**STUDIO ASSOCIATO BELLINI**
G e o l o g i

Prof. Dott. Alfonso Bellini
tel/fax: 010 566277

Dott.ssa Valeria Bellini
tel/fax: 010 586503

# LA MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI RAPALLO

*(Il presente studio è stato redatto in recepimento delle osservazioni dei competenti uffici regionali e provinciali alle indagini geologiche contenute nel progetto preliminare del PUC)*

Via Galata 9/1 – 16121 Genova
PARTITA IVA e C.F. 01270990995

e-mail: info@studioassociatobellini.eu

**INDICE**

**I. LA MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI RAPALLO. ..... 2**
I.1. - Introduzione. ..... 2
I.2. - Definizioni. ..... 3
I.3. – Metodologia. ..... 4
I.4. – Riferimenti normativi. ..... 5
**II. LA PERICOLOSITA' SISMICA. ..... 7**
II.1. – Definizioni ..... 7
II.2. – Pericolosità sismica a Rapallo. ..... 14
II.3. - Metodologie di indagine adottate. ..... 20
II.4. - Posizione dei punti di misura. ..... 23
II.5. - Analisi di "Nakamura". ..... 23
**III. ANALISI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI. ..... 26**
III.1. - Interpretazione dei dati della rete sismica. ..... 26
III.2. - Analisi ed interpretazione dei dati con metodo Nakamura. ..... 45
**IV. CONCLUSIONI. ..... 58**
**Bibliografia: ..... 61**

# I. LA MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI RAPALLO.

## I.1. - Introduzione.

Nell'ambito dell'indagine geologica per il PUC della Città di Rapallo, in considerazione del fatto che il territorio comunale risulta classificato in zona sismica 3B ai sensi della D.G.R. n. 1308 del 24.10.2008, é stato effettuato uno studio di Microzonazione sismica che, dal punto di vista metodologico, rappresenta un'applicazione sperimentale delle linee guida contenute nel documento "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" a cura del Dipartimento della Protezione Civile e della Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome.

Il lavoro svolto ha potuto usufruire di una serie di dati e misure strumentali appositamente pianificate, gestite e interpretate per lo svolgimento della tesi di Laurea triennale in Scienze Geologiche della Dott.ssa Silvia Torchio, che avuto come relatori uno degli scriventi insieme al Prof. Daniele Spallarossa del DIPTERIS - Università di Genova e che ha visto la fattiva collaborazione dell'Amministrazione Comunale che ha reso disponibili locali e accessi per l'installazione di apposita strumentazione.

Nel lavoro svolto, sono state effettuate elaborazioni per valutare l'applicabilità di diverse metodologie di indagine per la realizzazione degli studi di Microzonazione sismica di "livello 2"; dove, per "livello 2", si intendono analisi che introducono elementi quantitativi nella caratterizzazione delle aree omogenee già individuate attraverso indagini preliminari.

Mediante l'utilizzo di metodi propri della sismologia sperimentale, si è tentato di validare alcune considerazioni propedeutiche di Microzonazione sismica, ricavate essenzialmente da dati bibliografici e cartografici ("livello 1") e, contestualmente, è stata verificata l'effettiva utilità di tali metodi per la realizzazione di studi di livello superiore.

## I.2. - Definizioni.

Per microzonazione sismica MS si intende la “valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo”.

La pericolosità sismica locale si definisce come la “componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali – litostratigrafiche e morfologiche. Si studia a scala di dettaglio a partire dall’analisi del terremoto di riferimento, analizzando i caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici e geofisici del sito. Permette di definire le amplificazioni locali e la possibilità che si verifichino fenomeni di instabilità del terreno.

In sostanza, lo studio di MS viene sintetizzato in una carta del territorio nella quale sono indicate:

- le zone in cui il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante (suoli di categoria A delle NTC 2008). Pertanto gli scuotimenti attesi sono equiparati a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base, per i quali la Città di Rapallo è stata classificata in zona 3B, con accelerazione orizzontale massima su suolo di categoria A pari a 0.10 g;
- le zone in cui il moto sismico viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche litostratigrafiche del terreno e/o geomorfologiche del territorio;
- le zone in cui sono presenti o suscettibili di attivazione fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazione, cedimenti differenziali, fagliazione superficiale).

Le norme sismiche regionali ai fini della pianificazione e gestione territoriale (peraltro ancora in fase di elaborazione) prevedono l'esecuzione di specifiche analisi per tutte le aree esposte al rischio sismico.

Nelle more di emanazione del documento finale è stata seguita la metodologia indicata nel documento degli indirizzi e dei criteri nazionali.

Innanzitutto è stata traguardata la microzonazione di "livello 1" che rappresenta un livello propedeutico ai veri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati geologici, geognostici e geotecnici preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle fenomenologia sopra elencate.

Con il ricorso a dati e misure sperimentali è anche stato possibile introdurre l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee, in termini di frequenze e velocità media delle onde di taglio (Vs).

In esito allo studio realizzato, è stata compilata una carta del territorio comunale (**TAV. G6**) basata sull'analisi dei dati geologici e geotecnici disponibili per la zona, con particolare attenzione alla piana alluvionale del Torrente Boate, sulla cartografia geologica del Piano e su dati sismologici appositamente acquisiti.

## I.3. – Metodologia.

Lo studio, realizzato nel 2007, è stato congegnato in tre distinte fasi:

A) "livello 1": individuazione delle aree del territorio a comportamento omogeneo. Gli studi svolti in questa fase, avviati a partire dalla cartografia geologica del progetto preliminare del PUC, sono stati decisivi per orientare e pianificare le indagini della fase successiva (i.e: tipo di analisi, localizzazione dei punti di misura, etc). Nel dettaglio le attività hanno riguardato:

- ricerca bibliografica, consultazione di studi, pubblicazioni e relazioni geologiche riguardanti il territorio del Comune di Rapallo e acquisizione di dati geognostici e geotecnici;
- rilevamento geologico di campagna e controlli di terreno;

Sulla base delle informazioni raccolte è stata elaborata una Carta delle indagini, specificatamente riferita alla piana alluvionale del T. Boate.

B) “livello 2”: pianificazione e realizzazione di una campagna di misure sismologiche finalizzata all'individuazione di fenomeni di amplificazione sismica in base alle registrazioni di eventi sismici e/o rumore ambientale (“noise sismico”). Le attività sperimentali sono state condotte nei mesi di Luglio, Agosto e Settembre 2007 ed hanno riguardato:

- installazione di una micro-rete sismica composta da 4 stazioni;
- registrazione di rumore sismico o noise sismico.

In base all'elaborazione degli eventi sismici locali registrati è stato possibili stimare i fattori di amplificazione (Fa) e le frequenze fondamentali in corrispondenza dei quattro siti di installazione della micro-rete sismica.

Per contro, attraverso le analisi del noise sismico, utilizzando il metodo di “Nakamura” sono state stimate le frequenze fondamentali per circa 32 siti. Sono state quindi redatte le carte rappresentative delle frequenze fondamentali, della profondità del bedrock e della velocità media delle onde di taglio (Vs).

C) Sintesi: interpretazione critica di tutte le informazioni disponibili e dei risultati della campagna di misure al fine di redigere la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica per il Comune di Rapallo.

## I.4. – Riferimenti normativi.

La Legge Regionale del 21 Luglio 1983 n. 29, successivamente sostituita dalla Legge Regionale del 20 Ottobre 2006 n 29, mette in capo alla Giunta Regionale la definizione di criteri e linee guida per la stesura delle indagini e degli studi geologici a corredo degli strumenti urbanistici generali ed attuativi, in ragione delle differenti classi di pericolosità sismica attribuite al territorio regionale. Tali criteri

comprendono le indicazioni sulle modalità di adeguamento degli Strumenti Urbanistici, in base alla classe sismica di appartenenza di ogni singolo Comune, come sancita dalla DGR. N. 530 del 16 Maggio 2003 e successivamente modificata con DGR N. 1308 del 24.10.2008, attualmente vigente.

Secondo tali norme e con riferimento alla legislazione nazionale in materia, le indagini volte ad individuare le caratteristiche strutturali delle rocce e la stabilità dei pendii, in stretto rapporto alle previsioni insediative degli strumenti urbanistici, devono essere condotte in prospettiva sismica e finalizzate alla definizione di aree di possibile pericolosità in caso di evento sismico. Vengono disposti ulteriori accertamenti in merito alla franosità, alle coltri incoerenti, alla tettonica, alle emergenze idriche e alle condizioni delle falde per verificare la fattibilità di insieme delle opere previste. Tali accertamenti devono evidenziare:

- l'inquadramento geologico e geomorfologico;
- gli allineamenti tettonici principali ed in particolare la fagliazione e fratturazione locale;
- le caratteristiche fisico-meccaniche degli affioramenti;
- frane in atto, potenziali, quiescenti o stabilizzate;
- le caratteristiche delle coltri incoerenti in riferimento alla possibilità di fenomeni di mobilizzazione e di liquefazione;
- le caratteristiche litologico-strutturali suscettibili di amplificare l'intensità dei fenomeni sismici.

# II. LA PERICOLOSITA' SISMICA.

## II.1. – Definizioni

Si definisce pericolosità sismica, indicata con P, qualsiasi effetto fisico, diretto o indotto, riconducibile a terremoti e capace di provocare danni alle attività umane. È una caratteristica intrinseca del territorio legata solo al fenomeno naturale: dipende infatti dalla severità delle sorgenti sismiche, dalla distanza ipocentrale e dai caratteri geologici, geomorfologici e geotecnici dell'area. Per stimare P è dunque necessario caratterizzare la sorgente, definire le leggi di attenuazione ed individuare i possibili effetti locali.

Da un punto di vista probabilistico P rappresenta la probabilità che un valore prefissato di pericolosità, espresso da un parametro di moto sismico del suolo (ground motion) o da un grado di intensità macrosismica, venga superato in un sito entro un prefissato periodo di tempo. In altre parole è quindi la probabilità di accadimento di un evento sismico di determinate caratteristiche (intensità, magnitudo) in un intervallo di tempo definito.

La pericolosità sismica, insieme a vulnerabilità ed esposizione, serve a valutare il rischio sismico, ovvero le perdite derivanti dall'evento in termini di vittime e danni diretti e indiretti (lesioni e crolli dei manufatti, frane sismoindotte etc), secondo la seguente relazione:

$$R = P \times V \times E$$

Dove V rappresenta la vulnerabilità, cioè l'attitudine dei beni a subire un certo livello di danno ed E l'esposizione ovvero il valore economico degli stessi.

La mitigazione del rischio non passa però attraverso la riduzione di P, poiché l'uomo non può modificarla essendo questa uno degli aspetti propri del territorio. Ciò su cui si può agire è la vulnerabilità che è possibile diminuire progettando e costruendo in maniera adeguata in funzione delle caratteristiche sismiche della zona.

Per questo motivo è di vitale importanza valutare e conoscere in dettaglio la pericolosità di un area.

La Seismic Hazard Analysis (SHA), ovvero la stima della pericolosità sismica, si propone di valutare gli effetti di terremoti futuri e può essere effettuata basandosi su due differenti approcci, quello deterministico e quello probabilistico.

La Probabilistic Seismic Hazard Analysis (PSHA) è un processo che consente di descrivere in modo probabilistico le caratteristiche di un terremoto e di associare a queste un periodo di ritorno o un tasso di eccedenza.

I risultati della PSHA possono poi essere sviluppati come curve di pericolosità sismica, spettri di risposta a probabilità uniforme e mappe di pericolosità.

Le mappe di pericolosità sismica, redatte utilizzando i valori di P, rappresentano la distribuzione geografica di un parametro di scuotimento (PGA) con una probabilità p di eccedenza in t anni. Queste carte permettono la chiara individuazione della distribuzione territoriale dei valori di ground motion attesi.

La PSHA può essere condotta anche ad una scala di maggior dettaglio: in questo modo può essere utilizzata per la caratterizzazione di un sito specifico e quindi per identificare, quantificare e combinare tempo di occorrenza dei terremoti, geometria delle sorgenti e moto del suolo come una funzione delle dimensioni e della localizzazione dell'evento sismico.

Queste analisi si compongono di quattro fasi fondamentali:

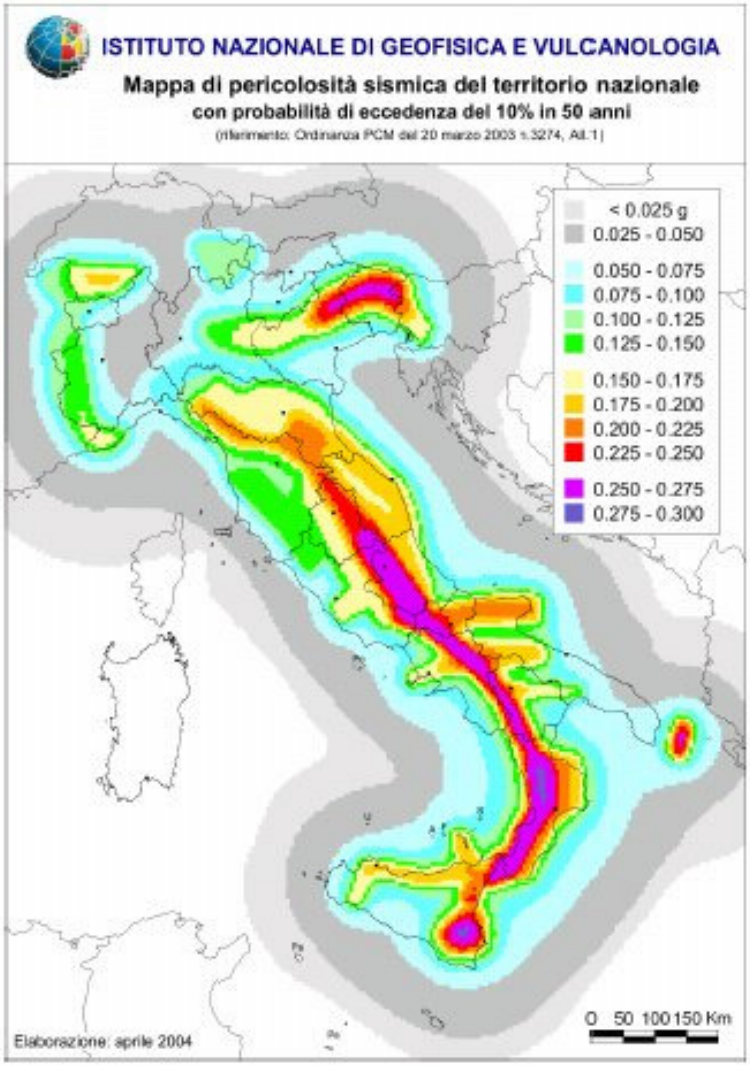
- Identificazione e caratterizzazione della sorgente.
- Valutazione della distribuzione temporale di ricorrenza dei terremoti (assumendo che questi agiscano indipendentemente gli uni dagli altri).
- Caratterizzazione del ground motion prodotto al sito da terremoti di dimensioni diverse.
- Calcolo della probabilità che uno specifico livello di moto del suolo di un sito venga uguagliato o superato durante un tempo specifico.

La valutazione della pericolosità sismica a scala regionale in condizioni "ideali", cioè per un sito "rigido" e pianeggiante, rappresenta un elemento di primaria importanza per la pianificazione territoriale (i.e classificazione sismica), per il calcolo delle azioni sismiche da utilizzarsi nella progettazione di edifici e infrastrutture e per gli interventi di adeguamento sismico delle strutture esistenti.

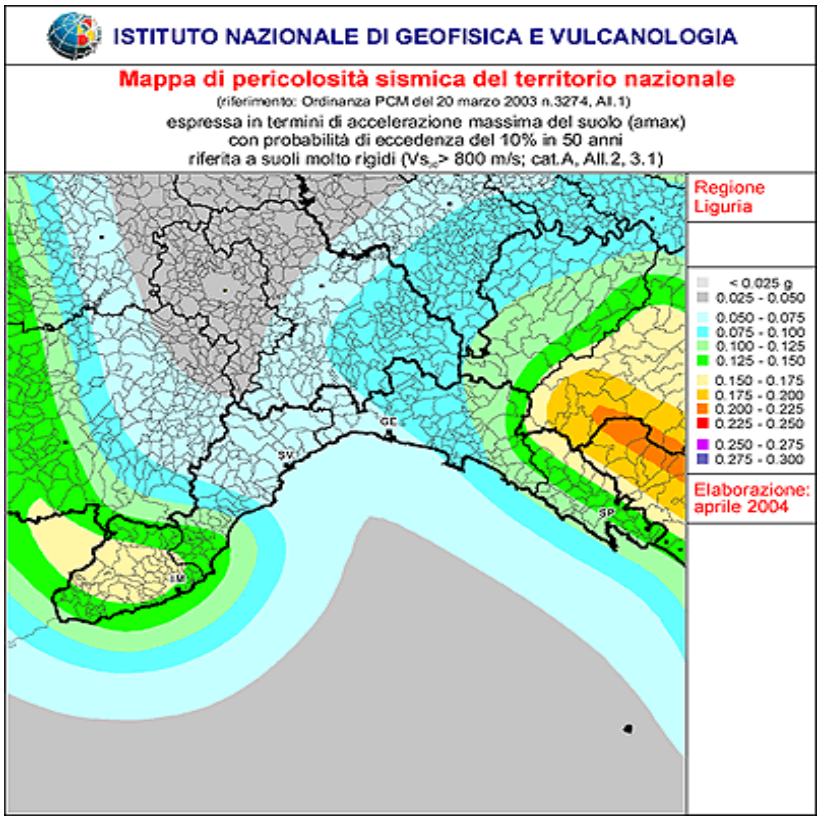
L'Eurocodice 8, testo normativo di derivazione europea, assume come parametro di scuotimento di riferimento per rappresentare la pericolosità sismica, il valore di accelerazione orizzontale (PGA) su substrato rigido che ha una probabilità di superamento pari a 0,10 in 50 anni, ovvero la PGA che corrisponde ad un periodo di ritorno medio di 475 anni

L'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003 ha definito i criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e le normative tecniche per la costruzione in zone sismiche e, come noto, ha demandato alle Regioni la suddivisione del territorio italiano in classi differenti in funzione dell'accelerazione al suolo prevista.

A scala nazionale, partendo dalla zonazione sismogenetica, ovvero dalla definizione di aree che, su base geologica e sismotettonica, sono dotate di un tasso di sismicità uniforme, è stata elaborata nel 2004 la nuova mappa di pericolosità sismica. Questa carta funge da supporto per le autorità regionali ai fini della classificazione sismica, e stima localmente i livelli di accelerazione massima su substrato roccioso ($V_{s30}$>800 m/s) con probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni. Tale probabilità è considerata a livello internazionale come la soglia di pericolosità di riferimento per la progettazione di edifici ordinari allo stato limite ultimo, per il quale si richiede alla struttura di sopportare le sollecitazioni sismiche senza collassare; si ammette dunque un livello di danno anche grave ma tale da mantenere la struttura in piedi.

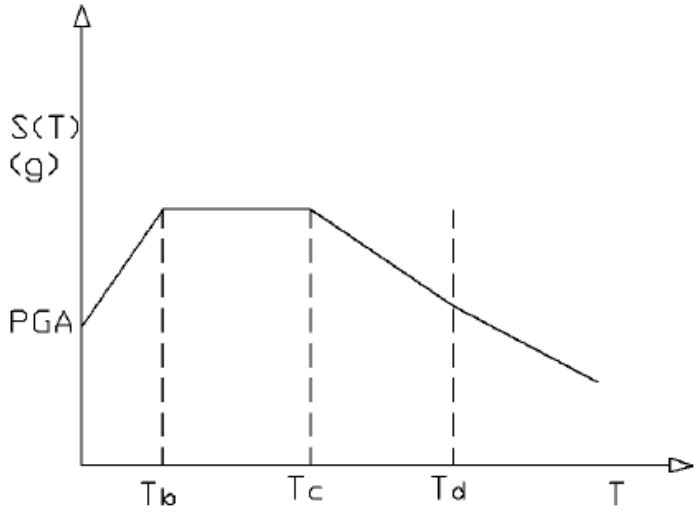



Mappa di Pericolosità sismica del territorio italiano.




Mappa di Pericolosità sismica della Liguria.

Viene definito uno spettro di risposta elastico, con fattore di smorzamento $\xi$ pari al 5%, che rappresenti il moto del suolo a cui un edificio deve poter resistere.




Il valore di PGA in grafico deriva da studi di pericolosità e dipende dalla categoria sismica di appartenenza (può quindi variare tra 0,05g e 0,35g), mentre i valori del fattore di amplificazione di sito S e dei periodi $T_B$, $T_D$, $T_C$ dipendono dalla natura del suolo.

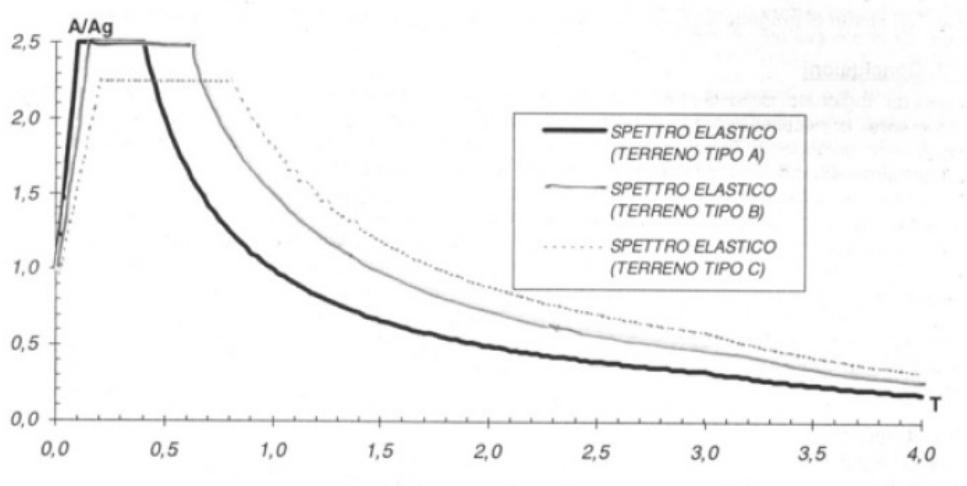



**Fig. 1.2.** *Spettri elastici corrispondenti, rispettivamente, a terreno tipo A,B e C secondo EC8*

Il grafico in figura rappresenta, al variare del periodo T della struttura considerata, il valore dell'azione sismica su di essa (spettro elastico) espresso

in termini di accelerazione massima A, opportunamente adimensionalizzato dividendolo per l'accelerazione massima al suolo $A_g$.
Si vede chiaramente che, al variare del tipo di terreno considerato, varia non solo l'entità ma anche la forma dello spettro sicché la curva relativa ad un tipo di terreno non può essere ricavata da quella relativa ad un altra attraverso l'uso di un semplice fattore moltiplicativo.

Negli anni seguenti l'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) ha portato avanti il progetto INGV-DPC S1 per il completamento e la gestione della mappa di pericolosità sismica e per la pianificazione di ulteriori sviluppi.

Sono state elaborate carte di pericolosità sismica in termini di $A_g$, ovvero di accelerazione massima su suolo rigido, con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 81%, 63%, 50%, 39%, 22%, 5% e 2% corrispondenti, rispettivamente, a periodi di ritorno di 30, 50, 72, 100, 200, 975 e 2475 anni. Si è notato che la pericolosità tende ad aumentare al diminuire del tasso annuale di superamento. I valori massimi di $A_g$ infatti variano da 0,9g fino a 0,625g nella carta corrispondente al 2% in 50 anni. Per periodi di ritorno brevi le aree di maggior pericolosità sono l'Abruzzo e la zona Etnea, per periodi di ritorno lunghi i massimi valori di $A_g$ si concentrano lungo tutto l'Appennino meridionale. Queste carte sono utili per calcolare le curve di pericolosità sismica del sito ed inoltre i rapporti tra $A_g$ 50%/50 anni e $A_g$ 10%/50 anni e tra $A_g$ 2%/50 anni e $A_g$ 10%/50 anni possono essere utilizzati direttamente per scopi ingegneristici. Proprio per questo motivo verranno utilizzate per la nuova stesura del Testo Unico in materia sismica.

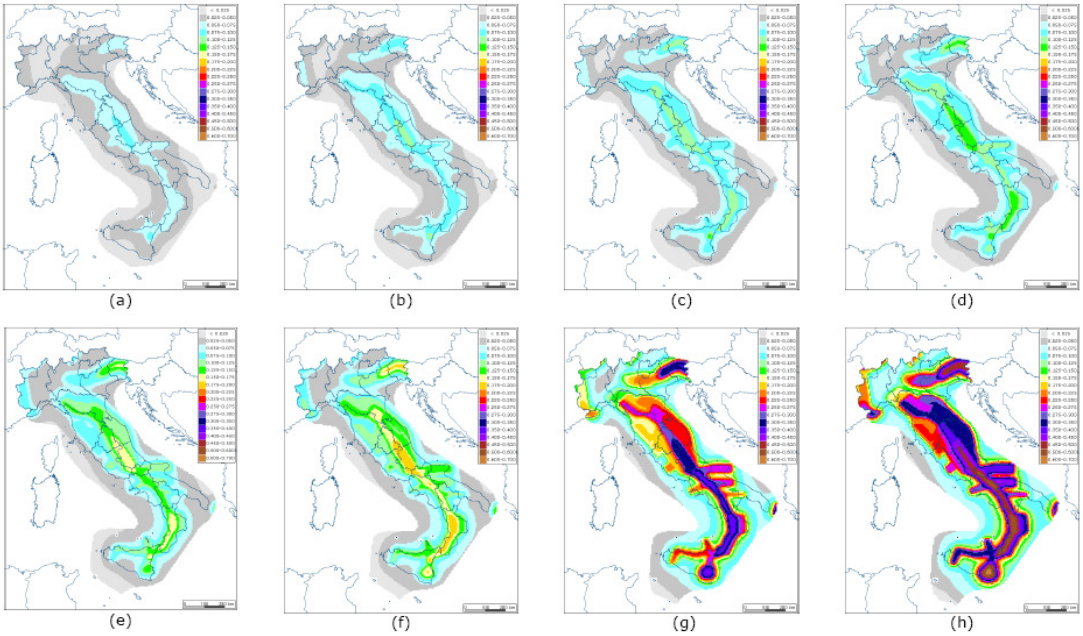
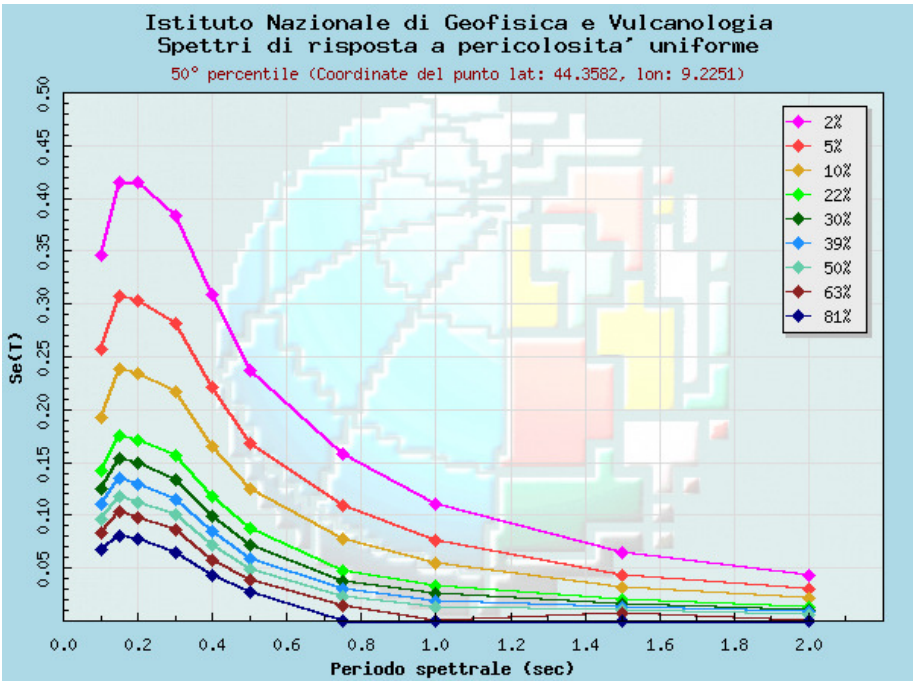


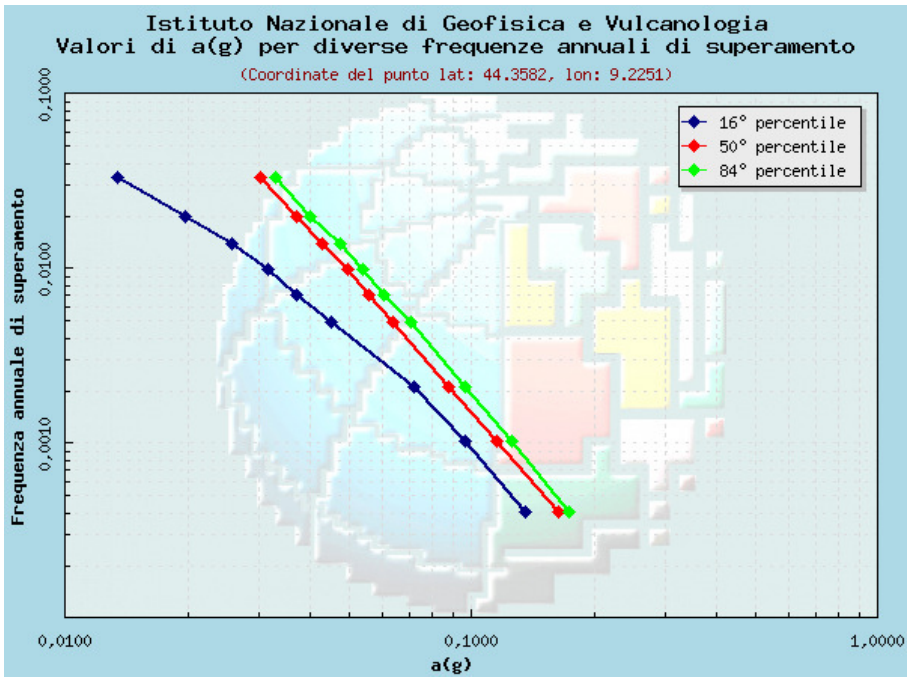

Figura 1. Carte di pericolosità sismica in termini di $a_g$ su suolo rigido, con probabilità di superamento in 50 anni pari a: 81% (a), 63% (b), 50% (c), 39% (d), 30% (e), 22% (f), 5% (g) e 2% (h). Tutte le figure rappresentano la mediana (50mo percentile) della distribuzione dei valori di $a_g$.

## II.2. – Pericolosità sismica a Rapallo.

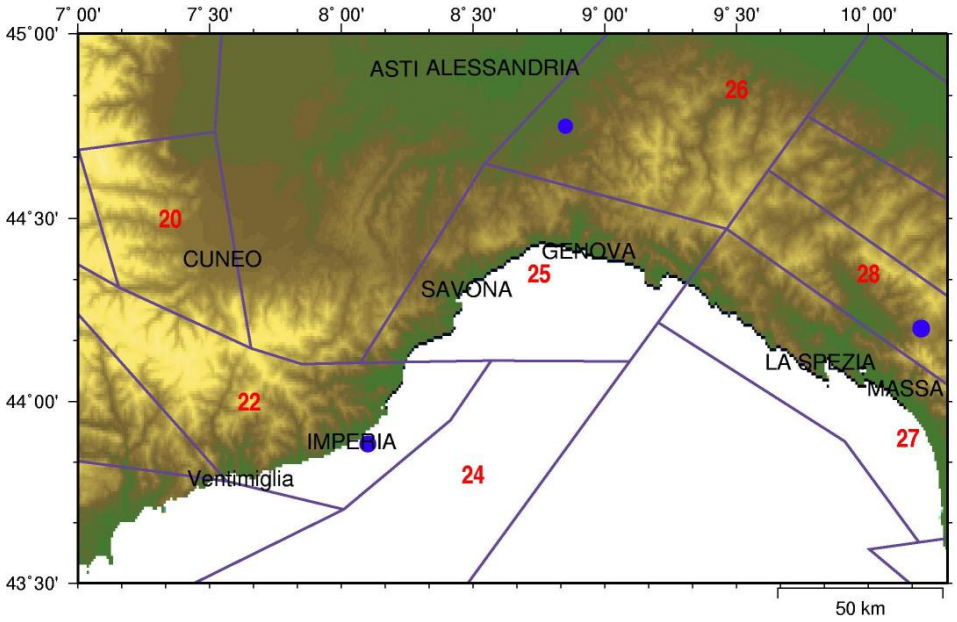
Il Comune di Rapallo ricade, secondo la normativa regionale in materia sismica (DGR n 530 del 16 Maggio 2003), in quarta classe, ciò significa che viene prevista per questa zona un'accelerazione massima al suolo di 0,05g con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni. A questo valore corrisponde uno spettro di risposta elastica di riferimento. In figura sono riportati gli spettri elaborati nel corso del progetto INGV-DPC S1.




Spettri di risposta

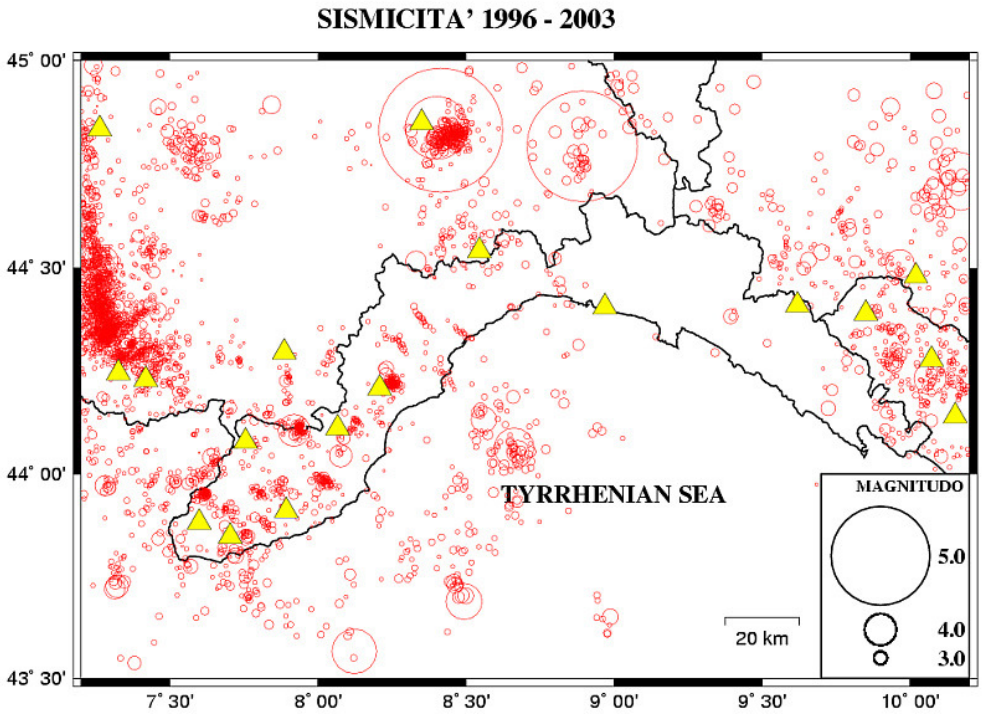


Il settore in studio ricade nella zona sismogenetica n. 25, nella quale possono risentirsi gli effetti dovuti ai settori limitrofi di Genova, La Spezia e Parma, della Valle Scrivia e del Mar Ligure.



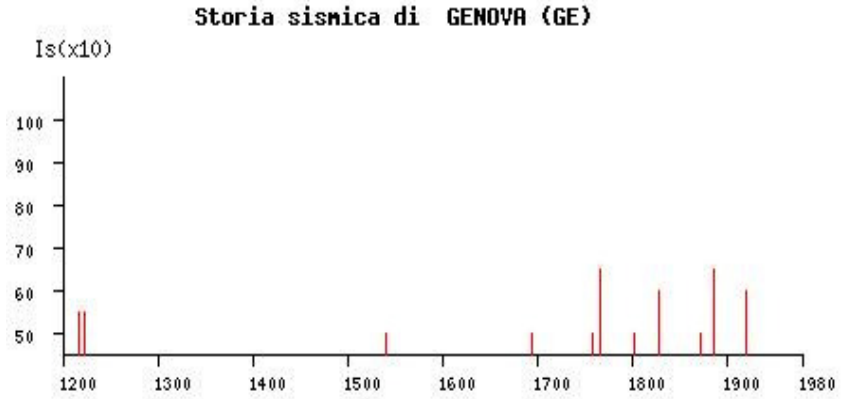

Zone sismogenetiche delle Liguria

In figura la carta della sismicità della Liguria dal 1996 al 2003; si può notare la quasi totale assenza di sorgenti sismiche vicine all'area in esame.



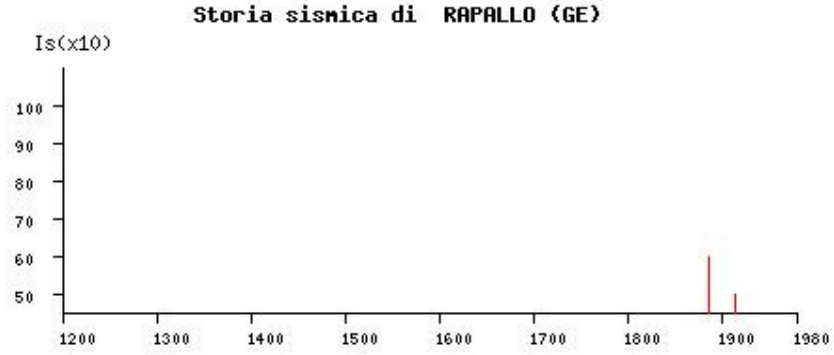

Carta della Sismicità della Liguria.

Si riportano nei grafici le storie sismiche al sito di Genova, La Spezia e Rapallo in cui vengono messe in luce le intensità macrosismiche dei diversi eventi tettonici risentiti nelle zone di interesse nel corso dei secoli. Da notare sono anche i dati relativi alle osservazioni sismiche per Rapallo riportati nella tabella sottostante.







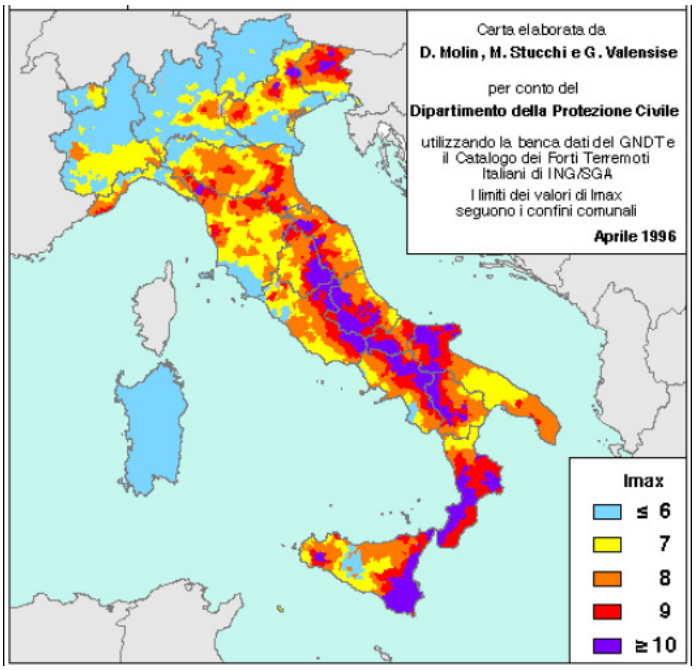


Osservazioni sismiche disponibili per RAPALLO (GE) [44.349, 9.23]

| Data | Effetti | in occasione del terremoto di: |
|---|---|---|
| Ye Mo Da Ho Mi | Is (MCS) | Area epicentrale Ix Ms |
| | | |
| | | |
| 1887 02 23 | 60 | LIGURIA OCC. 100 64 |
| 1914 10 27 09 22 | 50 | GARFAGNANA 70 58 |
| 1972 10 25 21 56 | 45 | PASSO CISA 50 47 |
| 1927 10 28 21 49 | 40 | BEDONIA 60 48 |
| 1951 05 15 22 54 | 40 | LODIGIANO 60 49 |
| 1903 07 27 03 46 | 35 | LUNIGIANA 75 47 |
| 1898 03 04 | F | CALESTANO 70 47 |
| 1915 10 10 23 10 | 30 | REGGIO EMILIA 65 46 |
| 1930 10 30 07 13 | 25 | SENIGALLIA 85 60 |

Rapallo, come evidenziato dai grafici e dalla tabella, ha risentito in passato di alcuni terremoti avvenuti nei territori vicini. La massima intensità macrosismica registrata nel Comune è comunque uguale a 6. Si può notare che tutti i fenomeni di cui si ha riscontro sono caratterizzati da una magnitudo ($M_s$) minore di 6,4. Tale valore si riferisce al sisma, di particolare rilievo, che ha avuto luogo nella Liguria Occidentale nel 1887, terremoto che distrusse Bussana ed altri centri dell'estremo ponente ligure.

La carta allegata, edita dal Servizio Sismico Nazionale, riporta la distribuzione delle intensità M.C.S. dei terremoti storici.




## II.3. - Metodologie di indagine adottate.

È stata svolta una campagna di indagini al fine di valutare sperimentalmente gli effetti di amplificazione locale delle onde sismiche all'interno del territorio comunale. In particolare, l'obiettivo ultimo delle indagini sismiche effettuate consiste, non solo nell'identificazione dei fenomeni di amplificazione, ma anche in una loro quantificazione. Dal punto di vista operativo ciò si traduce nella valutazione della frequenza di risonanza caratteristica del sito e in una stima dei "fattori amplificazione". In una prima fase, concettualmente ed operativamente coincidente con le attività previste nel "livello 1", sono stati raccolti ed analizzati tutti i dati geologici, geomorfologici, geotecnici e topografici (carte geologiche e geomorfologiche, sondaggi, prove SPT e dati geotecnici di laboratorio) necessari ad individuare le aree che, per il loro aspetto morfologico e geolitologico, pur nella diversità dei caratteri, potenzialmente potevano presentare effetti di amplificazione locale.

Lo studio geologico del territorio ha quindi permesso di individuare circa 32 punti di misura in cui è stata svolta una campagna di acquisizione di rumore ambientale.

Questo tipo di misure devono essere effettuate su terreno libero, lontano dagli alberi o da altre fonti di disturbo, in aree adiacenti agli edifici ma a distanza da questi sufficiente ad evitare interferenze. La strumentazione impiegata è composta da un GPS (per la localizzazione del punto misura e la sincronizzazione del segnale di tempo), da un acquisitore digitale Lennartz Marslite HD D-160 e da un sensore Lennartz Le-3D/5S a tre componenti (N-S, E-W e verticale) di frequenza naturale uguale o inferiore ad 0.2 Hz. Dal punto di vista operativo, sono state registrate finestre di rumore di almeno 40 minuti, usando una frequenza di campionamento pari a 62.5 Hz (passo di campionamento pari a 0.016 millisecondi).

Le misure consentono di definire le condizioni di rumore antropico e/o ambientale presenti in varie zone del territorio comunale ed inoltre, attraverso l'applicazione della metodologia Nakamura, di identificare in modo preliminare le frequenze caratteristiche di ciascun sito ai fini di prevedere eventuali effetti di amplificazione. Ciò che tale metodo non consente di stimare in maniera sufficientemente precisa è il livello di amplificazione a cui un sito può andare incontro. Per tale motivo, al fine di limitare la possibilità di interpretazioni erronee, è sempre necessario verificare le risultanze derivate da un'analisi di tipo "Nakamura" utilizzando altri metodi di indagine geologico/geofisica. Nel nostro caso si è optato per l'installazione di una micro-rete sismica, operante per un periodo di tempo sufficiente a raccogliere un database significativo di eventi sismici (terremoti) in modo da poter disporre di affidabili stime dei fattori di amplificazione e delle funzioni di amplificazione.

Il numero di stazioni impiegate e la loro distribuzione sul territorio dipende dalla tipologia e dalla complessità dell'area in esame, nonché ovviamente dalla disponibilità dei sensori e dalle condizioni logistiche. In effetti il sito di installazione deve soddisfare determinati requisiti, ovvero deve garantire sia un perfetto accoppiamento sensore-terreno, sia la sicurezza stessa degli

apparati di misura, ed infine deve permettere la raccolta di dati di buona qualità (elevato rapporto segnale-rumore, lontananza da fonti di disturbo).

In questo tipo di indagini è fondamentale la scelta di un sito di riferimento, ovvero di un sito ove il segnale sismico possa essere considerato non influenzato da fattori geologici o topografici locali.

I dati raccolti vengono processati sia in termini di rapporti spettrali H/V (componente orizzontale rispetto alla componente verticale) considerando il noise di ciascuna stazione; sia, laddove vengano riconosciute, in termini di rapporti H/V per le onde S registrate durante i terremoti.

Entrambi i metodi permettono di definire, per ciascuna stazione installata, la frequenza di massima amplificazione propria del sito con un certo grado di affidabilità, tuttavia tendono a sovrastimare il livello di amplificazione.

Tali analisi possono successivamente essere integrate applicando "tecniche a sito di riferimento", le quali consentono di stabilire l'effetto di amplificazione locale al sito rispetto alla risposta sismica di riferimento su bedrock. È possibile stimare questi effetti utilizzando diversi metodi: ad esempio si può effettuare il rapporto tra gli spettri del segnale sismico (H/Href) registrato nelle varie stazioni, oppure si possono confrontare i parametri di Strong Motion (PGA, PGV, intensità di Housner etc) ottenuti per i diversi siti di registrazione.

L'uso di una stazione di riferimento per l'analisi dei rapporti spettrali rispetto ad essa ($H/H_{ref}$), viene generalmente considerato come l'approccio più accurato ed affidabile per la definizione della risposta sismica di un sito, se vale l'approssimazione per cui la stazione di riferimento rappresenta realmente la risposta su bedrock. Naturalmente la qualità dei risultati ottenibili attraverso i rapporti $H/H_{ref}$ dipende fortemente sia dalla scelta del sito di riferimento, sia dall'abbondanza di dati disponibili. Nel nostro caso, il limitato numero di eventi registrati non ha permesso di effettuare un'approfondita analisi, infatti è stato possibile solamente calcolare i fattori di amplificazione attraverso il confronto tra i parametri di strong motion; in ogni caso, i valori ricavati sono comunque serviti ad affinare i risultati ottenuti con i precedenti metodi.

## II.4. - Posizione dei punti di misura.

La scelta del luogo dove posizionare le stazioni è stata pianificata in funzione delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e topografiche del territorio comunale, nonché delle condizioni logistiche.

I quattro sensori della rete sismica sono stati ubicati nelle località di Montallegro, nel locale di servizio adiacente al santuario, a Chiapparolo, presso il Ristorante La Vedetta, all'interno del Golf di Rapallo ed in Piazza delle Nazioni, all'interno dell'Oratorio dei Bianchi.

La stazione di Montallegro è stata assunta come riferimento, essendo situata in roccia. Le stazioni del Golf e dell'Oratorio dei Bianchi invece sono posizionate direttamente sulle alluvioni del Torrente Boate. Infine la stazione di Chaipparolo è ubicata in presenza di coltri.

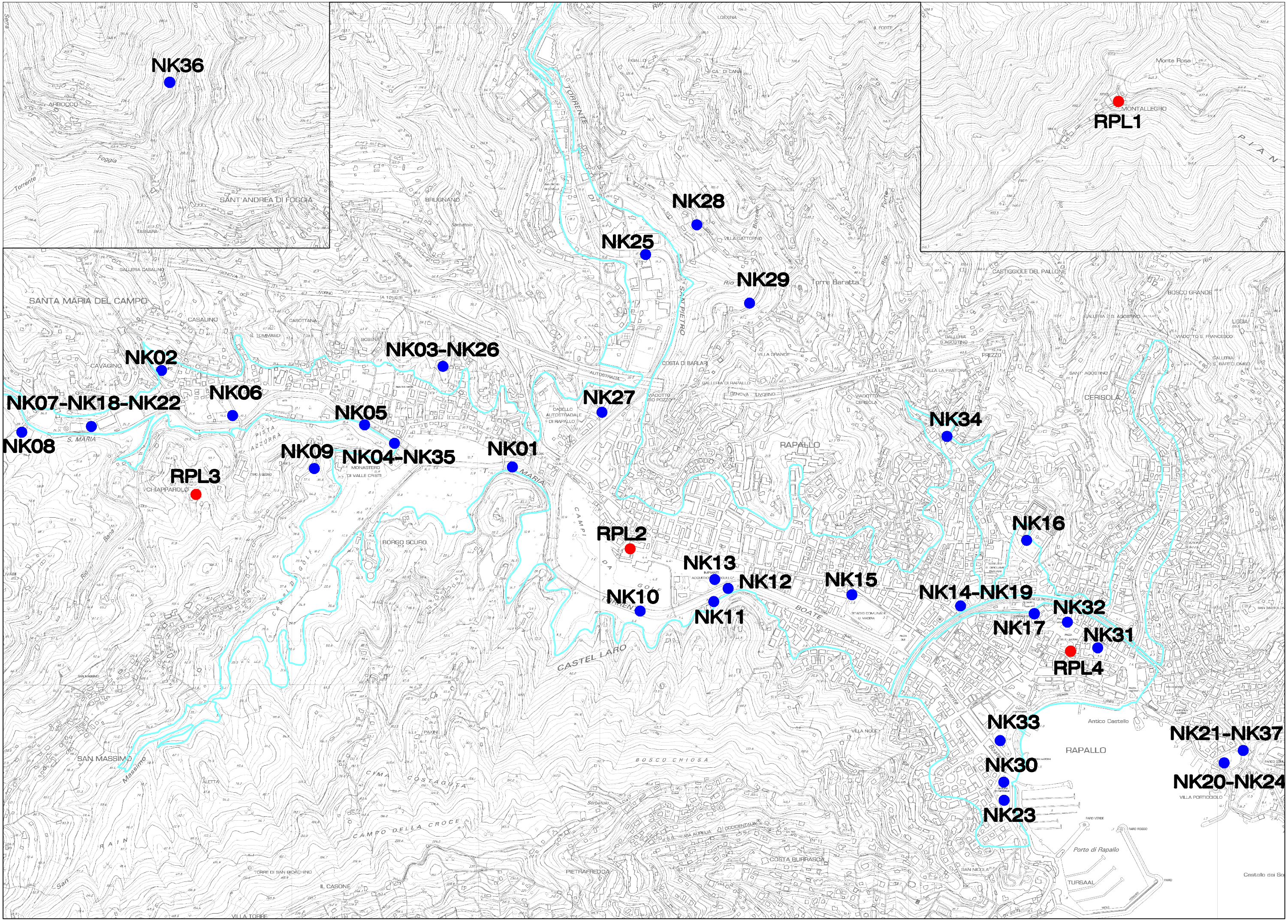
In corrispondenza di Piazza delle Nazioni, i sedimenti raggiungono spessori intorno a 24 metri, mentre nella zona del Golf il substrato si trova ad una profondità di circa 17 metri.

Le misure di rumore ambientale sono state concentrate nella piana alluvionale e nelle zone limitrofe, ponendo particolare attenzione alle aree soggette a riqualificazioni ed espansioni edilizie. Si è cercato inoltre di effettuare le misure nei pressi delle zone sedi di sondaggi geognostici, in modo tale da avere delle informazioni a priori sulla profondità del substrato e sulle caratteristiche dei sedimenti.

La localizzazione esatta dei punti misura è riportata sulla "*Carta delle indagini*" TAV. G5.

## II.5. - Analisi di "Nakamura".

Per assicurare la bontà delle registrazioni acquisite, ed evitare quindi eventuali disturbi locali, le misure sono state effettuate il più possibile in free field, con la strumentazione a perfetto contatto con il terreno libero e lontana dalle strutture.


NK36
RPL1
NK28
NK25
NK29
NK02
NK03-NK26
NK06
NK07-NK18-NK22
NK08
NK05
NK27
NK34
NK09
NK04-NK35
NK01
RPL3
RPL2
NK13
NK12
NK10
NK11
NK15
NK14-NK19
NK16
NK17
NK32
NK31
RPL4
NK33
NK30
NK23
NK21-NK37
NK20-NK24
SANTA MARIA DEL CAMPO
SAN MASSIMO
RAPALLO
CERISOLA
CASTEL LARO
CAMPO DELLA CROCE
BOSCO CHIOSA
Porto di Rapallo
SANT'ANDREA DI FOGGIA
BRUGNANO
BORGO SCURO
CASTIGGIOLE DEL PALLONE
Torre Baratta
Antico Castello

# Legenda



Punto di misura del noise ambientale



Stazione sismica fissa



Perimetro piana alluvionale

Infine le registrazioni, al fine di ricavare da esse una corretta stima della frequenza di risonanza presso ciascun sito analizzato, sono state acquisite ed elaborate attenendosi alle seguenti modalità:

- acquisizione di finestre di rumore per una durata non inferiore a 30/40 minuti;
- segmentazione della finestra di registrazione in sotto-finestre di durata pari a 40 secondi;
- eventuale eliminazione delle sotto-finestre contenenti transienti (dovuti a disturbi locali quali, per esempio, il passaggio di automobili);
- calcolo per ciascuna sotto-finestra degli spettri di Fourier;
- "lisciamento" degli spettri attraverso tecniche di smoothing opportune;
- calcolo per ciascuna sotto-finestra dei rapporti spettrali tra la componente Nord-Sud e la verticale ($H_{NS}/Z$) e tra la componente Est-Ovest e la verticale ($H_{EW}/Z$);
- calcolo della media aritmetica e dell'errore associato (deviazione standard) della curva H/V considerando tutte le sotto-finestre relative a ciascun punto di misura.

E' importante evidenziare il fatto che l'interpretazione dei risultati, ovvero l'attendibilità dei valori della frequenza di risonanza, riconosciuti per ciascun punto misura, deve sempre essere preceduta da una attenta analisi spettrale dei segnali raccolti ed elaborati. Infatti, la presenza di fonti di disturbo antropiche e/o naturali monocromatiche (ovvero in grado di emettere un segnale estremamente energetico ad una determinata frequenza) può compromettere fortemente il livello di affidabilità dei risultati stessi.

Per quanto riguarda la rete sismica temporanea, le registrazioni di terremoti delle varie stazioni sono state analizzate seguendo un procedura del tipo:

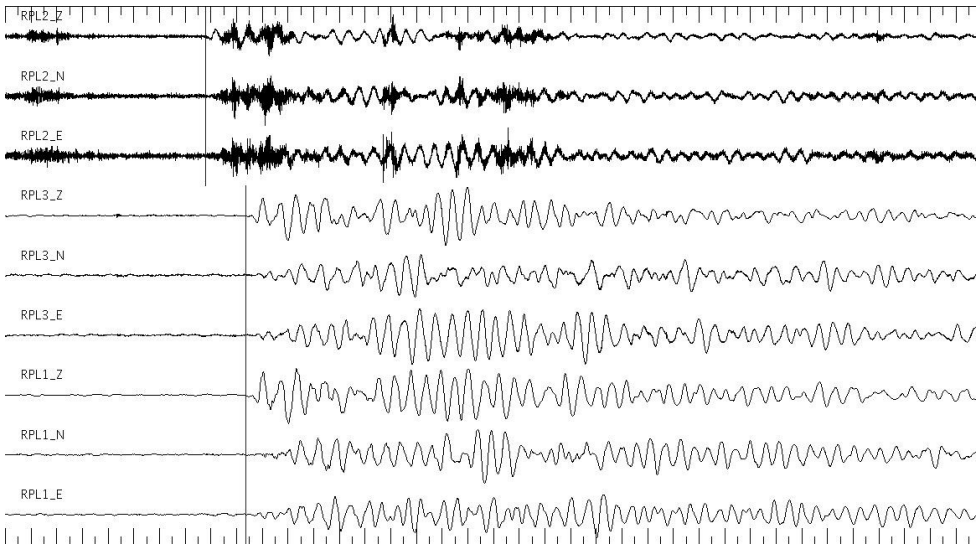
- analisi dei sismogrammi, ovvero individuazione dei tempi di arrivo di onde P ed S, localizzazione degli eventi, calcolo della magnitudo;
- definizione, all'interno di ciascun sismogramma, di una finestra contenente la fase S e parte della coda sismica;
- calcolo dei parametri strong motion (PGA, PGV, Spettro di Risposta, Intensità di Housner etc);
- elaborazione e calcolo degli spettri di Fourier per ciascuna finestra e per ciascuna componente (verticale, nord-sud ed est-ovest) in modo analogo a quanto visto per la metodologia Nakamura;
- calcolo dei rapporti spettrali H/V per il noise, e della rispettiva media e deviazione standard;
- calcolo dei rapporti spettrali H/V per la fase S di ciascun evento registrato.

# III. ANALISI E DISCUSSIONE DEI RISULTATI.

## III.1. - Interpretazione dei dati della rete sismica.

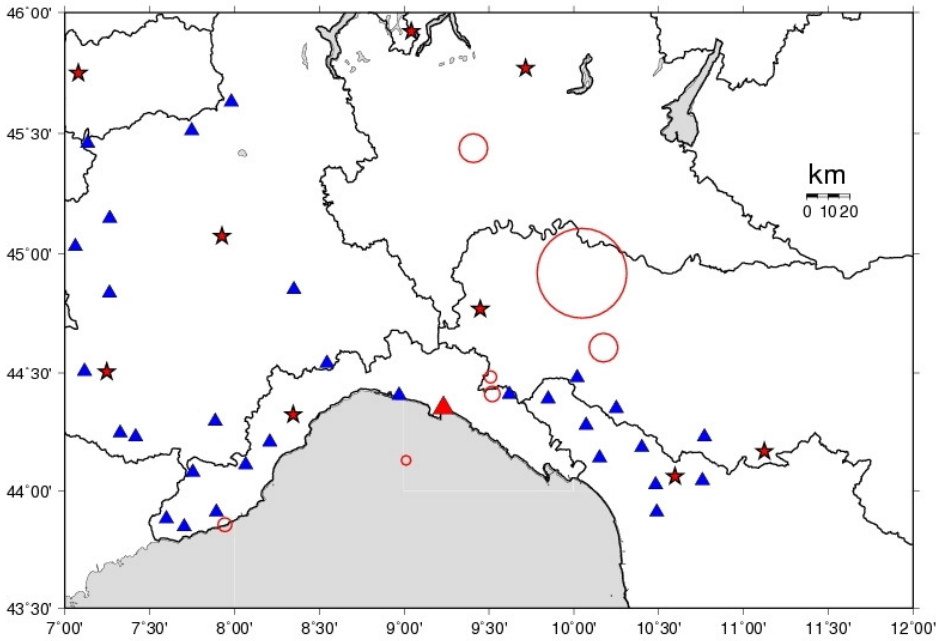
La campagna di registrazioni tramite la rete sismica è stata svolta durante i mesi di Luglio, Agosto e Settembre. Le stazioni di Montallegro (RPL1), Chiapparolo (RPL3) e del Golf (RPL2) sono entrate in funzione il 12 Luglio, mentre il sensore di Piazza delle Nazioni (RPL4) è stato posizionato il 25 dello stesso mese.

La rete sismica ha raccolto i dati relativi, non solo ai terremoti localizzati nel settore Nord Ovest italiano, ma anche quelli relativi ad alcuni telesismi (eventi a distanza epicentrale maggiore di 5000 km) avvenuti nel SudEst asiatico. In figura 7.1 è riportato un esempio di registrazione di un telesisma.




Terremoto del 16 Luglio 2007, mare del Giappone. Magnitudo 6.8

Purtroppo non sempre la qualità dei dati si è rivelata ottimale. Per questo motivo, tra tutti gli eventi registrati sono stati scelti, per la bontà dei segnali, sette terremoti localizzati a S. Lorenzo al Mare (IM), Tornolo (PR), Portofino (GE), Busseto (PR), Langhirano (PR) e Settala (MI); in figura 7.2 viene rappresentata la loro posizione rispetto alle stazioni sismiche della rete nazionale. Dai sismogrammi di tali eventi, elaborati nel modo descritto nel precedente paragrafo, sono stati ricavati i rapporti spettrali e i fattori di amplificazione necessari per gli studi di microzonazione sismica.




Posizione dei sette terremoti registrati a Rapallo rispetto alle stazioni della Rete Sismica Nazionale.

Si riportano nella pagina seguente le tabelle che illustrano i parametri relativi ai due eventi sismici di magnitudo maggiore e i rispettivi sismogrammi.

Event: 070730185500 Municipality: **BUSSETO** (PR) Dist: 1.5 km
********** LOCALIZZAZIONE **********
Localizzazione: Lat: 44.952 N Lon: 10.085 E Prof: 0.080
070730 1905 42.07 44N57.15 10E 5.11 0.08 0.0 47 141 68.3 1.23 3.6 3.2 D
********** MAG W-A **********
Mag: **4.02** Nsta_mag: 36 Nsta_tot: 40 Nsta_good: 36 Std: 0.23

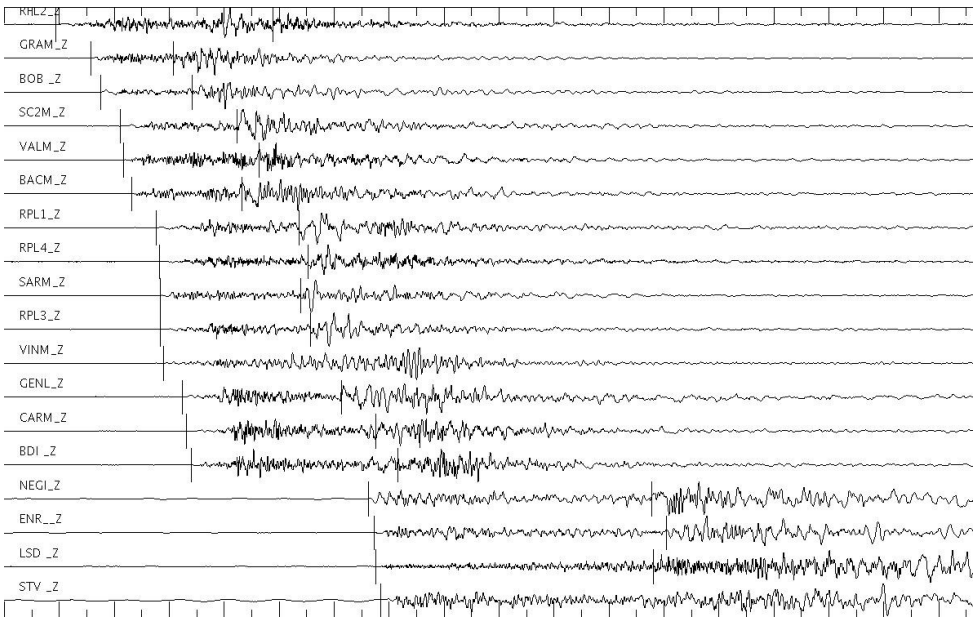
| STAZ | DEpi(km) | DIpo(km) | Azim(deg) | AmpWA | MagEv | MagSt | Flag |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RPL1 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 9.755e+00 | 4.02 | **3.92** | 1 |
| RPL4 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 1.329e+01 | 4.02 | **4.05** | 1 |
| RPL2 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 2.389e+01 | 4.02 | **4.30** | 1 |
| RPL3 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 1.319e+01 | 4.02 | **4.05** | 1 |

********** END MAG W-A **********
********** PGA & PGV **********
Nsta PGA: 39

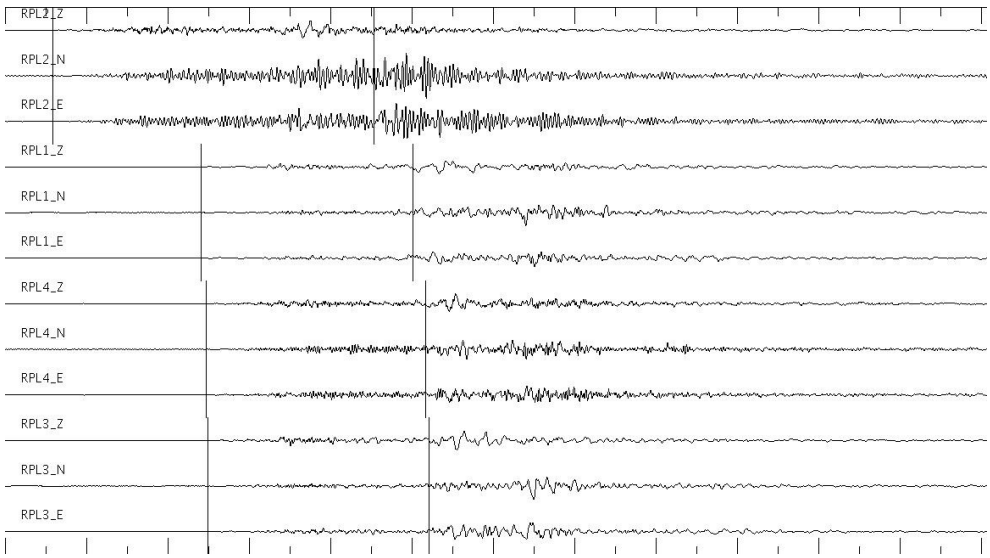
| STAZ | Cmp | MagEv | DEpi(km) | DIpo(km) | Azim(deg) | **PGA(g)** | **PGV(m/s)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RPL1 | 0 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 9.531e-05 | 3.780e-05 |
| RPL1 | 1 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 1.642e-04 | 7.227e-05 |
| RPL1 | 2 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 1.770e-04 | 5.638e-05 |
| RPL4 | 0 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 1.424e-04 | 5.457e-05 |
| RPL4 | 1 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 2.781e-04 | 9.139e-05 |
| RPL4 | 2 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 2.523e-04 | 8.984e-05 |
| RPL2 | 0 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 2.033e-04 | 5.605e-05 |
| RPL2 | 1 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 6.383e-04 | 2.202e-04 |
| RPL2 | 2 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 5.327e-04 | 1.757e-04 |
| RPL3 | 0 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 1.372e-04 | 5.991e-05 |
| RPL3 | 1 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 2.030e-04 | 8.374e-05 |
| RPL3 | 2 | 4.02 | 92.134 | 92.136 | 225.667 | 1.459e-04 | 6.917e-05 |

********** END PGA & PGV **********

Tabella 1




Terremoto del 30 Luglio 2007, Busseto (PR). Magnitudo 4.2




Sismogrammi ad ampiezza reale del terremoto di Busseto

Event: 070815210800 Municipality: **LANGHIRANO** (PR) Dist: 3.5 km
********** LOCALIZZAZIONE **********
Localizzazione: Lat: 44.626 N Lon: 10.193 E Prof: 8.610
070815 2111 55.57 44N37.57 10E11.58 8.61 0.0 25 225 37.8 0.65 5.8 6.4 D
********** MAG W-A **********
Mag: **3.08** Nsta_mag: 13 Nsta_tot: 16 Nsta_good: 13 Std: 0.29

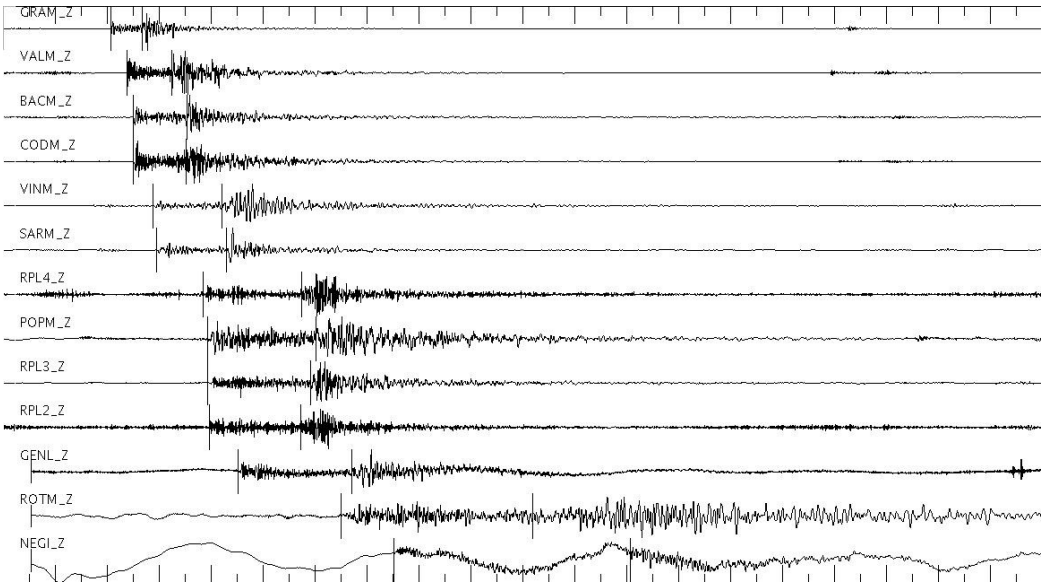
| STAZ | DEpi(km) | DIpo(km) | Azim(deg) | AmpWA | MagEv | MagSt | Flag |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RPL4 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 2.819e+00 | 3.08 | **3.26** | 1 |
| RPL3 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 2.009e+00 | 3.08 | **3.11** | 1 |
| RPL2 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 7.158e+00 | 3.08 | **3.66** | 1 |

********** END MAG W-A **********
********** PGA & PGV **********
Nsta PGA: 13

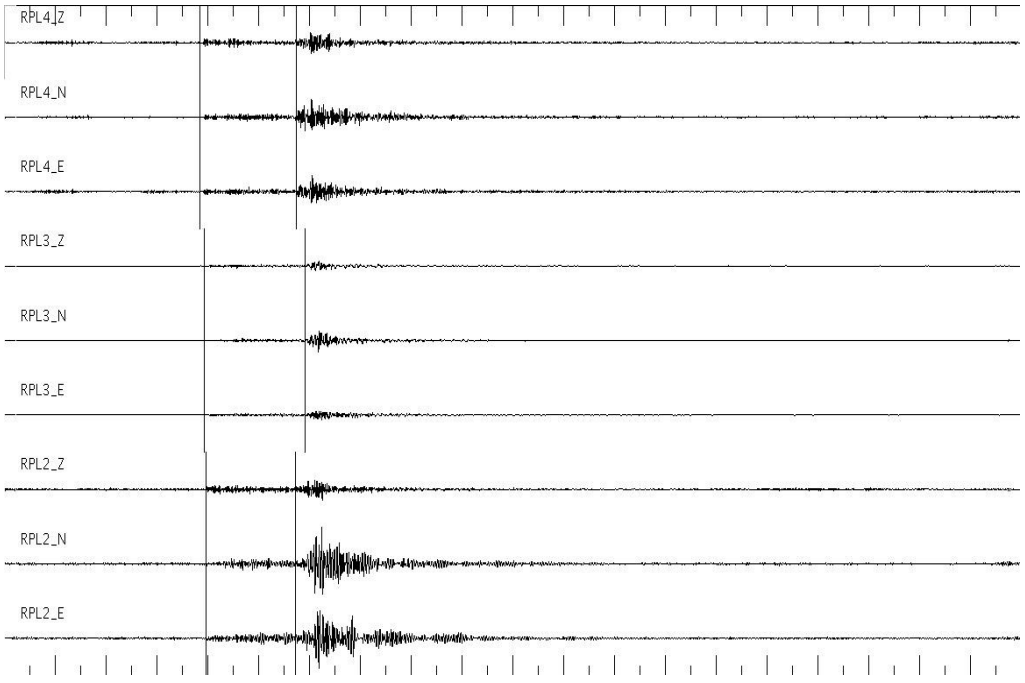
| STAZ | Cmp | MagEv | DEpi(km) | DIpo(km) | Azim(deg) | **PGA(g)** | **PGV(m/s)** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RPL4 | 0 | 3.08 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 1.042e-04 | 2.443e-05 |
| RPL4 | 1 | 3.08 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 1.449e-04 | 3.834e-05 |
| RPL4 | 2 | 3.08 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 1.366e-04 | 3.482e-05 |
| RPL3 | 0 | 3.08 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 4.962e-05 | 1.135e-05 |
| RPL3 | 1 | 3.08 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 8.612e-05 | 2.527e-05 |
| RPL3 | 2 | 3.08 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 5.323e-05 | 1.173e-05 |
| RPL2 | 0 | 3.08 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 9.008e-05 | 2.310e-05 |
| RPL2 | 1 | 3.08 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 2.071e-04 | 7.931e-05 |
| RPL2 | 2 | 3.08 | 79.568 | 80.087 | 249.377 | 1.859e-04 | 6.639e-05 |

********** END PGA & PGV **********

Tabella 2




Terremoto del 15 Agosto 2007, Langhirano (PR). Magnitudo 3.8

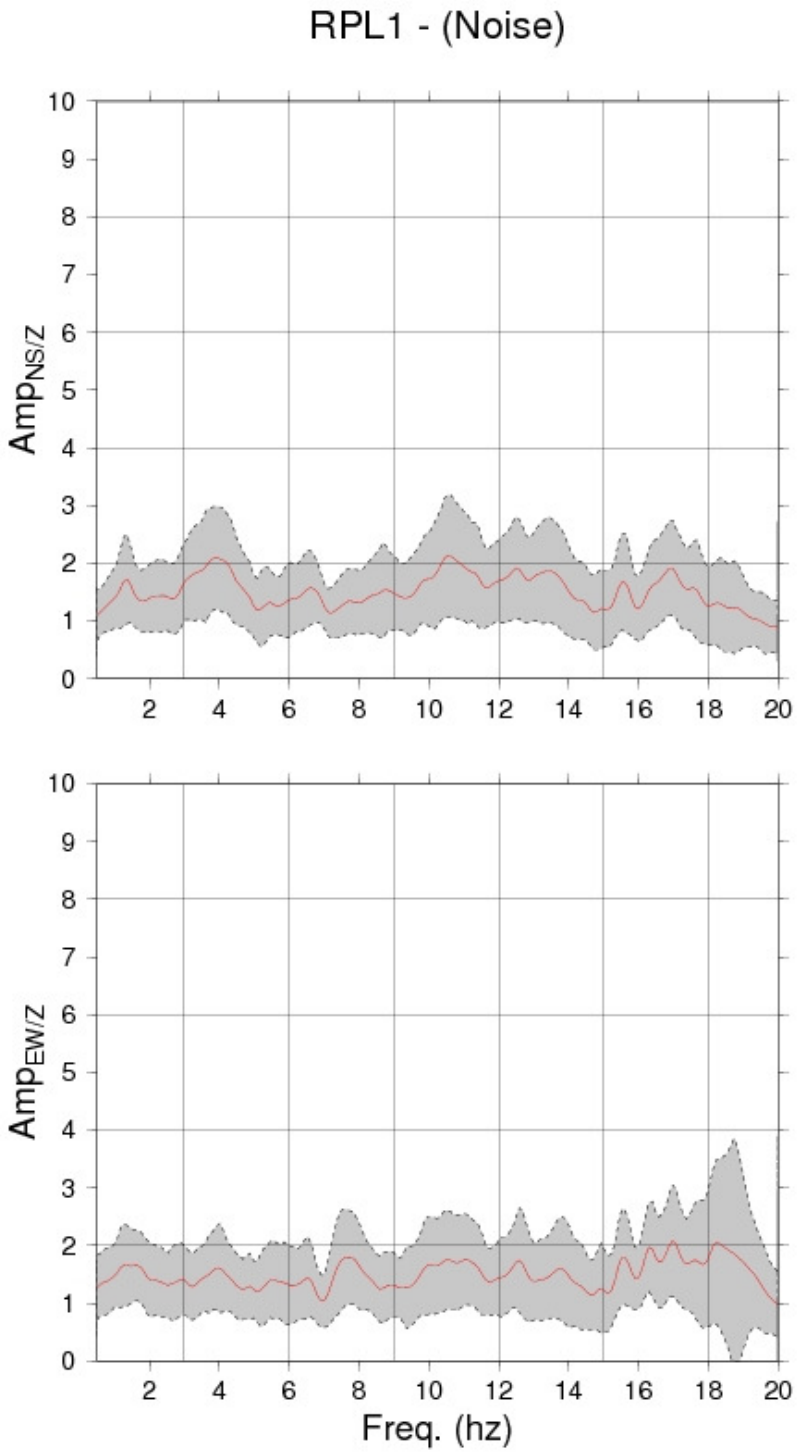


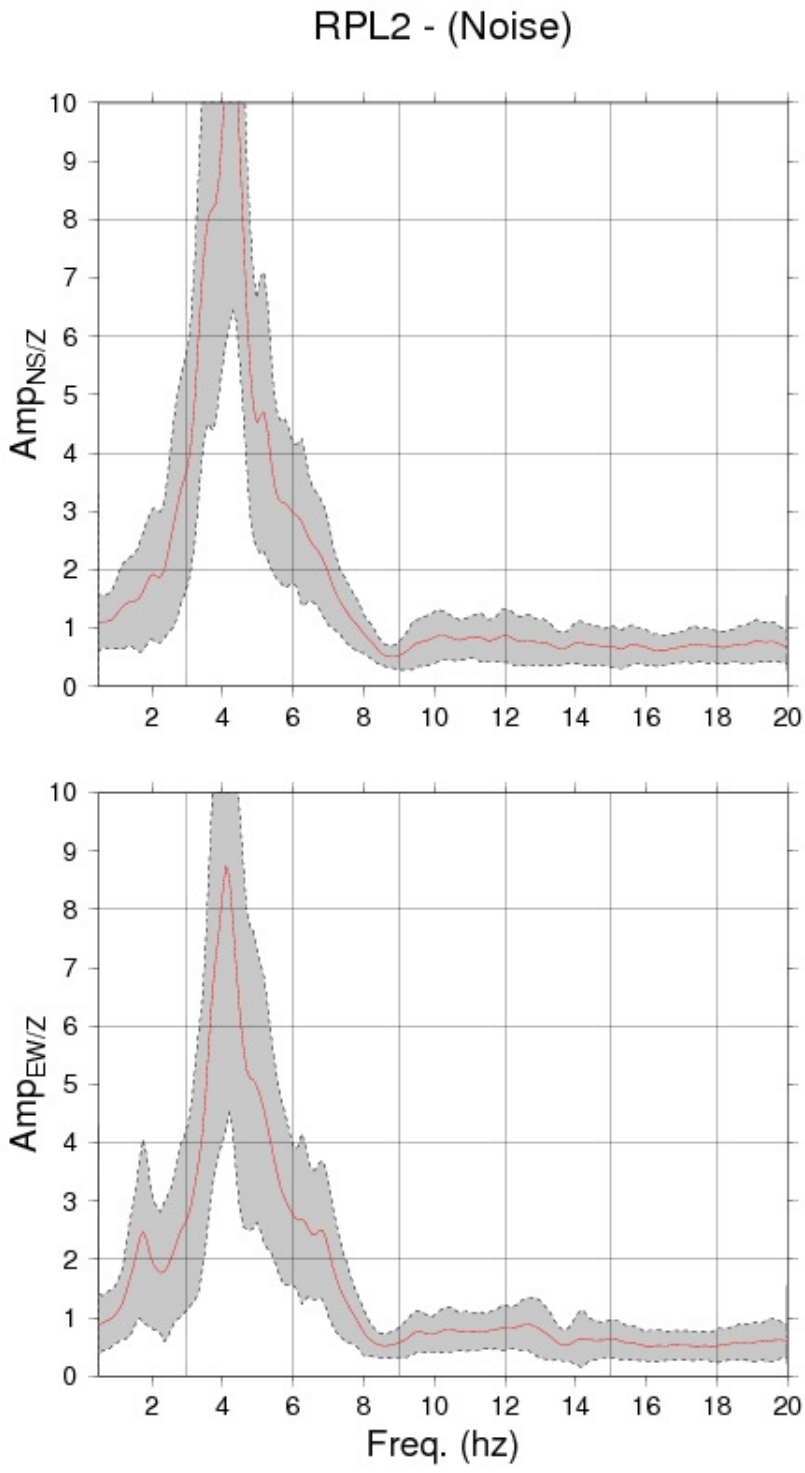

Sismogrammi ad ampiezza reale del terremoto di Langhirano.

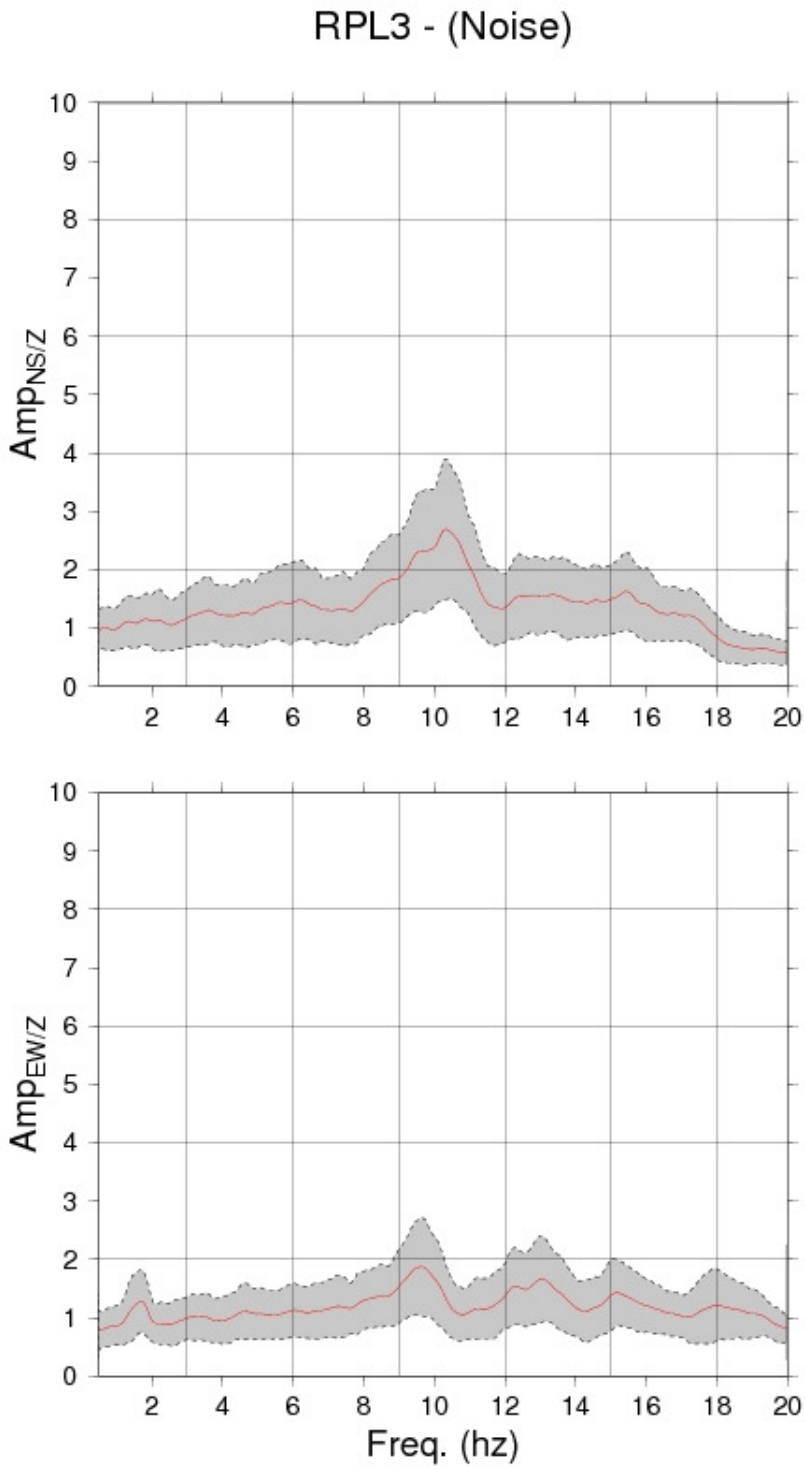
Da una prima osservazione si può già notare come i valori dei parametri magnitudo di stazione, PGA e PGV, nonché le immagini dei sismogrammi normalizzati, siano differenti da stazione a stazione. Tali discrepanze indicano un diverso impatto delle onde sismiche sui vari sensori della rete, ed in particolare si evince che RPL2 e RPL4 sono soggette a maggiori amplificazioni rispetto a RPL1 e RPL3.

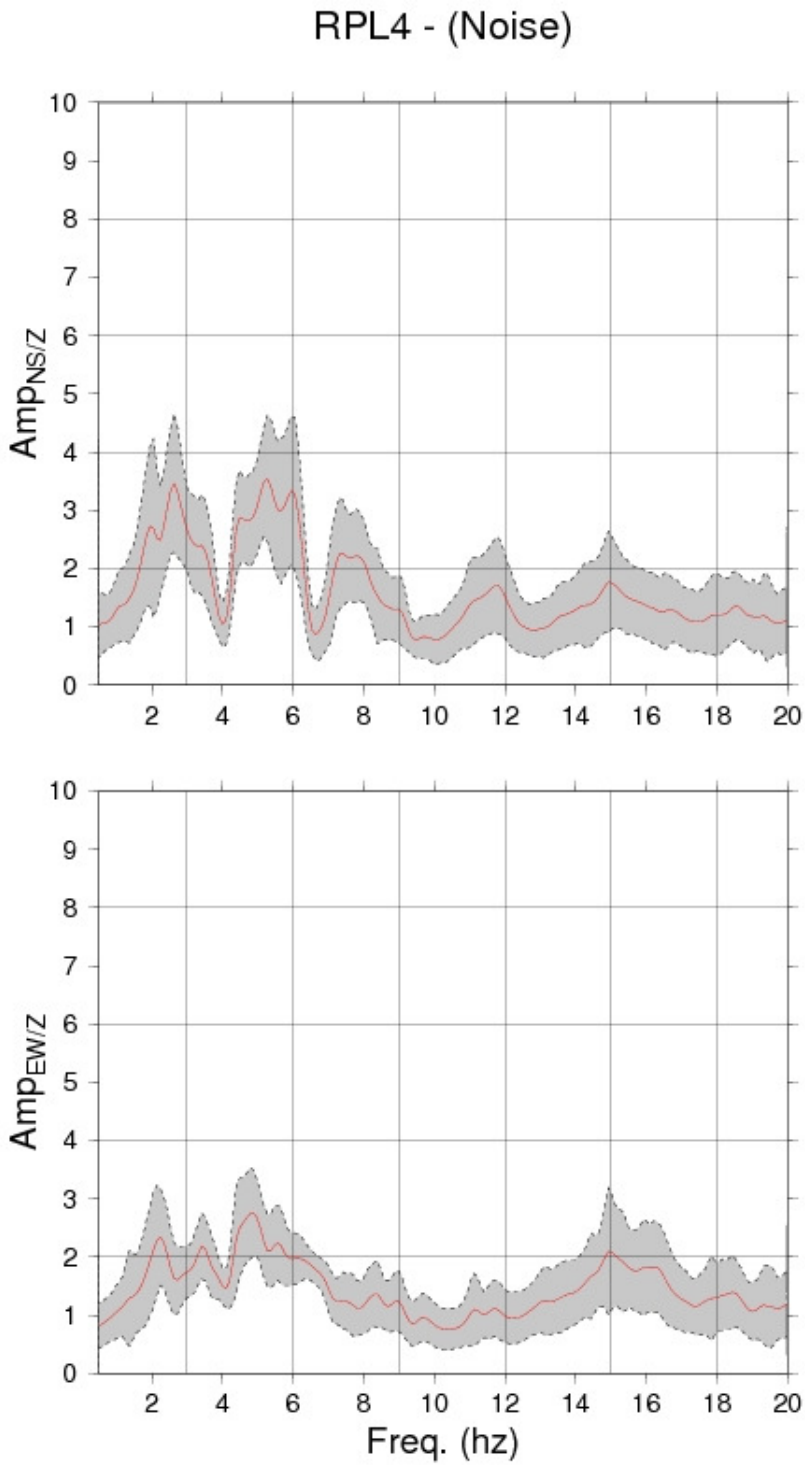
Partendo da queste semplici osservazioni, l'analisi viene portata ad un maggior grado di approfondimento calcolando e diagrammando, per ogni stazione, i rapporti H/V sia con la tecnica Nakamura sia considerando le onde S degli eventi sismici. Per questi ultimi, nel grafico ogni linea rappresenta il rapporto spettrale H/V calcolato sulla fase S di ciascun evento.

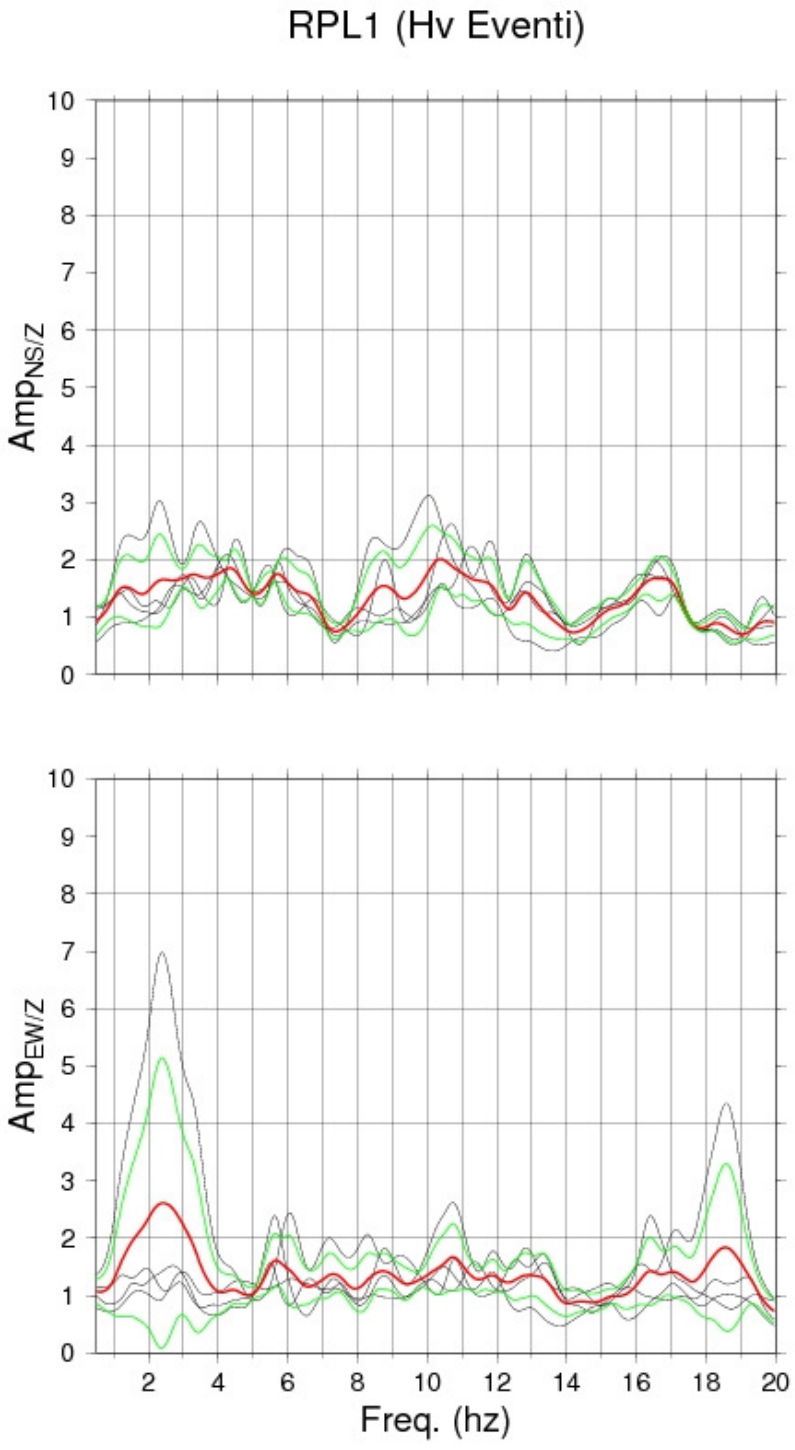
Di seguito vengono proposti i diagrammi dei rapporti spettrali delle quattro stazioni sismiche.

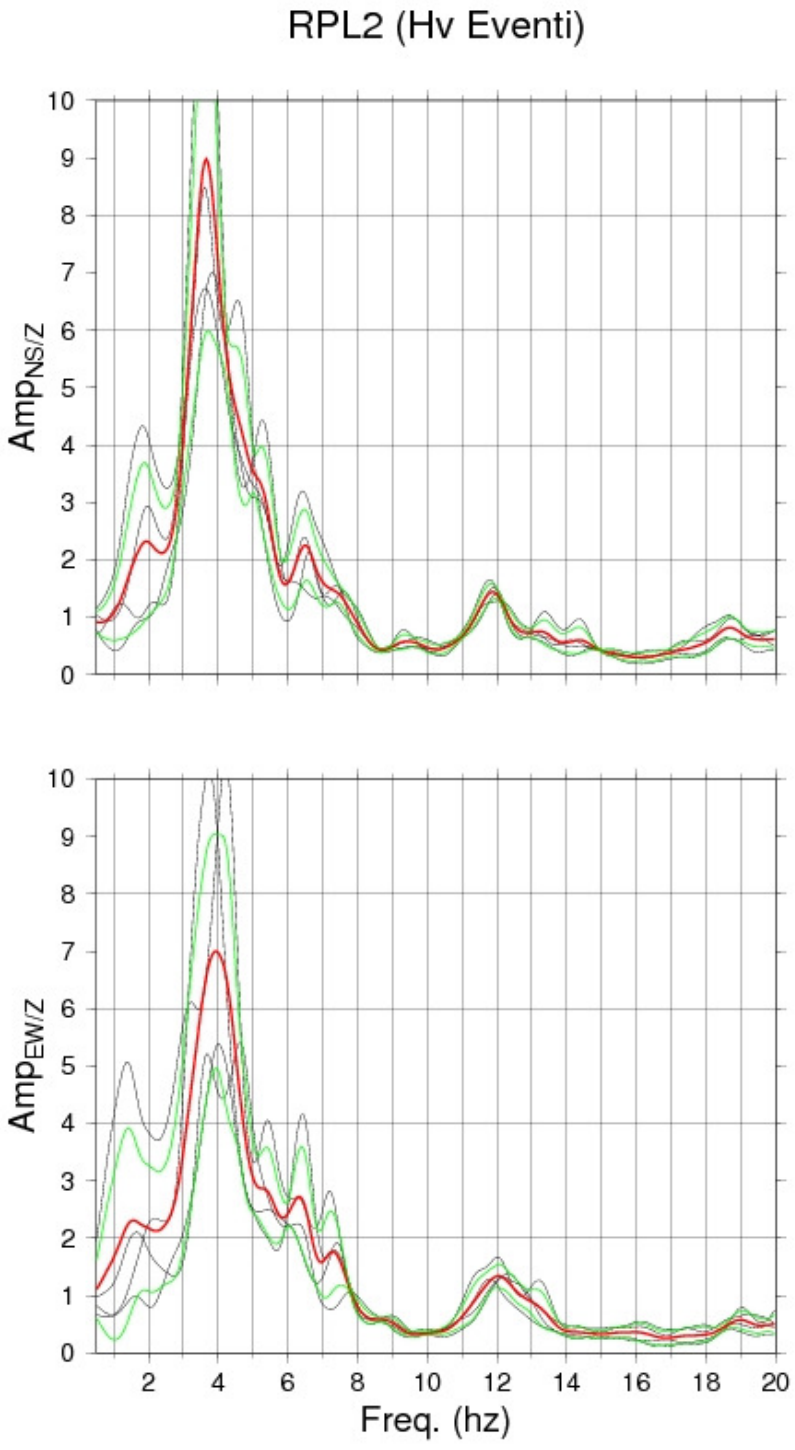

RPL1 - (Noise)
AmpNS/Z
AmpEW/Z
Freq. (hz)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

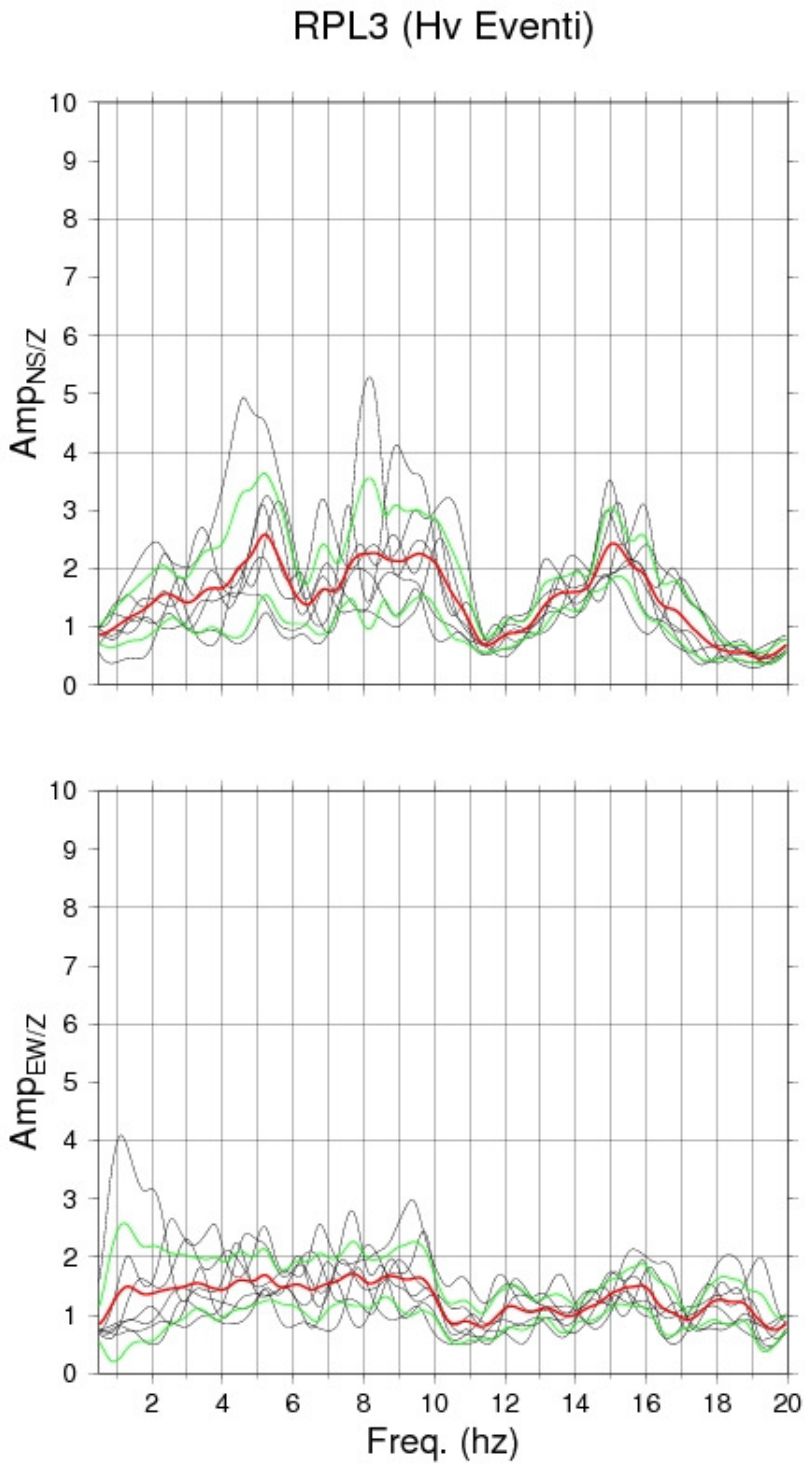

RPL2 - (Noise)
$Amp_{NS/Z}$
$Amp_{EW/Z}$
Freq. (hz)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

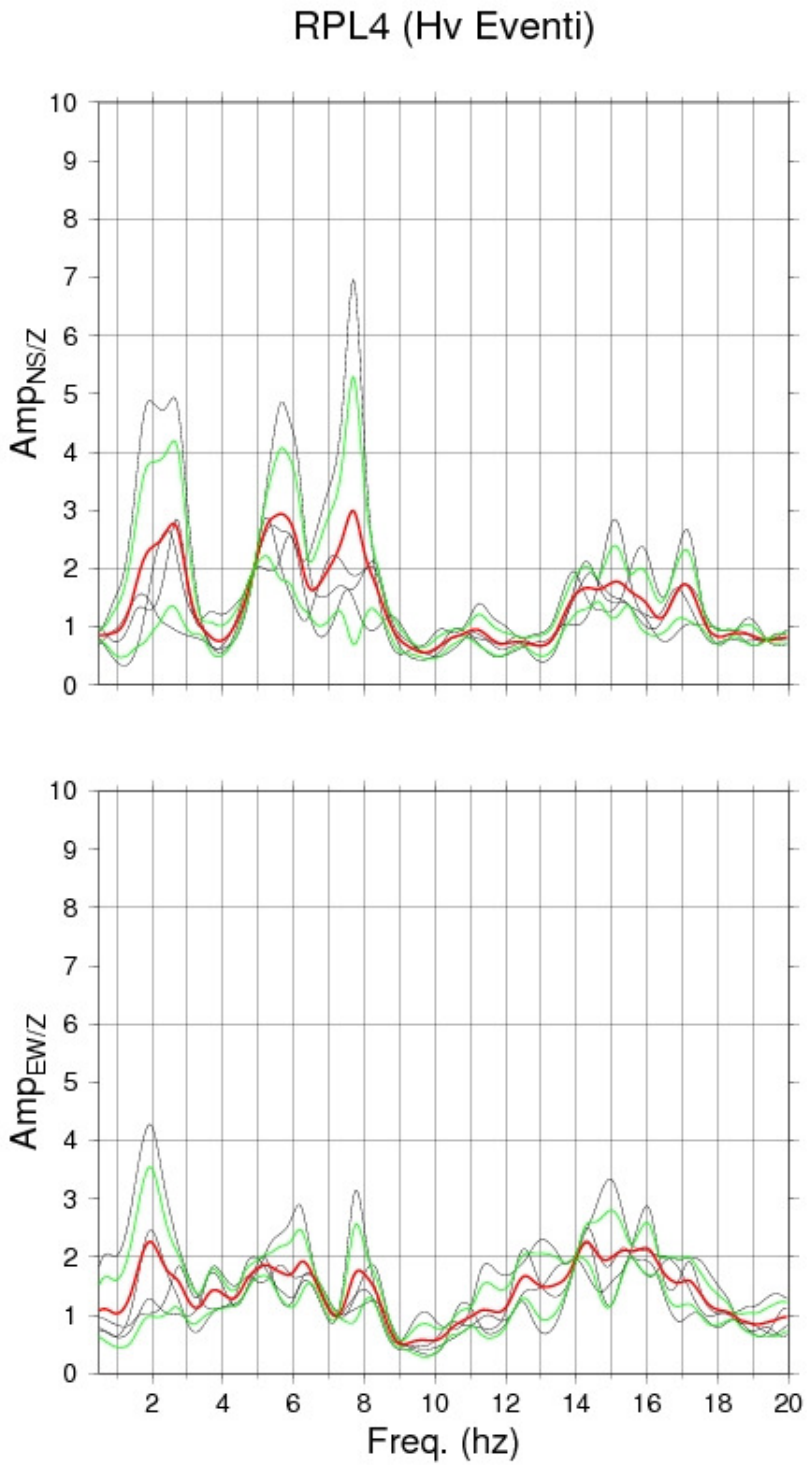

RPL3 - (Noise)
$Amp_{NS/Z}$
$Amp_{EW/Z}$
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Freq. (hz)


RPL4 - (Noise)
$Amp_{NS/Z}$
$Amp_{EW/Z}$
Freq. (hz)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20


RPL1 (Hv Eventi)
$Amp_{NS/Z}$
$Amp_{EW/Z}$
Freq. (hz)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20


RPL2 (Hv Eventi)
AmpNS/Z
AmpEW/Z
Freq. (hz)
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20


RPL3 (Hv Eventi)
AmpNS/Z
AmpEW/Z
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Freq. (hz)


RPL4 (Hv Eventi)
AmpNS/Z
AmpEW/Z
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
Freq. (hz)

I diagrammi delle stazioni RPL1 e RPL3 hanno permesso di constatare che entrambe hanno una risposta simile, piatta, senza particolari fenomeni di amplificazione, e conseguentemente riconducibile alla presenza piuttosto superficiale di un substrato roccioso rigido e compatto.

Al contrario, RPL4 ed in particolare RPL2 sono soggette a forti amplificazioni in corrispondenza di frequenze comprese tra 2,5 e 4 Hz. Nello specifico, la stazione RPL2 presenta amplificazione a 4 Hz, mentre RPL4 ha un doppio picco a 2,5 e 4 Hz.

Dalle immagini si vede chiaramente come i rapporti H/V calcolati sulle onde S siano perfettamente concordi con quelli effettuati sul noise.

Teoricamente lo studio degli effetti di sito tramite l'analisi dei terremoti dovrebbe portare alla stima, non solo delle frequenze di risonanza caratteristiche dell'area, ma anche dei livelli di amplificazione che si verificano in corrispondenza di queste.

Sull'asse delle ordinate dei diagrammi "H/V eventi" può infatti essere letto il valore del fattore di amplificazione a cui vanno incontro le due stazioni posizionate su soil: RPL2 ha un $F_a$ medio pari a 7 per entrambe le componenti, mentre RPL4 ha $F_a$ variabili tra 2.5 e 3. Il ridotto numero di eventi sismici registrati e le loro caratteristiche rendono però tali informazioni poco affidabili.

La scelta della stazione di riferimento, a cui rapportare i parametri rilevati dagli altri sensori, è ricaduta su RPL3 in quanto ha funzionato per un periodo più lungo rispetto a RPL1, situato su roccia, che ha presentato problemi di mal funzionamento della batteria interna. Quindi, sono stati presi in considerazione i valori di ampiezza spettrale ($IH_0$, $IH_1$, $IH_2$) e di PGA e PGV di ciascuna stazione e sono stati calcolati i rapporti tra questi e quelli rilevati in RPL3.

I parametri $IH_0$, $IH_1$ e $IH_2$ sono le Intensità di Housner calcolate integrando lo spettro di risposta in accelerazione per intervalli di periodi pari a 0.1s-0.5s, 0.1s-1.0s, 0.1s-2.5s. Facendo i rapporti tra le intensità misurate su soil e quelle misurate su bedrock per le tre componenti (NS, EW e V) si ottengono i fattori di amplificazione dei terreni. I valori ricavati nel caso

specifico, essendo basati su dati derivanti da terremoti “weak motion”, sono sovrastimati.

I risultati di quest’ultima operazione rimarcano ciò che era già stato riscontrato in precedenza, ovvero le due stazioni RPL1 e RPL3 sono simili e non subiscono alcun effetto di sito, mentre RPL2 ed RPL4 sono soggette ad amplificazione in proporzioni diverse. Infatti i rapporti tra i parametri rilevati nelle stazioni RPL1 e RPL3 assumono valori all’incirca unitari, mentre quelli ottenuti da RPL2/RPL3 e RPL4/RPL3, sono decisamente più elevati. Osservando quanto ottenuto dal rapporto tra le intensità di Housner della stazione RPL2 rispetto a quella di riferimento, per le tre componenti, si riscontrano fattori di amplificazione compresi tra 0,9 e 7. Per quanto riguarda invece RPL4/RPL3 i valori calcolati oscillano tra 0.8 e 2.4. Dati che ben si accordano con quanto ricavato dai diagrammi “H/V eventi”. Per la lettura dei valori esatti si rimanda alle tabelle sottostanti.

Tabella 1:

**RPL1/RPL3** comp0

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA1/PGA3 | PGV(m/s)RPL3 | PGV1/PGV3 | IH0(m/s) | RPL1/RPL3 | IH1(m/s) | RPL1/RPL3 | IH2 (m/s) | RPL1/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70715101500 | 1,73 | 119,458 | 8,62E-06 | 0,9 | 5,15E-07 | 0,7 | 2,63E-07 | 0,9 | 3,58E-07 | 1 | 4,35E-07 | 1 |
| 70718111800 | 2,05 | 71,706 | 7,95E-05 | 0,3 | 3,26E-06 | 1,3 | 1,01E-06 | 2,4 | 1,34E-06 | 2,2 | 1,63E-06 | 2,2 |
| 70723095200 | 1,32 | 39,96 | 2,12E-05 | 2 | 2,28E-06 | 0,4 | 3,95E-07 | 1,6 | 5,20E-07 | 1,6 | 6,31E-07 | 1,6 |
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 1,37E-04 | 0,7 | 5,99E-05 | 0,6 | 4,85E-05 | 0,9 | 1,01E-04 | 0,8 | 1,27E-04 | 0,7 |

RPL1/RPL3 comp1

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA1/PGA3 | PGV(m/s)RPL3 | PGV1/PGV3 | IH0 (m/s) | RPL1/RPL3 | IH1(m/s) | RPL1/RPL3 | IH2 (m/s) | RPL1/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70715101500 | 1,73 | 119,458 | 6,35E-06 | 2,5 | 7,44E-07 | 0,6 | 3,81E-07 | 0,9 | 5,31E-07 | 0,9 | 6,19E-07 | 0,8 |
| 70718111800 | 2,05 | 71,706 | 1,04E-04 | 0,4 | 6,53E-06 | 1,3 | 2,57E-06 | 1,8 | 3,31E-06 | 1,8 | 4,15E-06 | 1,7 |
| 70723095200 | 1,32 | 39,96 | 1,85E-05 | 1,7 | 2,87E-06 | 0,4 | 1,03E-06 | 0,8 | 1,38E-06 | 0,8 | 1,69E-06 | 0,7 |
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 2,03E-04 | 0,8 | 8,37E-05 | 0,9 | 6,43E-05 | 1,3 | 1,49E-04 | 0,8 | 1,97E-04 | 0,8 |

RPL1/RPL3 comp2

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA1/PGA3 | PGV(m/s)RPL3 | PGV1/PGV3 | IH0 (m/s) | RPL1/RPL3 | IH1(m/s) | RPL1/RPL3 | IH2 (m/s) | RPL1/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70715101500 | 1,73 | 119,458 | 8,41E-06 | 1,7 | 6,35E-07 | 0,6 | 3,66E-07 | 0,8 | 5,08E-07 | 0,7 | 6,06E-07 | 0,7 |
| 70718111800 | 2,05 | 71,706 | 4,49E-05 | 1,1 | 4,51E-06 | 2,9 | 2,56E-06 | 2,4 | 3,38E-06 | 2,6 | 4,13E-06 | 2,8 |
| 70723095200 | 1,32 | 39,96 | 1,96E-05 | 1,5 | 2,53E-06 | 0,3 | 1,07E-06 | 0,6 | 1,42E-06 | 0,6 | 1,70E-06 | 0,6 |
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 1,46E-04 | 1,2 | 6,92E-05 | 0,8 | 7,50E-05 | 0,7 | 1,30E-04 | 0,7 | 1,55E-04 | 0,7 |

Tabella 2:

**RPL2/RPL3** comp0

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA2/PGA3 | PGV(m/s) | PGV2/PGV3 | IH0(m/s) | RPL2/RPL3 | IH1(m/s) | RPL2/RPL3 | IH2 (m/s) | RPL2/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 1,37E-04 | 1,5 | 5,99E-05 | 0,9 | 4,85E-05 | 1,2 | 1,01E-04 | 0,9 | 1,27E-04 | 0,9 |
| 70815210800 | 3,08 | 80,087 | 4,96E-05 | 1,8 | 1,14E-05 | 2 | 9,68E-06 | 1,6 | 1,45E-05 | 1,4 | 1,81E-05 | 1,4 |
| 70917183800 | 2,97 | 128,408 | 2,61E-05 | 5,1 | 6,38E-06 | 2,3 | 5,20E-06 | 2,4 | 7,75E-06 | 2 | 9,41E-06 | 1,9 |
| 70918201900 | 2,14 | 25,974 | 8,12E-05 | 2,5 | 1,78E-05 | 2,7 | 9,75E-06 | 2,6 | 1,27E-05 | 2,6 | 1,59E-05 | 2,5 |

RPL2/RPL3 comp1

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA2/PGA3 | PGV(m/s) | PGV2/PGV3 | IH0(m/s) | RPL2/RPL3 | IH1(m/s) | RPL2/RPL3 | IH2 (m/s) | RPL2/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 2,03E-04 | 3,1 | 8,37E-05 | 2,6 | 6,43E-05 | 3,5 | 1,49E-04 | 2 | 1,97E-04 | 1,8 |
| 70815210800 | 3,08 | 80,087 | 8,61E-05 | 2,4 | 2,53E-05 | 3,1 | 2,07E-05 | 3 | 2,66E-05 | 2,9 | 3,14E-05 | 2,9 |
| 70917183800 | 2,97 | 128,408 | 4,78E-05 | 2,8 | 1,50E-05 | 2,8 | 8,99E-06 | 4,7 | 1,26E-05 | 4,1 | 1,57E-05 | 4 |
| 70918201900 | 2,14 | 25,974 | 1,78E-04 | 1,9 | 4,50E-05 | 2,3 | 3,10E-05 | 2,2 | 4,03E-05 | 2,2 | 4,95E-05 | 2,2 |

RPL2/RPL3 comp2

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA2/PGA3 | PGV(m/s) | PGV2/PGV3 | IH0(m/s) | RPL2/RPL3 | IH1(m/s) | RPL2/RPL3 | IH2 (m/s) | RPL2/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 1,46E-04 | 3,7 | 6,92E-05 | 2,5 | 7,50E-05 | 2,9 | 1,30E-04 | 2,1 | 1,55E-04 | 2,1 |
| 70815210800 | 3,08 | 80,087 | 5,32E-05 | 3,5 | 1,17E-05 | 5,7 | 1,00E-05 | 5,8 | 1,30E-05 | 5,4 | 1,54E-05 | 5,5 |
| 70917183800 | 2,97 | 128,408 | 3,30E-05 | 6,4 | 1,33E-05 | 4,8 | 9,59E-06 | 7,3 | 1,72E-05 | 5,3 | 2,13E-05 | 5,1 |
| 70918201900 | 2,14 | 25,974 | 1,44E-04 | 2 | 2,78E-05 | 3,6 | 1,63E-05 | 4,1 | 2,04E-05 | 4 | 2,49E-05 | 4 |

Tabella 3:

**RPL3/RPL3** comp0

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA3/PGA3 | PGV(m/s) | PGV3/PGV3 | IH0(m/s) | RPL3/RPL3 | IH1(m/s) | RPL3/RPL3 | IH2(m/s) | RPL3/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70715101500 | 1,73 | 119,458 | 8,62E-06 | 1 | 5,15E-07 | 1 | 2,63E-07 | 1 | 3,58E-07 | 1 | 4,35E-07 | 1 |
| 70718111800 | 2,05 | 71,706 | 7,95E-05 | 1 | 3,26E-06 | 1 | 1,01E-06 | 1 | 1,34E-06 | 1 | 1,63E-06 | 1 |
| 70723095200 | 1,32 | 39,96 | 2,12E-05 | 1 | 2,28E-06 | 1 | 3,95E-07 | 1 | 5,20E-07 | 1 | 6,31E-07 | 1 |
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 1,37E-04 | 1 | 5,99E-05 | 1 | 4,85E-05 | 1 | 1,01E-04 | 1 | 1,27E-04 | 1 |
| 70815210800 | 3,08 | 80,087 | 4,96E-05 | 1 | 1,14E-05 | 1 | 9,68E-06 | 1 | 1,45E-05 | 1 | 1,81E-05 | 1 |
| 70917183800 | 2,97 | 128,408 | 2,61E-05 | 1 | 6,38E-06 | 1 | 5,20E-06 | 1 | 7,75E-06 | 1 | 9,41E-06 | 1 |
| 70918201900 | 2,14 | 25,974 | 8,12E-05 | 1 | 1,78E-05 | 1 | 9,75E-06 | 1 | 1,27E-05 | 1 | 1,59E-05 | 1 |

RPL3/RPL3 comp1

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA3/PGA3 | PGV(m/s) | PGV3/PGV3 | IH0(m/s) | RPL3/RPL3 | IH1(m/s) | RPL3/RPL3 | IH2(m/s) | RPL3/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70715101500 | 1,73 | 119,458 | 6,35E-06 | 1 | 7,44E-07 | 1 | 3,81E-07 | 1 | 5,31E-07 | 1 | 6,19E-07 | 1 |
| 70718111800 | 2,05 | 71,706 | 1,04E-04 | 1 | 6,53E-06 | 1 | 2,57E-06 | 1 | 3,31E-06 | 1 | 4,15E-06 | 1 |
| 70723095200 | 1,32 | 39,96 | 1,85E-05 | 1 | 2,87E-06 | 1 | 1,03E-06 | 1 | 1,38E-06 | 1 | 1,69E-06 | 1 |
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 2,03E-04 | 1 | 8,37E-05 | 1 | 6,43E-05 | 1 | 1,49E-04 | 1 | 1,97E-04 | 1 |
| 70815210800 | 3,08 | 80,087 | 8,61E-05 | 1 | 2,53E-05 | 1 | 2,07E-05 | 1 | 2,66E-05 | 1 | 3,14E-05 | 1 |
| 70917183800 | 2,97 | 128,408 | 4,78E-05 | 1 | 1,50E-05 | 1 | 8,99E-06 | 1 | 1,26E-05 | 1 | 1,57E-05 | 1 |
| 70918201900 | 2,14 | 25,974 | 1,78E-04 | 1 | 4,50E-05 | 1 | 3,10E-05 | 1 | 4,03E-05 | 1 | 4,95E-05 | 1 |

RPL3/RPL3 comp2

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA3/PGA3 | PGV(m/s) | PGV3/PGV3 | IH0(m/s) | RPL3/RPL3 | IH1(m/s) | RPL3/RPL3 | IH2(m/s) | RPL3/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70715101500 | 1,73 | 119,458 | 8,41E-06 | 1 | 6,35E-07 | 1 | 3,66E-07 | 1 | 5,08E-07 | 1 | 6,06E-07 | 1 |
| 70718111800 | 2,05 | 71,706 | 4,49E-05 | 1 | 4,51E-06 | 1 | 2,56E-06 | 1 | 3,38E-06 | 1 | 4,13E-06 | 1 |
| 70723095200 | 1,32 | 39,96 | 1,96E-05 | 1 | 2,53E-06 | 1 | 1,07E-06 | 1 | 1,42E-06 | 1 | 1,70E-06 | 1 |
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 1,46E-04 | 1 | 6,92E-05 | 1 | 7,50E-05 | 1 | 1,30E-04 | 1 | 1,55E-04 | 1 |
| 70815210800 | 3,08 | 80,087 | 5,32E-05 | 1 | 1,17E-05 | 1 | 1,00E-05 | 1 | 1,30E-05 | 1 | 1,54E-05 | 1 |
| 70917183800 | 2,97 | 128,408 | 3,30E-05 | 1 | 1,33E-05 | 1 | 9,59E-06 | 1 | 1,72E-05 | 1 | 2,13E-05 | 1 |
| 70918201900 | 2,14 | 25,974 | 1,44E-04 | 1 | 2,78E-05 | 1 | 1,63E-05 | 1 | 2,04E-05 | 1 | 2,49E-05 | 1 |

Tabella 4:

**RPL4/RPL3** comp0

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA4/PGA3 | PGV(m/s) | PGV4/PGV3 | IH0(m/s) | RPL4/RPL3 | IH1(m/s) | RPL4/RPL3 | IH2(m/s) | RPL4/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 1,37E-04 | 1 | 5,99E-05 | 0,9 | 4,85E-05 | 1 | 1,01E-04 | 0,8 | 1,27E-04 | 0,8 |
| 70815210800 | 3,08 | 80,087 | 4,96E-05 | 2,1 | 1,14E-05 | 2,2 | 9,68E-06 | 1,9 | 1,45E-05 | 1,6 | 1,81E-05 | 1,5 |
| 70917183800 | 2,97 | 128,408 | 2,61E-05 | 3,3 | 6,38E-06 | 2,3 | 5,20E-06 | 2,3 | 7,75E-06 | 1,9 | 9,41E-06 | 1,9 |
| 70918201900 | 2,14 | 25,974 | 8,12E-05 | 2,1 | 1,78E-05 | 2 | 9,75E-06 | 1,8 | 1,27E-05 | 1,8 | 1,59E-05 | 1,7 |

RPL4/RPL3 comp1

| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA4/PGA3 | PGV(m/s) | PGV4/PGV3 | IH0(m/s) | RPL4/RPL3 | IH1(m/s) | RPL4/RPL3 | IH2(m/s) | RPL4/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 2,03E-04 | 1,4 | 8,37E-05 | 1,1 | 6,43E-05 | 1,5 | 1,49E-04 | 1 | 1,97E-04 | 0,9 |
| 70815210800 | 3,08 | 80,087 | 8,61E-05 | 1,7 | 2,53E-05 | 1,5 | 2,07E-05 | 1,2 | 2,66E-05 | 1,2 | 3,14E-05 | 1,3 |
| 70917183800 | 2,97 | 128,408 | 4,78E-05 | 2,4 | 1,50E-05 | 1,3 | 8,99E-06 | 1,7 | 1,26E-05 | 1,5 | 1,57E-05 | 1,4 |
| 70918201900 | 2,14 | 25,974 | 1,78E-04 | 2,3 | 4,50E-05 | 1,9 | 3,10E-05 | 1,5 | 4,03E-05 | 1,5 | 4,95E-05 | 1,4 |

RPL4/RPL3 comp2

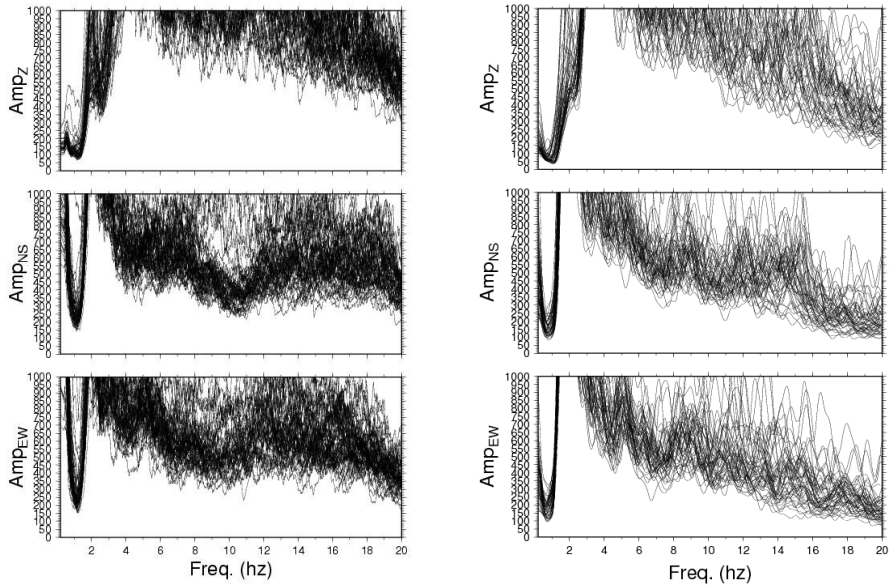
| evento | M | Dipo(Km) | PGA(g)RPL3 | PGA4/PGA3 | PGV(m/s) | PGV4/PGV3 | IH0(m/s) | RPL4/RPL3 | IH1(m/s) | RPL4/RPL3 | IH2(m/s) | RPL4/RPL3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70730185500 | 4,02 | 92,136 | 1,46E-04 | 1,7 | 6,92E-05 | 1,3 | 7,50E-05 | 1,1 | 1,30E-04 | 1 | 1,55E-04 | 1 |
| 70815210800 | 3,08 | 80,087 | 5,32E-05 | 2,6 | 1,17E-05 | 3 | 1,00E-05 | 2,4 | 1,30E-05 | 2,3 | 1,54E-05 | 2,3 |
| 70917183800 | 2,97 | 128,408 | 3,30E-05 | 2,9 | 1,33E-05 | 1,4 | 9,59E-06 | 2,2 | 1,72E-05 | 1,8 | 2,13E-05 | 1,8 |
| 70918201900 | 2,14 | 25,974 | 1,44E-04 | 2,1 | 2,78E-05 | 2 | 1,63E-05 | 1,7 | 2,04E-05 | 1,6 | 2,49E-05 | 1,6 |

## III.2. - Analisi ed interpretazione dei dati con metodo Nakamura.

Sono stati scelti, per la campagna di acquisizione di rumore ambientale, 32 punti dislocati nella piana alluvionale del Torrente Boate e nelle zone limitrofe, nei quali sono state svolte 41 misure. Per l'esatta collocazione dei siti indagati si rimanda alla lettura della carta allegata.

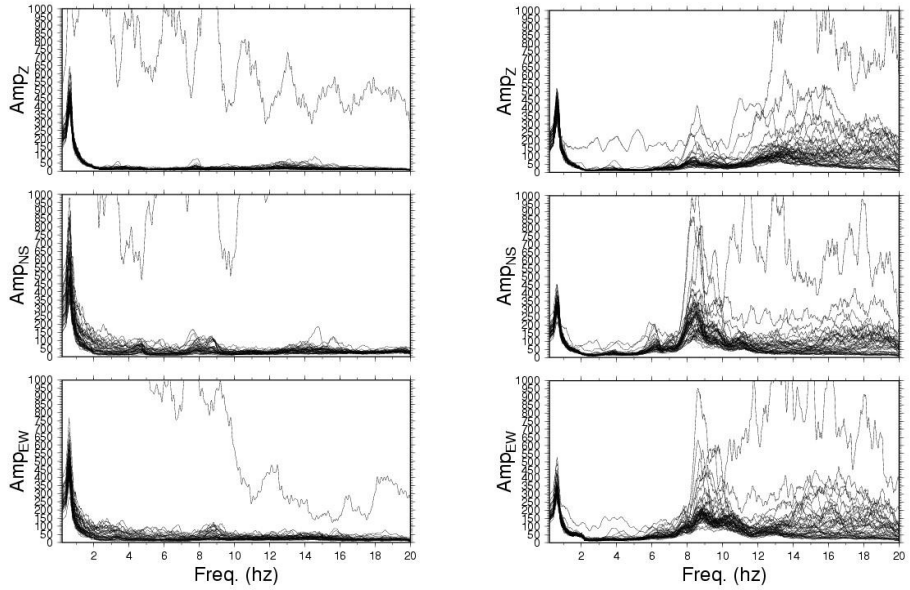
Poiché le indagini hanno interessato principalmente la parte più urbanizzata del Comune, dove si concentrano le maggiori attività e dove il traffico cittadino è più intenso, è stato talvolta necessario ripetere le misure, in giorni ed orari differenti, per evitare registrazioni fallaci.

In ogni caso, nonostante le dovute accortezze, l'analisi degli spettri raccolti ha evidenziato nel centro urbano la presenza di fonti di disturbo persistenti, che rendono i dati non sempre affidabili. A titolo di esempio, in figura si possono vedere gli effetti di tali problemi sugli spettri registrati nei Giardini Partigiani, adiacenti al porticciolo. Oltre alla dispersione delle curve dovuta a cause temporanee (passaggio di auto etc), si può notare come tutte le componenti, compresa la verticale, solitamente piatta, siano soggette a rumori persistenti che generano picchi da 2 Hz in su.




Spettri di Fourier delle tre componenti registrate nelle stazioni NK23 e NK39.

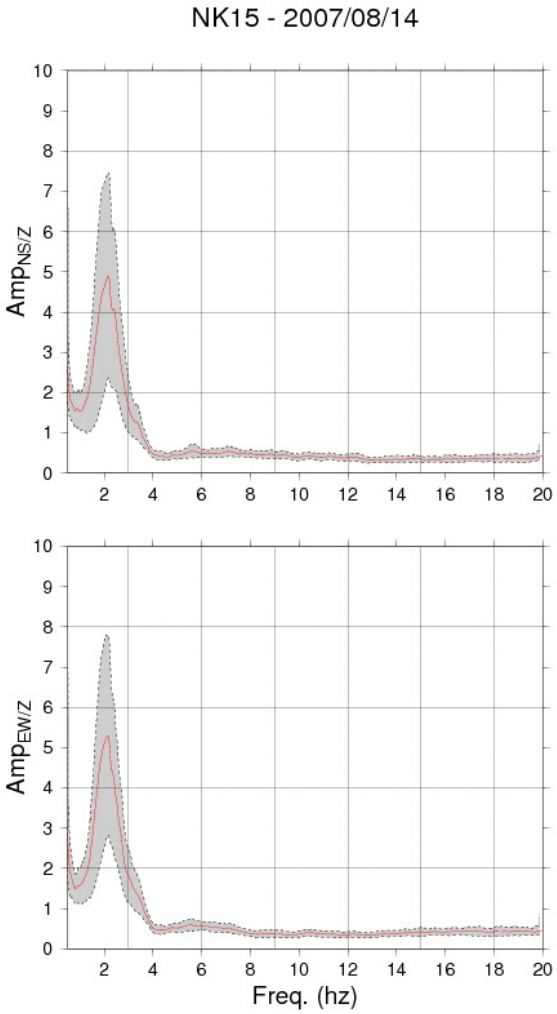
Come termine di paragone si riportano le immagini degli spettri di due punti misura non inficiati da disturbi locali.

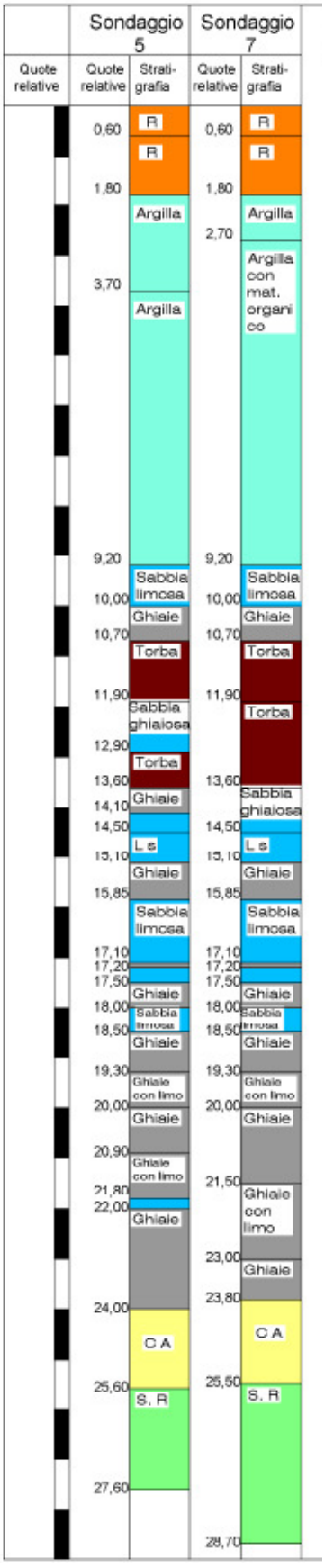



Spettri di Fourier delle tre componenti registrate nelle stazioni NK8 e NK9.

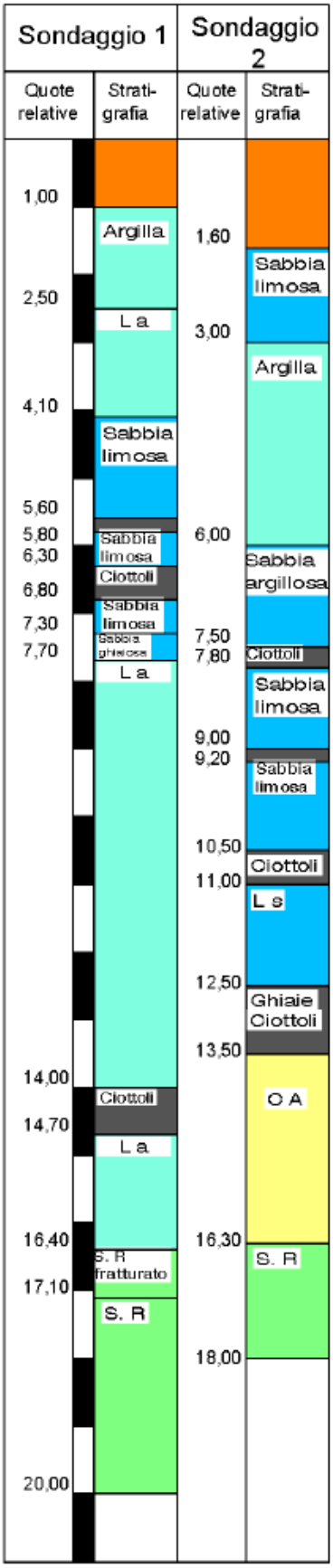
Ciononostante, sono stati calcolati e diagrammati i rapporti H/V per i diversi siti e sono state conseguentemente ricavate le frequenze di risonanza di ciascuno.

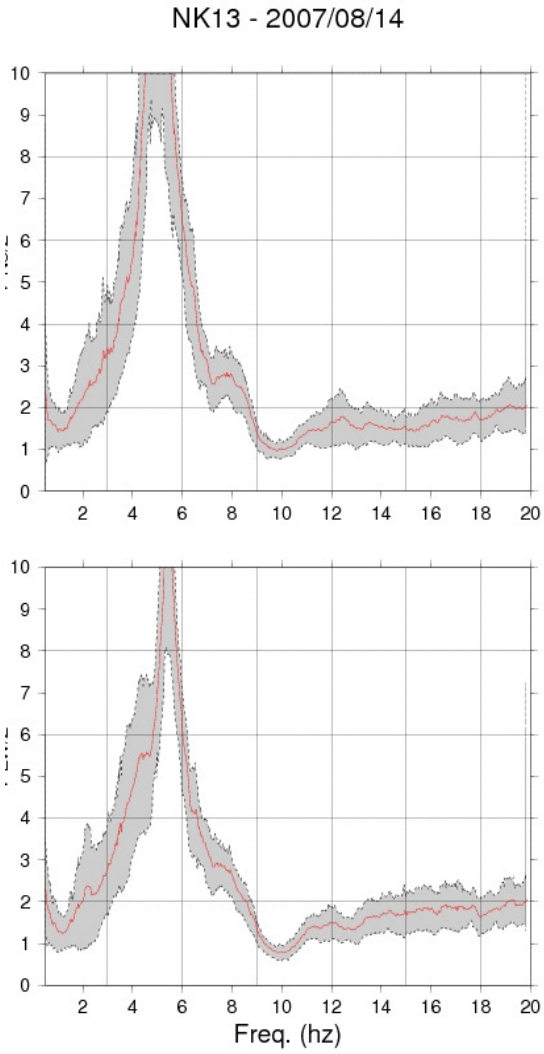
Il range di frequenze varia da un minimo di 2 Hz, in corrispondenza della foce del Torrente Boate, a 15-18 Hz lungo l'alveo del Torrente San Pietro. Risultano prive di effetti di amplificazione le stazioni ubicate al di fuori della piana alluvionale, come per esempio la NK34, situata in Via Laggiaro. Intrecciando i dati con le informazioni derivanti dai sondaggi geognostici si è avuta conferma del fatto che, laddove lo spessore dei sedimenti è più elevato e la loro rigidezza minore, le frequenze sono basse e variano da 2 a 4 Hz. Situazioni come quella appena descritta si verificano presso lo Stadio Macera, dove il substrato si trova ad una profondità di circa 25 metri e dove sono presenti importanti livelli di torba; in Piazza delle Nazioni, dove il sedimenti raggiungono 24 metri di spessore e nei pressi del Golf (profondità media del bedrock pari a 18 m, abbondanza di sabbie e limi).




Colonnine stratigrafiche e diagrammi H/V delle misure effettuate nell'area Ex Salem, presso lo Stadio Macera.




Colonnine stratigrafiche e diagrammi H/V delle misure effettuate all'interno del Golf di Rapallo.

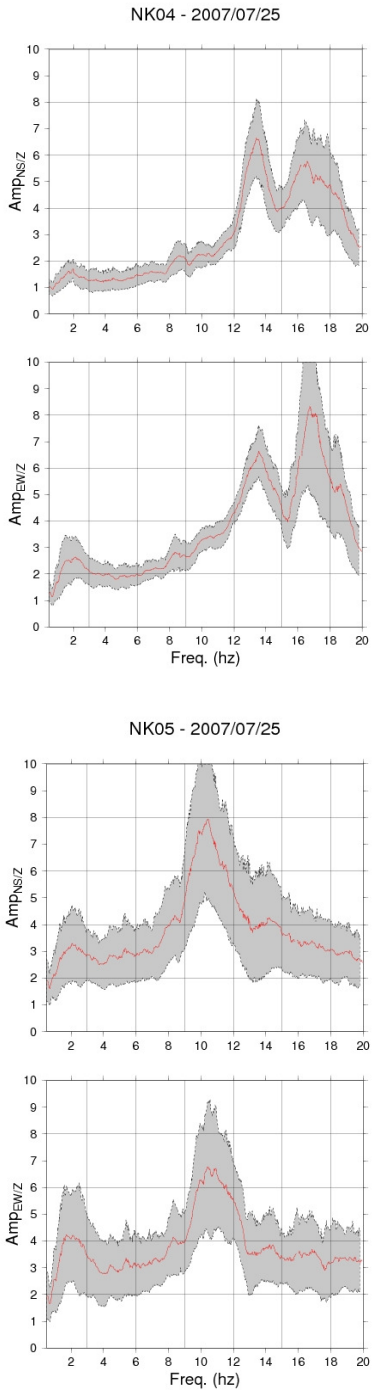
Proprio grazie all'incrocio di dati diretti ed indiretti si è potuto constatare la presenza di una cresta rocciosa sepolta in corrispondenza della misura NK31, situata in Corso Assereto.

Le informazioni derivanti dai rilievi geomorfologici effettuati nella zona facevano supporre la presenza della parte terminale dello spartiacque tra il Torrente S. Francesco ed il Torrente Boate. In accordo con quanto ipotizzato, i rapporti H/V hanno evidenziato un picco di amplificazione in corrispondenza di 9 Hz, valore nettamente superiore rispetto a quelli ottenuti nella vicina Piazza delle Nazioni, dove i sondaggi attestano il bedrock a profondità comprese tra 16 e 24 metri.

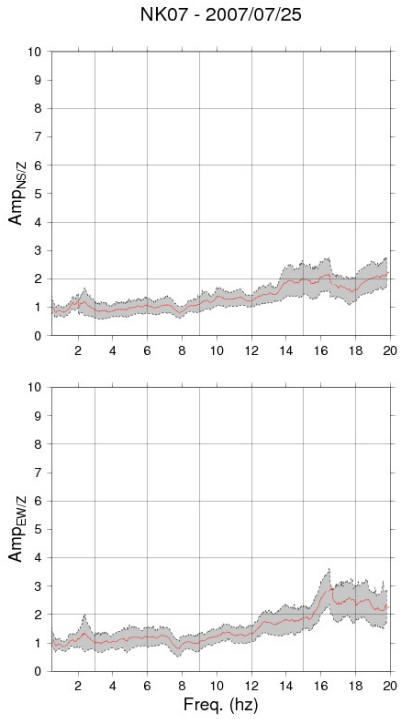
Una così elevata frequenza è decisamente incompatibile con la presenza di una potente copertura sedimentaria costituita da ghiaie, sabbie, limi e torbe; al contrario, può essere riconducibile alla presenza piuttosto superficiale dell'ammasso roccioso.

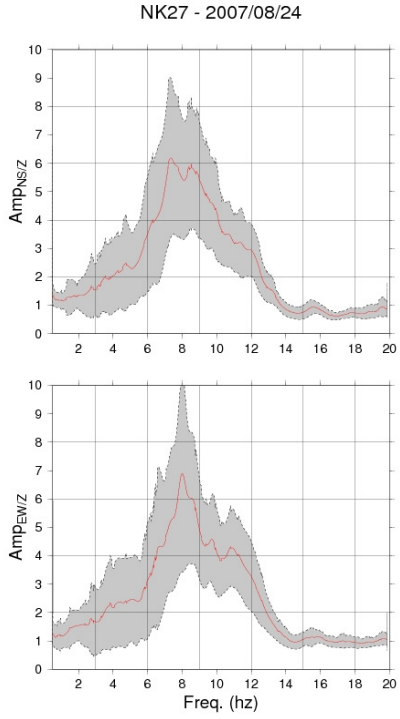
Lungo il Torrente Santa Maria i rapporti H/V hanno rivelato frequenze di risonanza più elevate, variabili tra 7 e 13 Hz ed in alcuni casi addirittura non si sono verificati fenomeni di amplificazione (stazioni NK7 e NK35); questi risultati possono essere imputabili sia alla presenza del substrato a profondità poco elevate, sia al prevalere di materiali ghiaiosi e ciottolosi più rigidi nelle coperture.

I sondaggi più vicini all'area, realizzati presso il Casello Autostradale, sono situati nella parte terminale del Torrente S. Pietro, dove le condizioni litotecniche potrebbero essere simili a quelle della parte finale del Torrente S. Maria. Le stratigrafie pongono i calcari compatti a 10 metri di profondità, dato compatibile con $F_0$ pari a 7-8 Hz e $V_s$ intorno a 360 m/s. Si può ipotizzare che, risalendo lungo il Torrente S. Maria, lo spessore dei sedimenti diminuisca ulteriormente generando un aumento delle frequenze.




H/V delle stazioni NK4 e NK5, Torrente S. Maria

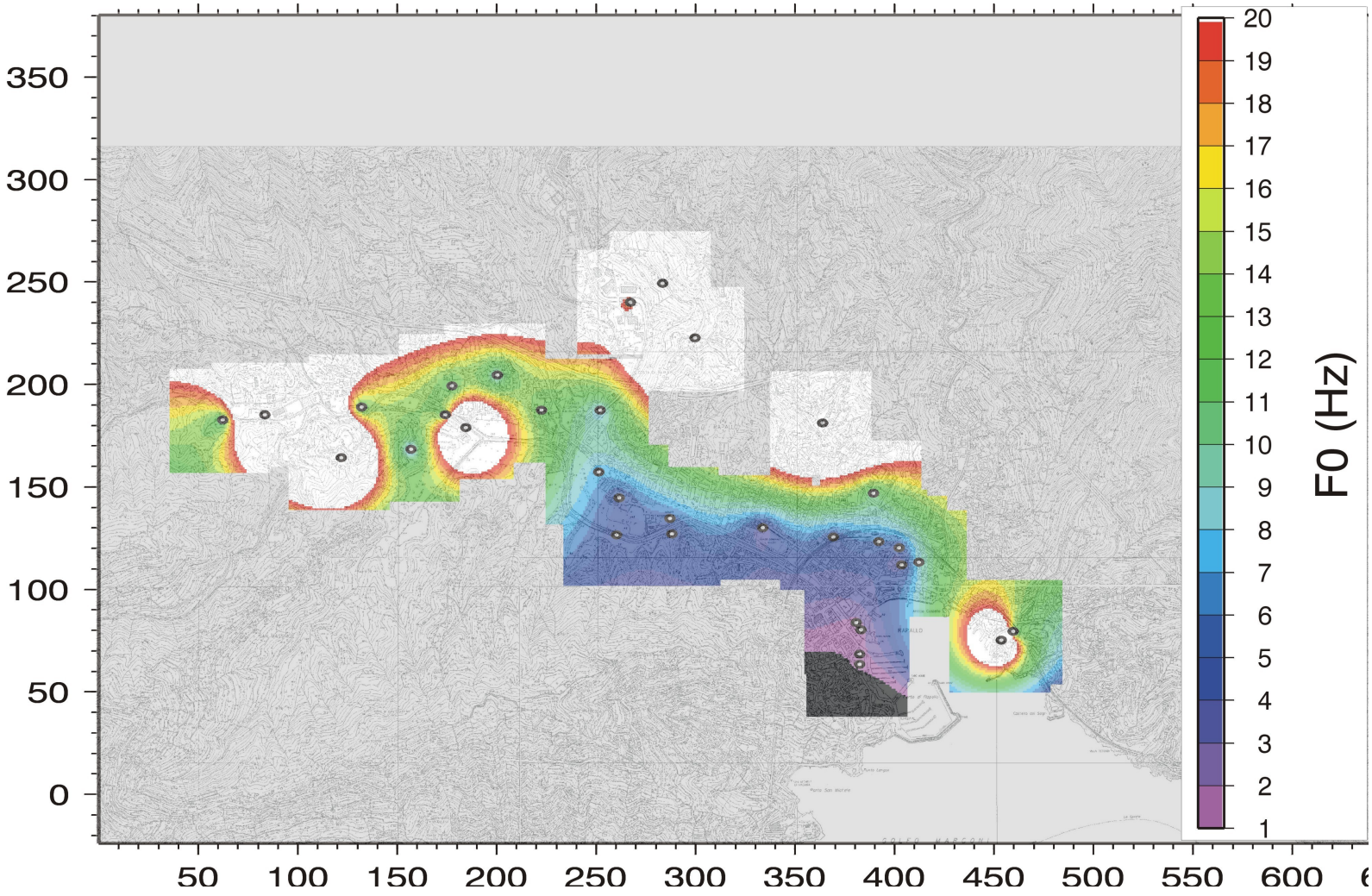



H/V delle stazioni NK7 e NK27

Per avere una visione d'insieme dei risultati ottenuti con il metodo Nakamura, è stata prodotta, grazie all'utilizzo di un programma in grado di eseguire l'interpolazione tra i punti, la Carta delle Frequenze. Sulla base topografica sono state rappresentate, attraverso una scala di colori, le frequenze di risonanza rilevate nei siti di misura e quelle calcolate tramite interpolazione. Poiché partendo da un limitato numero di valori puntuali si è eseguita la classificazione di un territorio abbastanza ampio, questa tavola è soggetta ad approssimazioni evidenti, talvolta non trascurabili. Come si può vedere dall'immagine, lungo il Torrente S. Maria, salendo verso Costa di Bana, il programma di interpolazione, per mancanza di punti certi nella zona, ha assegnato $F_0$ minori rispetto a quelle che ci si aspetterebbero in una zona di versante in roccia.

In ogni caso, appare evidente come le frequenze di risonanza minori si concentrino nella parte terminale del Boate, dove i sedimenti sono più potenti, più fini e ricchi di torba e materiali vegetali; mentre salendo verso i versanti queste aumentino bruscamente fino a generare risposte "piatte".




Carta delle Frequenze.

Potendo disporre delle informazioni stratigrafiche della piana alluvionale, è stato possibile calcolare la velocità media delle onde S all'interno delle coperture sedimentarie grazie alla formula:

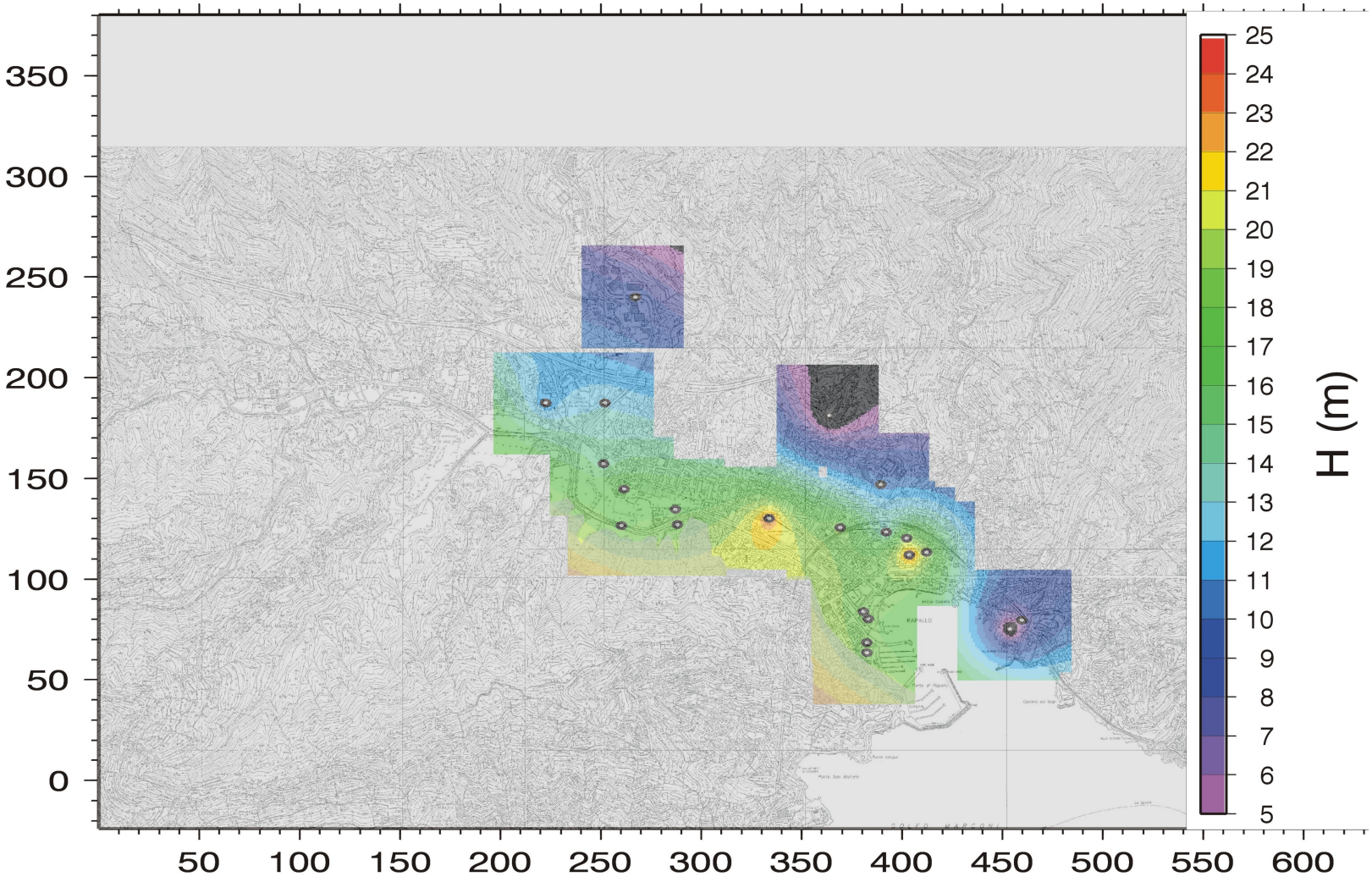
$F_0=V_s/4H$

dove $F_0$ è la frequenza di risonanza e H la profondità del bedrock.

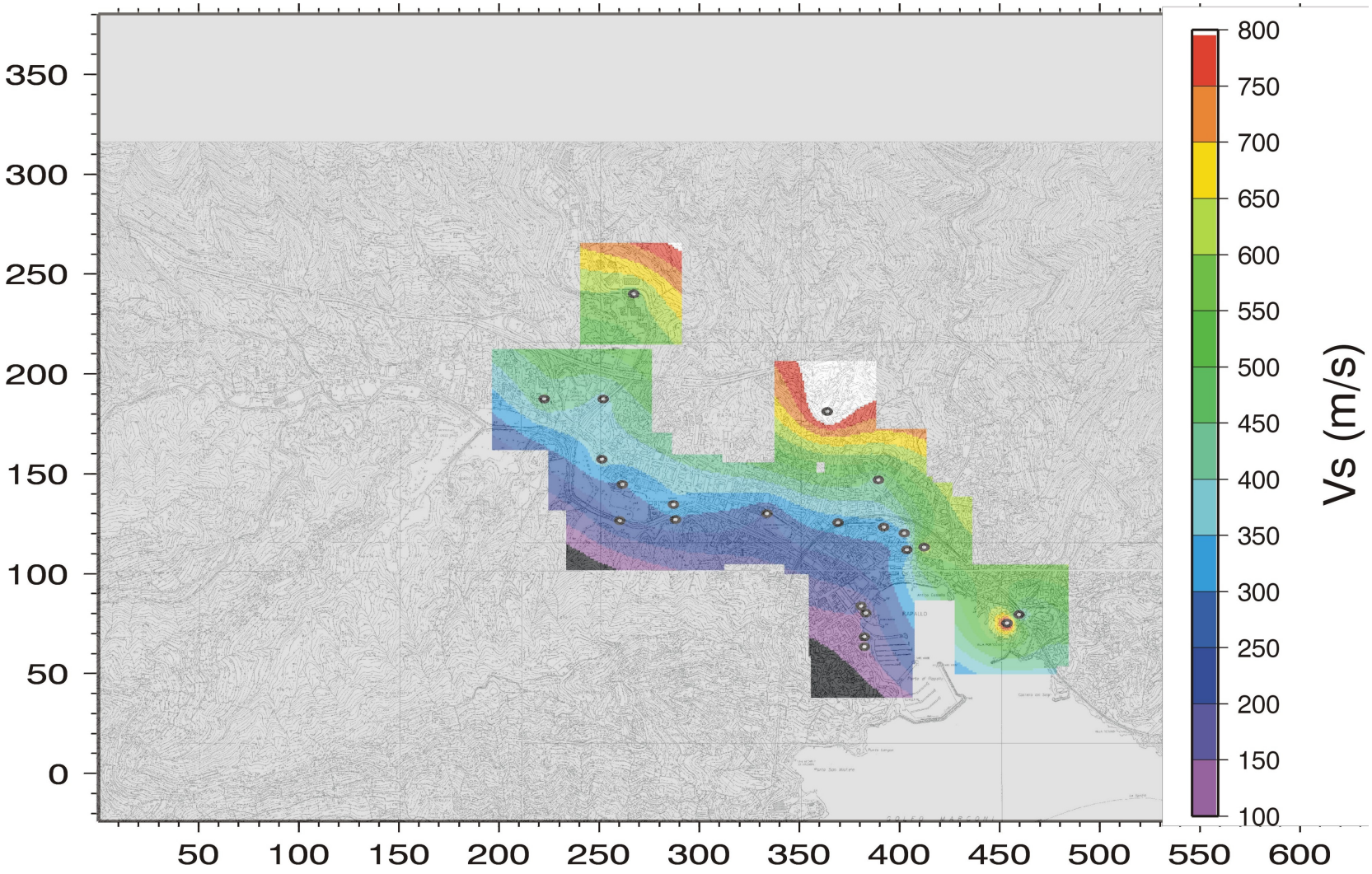
All'interno della piana alluvionale, la velocità delle onde S varia tra 150 m/s, nelle zone più vicine alla foce del Torrente Boate, e 600 m/s, nelle valli dei Torrenti S. Maria e S. Pietro. Sono invece molto più elevate nelle aree situate in roccia (maggiori di 800 m/s).

I valori delle $V_s$ sono serviti a rilevare eventuali errori nella stima delle $F_0$ misurate con il metodo Nakamura.

Per completezza sono infine state prodotte anche le carte della profondità del substrato e delle velocità medie delle onde S all'interno delle coperture sedimentarie. Poiché le informazioni stratigrafiche riguardavano principalmente la piana alluvionale del Torrente Boate, è stato necessario ridurre la porzione di territorio investigata per evitare eccessivi errori di interpolazione. Nonostante ciò si possono riscontrare imprecisioni soprattutto in sponda destra del Torrente; qui infatti, per la mancanza di punti, il programma di interpolazione tende ad assegnare valori inesatti.




Carta delle profondità del Bedrock




Carta delle $V_s$ medie nelle coperture sedimentarie

# IV. CONCLUSIONI.

Come illustrato sulla Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica basata principalmente sulle informazioni ricavate dal rilevamento geologico e geomorfologico effettuato sul territorio, e controllata con i dati ricavati dai calcoli delle velocità delle onde S, il Comune di Rapallo è stato suddiviso in tre zone differenti per caratteri litologici e stratigrafici, velocità delle onde S e per la suscettività ai fenomeni di amplificazione sismica in caso di terremoti.

Per rendere effettivamente utilizzabili i risultati ottenuti nel presente studio e per rendere la tavola conforme alle Norme vigenti, è stata usata la suddivisione in categorie di sottosuolo adottata dalle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al DM 14.01.08, par. 3.2.2.

Sono stati inoltre segnati sulla carta delle indagini quei punti per i quali, grazie al metodo Nakamura, sono state calcolate le velocità medie delle onde S nelle coperture, in modo da poter verificare la concordanza o la discordanza di questi valori con quelli assegnati dalla normativa in base alla categoria di suolo.

L'utilizzo della tecnica Nakamura per l'analisi del noise ambientale si è rivelata semplice e veloce, permettendo di ricavare le frequenze di risonanza di ciascun sito e quindi di caratterizzare, anche in termini quantitativi, la piana alluvionale del Torrente Boate.

Tuttavia l'elevato disturbo presente all'interno del centro urbanizzato ha reso le misure non sempre attendibili. Per limitare tale inconveniente si è cercato di effettuare il maggior numero di misure possibili in giorni ed orari sempre differenti.

Per tentare una valutazione quantitativa dell'amplificazione locale in "weak motion" (moto sismico di bassa intensità) e per validare i risultati ottenuti, è stata installata la rete sismica che, grazie alla registrazione dei terremoti, ha reso possibile la stima dei fattori di amplificazione su base sismologica.

I due sensori ubicati su roccia (Montallegro e Chiapparolo) non hanno registrato amplificazioni per effetti locali. Invece, dall'analisi dei parametri dei terremoti si è giunti a quantificare i fattori di amplificazione delle due stazioni posizionate sui terreni sciolti della piana alluvionale. In particolare, si è visto che la stazione situata presso il Golf è soggetta ad amplificazioni maggiori rispetto a quella in Piazza delle Nazioni.

In ottica futura i risultati e gli elaborati redatti nel corso di questo lavoro, possono rappresentare un ottimo punto di partenza per sviluppare un più completo studio di Microzonazione sismica di "livello 2". Ad esempio si potrà procedere all'esecuzione di una campagna di misure indirizzata all'individuazione dello spessore delle coltri ed alla stima della velocità media delle onde di taglio in corrispondenza di specifici terreni e/o condizioni geologico-stratigrafiche.

Infatti, a partire dalle informazioni contenute nella "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", è possibile impostare una caratterizzazione del territorio in prospettiva sismica e quindi definire per quali aree sia necessario procedere con indagini di "livello 2", con indagini e approfondimenti quantitativi di dettaglio.

Nello studio effettuato, proprio i dati di derivazione geologica hanno portato a focalizzare le indagini sismologiche nella piana alluvionale del T. Boate che, per le caratteristiche litologiche e stratigrafiche, è apparsa quella soggetta ai maggiori effetti di sito.

Il confronto dei risultati ottenuti con le informazioni stratigrafiche provenienti dai sondaggi della banca dati disponibile, ha consentito di riconoscere gli eventuali errori di misura e di identificare, in seconda battuta, le frequenze di risonanza caratteristiche dei singoli punti investigati, tutti dati propedeutici alla formazione della Carta di microzonazione sismica propria del "livello 2".

Come risultato delle indagini svolte e delle successive analisi ed elaborazioni dei dati raccolti, si evidenzia che, all'interno della piana alluvionale del Torrente Boate si possono verificare fenomeni di amplificazione che ricadono nel range di frequenze di interesse ingegneristico (0,05-10 Hz). Per altro, i fattori di amplificazione ottenuti con il metodo adottato, in assenza di fenomeni sismici "strong motion" registrati dalle stazioni fisse, possono ritenersi sovrastimati, con ovvie conseguenze in caso venissero adottati senza ulteriori verifiche.

Rimangono ancora da verificare in maniera più dettagliata i fattori di amplificazione delle maggiori coltri ed accumuli presenti e delle altre zone della piana alluvionale del T. Boate, dove l'analisi dei microtremori ha evidenziato frequenze di risonanza compatibili con quelle delle opere ingegneristiche.

Genova 25.11.2009

I Tecnici incaricati:

Prof. Dott. Alfonso Bellini

Dott. Geol. Valeria Bellini

Collaboratore:

Dott. Silvia Torchio

# Bibliografia:

- G. Lanzo, F. Silvestri, Risposta sismica locale, Helvetius Edizioni, 1999;
- E. Faccioli, R. Paolucci, Elementi di sismologia applicata all'ingegneria, Pitagora Editrice Bologna, 2005;
- S. Barani, Probabilistic seismic Hazard analysis (PSHA): declustering, logic tree, sensitivity, and treatment of uncertainties, 2007;
- Norme tecniche per le Costruzioni D.M. 14.01.08 Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti;
- Circolare n. 617 del 2/2/2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "*Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni*";
- "*Indirizzi e i criteri per la Microzonazione Sismica*" - Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile, Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Versione approvata il 13.11.2008;
- O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003;
- O.P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006;
- DGR n. 530 del 16 Maggio 2003;
- DGR n. 1308 del 24.10.2008;
- Legge Regionale del 21 luglio 1983 n. 29;
- Legge Regionale del 20 Ottobre 2006 n. 29;
- Legge Regionale del 4 settembre 1997 n. 36;
- Circolare della Regione Liguria n. 002077 del 27 aprile 1988;
- Circolare della Regione Liguria n. 004551 del 12 dicembre 1989;
- S. Parolai, D. Bindi, M. Baumbach, H. Grosser, C. Milkereit, S. Karakisa, S. Zünbül, Comparison of different site response estimation techniques using

aftershocks of the 1999 Izmit earthquake, Bullettin of the Seismological Society of America, 2004;

- S. Parolai, S. M. Richwalski, The importance of converted waves in comparino H/V and RSM site response estimates, 2004;
- S. Parolai, S. M. Richwalski, C. Milkereit, P. Bormann, Assessment of the stability of H/V spectral ratios from ambient noise and comparison with earthquake data in Cologne area (Germany), 2004;
- G. Lombardo, R. Rigano, Local seismic response in Catania (Italy): a test area in the Northern part of the town, Engineering Geology, 2007.