geo expert di Domenico Boso
Servizi per l'ingegneria e la geologia

LOCALITÀ

RAGALNA (CT)

COMMITTENTE

DOTT. GEOL. DOMENICO BELLA – AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI RAGALNA

TIPO DOCUMENTO

RAPPORTO TECNICO

OGGETTO

INDAGINI GEOFISICHE A SUPPORTO DELLA REVISIONE DEL P.R.G.



COMMESSA	DATA INDAGINE: -	REDATTO DA
110407	FEB-MAR '07	Dott. Geol. Domenico Boso
VISTO:	VISTO	IL TECNICO

95024 Acireale (CT) – via M. Panebianco, 10
Tel./Fax 095 7632505
www.geo-expert.it
e-mail domenico.boso@tiscali.it

C.F. BSO DNC 65E23 C351 C
Part. IVA 02976420873
R.E.A. n. 283594

INDICE

1. PREMESSA 3

2. PROSPEZIONE REMI (REFRACTION MICROTREMORS) 4

2.1 Generalità 4

2.2 Cenni teorici sui metodi geofisici per la misura delle Vs 5

2.3 Cenni teorici sul metodo ReMi 8

2.3.1 Bibliografia 13

2.4 Strumentazione utilizzata 14

2.5 Profilo RM1 15

2.6 Profilo RM2 18

2.7 Profilo RM3 21

2.8 Descrizione dei risultati 24

3. PROSPEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA 26

3.1 Cenni Teorici 26

3.2 Sezione sismica tomografica TS01 28

3.3 Sezione sismica tomografica TS02 30

3.4 Sezione sismica tomografica TS03-TS04 32

3.5 Sezione sismica tomografica TS05 34

3.6 Sezioni interpretative 36

3.7 Descrizione dei risultati 38

4. CAMPIONATURE "NOISE" - RISPOSTA SISMICA DEL SITO 40

4.1 Cenni Teorici 40

4.2 Strumentazione utilizzata 43

4.3 Elaborazione dati 44

4.4 Documentazione fotografica dei punti di prova 45

4.5 Grafici H/V 47

4.6 Descrizione dei risultati 56

5. CONCLUSIONI 58

1. PREMESSA

Nel presente documento sono illustrati i risultati di un'indagine geofisica effettuata nel mese di febbraio-marzo 2007 su incarico del dott. Geol. Domenico Bella e per conto del Comune di Ragalna, finalizzata alla caratterizzazione sismostrutturale di alcune aree situate nel territorio comunale, nell'ambito dei lavori di revisione del P.R.G..

Le tecniche utilizzate sono prospezioni sismiche passive per la misura delle onde di taglio e del parametro Vs_{30}, prospezioni sismiche attive ad elevata risoluzione con elaborazione di tipo tomografico, e campionamenti di noise con analisi del rapporto spettrale H/V per la valutazione degli effetti di sito.

L'obiettivo delle indagini è l'accertamento della presenza di elementi strutturali sia attraverso l'individuazione di anomalie a bassa velocità che con il riscontro di esaltazione sismica locale unitamente a fenomeni di polarizzazione delle ampiezze spettrali.

Geologicamente siamo in presenza di terreni vulcanici di natura effusiva ed esplosiva, di epoca non datata (lave del Mongibello attuale e recente).

Sono state effettuate in dettaglio le seguenti indagini:

- N. 3 Prospezioni "ReMi" per la determinazione del parametro Vs_{30} (Ordinanza P.C.M. 3274/03)
- N. 5 tomografie sismiche con 16-24 canali e lunghezza degli stendimenti "*end-to end-shot"* compresa fra 52 e 130 metri;
- N. 9 campionamenti di microtremore ("noise") con analisi del rapporto spettrale H_m/V, H_L/V, H_T/V.

2. PROSPEZIONE REMI (REFRACTION MICROTREMORS)

2.1 GENERALITÀ

La nuova normativa tecnica per le costruzioni in aree sismiche, che recepisce i contenuti dell'Ordinanza 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri, ha introdotto diverse innovazioni in merito alla progettazione antisismica che ci adegua allo standard europeo e mondiale. Oltre alle importanti novità relative alle metodologie di calcolo ingegneristico è stata introdotta la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto in 5 categorie principali (dalla A alla E) a cui ne sono aggiunte altre 2 (S1 ed S2 per le quali sono richiesti studi speciali per definire l'azione sismica da considerare), sulla base del parametro Vs_{30}. Questo rappresenta la velocità media di propagazione delle onde S entro 30m di profondità (al di sotto del piano di fondazione) ed è calcolato mediante la seguente espressione:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h1 e V1 indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10\text{-}6$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori. La proposta della nuova normativa conclude che il sito verrà classificato sulla base del valore di Vs_{30} se disponibile, altrimenti sulla base del valore di Nspt o della cu.

Viene in sostanza enfatizzata l'importanza del parametro Vs che com'è noto è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo.

Le tecniche investigative per l'acquisizione di questo parametro sono essenzialmente di tre tipi:

- Prove in foro (down hole e cross hole)

- Profili sismici (riflessione o rifrazione) con geofoni orizzontali ed energizzatori di onde SH.
- Modellazione del sottosuolo mediante l'analisi delle onde di Rayleigh (SASW, MASW e Refraction Microtremor) e l'impiego di geofoni verticali.

Le prime richiedono la realizzazione di fori di sondaggio appositamente attrezzati per un ottimale accoppiamento dei sensori e quindi un consistente impegno economico.
Le seconde offrono risultati qualitativamente elevati ma costi di esecuzione impegnativi.
Le ultime, al contrario, vengono realizzate (fa eccezione il SASW) con procedure operative molto simili a quelle applicate per la comune microsismica e sono di conseguenza meno onerose ed hanno un grado di incertezza nella determinazione della Vs<20%. La tecnica MASW consente una dettagliatissima ricostruzione della distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo, ma soffre di limitazioni per quanto riguarda la profondità di investigazione che normalmente, con le tecniche elaborative attualmente disponibili, difficilmente supera la ventina di metri (in presenza di materiali sciolti normalconsolidati).
La tecnica di Refraction Microtremor (ReMi) al contrario consente di raggiungere profondità ragguardevoli fornendo un profilo verticale medio delle Vs relative al volume di sottosuolo sotteso dallo stendimento messo in opera.
Questa tecnica viene estensivamente utilizzata negli Stati Uniti nell'ambito del NEHRP (National Earthquacke Hazard Reduction Program).

2.2 CENNI TEORICI SUI METODI GEOFISICI PER LA MISURA DELLE VS

In sismica, il profilo verticale delle Vs può essere ricavato per inversione o per modellizzazione diretta della velocità di fase delle onde di superficie (Rayleigh e/o Love) (Dorman e Ewing, 1962).

Le onde di Rayleigh (1885) costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza tra onde di pressione (P-waves) e di taglio verticali (S_v-waves).

In un mezzo stratificato queste onde sono di tipo guidato e dispersivo, e vengono definite pseudo-Rayleigh. Per comodità vengono chiamate semplicemente di Rayleigh o di superficie.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano normalmente più elevate velocità di fase.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, V(fase)/frequenza, può essere convertito nel profilo di Vs/profondità. Nazarian e Stokoe (1984) hanno presentato per primi il metodo SASW, che utilizza una sorgente attiva e due soli sismometri da 1Hz spaziati da 1m fino a 500m. I sismometri sono polarizzati verticalmente e quindi i profili di Vs sono ricavati dallo studio delle velocità di fase delle onde di Rayleigh. Le velocità di fase sono ricavate per confronto diretto degli spettri di ampiezza e fase di ciascuna coppia di sismometri, ottenuti istantaneamente in sito tramite un oscilloscopio che esegue una trasformata veloce di Fourier. Poiché il metodo non prevede il salvataggio delle tracce temporali e l'interpretazione è svolta nel dominio delle frequenze, si suppone che gli arrivi più energetici appartengano al treno d'onde di Rayleigh. Nelle situazioni in cui il rumore sovrasta la potenza della sorgente artificiale, o in cui gli arrivi delle onde di pressione sono più energetici, questa metodologia non porta a risultati soddisfacenti per il fatto che, nel dominio delle frequenze, non è possibile separare le onde di Rayleigh da quelle di altra natura.

Il MASW (Park et al., 1999) è stato sviluppato in parte per superare le difficoltà dell'applicazione del SASW in ambienti rumorosi. La registrazione simultanea di 12 o più canali (separati da 0,5 m a 10 m) fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalora la veridicità. Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere e evidenziare, durante

l'analisi, le onde di Rayleigh presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie). Una particolare analisi spettrale, "overtone analysis", produce un grafico Velocità di fase - Frequenza in cui si può distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D. La tecnica prevede inoltre di eseguire misure ripetute spostandosi nella direzione di allineamento per risalire ad un profilo bidimensionale che evidenzia le variazioni laterali delle Vs. Le modalità esecutive e, di conseguenza, i costi si elevano risultando molto simili a quelli delle indagini di sismica a riflessione ad alta risoluzione.

Il metodo dei "Refraction Microtremor" (Louie, 2001) combina la semplicità operativa del SASW con l'elevata risoluzione dei primi strati propria del MASW. Registrando i microtremori mediante uno stendimento lineare con più di 12 geofoni a bassa frequenza il metodo consente una rapida ed agevole acquisizione dei dati senza dover operare con un sorgente attiva.

2.3 CENNI TEORICI SUL METODO REMI

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University. L'analisi dei microtremori viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione (a geofono singolo) disposta sul terreno con array lineare, da 12 a 48 geofoni; per ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4-14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15-20 sec.) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30 Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle Vs relativamente ai primi cento metri di profondità.

L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" *(p-f)* che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico *p-f*.

In questa immagine risaltano gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa, ed è possibile un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh, che hanno carattere dispersivo, da quelle riconducibili ad altri modi e tipi di onde (onde di Rayleigh di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente).

A questo si esegue la fase di "picking", attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o 1/velocità di fase) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto.

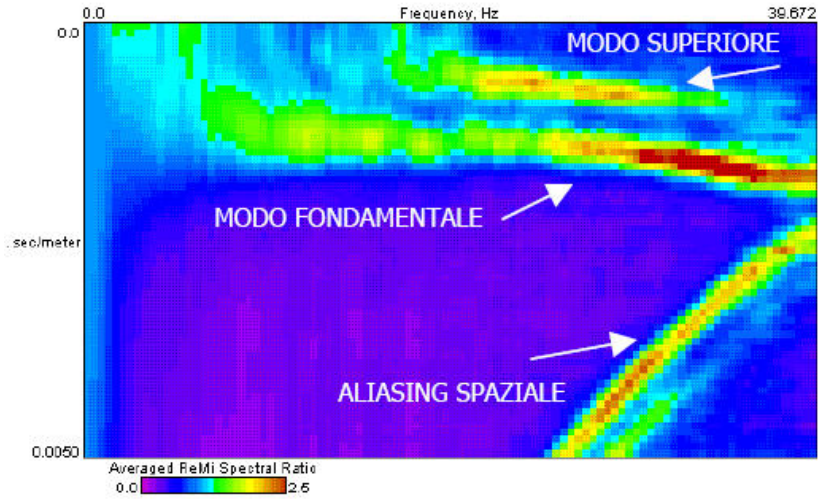


Figura 1 - Esempio di spettro di potenza p-f.

Le metodiche analitiche del sistema rendono possibile operare in ambienti fortemente "inquinati" da rumore urbano e industriale tanto che ogni sito si presta ad essere studiato a patto che ci sia la possibilità di gestire in "sicurezza" uno stendimento complessivo di 100-200 ml.

Osservate le comuni precauzioni che si adottano in qualsiasi campagna sismica (accoppiamento e verticalità dei geofoni, ad es.) si stabilisce la distanza intergeofonica (che sarà funzionale al target e compatibile con l'area disponibile), si impostano i parametri di acquisizione, intervallo di campionamento (sample rate) e tempo di registrazione (record length), ripetendo le misure almeno 10 volte.

Nel caso in cui si sia in presenza di una sorgente fissa di rumore è consigliabile ruotare di 90° l'intero stendimento e ripetere alcune acquisizioni; l'analisi complessiva del segnale mitiga l'effetto della unidirezionalità della sorgente e evita di incorrere nella sottostima della velocità di fase durante la più delicata operazione di picking.

La spaziatura geofonica rappresenta una sorta di filtro in frequenza per il segnale che può arrivare da tutte le direzioni. E' quindi implicito che maggiore è la spaziatura minore è la frequenza del segnale utile campionabile e di conseguenza maggiore è la profondità di investigazione. Questo fattore diventa interessante, e fondamentale, qualora l'oggetto dell'indagine sia la modellazione profonda, mentre può essere trascurabile se la finalità della misura è la definizione del profilo sismico verticale relativo a poche decine di metri.

I profili ReMi possono essere realizzati anche su terreni duri quali ad esempio le pavimentazioni stradali mediante preparazione preventiva di fori per alloggiare i geofoni o, più semplicemente, adottando dei supporti o ancora sfruttando le intercapedini presenti sui marciapiedi al contatto con la profilatura in pietra.

La prima fase elaborativa dei record prevede la conversione dei file dati e il preprocess che filtra ed equalizza le tracce. Viene effettuata l'introduzione di alcuni parametri quali la geometria (geophone spacing) utilizzata, la frequenza massima da indagare, la velocità di fase minima di partenza ed il numero di vettori "slowness" (np=2*n geofoni). Questi ultimi tre parametri, opportunamente scelti, concorrono ad aumentare il dettaglio dello spettro di potenza p-f e a renderlo più adatto ad una campionatura meno ambigua della curva di dispersione.

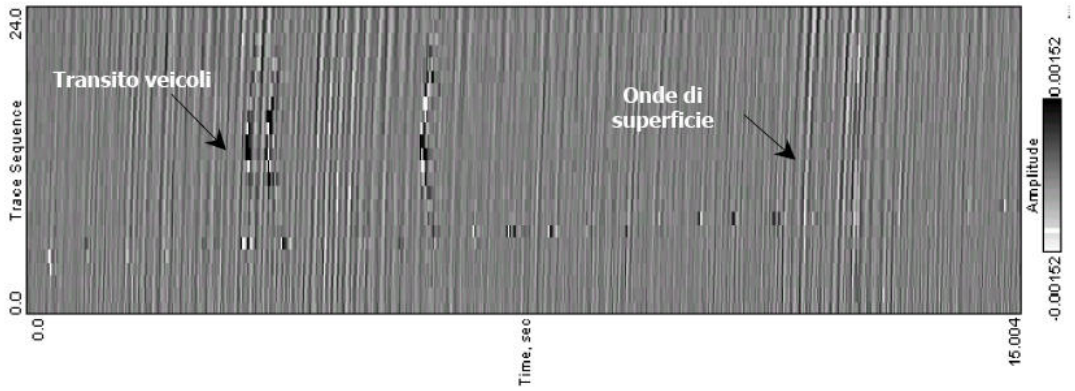


Figura 2 – Serie di tracce filtrata con evidenziate le onde di superficie

Il numero di vettori "slowness" agisce sulla dimensione dei pixel e sulla risoluzione verticale dell'immagine p-f; la frequenza massima, se aumentata (a condizione che vi sia segnale utile) può agevolare una maggiore conoscenza dell'andamento delle Vs nella porzione più superficiale del terreno. Si ricorda che il dettaglio laterale dell'immagine p-f è legato alla risoluzione in termini di frequenza che, a sua volta, deriva dalla scelta del tempo di registrazione (ad esempio ad una registrazione di 15 s corrisponde una risoluzione di 0.066Hz) e pertanto non cambia al variare della frequenza massima da indagare. La velocità di fase minima agisce sulla rappresentazione della potenza significativa del segnale; diminuendola si ottiene un

incremento dell'intensità dello spettro ma, per i valori eccessivamente bassi (<50 m/s) si registra un eccessivo schiacciamento verticale dell'immagine p-f. Questa operazione è abbastanza delicata ed importante in quanto condiziona la morfologia del segnale dispersivo. Si tratta in sostanza di un'operazione di zoom sullo spettro ed è stato riscontrato che un eccesso di amplificazione può indurre incertezza nel riconoscimento della corretta posizione producendo, come conseguenza, una curva di dispersione poco "smoothed" che rende meno precisa la modellazione diretta.
Quindi il corretto dimensionamento dei parametri sopra descritti, suggeriti in buona parte dall'esperienza, ha lo scopo di diminuire il grado di incertezza e di arbitrarietà che distingue le operazioni di campionatura della curva di dispersione (picking).

I dati selezionati dall'immagine p-f vengono plottati su un diagramma nel quale compare anche una curva di dispersione calcolata a partire da un modello iniziale di Vs. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità la curva di dispersione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

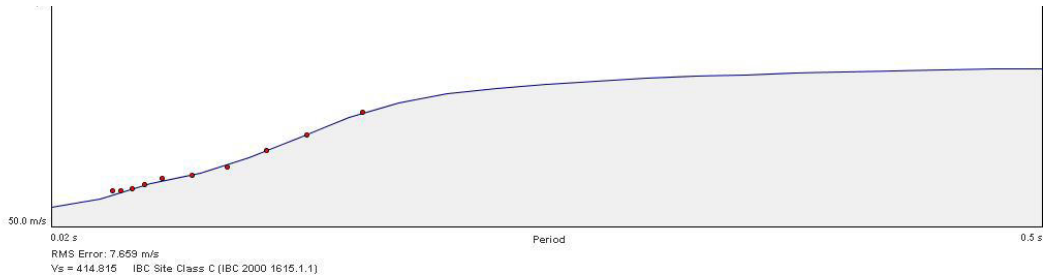


Figura 3 – Curva di dispersione

Si tratta di una modellazione diretta, monodimensionale, che può accettare inversioni di velocità con la profondità ed in cui conta molto il peso che deriva dall'abilità e dall'esperienza del geofisico.
I profili di Vs ricavati con questa metodologia non presentano una soluzione univoca e cioé più di un modello può fornire curve di dispersione simili tra loro e con il medesimo RMS. Sta all'esperienza del tecnico geofisico stabilire quale modello si adatta maggiormente alle condizioni litostratigrafiche locali. Mediante l'analisi dei rapporti spettrali tra la componente verticale e quella orizzontale (metodo di

Nakamura) si può ottenere un'indicazione dei possibili effetti di amplificazione locale conseguenti ad una sollecitazione sismica. La loro entità è strettamente connessa con le caratteristiche geotecniche dei materiali presenti nel sottosuolo ed all'assetto geomorfologico dell'area. Il raffronto dei risultati non può ovviamente fornire delle correlazioni dirette essendo differenti i target delle due tecniche investigative, ma la ReMi può rappresentare un importante supporto interpretativo attraverso il modello sismico locale che riesce a produrre.

La tecnica ReMi non è nata solo per la misura del parametro Vs_{30} , bensì per l'investigazione del sottosuolo fino a profondità talvolta considerevoli (in presenza di situazioni geologico-geotecniche particolarmente favorevoli) e comunque sempre superiori ai trenta metri. L'applicazione del metodo alla caratterizzazione del comportamento dei suoli dal punto di vista sismico è stata avviata, testata ed utilizzata estensivamente negli Stati Uniti (per la classificazione dei suoli del NHERP).

L'uso di una sorgente passiva, quale quella del rumore di fondo ambientale, la rende applicabile in moltissime situazioni, anche in quelle apparentemente silenziose quali, ad esempio, quelle di aperta campagna, lontane dai centri abitati: è infatti sorprendente constatare l'entità della diffusione del "noise" a bassa frequenza, che è segnale utile, prodotto dalle aree urbane o dalle vie di comunicazione.

Quasi tutti gli ambiti fisici presentano quindi condizioni sfruttabili per l'impiego di questa tecnica, anche se va precisato che operare in siti dove è presente un rumore ambientale con un contenuto in frequenza abbastanza esteso consente una migliore ricostruzione della porzione più superficiale del sottosuolo.

2.3.1 Bibliografia

• Dorman, J., Ewing, M., 1962. Numerical inversion of seismic surface wave dispersion data and crust-mantle structure in the New York-Pennsylvania area. J.Geophys. Res. 67,5227-5241

• Louie, J., 2001. Faster, Better: Shear Wave Velocity to 100 meters Depth from Refraction Microtremor Arrays. Bullettin of the Seismological Society of America, 91, 2, 347-364 aprile

• Nakamura,Y.,1989. A method for dynamic characteristics extimation of subsurface using microtremor on ground surface. QR Raylw.Tech. Res.Inst.,30, 25-33.

• Nazarian, S. e Stokoe, K. H., 1984. In situ shear wave velocities from spectral analysis of surface waves in Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, vol.8, San Francisco, 21-28 luglio

• Park, C. B.,R. D.Miller e Xia, J., 1999. Multi-channel analysis of surface waves, Geophys.64,800-808

• Rayleigh, W., 1885. On waves propagated along the plane surface of an elastic solid. London Mathematical Soc.Proc.,17:4-11

2.4 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Ai fini della corretta esecuzione dell'indagine ReMi è necessario l'utilizzo di un registratore sismico ad elevata dinamica e sensibilità, con risoluzione del segnale non inferiore a 24 bit.

Per la realizzazione delle prospezioni sismiche in oggetto è stato utilizzato un sismografo a memoria incrementale per sismica a rifrazione e riflessione della MAE, modello A6000-S a 24 canali con risoluzione del segnale a 24 bit per canale.

Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura utilizzata.

DATI TECNICI DELLA STRUMENTAZIONE IMPIEGATA		
MODELLO SISMOGRAFO M.A.E. A-6000-S	N. CANALI 24 (differenziali)	
CONVERSIONE A/D 24 bit a singolo canale	**CAMPIONI PER CANALE** 10.922	
CAMPIONAMENTO 125-50.000 camp./sec.	LARGHEZZA DI BANDA 0-25 Khz	
BAND REJECT 110dB@50Hz	AMPIEZZA MAX. IN INGRESSO 10Vpp,0dB	
FORMATO DATI SEG-2 standard	**SISTEMA OPERATIVO** Windows XP Embedded	
IMPEDENZA D'INGRESSO 220 kOhm@0dB	RUMORE 250nV/@2mS,36dB	

Per le operazioni di campo, inerenti l'esecuzione dell'indagine geofisica, sono stati inoltre utilizzati i seguenti accessori

- N. 2 Cavi sismici multipolari in Purex da 60 metri, 12 take-out, intervallo 5 metri;
- N. 15 geofoni verticali frequenza 14 Hz;
- N. 15 supporti in acciaio.

DENOMINAZIONE:				
2.5 PROFILO RM1				
N. GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PASSO DI CAMPIONAMENTO	CAMPIONI ACQUISITI
18	5 m	85 m	2 millisec.	1.77E+06



Figura 4 – Veduta del sito interessato e dello stendimento ReMi

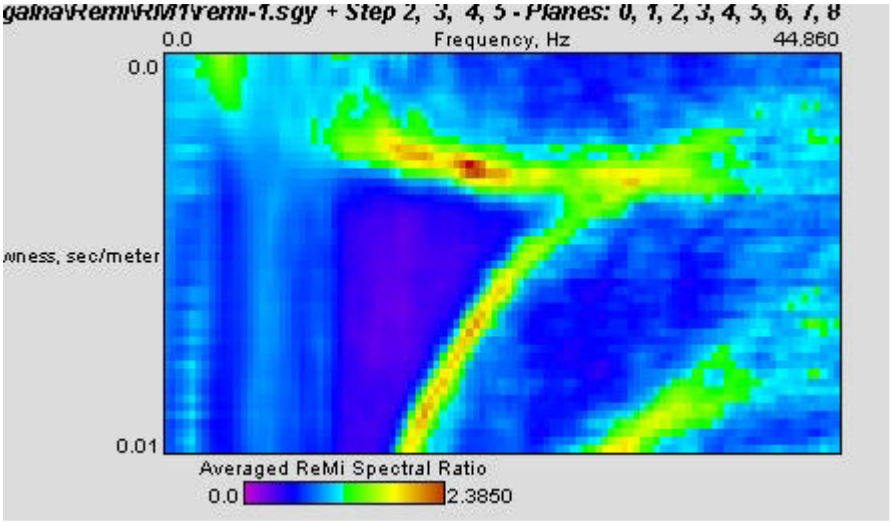


Figura 5 – Spettro di potenza *p-f*

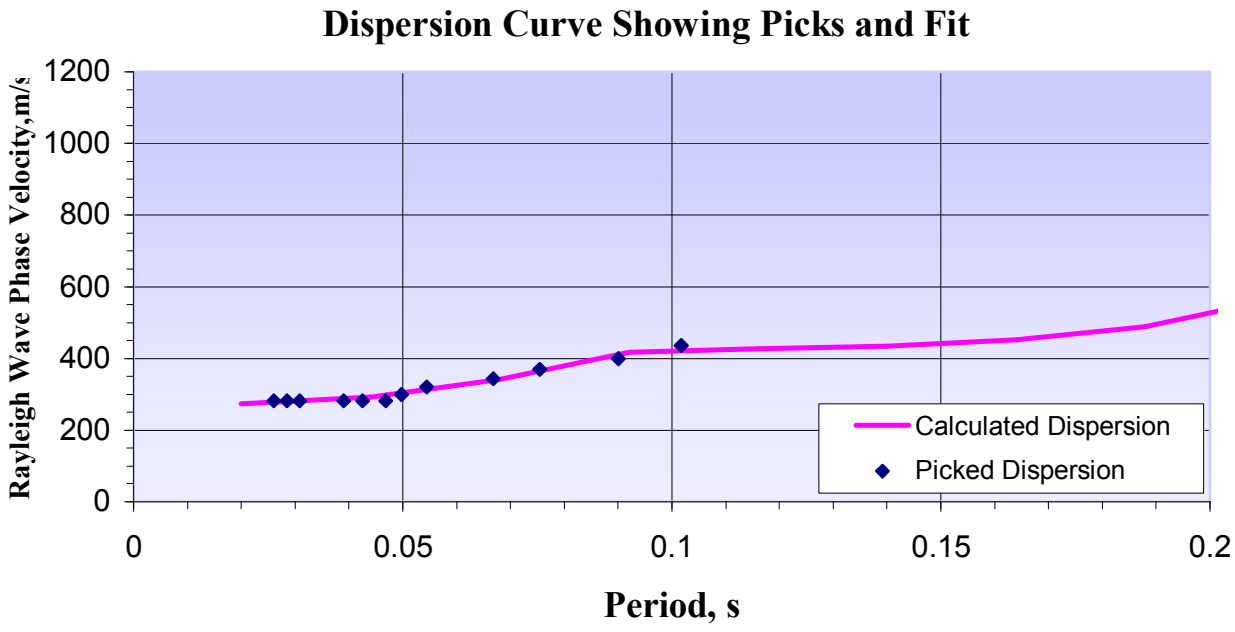
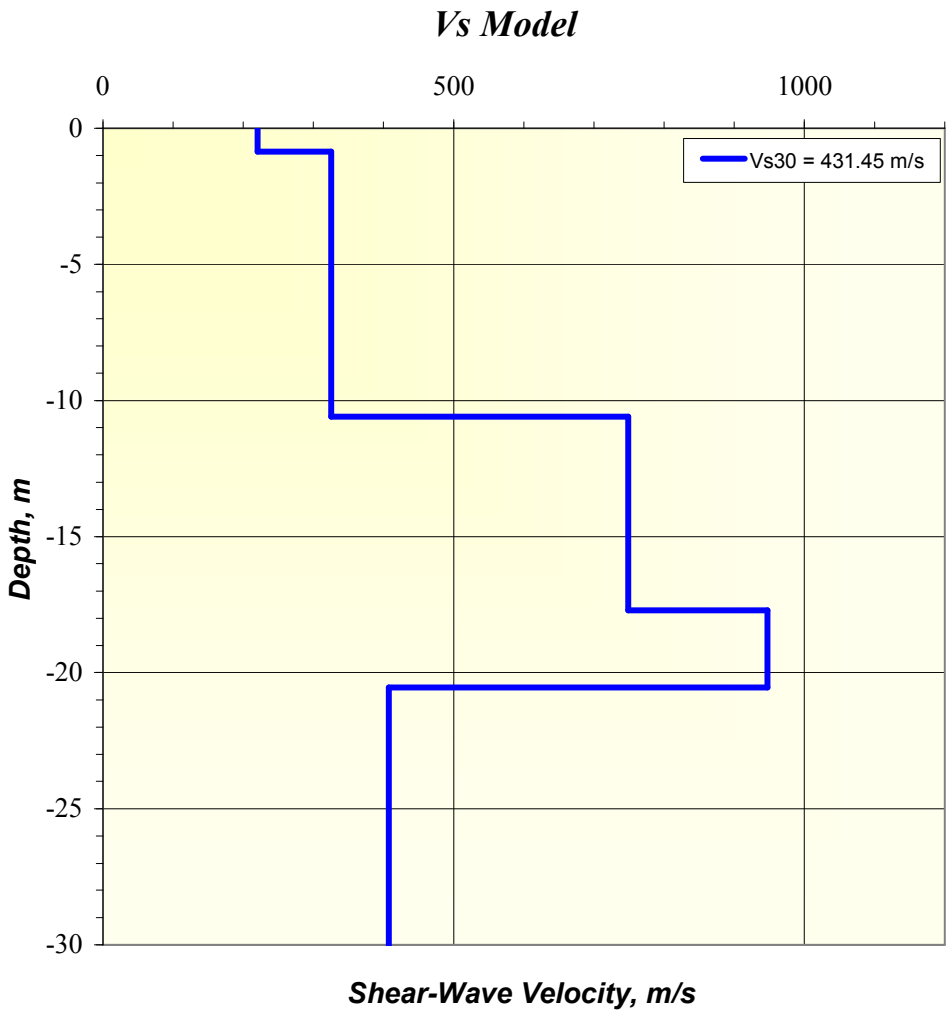


Figura 6 – Curva di dispersione calcolata (violetto) e punti campionati (blu)


Vs Model
0
500
1000
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
Depth, m
Vs30 = 431.45 m/s
Shear-Wave Velocity, m/s

DENOMINAZIONE:				
2.6 PROFILO RM2				
N. GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PASSO DI CAMPIONAMENTO	CAMPIONI ACQUISITI
24	5 m	115 m	2 millisec.	2.62E+06



Figura 7 – Veduta del sito interessato e dello stendimento ReMi

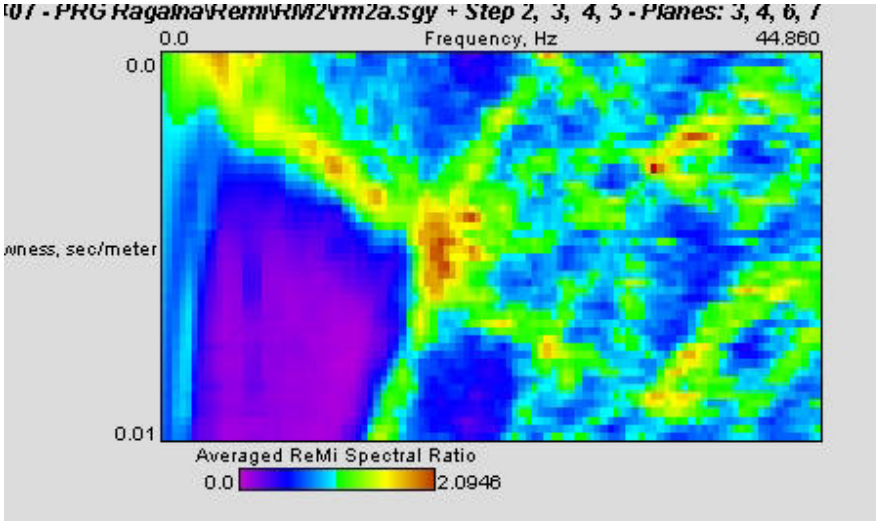


Figura 8 – Spettro di potenza *p-f*

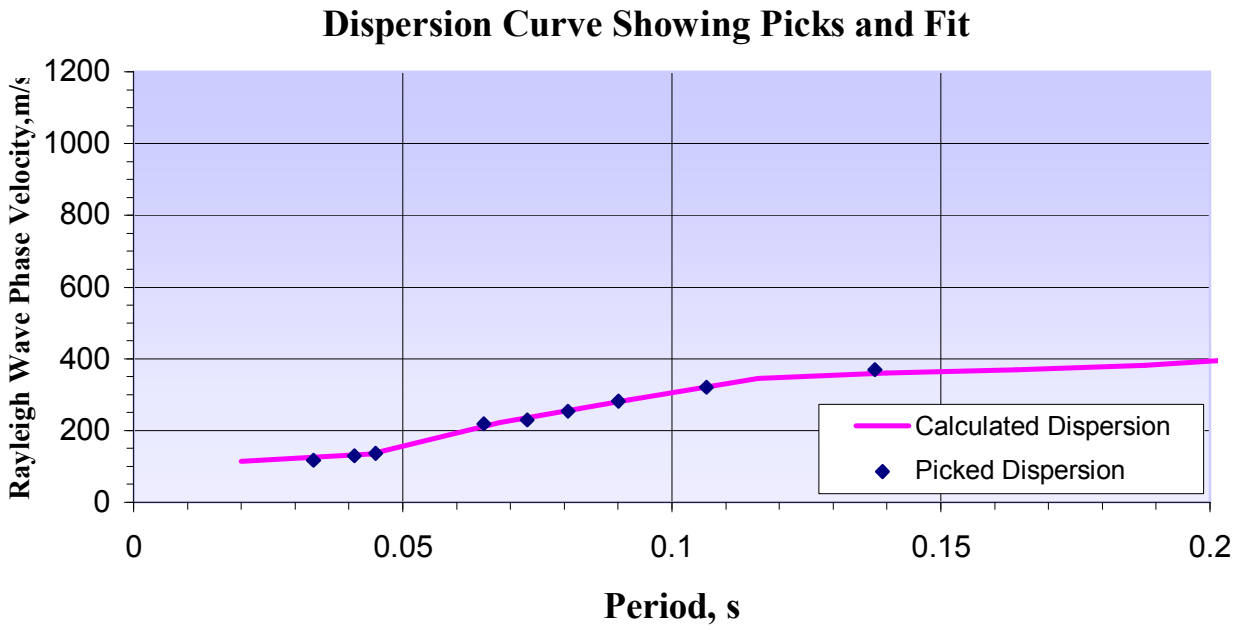
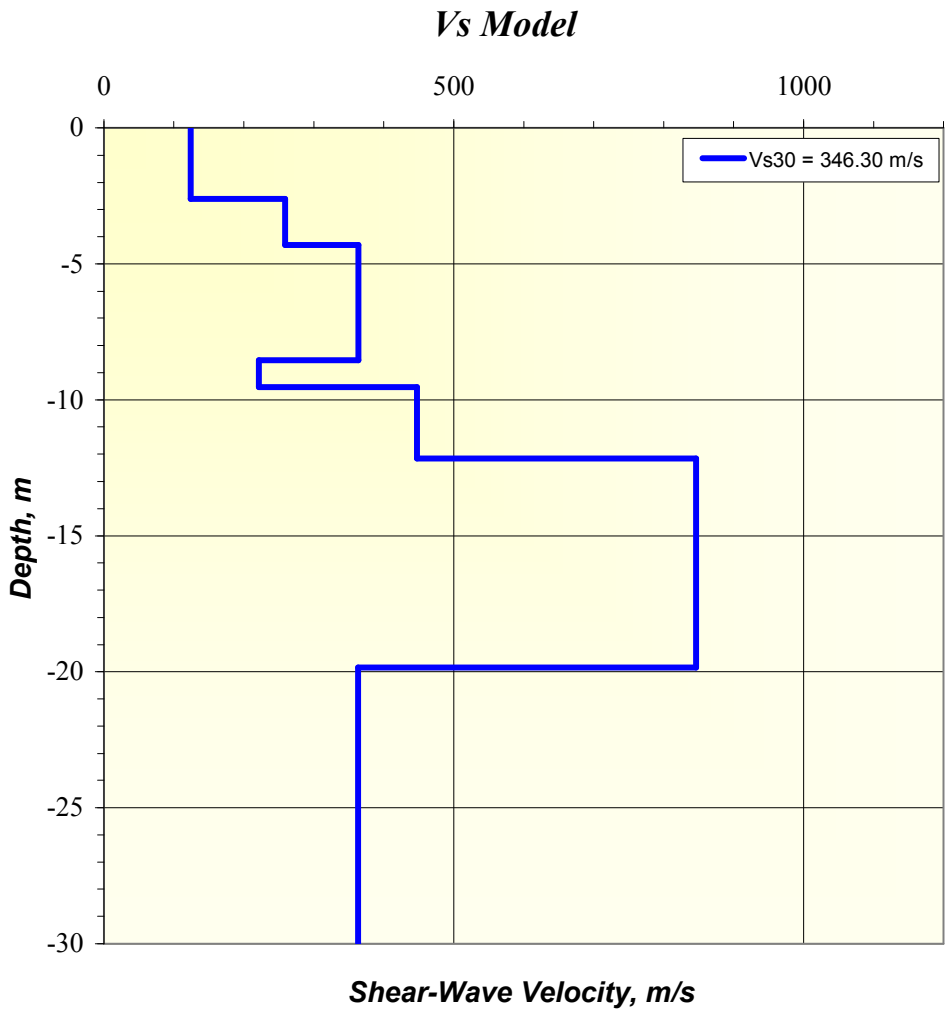


Figura 9 – Curva di dispersione calcolata (violetto) e punti campionati (blu)


Vs Model
0
500
1000
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
Vs30 = 346.30 m/s
Depth, m
Shear-Wave Velocity, m/s

DENOMINAZIONE:				
2.7 PROFILO RM3				
N. GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PASSO DI CAMPIONAMENTO	CAMPIONI ACQUISITI
18	5 m	85 m	2 millisec.	1.57E+06



Figura 10 – Veduta del sito interessato e dello stendimento ReMi

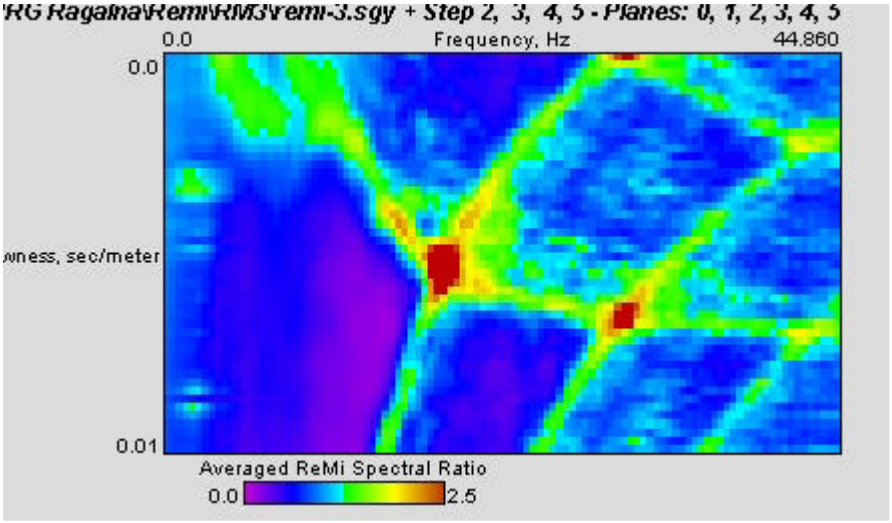


Figura 11 – Spettro di potenza *p-f*

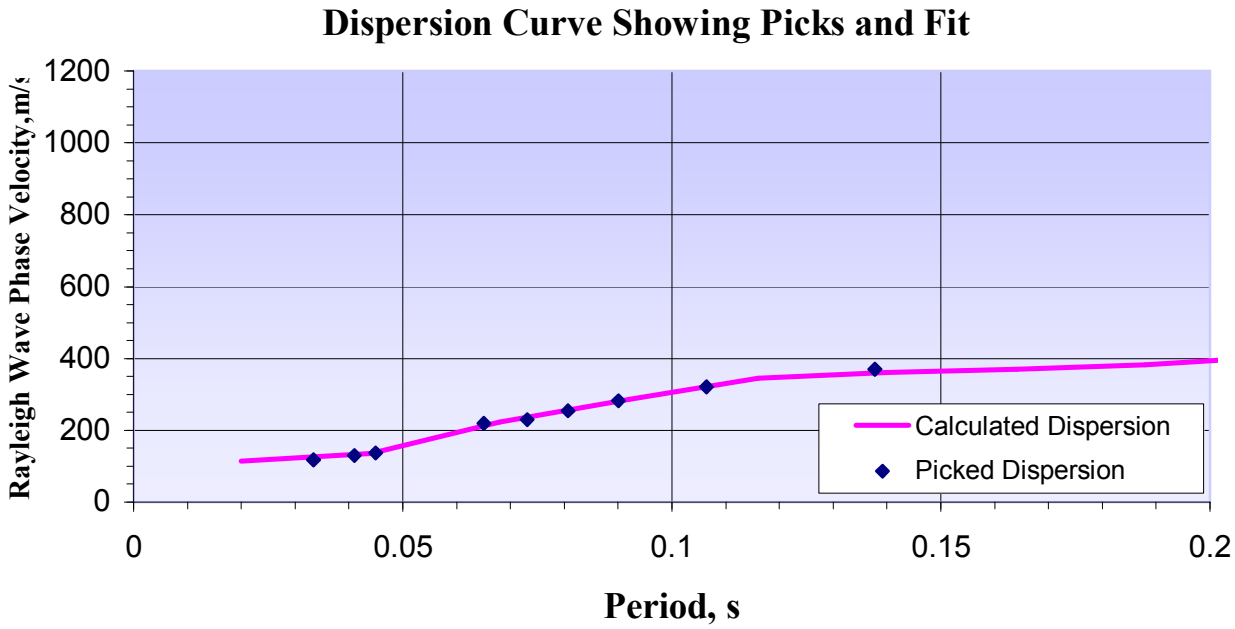
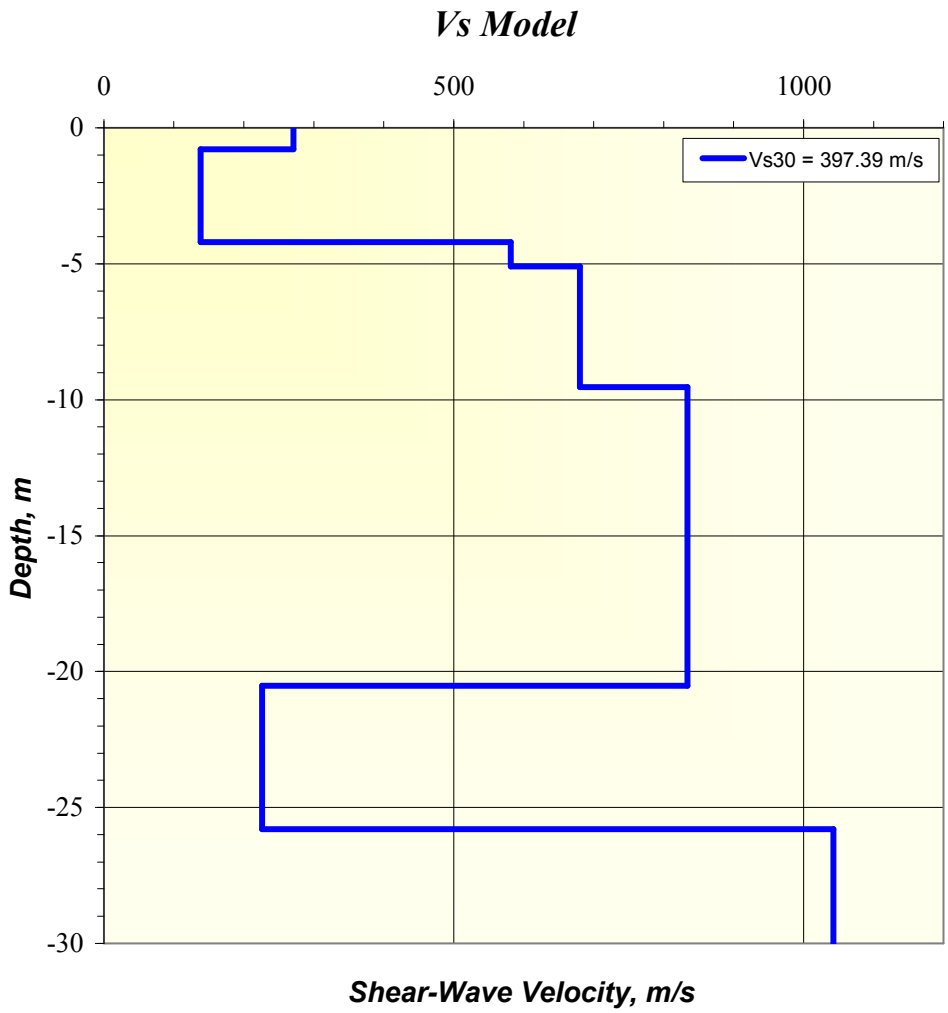


Figura 12 – Curva di dispersione calcolata (violetto) e punti campionati (blu)


Vs Model
0
500
1000
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
Vs30 = 397.39 m/s
Depth, m
Shear-Wave Velocity, m/s

2.8 DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Dall'analisi dei modelli 1-D ricavati attraverso la prospezione Remi, emergono condizioni sismostratigrafiche alquanto differenti fra i vari siti di prova, ed il valore del parametro Vs_{30} ottenuto ne è una conferma. Di seguito si sintetizzano i modelli ottenuti:

Profondità, m	Vs, m/sec	Vs_{30}, m/sec
0.0-0.9	220.5	**431.45**
0.9-10.6	325.7	
10.6-17.7	749.3	
17.7-20.5	947.6	
20.5-30.0	407.8	

Figura 13 – RM1 - tabella sintetica Vs

Profondità, m	Vs, m/sec	Vs_{30}, m/sec
0.0-2.6	123.8	**346.30**
2.6-4.3	259.1	
4.3-8.5	363.6	
8.5-9.5	221.5	
9.5-12.2	447.4	
12.2-19.9	846.3	
19.9-30.0	362.9	

Figura 14 – RM2 - tabella sintetica Vs

Profondità, m	Vs, m/sec	Vs_{30}, m/sec
0.0-0.8	271.0	**397.39**
0.8-4.2	138.0	
4.2-5.1	581.7	
5.1-9.5	680.3	
9.5-20.5	833.8	
20.5-25.8	226.2	
25.8-30.0	1042.9	

Figura 15 – RM3 - tabella sintetica Vs

In base all'esperienza, le onde S nei terreni lavici etnei sono condizionati notevolmente dalla densità e porosità (scorie, vulcanoclastiti, ecc.) e da densità e discontinuità (rocce lapidee). In presenza di successioni laviche effusive, con alternanza di banchi lavici e livelli scoriacei, i valori di Vs_{30} possono variare mediamente fra 450 e 700 m/s, in funzione della maggiore o minore presenza di livelli scoriacei e del grado di

bollosità e fessurazione della compagine lapidea. In presenza di terreni prevalentemente incoerenti e poco addensati (scorie, vulcanoclastiti), i valori di Vs_{30} possono ridursi sensibilmente (300-430 m/s), riconducendo le caratteristiche dei terreni anche all'interno della categoria C di cui all'Ordinanza P.C.M. 3274/03.

Pertanto, visti i valori ottenuti nelle tre prove, è evidente che il territorio in esame presenta caratteristiche disomogenee, essendo caratterizzato frequentemente dalla presenza di consistenti spessori in superficie dotati di Vs relativamente basse e collegabili a terreni di natura esplosiva o scoriacea. Nella prova RM3 le basse velocità superficiali sono da correlare a terreni di natura alluvionale.

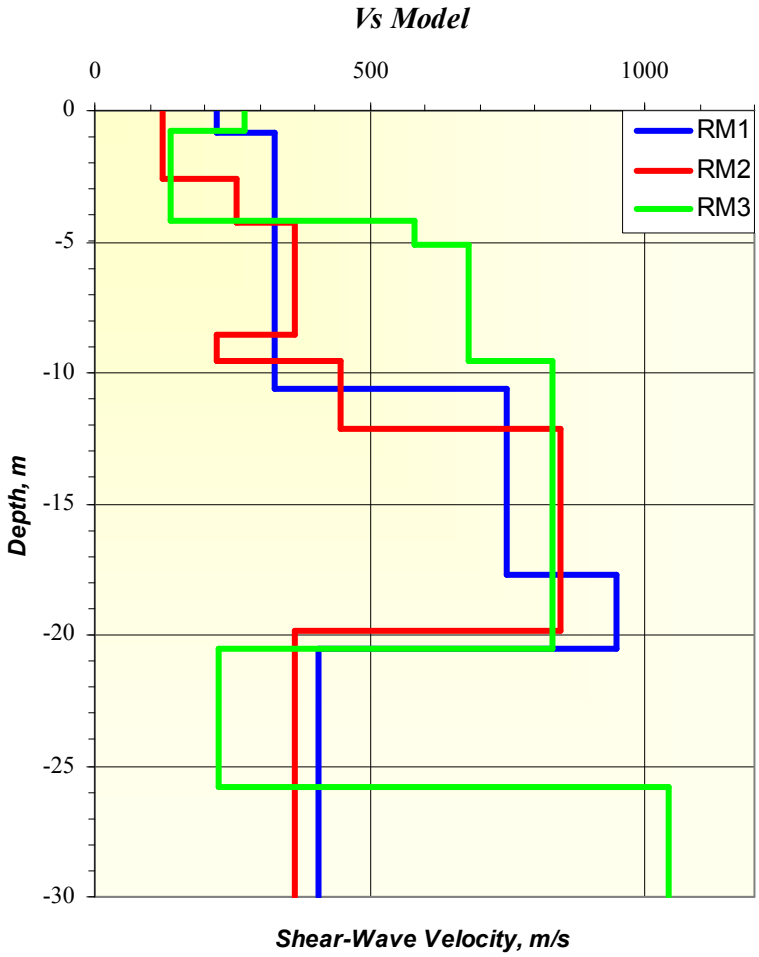


Figura 16 – Raffronto fra i modelli 1-D

3. PROSPEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA

3.1 CENNI TEORICI

Per la ricostruzione geometrica e la caratterizzazione fisica (Vp) dei terreni interessati ai fini progettuali è stata eseguita una tomografia sismica assiale di superficie allo scopo di restituire la struttura del substrato come "immagine" bidimensionale di velocità delle onde sismiche longitudinali.

La tomografia sismica ha il compito di stabilire le proprietà dinamiche in sito dei terreni di fondazione, individuare eventuali discontinuità, cavità o strati particolarmente poco consistenti presenti nel sottosuolo, mediante la definizione della velocità e della direzione di propagazione delle onde elastiche generate da sorgenti artificiali.

La velocità di propagazione in un terreno è legata essenzialmente alle proprietà elastiche ed alla densità, che a sua volta dipende dalla porosità, dal grado di fratturazione, dal contenuto in acqua e dalla composizione chimica. Ogni variazione di questo fattore influenza il valore della densità provocandone, quindi, una corrispondente variazione della velocità di propagazione delle onde sismiche.

I dati sismici ottenuti (tempi d'arrivo delle onde longitudinali), sono stati trattati tomograficamente, al fine di ricostruire profili 2D lungo le sezioni sismiche investigate.

In fase di elaborazione dei dati è stato applicato il metodo di interpretazione dei dati noto come *Generalized Simulated-Annealing Optimization.*

Il G.S.A.O. è un modello di calcolo che consente una procedura ***non lineare*** dell'inversione dei tempi di primo arrivo delle fasi dirette e rifratte delle onde sismiche registrate durante una prospezione sismica superficiale a rifrazione.

Il vantaggio di tale tecnica è nell'assoluta indipendenza dal modello iniziale di velocità.

Le fasi di calcolo che vengono eseguite nel processo d'elaborazione dei dati, possono essere così sintetizzate:

- Calcolo dei travel - time attraverso un modello iniziale di velocità e determinazione dell'errore minimo quadrato (**E_0** = least-square error), tra il travel – time calcolato e quello osservato.

  Per ogni iterazione **i** è possibile definire il "least–square error" secondo la formula:

$$E_i = \frac{1}{N}\left[\sum_{j=1}^{N}(t_j^{obs} - t_j^{cal})^2\right] \qquad (1)$$

  dove **N** è il numero di campioni, j denota ogni osservazione, e **t^{obs}** e **t^{cal}** sono rispettivamente il tempo osservato e calcolato.

- Perturbazione del modello di velocità mediante l'inserimento di una costante di velocità casuale, mantenendo la non linearità del sistema, e calcolo del nuovo "least – square error" **E_1**.

- Determinazione della probabilità **P** di ammettere il nuovo modello (cioè che il modello sia accettabile):

$$P = 1; \quad E_1 \le E_0 \qquad (2)$$

$$P = P_c = \exp\left[\frac{(E_{\min} - E_1)^q \Delta E}{T}\right]; \quad E_1 > E_0 \qquad (3)$$

  dove **P_c** è la probabilità di accettare la condizione, $\Delta E = E_0 - E_1, q$ è una costante d'integrazione (che si determina empiricamente), ed **E_{min}** è il valore oggettivo della funzione dei minimi totali.

  Teoricamente si ha **E_{min}** = 0.

  L'equazione (2), media tutti i valori accettati dal nuovo modello, laddove l'errore minimo quadrato (least – square error) è minore nell'iterazione prevista.

  Ciò consente, durante l'inversione dei dati, di sfuggire dall'intorno dei minimi locali, andando alla ricerca del minimo globale.

- Ripetizione delle inversioni fino al raggiungimento della convergenza richiesta tra la differenza dell'errore minimo quadrato ed il successivo modello e la probabilità di accettare nuovi modelli di velocità a minimo errore.

DENOMINAZIONE:				
3.2 SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA TS01				
N. GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	N. SHOTS	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA
16	3 m	7	52 metri	10 m



Figura 17: Ubicazione dello stendimento e fase di energizzazione del terreno

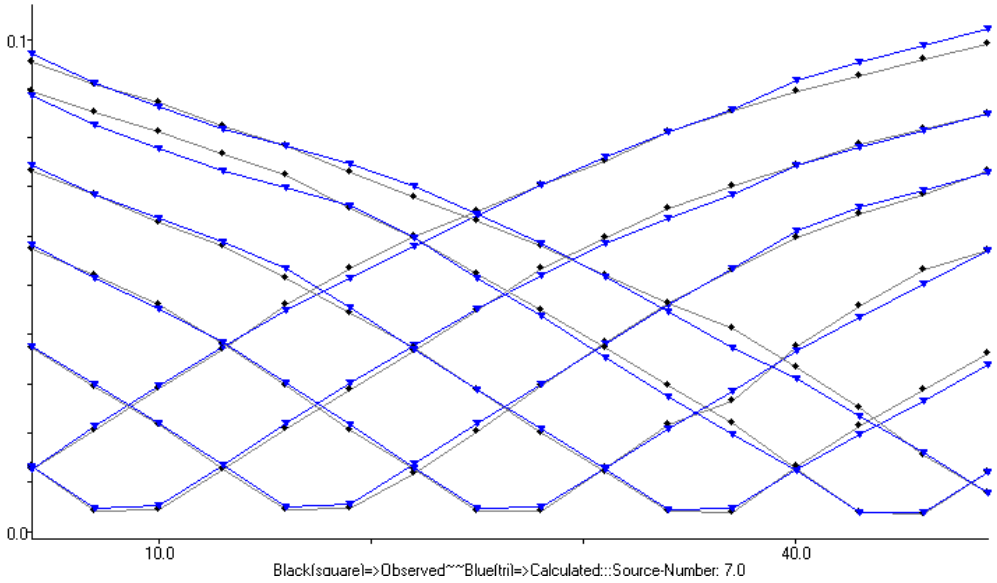


Figura 18 – Dromocrone osservate e calcolate

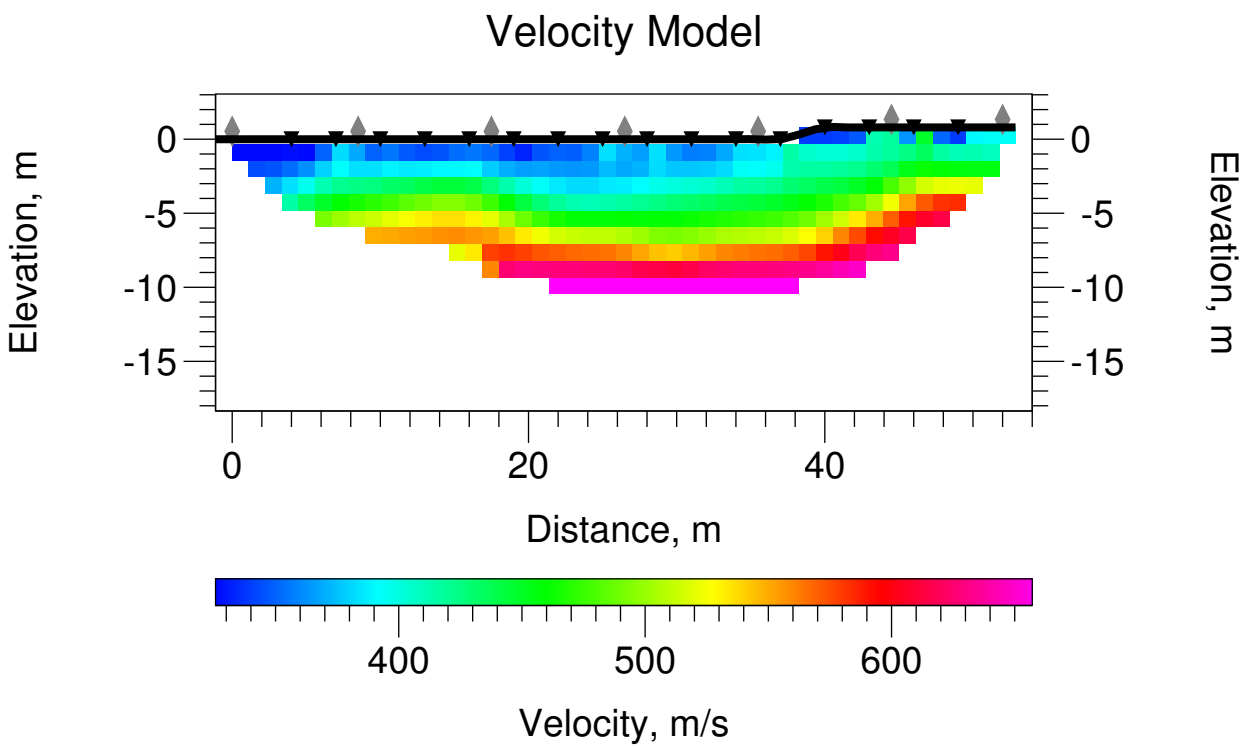


Figura 19 – Restituzione tomografica dei dati

DENOMINAZIONE:				
3.3 SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA TS02				
N. GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	N. SHOTS	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA
24	3 m	7	75 metri	22 m



Figura 20 – Veduta dello stendimento: lato Ovest (sn); lato Est (dx)



Figura 21 - Shot n. 4

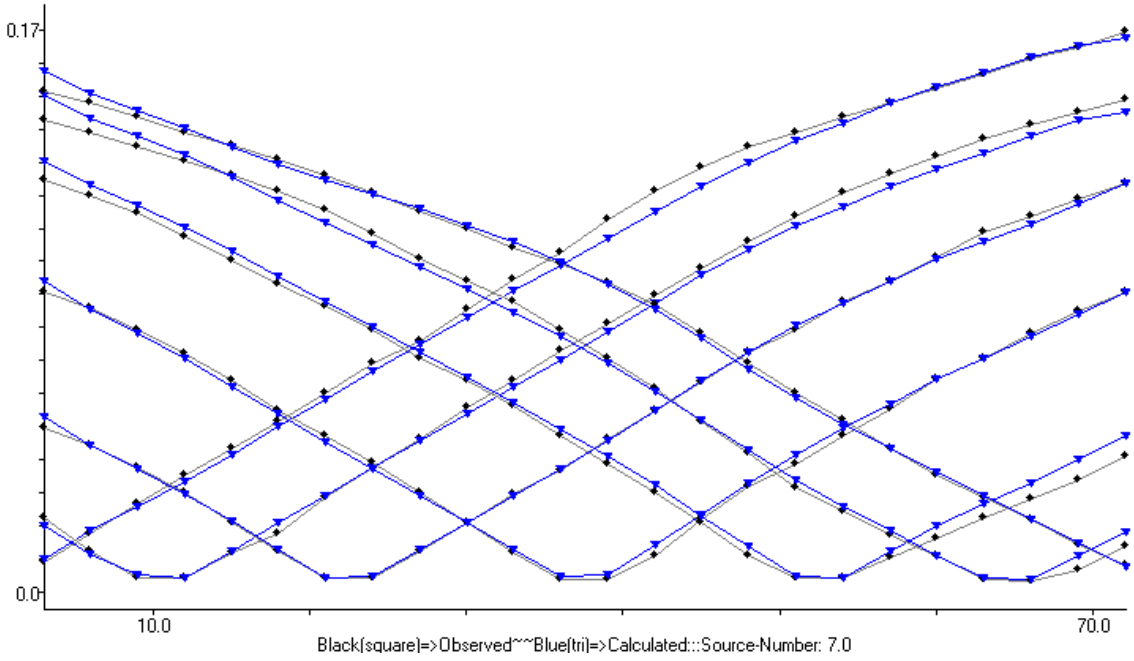


Figura 22 – Dromocrone osservate e calcolate

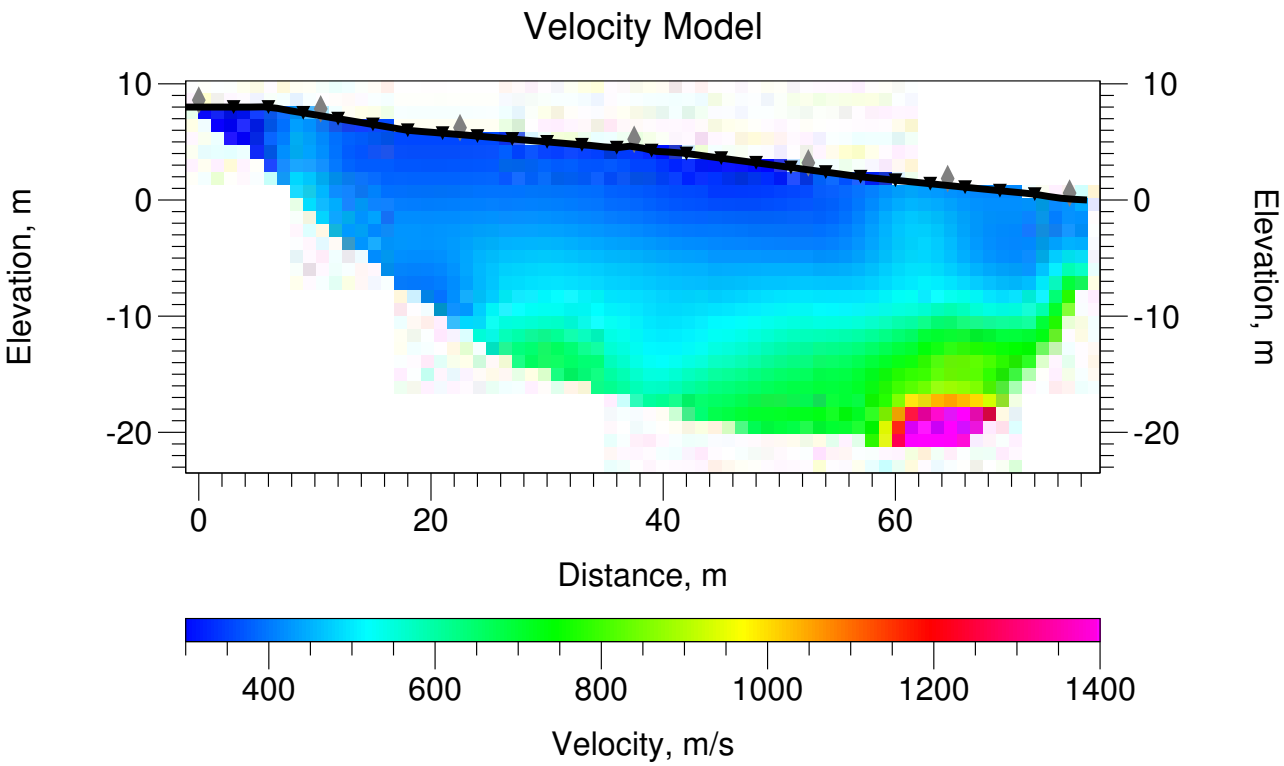


Figura 23 – Restituzione tomografica dei dati

DENOMINAZIONE:				
3.4 SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA TS03-TS04				
N. GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	N. SHOTS	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA
24	5 m	8	130 metri	24 m



Figura 24 – Veduta dello stendimento: estremità Ovest (sn); estremità Est (dx)



Figura 25: Shot n. 7

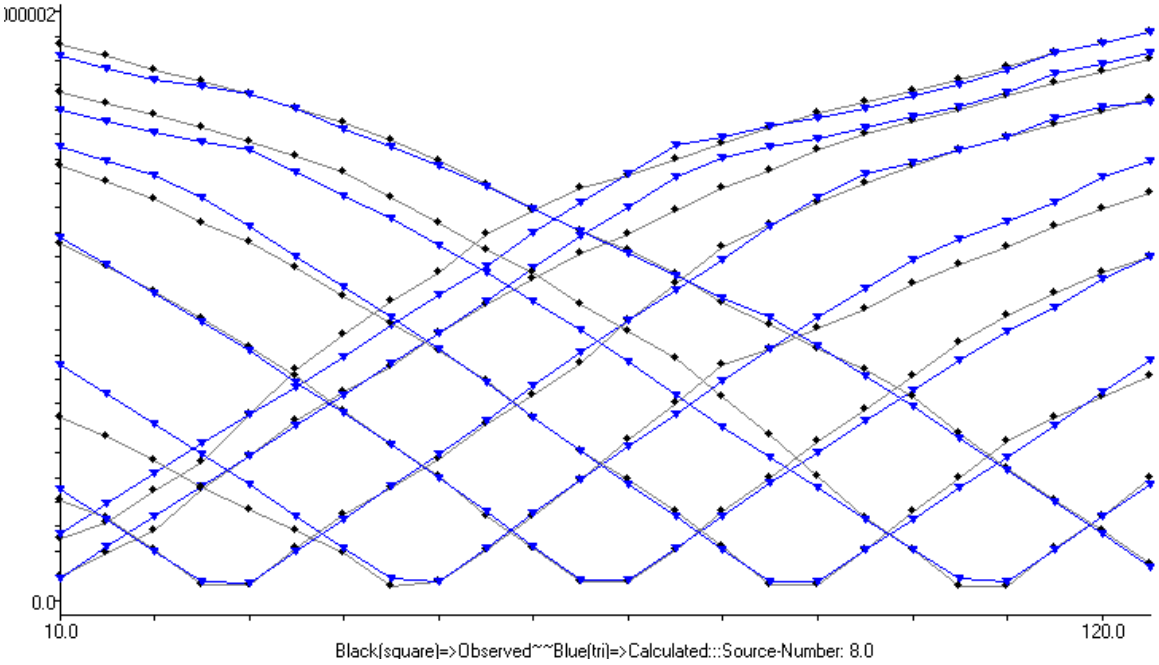


Figura 26 – Dromocrone osservate e calcolate

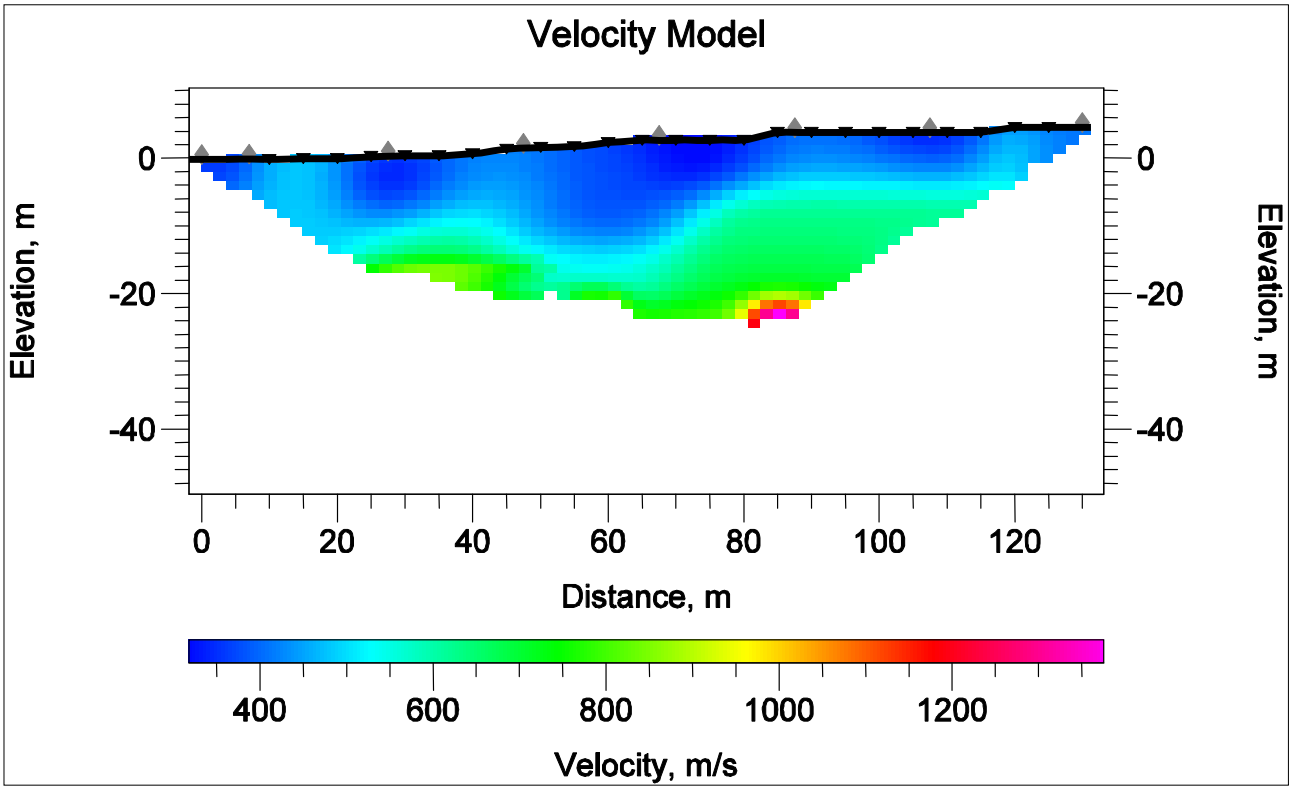


Figura 27 – Restituzione tomografica dei dati

DENOMINAZIONE:				
3.5 SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA TS05				
N. GEOFONI:	STEP INTERGEOFONICO	N. SHOTS	LUNGHEZZA STENDIMENTO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA
12	5 m	5	65 metri	17 m



Figura 28 - Veduta dello stendimento da Sud

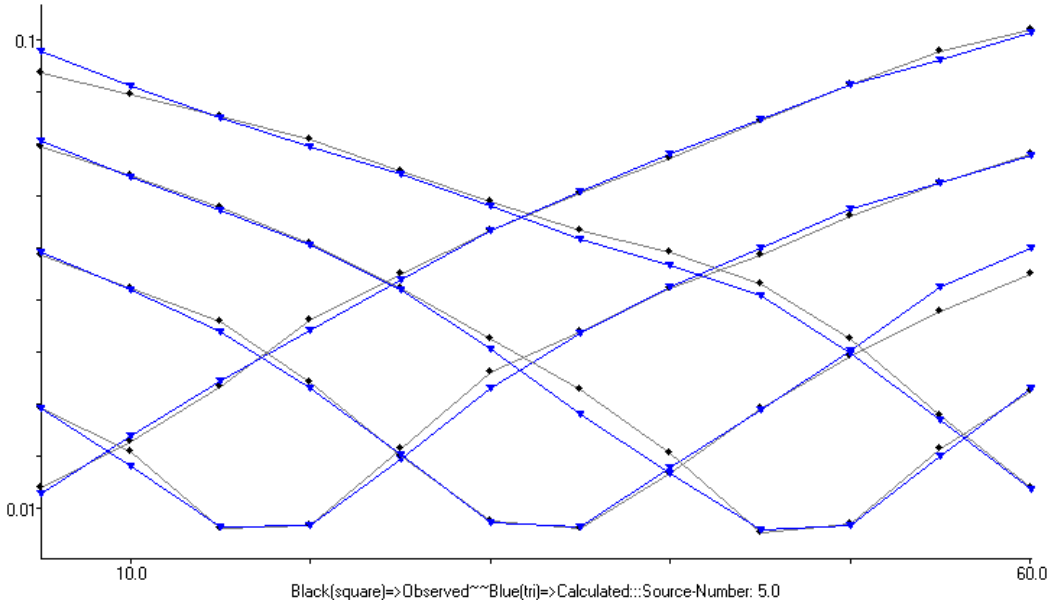


Figura 29 – Dromocrone osservate e calcolate

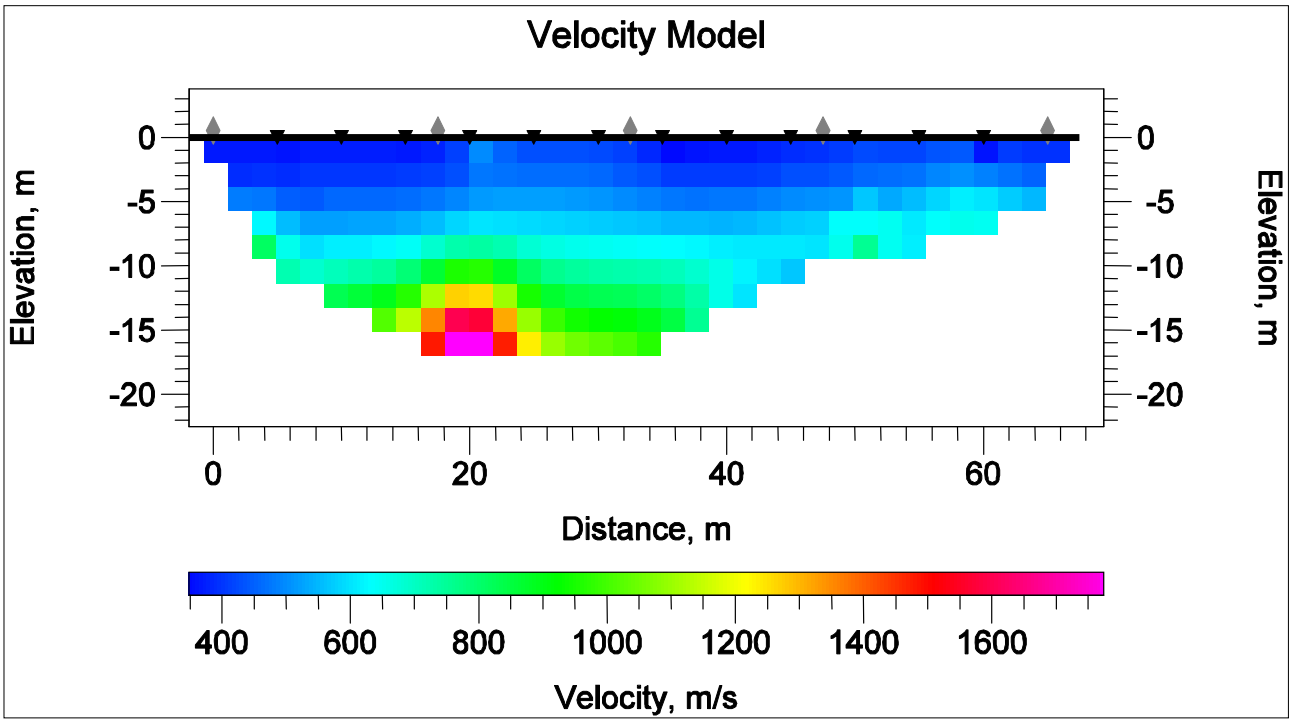


Figura 30 – Restituzione tomografica dei dati

3.6 SEZIONI INTERPRETATIVE

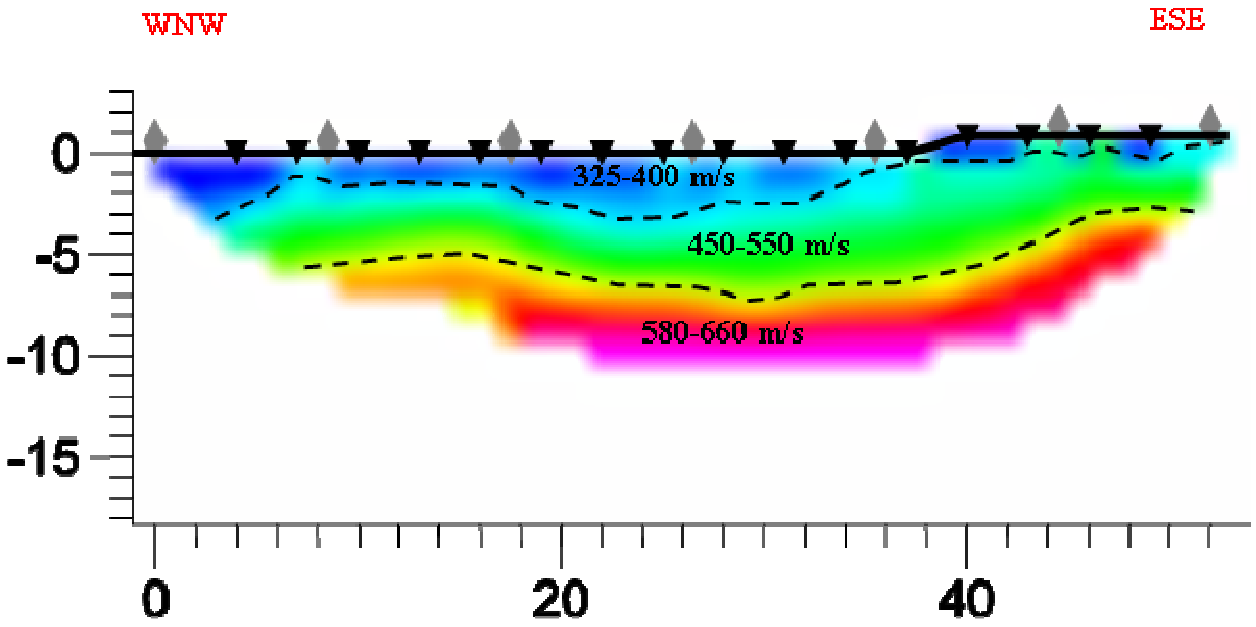


Figura 31 – Sezione tomografica Ts1

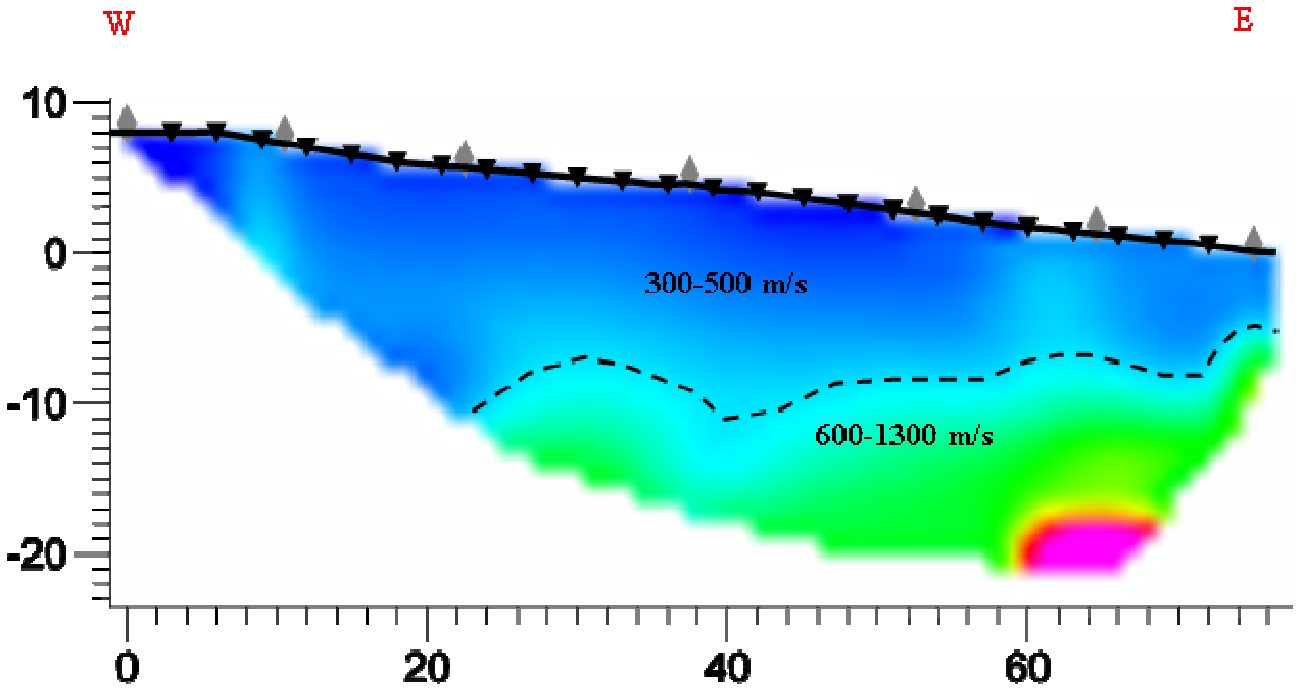


Figura 32 – Sezione tomografica Ts2

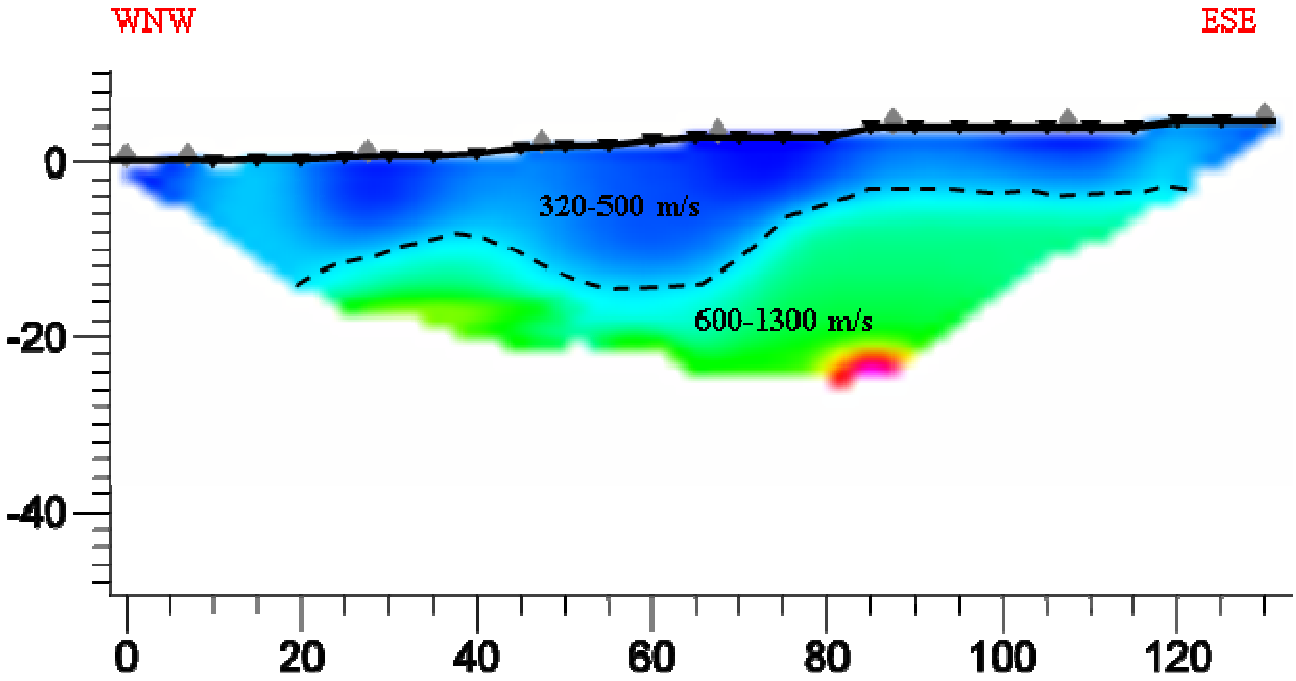


Figura 33 – Sezione tomografica Ts3-Ts4

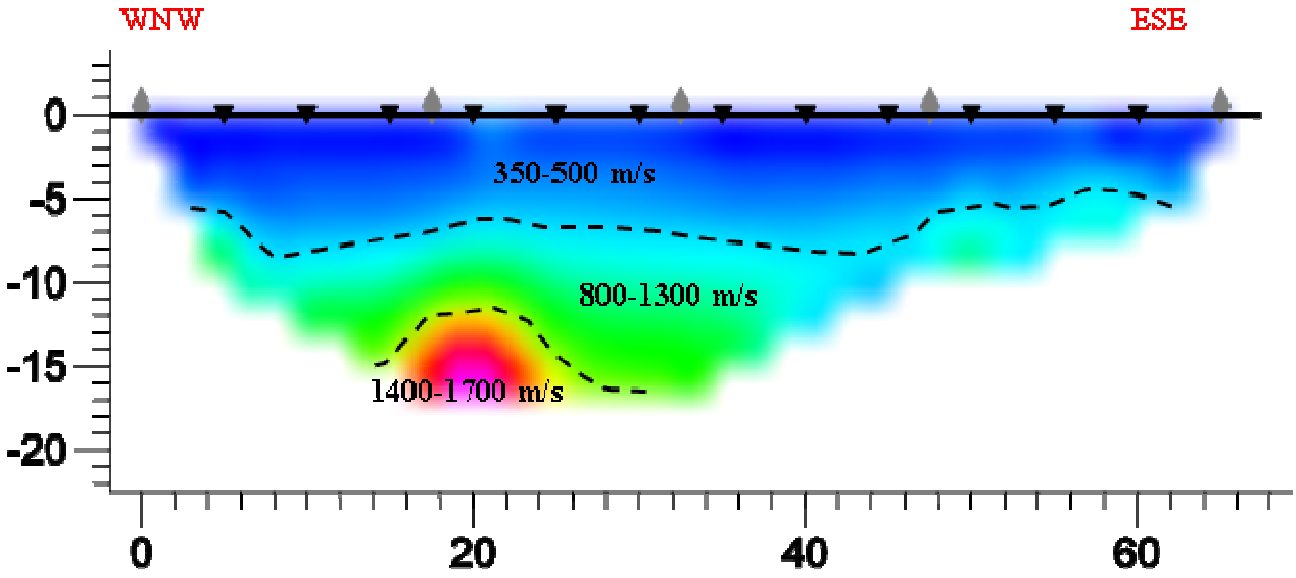


Figura 34 – Sezione tomografica Ts5

3.7 DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Le cinque sezioni tomografiche effettuate sono state realizzate (ad eccezione della n. 5) su zone di frattura indicate nelle carte a corredo del P.R.G., ed in zone di frattura presunte. Alcune presentano fra loro diverse analogie e confermano i dati ottenuti attraverso le prospezioni di sismica passiva (Remi).

Gli stendimenti tomografici sono stati effettuati nel centro urbano, a tergo della Caserma dei Carabinieri (Ts1), a NW del Cimitero, in corrispondenza di un apparato eruttivo (Ts2), in contrada Rocca (Ts3-Ts4), e, verso valle, a Nord del Palazzetto dello sport.

In particolare, nella sezione Ts1, effettuata a tergo della caserma dei Carabinieri, non si evidenziano velocità elevate fino alla profondità indagata (circa 10 m), sia per la presenza di lave scoriacee molto fessurate che di consistenti scorie e/o materiali di origine piroclastica; a valle dello stendimento è peraltro visibile una cavità di scorrimento lavico. I sismostrati individuati appaiono piuttosto regolari, senza anomalie particolari o altro riconducibile alla presenza di zone di frattura.

La sezione tomografica Ts2 (NW cimitero) e la congiunta Ts3-Ts4 (contrada Rocca) sono invece caratterizzate da un consistente sismostrato superficiale piuttosto potente (8-16 m) e velocità Vp medio-basse (300-500 m/sec), correlabile a prodotti vulcanici di natura esplosiva. Inferiormente le velocità aumentano ma non raggiungono mai valori molto elevati. Non si individuano evidenti anomalie collegabili alla presenza di zone di frattura significative, a causa della presenza di materiali essenzialmente incoerenti.

La tomografia Ts5, realizzata a Nord del Palazzetto dello sport, ha permesso l'individuazione di un sismostrato superficiale con spessore relativamente costante di 4-5 m, dotato di velocità medio-basse, riconducibile a materiali di origine alluvionali posti su un substrato lavico con velocità decisamente più elevate (oltre 800 m/s).

Di seguito vengono sintetizzati in tabella i risultati emersi delle prospezioni sismiche tomografiche:

Sismostrato	Velocità Vp (m/s)	Spessore (m)	G (Kg/cm2)	K (Kg/cm2)	E (kg/cm2)	Poisson
1	325-400	0,5 - 2,5	375.19	1903.27	1056.17	0.41
2	450-550-	2,5 - 5,0	927.86	3555.52	2560.82	0.38
3	580-660	--	1672.28	5413.88	4548.52	0.36

Tabella 1 – Sintesi risultati Ts1

Sismostrato	Velocità Vp (m/s)	Spessore (m)	G (Kg/cm2)	K (Kg/cm2)	E (kg/cm2)	Poisson
1	300 - 500	6,0 - 18,0	343.03	2153.10	977.20	0.42
2	600 - 1300-	--	2650.45	9727.48	7289.30	0.38

Tabella 2 – Sintesi risultati Ts2

Sismostrato	Velocità Vp (m/s)	Spessore (m)	G (Kg/cm2)	K (Kg/cm2)	E (kg/cm2)	Poisson
1	320 - 500	8,0 - 18,0	545.14	2101.48	1505.26	0.38
2	600 - 1300-	--	3018.36	9605.30	8196.52	0.36

Tabella 3 – Sintesi risultati Ts3-Ts4

Sismostrato	Velocità Vp (m/s)	Spessore (m)	G (Kg/cm2)	K (Kg/cm2)	E (kg/cm2)	Poisson
1	350 - 500	4,0 - 7,0	412.99	2764.71	1180.19	0.43
2	800 - 1300-	4 - 8,0	4971.12	15294.47	13455.54	0.35
3	1400 - 1700	--	13704.99	33173.92	36138.40	0.32

Tabella 4 – Sintesi risultati Ts5

4. CAMPIONATURE “NOISE” - RISPOSTA SISMICA DEL SITO

4.1 CENNI TEORICI

Lo studio dei terreni attraverso le metodologie sismiche passive ha aperto negli ultimi anni nuovi orizzonti nella geofisica specie per quanto riguardo la valutazione dei fenomeni di amplificazione sismica al suolo e la risposta in frequenza dei terreni. Tali aspetti entrano a pieno titolo sia negli studi di microzonazione che nella progettazione.

Il comportamento dei siti è infatti inteso in termini di differente energia e/o diversa distribuzione in frequenza della stessa a causa degli effetti d’amplificazione o attenuazione selettiva di determinate frequenze, in funzione delle caratteristiche fisiche - geometriche degli strati attraversati da un'onda sismica. Questo parametro è fondamentale per la scelta, in fase di progettazione, dei periodi propri d’oscillazione dei manufatti, onde evitare fenomeni di risonanza suolo - struttura (casi in cui sono sufficienti basse energie per provocare danni). Il fenomeno della risonanza avviene quando un sistema oscillante riceve una perturbazione esterna con frequenza simile a quella propria; in queste condizioni l’ampiezza dell’oscillazione diventa molto grande. Pertanto, anche terremoti di bassa magnitudo possono dar luogo a notevoli danni se il periodo proprio d’oscillazione della struttura è confrontabile con quello del suolo.

La caratterizzazione della risposta in frequenza dell'area in esame, quando sottoposta ad una sollecitazione sismica, è stata affrontata valutando le modificazioni che l'onda sismica subisce nel raggiungere la superficie libera del terreno, in funzione delle caratteristiche (litologia, spessore degli strati, morfologia, presenza di falde acquifere, etc.) delle formazioni giacenti sul basamento, attraverso il campionamento di "microtremori", al fine di quantizzare, tramite analisi dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale, gli effetti d’amplificazione sismica locale.

L’efficacia dei microtremori nella determinazione degli effetti di sito è stata comprovata da diversi studi indirizzati al confronto delle risposte spettrali ottenute dall’analisi d’eventi sismici e di microtremore. Recentemente è stato dimostrato, sia sperimentalmente sia matematicamente, che la risposta in frequenza del sito, ottenuta con il metodo dei rapporti spettrali delle componenti orizzontali del moto del suolo sulla componente verticale, è confrontabile con quella ricavata da eventi sismici.

Il metodo di Nakamura permette di stimare la risposta di sito attraverso il rapporto spettrale fra la componente orizzontale (H) e la componente verticale (V) del noise. Le principali assunzioni fatte da Nakamura sono che i microtremori derivano da onde Rayleigh e che la componente verticale (V) del noise nel passare dal bedrock alla superficie non subisce amplificazione. Nel dominio delle frequenze, l'amplificazione del suolo dovuta ad una superficie di strato a bassa velocità è data da:

$$H(f) = [h_n(f)^2 + h_u(f)^2]½$$

dove $h_n(f)$ e $h_u(f)$ sono rispettivamente le componenti verticali ed orizzontali dell'amplificazione del suolo H(f); $h_n(f)$ è data dal rapporto fra la componente verticale del moto sulla superficie Vs(f) e la componente verticale al bedrock $V_b(f)$:

$$h_n(f) = V_s (f) / V_b(f) = S_n(f) * G(f) * Z_n(f) / S_n(f) * G(f)$$

dove $S_n(f)$ rappresenta il contributo della sorgente, G(f) l'effetto di tragitto dalla sorgente e Z(f) rappresenta l'amplificazione indotta dai sedimenti. Analogamente la componente orizzontale di H(f) può essere definita come:

$$h_u(f) = U_s(f) / U_b(f) = S_u(f) * G(f) * Z_u(f) / S_u(f) * G(f)$$

dove $U_s(f)$ e $U_b(f)$ sono rispettivamente le componenti orizzontali del moto sulla superficie e sul bedrock. Effettuando il rapporto fra la componente orizzontale e verticale di H(f) si ottiene:

$$h_u(f) / h_n(f) = Z_u(f) / Z_n(f) = U_s(f) * V_b(f) / U_b(f) * V_s(f)$$

Nakamura considera che la componente verticale $h_n(f)$ dei microtremori, nel passare dal bedrock in superficie non subisce amplificazione, per cui, nell'equazione precedente si ha $Z_n(f) = 1$. Quindi:

$$Z_u(f) = U_s(f) * V_b(f) / U_b(f) * V_s(f)$$

Assumendo che al bedrock l'ampiezza spettrale di entrambe le componenti è la stessa $U_b(f) = V_b(f)$ la risposta di sito dipenderà soltanto dall'amplificazione subita dalla componente orizzontale del noise:

$$Z_u(f) = U_s(f) / V_s(f)$$

Il metodo di Nakamura è stato adottato, negli ultimi anni da vari autori per la stima della risposta di sito, con risultati e valutazioni sul metodo spesso contrastanti. Field et al. (1995), nello studio della risposta di sito per il terremoto di Giumri (Armenia) osservano che né la sola componente orizzontale dello spettro del noise né i rapporti spettrali riferiti a un vicino sito posto su roccia dura possono rivelare informazioni utili sulla risposta di sito; al contrario utilizzando il metodo di Nakamura, i rapporti spettrali fra componenti orizzontali e verticali mostrano un netto picco che coincide con la frequenza fondamentale di risonanza osservata nei dati delle repliche. Questi autori concludono quindi che il metodo di Nakamura può essere considerato una procedura attendibile per determinare la frequenza fondamentale di risonanza di depositi sedimentari da osservazioni di noise ambientale.

4.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la realizzazione delle registrazioni di rumore sismico è stato utilizzato un registratore sismico con convertitore A/D, dotato di apposito software per sismica passiva, equipaggiato con un sensore Sercel L-4 -3d con periodo fondamentale di 1 Hz.

Per la valutazione dell'amplificazione sismica locale eseguita con la tecnica di Nakamura, è necessario campionare i microtremori su almeno due componenti del moto del suolo: la verticale e l'orizzontale. Le campionature sono state effettuate, nei limiti del possibile, in orari poco disturbati antropicamente (traffico veicolare, ecc..) e con amplificazione opportunamente scelta al fine di migliorare il rapporto segnale - rumore. In ogni sito si è proceduto alla registrazione di una serie temporale della durata di 15 min, con intertempo di campionamento paria 10,0 millisec.; tale registrazione è stata successivamente suddivisa in finestre temporali di 40,96 secondi, fra loro sovrapposte del 10 %, tralasciando quelle affette da transienti.

4.3 ELABORAZIONE DATI

Il segnale ricavato nel dominio del tempo è stato processato nel seguente modo *:*

- Correzione mediante una funzione linea di base al fine di eliminare off - set e trend anomali dovuti ad instabilità del segnale o a variazioni di tensione; applicazione di una funzione "cosine taper" per minimizzare gli effetti di troncamento ai bordi;
- Il segnale temporale così processato, è stato analizzato nel dominio delle frequenze tramite la funzione F.F.T. (Fast Fourier Transform, Cooley and Turkey, 1965) ed infine è stato applicato un filtro passabanda tra 0.1 e 20 Hz;
- Al fine di evitare fluttuazioni eccessive del segnale, ai singoli spettri è stato applicato un fattore di smorzamento del 5%;
- Calcolo del rapporto spettrale H_m/V, H_L/V, H_T/V, dove H_m è la media spettrale risultante sul piano orizzontale delle componenti N-S – E-W e V è lo spettro della componente verticale; H_L/V rappresenta invece il rapporto spettrale della componente orizzontale longitudinale con la verticale, H_T/V della componente orizzontale trasversale con la verticale. Tale procedura è essenziale per evidenziare gli effetti di polarizzazione delle ampiezze, previa appropriata orientazione e rotazione degli assi orizzontali del sismometro durante l'acquisizione dei dati. Infine, sui vari segnali è stata calcolata la deviazione standard per verificare la coerenza delle curve spettrali.

4.4 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DEI PUNTI DI PROVA

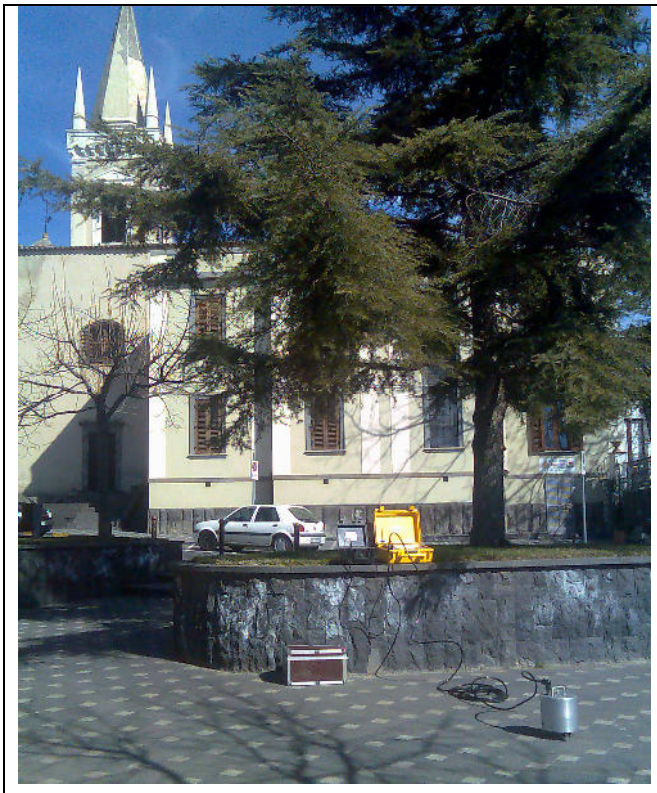


Figura 35 – N1

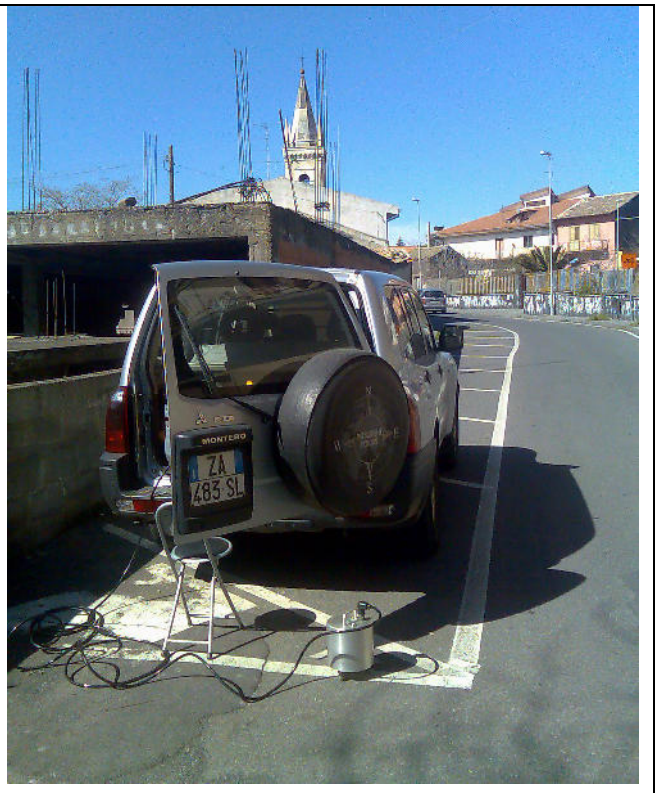


Figura 36 – N2



Figura 37 – N3



Figura 38 – N4

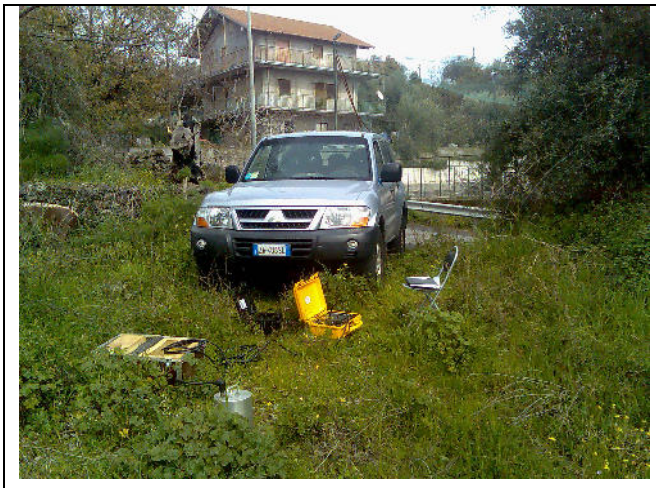


Figura 39 – N5



Figura 40 – N6



Figura 41 – N7

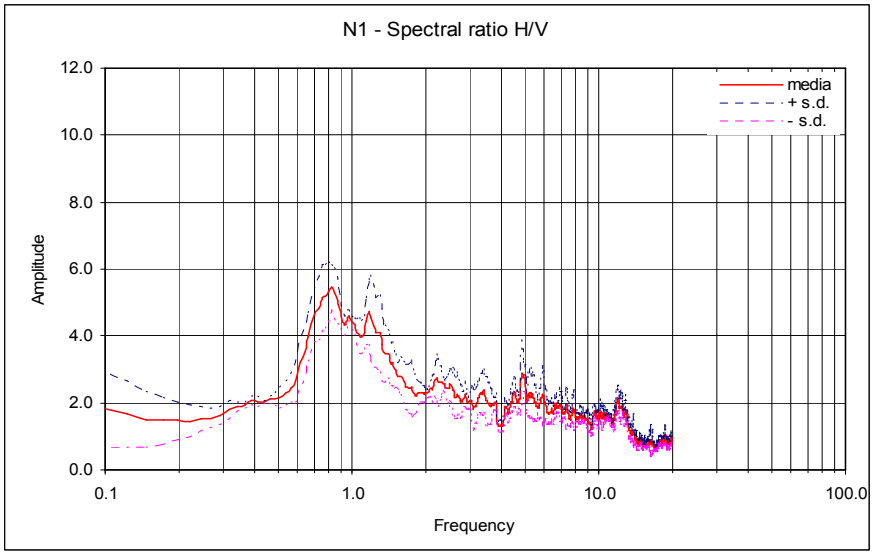


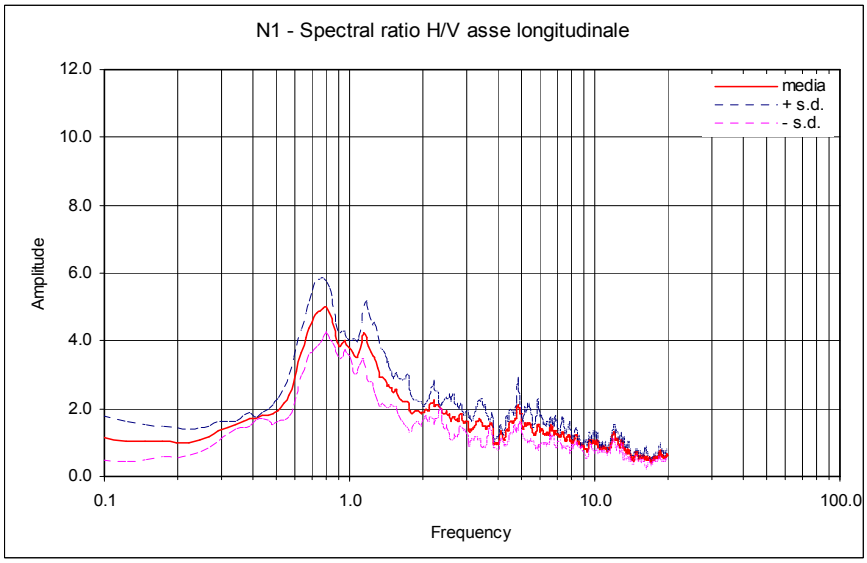
Figura 43 – N9

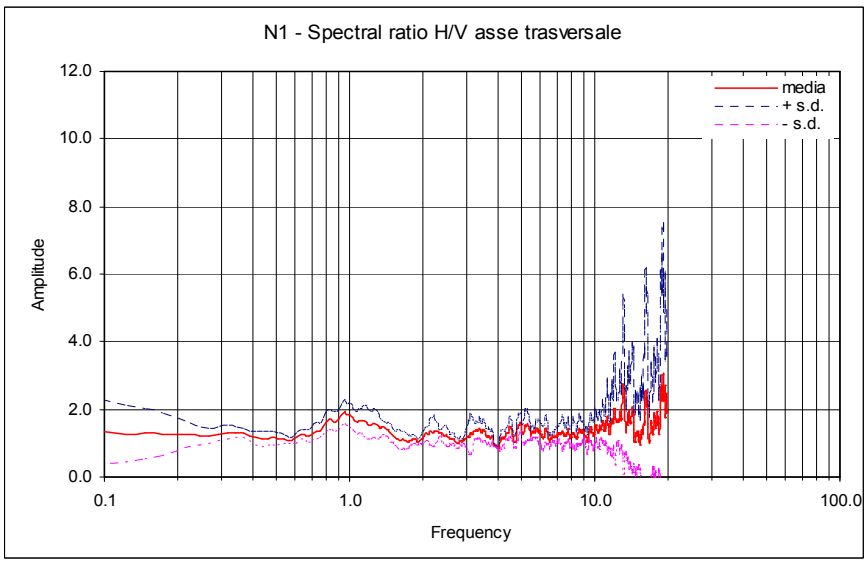


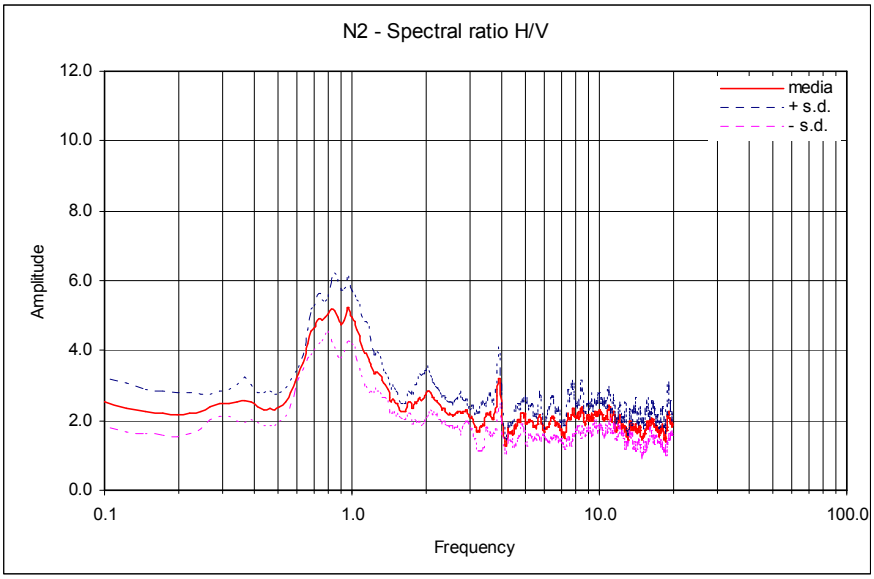
Figura 42 – N8

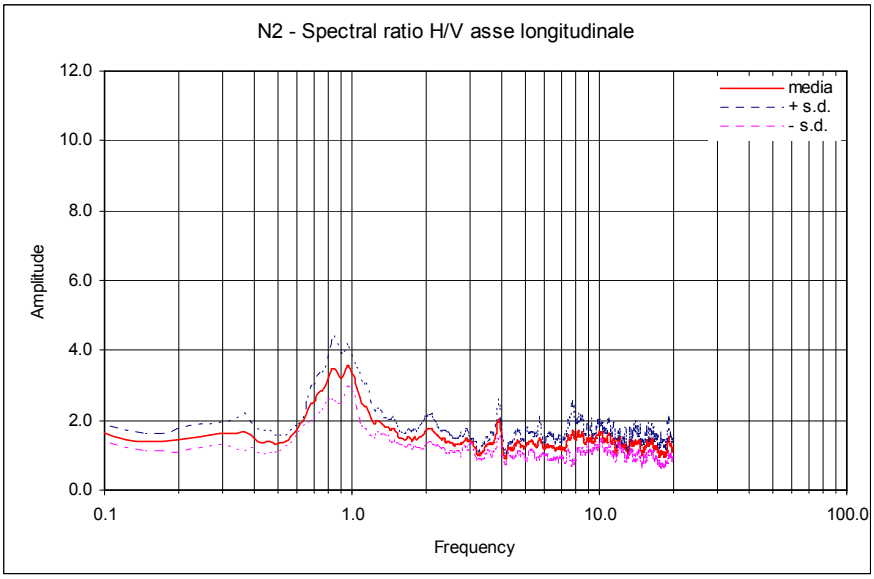
4.5 GRAFICI H/V

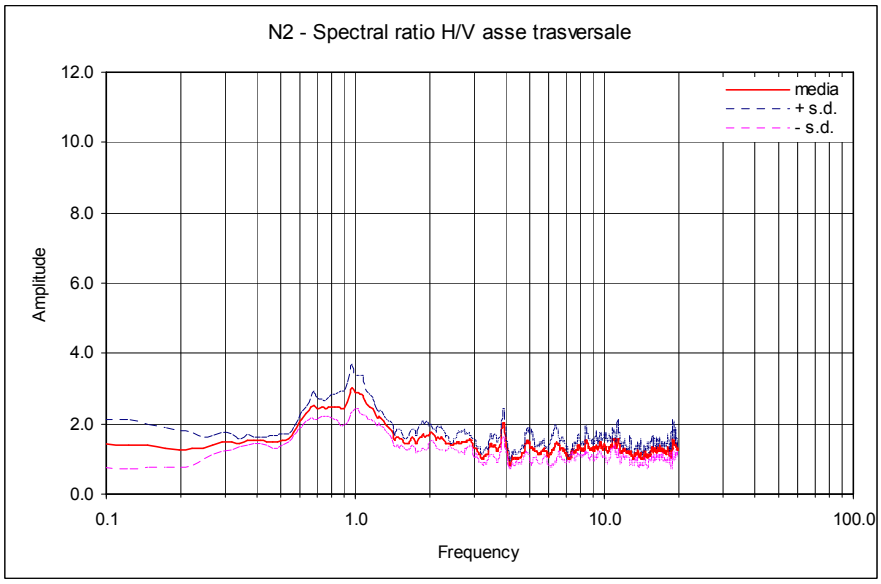


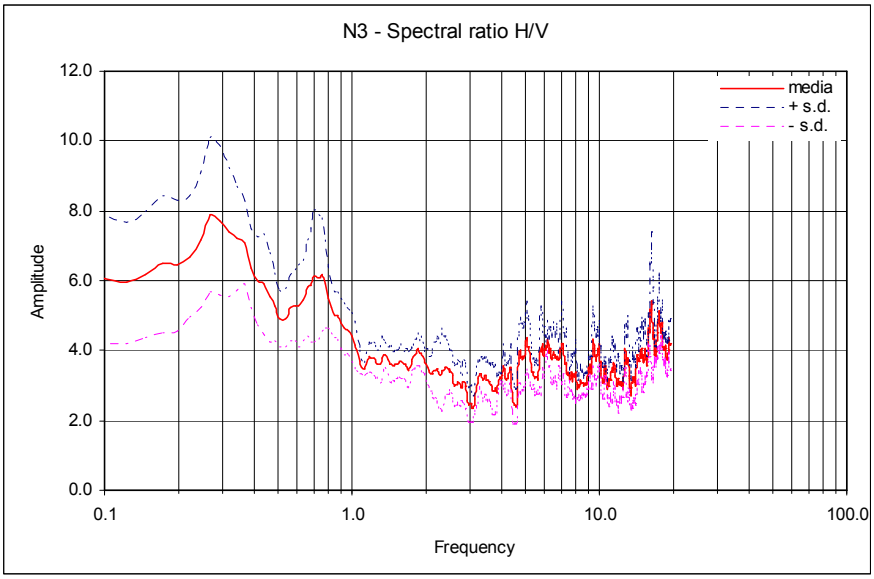


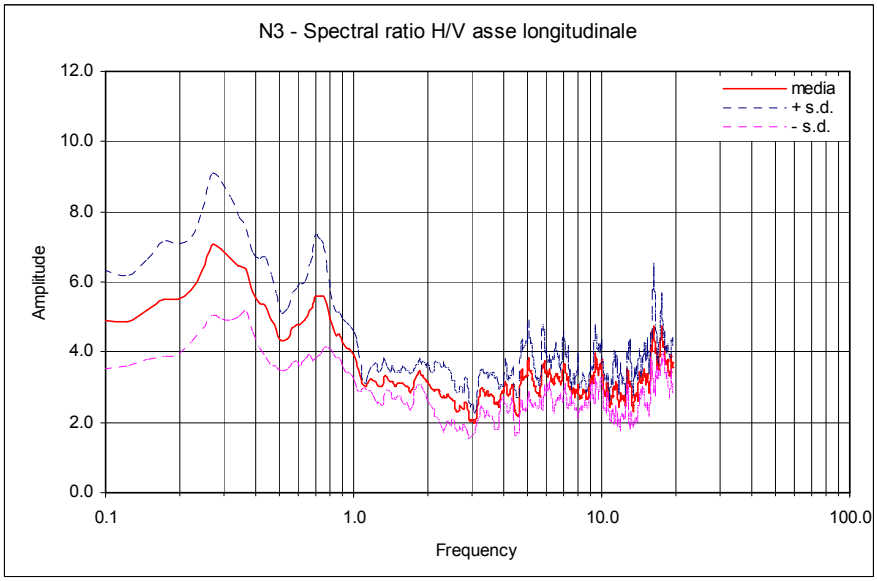


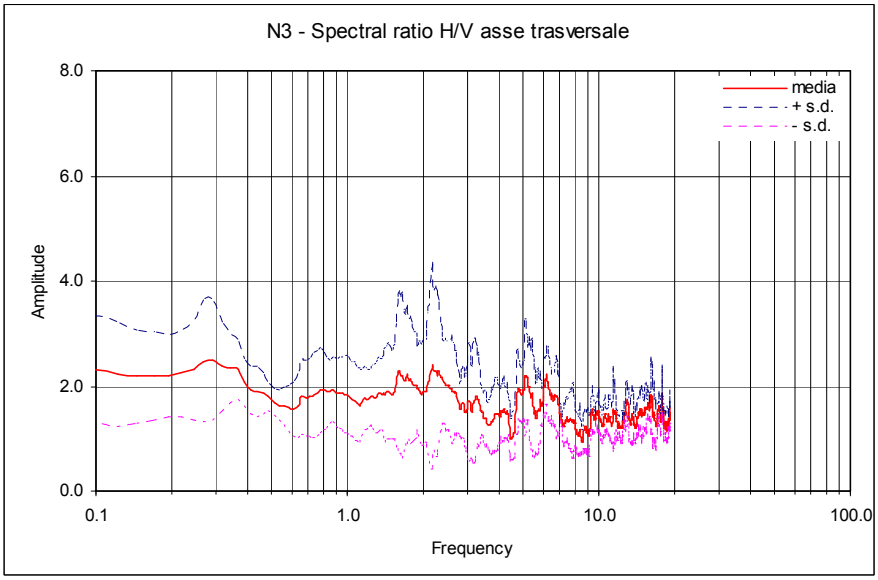

N2 - Spectral ratio H/V
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0.1
1.0
10.0
100.0

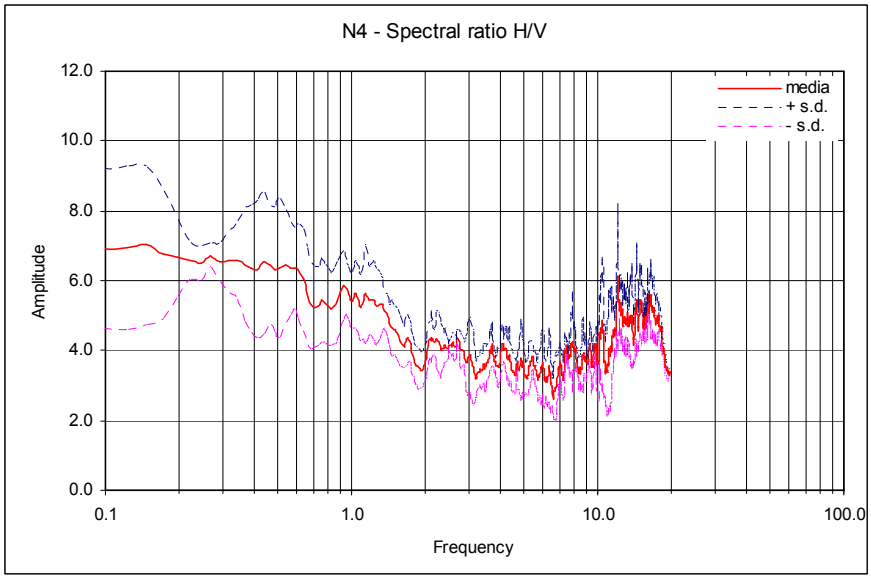

N2 - Spectral ratio H/V asse longitudinale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0.1
1.0
10.0
100.0

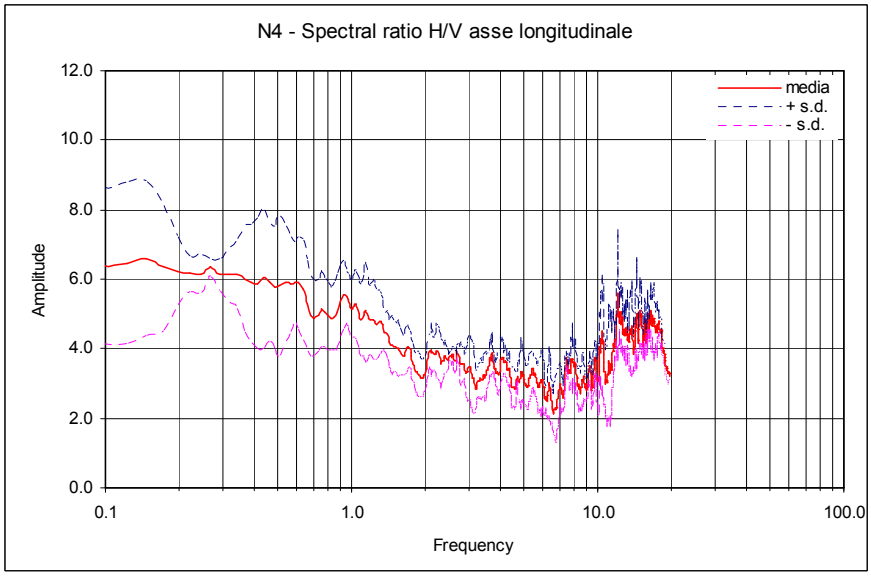

N2 - Spectral ratio H/V asse trasversale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0.1
1.0
10.0
100.0

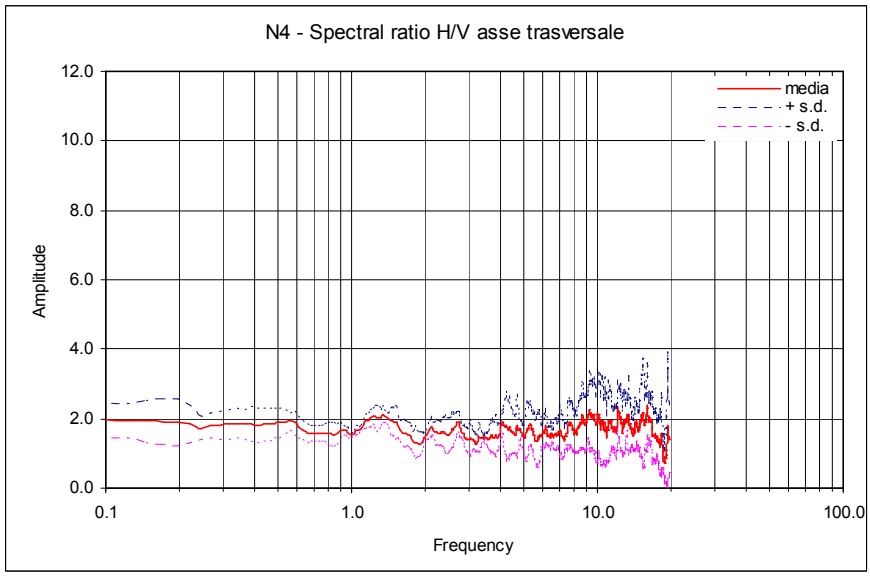

N3 - Spectral ratio H/V
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

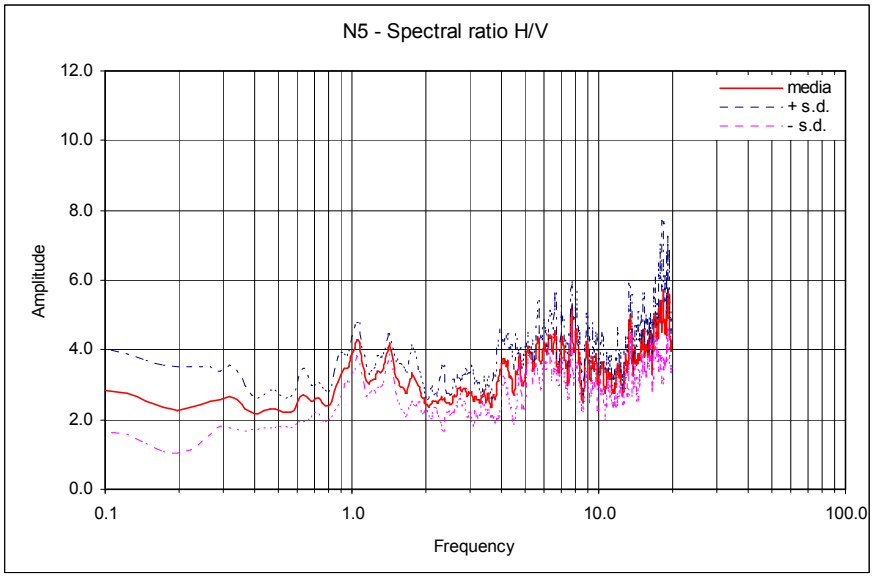

N3 - Spectral ratio H/V asse longitudinale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

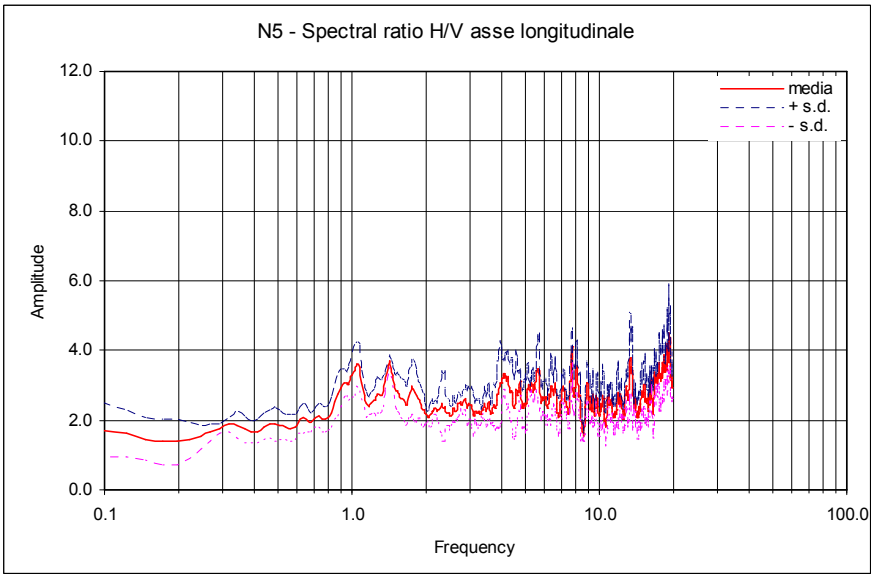

N3 - Spectral ratio H/V asse trasversale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
0.1
1.0
10.0
100.0

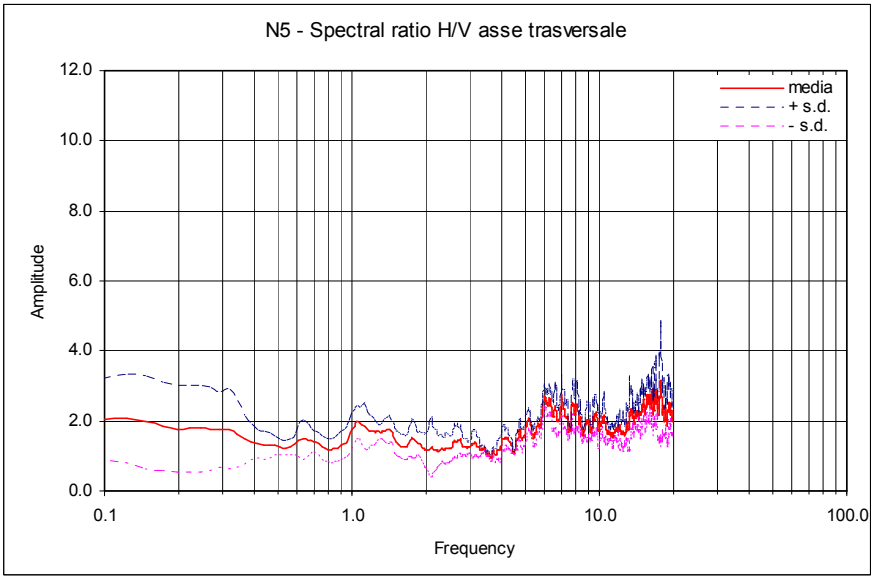

N4 - Spectral ratio H/V
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

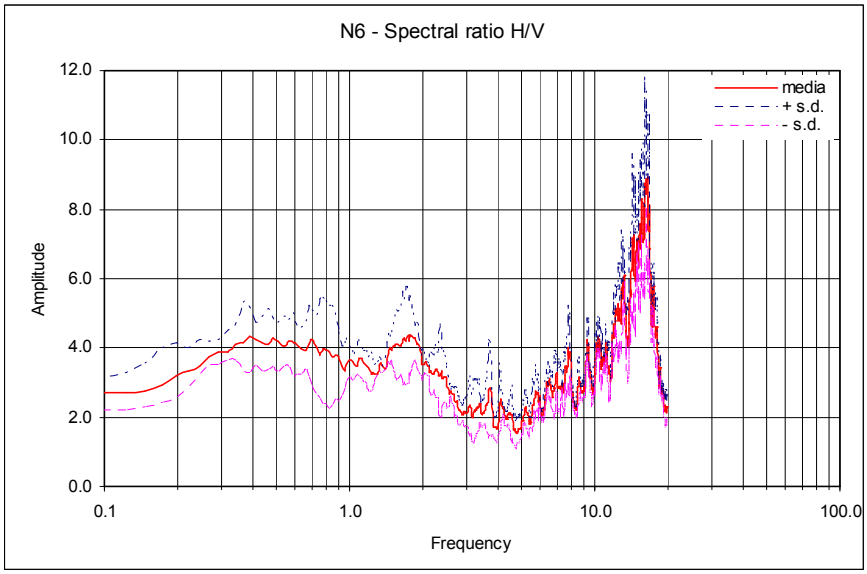

N4 - Spectral ratio H/V asse longitudinale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

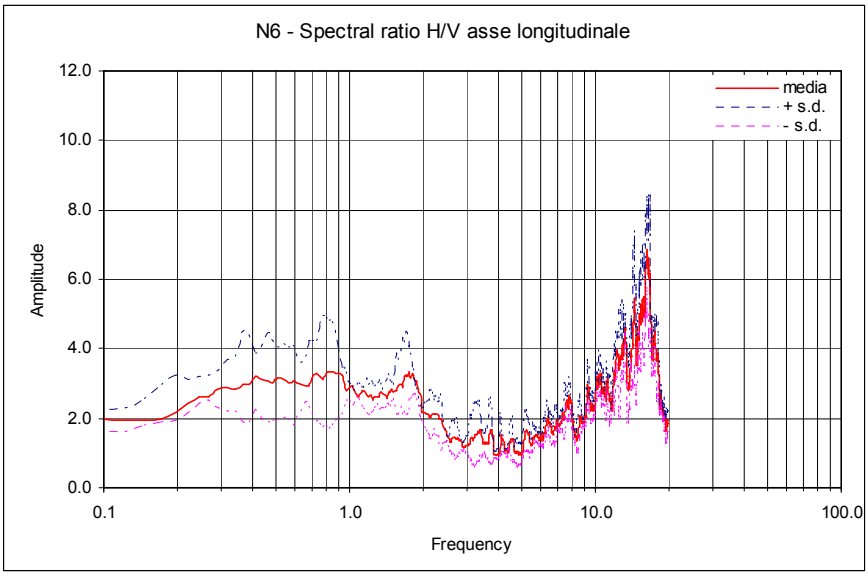

N4 - Spectral ratio H/V asse trasversale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

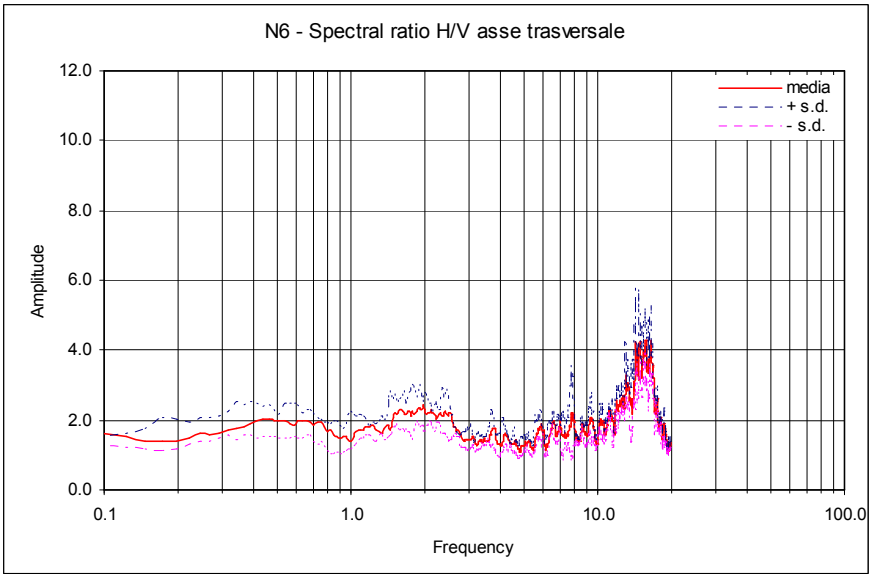

N5 - Spectral ratio H/V
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

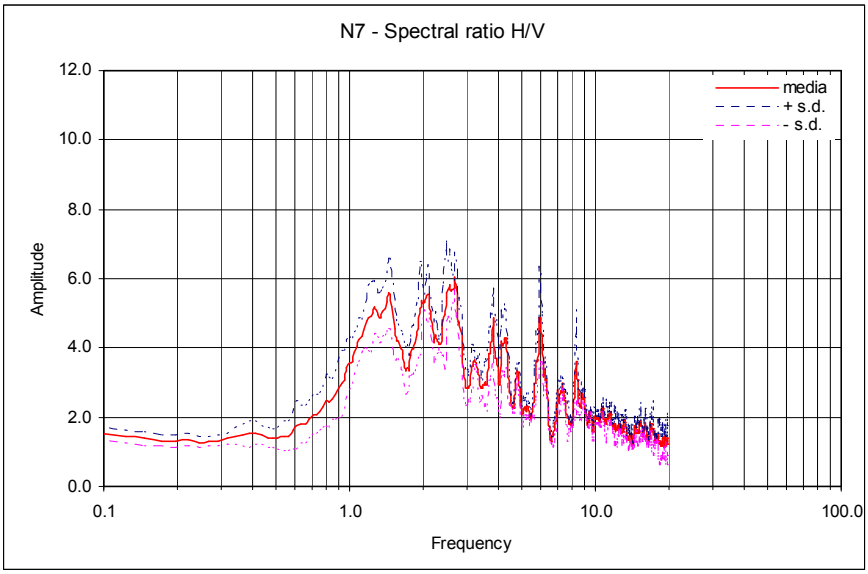

N5 - Spectral ratio H/V asse longitudinale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

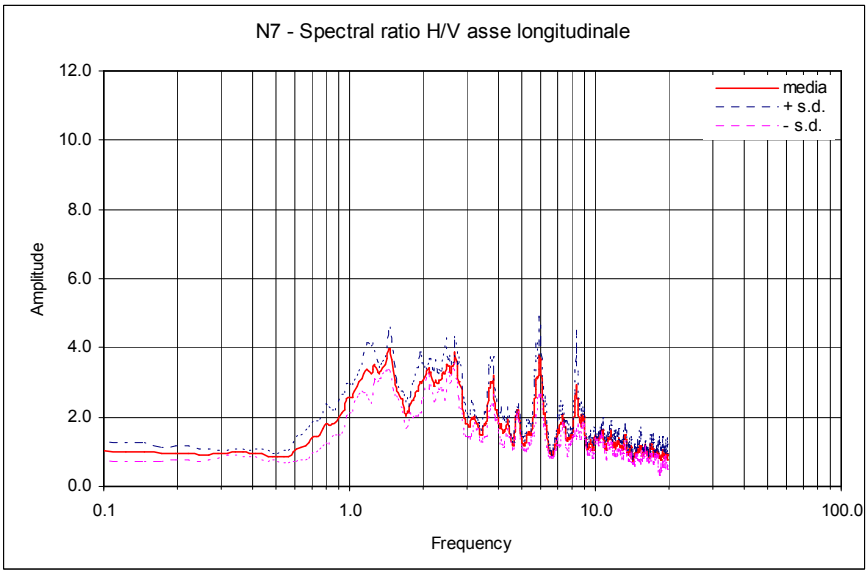

N5 - Spectral ratio H/V asse trasversale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

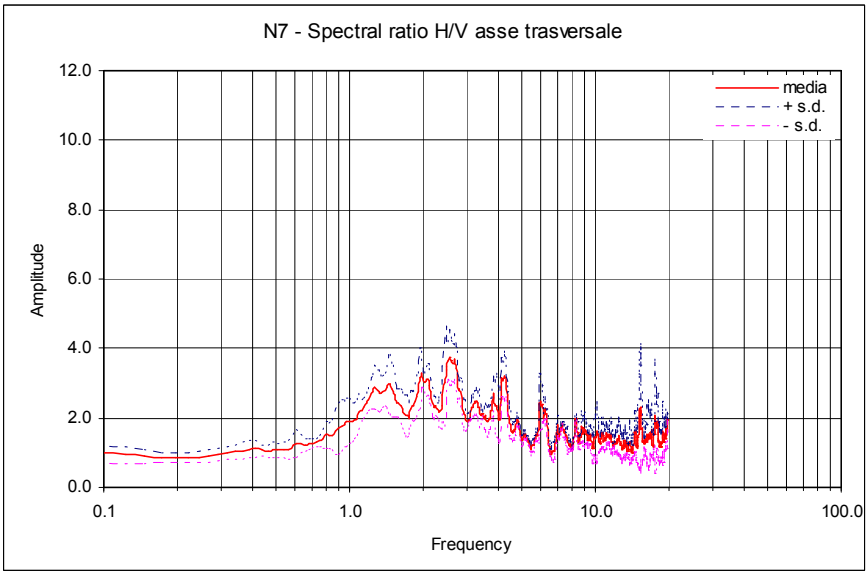

N6 - Spectral ratio H/V
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

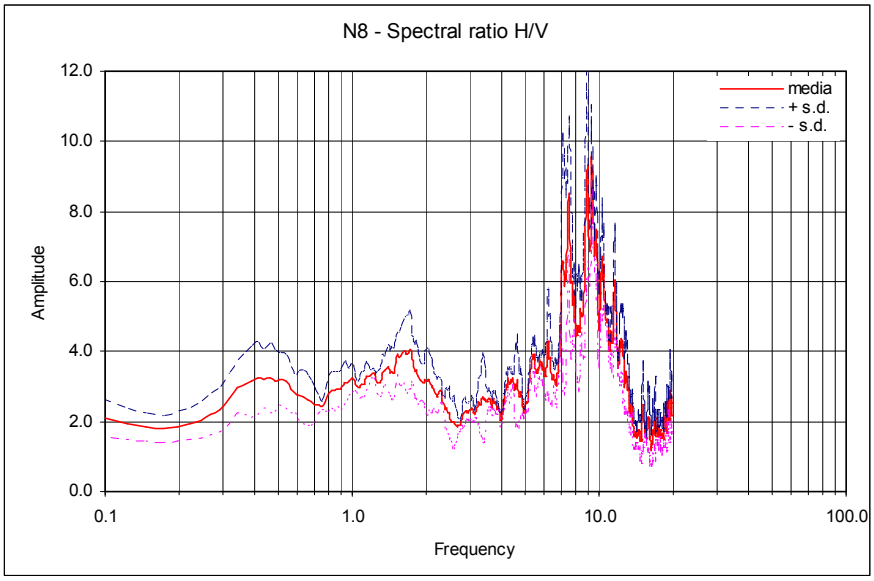

N6 - Spectral ratio H/V asse longitudinale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

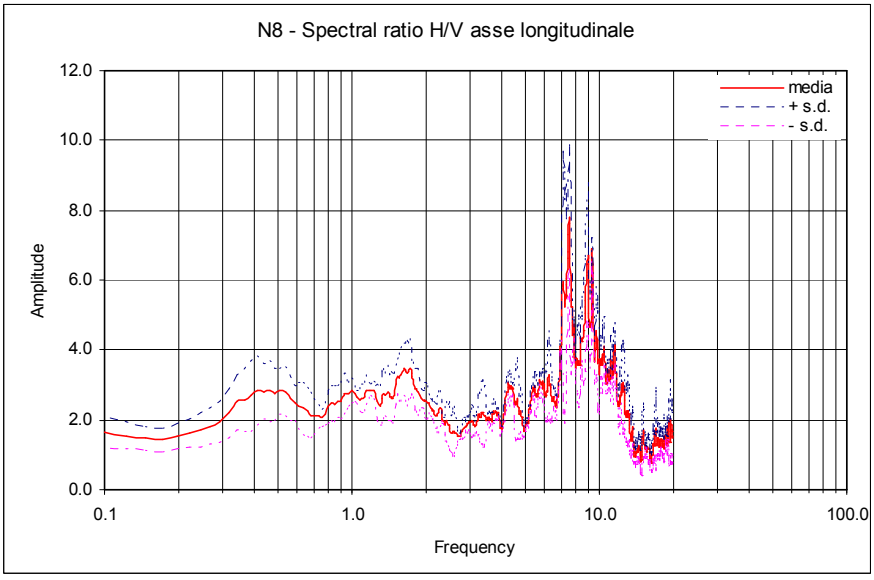

N6 - Spectral ratio H/V asse trasversale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0

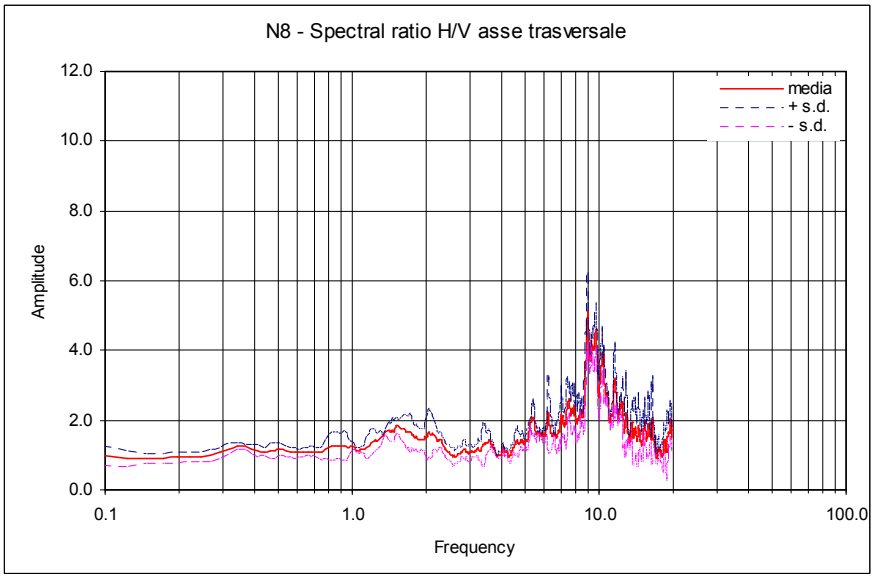

N7 - Spectral ratio H/V
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0.1
1.0
10.0
100.0

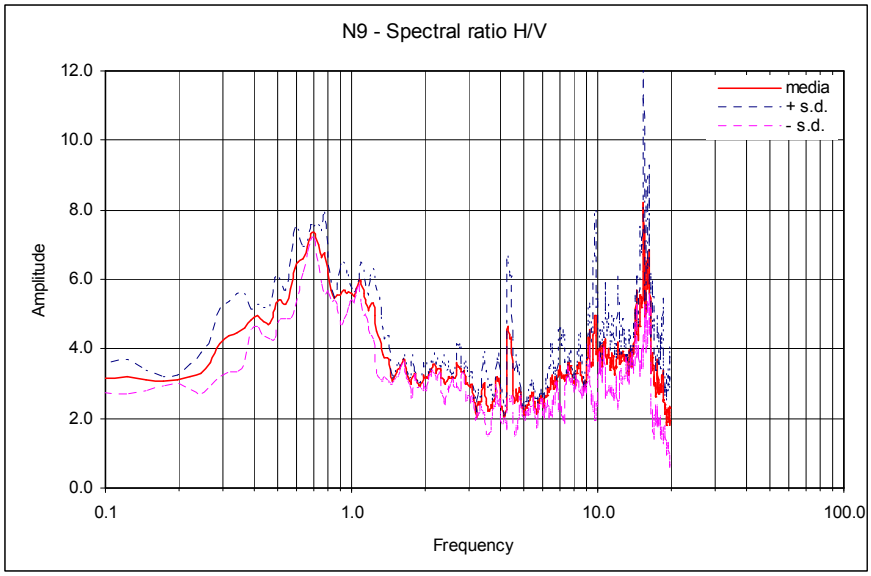

N7 - Spectral ratio H/V asse longitudinale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0.1
1.0
10.0
100.0

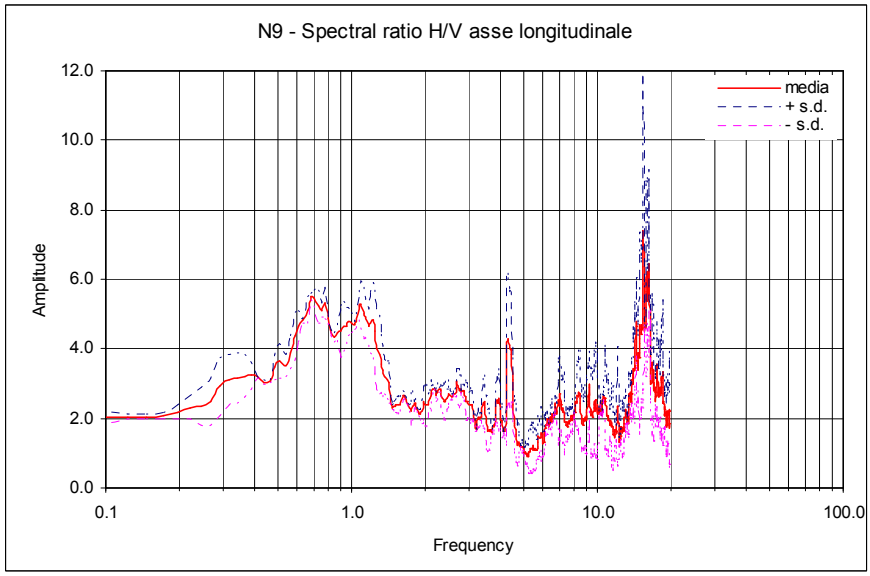

N7 - Spectral ratio H/V asse trasversale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0.1
1.0
10.0
100.0

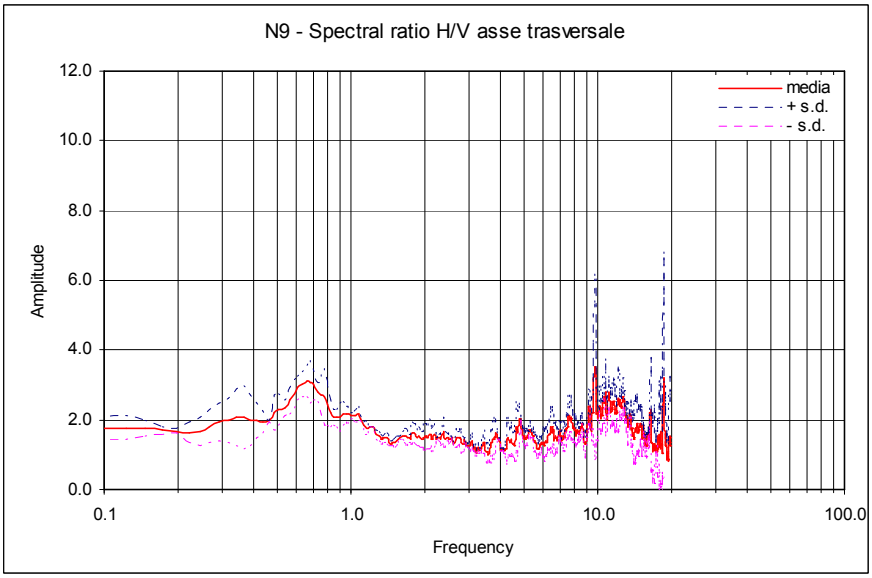

N8 - Spectral ratio H/V
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0


N8 - Spectral ratio H/V asse longitudinale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0


N8 - Spectral ratio H/V asse trasversale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
0.1
1.0
10.0
100.0


N9 - Spectral ratio H/V
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0.1
1.0
10.0
100.0


N9 - Spectral ratio H/V asse longitudinale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0.1
1.0
10.0
100.0


N9 - Spectral ratio H/V asse trasversale
media
+ s.d.
- s.d.
Amplitude
Frequency
12.0
10.0
8.0
6.0
4.0
2.0
0.0
0.1
1.0
10.0
100.0

4.6 DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Attraverso l'analisi delle curve di rapporto spettrale riferite ai vari siti di prova, si riassumono i rispettivi risultati in termini di frequenze di picco, ampiezza, deviazione standard e polarizzazione delle ampiezze (♦: ridotta; ♦♦: media; ♦♦♦: marcata) lungo una direzione preferenziale. Nelle varie prove, gli assi orizzontali del sismometro sono stati orientati in modo da risultare uno parallelo, l'altro perpendicolare alle possibili direttrici tettoniche, in modo da evidenziare eventuali fenomeni di polarizzazione.

	Caratteristiche della curva H/V				**Caratteristiche della frequenza di picco**		
	Lunghezza finestra di acquisizione l_w(sec)	Numero acquisizioni n_w	Numero cicli (l_w*n_w*f_0)	Polarizzazione A_0	f_0 (Hz)	Ampiezza A_0	Dev. standard $\sigma(f_0)$
N1	40.96	15	510	♦♦WNW-ESE	0.83	5.45	0.69
N2	40.96	15	602	♦♦WNW-ESE	0.98	5.21	0.91
N3	40.96	15	467	♦♦♦WNW-ESE	0.76	6.17	1.63
N4	40.96	15	584	♦♦WNW-ESE	0.95	5.80	0.75
N5	40.96	15	4817	♦E-W	7.84	5.20	0.79
N6	40.96	15	1143	♦NE-SW	1.86	4.30	0.72
N7	40.96	15	1573	♦WSW-ENE	2.56	5.71	1.00
N8	40.96	15	1051	♦♦E-W	1.71	4.07	1.14
N9	40.96	15	436	♦♦♦E-W	0.71	7.36	0.16

Tabella 5 – Risultati delle misure di microtremore

Come è possibile rilevare dalla tabella 2 e dai grafici H/V, in molti siti di prova è stata riscontrata una polarizzazione preferenziale su uno dei due piani orizzontali, unitamente ad effetti di amplificazione più o meno marcati. La deviazione standard σ, calcolata in corrispondenza della frequenza di picco **(f_0)** permette di apprezzare la coerenza del dato misurato; in altre parole, valori elevati di $\sigma(f_0)$ indicano una maggiore dispersione dei valori e di conseguenza una minore precisione, viceversa, bassi valori di $\sigma(f_0)$ indicano una maggiore affidabilità della misura.

Per meglio comprendere i risultati delle varie prove, è stato realizzato un grafico sintetico, desunto dalle curve di rapporto spettrale, che mette in relazione le ampiezze e le frequenze di picco registrate nei veri siti di prova.

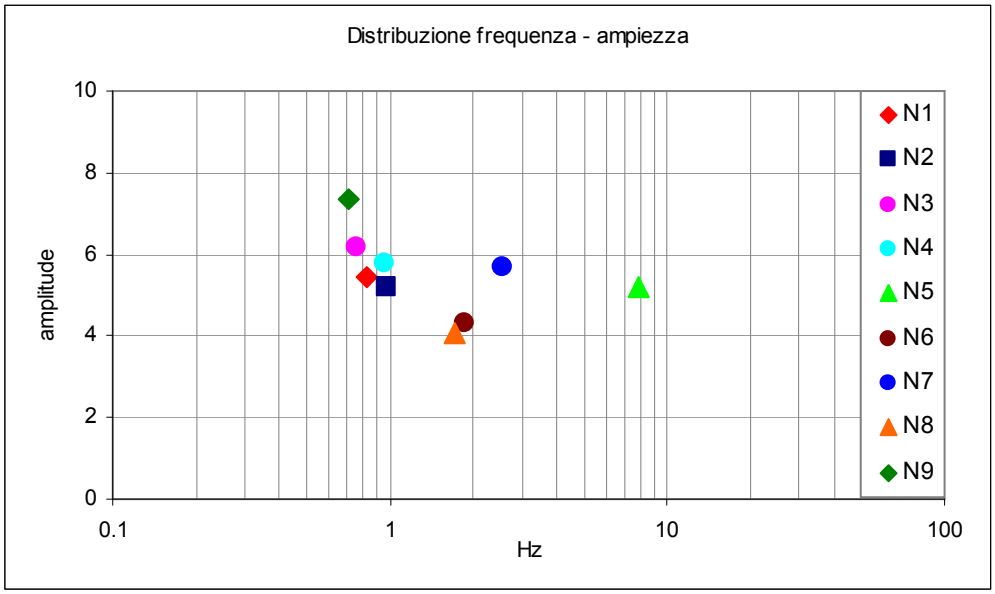


Figura 44 – Grafico dell'andamento di f_0 – a_0

Dall'analisi del grafico sopra esposto, sembra evidente che buona parte delle misure ricadono in una zona relativamente limitata. In particolare, N1, N2, N3, N4 ed N9 mostrano valori di ampiezza variabili ma compresi in un range di frequenza di 0.70-0,95 Hz; le altre quattro prove hanno mostrato frequenze di picco più elevate.

Da un'analisi delle curve H/V esposte nelle pagine precedenti, è possibile constatare in alcuni casi una netta frequenza di picco (es. N1, N2, N3, N9), mentre in altri casi non c'è una evidente predominanza o si riscontrano picchi a frequenze non riconducibili a fattori "geologici" (oltre 10 Hz). Solo nei casi in cui si riscontra un evidente picco e un basso valore di $\sigma(f_0)$ è possibile considerare l'eventualità di effetti di sito.

Dalla tabella sintetica è inoltre possibile osservare una certa dispersione dei valori di $\sigma(f_0)$, da cui si evince una certa instabilità del contenuto spettrale del noise.

In conclusione, avendo osservato i dati emersi dalle prove, in alcuni siti è possibile individuare effetti di amplificazione locale, unitamente a fenomeni di polarizzazione, mentre in altri, oltre ad una più ridotta amplificazione, non si riscontrano particolari effetti di polarizzazione delle ampiezze.

5. CONCLUSIONI

Nella presente relazione sono stati illustrati i risultati di una campagna di indagini geofisiche eseguita a supporto della revisione del P.R.G. del Comune di Ragalna (Catania). Le indagini sono state distribuite a campione sul territorio, in corrispondenza di comparti edificatori o zone di espansione previste nel PRG, e soprattutto in corrispondenza di elementi strutturali cartografati in seguito a precedenti rilievi. La correlazione dei risultati ottenuti attraverso le tecniche utilizzate ha consentito di ottenere un quadro d'insieme piuttosto approfondito.

In particolare, le prove hanno fornito risultati spesso molto differenti in termini di categoria di terreno (Ordinanza 3274/03), sismostratigrafia ed effetti di sito. Tali differenze sono generalmente riconducibili alle caratteristiche geologico-stratigrafiche dei siti di prova, in quanto si verifica spesso una correlazione fra velocità, spessore dei sismostrati ed effetti di esaltazione sismica locale. I fenomeni di polarizzazione rilevati attraverso le misure di microtremore, più o meno marcati, possono, in alcuni casi, essere ricondotti alla vicinanza, a scala locale, di lineamenti strutturali sepolti sotto le coperture laviche recenti, dei quali non si è identificato alcun indizio significativo nelle sezioni sismiche effettuate.

Il tecnico

(Dott. Geol. Domenico Boso)