     |             |             |                |                |         |           |  |
| Comp.   | Comp. VERTICALE Comp. NORD - SUD Comp. EST - OVEST   |       |                               |        |             |       |                         |            |                     |             |             |                |                |         |           |  |
| m/s <sup>2</sup>  |  |       | dB                            |        | n           | ı/s²  |                         | d          | B                   |             | <b>m</b> /s | s <sup>2</sup> | 2              |         | dB        |  |
| 1.3451e-00  | )4   |       | -197                          |        | 8.334       | 5e-00 | )5                      | -20        | 01                  | 8           | .2858       | 2858e-005      |                | -20     | 1         |  |
|   | LIV  | 'ELL  | O DEI                         | LE V   | IBRA        | ZIOI  | NI (PI                  | CCHI       | ACCE                | LERA        | ZION        | VE m/s         | <sup>2</sup> ) |         |           |  |
| Comp. VE  | RTICA  | ALE ( | $(m/s^2)$                     |        | Comp        | . NO  | RD – S                  | SUD (n     | 1/ s <sup>2</sup> ) | C           | omp.        | EST –          | OVES           | ST (m   | $(s^{2})$ |  |
|   | 0.0014   |       |                               |        |             | 9.9   | )156e-(                 | )04        |                     |             |             | 8.933          | 8.9336e-004    |         |           |  |
|   |  | CON   | FRON                          | TO ri  | spetto      | VAI   | LORI (                  | li SOG     | LIA –               | UNI 1       | 1048        | (%)            |                |         |           |  |
| DURATA  | Are  | e Cri | ritiche Abitazioni<br>(notte) |        |             | A     | Abitazioni<br>(giorno)  |            |                     | Uffic       | i           | Fa             |                | :he     |           |  |
| Comp.   | UD   | NS    | EW                            | UD     | NS          | EW    | UD                      | NS         | EW                  | UD          | NS          | EW             | UD             | NS      | EW        |  |
| Permanente  | 2.7  | 2.3   | 2.3                           | 1.9    | 1.7         | 1.7   | 0.1                     | 0.1        | 0.1                 | 0.1         | 0.1         | 0.1            | 0              | 0       | 0         |  |
| Breve   | 28   | 28    | 25                            | 20     | 20          | 18    | 0.5                     | 0.3        | 0.3                 | 0.2 0.2 0.2 |             |                |                |         | .2        |  |
| Tab. 5.23: S  | <b>Tab. 5.23:</b> Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PON6– Ponticelli – Via |       |                               |        |             |       |                         |            |                     |             |             |                |                |         |           |  |

Madonnelle.

La Tabella 5.23 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Ponticelli – Via Madonnelle; essendo stata effettuata la registrazione in corrispondenza della cantina di

una abitazione privata durante la notte, il sito può esser classificato come classe 2 (UNI 9916) e come categoria abitativa (orario notturno) secondo la UNI 11048. I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

# 3G.Maria SS della Neve (ad. Corso Ponticelli) - quartiere Ponticelli (PON7)

La Tabella 5.24 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Ponticelli – Chiesa Santa Maria della Neve; il sito può esser classificato come classe 3 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (9916)  | CLASSE (11048)  |             | C            | ONDIZIO   | NI Sperim   | ientali      | ORARIO             |  |  |  |
|--|-----------------|-------------|--------------|-----------|-------------|--------------|--------------------|--|--|--|
| 3  | Non applicabile |             |              | Fre       | ee field    |              | mattina            |  |  |  |
| LIVELLO DELLE VIBRAZIONI (VELOCITA' m/s)                           |                 |             |              |           |             |              |                    |  |  |  |
| COMPONENTE   |                 |             | MED          | IE        |             |              | PICCO              |  |  |  |
| COMPONENTE   | Media           |             |              | viazione  | RMS         |              | ricco              |  |  |  |
| Verticale UD   |                 | 2.7120e-010 | 3.1888e-006  |           | 2.7318e-007 |              | 8.2622e-007        |  |  |  |
| Nord – Sud NS  | 5.5647e-010     |             | 2.1451e-006  |           | 1.8376e-007 |              | 6.4885e-007        |  |  |  |
| Est – Ovest EW   | 1.0626e-009     |             | 2.4128e-006  |           | 2.0324e-007 |              | 6.7094e-007        |  |  |  |
| P.P.V  | P.P.V           |             |              | Compo     | nente P.C.  | .P.V.        | FREQUENZA          |  |  |  |
| 3.0287e-007  |                 | 8.2622e-007 |              | Verticale |             |              | Dato non rilevante |  |  |  |
| CONFRONTO rispetto VALORI di SOGLIA più restrittivi – UNI 9916 (%) |                 |             |              |           |             |              |                    |  |  |  |
| DURATA   | CLA             | ASSE 1 (%)  | CLASSE 2 (%) |           |             | CLASSE 3 (%) |                    |  |  |  |
| Breve  |                 | 0.004       |              | 0.017     |             |              | 0.028              |  |  |  |
| Permanente   |                 | 0.008       |              | 0.017     |             | 0.033        |                    |  |  |  |

**Tab. 5.24:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PON7– Ponticelli – Maria Santissima della Neve

#### 3H. Via Bartololongo - quartiere Ponticelli (PON8)

La Tabella 5.25 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Ponticelli – Via Bartololongo; il sito riveste una importanza strategica, poiché durante l'acquisizione dei microtremori sono stati registrati due eventi sismici oggetto di discussione nel Paragrafo 6.3. Nel caso quì presentato abbiamo analizzato il livello di vibrazioni sia di una finestra diurna sia di una finestra notturna, al fine di evidenziare eventuali effetti di disturbo antropico, come esso varia durante il giorno, e caratterizzare così il rumore che è stato registrato in concomitanza degli eventi sismici. Poiché la registrazione è stata acquisita in corrispondenza della cantina di una abitazione privata, il sito può esser classificato
come classe 2 (UNI 9916) e come categoria abitativa (sia in orario diurno che notturno) secondo la UNI 11048. I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive, ed in particolare non si notano marcate differenze per quanto riguarda il livello di vibrazioni che si manifestano durante il giorno e la notte

| CLASSE (         | 9916)  |        | CLASSE (11048)   |   |         |        | CC                      | CONDIZIONI Sperimentali |           |             |             |                       | ORARIO       |         |           |
|------------------|--------|--------|--|---|---------|--------|-------------------------|-------------------------|-----------|-------------|-------------|-----------------------|--------------|---------|-----------|
| 2                |        |        | Abi  | tazion  | i (nott | e)     |                         | Canti                   | na - Fo   | ndazio      | ni          |                       | n            | otte    |           |
|                  |        | ]      | LIVEL  | LOD   | DELLE   | E VIB  | RAZI                    | ONI (V                  | /ELO(     | CITA'       | m/s)        | -                     |              |         |           |
| COMPON           | ENTE   |        |  |   |         |        | MED                     | IE                      |           |             |             |                       | PI           | CCO     |           |
|                  |        | ·      |  | Med   | ia      |        | Dev                     | iazione                 |           | RM          | S           |                       | 11           |         |           |
| Verticale        | e UD   |        | 9.   | 4236e   | -012    |        | 6.072                   | 6.0722e-008 6.071       |           |             | )712e-008   |                       |              | 60e-00  | 7         |
| Nord – Su        | id NS  |        | 1.   | 1.2395e-011 6.1                               |         |        |                         | 66e-008                 | 6 6       | 6.1756e-008 |             |                       | 2.6753e-007  |         |           |
| Est – Oves       | st EW  |        | 1.   | 0430e   | -011    |        | 6.03                    | 61e-008                 | 6 6       | .0351e      | -008        |                       | 2.276        | 0e-00   | 7         |
| P.               | P.V    |        |  |   | P.C.P   | .V     |                         | Com                     | ponen     | te P.C      | .P.V.       | J                     | FREQ         | UENZ    | ZA        |
| 1.203            | 5e-007 | 1      |  | 3.  | 1960e   | -007   |                         |                         | Verti     | icale       |             | Da                    | ato no       | n rilev | ante      |
|                  | CONF   | RON    | TO ris   | petto   | VAL     | ORI d  | i SOC                   | GLIA pi                 | iù resti  | rittivi     | – UNI       | I 9916                | (%)          |         |           |
| DURATA           |        | (      | CLASSE 1 (%)   |   |         |        | CLAS                    | SSE 2 (                 | %)        |             | CLA         | ASSE 3                | 6 (%)        |         |           |
| Breve            |        | 0      | .002   |   |         |        | 0.006                   |                         |           |             | 0.01        | 1                     |              |         |           |
| Permanente       |        | 0      | .003   |   |         |        | 0.006                   |                         |           |             | 0.01        | 3                     |              |         |           |
| ]                | LIVEI  | LOI    | DELLE  | E VIB   | RAZI    | ONI (  | R.M.S                   | S. ACC                  | CELER     | RAZIC       | )NI m       | /s²) - N              | otte         |         |           |
| Comp.            | VERT   | ICAI   | LE   |   | Co      | omp. I | NORE                    | ) - SUD                 | )         |             | Con         | ıp. ES                | Г - О\       | /EST    |           |
| m/s <sup>2</sup> |        |        | dB   |   | n       | n/s²   | $\sqrt{s^2}$ dB $m/s^2$ |                         |           |             | dŀ          | 3                     |              |         |           |
| 1.5870e-00       | )5     |        | -215   |   | 1.512   | 3e-00  | 5                       | -21                     | 16        | 1           | .5500       | 500e-005 -216         |              |         | 6         |
| L                | IVEL   | LO D   | ELLE VIBRAZIONI (PICCHI ACCELERAZIONE m/s <sup>2</sup> ) - Notte |   |         |        |                         |                         |           |             |             |                       |              |         |           |
| Comp. VE         | RTICA  | ALE (  | $m/s^2$ )  |   | Comp    | . NOI  | RD – 9                  | SUD (n                  | $n/s^2$ ) | С           | omp.        | EST –                 | OVES         | ST (m   | $(s^{2})$ |
| 5.2              | 123e-( | )04    |  |   |         | 5.1    | 456e-(                  | 004                     |           |             |             | 5.808                 | 6e-004       | 1       |           |
|                  | CO     | NFRO   | ONTO   | rispe   | tto VA  | LOR    | I di S                  | OGLIA                   | - UN      | I 1104      | 8 (%)       | - Nott                | e            |         |           |
| ΠΙΡΑΤΑ           | Are    | o Crit | tiaha  | A   | bitazi  | oni    | A                       | Abitazi                 | oni       |             | Uffici      |                       |              | abbrid  | ha        |
| DUNATA           | AIC    | e CII  | licite   |   | (notte  | e)     |                         | (giorn                  | 0)        |             | Unic        | 1                     | Г            | abbin   | .ne       |
| Comp.            | UD     | NS     | EW   | UD  | NS      | EW     | UD                      | NS                      | EW        | UD          | NS          | EW                    | UD           | NS      | EW        |
| Permanente       | 0.3    | 0.4    | 0.4  | 0.2   | 0.3     | 0.3    | 0                       | 0                       | 0         | 0           | 0           | 0                     | 0            | 0       | 0         |
| Breve            | 10     | 14     | 16   | 7   | 10      | 12     | 0.2                     | 0.2                     | 0.2       | 0.          | .1          | 0.                    | 1            | 0       | ).1       |
| L                | IVEL   | LO D   | ELLE   | VIBI  | RAZIC   | )NI (F | R.M.S                   | . ACC                   | ELER      | AZIO        | NI m/       | s <sup>2</sup> ) - Gi | iorno        |         |           |
| Comp.            | VERT   | ICAI   | LE   |   | Co      | omp. I | NORE                    | ) - SUD                 | )         |             | Con         | ıp. ES                | <u>г - О</u> | /EST    |           |
| m/s <sup>2</sup> |        |        | dB   |   | n       | ı/s²   |                         | d                       | B         |             | <b>m</b> /: | s <sup>2</sup>        |              | dŀ      | 3         |
| 5.5686e-00       | )5     |        | -205   |   | 4.226   | 5e-00  | 5                       | -20                     | )7        | 4           | .4980       | e-005                 |              | -20     | 6         |
| LI               | VELI   | LO DI  | ELLE '   | VIBR  | AZIO    | NI (P  | ІССН                    | I ACC                   | ELER      | AZIO        | NE m        | /s²) - G              | liorno       |         |           |
| Comp. VE         | RTICA  | ALE (  | $m/s^2$ )  |   | Comp    | . NOI  | RD – 9                  | SUD (n                  | $n/s^2$ ) | С           | omp.        | EST –                 | OVES         | ST (m   | $(s^{2})$ |
|                  | 0.0014 | -      |  |   |         | 4.7    | 217e-(                  | 004                     |           |             |             | 5.770                 | 9e-004       | 1       |           |
|                  | CON    | NFRO   | NTO 1  | ispet   | to VA   | LORI   | di SC                   | OGLIA                   | – UNI     | 11048       | 8 (%)       | - Giorı               | 10           |         |           |
| DURATA           | Are    | e Crit | tiche  | Abitazioni Abitazioni Uffici (notte) (giorno) |         |        |                         | Uffici Fabbrich         |           | che         |             |                       |              |         |           |
| Comp.            | UD     | NS     | EW   | UD  | NS      | ÉEW    | UD                      | NS                      | ÉW        | UD          | NS          | EW                    | UD           | NS      | EW        |
| Permanente       | 1.1    | 1.2    | 1.2  | 0.8   | 0.9     | 0.9    | 0.1                     | 0.1                     | 0.1       | 0           | 0           | 0                     | 0            | 0       | 0         |
| Breve            | 28     | 13     | 16   | 20  | 9       | 12     | 0.5                     | 0.1                     | 0.2       | 0           | .2          | 0.                    | 1            | Ū.      | ).2       |
|                  |        |        |  |   | 1       |        | 0.0                     | 2.1                     | - · · -   |             |             |                       |              | , v     |           |

**Tab. 5.25:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PON8 – Ponticelli – Via Bartololongo.

# 3I. Via Botteghelle - quartiere Ponticelli (PON9)

La Tabella 5.26 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Ponticelli – Via Botteghelle; essendo stata effettuata la registrazione in corrispondenza il garage di una abitazione privata durante la notte, il sito può esser classificato come classe 2 (UNI 9916) e come categoria abitativa (orario notturno) secondo la UNI 11048. I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (         | 9916)  |        | CLA       | ASSE    | (1104    | 8)               | CO         | NDIZ    | IONI S    | Sperimentali     |        |             | OR          | ARIO    | )         |
|------------------|--------|--------|-----------|---------|----------|------------------|------------|---------|-----------|------------------|--------|-------------|-------------|---------|-----------|
| 2                |        |        | Abi       | tazioni | i (notte | e)               |            | Garag   | ge - Foi  | ndazio           | ni     |             | n           | otte    |           |
|                  |        | ]      | LIVEL     | LO D    | ELLF     | E VIB            | RAZI       | ONI (V  | /ELO(     | CITA'            | m/s)   |             |             |         |           |
| COMPON           | FNTF   |        |           |         |          |                  | MEDI       | E       |           |                  |        |             | PI          | CCO     |           |
| comon            |        | '      |           | Medi    | a        |                  | Deviazione |         |           | RMS              |        |             | 11          |         |           |
| Verticale        | UD     |        | 1.        | 1762e   | -010     |                  | 3.771      | 5e-006  | 5 3       | .7709€           | -007   |             | 1.3692e-006 |         |           |
| Nord – Su        | id NS  |        | 6.        | 9868e   | -011     |                  | 3.346      | 58e-006 | 5 3       | .3463¢           | -007   |             | 1.123       | 4e-00   | 6         |
| Est – Oves       | st EW  |        | 5.        | 3391e   | -011     |                  | 3.352      | 20e-006 | 5 3       | .35146           | -007   |             | 1.145       | 5e-00   | 6         |
| P.               | P.V    |        |           | ]       | P.C.P.   | .V               |            | Com     | ponen     | te P.C           | .P.V.  | J           | FREQ        | UENZ    | ZA        |
| 5.0434           | 4e-007 |        |           | 1.      | 3692e    | -006             |            |         | Verti     | icale            |        | Da          | ato noi     | n rilev | ante      |
|                  | CONF   | RON    | TO ris    | petto   | VALO     | ORI d            | li SOG     | LIA p   | iù resti  | rittivi          | – UNI  | 9916 [      | (%)         |         |           |
| DURATA           |        | (      | CLASS     | E 1 (%  | 6)       |                  | CLAS       | SE 2 (  | %)        |                  | CLA    | ASSE 3 (%)  |             |         |           |
| Breve            |        |        | 0.007     |         |          |                  |            | 0.0     | 27        |                  |        |             | 0.046       |         |           |
| Permanente       |        |        |           | 0.014   | ļ        |                  |            | 0.0     | 27        |                  |        |             | 0.055       |         |           |
|                  | Lſ     | VELI   | O DEI     | LLE V   | /IBR/    | AZIO             | NI (R.     | M.S. A  | ACCEI     | LERA             | ZION   | $[I m/s^2]$ | )           |         |           |
| Comp.            | VERT   | ICAI   | Æ         |         | Co       | mp. 1            | NORD       | - SUD   | )         |                  | Con    | ıp. ES      | Г - О\      | /EST    |           |
| m/s <sup>2</sup> |        |        | dB        |         | n        | 1/s <sup>2</sup> |            | d       | B         | m/s <sup>2</sup> |        |             |             | dE      | 3         |
| 7.1199e-00       | )5     |        | -202      |         | 6.002    | 0e-00            | 15         | -20     | )4        | 5.8599e-005 -204 |        |             |             | 4       |           |
|                  | LIV    | 'ELL   | O DEL     | LE V    | IBRA     | ZION             | NI (PIC    | CCHI    | ACCE      | LERA             | ZION   | E m/s       | 2)          |         |           |
| Comp. VE         | RTICA  | ALE (  | $m/s^2$ ) |         | Comp     | . NO             | RD – S     | SUD (n  | $n/s^2$ ) | С                | omp.   | EST –       | OVES        | ST (m   | $(s^{2})$ |
| 1                | .1e-00 | 3      |           |         |          | 8.1              | 971e-0     | 04      |           |                  |        | 8.506       | 8e-004      | 1       |           |
|                  |        | CON    | FRON      | TO ri   | spetto   | VAL              | ORI d      | li SOG  | LIA –     | UNI 1            | 1048   | (%)         |             |         |           |
| ПИРАТА           | Are    | o Crit | iaha      | Α       | bitazi   | oni              | A          | bitazi  | oni       |                  | Liffia |             | E.          | abbrid  | sha       |
| DUNATA           | Are    | eCII   | liche     |         | (notte   | )                |            | (giorn  | 0)        |                  | Unic   | L           | га          | aDDIK   | ine       |
| Comp.            | UD     | NS     | EW        | UD      | NS       | EW               | UD         | NS      | EW        | UD               | NS     | EW          | UD          | NS      | EW        |
| Permanente       | 1.4    | 1.7    | 1.6       | 1       | 1.2      | 1.2              | 0.1        | 0.1     | 0.1       | 0                | 0      | 0           | 0           | 0       | 0         |
| Breve            | 22     | 23     | 24        | 16      | 16       | 17               | 0.4        | 0.2     | 0.3       | 0.               | 2      | 0.          | 2           | 0       | 0.2       |

**Tab. 5.26:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PON9 – Ponticelli – Via Botteghelle.

# 5.5 ZONA 4

# 4A. Via Partenope - quartiere San Ferdinando (PAR I e PAR II)

La Tabella 5.27 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Via Partenope, di fronte il Castel dell'Ovo; trattandosi di un luogo caratterizzato dalla presenza di un bene

monumentale e da strutture recettive alberghiere, il sito può esser classificato come classe 2 e 3 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive, per quanto risultano maggiori rispetto a tutti gli altri siti presentati fino a questo momento.

Da notare che i valori riportati risultano dalla media tra due misure effettuate nelle immediate vicinanze.

| CLASSE (9916)  | (    | CLASSE (11048)  |             | ONDIZIO            | NI Sperim   | entali  | ORARIO            |
|----------------|------|-----------------|-------------|--------------------|-------------|---------|-------------------|
| 2 e 3          |      | Non applicabile |             | Fre                | ee field    | mattina |                   |
|                | LIV  | ELLO DELLE VI   | BRAZ        | IONI (VE           | LOCITA'     | m/s)    |                   |
| COMPONENTE     |      |                 | MED         | IE                 |             |         | PICCO             |
| COMPONENTE     |      | Media           |             | Deviazione RM      |             | S       | пссо              |
| Verticale UD   |      | 2.3658e-011     | 4.31        | 54e-006            | 3.1172e-007 |         | 3.2249e-006       |
| Nord – Sud NS  |      | 2.1198e-011     |             | 22e-006            | 1.3084e     | -006    | 2.3233e-005       |
| Est – Ovest EW |      | 2.2589e-011     | 4.0179e-006 |                    | 1.0545€     | -006    | 1.8687e-005       |
| P.P.V          |      | P.C.P.V         |             | Compo              | nente P.C.  | P.V.    | FREQUENZA         |
| 1.0267e-005    |      | 2.3233e-005     |             | Nord – Sud mediata |             |         | Non individuabile |
| CONFRO         | ONTO | rispetto VALORI | di SO       | GLIA più 1         | restrittivi | - UNI 9 | 916 (%)           |
| DURATA         | CLA  | CLASSE 1 (%)    |             | CLASSE 2 (%)       |             | CLAS    | SE 3 (%)          |
| Breve          |      | 0.116           |             | 0.465              |             |         | 0.774             |
| Permanente     |      | 0.232           |             | 0.465              |             |         | 0.929             |

**Tab. 5.27:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PAR – San Ferdinando – Via Partenope.

# 4B. Corso Novara – quartiere Vicaria (ad. San Lorenzo) (CNV)

| CLASSE (9916)  | (    | CLASSE (11048)       | C     | ONDIZIO    | NI Sperim   | entali  | ORARIO      |
|----------------|------|----------------------|-------|------------|-------------|---------|-------------|
| 2              |      | Non applicabile      |       | Fre        | ee field    | mattina |             |
|                | LIV  | <b>ELLO DELLE VI</b> | BRAZ  | IONI (VE   | LOCITA'     | m/s)    |             |
| COMPONENTE     |      |                      | MED   | IE         |             |         | PICCO       |
| COMICILENTE    |      | Media                | Dev   | viazione   | RM          | S       | пссо        |
| Verticale UD   |      | 4.7542e-011          | 2.49  | 46e-005    | 1.7427e     | -006    | 6.1729e-006 |
| Nord – Sud NS  |      | 4.3430e-010          |       | 84e-005    | 1.6471e     | -006    | 8.4717e-006 |
| Est – Ovest EW |      | 3.0707e-010          | 1.29  | 94e-005    | 9.3374e     | -007    | 3.3641e-006 |
| P.P.V          |      | P.C.P.V              |       | Compo      | nente P.C.  | P.V.    | FREQUENZA   |
| 3.1152e-006    |      | 8.4717e-006          |       | N          | ord - Sud   |         | 10 Hz       |
| CONFRO         | )NTO | rispetto VALORI      | di SO | GLIA più : | restrittivi | - UNI 9 | 916 (%)     |
| DURATA         | CLA  | ASSE 1 (%)           | CLA   | .SSE 2 (%) | )           | CLAS    | SE 3 (%)    |
| Breve          | 0.04 | 0.042                |       | 0.169      |             | 0.282   |             |
| Permanente     | 0.08 | 0.085                |       | 0.169      |             | 0.339   |             |
|                |      |                      |       |            |             |         |             |

Tab. 5.28: Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito CNV – Vicaria – Corso Novara.

La Tabella 5.28 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Corso Novara, al confine tra i quartieri Vicaria e San Lorenzo; il sito può esser classificato come classe 2

(UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive, e risultano inferiori anche a quanto rilevato per il sito di Via Partenope, nonostante le condizioni sperimentali simili (misura sul lato strada, traffico sostenuto, orario mattutino etc).

5.6 ZONA 5

#### 5.6.1 Area urbana

5A.Supportico Lopez – Zona Vergini (ad. Piazza Cavour) – quartiere Stella (SUP)

| CLASSE (         | 9916)  |          | CL        | ASSE                  | (1104    | 8)          | CC         | CONDIZIONI Sperimentali |          |                  |       |                     | i ORARIO       |        |           |
|------------------|--------|----------|-----------|-----------------------|----------|-------------|------------|-------------------------|----------|------------------|-------|---------------------|----------------|--------|-----------|
| 2                |        |          | Abi       | tazion                | i (notte | e)          |            | I                       | Fondaz   | ioni             |       |                     | n              | otte   |           |
|                  |        | ]        | LIVEL     | LO D                  | ELLF     | E VIB       | RAZI       | ONI (V                  | /ELOO    | CITA'            | m/s)  |                     |                |        |           |
| COMPON           | FNTE   | ,        |           |                       |          |             | MEDI       | Е                       |          |                  |       |                     | PI             | CCO    |           |
| comon            |        | <i>'</i> |           | Medi                  | ia       |             | Deviazione |                         |          | RMS              |       |                     | 11             |        |           |
| Verticale        | UD     |          | 2.        | 3526e                 | -012     |             | 1.732      | 21e-006                 | 5 1      | .73186           | -007  |                     | 6.441          | 7e-00  | 7         |
| Nord – Su        | d NS   |          | 3.        | 0384e                 | -011     |             | 2.291      | 18e-006                 | 5 2      | .2914            | -007  |                     | 8.486          | 60e-00 | 7         |
| Est – Oves       | st EW  |          | 1.        | 1781e                 | -011     |             | 2.637      | 77e-006                 | 5 2      | .7230€           | -007  |                     | 1.102          | 27e-00 | 6         |
| P.               | P.V    |          |           |                       | P.C.P.   | .V          |            | Com                     | ponen    | te P.C           | .P.V. | ]                   | FREQ           | UENZ   | ZA        |
| 3.698            | 4e-007 |          |           | 1.                    | 1027e-   | -006        |            |                         | Est - (  | Ovest            |       |                     | 10             | ) Hz   |           |
|                  | CONF   | RON      | TO ris    | spetto                | VALO     | ORI d       | li SOG     | LIA pi                  | iù resti | rittivi          | – UNI | 9916                | (%)            |        |           |
| DURATA           |        | (        | CLASS     | E 1 (%                | %)       |             | CLAS       | SSE 2 (                 | %)       | CLASSE 3 (%)     |       |                     |                |        |           |
| Breve            |        |          |           | 0.006                 | 5        |             | 0.022      |                         |          |                  |       |                     | 0.037          |        |           |
| Permanente       |        |          |           | 0.011                 | 1        |             |            | 0.0                     | 22       |                  |       |                     | 0.044          |        |           |
|                  | LI     | VELI     | O DE      | LLE V                 | /IBR/    | AZIO        | NI (R.     | M.S. A                  | ACCEI    | LERA             | ZION  | II m/s <sup>2</sup> | )              |        |           |
| Comp.            | VERT   | ICAI     | LE        |                       | Co       | omp. ]      | NORD       | - SUD                   | )        | Comp. EST - OVI  |       |                     |                | /EST   |           |
| m/s <sup>2</sup> |        |          | dB        |                       | n        | 1/s²        |            | d                       | B        | m/s <sup>2</sup> |       |                     |                | dŀ     | 3         |
| 3.9707e-00       | )5     |          | -208      |                       | 4.741    | 7e-00       | )5         | -20                     | )6       | 5.7832e-00       |       |                     | e-005 -204     |        |           |
|                  | LIV    | 'ELL     | O DEI     | LE V                  | IBRA     | ZION        | NI (PIO    | CCHI A                  | ACCE     | LERA             | ZION  | E m/s               | <sup>2</sup> ) |        |           |
| Comp. VEI        | RTICA  | ALE (    | $m/s^2$ ) |                       | Comp     | <b>. NO</b> | RD – S     | SUD (n                  | n/ s²)   | С                | omp.  | EST –               | OVES           | ST (m  | $(s^{2})$ |
| 5.9              | 397e-( | )04      |           |                       |          | 5.3         | 760e-0     | 004                     |          |                  |       | 6.838               | 6e-004         | 1      |           |
|                  | -      | CON      | FRON      | TO ri                 | spetto   | VAL         | ORI o      | li SOG                  | LIA –    | UNI 1            | 1048  | (%)                 |                |        |           |
| DURATA           | Are    | e Cri    | tiche     | Abitazioni Abitazioni |          |             |            |                         | Uffic    | i                | Fa    | abbrio              | che            |        |           |
| Comp             | UD     | NS       | FW        | IID                   | NS       | FW          |            | NS                      | FW       | UD               | NS    | FW                  | IID            | NS     | FW        |
| Permanente       | 0.8    | 13       | 16        | 0.6                   | 0.9      | 12          |            | 0.1                     | 0.1      | 0                | 0     | 0                   | 0              | 0      | 0         |
| Rreve            | 12     | 1.5      | 10        | 8                     | 11       | 1.2         | 02         | 0.1                     | 0.1      | 0                | 1     | 0                   | 1              |        |           |
| DICIC            | 14     | 15       | 1)        | 0                     | 11       | 17          | 0.2        | 0.2                     | 0.2      | 0.1 0.1 0.       |       |                     |                | .1     |           |

 Tab. 5.29: Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito SUP – Zona Vergini (ad. Piazza

Cavour) - Supportico Lopez

La Tabella 5.29 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Supportico Lopez, zona Vergini, Piazza Cavour; il sito può esser classificato come classe 2 (UNI 9916) e

come categoria abitativa 2 abitazioni orario notturno (11048). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

#### 5B. P.S.I. Elena d'Aosta – quartiere Stella (PSI)

La Tabella 5.30 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di P.S.I Elena d'Aosta, nelle vicinanze del Tondo di Capodimonte; trattandosi di un luogo caratterizzato dalla presenza di una struttura ospedaliera, il sito può esser classificato come classe 2 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (9916)  | (    | CLASSE (11048)      | С           | ONDIZIO    | NI Sperim   | entali  | ORARIO             |
|----------------|------|---------------------|-------------|------------|-------------|---------|--------------------|
| 3              |      | Non applicabile     |             | Fre        | ee field    | mattina |                    |
|                | LIV  | ELLO DELLE VI       | BRAZ        | IONI (VE   | LOCITA'     | m/s)    |                    |
| COMPONENTE     |      |                     | MED         | IE         |             |         | PICCO              |
| COMPONENTE     |      | Media               | Dev         | viazione   | RMS         |         | neco               |
| Verticale UD   |      | 5.6388e-011         | 7.2446e-006 |            | 7.2433e-007 |         | 2.8368e-006        |
| Nord – Sud NS  |      | 4.1385e-011         |             | 81e-006    | 7.0969e     | e-007   | 2.4989e-006        |
| Est – Ovest EW |      | 4.5603e-011         | 7.46        | 69e-006    | 7.4656      | e-007   | 2.7829e-006        |
| P.P.V          |      | P.C.P.V             |             | Compo      | nente P.C.  | .P.V.   | FREQUENZA          |
| 1.0106e-006    |      | 2.8368e-006         |             | V          | Verticale   |         | Dato non rilevante |
| CONFRO         | )NTO | NTO rispetto VALORI |             | GLIA più : | restrittivi | - UNI 9 | 916 (%)            |
| DURATA         | CLA  | CLASSE 1 (%)        |             | SSE 2 (%)  | )           | CLAS    | SE 3 (%)           |
| Breve          |      | 0.014               |             | 0.057      |             |         | 0.095              |
| Permanente     |      | 0.028               |             | 0.057      |             | 0.113   |                    |

**Tab. 5.30:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito PSI – Capodimonte – P.S.I. Elena d'Aosta

#### 5.6.2 Complesso di San Marcellino

I dati relativi al Complesso di San Marcellino sono stati trattati con il medesimo metodo applicato nei siti dell'area urbana. In questa sede presentiamo un quadro di unione in cui vengono illustrati i range di variabilità associati ai valori assunti dai livelli delle vibrazioni misurate, fornendo un confronto con le soglie proposte dalla UNI 9916. Al fine di fornire un quadro quanto più cautelativo possibile, abbiamo adottato il minimo valore tra le soglie proposte, ovvero 2 mm/s e nel di vibrazioni durature.

I dati sono stati suddivisi per tipologie di piano, poiché sono state acquisite registrazioni in numerosi siti all'interno del complesso (vd. Paragrafo 4.6B per una descrizione approfondita delle misure condotte).

|                    | P.F<br>(VELOC | ?.V.<br>ITA' m/s) | P.C.<br>(VELOC | P.V.<br>ITA' m/s) | Confronto valori di<br>soglia - UNI 9916<br>(%) |       |  |
|--------------------|---------------|-------------------|----------------|-------------------|---|-------|--|
|                    | Min           | Max               | Min            | Max               | Min   | Max   |  |
| TORRETTA           | 4.705         | 7E-06             | 6.6966E-06     | 1.3746E-05        | 0.268   | 0.550 |  |
| <b>SOTTO TETTO</b> | 4.832         | 4E-06             | 6.8036E-06     | 1.4431E-05        | 0.272   | 0.577 |  |
| IV PIANO           | 4.8904E-07    | 1.6317E-06        | 1.4329E-06     | 4.6960E-06        | 0.057   | 0.188 |  |
| III PIANO          | 1.0857E-06    | 1.6421E-06        | 3.0904E-06     | 4.4302E-06        | 0.124   | 0.177 |  |
| I PIANO            | 8.5815E-07    | 2.4060E-06        | 2.4904E-06     | 6.3762E-06        | 0.100   | 0.255 |  |
| PIANO TERRA        | 3.9943E-07    | 9.1147E-07        | 1.0476E-06     | 2.6074E-06        | 0.042   | 0.104 |  |
| FONDAZIONI         | 3.0522E-07    | 4.4171E-07        | 7.1415E-07     | 1.2614E-06        | 0.029   | 0.050 |  |
| SOTTERRANEI        | 1.5695E-07    | 8.2713E-07        | 4.619E-07      | 2.1320E-06        | 0.018   | 0.085 |  |

Tab. 5.31: Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il Complesso di San Marcellino

I risultati ottenuti sono molto confortanti, evidenziando che il livello di vibrazioni esistente all'interno del Complesso di San Marcellino è decisamente al di sotto anche delle soglie più restrittive previste dalla normativa vigente. Essendo stata effettuata su un campione di diverse registrazioni, ognuna in orari, condizioni atmosferiche, e condizioni sperimentali al contorno diverse, si può asserire che i risultati prodotti sono ben rappresentativi del sito esaminato.

# 5.7 ZONA 6

# 6A. Mercato Ortofrutticolo (ad. Centro Direzionale) - quartiere Poggioreale (ORT)

La Tabella 5.32 illustra i valori assunti dalle vibrazioni nel sito di Poggioreale, Mercato Ortofrutticolo, nelle vicinanze del Centro Direzionale; trattandosi di un luogo caratterizzato dalla presenza di grattacieli in cui risiedono numerosi uffici, del terminale delle ferrovie dello stato e dalla struttura dedicata al mercato ortofrutticolo, il sito può esser classificato come classe 1 e 2 (UNI 9916). I valori di vibrazioni misurati si assestano al di sotto dei valori delle soglie più restrittive.

| CLASSE (9916)  | (           | CLASSE (11048)      |             | ONDIZIO            | NI Sperim   | ientali | ORARIO             |
|----------------|-------------|---------------------|-------------|--------------------|-------------|---------|--------------------|
| 1 e 2          |             | Non applicabile     |             | Fre                | ee field    | mattina |                    |
|                | LIV         | ELLO DELLE VI       | BRAZ        | IONI (VE           | LOCITA'     | m/s)    |                    |
| COMPONENTE     |             |                     | MED         | IE                 |             |         | DICCO              |
| COMPONENTE     |             | Media               | Dev         | viazione           | RMS         |         | пссо               |
| Verticale UD   |             | 4.6153e-011         | 2.30        | )30e-005           | 2.3027e-006 |         | 8.0474e-006        |
| Nord – Sud NS  |             | 1.5433e-010         | 1.2210e-005 |                    | 1.2208¢     | e-006   | 4.7797e-006        |
| Est – Ovest EW |             | 3.4934e-010         | 1.4167e-005 |                    | 1.4165¢     | e-006   | 5.8507e-006        |
| P.P.V          |             | P.C.P.V             |             | Componente P.C.P.V |             |         | FREQUENZA          |
| 2.7281e-006    |             | 8.0474e-006         | Verticale   |                    |             |         | Dato non rilevante |
| CONFRO         | <b>DNTO</b> | NTO rispetto VALORI |             | GLIA più 1         | restrittivi | – UNI 9 | 916 (%)            |
| DURATA         | CLA         | CLASSE 1 (%)        |             | CLASSE 2 (%)       |             | CLAS    | SSE 3 (%)          |
| Breve          |             | 0.040               |             | 0.161              |             |         | 0.268              |
| Permanente     |             | 0.080               |             | 0.161              |             | 0.322   |                    |

**Tab. 5.32:** Schema riassuntivo dei livelli di vibrazioni valutati per il sito ORT – Poggioreale – Mercato

Ortofrutticolo.

# **CAPITOLO 6**

# ANALISI REGISTRAZIONI ACCELEROMETRICHE

# 6. ANALISI REGISTRAZIONI ACCELEROMETRICHE

#### **6.1 INTRODUZIONE**

Il presente capitolo intende fornire un piccolo contributo che si inquadra nel dibattuto tentativo di porre al confronto i risultati relativi ai rapporti spettrali H/V ottenuti da terremoti ("Receiver Function") e da microtremori. I numerosi articoli presenti in letteratura (Rovelli et al., 1991; Duval, 1994; Field & Jacob, 1995; Field, 1996; Bonilla et al., 1997; Lachet e al., 1998; Seekins et al., 1996; Lebrun, 1997; Ligorrio & Atakan, 1997; Zhao et al., 1998; Riepl et al., 1998; Zarè et al., 1998; Bard, 1999; Huang & Teng, 1999) indicano che i risultati sono abbastanza comparabili per quanto riguarda la forma generale delle curve, tranne che per le ampiezze delle stesse: in alcuni siti le curve mostrano una ampiezza confrontabile, mentre in altri casi le Receiver Functions presentano ampiezze maggiori, specialmente a frequenze maggiori rispetto la frequenza fondamentale del sito. In base a queste caratteristiche, Bard (1999) ipotizza che i campi di onda di entrambi i tipi di dati (terremoti e microtremori) siano confrontabili, implicando di conseguenza o che le finestre delle onde S in terremoti contengano più onde superficiali rispetto a quanto comunemente ritenuto, oppure che i microtremori siano costituiti da una percentuale di onde di volume non trascurabile.

Nel caso del presente lavoro, i risultati dei microtremori sono posti a confronto con le Receiver Functions relative ad alcuni eventi sismici registrati negli stessi siti in cui sono stati acquisiti i microtremori, oppure nelle loro immediate vicinanze; le Receiver Functions sono state calcolate per finestre relative a diverse fasi selezionate, rispettivamente onde S, Code, ed unione delle onde S e delle Code.

#### 6.2 ANALISI DELL' EVENTO SISMICO DEL 26 NOVEMBRE 2003

#### 6.2.1 Segnale registrato al Parco Virgiliano (Posillipo)

In data 26 Novembe 2003, alle ore 17:13:29.100 (UTM), si è verificato un piccolo evento sismico di magnitudo Md=1.5, riportato unicamente dal bollettino sismico della Rete di Monitoraggio dell'Osservatorio Vesuviano (Fig. 6.1), ma sufficientemente energetico da far scattare la stazione accelerometrica della rete RAN gestita dall'Ufficio

Servizio Sismico – Ufficio Rete di Monitoraggio, afferente al Dip. della Protezione Civile, ed ivi installata in data 18/06/2003.



Figura 6.1: Localizzazione dell'evento del 26 Novembre 2003 secondo INGV – Osservatorio Vesuviano

La stazione RAN in esame, costituita da un acquisitore Kinemetrics Altus Etna a 3 canali, equipaggiato con accelerometri Episensor a 200 Hz. (le cui caratteristiche tecniche sono riassunte nella Tabella 6.1) denominata NAPOLI\_OVEST, è localizzata nella porzione sud occidentale del Parco Virgiliano (quartiere Posillipo, NA), e presenta le seguenti coordinate GPS (Latitudine: 40.79 N; Longitudine: 14.17 E; Quota s.l.m.: 197 m.)

| СН                   | 1                           | 2                           | 3                           |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| CHAN ID              | XTE                         | YLN                         | ZUP                         |
| SENSORS              | EpiSensor (32)<br>s/n 11401 | EpiSensor (32)<br>s/n 11289 | EpiSensor (32)<br>s/n 11142 |
| GAIN                 | 1                           | 1                           | 1                           |
| FULLSCALE            | 2.50V                       | 2.50V                       | 2.50V                       |
| SENSITIVITY          | 2.4950V/g                   | 2.4970V/g                   | 2.4980V/g                   |
| DAMPING              | 0.7000                      | 0.7000                      | 0.7000                      |
| NATFREQ              | 212.00Hz                    | 222.00Hz                    | 216.00Hz                    |
| EPISENSOR CALCOIL    | 0.0580                      | 0.0550                      | 0.0610                      |
| SENSOR GAIN          | 1                           | 1                           | 1                           |
| RANGE                | 1g                          | 1g                          | 1g                          |
| SENSED SENSITIVITY   | 2.5V/g                      | 2.5V/g                      | 2.5V/g                      |
| TRIGGER THRESHOLD    | 0.400%FS                    | 0.400%FS                    | 0.400%FS                    |
| DETRIGGER THRESHOLD  | 0.400%FS                    | 0.400%FS                    | 0.400%FS                    |
| ALARM TRIG THRESHOLD | 2.000%FS                    | 2.000%FS                    | 2.000%FS                    |
| VOTES                | 1                           | 1                           | 1                           |

Tab 6.1: Caratteristiche tecniche della stazione sismica Napoli Ovest

La registrazione dell'evento sismico in questione ha una durata complessiva di 48 secondi, con 15 secondi di pre-evento e 30 secondi di post-evento, e con passo di campionamento a 200 campioni/secondo.

Il preprocessing automatizzato della registrazione ha individuato i seguenti parametri:

| Nome File | Data - Time              | PGA (gal) In | t. Arias(cm/ | s) Eff. Duration (sec) |
|-----------|--------------------------|--------------|--------------|------------------------|
| RI002.XTE | 11/26/2003 (330) 17:13:1 | 28.648       | 0.122        | 2.97                   |
| RI002.YLN | 11/26/2003 (330) 17:13:1 | -19.079      | 0.107        | 3.98                   |
| RI002.ZUP | 11/26/2003 (330) 17:13:1 | -8.606       | 0.028        | 3.60                   |

La figura seguente (Fig. 6.2) illustra le collocazioni della stazione RAN e della stazione temporanea Q330 installata in data 8 Aprile 2005 allo scopo di acquisire microtremori per la durata di circa 2 ore.



**Figura 6.2:** Ubicazioni della stazione sismica della rete RAN Napoli\_Ovest e delle stazione temporanea Parco Virgiliano – Posillipo.

I segnali relativi all'evento sismico del 26 Novembre 2003 sono stati gentilmente forniti dalla Dott.ssa Antonella Gorini (Ufficio Reti di Monitoraggio (dirigente Dott. Paolo Marsan)– Ufficio Servizio Sismico – Dip. Protezione Civile), e sono stati elaborati in ambiente MATLAB. La figura seguente (Fig. 6.3) mostra una selezione delle tracce acquisite, in cui sono ben evidenziate le porzioni relative al segnale analizzato e le fasi selezionate (onde P, onde S e Coda), riassunte nella seguente Tabella 6.2.

| Selezione | Inizio (secondi) | Fine (secondi) |
|-----------|------------------|----------------|
| SEGNALE   | 13.5             | 22             |
| RUMORE    | 1                | 9.5            |
| ONDE S    | 14.75            | 16             |
| CODA      | 16               | 26             |

Tab 6.2: Selezione delle fasi utilizzate nelle analisi spettrali riportate di seguito



**Figura 6.3:** Segnali sismici registrati per l'evento del 26 Novembre 2003. Nella figura si possono visualizzare la selezione di alcune delle fasi indicate nella Tab. 6.2.

La selezione delle fasi riportate nella Fig. 6.3 è stata coadiuvata dall'analisi del Particle Motion effettuato su segnale filtrato con un filtro passa banda tra 0.1 e 5 Hz.

Il Particle Motion relativo alla porzione delle onde P ha evidenziato una polarizzazione del segnale orientativamente in direzione NW-SE, compatibile con la presunta direzione di provenienza del segnale (Fig 6.4); la scarsa visibilità della fase delle onde P è legata alla scala adottata ed alla lunghezza del segnale presentato, scelto di modo che includa anche la fase delle onde S.



**Figura 6.4**: Analisi di Particle Motion effettuata sul segnale compreso tra i primi arrivi delle onde P e delle onde S.

#### 6.2.2 Analisi spettrale dei segnali

I segnali acquisiti sono stati in seguito processati ulteriormente per indagarne le caratteristiche spettrali.

A tal fine, l'analisi degli spettrogrammi dei segnali in ha confermato il riconoscimento delle fasi individuate tramite il Particle Motion e ne ha permesso l'individuazione della variazione dell'intensità spettrale con il tempo; la Fig. 6.5 seguente si riferisce agli spettrogrammi calcolati rispettivamente per le componenti Verticale (a), Nord-Sud (b) ed Est-Ovest (c) dei segnali in accelerazione non filtrati.

Nella Fig. 6.6 è presentato il rapporto segnale/rumore per le tre distinte componenti, mostrando gli spettri in velocità del segnale e del rumore, lisciati con una routine di smoothing a media mobile di dimensione df = 0.3 Hz. I risultati sono posti a confronto con la soglia relativa al rapporto segnale/rumore = 3, comunemente considerata una soglia sopra la quale considerare valido il segnale acquisito. I risultati mostrano che il rapporto segnale/rumore si mantiene al di sopra della soglia per il range di frequenze compreso tra 1 e 50 Hz per tutte e tre le componenti.

Nella Fig. 6.7 vengono riportati gli spettri in velocità per la porzione di segnale individuata in precedenza, lisciati con uno smoothing a media mobile di dimensione df = 0.3 Hz e graficati tra 0.3 e 30 Hz. Dall'analisi degli spettri delle tre componenti, si evidenzia che le componenti orizzontali presentano in media una ampiezza spettrale maggiore rispetto alla componente verticale, e che le frequenze comprese tra il range 6 - 10 Hz presentano un picco.

Lo spettro in spostamento calcolato per le tre componenti registrate (Fig. 6.8), mostra che il segnale non presenta più molta energia sotto 8 Hz circa; anche in questo grafico si rinviene il picco presente a frequenza centrale intorno agli 8 Hz, quindi è possibile imputare tale picco ad un probabile effetto di sito.



**Figura 6.5:** Spettrogrammi computati sulla componente Verticale (a), Nord – Sud (b) ed infine Est – Ovest (c) del evento registrato al Parco Virgiliano in data 26 Novembre 2003.



**Figura 6.6:** Rapporto Segnale/Rumore per le tre componenti della registrazione, computato su finestre di segnale e rumore individuate in Tab. 5. 2. In rosso viene riportata la soglia per al di sopra della quale il rapporto assume valore 3.



**Figura 6.7:** Spettri lisciati (df = 0.3 Hz) di Fourier in ampiezza relativi alle tre componenti del segnale in velocità.



**Figura 6.8:** Spettri lisciati (df = 0.3 Hz) di Fourier in ampiezza relativi alle tre componenti del segnale in spostamento.

La Fig. 6.9 mostra le Receiver Functions calcolate, rispettivamente, sulle sole onde S, sulle Code e sulle S e Code insieme, tenendo distinto il contributo delle due componenti orizzontali. Le Receiver Functions calcolate sulle Code e sulle onde S e Code appaiono molto ben definite, e presentano entrambe un picco intorno ai 2-2.5 Hz.

I picchi presenti a frequenze maggiori sono di più difficile interpretazione, soprattutto nel caso della Receiver Function relativa alle sole onde S, poiché la piccola durata della fase non permette una risoluzione ottimale; in ogni caso, i picchi presenti a frequenze intorno ai 5 Hz e 7 Hz appaiono in tutti e tre i casi, sebbene con ampiezze diverse.



Figura 6.9: Receiver Functions computate per l'evento sismico del 26 Novembre 2003.

#### 6.2.3 Confronto con le analisi dei microtremori

Confrontando le Receiver Functions calcolate con i risultati dell'analisi di Nakamura già presentati nel Paragrafo 4.3.2, si nota che il picco debolmente accennato con i microtremori e compreso tra i 2 e 3 Hz circa, si riscontra anche con le Receiver Functions calcolate sulle Code e sulle S e Code insieme, per quanto i risultati delle Code mostrano una notevole ampiezza (Fig. 6.10).

In conclusione, a parte differenze nelle ampiezze, generalmente i risultati ottenuti con le Code sono confrontabili con quelli ottenuti con le onde S e le Code, mentre la Receiver Function calcolata sulle sole onde S riesce ad individuare distintamente soltanto due picchi a frequenze superiori, ovvero intorno ai 7 Hz e 10 Hz.



Confronto H/V MICROTREMORI e RECEIVER FUNCTIONS

Figura 6.10: Confronto tra i rapporti spettrali calcolati sui microtremori e le Receiver Functions computate sulle onde S, sulle Code e sulle S e Code insieme (vd. legenda).

# 6.3 ANALISI DELL' EVENTO SISMICO DEL 21 MAGGIO 2005

# 6.3.1 Localizzazione e parametri dell'evento

In data 21 Maggio 2005, alle ore 19:55:19 e 21:41:00 (entrambe UTM), si sono verificati due eventi sismici di magnitudo rispettivamente Ml=3.8 e 3.3, così come riportato dal bollettino sismico dell'INGV, originatisi nell'area beneventana ed avvertiti ampiamente dalla popolazione campana (Fig. 6.11).



Figura 6.11: localizzazione dell'evento principale del 21 Maggio 2005 secondo l'INGV

Riassumendo le informazioni riportate nel sito dell'INGV, i due eventi in esame hanno presentato le seguenti caratteristiche.

Data UTC: 21 mag 2005 Ore UTC: 19:55:19 e 21:41:00 Latitudine: 41.01 Longitudine: 14.54 Profondita': 24 e 10 km Eventi sismici di magnitudo MI 3.8 e 3.3 Regione sismica: Irpinia . Province interessate: BENEVENTO,CASERTA,NAPOLI,AVELLINO . Comuni Interessati: Forchia<3Km Arpaia Arienzo ROCCARAINOLA SAN FELICE A CANCELLO Paolisi CICCIANO Rotondi AIROLA<6Km CAMPOSANO Comiziano CERVINARA Tufino SANTA MARIA A VICO AVELLA CIMITILE Bucciano Moiano Sperone Casamarciano . In confronto alla rete dell'ING, la rete EMSC riporta delle informazioni leggermente differenti (<u>http://www.emsc-csem.org/</u>), soprattutto per quanto riguarda le coordinate epicentrali del primo evento (Fig. 6.12), attenendosi al contrario alle localizzazioni INGV per il secondo evento

|                | <u>EVT 1</u>                   |
|----------------|--------------------------------|
| Magnitude:     | ML 3.8                         |
| Region:        | SOUTHERN ITALY                 |
| Date Time:     | 2005/05/21 at 19:55:19.4 UTC   |
| Location:      | 41.07 N ; 14.58 E              |
| <u>Depth</u> : | 2 km                           |
| Poforonoos:    | 38 km NE Naples ; 17 km N Nola |
| Keterences.    | ;                              |





Il meccanismo focale della scossa principale è stato riportato dalla rete MEDNET (Fig. 6.13) ed è reperibile presso l'indirizzo

http://mednet.ingv.it/REVISED/050521\_195520/Welcome.html



**GATT** May 25 22:19 MUSCLES (Med Net) request7880 INGV\_auto 41.0 14.5 10.034 SOUTHERN\_TALY **Figura 6.13:** meccanismo focale dell'evento principale del 21 Maggio 2005 riportato dall'EMSC

A seguito del primo evento sismico di magnitudo 3.8 si sono inoltre attivate le due stazioni accelerometriche della RAN (Rete Accelerometrica Nazionale) localizzate ad Airola (ARL) e Telese Terme (TLS). Sebbene i due eventi sismici siano stati ampiamente avvertiti dalla popolazione di Napoli, non sono state attivate le due stazioni della RAN presenti nella zona Doganella (stazione NAPOLI\_EST) e a Posillipo (stazione NAPOLI\_OVEST).

La mappa riportata in Fig 6.14 mostra che il massimo valore di accelerazione registrato è stato di 72,2 cm/sec2 sulla componente Est-Ovest della stazione di Airola, la cui registrazione accelerometrica è riportata in Fig 6.15.



**Figura 6.14:** mappa delle stazioni RAN presenti nell'area epicentrale ed accelerazioni di picco registrate dale stazioni sismiche attivate dall'evento principale



Figura 6.15: registrazione dell'evento principale presso la stazione sismica di Airola.

# 6.3.2 Segnali registrati dalle stazioni sismiche temporanee installate a Posillipo, Mostra d'Oltremare e Ponticelli.

Nonostante la mancanza di registrazioni acquisite da stazioni sismiche delle reti nazionali all'interno dell'area urbana di Napoli, si sono potuti estrarre buone registrazioni dell'evento attraverso le registrazioni in continuo che in quel frangente si stavano svolgendo a Posillipo (Via Bartololongo), finalizzate all'acquisizione di rumore, ed alle registrazioni relative a due stazioni sismiche temporanee installate dall'INGV presso la Mostra d'Oltremare (Padiglione Libia) ed a Posillipo (cortile della scuola media "Viviani", Via Manzoni 193), nell'ambito del PROGETTO STRATEGICO MIUR "Diagnostica e salvaguardia dei manufatti architettonici con particolare riferimento agli effetti derivanti da eventi sismici ed altre calamità naturali".

La Tabella 6.3 descrive la collocazione delle tre stazioni sismiche temporanee e la loro distanza e back azimuth rispetto la scossa principale.

| STAZIONE                  | LATITUDINE<br>(degrees) | LONGITUDINE<br>(degrees) | BACKAZIMUTH<br>(degrees) | DISTANZA<br>EVT (km) |
|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
| Ponticelli (PON)          | 40.8500                 | 14.32646                 | 53                       | 28 circa             |
| Mostra Oltremare<br>(MOS) | 40.8237                 | 14.18492                 | 55                       | 36.37                |
| Posillipo (POS)           | 40.81587                | 14.20125                 | 52                       | 35.76                |

 Tab 6.3: collocazione delle tre stazioni sismiche temporanee e la loro distanza e back azimuth rispetto la scossa principale

La configurazione di acquisizione dei segnali a Ponticelli rispecchia la modalità usuale di acquisizione dei microtremori, mentre le due stazioni operate dall'INGV sono costituite da acquisitori MarsLite equipaggiate con sensori tridirezionali Lennartz Le3D a 5 secondi, con 70% di damping, sensitività 400 Volts/m/s e passo di campionamento 62.5 campioni/secondo.

Le registrazioni acquisite sono mostrate nelle Figure comprese tra 6.16 e 6.19; nelle figure sono ben evidenziate le fasi selezionate (onde P, onde S e Coda e riportate in Tabella 6.4

| STAZIONE | SEGNALE     | RUMORE      | ONDE S      | CODA      |
|----------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| PON Evt1 | 125.5 - 200 | 1 – 75.5    | 129.5 - 140 | 140 - 215 |
| PON Evt2 | 85 - 142    | 26 - 83     | 89.4 - 95   | 95 - 145  |
| MOS Evt1 | 60.5 - 200  | 254 - 389.5 | 68 - 91     | 91 - 265  |
| POS Evt1 | 60 - 180    | 270 - 390   | 69.5 - 90   | 90 - 200  |

Tab 6.4: selezione delle finestre di segnale, rumore, onde S e Code utilizzate nelle analisi spettrali

Le tracce relative alla stazione di Ponticelli hanno subito un processing preventivo allo scopo di far emergere il segnale dell'evento sismico rispetto alle registrazioni del rumore presente; a tal fine le tracce sono state sottoposte ad un filtraggio, applicando un filtro Butterworth passa basso a 4 poli, con frequenza di taglio 8 Hz.

#### 6.3.3 Analisi spettrale dei segnali

In maniera analoga alle analisi svolte per il terremoto registrato presso il Parco Virgiliano, i segnali acquisiti sono stati analizzati nel dominio delle frequenze al fine di individuarne le caratteristiche spettrali.

Gli spettrogrammi calcolati per le tracce disponibili hanno coadiuvato l'individuazione delle varie fasi ed hanno permesso l'analisi della variazione dell'intensità spettrale col tempo (Fig. 6.20, 6.21 e 6.21 a,b,c).



**Figura 6.16:** Segnali sismici registrati a Ponticelli per la scossa principale del 21 Maggio 2005. Nella figura si possono visualizzare la selezione di alcune delle fasi indicate nella Tab. 6.4.



**Figura 6.17:** Segnali sismici registrati a Ponticelli per la seconda scossa del 21 Maggio 2005. Nella figura si possono visualizzare la selezione di alcune delle fasi indicate nella Tab. 6.4.



**Figura 6.18:** Segnali sismici registrati alla Mostra d'Oltremare per la scossa principale del 21 Maggio 2005. Nella figura si possono visualizzare la selezione di alcune delle fasi indicate nella Tab. 6.4.



**Figura 6.19:** Segnali sismici registrati a Posillipo per la scossa principale del 21 Maggio 2005. Nella figura si possono visualizzare la selezione di alcune delle fasi indicate nella Tab. 6.4.

Gli spettrogrammi mostrati per Ponticelli sono relativi ai segnali in accelerazione originali, cioè non filtrati. Le differenze che immediatamente emergono tramite il confronto con gli spettrogrammi relativi ai segnali velocimetrici di Posillipo e della Mostra d'Oltremare, riguardano il contenuto in frequenza e la durata delle fasi: gli spettrogrammi di Ponticelli mostrano infatti un maggiore contenuto spettrale ad alte frequenze ed evidenziano un minore contenuto energetico per le fasi successive alle onde S, mascherando in qualche modo la durata effettiva dell'evento. Queste caratteristiche sono completamente spiegabili considerando che i segnali in accelerazione risultano particolarmente sensibili alle alte frequenze, al contrario di quanto avviene per i segnali in velocità.



**Figura 6.20:** Spettrogrammi dell'evento principale registrato a Ponticelli, relativi alle componenti verticali (a), Nord - Sud (b) ed Est – Ovest (c) del segnale in accelerazione.



**Figura 6.21:** Spettrogrammi dell'evento principale registrato alla Mostra d'Oltremare, relativi alle componenti verticali (a), Nord - Sud (b) ed Est – Ovest (c) del segnale in velocità.



**Figura 6.22:** Spettrogrammi dell'evento principale registrato a Posillipo, relativi alle componenti verticali (a), Nord - Sud (b) ed Est – Ovest (c) del segnale in velocità.

Nelle Figure comprese tra 6.23 e 6.26 sono presentati i rapporti segnale/rumore per le tre distinte componenti di ciascun evento registrato alle diverse stazioni, mostrando gli spettri in velocità del segnale e del rumore, lisciati con una routine di smoothing a media mobile di dimensione df = 0.3 Hz. I risultati sono posti a confronto con la soglia relativa al rapporto segnale/rumore = 3, comunemente considerata una soglia sopra la quale considerare valido il segnale acquisito.



**Figura 6.23:** Rapporto Segnale/Rumore per le tre componenti della registrazione della scossa principale a Ponticelli, computato su finestre di segnale e rumore individuate in Tab. 6.4. In rosso viene riportata la soglia per al di sopra della quale il rapporto assume valore 3.

I risultati mostrano che il rapporto segnale/rumore si mantiene al di sopra della soglia per frequenze fino a 10 Hz per l'evento principale registrato a Ponticelli, fino a 8 Hz per l'aftershock registrato sempre a Ponticelli, fino a 7 Hz circa per l'evento principale registrato alla Mostra d'Oltremare, e fino a 8 Hz per lo stesso evento registrato a Posillipo.



**Figura 6.24:** Rapporto Segnale/Rumore per le tre componenti della registrazione della seconda scossa a Ponticelli, computato su finestre di segnale e rumore individuate in Tab. 6.4. In rosso viene riportata la soglia per al di sopra della quale il rapporto assume valore 3.

Nelle Figure comprese tra 6.27 e 6.30 vengono riportati gli spettri in velocità per la porzione di segnale individuata in precedenza, lisciati con uno smoothing a media mobile di dimensioni df = 0.3 Hz e graficati tra 0.3 e 30 Hz.



**Figura 6.25:** Rapporto Segnale/Rumore per le tre componenti della registrazione della scossa principale alla Mostra d'Oltremare, computato su finestre di segnale e rumore individuate in Tab. 6.4. In rosso viene riportata la soglia per al di sopra della quale il rapporto assume valore 3.

Dall'analisi degli spettri delle tre componenti, emergono alcune caratteristiche degne di nota: sebbene nel caso di Posillipo e della Mostra d'Oltremare le componenti orizzontali presentano in media una ampiezza spettrale maggiore rispetto alla componente verticale, nel caso delle registrazioni di Ponticelli la componente verticale degli spettri presenta consistentemente una ampiezza spettrale superiore rispetto alle componenti orizzontali, soprattutto in relazione al picco che si individua a 0.5 Hz circa e che risulta comune anche alle registrazioni di Posillipo. Gli spettri relativi alla Mostra d'Oltremare presentano due picchi maggiori centrati rispettivamente intorno alle frequenze di 0.6 - 0.7 Hz e 1.2 Hz, ed un picco minore intorno a 2 Hz.



**Figura 6.26:** Rapporto Segnale/Rumore per le tre componenti della registrazione della scossa principale a Posillipo, computato su finestre di segnale e rumore individuate in Tab. 6.4. In rosso viene riportata la soglia per al di sopra della quale il rapporto assume valore 3.



#### SPETTRI in VELOCITA' 21/5/2005 PONTICELLI EVT1

**Figura 6.27**: Spettri lisciati (df = 0.3 Hz) di Fourier in ampiezza relativi alle tre componenti del segnale in velocità relativo alla scossa principale registrata a Ponticelli.



SPETTRI in VELOCITA' 21/5/2005 PONTICELLI EVT2

**Figura 6.28:** Spettri lisciati (df = 0.3 Hz) di Fourier in ampiezza relativi alle tre componenti del segnale in velocità relativo alla seconda scossa registrata a Ponticelli.



**Figura 6.29:** Spettri lisciati (df = 0.3 Hz) di Fourier in ampiezza relativi alle tre componenti del segnale in velocità relativo alla scossa principale registrata alla Mostra d'Oltremare



**Figura 6.30:** Spettri lisciati (df = 0.3 Hz) di Fourier in ampiezza relativi alle tre componenti del segnale in velocità relativo alla scossa principale registrata a Posillipo.

Le Figure comprese tra 6.31 e 6.34 mostrano le Receiver Functions calcolate per le tre stazioni e, rispettivamente, sulle sole onde S, sulle Code e sulle S e Code insieme, tenendo distinto il contributo delle due componenti orizzontali.

L'interpretazione delle Receiver Functions per Ponticelli non è di facile realizzazione, perché in generale i risultati ottenuti sulle onde S evidenziano i picchi a bassa frequenza (0.7 Hz e 0.5 Hz rispettivamente per l'evento principale e l'aftershock), mentre i risultati ottenuti sulle Code e sulle onde S e Code appaiono un po' più definiti, evidenziando i picchi a frequenze più alte (8 Hz circa per entrambi gli eventi).

Queste caratteristiche non si riscontrano al contrario né nel caso della Mostra d'Oltremare né nel caso di Posillipo, poiché tutte e tre le tipologie di Receiver Function mettono in evidenza la presenza dei medesimi picchi; per la Mostra d'Oltremare, i picchi principali si trovano alle frequenze di 0.4-0.5 Hz e tra 3 e 6 Hz, mentre per Posillipo si evidenzia un unico picco principale centrato tra 2.7 e 4.5 Hz. circa.



Figura 6.31: Receiver Functions computate per la scossa principale del 21 Maggio 2005, registrata a Ponticelli


Figura 6.32: Receiver Functions computate per la seconda scossa del 21 Maggio 2005, registrata a Ponticelli



**Figura 6.33:** Receiver Functions computate per la scossa principale del 21 Maggio 2005, registrata alla Mostra d'Oltremare



Figura 6.34: Receiver Functions computate per la scossa principale del 21 Maggio 2005, registrata a Posillipo

#### 6.3.4 Confronto con le analisi dei microtremori

Confrontando le Receiver Functions calcolate con i risultati dell'analisi di Nakamura già presentati nei Paragrafi 4.2, 4.3 e 4.4B, si possono notare le seguenti caratteristiche:

- Tranne il caso della Mostra d'Oltremare, in generale le Receiver Functions calcolate sulle onde S evidenziano picchi a bassa frequenza che non risultano evidenziati tramite i microtremori.
- Nel caso di Ponticelli (Fig. 6.35 e 6.36), i picchi individuati tramite i microtremori sono concordi con quanto evidenziato anche tramite le Receiver Functions, sia in termini di frequenza che di ampiezza (specialmente per l'evento principale)



**Figura 6.35:** Scossa principale – Ponticelli. Confronto tra i rapporti spettrali calcolati sui microtremori e le Receiver Functions computate sulle onde S, sulle Code e sulle S e Code insieme (vd. legenda).



**Figura 6.36:** Seconda scossa – Ponticelli. Confronto tra i rapporti spettrali calcolati sui microtremori e le Receiver Functions computate sulle onde S, sulle Code e sulle S e Code insieme (vd. legenda).

Nel caso della Mostra d'Oltremare (Fig. 6.37), i picchi individuati tramite i microtremori sono perfettamente concordi con quanto evidenziato anche tramite le Receiver Functions, portando al riconoscimento di almeno tre picchi principali a 0.4 – 0.5 Hz, 1.2 Hz e 4 Hz.

Confronto H/V MICROTREMORI e RECEIVER FUNCTIONS



**Figura 6.37:** Scossa principale – Mostra d'Oltremare. Confronto tra i rapporti spettrali calcolati sui microtremori e le Receiver Functions computate sulle onde S, sulle Code e sulle S e Code insieme (vd. legenda).

- Nel caso di Posillipo (Fig. 6.38), il confronto è un po' più complesso poiché non avevamo a disposizione un record cospicuo di microtremori nella medesima stazione. Per ovviare a questo inconveniente, le Receiver Functions calcolate sono state confrontate con i risultati delle analisi dei microtremori registrati a Via Manzoni (adiacente Via De Bonis) ed alla vecchia sede dell'Osservatorio Vesuviano, da momento che le due stazioni si ritrovano in zona limitrofa. Il confronto evidenzia una notevole similarità della forma spettrale tra le Receiver Functions ed i risultati delle analisi di Nakamura per la stazione di Via Manzoni, per quanto questi ultimi risultano spostati verso frequenze superiori; questo fatto potrebbe esser ascrivibile alla collocazione del punto di misura di Via Manzoni, sito un una zona più prossimale alla scarpata rispetto alla stazione operata dall'INGV (Fig. 6.39). Per quanto collocata in una zona più distante, la vecchia sede dell'Osservatorio Vesuviano presenta alcune caratteristiche più similari a quelle della stazione dell'INGV; ciò è riscontrabile anche dal fatto che le analisi dei microtremori ivi acquisiti presentano picchi incentrati a frequenze confrontabili con quelli evidenziati tramite Receiver Functions, sebbene ad ampiezze minori.

Confronto H/V MICROTREMORI e RECEIVER FUNCTIONS 21/5/2005 Posillipo



**Figura 6.38:** Scossa principale – Posillipo. Confronto tra i rapporti spettrali calcolati sui microtremori e le Receiver Functions computate sulle onde S, sulle Code e sulle S e Code insieme (vd. legenda).



Figura 6.39: collocazione della stazione temporanea di Via Manzoni e della stazione di riferimento dell'INGV.

In conclusione, i risultati ottenuti tramite le Receiver Functions forniscono ulteriore validazione ai risultati emersi dalle analisi di Nakamura applicate a finestre di rumore acquisite nei medesimi siti o in zone limitrofe.

# **CAPITOLO 7**

# CONCLUSIONI

# 7. CONCLUSIONI

#### 7.1 SINTESI SULLE ANALISI DI VIBRAZIONI SISMICHE

#### 7.1.1 Livello di velocità

La Fig. 7.1 illustra una sintesi dei risultati presentati nel Capitolo 5. In particolare, viene riportato il livello di vibrazioni assunto dalle velocità misurate in tutti i siti indagati, presentato come percentuale rispetto al valore di soglia imposto dalla normativa UNI 9916, la cui panoramica completa viene presentata nelle due tabelle inserite nella figura stessa.

I valori percentuali presentati in questa sede si riferiscono al confronto con il valore di soglia più cautelativo, ovvero il livello minimo proposto in corrispondenza delle classi critiche di edifici e riferito a vibrazioni di breve durata.

Nella figura presentata, ogni punto di misura è contraddistinto da un simbolo la cui forma varia a seconda se si riferisce a finestre di rumore acquisite durante il giorno oppure durante la notte; i diversi colori corrispondono agli intervalli di valori assunti dalla percentuale dei livelli di vibrazione misurati rispetto al valore di soglia considerato (2.5 mm/s<sup>2</sup>).

Dall'analisi della distribuzione dei valori assunti dalle vibrazioni, si può notare che durante le fasce orarie notturne, i siti caratterizzati da vibrazioni più intense sono FRG (Fuorigrotta - Mostra d'Oltremare) e POS3 (Posillipo – Via Cupa Angara), seguiti da PON3 (Ponticelli – Via De Meis) e PON 6 (Ponticelli – Via Madonnelle), mentre gli altri siti sono caratterizzati da un valore di vibrazioni minimo.

Per quanto riguarda le misure effettuate durante il giorno, i siti caratterizzati da un valore cospicuo di vibrazioni risultano essere POS1 (Posillipo - Piazza Salvatore di Giacomo), quindi PAR (Via Partenope, valore mediato tra le due misure condotte) ed in successione SOC (Soccavo) e PON4 (Ponticelli – Via Ulisse Prota Giurleo). Questi risultati confermano quanto ci saremmo potuti aspettare per i siti POS1, PAR e PON4, essendo stati caratterizzati da traffico notabile al momento dell'acquisizione dei segnali, ma sorprendono abbastanza per quanto riguarda SOC.



**Figura 7.1:** Quadro di unione dei valori assunti dai livelli di vibrazione dei segnali in velocità, espressi come percentuale rispetto alla soglia più cautelativa della UNI 9916.

In generale, tranne i casi riportati sopra, la porzione occidentale della città presenta i livelli di vibrazione inferiori, mentre la porzione orientale (Corso Novara, Doganella, Poggioreale, Ponticelli) presenta valori più marcati.

#### 7.1.2 Livello di accelerazione

La Fig. 7.2 presenta un quadro di sintesi relativo al livello di rumore associato ai segnali in accelerazione acquisiti all'interno di edifici. In particolare, sono presentati i confronti tra i valori misurati ed i valori di soglia proposti dalla normativa UNI 11048, suddivisi per tipologia edilizia e presentati nella tabella inclusa nella figura stessa.

Per ogni sito per il quale era applicabile la suddetta normativa, vengono presentati dei grafici in cui le colonne in azzurro si riferiscono al confronto (espresso come percentuale) tra i livelli misurati e le soglie proposte per le vibrazioni di durata costante, mentre le colonne in viola si riferiscono al confronto tra i livelli misurati e le soglie proposte per le vibrazioni di durata breve; rispettivamente, i valori sono presentati di modi che le prime colonne dall'alto si riferiscono all'asse Verticale, mentre le altre due colonne si riferiscono rispettivamente agli assi Nord – Sud ed Est – Ovest. Al di sopra di ogni colonna compare un numero che rappresenta la percentuale ottenuta tramite il confronto con le soglie.

Per quanto riguarda i siti PON8 (Ponticelli - Via Bartololongo), si forniscono i risultati del confronto sia per una finestra di rumore diurno che per una di rumore notturno; rispettivamente, i risultati della prima serie di dati sono presentati in azzurro (vibrazioni brevi) e giallo (vibrazioni durature), mentre i dati della seconda serie (finestra notturna) seguono la medesima disposizione delle altre misure.

Dall'analisi dei risultati, si può notare che l'unico sito il cui livello di vibrazione si assesta sopra il limite previsto è POS3 (Posillipo – Via Cupa Angara), la cui componente verticale delle vibrazioni supera la soglia relativa alle vibrazioni brevi; questo particolare è consistente con il confronto operato tramite la UNI 9916, dal quale si nota che il sito in questione presenta valori di vibrazione notturni superiori rispetto alle zone limitrofe (caratteristica spiegabile parzialmente considerando che il sensore era posizionato in una cantina di una abitazione prospiciente la strada).



**Figura 7.2:** Quadro di unione dei valori assunti dai livelli di vibrazione dei segnali in accelerazione, espressi come percentuale rispetto alle soglie proposte dalla UNI 11048.

Per quanto riguarda gli altri siti investigati, in generale tutti gli altri valori sono al di sotto della soglia; degno di nota è il sito PON3 (Ponticelli – Via De Meis), la cui componente verticale raggiunge il 50% circa del valore ammesso in caso di vibrazioni brevi.

In generale, attraverso l'analisi della distribuzione delle misure e dei risultati, si può notare che i siti che ricadono nel quartiere di Ponticelli presentano i valori di vibrazione più elevati.

Delle misure presentate, ben 8 si riferiscono a registrazioni effettuate in abitazioni durante la notte, 2 si riferiscono a registrazioni effettuate in abitazioni durante il giorno, ed una soltanto si riferisce a registrazioni effettuate in un sito assimilabile a struttura industriale. Da notare quindi l'assenza di rappresentatività per quanto concerne le categorie di aree critiche e di uffici, che al contrario sono stati ben analizzati dal punto di vista delle velocità che li caratterizzano.

#### 7.2 SINTESI DELLE ANALISI DI MICROTREMORE CON LA TECNICA H/V

#### 7.2.1 Distribuzione dei risultati

In base alla modalità con cui si distribuiscono i risultati dell'analisi dei rapporti spettrali H/V, in una fase preliminare i siti sono stati suddivisi in 3 categorie, i cui limiti sono stati scelti arbitrariamente sulla base del riconoscimento delle fasce in frequenza in cui compaiono i picchi di amplificazione. In Fig. 7.3 sono presentati i risultati delle analisi H/V, distinguendo casi in cui non è possibile riconoscere un picco di amplificazione, casi in cui il picco compare a frequenze inferiori a 4 Hz e casi in cui il picco compare a frequenze inferiori a 4 Hz.

In seconda battuta, si sono analizzate le distribuzioni areali delle frequenze a cui compaiono i picchi di amplificazione e delle ampiezze dei picchi stessi (Fig. 7.4). Nel primo caso si sono individuate 5 categorie, di cui 4 corrispondenti ai diversi range di frequenze in cui ricade il picco di amplificazione, ed una corrispondente all' assenza di un picco ben riconoscibile. Nel secondo caso si sono distinte 7 categorie, di cui le prime 6 corrispondenti ai diversi range di ampiezze associate ai picchi di amplificazione, ed una corrispondente al caso in cui i rapporti H/V sono pressoché piatti (ampiezza circa 1).



Amplificazione trascurabile a tutte le frequenze

**Figura 7.3:** Suddivisione preliminare dei risultati delle analisi dei rapporti spettrali H/V, distinti secondo le tre categorie enunciate nella figura.



Distribuzione della posizione dei picchi di amplificazione dei rapporti H/V

Distribuzione dell'ampiezza dei picchi di amplificazione dei rapporti H/V



**Figura 7.4:** Distribuzione areale delle frequenze associate ai picchi di amplificazione dei rapporti H/V (in alto) ed alle ampiezze dei picchi stessi (in basso).

#### 7.2.2 Discussione sui risultati

Attraverso l'analisi congiunta della distribuzione delle frequenze e dei picchi di amplificazione, e mediante le informazioni geologiche a nostra disposizione, si possono formulare le seguenti considerazioni:

#### AREA OCCIDENTALE (Zone 1 e 2)

Per quanto riguarda la Zona 1, i siti di SOC e PIA non presentano amplificazione individuabile tramite le analisi dei rapporti spettrali H/V; tale fatto risulta in buona concordanza con quanto atteso considerando la presenza di spesse coltri di depositi piroclastici recenti ed alla profondità notevole (circa 80 metri) a cui si rinviene il tetto del Tufo Giallo Napoletano – facies litoide.

I siti di BAG e di FRG si discostano un po' dai due siti precedenti, nonostante anche per essi il tetto del Tufo Giallo Napoletano si rinvenga intorno alle profondità di 80 e 94 metri rispettivamente; i picchi rilevati a basse frequenze sono ben riproducibili invocando un semplice modello monodimensionali costituito da circa 90 metri di riporti, livelli fluvio-palustri, prodotti piroclastici e pozzolane, sovrapposti all'orizzonte litoide del Tufo Giallo Napoletano.

Per quanto riguarda la Zona 2, si nota che in generale i picchi di amplificazione, dove individuabili, ricadono a frequenze relativamente alte; questo fatto concorda con lo spessore esiguo che caratterizza i riporti ed i depositi piroclastici recenti, per quanto le sole caratteristiche della stratigrafia non bastano a giustificare la posizione dei picchi e l'ampiezza di alcuni di essi. In tal senso, il sito di POS7, e subordinatamente del VOM, presentano picchi non trascurabili ed entrambi centrati intorno alle frequenze di 6 - 8 Hz.

In base alla sola considerazione che la Zona 2 risulta caratterizzata dalla presenza di uno sperone tufaceo, i risultati che ci saremmo attesi avrebbero mostrato una quasi totale assenza di amplificazione, come quanto avviene, ad esempio, per i siti POS4, CHI, e subordinatamente POS5. Da notare è l'accoppiata tra il sito POS2 e POS4, collocati rispettivamente alla sommità ed alla base di Coroglio: mentre il secondo mostra rapporti spettrali prossimi all'unità, il sito soprastante mostra una banda di debole amplificazione a basse frequenze, non giustificabile in base alle sole considerazioni litologiche.

#### AREA CENTRALE (Zone 4 e 5)

Per quanto riguarda la Zona 4, i risultati delle due misure mostrano assenza di amplificazione riconoscibile nel caso di PAR, ed una debole amplificazione a frequenze tra 2 e 4 Hz per il sito CNV. Questo fatto è alquanto singolare ed in opposizione a quanto ci saremmo potuti aspettare considerando una colonnina stratigrafica costituita da sabbie marine, terreni alluvionali e palustri sovrapposti al Tufo Giallo Napoletano, nella facies sia litoide che semilitoide, il cui tetto si trova intorno ai 30 metri di profondità. In questo caso, si può ritenere che le fonti di disturbo antropico (ad esempio il traffico sostenuto) rendono instabile il risultato delle analisi spettrali e di conseguenza non permettono il riconoscimento di una frequenza fondamentale.

Per quanto riguarda la Zona 5, i risultati ottenuti per il sito SNM sono in pieno accordo con la situazione stratigrafica tipo della porzione sud orientale del centro storico di Napoli, in cui il Tufo Giallo Napoletano è praticamente sub affiorante.

I risultati dei rapporti spettrali per i siti di SUP e PSI si discostano dal precedente, essendo caratterizzati da amplificazione tra le frequenze di 4 e 6 Hz di ampiezza circa 4. Questo risultati riescono ad esser abbastanza bene riprodotti mediante un modello monodimensionali costituto da circa 16 metri di riporti, depositi eluviali e colluviali, pozzolana sovrapposta al Tufo Giallo Napoletano. Un fattore di incertezza in questo caso risulta l'influenza di eventuali cavità nel sottosuolo, la cui presenza è evidenziata dai sondaggi disponibili nelle vicinanze dei siti investigati.

#### AREA ORIENTALE (Zone 3N, 3S e 6)

Per quanto riguarda la Zona 3N, i due siti di DOG1 e DOG2 presentano il medesimo risultato, ovvero debole amplificazione a frequenze comprese tra 2 e 4 Hz. Il sito di STA presenta analogo livello di amplificazione, ma a frequenze inferiori; tale risultato non si riesce a riprodurre attraverso modelli monodimensionali che prendano in considerazione i risultati delle analisi FTAN e/o CH – DH (Nunziata et al., 2004) oppure le colonne stratigrafiche dei sondaggi presenti in aree limitrofe. Un problema fondamentale risiede nell'individuazione del bedrock sismico in riferimento al quale calcolare la funzione di trasferimento: infatti le basse frequenze individuate presupporrebbero un bedrock profondo, quindi non assimilabile al Tufo Giallo Napoletano, la cui facies pozzolanica è collocata a circa 20 metri di profondità dal piano

campagna ed al di sotto di riporti, livelli fluvio – lacustri e palustri e cineriti. In tal caso, neanche modellando la presenza di Ignimbrite Campana al di sotto del Tufo Giallo si riescono ad ottenere valori verosimili di frequenza fondamentale; forse occorre prendere in considerazione le vulcaniti più antiche comprendenti anche colate di lava riferibili ad eruzioni locali, ma in tal caso l'incertezza del modello aumenta e risulta associata a mancanza di informazioni dettagliate sulla profondità di tali litotipi e sui parametri geofisici e geotecnici che li contraddistinguono.

Il sito ORT, collocato nella Zona 6, presenta caratteristiche del tutto analoghe al sito STA, dal quale si distingue solamente per quanto riguarda l'ampiezza del picco, che in questo caso raggiunge un valore compreso tra 2 e 3. A differenza dal precedente caso però, il picco ottenuto riesce ad esser giustificato abbastanza bene ipotizzando un modello monodimensionali costituito da 60 metri circa di riporti, livelli fluvio – lacustri e palustri e cineriti, sovrapposti a sabbie recenti e sepolte. I parametri di tale modello sono stati conformati a quanto proposto da Nunziata et al., (2000 e 2004) per quanto riguarda la caratterizzazione dell'area del Centro Direzionale, all'interno della quale ricade anche il sito da noi investigato.

Per quanto riguarda la Zona 3S, l'analisi della distribuzione delle frequenze a cui si manifestano i picchi di amplificazione e l'ampiezza di questi ultimi, evidenzia un notevole grado di disomogeneità. In generale, le frequenze di picco subiscono un decremento spostandoci dall'area nord orientale del quartiere di Ponticelli verso l'area sud occidentale; questa distribuzione non sembra esser condivisa anche dalle ampiezze assunte dai picchi dei rapporti spettrali, i quali variano da un valore pressoché unitario (PON5) fino al valore di 7, corrispondente all'ampiezza massima riscontrata tramite le analisi spettrali (PON4).

Analizzando approfonditamente i risultati, per quanto riguarda i siti che amplificano ad alta frequenza, i picchi dei siti PON2, PON4 e PON8 si riescono a giustificare bene attraverso modelli monodimensionali basati sulle informazioni stratigrafiche disponibili; in base a queste, si prevede la presenza di un bedrock sismico assimilabile al tetto del Tufo Giallo Napoletano (facies litoide), il quale si rinviene a profondità dal piano campagna variabile tra 12 metri (PON8) e 20 metri (PON2).

Per quanto concerne i siti che amplificano a frequenza intermedia, è opportuno distinguere i casi collocati nell'area meridionale da quelli collocati nell'area

settentrionale. Nello specifico, tra la prima categoria si annoverano i siti di PON3 e PON7, i cui risultati possono esser facilmente spiegati attraverso un modello monodimensionale costituito da riporti, prodotti piroclastici flegrei e pozzolane, sovrapposti al bedrock sismico assimilabile a tufi antichi ascrivibili al Somma Vesuvio; il tetto di tale formazione si rinviene di solito intorno ai 30 metri di profondità dal piano campagna. Nella seconda categoria sono compresi i siti di PON6 e PON11, i cui picchi non possono esser giustificati semplicemente: infatti, le stratigrafie disponibili evidenziano la mancanza di un bedrock sismico campionato dai sondaggi, per cui bisogna ricorrere o al tetto del Tufo Giallo Napoletano nella sua facies semilitoide (a circa 30 metri di profondità), oppure estrapolare le stratigrafie del Centro Direzionale, e ricorrere ad un bedrock sismico assimilabile ai tufi antichi vesuviani (a circa 36 metri di profondità).

Per quanto riguarda l'unico sito che amplifica a basse frequenze (PON9), esso mostra forti analogie con i siti di STA e ORT, per cui possono esser assunte valide le considerazioni espresse in quei casi.

#### 7.3 TEMATICHE APERTE E PROSPETTIVE FUTURE

Con la presente tesi di dottorato si è inteso fornire un contributo alla problematica della misura di vibrazioni naturali all'interno di un ambiente urbano estremamente antropizzato, con la duplica finalità di valutarne le caratteristiche spettrali e di fornire una stima quantitativa del livello di vibrazioni riscontrate.

In questa ottica, i risultati forniti risultano preliminari, poiché sono associati ad un primo tentativo, mai effettuato prima a Napoli, di effettuare numerose registrazioni di rumore in varie zone della città; la finalità del lavoro è stata quella di integrare il database sulle conoscenze circa le caratteristiche geofisiche dei vari siti e di testare le condizioni sperimentali di applicabilità delle analisi dei rapporti spettrali e delle stime sui livelli di vibrazioni in conformità alla normativa vigente in materia.

Per quanto riguarda i risultati forniti dall'analisi dei rapporti spettrali, si è riscontrata una buona correlazione con l'individuazione della frequenza fondamentale di un sito qualora il segnale registrato non sia mascherato eccessivamente dal rumore. Tra i punti aperti resta quindi l'esigenza di effettuare misure in condizioni sperimentali ottimali al fine di riconoscere la frequenza fondamentale di ogni sito, affiancando ad esempio misure in free field alle misure effettuate all'interno di edifici, ed inoltre abbinare modellazioni numeriche più complesse (modelli 2D, influenza della topografia etc.) per l'interpretazione dei risultati dei rapporti H/V per siti le cui caratteristiche geologiche non bastino da sole a giustificare le frequenze di amplificazione riscontrate.

Inoltre, al fine di avere un quadro completo circa l'influenza delle condizioni sperimentali di acquisizione, occorrerebbe diminuire l'intervallo spaziale tra le misure effettuate, ed operare un monitoraggio di modo che vengano campionati segnali in diversi orari e con differenti condizioni al contorno (condizioni atmosferiche, traffico etc.); questo suggerimento risulta particolarmente adeguato per quei siti che, tramite il primo screening effettuato in questo lavoro, sono stati individuati per i livelli di vibrazioni associati oppure per le caratteristiche di amplificazione sismica plausibile.

Per quanto riguarda l'applicazione delle normative UNI 9916 e 11048 finalizzate alla stima dei livelli delle vibrazioni all'interno di edifici, il presente lavoro fornisce una proposta di metodologia finalizzata all'applicazione delle raccomandazioni contenute nelle norme stesse; nello specifico, l'ideazione di una metodologia di calcolo è stata resa necessaria a causa della nebulosità che contraddistingue le modalità di calcolo proposte per stimare i livelli delle vibrazioni. Inoltre, le analisi effettuate hanno permesso di stimare l'adeguatezza delle soglie di vibrazioni previste dalle norme stesse e di quantificarne il confronto rispetto ai livelli misurati. In questa ottica, i risultati forniti si prefigurano come preliminari, essendo essi ben rappresentativi di alcune categorie edilizie (abitazioni) oppure di condizioni sperimentali di acquisizione (orario notturno).

In conclusione, nel futuro si auspica l'ampliamento e l'integrazione delle acquisizioni di rumore sismico, investigando differenti tipologie di edifici ed effettuando un monitoraggio più costante dei siti critici i cui livelli di vibrazioni risultano più elevati e/o sono legati a tipologie edilizie d'importanza strategica civile, economica o militare.

# RINGRAZIAMENTI

Desidero ringraziare in primo luogo la Prof.ssa Nunziata per avermi dato l'opportunità di svolgere questo Dottorato di Ricerca ed il Dott. Milana per gli interessanti spunti di discussione ed il referaggio della presente tesi.

Un doveroso ringraziamento va anche ai Dott. Marsan e Gorini del Servizio Sismico – Dip. Protez. Civile ed al Dott.Rovelli dell'I.N.G.V. per aver condiviso alcuni dati di *weak motion* riferiti ai due eventi sismici analizzati.

E' con estrema riconoscenza che cito i Dott. Boatwright, Spudich e Fletcher dello U.S.-Geological Survey di Menlo Park, California, per avermi fatto crescere professionalmente e per avermi guidato lungo l'apprendimento del linguaggio di programmazione in ambiente Matlab.

Ringrazio inoltre le persone che mi hanno coadiuvato nell'acquisizione dei segnali sismici, primi tra tutti Antonella Agrillo, Enzo Arrichiello, Raffaele Viola, Teo Esposito e Danilo Galluzzo. Desidero esprimere gratitudine nei confronti delle persone e delle istituzioni che hanno messo a disposizione i loro locali per l'installazione delle stazioni temporanee, ovvero i Professori Ciampo, Sgarrella, Esposito ed Incoronato del Dip. di Scienze della Terra, il Dip. di Scienze Politiche ed il Museo di Paleontologia all'interno del Complesso di San Marcellino, la scuola materna "Chiara d'Assisi"di Via Stadera, le Direzioni Sanitarie dell'Ospedale "Don Bosco" e del P.S.I. Elena d'Aosta, il Comando dei Vigili Urbani di Via de Giaxa, la Soprintendenza Speciale per il Polo Museale Napoletano, il Dirigente e l'Ufficio Tecnico del Museo di Capodimonte, i Dirigenti e l'Ufficio Tecnico della Parrocchia "San Giovanni Battista" di Soccavo ed il Parroco della chiesa "Maria Santissima della Neve" di Ponticelli, la Ditta FELACO, il Comando di Polizia di Posillipo, il proprietario del negozio "Abbigliamento Napoletano" di Corso Novara, l'officina meccanica "Salvati" di Poggioreale, le Famiglie Agrillo ed Arrichiello ed i loro amici e parenti, Ivo di Chiaia ed il gentile coinquilino srilankese dello stabile sito nella zona dei Vergini.

In ultimo, ma non di minore importanza, rivolgo un pensiero speciale alle persone che con il loro sostegno ed incoraggiamento mi hanno accompagnato durante questi anni di lavoro, tra cui la mia famiglia, Esteban, i miei amici Giulio, Alex, Eileen, le mie coinquiline "pseudo sorelle" di Napoli ed i miei compagni dell'Università tra cui Michele Nappi, Sara Minopoli, Cinzia Scotellaro e Fabio Todisco.

### **BIBLIOGRAFIA**

AA.VV. (1967): "Stratigrafie dei sondaggi riportati nella carta geologico-tecnica della citta` di Napoli". *A.G.I. VII Convegno di Geotecnica* "Il sottosuolo di Napoli", Appendice A.

Aki K., (1957): "Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors". *Bull. Earthquake. Res. Inst. Tokyo*, **35**, 415-457.

Aki K. (1965): "A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust". *Geophysics* **30**, 665-666.

Arai H. et K. Tokimatsu (1998): "Evaluation of local site effects based on microtremor H/V spectra". *Proceeding of the Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion.* Yokohama, Japan. **2** 673-680.

Arai H. et K. Tokimatsu (2000): "Effects of Rayleigh and love waves on microtremor H/V spectra". *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand. **2232**.

Arai H. et K. Tokimatsu (2004): "S-wave velocity profiling by inversion of microtremor H/V spectrum". *Bull. Seism. Soc. Am.*, **94**(1), 53-63.

Asten M. W. (1978): "Geological control of the three-component spectra of Rayleigh wave microseisms". *Bull. Seism. Soc. Am.*, **68**(6), 1623-1636.

Asten M. W. et J. D. Henstridge (1984): "Arrays estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins". *Geophysics*, **49**(11), 1828-1837.

Baldi A., Di Vito M., Luongo G., Mitraglino P. (1993): "Napoli sopra e sotto (Storia e Scienze del suolo e sottosuolo di Napoli)", Torre Editrice s.r.l., Napoli.

Baratta M. (1901): "I terremoti d'Italia", A. Formi Editore.

Barba S. (1993): "Studio delle proprietà del campo d'onda relative al rumore sismico attraverso tecniche di array". *Tesi di Laurea in Fisica, Università degli Studi di Salerno*, AA 1992/93 Relatori Del Pezzo e Milana.

Bard P.-Y. (1998): "Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?" *Proceeding of the Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*. Yokohama, Japan. **3** 1251-1279.

Bonilla, L.F, Steidl, J.H., Lindeley, G.T., Tumarkin , A.G., and Archuleta, R.J. (1997): "Site Amplification in the San fernando Valley, California: Variabilità of Site Effect Estimation Using the S-wave, Coda and H/V Methods, *Bull. Seismol. Am.* **87**, 710 – 730.

Bonnefoy-Claudet, S. (2004): "Nature du bruit de fond sismique: implications pour les études des effets de site". *Tesi di Dottorato, Université Joseph Fourier – Grenoble I, Observatoire de Grenoble et LAB. Geophysique Interne et de tectonophysique.* 216 pp.

Borcherdt, R.D. (2002): "Empirical evidence for site coefficients in building code provision", *Earthquake Spectra* **18**(2) pp. 189-218.

Borcherdt, R. D. (2002): "Empirical evidence for acceleration-dependent amplification factors", *Bull. Seism. Soc. Am.* **92**(2) pp. 761-782.

Borcherdt, R.D. (1994): "Estimates of site-dependent response spectra for design (Methodology and justification)", *Earthquake Spectra* **10**(4) pp. 617-650.

Borcherdt, R.D. (1989): "The Loma Prieta, California, earthquake of October 17, 1989 – Strong ground motion", U.S.G.S. Professional Paper 1551-A.

Borcherdt, R.D. and Gibbs, J. (1976): "Effects of local geological conditions in the San Francisco bay region on ground motions and the intensities of the 1906 earthquake", *Bull. Seism. Soc. Am.* **66**(2) pp.467-500.

Borcherdt, R. D. (1970): "Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay". *Bull. Seism. Soc. Am.* **60**, 29-61.

Capon J. (1969): "High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis". IEEE. 57 1408- 1419.

Capon J., R. J. Greenfield et R. J. Kolker (1967): "Multidimensional maximum - likehood processing of a large-aperture seismic array". *IEEE*. **55** 192-211.

Chouet B. (2003): "Volcano Seismology". Pure appl. Geophys., 160, 739-788.

Chouet B., G. De Luca, G. Milana, P. Dawson, M. Martini et R. Scarpa (1998): "Shallow velocity of Stromboli volcano, Italy, derived from small-aperture array measurements of Strombolian tremor". *Bull. Seism. Soc. Am*, **88**(3), 653-666.

Chouet B., Dawson P., De Luca G., Martini M., Milana M., Saccaroti G., Scarpa R. (1998): "Array analyses of seismic wavefields radiated by eruptive activity at Stromboli Volcano, Italy". *CNR - Gruppo Nazionale per la Vulcanologia* Editions, Felici Ed. 158 pp.

Cole P.D. and Scarpati C. (1993): "A facies interpretation of the eruption and emplacement mechanisms of the upper part of the Neapolitan Yellow Tuff, Campi Flegrei, southern Italy", *Bullettin of Volcanology*, **55**, 311–326.

Comune di Napoli (1994): "Indagini geologiche per l'adeguamento del P.R.G. alla legge regionale 7-1-1983 n.9 in difesa del territorio dal rischio sismico".

Cornou C. (2002):"Traitement d'antenne et imagerie sismique dans l'agglomération grenobloise (Alpes françaises): implications pour les effets de site (In french)". *Laboratoire de géophysique interne et tectonophysique, thèse de doctorat, Université Joseph Fourier*, 260pp.

Costa, G., Nunziata, C., Panza, G.F., (1997): "Ground Motion in the City of Naples from the 1980 Irpinia Earthquake". *EUG*.

Croce, A. and Pellegrino, A. (1967): "Il sottosuolo della citta di Napoli. Caratterizzazione geotecnica del territorio urbano". *Ass. Geotecnica Italiana, Atti VIII Convegno di Geotecnica*, pp. 233-253.

dé Gennaro M., Langella A. (1996): "Italian zeolitized rocks of technological interest", *Mineral Deposita*, **31**, 452 – 472.

Douze E. J. (1964): "Rayleigh waves in short-period seismic noise". Bull. Seism. Soc. Am., 54(4), 1197-1212.

Douze E. J. (1967): "Short-period seismic noise", Bull. Seism. Soc. Am., 57(1), 55-81.

Duval, A.M., P. Y. Bard, J.P. Meneroud and S. Vidal (1994): "Usefulness of microtremor measurements for site effect studies". *Proceedings on the 10<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering, Vienna. Austria*, Balkema, Duma Ed. I, 521-528.

Esposito, E., Porfido, S., Luongo, G., Petrazzuoli, S.M., (1992): "Damage scenarious induced by the major seismic events from XV to XIX century in Naples city with particular refection to the seismic response", *Proc. Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, 1075–1080.

Fäh, D. (1992): "A Hybrid Technique for the Estimation of Strong Ground Motion in Sedimentary Basins", Ph.D. thesis Nr. 9767, Swiss *Federal Institute of Technology*, Zurich.

Fäh D., F. Kind et D. Giardini (2001): "A theoretical investigation of average H/V ratios". *Geophysical Journal International*, **145**(2), 535-549.

Field E.H. (1996): "Spectral amplification in a sediment-filled valley exhibiting clear basin-edge-induced waves", *Bull. Seism. Soc. Am.* **86**(4), 991-1005.

Field E.H. et K. Jacob (1993): "The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise". *Geophysical Research Letters*, **20**(24), 2925-2928.

Field E.H. et K. Jacob (1995): "A comparison and test of various site response estimation techniques, including three that are non reference-site dependent". *Bull. Seism. Soc. Am.* **85**, 1127-1143.

Frankel A., Hough S., Friberg P., Busby R. (1991): "Observation of Loma Prieta Aftershocks from a Dense Array in Sunnyvale, California". *Bull. Seism. Soc. Am.* **81**(5), 1900-1922.

Fratta A. (2000): "Il Complesso di San Marcellino Storia e Restauro", Fridericiana Ars - Fridericiana Editrice Universitaria.

Fumal, T. E. and Borcherdt, R.D. (1978): "Correlation between seismic wave velocity and physical properties of geologic material San Francisco Bay region, California", U.S.G.S. Open File report 78-1067, 113 pp.

Guadagno, F.M., Nunziata, C., and Rapolla, A. (1992): "Dinamic parameters of vulcanoclastic soils and rock of Campi Flegrei (Naples, Italy), *Vulcanic Seismology, IAVCEI Proceedings in vulcanology*, Springer-Verlag, pp. 533-546.

Giampaola D. (2000): "Archeologia urbana all'Università. Il contributo della ricerca archeologica allo studio del complesso di San Marcellino" – in "Il complesso di San Marcellino Storia e Restauro" a cura di Arturo Fratta, Fridericiana Ars – Fridericiana Editrice Universitaria.

Goldstein P. (1988): "Array measurements of earthquake rupture". *Tesi di Dottorato, Univ. of California, Santa Barbara, California* 

Goldstein P. and Archuleta R.J. (1987): "Array analysis of seismic signals". *Geophysical Research Letters*, **14**, 13-16.

Goldstein P. and Archuleta R.J. (1991): "Deterministic Frequency - Wavenumber Methods and Direct Measurements of Rupture Propagation During Earthquakes Using a Dense Array: Theory and Methods". *Journal of Geophysical Research*, **96**(B4), 6173-6185.

Goldstein P. and Archuleta R.J. (1991): "Deterministic Frequency - Wavenumber Methods and Direct Measurements of Rupture Propagation During Earthquakes Using a Dense Array: Data Analysis". *Journal of Geophysical Research*, **96**(B4), 6187-6198.

Guidoboni E. (1989): "I terremoti prima del Mille in Italia e nell'area mediterranea", I.N.G.V., Roma.

Gutenberg B. (1958): "Microseisms". Advan. Geophys., 5, 53-92.

Horike M. (1985): "Inversion of phase velocity of long-period microtremors to the S-wave velocity structure down to the basement in urbanized areas". *Journal of Physics of the Earth*, **33**, 59-96.

Horike M. (1996): "Geophysical exploration using microtremor measurements". *Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering*. Acapulco, Mexico.

Hough, S.E., E.H. Field and K.H. Jacob (1991): "Using microtremors to assess site-specific earthquake hazard". *Proceedings of the Forth International Conference on Seismic Zonation, Stanford, CA. August 1991.* **3**, 585-592

Hough, S.E., L. Seeber, A. Rovelli, L. Malagnini, A. DeCesare, G Selvaggi and A. lerner-Lam, (1992): "Ambient noise and weak motion excitation of sediment resonances: results form the Tiber Valley, Italy". *Bull. Seism. Soc. Am.* **82**, 1186-1205.

Ibs-Von Seht M. et J. Wohlenberg (1999): "Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments.". *Bull. Seism. Soc. Am*, **89**(1), 250-259.

Irikura, K., et Kawanaka (1980): "Characteristics of microtremors on ground with discontinuous underground structure". *Bull. Disaster Prev. Inst. Kyoto Univ.*, **30**, 81-96

Kanai K. et T. Tanaka (1961): "On microtremors". VIII. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, **39**, 97-114.

Kobayashi, H. (1997): "On high-density observations of microtremors for urban developing area". *Japanese document, in Japanese with English abstract*, 61-71.

Konno K. et T. Ohmachi (1998): "Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor", *Bull. Seism. Soc. Am*, **88**(1), 228-241.

Kudo K. (1995): "Practical estimates of site response. State-of-art report". *Proceedings of the fifth International Conference on Seismic Zonation*. Nice, France.

La Rocca, M. (2000): "Circuito per la calibrazione dei sismometri", *Osservatorio Vesuviano Open file report* 8 – 2000.

Lachet C. et P.-Y. Bard (1994): "Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique". *Journal of Physics of the Earth*, **42**(4), 377-397.

Lermo J. et F. J. Chavez-Garcia (1993): "Site effects evaluation using spectral ratios with only one station". *Bull. Seism. Soc. Am*, **83**(5), 1574-1594.

Lermo J. et F. J. Chavez-Garcia (1994): "Site effect evaluation at Mexico city: Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records". *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **13**(6), 413-423.

Lermo J., M. Rodriguez and S.K. Singh (1988): "Natural periods of sites in the valley of Mexico from microtremors measurements and strong motion data". *Earthquake Spectra*. **4**(4), 805-814.

Li T. M. C., J. F. Ferguson, E. Herrin et D. H. B. (1984): "High-frequency seismic noise at Lajitas, Texas". *Bull. Seism. Soc. Am*, **74**(5), 2015-2033.

Liu, H.-P., D.M. Boore, W.B. Joyner, D.H. Oppenheimer, R.E. Warrick, W. Zhang, J.C. Hamilton, and L.T. Brown (2000): "Comparison of Phase Velocities from Array Measurements of Rayleigh Waves Associated with Microtremor and Results Calculated from Borehole Shear-Wave Velocity Profiles". *Bull. Seism. Soc. Am.* **90**(3), 666-678.

Louie, J.N. (2001): "Faster, Better: Shear-Wave Velocity to 100 Meters Depth From Refraction Microtremor Arrays". *Bull. Seism. Soc. Am.* **91**(3), 347-364.

Luongo G. (2001): "Sismicità e Vulcanismo" in A. Vallario " L'ambiente geologico della Campania", CUEN, Napoli, 91–109.

Malagnini, L., Tricarico, P., Rovelli, A., Herrmann, R.B., Opice, S., Biella, G., de Franco R. (1996): "Explosion, earthquake, and ambient noise recordings in a Pliocene sediment-filled valley; influences on a seismic response properties by reference and non-reference- site techniques". *Bull. Seism. Soc. Am.* **86**, 670-682.

Mele, R., Nunziata, C. (1996): "Valutazione in situ ed in laboratorio delle velocita` delle onde di taglio di piroclastiti campane". *Atti XIV*° *G.N.G.T.S.*, pp. 501–508.

Mele, R. (1994): "Parametrizzazione dinamica di rocce piroclastiche sciolte e litoidi dei centri eruttivi campani in differenti situazioni litostratigrafiche." *PhD Thesis, Universita' di Napoli "Federico II"*.

Milana, G. (2003): personal communication.

Milana G., S. Barba, E. Del Pezzo et E. Zambonelli (1996): "Site response from ambient noise measurements: New perspectives from an array study in central Italy". *Bull. Seism. Soc. Am*, **86**(2), 320-328.

Nakamura Y. (1989): "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface". *Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst.*, **30**(1), 25-30.

Nakamura Y. (2000): "Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications". *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand.

Nogoshi M. et T. Igarashi (1971): "On the amplitude characteristics of microtremor (part 2)" (*in japanese with english abstract*). *Journal of Seismological Society of Japan*, **24**, 26-40.

Nunziata, C., Luongo, G., Panza, G.F. (2000): "Mitigation of seismic hazard in Naples and the protection of cultural heritage". *Proc. 2nd European Conference on Global Change and Catastrophe Risk Management: Earthquake Risk in Europe, IIASA*, Laxenburg, Austria.

Nunziata C. (2004): "Seismic ground motion in Napoli for the 1980 Irpinia earthquake". *Pageoph*, **161**, 5/6, 1239-1264.

Nunziata C., Natale M., G.F. Panza, (2004) Seismic characterization of neapolitan soils. *Pageoph*, **161**, 5/6, 1285-1300.

Nunziata, C., Natale, M., Panza, G.F. (2000): "Sound design criteria of reinforcement of historical buildings at Naples". *Proc. World Meeting "The human being and the city towards a human and sustainable development"*, Napoli.

Nunziata, C., Costa, G., Natale, M., Panza, G.F. (1999): "FTAN and SASW methods to evaluate Vs of neapolitan pyroclastic soils", *Eathquake Geotechnical Engineering*, Balkema, **1**, 15-19.

Nunziata, C., Costa, G., Natale, M., Vuan A., Panza G.F. (1999): "Shear wave velocities and attenuation from Rayleigh waves". In *Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials*, Balkema, 365-370.

Nunziata, C., Mele, R., Natale, M. (1999): "Shear wave velocities of the Campi Flegrei - Neapolitan deposits and the primary influencing factors". *Engineering Geology*, **54**, 299-312.

Nunziata, C., Natale, M., Panza, G.F. (1999): "Estimation of cavity on response spectra for the 1980 earthquake in the historical center of Naples", *Earthquake Geotechnical Engineering*, **1**, Balkema, 9-14.

Nunziata, C., Vaccari, F., Fäh, D., Luongo, G., Panza, G.F. (1997): "Seismic ground motion expected for the eastern district of Naples", *Natural Hazards*, **15**(2-3), 183-197.

Ohmachi T. et T. Umezono (1998): "Rate of Rayleigh waves in microtremors". *Proceeding of the Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*. Yokohama, Japan. **2** 587-592.

Okada H. (2003): "The Microtremor Survey Method". Translated by Suto, Society of Exploration Geophysicists, *Geophysical Monograph Series 12*, 135 pp.

Orsi, G., de Vita, S., di Vito, M. (1996): "The restless resurgent Campi Flegrei nested caldera Italy: constraints on its evolution and configuration". *J. Volcanol. Geotherm. Res.* **74**, 179–214.

Ottaviani, M. (1988): "Proprieta' geotecniche di tufi vulcanici italiani". Riv. It. Geotec. XXII (3), 173-178.

Postpischl D (1985): "Atlas of isoseismical maps of italian eathquarkes", PFG, CNR, Bologna.

Rosi, M., Sbrana, A. (1987): "Phlegrean Fields". *Quaderni de 'La Ricerca Scientifica'*, **114** (8) C.N.R. Prog. Fin. "Geod.", 1–175.

Saccaroti G., Chouet B., and Dawson P. (2003): "Shallow-velocity models at the Kilauea Volcano, Hawaii, determined from array analyses of tremor wavefields". *Geopys. J. Int.*, **152**, 633-648.

Scherbaum, F. (1996): "Of poles and zeroes. Fundamentals in digital seismometry", Kluwer academic.

Schmidt R.O. (1981): "A signal subspace approach to multiple emitter location and spectral estimation". *Tesi di Dottorato, Stanford Univ.*, California.

Schmidt R.O. (1986) "Multiple emitter location and signal parameter estimation". *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, Vol. **AP-34**, 276-280.

Seekins, L.C., L. Wennerberg, L.Margheriti and H.P.Liu (1996): "Site amplification at five locations in San Francisco, California: a comparison of S waves, codas and microtremors". *Bull. Seism. Soc. Am.* **86**(2), 627-635.

Seo K. (1997): "Comparison of measured microtremors with damage distribution".

Tokimatsu K. (1997): "Geotechnical site characterization using surface waves". *Proceedings of the First International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*. **3**, 1333-1368.

Tokimatsu K., H. Arai et Y. Asaka (1996): "Three-dimensional soil profiling in Kobe area using microtremors". *Proceedings of the 11th World Conference on Earthquake Engineering*. Acapulco, Mexico. 2

Vinale, F. (1998): "Microzonazione sismica di un'area campione di Napoli", *Rivista Italiana di Geotecnica*, **XXII**, 3, 141-162.

Vinale, F. (1988): "Caratterizzazione del sottosuolo di un'area campione di Napoli ai fini di una microzonazione sismica", *Rivista Italiana di Geotecnica* **XXII**, 77-100.

Wielandt, E.: "Seismic sensors and their calibration". In "New *Manual of Observatory Practice*", ed. Peter Bormann and Erik Bergmann; download dal sito web: www. geophys.uni-stuttgart.de.

Zamora, M., Sartoris, G., Chelini, W., (1994): "Laboratory measurements of ultrasonic wave velocities in rocks from the C. F. volcanic system and their relation to other field data". *J. Geophys. Res.* **99**, 13553–13561.

Zarè, M., P.Y.Bard and M. Ghafory-Ashtiany (1998): "Site categorization for the Iranian strong motion network". *Proceedings of the10th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Elsevier Science Ltd.* **1646** 

Zhao. B.M. M. Horike and Y. Takeuchi (1998): "Reliability of estimation of seismic ground characteristics by microtremor observation". *Proceedings of the 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, Bisch, Labbè & Pecker Ed., Balkema 1998.* 

Yamamoto H. (2000): "Estimation of shallow S-wave velocity structures from phase velocities of Love and Rayleigh waves in microtremors". *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*. Auckland, New Zealand.

Yamanaka H., M. Dravinski et H. Kagami (1993): "Continuous measurements of microtremors on sediments and basement in Los Angeles, California". *Bull. Seism. Soc. Am*, **83**(5), 1595-1609.