

# REGIONE TOSCANA



## COMMISSARIO REGIONE TOSCANA

D.P.G.R. 163 del 27/10/2014 - D.P.G.R. 186 del 29/10/2015 - D.P.G.R. 198 del 29/12/2016

Dott. Ing. Antonio Cinelli

### INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DEL RAMO DI TORANO DEL TORRENTE CARRIONE , COMPRESA LA DEMOLIZIONE DEGLI OSTACOLI AL DEFLUSSO COMUNE DI CARRARA (MS) – MIGLIORAMENTO DEL DEFLUSSO IDRICO IN COERENZA CON LO STUDIO DICCA

#### PROGETTO REDATTO DA :

Dott. Ing. Giorgio Bolgioni con studio in via Mascagni, 7 - 54100 Massa; e-mail: [bolgiing@gmail.com](mailto:bolgiing@gmail.com)

#### Geologo:

Dott. Geol. Marco Zollini con studio in Massa Via Cavour, 20 - 54100 Massa; e-mail: [m.zollini@tiscali.it](mailto:m.zollini@tiscali.it)

---

#### RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Gennarino Costabile

indirizzo: Palazzo B - Via di Novoli 26 - stanza 240 - 50127 Firenze

Tel. 0554384670

e-mail: [gennarino.costabile@regione.toscana.it](mailto:gennarino.costabile@regione.toscana.it)

PEC: [regionetoscana@postacert.toscana.it](mailto:regionetoscana@postacert.toscana.it)

#### COMMISSARIO REGIONALE

c/o GENIO CIVILE TOSCANA NORD - Via Democrazia, 17 - 54100 Massa (MS)

Tel. 0585 899111 - Fax 0585 44398

e-mail: [commissario.massacarrara@regione.toscana.it](mailto:commissario.massacarrara@regione.toscana.it)

---

DATA : 07/03/2017

TAVOLA: R-03

Relazione Geologica – Tecnica Preliminare



Dott. Marco Zollini

Geologo

Geologia applicata, Geotecnica, Idrogeologia

Studio Via Cavour n.20 54100 Massa (MS) - Tel. e Fax n.0585/45473

## *PROVINCIA DI MASSA - CARRARA*

### *COMUNE DI CARRARA*

*INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE ESEGUITE A SUPPORTO del  
PROGETTO PRELIMINARE PER LA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI PER  
LA SISTEMAZIONE DEL RAMO DI TORANO DEL TORRENTE CARRIONE.*

### *RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA PRELIMINARE*

*Committente : Amministrazione Provinciale di Massa - Carrara*

*Località : Torano - Carrara*

*Massa, 16/04/2010*

*Il Tecnico incaricato:*

*Dott. Geol. **Marco Zollini***

## **INDICE**

<b>PREMESSA</b>	<i>pag. 2</i>
<b>Normativa di riferimento</b>	<i>pag. 3</i>
<b>RELAZIONE GEOLOGICA (Modello Geologico)</b>	<i>pag. 4</i>
2.1 Geomorfologia	<i>pag. 5</i>
2.2 Geologia	<i>pag. 6</i>
2.3 Idrografia ed idrogeologia	<i>pag. 7</i>
2.4 Principali criticità individuate lungo l'alveo del Fosso di Torano	<i>pag. 8</i>
2.5 Indagini geognostiche	<i>pag. 23</i>
2.6 Azione sismica	<i>pag. 25</i>
2.7 Caratterizzazione geologico-tecnica	<i>pag. 28</i>
<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<i>pag. 28</i>

## PREMESSA

Per incarico dell'*Amministrazione Provinciale di Massa Carrara (Settore Difesa del Suolo)* sono state eseguite indagini geologico-tecniche a supporto del *"PROGETTO PRELIMINARE PER LA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI PER LA SISTEMAZIONE DEL RAMO DI TORANO DEL TORRENTE CARRIONE*.

Il presente studio pertanto ha la finalità di definire gli interventi necessari per la sistemazione idraulica del Torrente Carrione nel ramo di Torano, nel tratto che va dalla località Caina, in corrispondenza delle case popolari, sino alla località Ravaccione, posta sopra il paese di Torano.

In collaborazione con l'ing. Giorgio Bolgioni incaricato per la progettazione degli interventi necessari per la messa in sicurezza del tratto di corso d'acqua in esame, sono state individuate le principali criticità indicando le priorità degli interventi necessari per la messa in sicurezza e l'adeguamento, nel tratto in esame, dell'alveo del ramo di Torano del Torrente Carrione, alla portata duecentennale.

In definitiva lo scopo del progetto è l'adeguamento alla portata duecentennale del ramo di Torano del T. Carrione, che sarà realizzato mediante la risagomatura dell'alveo con interventi di consolidamento degli argini.

Tutti i riferimenti altimetrici utilizzati nella presente relazione sono stati individuati dalla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 e 1:2. 000 mentre le sezioni trasversali al corso d'acqua sono quelle del rilievo topografico del terreno realizzato, utilizzando una stazione totale, dal Geom. Michele Lombardi, incaricato dall'Amministrazione Provinciale di Massa Carrara per la realizzazione dei rilievi topografici.

Come sarà ampiamente spiegato in seguito insieme con lo studio delle caratteristiche generali sono state approfonditi alcuni aspetti connessi con la fattibilità geologica degli interventi di messa in sicurezza.

Lo studio si è articolato in:

- Sopralluoghi di campagna principalmente in alveo oltre che lungo le sponde per definire l'attuale situazione idro-geomorfologica dell'alveo e delle sponde;
- Individuazione delle principali criticità;
- Esecuzione di indagini geognostiche in corrispondenza dei tratti più critici
- Progettazione preliminare degli interventi da effettuarsi sull'alveo oggetto dello studio per la messa in sicurezza idraulica e l'adeguamento alla portata duecentennale;
- Individuazione delle priorità degli interventi.

Nel presente lavoro si è fatto riferimento allo *"Studio idrogeologico del bacino del T. Carrione aggiornato in seguito all'evento alluvionale del 23 settembre 2003 e verifica progetti in corso"* eseguito dal Prof. Ing. Carlo Viti, dal Dott. Ing. Giuseppe Fruzzetti, dal Dott. Ing. Carlo Milani e dalla Dott.ssa Geol. Giovanna Costo.

Agli *"Studi, Verifiche di Fattibilità e Progetti Preliminari per la definizione del programma di interventi per l'equilibrio idrogeologico del bacino del T. Carrione a seguito dell'evento alluvionale del settembre 2003*.

Ed allo studio *"Lavori di adeguamento idraulico del T. Carrione nel centro abitato di Carrara e nel tratto terminale Carrione di Torano. Lotto Torano, Lotto Monti e Lotto Valle"*



*(Progettisti Prof. Ing. Pietro Orsini e Prof. Ing. Carlo Viti) - (Lavori di risagomatura dell'alveo del Torrente Carrione e del Canale di Torano nel centro storico di Carrara – Progetto esecutivo).*

Nella relazione:

- Tav.n.1 = Inquadramento geografico;
- Tav.n.2 = Planimetria del tratto di interesse con ubicazione delle sezioni;
- Tav.n.3 = Carta geologica con elementi di geomorfologia;
- Tav.n.4 = Ubicazione indagini geognostiche.

In allegato alla presente relazione sono riportati gli elaborati conclusivi consegnati dalla Società P3 snc incaricata dal sottoscritto per la realizzazione delle indagini geognostiche.

## **Normativa di riferimento**

### **Decreto Ministeriale 14/01/2008**

Testo Unitario - Norme Tecniche per le Costruzioni

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Istruzione per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare 2 febbraio 2009.

### **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27/07/2007.

### **Eurocodice 8 (1998)**

#### **Indicazione progettuale per la resistenza fisica delle strutture**

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

### **Eurocodice 7.1 (1997)**

Progettazione geotecnica Parte I : Regole Generali – UNI

### **Eurocodice 7.2 (2002)**

Progettazione geotecnica Parte II : Progettazione assistita con prove in laboratorio (2002) - UNI

### **Eurocodice 7.3 (2002)**

Progettazione geotecnica Parte II : Progettazione assistita con prove in sito (2002) - UNI

Inoltre il presente studio è stato redatto in ottemperanza a quanto disposto dal D.M. 19/03/1982, dal D.M. 11/03/1988 e relativa circolare LL.PP. n.30483 del 24/09/1988, dal D.M. 16/01/1996, dalla L.R. del 21/03/2000, (modificata dalla L.R. n.1 del 02/01/2003 e dal successivo regolamento D.P.G.R. del 08/08/2003 n.48/R), e dal decreto legislativo n. 152 del 3 aprile 2006 e successive modifiche.

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

**(Modello Geologico)**

## 2.1 Geomorfologia

L'area di intervento è ubicata nel settore settentrionale della città di Carrara (Tav. n. 1 e n. 2), e più precisamente nel tratto del Fosso di Torano (indicato come ramo di Torano del T. Carrione), compreso tra la fine dell'intervento in corso d'opera eseguito dal Comune di Carrara in località Caina, secondo il progetto esecutivo dal Prof. ing. Pietro Orsini, e la località Ravaccione posta poco a monte della frazione di Torano.

Attualmente infatti lungo il tratto iniziale del Canale di Torano, a partire dalla confluenza con il T. Carrione e fino al ponticello a Nord delle case popolari di Caina, per un tratto di circa 200m, sono in corso i lavori di adeguamento idraulico del ramo di Torano del T. Carrione.

Il tratto in esame del Fosso di Torano raccoglie tutte le acque provenienti dai retrostanti rilievi ed è delimitato in destra idrografica dalla dorsale che unisce il monte D'arma con il monte Roveta, mentre in sinistra idrografica è delimitato dal crinale che a partire dalla località Caina unisce il monte Rava con il monte Betogli.

Il tratto vallivo studiato, il cui tratto morfologico caratteristico è rappresentato dal Fosso di Torano, è caratterizzato dalla presenza di alluvioni terrazzate cementate che sono state sedimentate nel Pleistocene superiore in condizioni climatiche diverse dalle attuali, quando vi era una maggiore piovosità e quindi anche maggior trasporto solido.

L'accrescimento dei depositi è avvenuto, verosimilmente, dal Pleistocene (fasi Würmiane) sino alle fasi climatiche più umide dell'Olocene dopo le quali, la diminuita piovosità ha interrotto la fase deposizionale e i corsi d'acqua hanno inciso i propri sedimenti praticando prima un profondo solco al loro interno e quindi asportandoli quasi completamente abbandonando lembi terrazzati di grandi dimensioni.

Anche l'area su cui è stato edificato il paese di Torano è caratterizzata dalla presenza di alluvioni terrazzate cementate che sono state abbandonate, dal Fosso di Torano e dalle aste idriche minori che percorrevano le valli a monte, in un periodo in cui le condizioni climatiche erano diverse dalle attuali essendovi una maggior piovosità e quindi anche un maggiore trasporto solido.

La deposizione è avvenuta lungo l'intero tratto vallivo sino allo sbocco nell'ampia conca di Carrara nella quale sono ancora presenti notevoli spessori di materiali detritici cementati come nella zona dell'Ospedale.

Questa estesa placca, che si presentava originariamente con diversi ordini di terrazzi di erosione, è stata utilizzata dall'uomo per edificare l'insediamento abitativo e per ottenere aree coltivabili per cui è stata rimodellata con una vasta terrazzatura artificiale che ha mascherato le primitive forme portando ad una stabilizzazione e conservazione del versante.

Attualmente il fondo valle è occupato da depositi alluvionali attuali e recenti costituiti da materiali prevalentemente incoerenti con elementi litoidi appartenenti a tutte le formazioni geologiche affioranti nel bacino con prevalenza dei marmi anche a causa dell'intervento antropico connesso con escavazione e lavorazione dei marmi stessi che ha convogliato nel passato molto materiale in alveo.

Il substrato roccioso la cui natura sarà descritta nel successivo capitolo dedicato alla geologia affiora solamente lungo alcuni tratti della viabilità di fondovalle e nei versanti a monte, sia in destra che in sinistra idrografica, dove la pendenza è maggiore, mentre dove la pendenza diminuisce è presente una copertura detritica derivante dal disfacimento e dall'alterazione del substrato roccioso.

## 2.2 Geologia

Le conoscenze geologiche generali dell'area in esame, il rilevamento geologico e geomorfologico effettuato nel corso dei sopralluoghi di campagna (Tav.n.2), hanno permesso di riconoscere e cartografare le diverse formazioni presenti.

Le rocce che compongono l'ossatura del tratto vallivo in oggetto, appartengono a due unità tettoniche conosciute nella letteratura geologica come "*Unità Toscana metamorfiche*" e *Falda Toscana*".

In questa zona tali unità risultano costituite, partendo dal basso verso l'alto, dalle seguenti formazioni:

### **"Unità Toscana metamorfiche":**

#### *Grezzoni*

Dolomie con limitate modificazioni microstrutturali metamorfiche. Alla base brecce metamorfiche ad elementi dolomitici, nella parte intermedia dolomie grigio scure stratificate; nella parte alta dolomie a patina d'alterazione giallastra con tracce di filladi lungo i giunti di strato.

Affiorano sia in destra che in sinistra idrografica in corrispondenza dell'abitato di Torano.

Più a monte del tratto vallivo in esame affiorano, quindi al di fuori della zona di studio, anche termini appartenenti alle formazioni dei *Marmi (MAA)* e dei *Calcari Selciferi (CLF)*

### **"Falda Toscana" :**

#### *Calcicare Cavernoso (CCA)*

Calcari dolomitici e dolomie grigie con struttura tipica a "cellette" e dolomie cariate.

Affiorano sia in destra che in sinistra idrografica del Fosso.

#### *Calcari e Marne a Rhaetavicula contorta (RET)*

Calcari dolomitici e dolomie con sottili intercalazioni di marne.

Affiorano in destra e in sinistra del Fosso di Torano.

#### *Calcicare Massiccio*

Calcari e calcari dolomitici grossolanamente stratificati e massicci.

La formazione affiora in destra idrografica del tratto vallivo in esame, sul monte D'Arma a monte del cimitero di Marcognano.

### **"Depositi quaternari" :**

#### *Depositi fluviali cementati e terrazzati*

Vi sono compresi i depositi alluvionali cementati e terrazzati e depositi di conoidi alluvionali cementati.

#### *Depositi alluvionali attuali e recenti*

Rientrano in questa categoria i depositi alluvionali attuali e recenti, le alluvioni terrazzate ed i depositi di conoidi alluvionali.

### *Detrito*

Vi sono compresi i principali accumuli di detrito anche a grossi blocchi, detriti eluviali e colluviali e discariche di cava "ravaneti".

## 2.3 Idrografia ed idrogeologia

Il Fosso di Torano, che scorre sul fondovalle e raccoglie tutte le acque provenienti dai retrostanti rilievi, è l'elemento idrografico principale dell'area in oggetto ed è delimitato a partire da Torano, in sinistra idrografica da Via Torano, viabilità che dalla omonima frazione seguendo il corso del F. di Torano, si congiunge con Via Carriona in località Caina e quindi con la città di Carrara.

Il suo regime anche se alcuni rami intramontani sono alimentati da sorgenti perenni con esigue portate, è tipicamente torrentizio, con piene improvvise e significative, che si verificano sempre dopo eventi meteorici particolarmente intensi e/o prolungati.

Il ramo fluviale oggetto dello studio si estende per una lunghezza di 1470 m misurati a partire in corrispondenza della fine dell'intervento in attuazione da parte del Comune di Carrara, per terminare alla località Ravaccione.

Per comodità di rappresentazione il ramo è stato suddiviso in sette settori (vedi Tav. 2) e sono state rilevate n 44 sezioni trasversali significative e necessarie allo studio idraulico.

L'asta fluviale presenta una pendenza media del 4% e una larghezza media di 8 m l'alveo è occupato da depositi alluvionali recenti costituiti da materiali prevalentemente incoerenti con elementi litoidi appartenenti a tutte le formazioni geologiche affioranti nel bacino con prevalenza dei marmi anche a causa dell'intervento antropico connesso con l'escavazione e la lavorazione dei marmi stessi che ha convogliato nel passato molto materiale in alveo.

Per quanto riguarda invece la permeabilità dei litotipi che caratterizzano l'area in esame i depositi alluvionali terrazzati presentano un'alta permeabilità sia per la loro natura granulare che, laddove si presentano cementati, per l'intensa fratturazione.

Anche le rocce che formano il substrato hanno una permeabilità molto alta dovuta sia alla loro naturale predisposizione al "carsismo" che alla fratturazione.

Per quanto riguarda invece il materiale che costituisce la copertura detritica, questo per la sua natura a matrice limo-sabbiosa e argillosa, è caratterizzato da una permeabilità variabile, ma in genere bassa, che può diventare significativa solo in corrispondenza di quei livelletti in cui prevalgono i ciottoli o la matrice è più sabbiosa.

Questa situazione rende lo scorrimento dell'acqua importante solo a livello del contatto tra la copertura detritica e le alluvioni cementate o tra queste e la roccia in posto, oppure all'interno delle fratture che le permeano.

## 2.4 Principali criticità individuate lungo l'alveo del Fosso di Torano

Il rilevamento di campagna, unitamente alla realizzazione delle verifiche idrauliche, ha permesso di individuare le principali criticità nel tratto in esame dell'alveo del Fosso di Torano.

Come già detto in precedenza, per comodità di rappresentazione il ramo è stato suddiviso in sette settori, di seguito per ciascun settore distinto sono riportate le principali criticità rilevate.



*Foto n.1 Settore 1 – Ponte Sezione 5.*

La sezione fluviale in corrispondenza del ponticello non è sufficiente a condottare la portata duecentennale.



*Foto n.2 Settore 1 – Tratto compreso tra le Sezioni n.8 e n.19 in cui è presente materiale alluvionale composto anche da ciottoli grossolani.*





*Foto n.3 Settore 2 – Briglia Sezione n.9.*

L'osservazione della soprastante fotografia mette chiaramente in evidenza la notevole erosione al piede della briglia oltre alla presenza di materiale di sovralluvionamento composto anche da ciottoli grossolani.



*Foto n.4 Settore 3 – Briglia Sezione n.11 (segni di erosione al piede).*



*Foto n.5 Settore 3 – Sezione n.12 uscita tratto tombato.*



*Foto n.6 Settore 3 – Sezione n.13 ingresso tratto tombato.*

La tombatura non è sufficiente a condottare la portata duecentennale inoltre sia all'ingresso che all'uscita del manufatto sono evidenti i segni di un accentuato scalzamento dei muri di protezione spondale del Fosso di Torano.





*Foto n.7 Settore 3 – Sezione a valle del ponte.*

Anche nella Foto n.7 sono ben visibili i segni di un accentuato scalzamento dei muri di protezione spondale del Fosso di Torano.



*Foto n.8 Settore 3 – Sezione a monte del ponte (Sez. 13bis).*

In corrispondenza della sezione di ingresso del ponte è presente materiale detritico di sovralluvionamento costituito da ciottoli anche grossolani che riducono la sezione d'alveo.

La sezione fluviale in corrispondenza del ponte non è sufficiente a condottare la portata duecentennale.



*Foto n.9 Settore 3 – Manufatto a monte del ponte (Sez. 13bis).*

L'osservazione della Foto n.9 mette chiaramente in evidenza la presenza di un manufatto che occupa una parte dell'alveo dell'asta idrica riducendone la sezione fluviale.

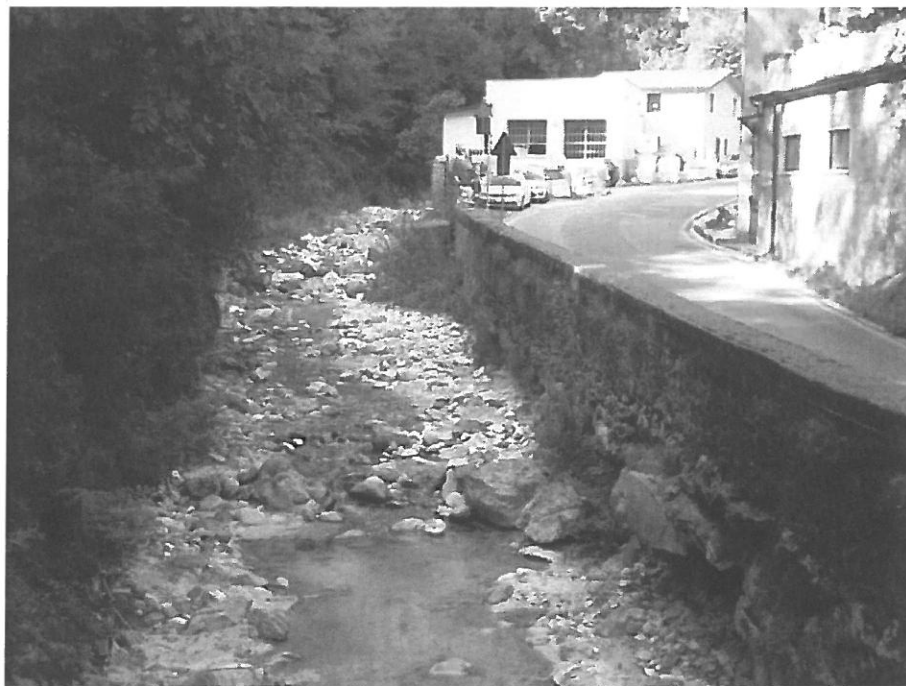


*Foto n.10 Settore 3 – Sezione a monte del ponte (Sez. 13bis)  
(presenza di materiale alluvionale talora grossolano).*



*Foto n.11 Settore 4 – Ponticello pedonale (Sez. 16).*

In corrispondenza del ponticello pedonale la sezione è in grado di condottare la portata due centennale.



*Foto n.12 Settore 4 – Tratto a monte del ponticello di Sez. n.16.*

Nella Foto n.12 sono ben visibili i segni di un accentuato scalzamento del muro di protezione spondale del Fosso di Torano posto in destra idrografica.



*Foto n.13 Settore 4.*

Tratto caratterizzato da materiale detritico di sovralluvionamento costituito da ciottoli grossolani e massi anche di consistenti dimensioni.



*Foto n.14 Settore 5 – Sezione n.22 Ponte in località Torano.*

Ponte ubicato in località Torano, la sezione d'alveo è in grado di condottare la portata due centennale.



**Foto n.15** Settore 6 – Erosione al piede della scarpata in destra idrografica (Sez. n.24) (Stato attuale).



**Foto n.16** Settore 6 Movimento franoso verificatosi durante l'alluvione del 23/09/2003 (Foto scattata pochi mesi dopo l'evento).



L'osservazione della foto n.15 mostra come attualmente, in corrispondenza della Sezione n. 24 ai piedi della scarpata in sdestra idrografica del Fosso di Torano, siano visibili i segni dell'erosione al piede della scarpata sottostante Via Torano Piastra.

Confrontando la suddetta foto con quella sottostante, scattata pochi mesi dopo l'alluvione, si vede chiaramente che la scarpata è stata interessata da un movimento gravitativo che ha invaso anche parte dell'alveo del Fosso di Torano.

Questo movimento franoso è stato cartografato e censito nei mesi successivi l'alluvione del 23/09/2003, nello studio eseguito dal Dott. C.A. turba eseguito per conto del Comune di Carrara (*Evento alluvionale del 23 settembre 2003 - indagini e verifiche idrogeologiche per la perimetrazione delle aree interessate dai movimenti franosi*).

Secondo il suddetto studio le cause del movimento franoso, classificato come scorrimento traslativo di terra e detrito rapidamente evoluto in colata di terra e detrito, andavano ricercate oltre che nell'erosione al piede già attiva allora, nelle condizioni fisiche del materiale, nelle precipitazioni molto intense, nell'imbibizione fino a completa saturazione del materiale detritico e nel ruscellamento superficiale delle acque provenienti dal versante.

Successivamente il corpo di frana è stato progressivamente eroso ed attualmente alla base della scarpata i segni di questa erosione sono ben visibili come si può osservare nella Foto n.15,



*Foto n.17 Settore 6 (Tratto a monte della Sez. n.24).*

Tratto caratterizzato da materiale detritico di sovralluvionamento costituito da ciottoli grossolani ed elementi litoidi grossolani.



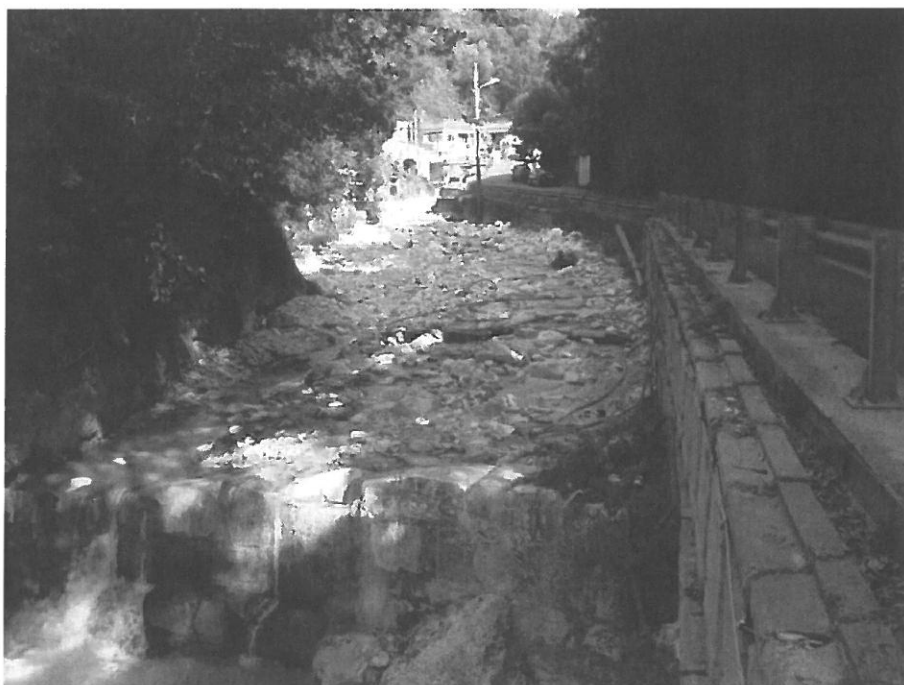
*Foto n.19 Settore 6 – Sezione n. 24 bis. Scalzamento alla base del muro di sponda in pietrame posto in sinistra idrografica a valle della briglia della Sezione n. 25.*



*Foto n.20 Settore 6 – Sezione n.25 Briglia a valle di Via Torano.*

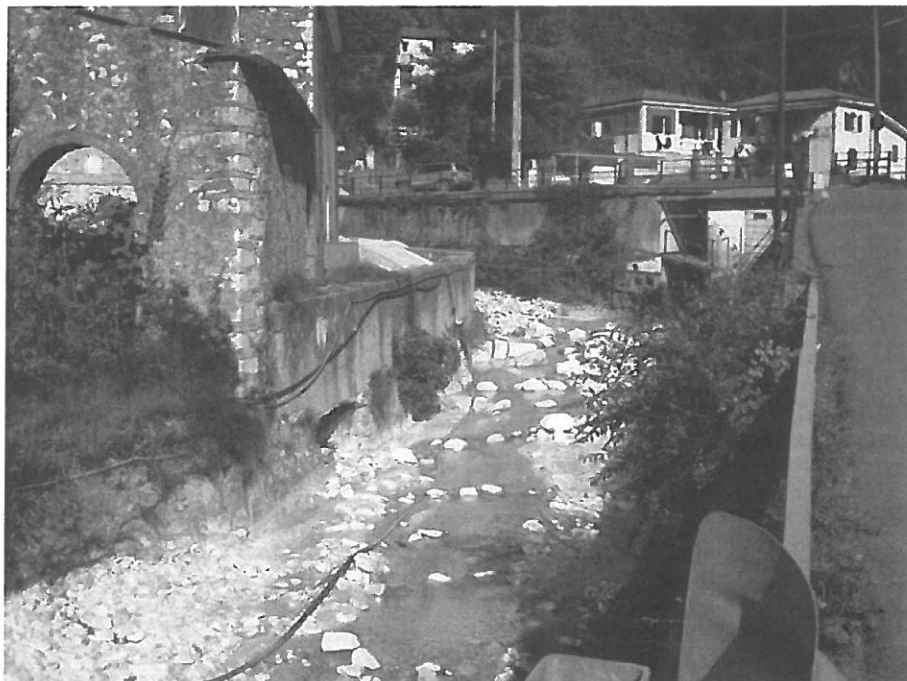


*Foto n.21 Settore 6 – Sezione n.25 Scalzamento alla base della briglia.*

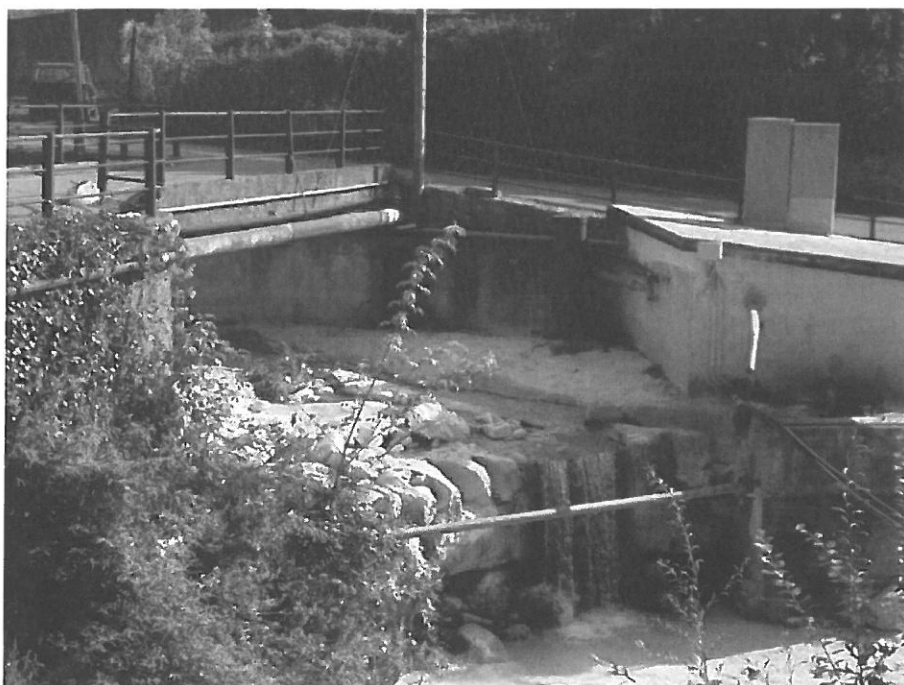


*Foto n.22 Settore 6 – tratto a monte della briglia di sezione n.25 da adeguare idraulicamente.*





*Foto n.23 Settore 7 – Scalzamento al piede del muro in c.a. in destra idrografica del F. di Torano.*



*Foto n.24 Settore 7 – Presenza di manufatti in alveo che riducono la sezione idraulica.*



*Foto n.25 Settore 7 –Scalzamento al piede del muro di sponda in pietrame che delimita, in destra idrografica, il F. di Torano.*



*Foto n.26 Settore 7 – Particolare dello scalzamento alla base del muro di sponda in pietrame.*

Nelle Foto n.26 e n.27 sono ben visibili i segni di un accentuato scalzamento del muro di protezione spondale del Fosso di Torano posto in destra idrografica.



*Foto n.27 Settore 7 – Sezione di valle del ponte (da notare la presenza di condotte in alveo).*



*Foto n.28 Settore 7 – Sezione di monte del ponte (anche in questo caso si nota la presenza di condotte in alveo).*

In corrispondenza del ponte le sezioni non sono in grado di condottare la portata duecentennale.

Riassumendo le principali criticità individuate lungo l'alveo del Fosso di Torano, nel tratto vallivo in esame comprendono:

- Presenza di accumuli di materiale detritico lungo l'alveo costituito da ciottoli e da elementi litoidi di dimensioni variabili ed a volte cospicue.
- Tratti con accentuato scalzamento dei muri di protezione spondale sia in destra che in sinistra idrografica del Fosso di Torano.
- Accentuata erosione al piede delle briglie.
- Tombature e ponti non adeguati alla portata duecentennale.
- Sezioni d'alveo non sufficienti a condottare la portata due centennale.

Di seguito si elencano gli interventi necessari:

- Adeguamento della sezione alla portata duecentennale mediante demolizione del ponte (vedi Foto n.1) e allargamento del letto del fosso realizzando un nuovo argine sia in destra che in sinistra idrografica; tali argini dovranno raccordarsi con quelli in fase di realizzazione nel tratto iniziale del fosso.
- Demolizione del tratto tombato del ponte e del manufatto che occupa parzialmente l'alveo nel settore 3 (vedi Foto. n.5, 6, 7, 8 e 9)
- Pulizia dell'alveo da depositi alluvionali e rettifica del fondo.
- Consolidamento delle briglie soggette ad erosione al piede.
- Consolidamento dei muri di protezione spondale nei tratti soggetti a scalzamento o erosione al piede.
- Adeguamento dell'alveo in tutti i tratti critici evidenziati dalle verifiche idrauliche alla portata due centennale.
- Realizzazione di un'adeguata opera di protezione spondale in corrispondenza della sezione n. 24 tale da prevenire l'erosione di sponda e garantire la bonifica del movimento franoso (vedi Foto n. 15 e 16).

Per quanto riguarda invece la priorità degli interventi sicuramente quelli previsti nei settori n. 1, nel settore n.3 e nel settore n.6, viste le problematiche messe in evidenza, sono sicuramente quelli che richiedono maggiore urgenza.

Infine anche se non rientra nell'oggetto del presente studio, il sottoscritto ritiene doveroso segnalare la presenza di numerose aste idriche minori tra le quali il Fosso dei Campi ed il Fosso del Corsaro, affluenti in sinistra idrografica del Fosso di Torano, nel quale confluiscono tramite attraversamenti realizzati con materiali, forma e dimensioni diverse, per i quali si renderà necessario in futuro, mediante specifici studi, definire una serie di interventi tali da ripulire gli attraversamenti per ripristinare l'originaria efficienza idraulica, tali da trattenere dove e se necessario, il materiale flottante mediante la realizzazione di pozzettoni di caduta, oppure tali da garantire l'adeguamento degli attraversamenti alle portate duecentennali ricavate da specifici studi idrologici idraulici.

A questi interventi ne dovranno essere associati altri a scala di bacino tali da favorire la diminuzione del trasporto solido, e la pulizia della vegetazione arbustiva e di alto fusto.

Questi interventi associati ad interventi di tipo strutturale estensivo per la sistemazione dei versanti e delle sponde a ridosso dell'alveo delle aste idriche minori, permetteranno di ricreare condizioni di rischio accettabile.

## 2.5 Indagini geognostiche

Per caratterizzare l'assetto sismostratigrafico dei livelli più superficiali del sottosuolo, valutare la profondità del bedrock sismico, determinare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S), calcolare del parametro Vs30 e al calcolo e la frequenza di risonanza caratteristica del sito, il sottoscritto ha incaricato la Società P3 s.n.c. per l'esecuzione delle opportune indagini geognostiche.

Non avendo a disposizione spazi adeguati per realizzare stendimenti di sismica a rifrazione con onde Vs di lunghezza tale da poter indagare a profondità sufficienti per determinare il parametro Vs30 e per poter avere indicazioni sulla stratigrafia del sito, si sono realizzate prospezioni geofisiche mediante la tecnica delle MASW ed alcuni sondaggi di sismica passiva.

In particolare, sono state eseguite indagini distinte, sempre lungo l'asse del Fosso di Torano, in due località diverse, distanti tra loro circa 300 metri in linea d'aria; di queste, la zona più a Sud (denominata *Area 1*) in corrispondenza del ponte di sezione n.5 (Settore n.1) è situata in località Caina, mentre la zona più a Nord (denominata *Area 2*) si trova a valle del cimitero monumentale di Marcognano in corrispondenza del tratto tombato e del ponticello tramite i quali si accede ad un laboratorio per la lavorazione del marmo ormai dismesso (Sezioni n.13 e 13 bis).

Le indagini, effettuate nei giorni 13 e 20 Febbraio 2010, sono state condotte conformemente alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n.3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

L'indagine MASW2 e i sondaggi in sismica passiva TR1, TR2, TR6 e TR7 sono stati eseguiti in data 13 Febbraio mentre l'indagine MASW1 e i sondaggi in sismica passiva TR3, TR4 e TR5 sono stati effettuati in data 20 Febbraio.

Le ubicazioni delle prove effettuate sono riportate nella Tav. n. 4 oltre che nella relazione sismica allegata alla presente relazione.

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro Vs30 è stata eseguita, per ognuna delle due zone indagate una prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves").

Le prove sono state di seguito convenzionalmente denominate MASW 1 quella eseguita nell'*Area 1* e MASW 2 quella eseguita nell'*Area 2*.

Per il calcolo degli spessori sono stati eseguiti n. 7 sondaggi in sismica passiva a stazione singola.

Come si evince dalla relazione elaborata dalla Società P3 snc, la prospezione geofisica eseguita, per mezzo dell'analisi delle prove MASW, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro Vs30.

I profili MASW indicano una Vs30, riferita al piano di campagna, pari a **617 m/s (MASW1)** e **753 m/s (MASW2)**.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008) i risultati dell'indagine geofisica, dal punto di vista prettamente numerico, concorrono ad ascrivere sia il sito denominato *Area 1* che il sito denominato *Area 2*, **considerando**



**un piano di fondazione posto alla profondità del piano di campagna**, come appartenenti alla **Categoria B** di sottosuolo.

Per quanto riguarda le analisi in sismica passiva tutte le registrazioni HVSR a stazione singola effettuate nell'*Area 1* mostrano, nei rispettivi grafici del rapporto spettrale H/V, picchi netti e ben definiti (sempre ad alte frequenze, corrispondenti a basse profondità) in corrispondenza del passaggio tra coperture e bedrock sismico.

Nelle registrazioni effettuate nell'*Area 2* i picchi sono meno evidenti non viene rilevato un passaggio netto tra copertura e bedrock sismico; questo potrebbe essere spiegabile con il fatto che l'area in esame è stata, in passato, sede di un piazzale di una segheria ed il detrito che ne costituiva il sottofondo è stato particolarmente compattato nel tempo.

Nella tabella di seguito si riportano per ogni sondaggio di sismica passiva realizzato le profondità del bedrock sismico che corrisponde molto probabilmente al passaggio detrito – roccia.

<i>Indagine</i>	<i>Profondità bedrock sismico (m)</i>
TR1	4.80
TR2	4.60
TR3	4.30
TR4	4.70
TR5	4.70
TR6	2.90
TR7	3.10

**N.B.** Vista la natura indiretta delle indagini realizzate, durante la fase definitiva ed esecutiva occorrerà verificare la rispondenza tra quanto ricavato dall'indagine geologica, geotecnica e geonostica, e l'effettiva situazione all'interno dell'area edificatoria.

Per questo sarebbe opportuno, almeno nei tratti più critici, realizzare una serie di saggi di scavo con escavatore direttamente all'interno dell'alveo, per valutare lo spessore del materasso alluvionale, per avere maggiori indicazioni sulla granulometria dei depositi alluvionali e per verificare la reale profondità del substrato roccioso.

Tali verifiche potranno essere di valido aiuto al progettista per affinare la progettazione esecutiva e per approntare, un corretto piano di sicurezza.

Questo è in accordo con il Regolamento Forestale della Toscana n.48/R che stabilisce, all'art. n.75 comma 10, di accertare in loco, durante l'esecuzione dei lavori, la rispondenza delle indagini geologiche e delle previsioni di progetto con lo stato effettivo dei terreni.

Ed è in accordo anche con quanto stabilito nel punto A.2 e nel punto B.2 del D.M. 11/03/1988:

*A.2. Prescrizioni generali.*

*In corso d'opera si deve controllare la rispondenza tra la caratterizzazione geotecnica assunta in progetto e la situazione effettiva, differendo di conseguenza il progetto esecutivo.*

*B.2. Indagini nelle fasi di progetto e di costruzione.*

*La validità delle ipotesi di progetto dovrà essere controllata durante la costruzione considerando, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate.*

Alla presente relazione è allegata la relazione consegnata dalla Società P3 s.n.c. in cui sono riportate e descritte le indagini effettuate, la loro ubicazione, le metodologie di acquisizione e di elaborazione dei dati, i report interpretativi e la descrizione dei risultati ottenuti.

## 2.6 Azione sismica

Il Comune di Carrara è sempre stato inserito tra quelli sismici, infatti le normative emanate fino al 1998 lo hanno incluso prima in II<sup>a</sup> categoria e successivamente in III<sup>a</sup> categoria, mentre la riclassificazione sismica del territorio nazionale effettuata in seguito all'ordinanza del P.C.M. n.3274/2003, "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici", modificata dall'O.P.C.M. n. 3431 del 03/05/2005, definisce il Comune di Carrara sismico di zona 2, con accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico ( $a_g/g$ ) pari a 0.25.

Con D.M. del 14/09/2005, sono state approvate le "Norme Tecniche per le Costruzioni" che recepiscono integralmente per quanto riguarda la definizione delle azioni sismiche di progetto, l'O.P.C.M. n.3274/2003.

Successivamente con Ordinanza del P.C.M. n. 3519 del 28 aprile 2006 (pubblicata sulla GU del 11 Maggio 2006) sono stati approvati i "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" con la pubblicazione della nuova Mappa di Pericolosità Sismica nazionale.

Sulla base di questa ordinanza la Regione Toscana con Del. di G.R. n. 431 del 19/06/2006, ha formulato la "Proposta di riclassificazione sismica RT4" nella quale il Comune di Carrara viene fatto passare da una zona con sismicità superiore ad una zona con sismicità inferiore.

Infatti è stata definita una nuova zona denominata 3S, nella quale viene inserito anche il Comune di Carrara.

Inoltre con la L.R. n.24 del 21/06/2006, all'art.1 comma 1, viene evidenziato che i comuni interessati dal passaggio da una zona a sismicità superiore ad una inferiore, devono applicare la normativa sismica valida per le zone a sismicità superiore; ossia, nel caso specifico del Comune di Massa, pur inserendo il Comune in zona 3S, le costruzioni dovranno essere progettate con le azioni sismiche della zona 2.

Lo scopo delle norme è quello di assicurare, in caso di evento sismico, la protezione delle persone, di limitare i danni e di garantire il funzionamento delle strutture essenziali agli interventi di soccorso e di protezione civile.

Con D.M. del 14/01/2008, pubblicato sulla G.U. n.29 del 04/02/2008, sono state approvate le "Norme Tecniche sulle Costruzioni" che recepiscono ed integrano le indicazioni contenute nell'O.P.C.M. n.3274/2003 modificando però l'approccio alla classificazione sismica del territorio.

La valutazione della pericolosità sismica di base, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido con superficie topografica orizzontale (suolo di categoria A con  $V_{s30} > 800\text{m/sec}$ ), è adesso definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente" così come adottato nelle precedenti normative.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

**Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva Tab. 3.2.I.

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati Limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 3.2.I delle NTC (D.M. 14/01/2008): Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di  $P_{VR}$  forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.1.1.3 (delle NTC 08).

In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III delle NTC-2008).

- A. *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
- B. *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).



- C. *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- D. *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $NSPT_{30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $cu_{30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).
- E. *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s).

In aggiunta a queste categorie se ne aggiungono altre due, per le quali sono stati richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

*S1* - Depositi terreni caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 100 m/s (ovvero  $10 < cu_{30} < 20$  kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

*S2* – Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Le categorie sono definite sulla base della velocità delle onde di taglio SH nei primi trenta metri di sottosuolo, che si calcola con la seguente espressione:

$$1) \quad V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio  $V_s$  dello  $i$ -esimo strato per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 metri superiori.

Nel caso in esame, sulla base delle indagini geofisiche realizzate mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves"), e dei sondaggi di sismica passiva, come riportato nella relazione redatta dalla società P3 snc incaricata dal sottoscritto per la realizzazione delle indagini geofisiche, si può ipotizzare cautelativamente come categoria di sottosuolo a cui il progettista potrà far riferimento, la **B**.

- B. *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $cu_{30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

## 2.7 Caratteristiche geologico-tecniche

Dai dati rilevati in occasione del presente lavoro, derivati dalla bibliografia e da studi e indagini condotte dalla scrivente in aree geologicamente simili le caratteristiche geologico tecniche dei terreni sulla quale basare la progettazione preliminare delle opere previste possono essere così riassunte:

### ***Copertura detritica del substrato calcareo***

(da penetrometrie dinamiche eseguite anche in forma SPT in aree geologicamente simili)

Angolo di attrito  $26^{\circ} - 28^{\circ}$   
 Coesione zero – 0,8 ton/mq  
 Peso di volume 1,6 – 1,8 ton/mc

### ***Substrato calcareo alterato e fratturato***

(da analisi di Bieniawski)

Angolo di attrito  $33^{\circ} - 35^{\circ}$   
 Coesione 10 – 15 ton/mq  
 Peso di volume 2,2 – 2,4 ton/mc

### ***Conglomerato cementato***

Angolo di attrito  $33^{\circ} - 35^{\circ}$   
 Coesione 10 – 15 ton/mq  
 Peso di volume 2,0 – 2,2 ton/mc

### ***Deposito alluvionale recente***

(da penetrometrie dinamiche)

Angolo di attrito  $30^{\circ} - 32^{\circ}$   
 Coesione zero  
 Peso di volume 1,5 – 1.7 ton/mc

## ***CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE***

***Alla luce di quanto sopra esposto è possibile esprimere un giudizio di fattibilità geologica positivo sulle opere previste a questo stadio dello studio.***

Massa, 16/04/2010

Dott. Geol. Marco Zollini

OGGETTO:		<b>INDAGINI GEOFISICHE FINALIZZATE ALLA CARATTERIZZAZIONE DELL'ASSETTO SISMOSTRATIGRAFICO DEI LIVELLI PIU' SUPERFICIALI DEL SOTTOSUOLO ED ALLA DETERMINAZIONE DEL PARAMETRO Vs30 E DELLA FREQUENZA DI RISONANZA DI SITO</b>	
TIPOLOGIA:		DATA INDAGINE:	
<b>INDAGINE MASW</b>		<b>Febbraio 2010</b>	
<b>INDAGINE HVSR</b>			
LOCALITA':		<b>COMUNE DI CARRARA (MS) - CAPOLUOGO</b>	
COMMITTENTE:		<b>Dott. Geol. MARCO ZOLLINI</b>	

codice documento:	<b>J030.10.02.20_crr.doc</b>
versione /revisione:	<b>01</b>
stato documento:	<b>definitivo</b>
autore:	<b>a.benvenuti</b>
revisione:	<b>v.carnicelli</b>
approvazione:	<b>v.carnicelli</b>
data:	<b>26 Aprile 2010</b>

## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	3
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	4
2.2	INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE.....	4
2.3	INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE.....	6
3	INDAGINI SISMICHE - ANALISI E CONCLUSIONI.....	7
3.1	ANALISI INDAGINE MASW .....	7
3.2	ANALISI INDAGINI IN SISMICA PASSIVA.....	9

## 1 PREMESSA

Su incarico del dott. Geol. Marco Zollini è stata effettuata un'geofisica nel Comune di Carrara (MS), immediatamente a nord del capoluogo, lungo l'argine destro del Fosso di Torano, finalizzate alla caratterizzazione dell'assetto sismostratigrafico dei livelli più superficiali del sottosuolo, al calcolo della profondità del bedrock sismico, alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S), al calcolo del parametro Vs30 e al calcolo della frequenza di risonanza caratteristica del sito.

In particolare, sono state eseguite indagini distinte, sempre lungo l'asse del Fosso di Torano, in due località diverse, distanti tra loro circa 300 metri in linea d'aria; di queste, la zona più a Sud (denominata in seguito *Area1*), è situata in località Caina mentre la zona più a Nord (denominata in seguito *Area2*) si trova in corrispondenza del cimitero monumentale di Marcognano, al di sotto dello stesso.

Le indagini, effettuate nei giorni 13 e 20 Febbraio 2010, sono stata condotta conformemente alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

L'indagine MASW2 e i sondaggi in sismica passiva TR1, TR2, TR6 e TR7 sono stati eseguiti in data 13 Febbraio mentre l'indagine MASW1 e i sondaggi in sismica passiva TR3, TR4 e TR5 sono stati effettuati in data 20 Febbraio.

Le ubicazioni delle prove effettuate sono riportate nelle tavole allegate fuori testo.

## 2 TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro Vs30 è stata eseguita, per ognuna delle due zone indagate 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves").

Le prove sono state di seguito convenzionalmente denominate MASW1 quella eseguita nell'*Area1* e MASW2 quella eseguita nell'*Area 2*.

Per il calcolo degli spessori sono stati eseguiti n. 7 sondaggi in sismica passiva a stazione singola elaborati attraverso la metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V (HVSr).

Tale metodologia è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal microtremore ambientale che in natura esiste ovunque.

In particolare, 5 sondaggi sono stati effettuati nell'*Area 1*, in prossimità dello stendimento



MASW1, mentre gli altri 2 sono stati effettuati nell'Area 2, agli estremi dello stendimento MASW2.

Confrontando i risultati delle indagini MASW con quelli ottenuti dai sondaggi in sismica passiva è stato possibile effettuare il calcolo degli spessori dei sismostrati presenti mediante la tecnica H/V.

Dalle indagini in sismica passiva è stata inoltre calcolata la frequenza di risonanza caratteristica di sito.

## 2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per le indagini MASW è costituita da:

- un sistema di energizzazione ad impatto verticale: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 kg battente verticalmente su piastra quadrata in alluminio di dimensioni di 20 x 20 x 5 cm posta direttamente sul piano di campagna;
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni verticali monocomponente con frequenza propria di 4.5 Hz;
- un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo P.A.S.I. modello 16S24U, composto da 12 dataloggers a 2 canali ciascuno per un totale di 24 canali; due cavi sismici telemetrici di 130 m ciascuno; un notebook PC Windows XP con software di acquisizione P.A.S.I. a 24 canali;
- un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta.

La strumentazione utilizzata per la misura dei microtremori ambientali, elaborati attraverso la tecnica HVSR, è costituita da un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino della Micromed, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e UP-DOWN ed è alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V. I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

## 2.2 INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980 ) o,

detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente allineata all'array geofonico) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il *picking* o la modellazione diretta;
- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs e il parametro Vs30.

Le elaborazioni sono state effettuate tramite il software winMASW (della ditta *eliosoft*).

Le acquisizioni sono state realizzate secondo le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

<b>PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW1</b>	
Coordinate GB centro stendimento	1588356; 4881853
Orientazione	NW-SE (N 164)
Dislivello altimetrico tra gli end-shots	0 cm
Lunghezza stendimento	23 m
Numero Geofoni	24
Distanza intergeofonica	1 m
Numero punti di energizzazione per estremo	G1: 1; G24: 3
Off-sets sorgenti (da ciascun estremo)	G1: 2 m; G24: 2 m, 5 m, 8 m
Durata acquisizione	1024 ms
Intervallo di campionamento	250 $\mu$ s

<b>PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW2</b>	
Coordinate GB centro stendimento	1588350; 4882159
Orientazione	NE-SW (N 26)
Dislivello altimetrico tra gli end-shots	0 cm
Lunghezza stendimento	17.25 m
Numero Geofoni	24
Distanza intergeofonica	0.75 m
Numero punti di energizzazione per estremo	3
Off-sets sorgenti (da ciascun estremo)	G1: 1 m, 3 m, 5 m; G24: 1 m, 2 m, 5 m
Durata acquisizione	1024 ms
Intervallo di campionamento	500 $\mu$ s

Per valutare la validità delle ipotesi di monodimensionalità (strati piani e paralleli), per ogni stendimento MASW sono state eseguite acquisizioni coniugate; in particolare :

MASW1: un'acquisizione con sorgente a distanza di 1 m dal primo geofono dello stendimento (G1) e 3 acquisizioni, con offsets minimi di 2 m, 5 m e 8 m, in corrispondenza dell'ultimo geofono dello stendimento (G24).

MASW2: 3 acquisizioni con sorgenti a distanze crescenti (1 m, 3 m e 5 m) dal primo geofono dello stendimento (G1) e 3 acquisizioni, con offsets minimi di 1 m, 2 m e 5 m, in corrispondenza dell'ultimo geofono dello stendimento (G24).

Durante il processo di elaborazione delle singole prove MASW, in modo da minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra lo spettro di velocità sperimentale e le curve di dispersione teoriche che possono generare tale spettro, ci si è avvalsi dei dati acquisiti con i sondaggi in sismica passiva ad esse limitrofi.

## **2.3 INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE**

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma un ruolo fondamentale nella produzione dei microtremori è rivestito dalle onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la velocità media delle onde di taglio  $V_s$  calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la  $V_{s30}$  e la relativa categoria del suolo di fondazione;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Durante questa campagna geofisica sono state eseguite sette misure di microtremore ambientale (sondaggi in sismica passiva a stazione singola) secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINI HVSR				
Denominazione	Coordinate Gauss Boaga		Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
<b>TR1</b>	1588359	4881836	16 min	128 Hz
<b>TR2</b>	1588359	4881839	16 min	128 Hz
<b>TR3</b>	1588359	4881844	14 min	128 Hz
<b>TR4</b>	1588357	4881855	14 min	128 Hz
<b>TR5</b>	1588356	4881864	14 min	128 Hz
<b>TR6</b>	1588345	4882145	16 min	128 Hz
<b>TR7</b>	1588355	4882169	16 min	128 Hz

### 3 INDAGINI SISMICHE - ANALISI E CONCLUSIONI

#### 3.1 ANALISI INDAGINE MASW

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo dell'analisi delle prove MASW, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro  $V_{s30}$ .

Il profilo verticale delle Onde S ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna è risultato il seguente:

MASW1		
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
3.60	3.60	255
7.60	4.00	580
19.60	12.00	720
inf.	inf.	950

Vs(0.0-30.0)=617m/s  
Vs30(4.8-34.8)=800m/s

MASW2		
Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
0.70	0.70	418
3.10	2.40	326
11.40	8.30	740
inf.	inf.	950

Vs(0.0-30.0)=753m/s  
Vs30(1.4-31.4)=800m/s

La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i 30 metri di profondità (Vs30) è calcolata con la seguente espressione:

$$Vs30 = 30 / (\sum h_i / V_i)$$

I profili MASW indicano una **Vs30**, riferita al piano di campagna, pari a **617 m/s (MASW1)** e **753 m/s (MASW2)**.

É inoltre stato calcolato che il valore del parametro Vs30 pari a 800 m/s, in corrispondenza della prova MASW1 si raggiunge considerando un piano di fondazione posto alla profondità di 4.8 m dal piano di campagna, mentre, per quanto concerne lo stendimento MASW2, lo stesso valore si raggiunge considerando un piano di fondazione posto alla profondità di 1.4 m dal piano di campagna.

Ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008) i risultati dell'indagine geofisica, dal punto di vista prettamente numerico, concorrono ad ascrivere sia il sito denominato *Area1* che il sito denominato *Area2*, **considerando un piano di fondazione posto alla profondità del p.d.c.**, come appartenenti alla **Categoria B** di sottosuolo.

L'esatta attribuzione ad una specifica categoria di sottosuolo per il sito indagato deve essere accompagnata da considerazioni di carattere litologico, basate sulle conoscenze stratigrafiche del sito (che potrebbero peraltro modificare la categoria ivi proposta).

### 3.2 ANALISI INDAGINI IN SISMICA PASSIVA

Tutte le registrazioni HVSR a stazione singola effettuate nell'*Area1* mostrano, nei rispettivi grafici del rapporto spettrale H/V, picchi netti e ben definiti (sempre ad alte frequenze, corrispondenti a basse profondità) in corrispondenza del passaggio tra coperture e bedrock sismico.

Nelle registrazioni effettuate nell'*Area2* i picchi sono meno evidenti non viene rilevato un passaggio netto tra copertura e bedrock sismico; questo potrebbe essere spiegabile con il fatto che l'area in esame è stata, in passato, sede di un piazzale di una segheria ed il detrito che ne costituiva il sottofondo è stato particolarmente compattato nel tempo.

Negli elaborati fuori testo sono riportate le ricostruzioni sismostratigrafiche effettuate per i sondaggi H/V.

*Area1*: dalle analisi effettuate risulta che, in ognuna delle stazioni di misura, il segnale sismico così come trasmesso in superficie, viene amplificato a frequenze comprese tra **15.75 Hz** (TR4 e TR5) e **16.56 Hz** (TR6), come risulta evidente dai grafici H/V riportati in allegato. Tali frequenze possono quindi essere considerate come frequenze fondamentali di sito. In ognuna delle stazioni di misura è rilevabile inoltre un picco di modesta entità del rapporto H/V alle frequenze di circa 1 Hz.

*Area2*: le misure effettuate, come precedentemente esposto, non hanno rilevato una frequenza di sito ben definita alle alte frequenze.

Dai risultati ottenuti, evidenziati nelle schede relative, le profondità del bedrock sismico e la frequenza di risonanza, relativamente ad ogni singola indagine HVSR, sono le seguenti:

Indagine	Frequenza di risonanza (Hz)	Profondità bedrock sismico (m)
TR1	16.13	4.80
TR2	15.84	4.60
TR3	16.56	4.30
TR4	15.75	4.70
TR5	15.75	4.70
TR6	Non evidente	2.90
TR7	Non evidente	3.10

Pisa, 26 Aprile 2010

P3 s.n.c.  
**P3 s.n.c.**  
 Via delle Sette Volte, 21 - 56126 PISA  
 C.F. P. IVA 01923910507  



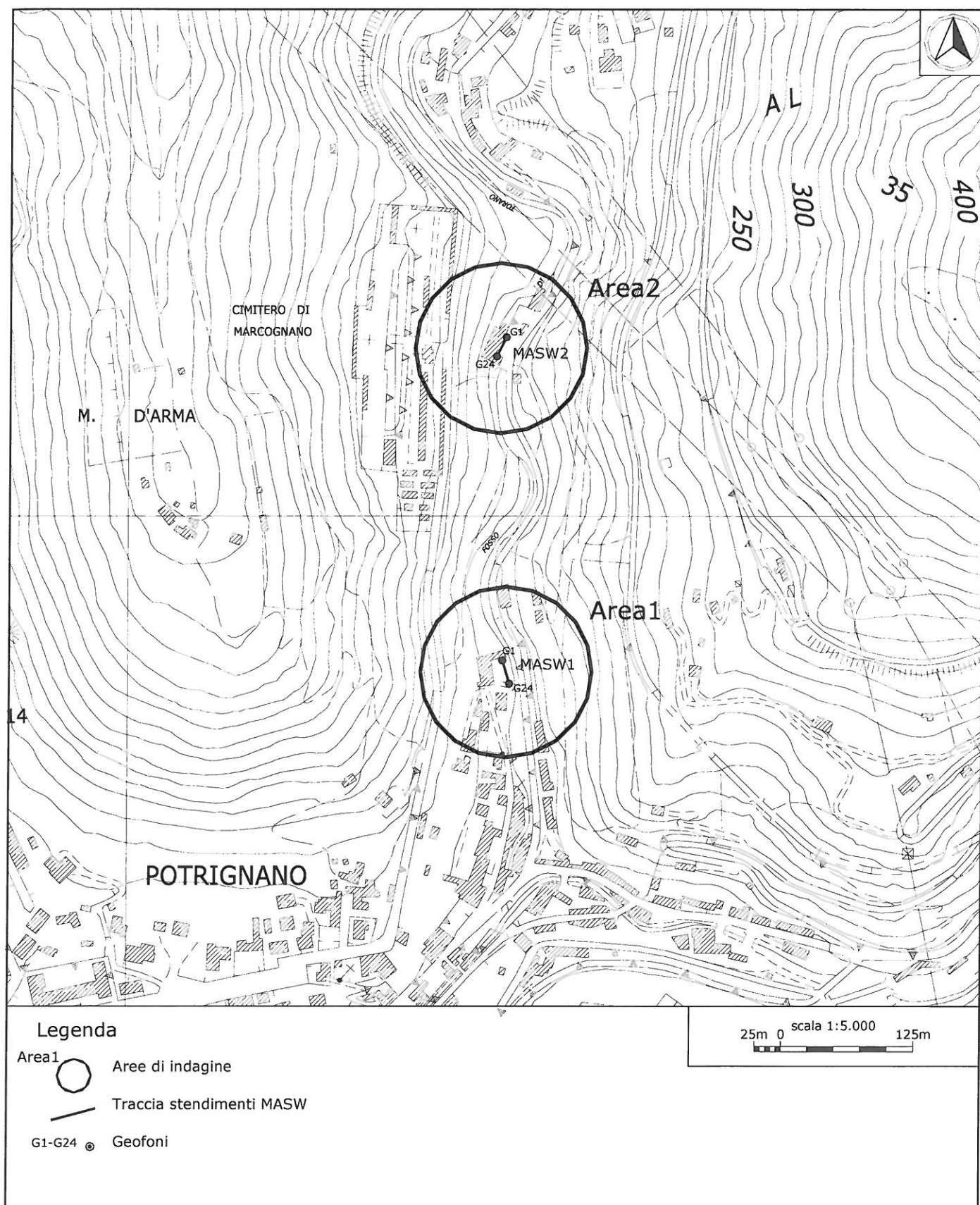



Figura 1. Ubicazione indagini

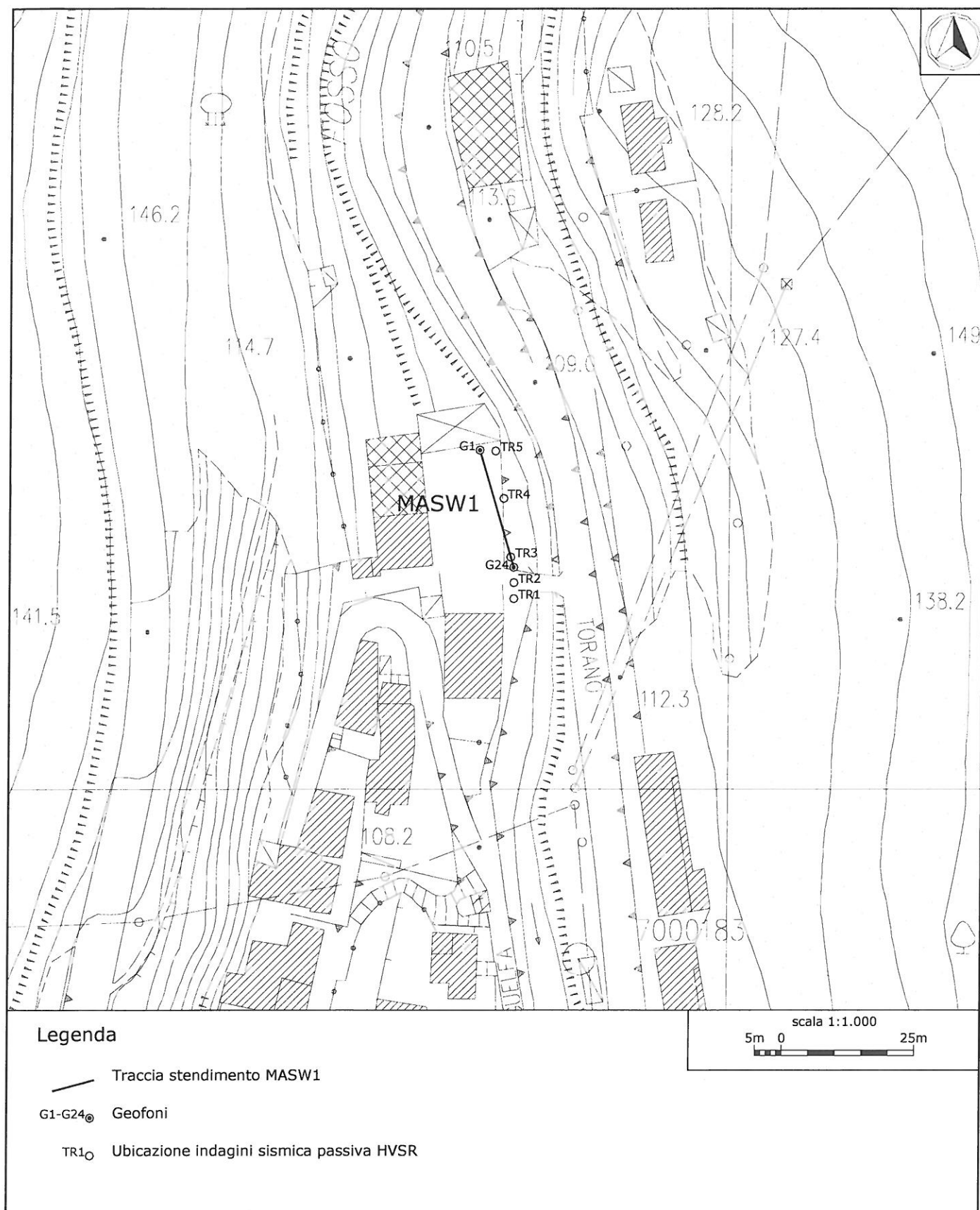


Figura 2. Particolare Area1: stendimento MASW1 e ubicazione indagini in sismica passiva HVSR.

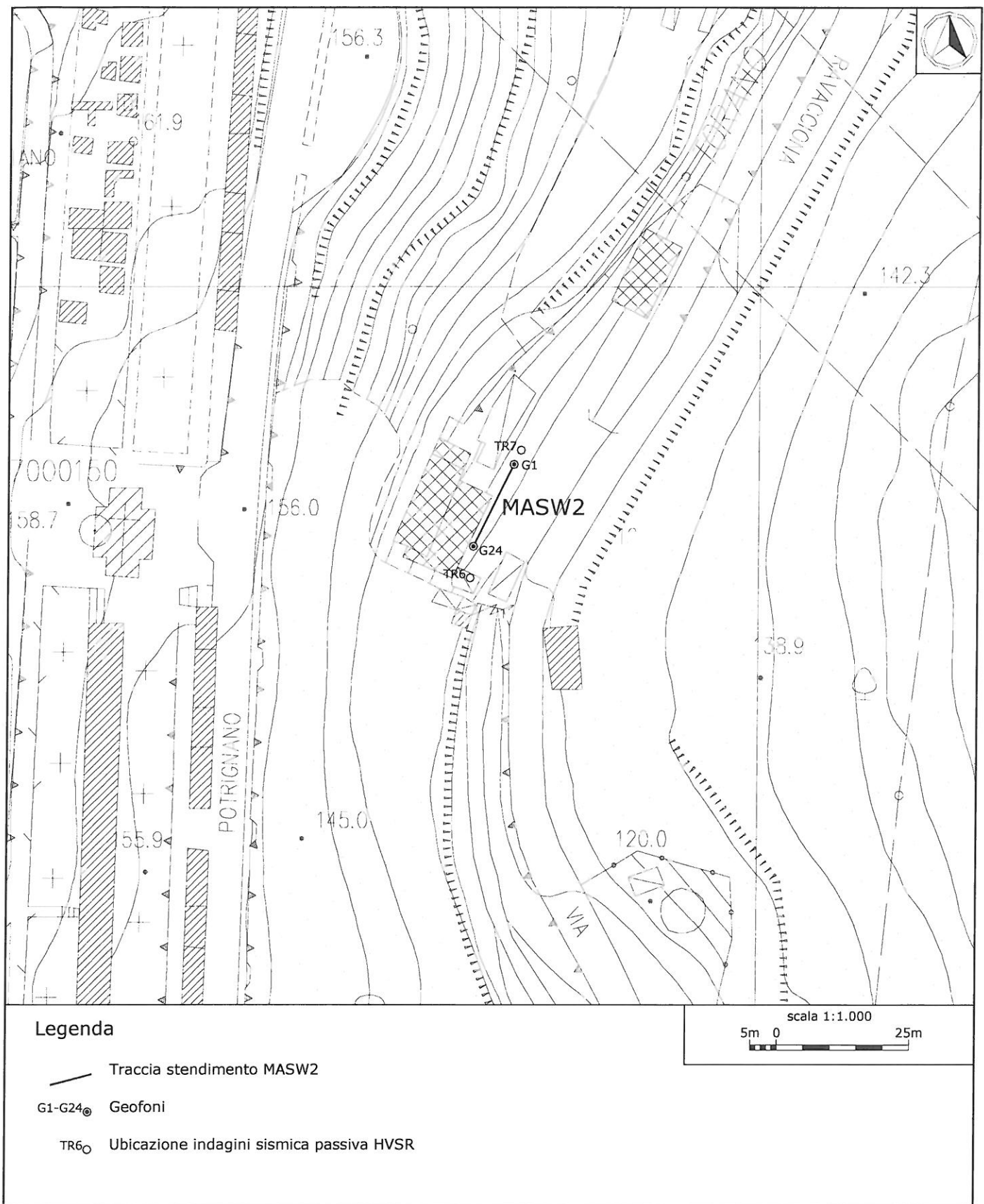
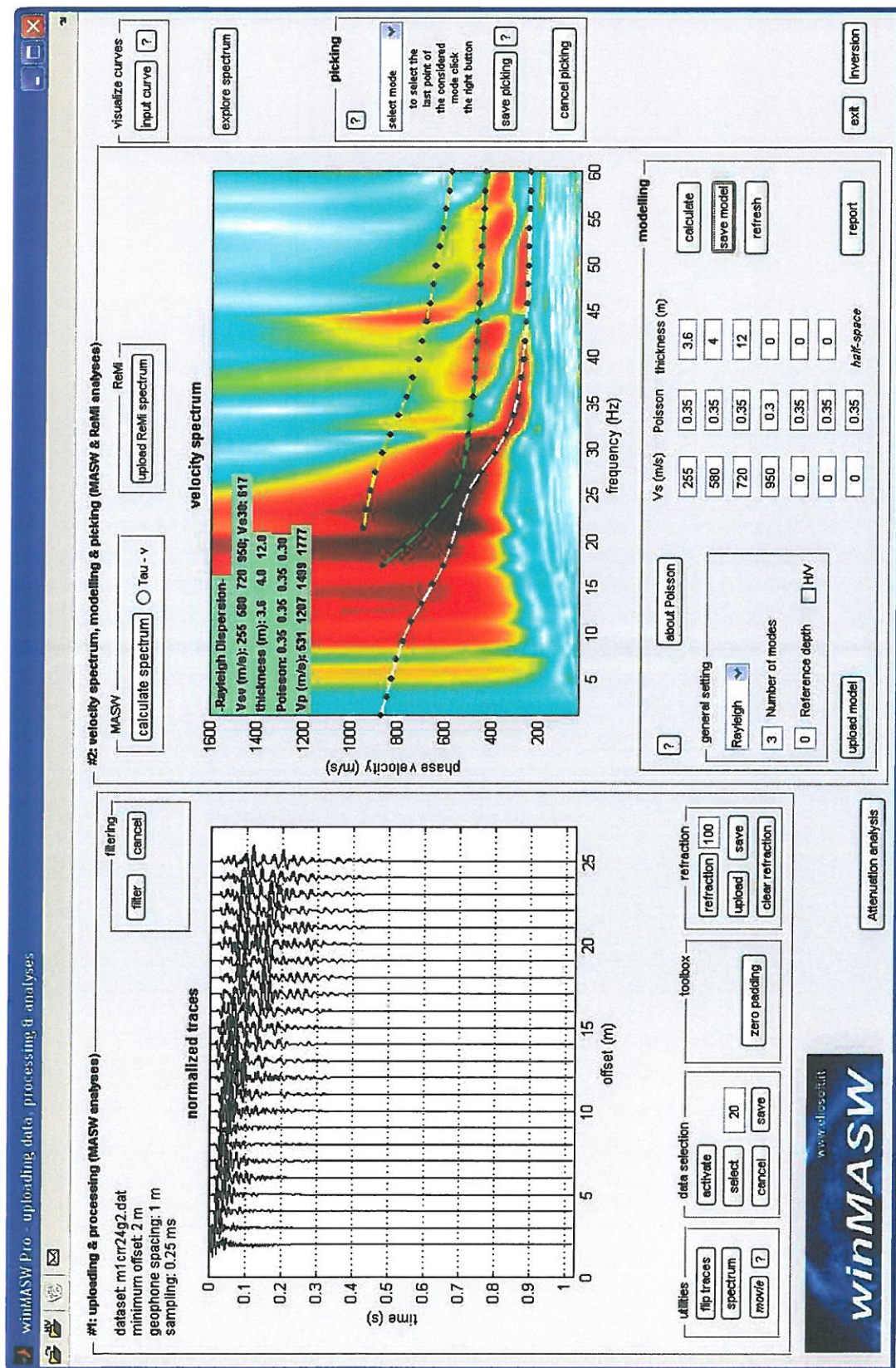


Figura 3. Particolare Area2: stendimento MASW2 e ubicazione indagini in sismica passiva HVSR.



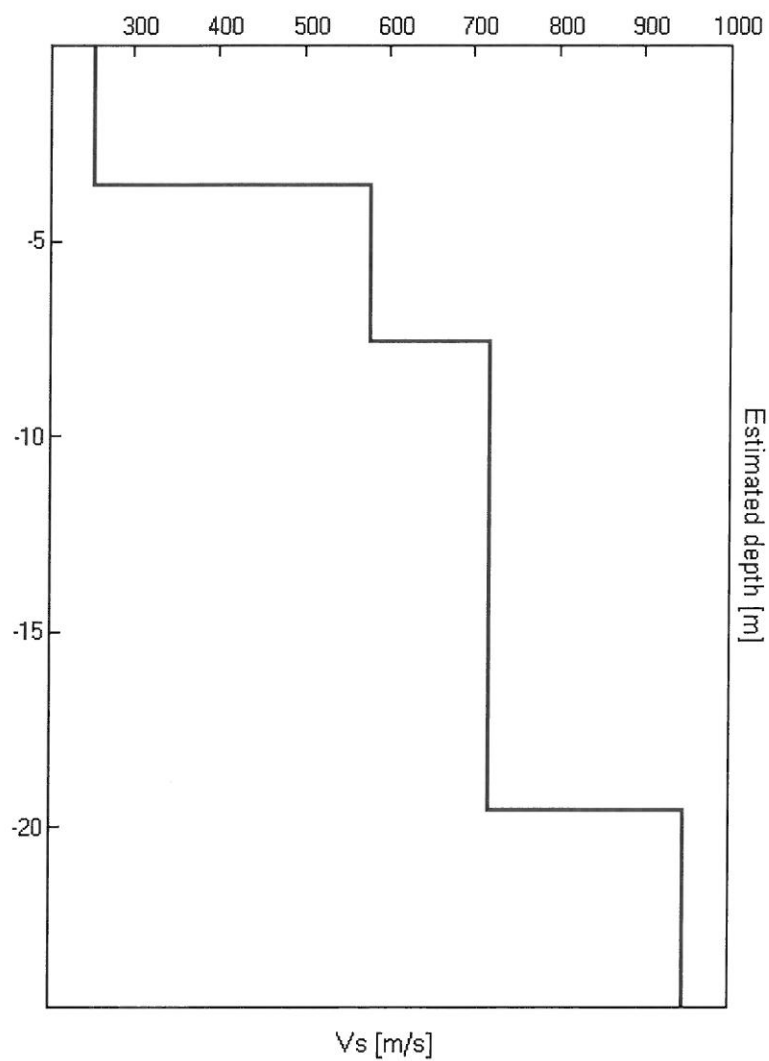


Indagine MASW1. Sismogramma, spettro di velocità e modello di dispersione.

P3 s.n.c

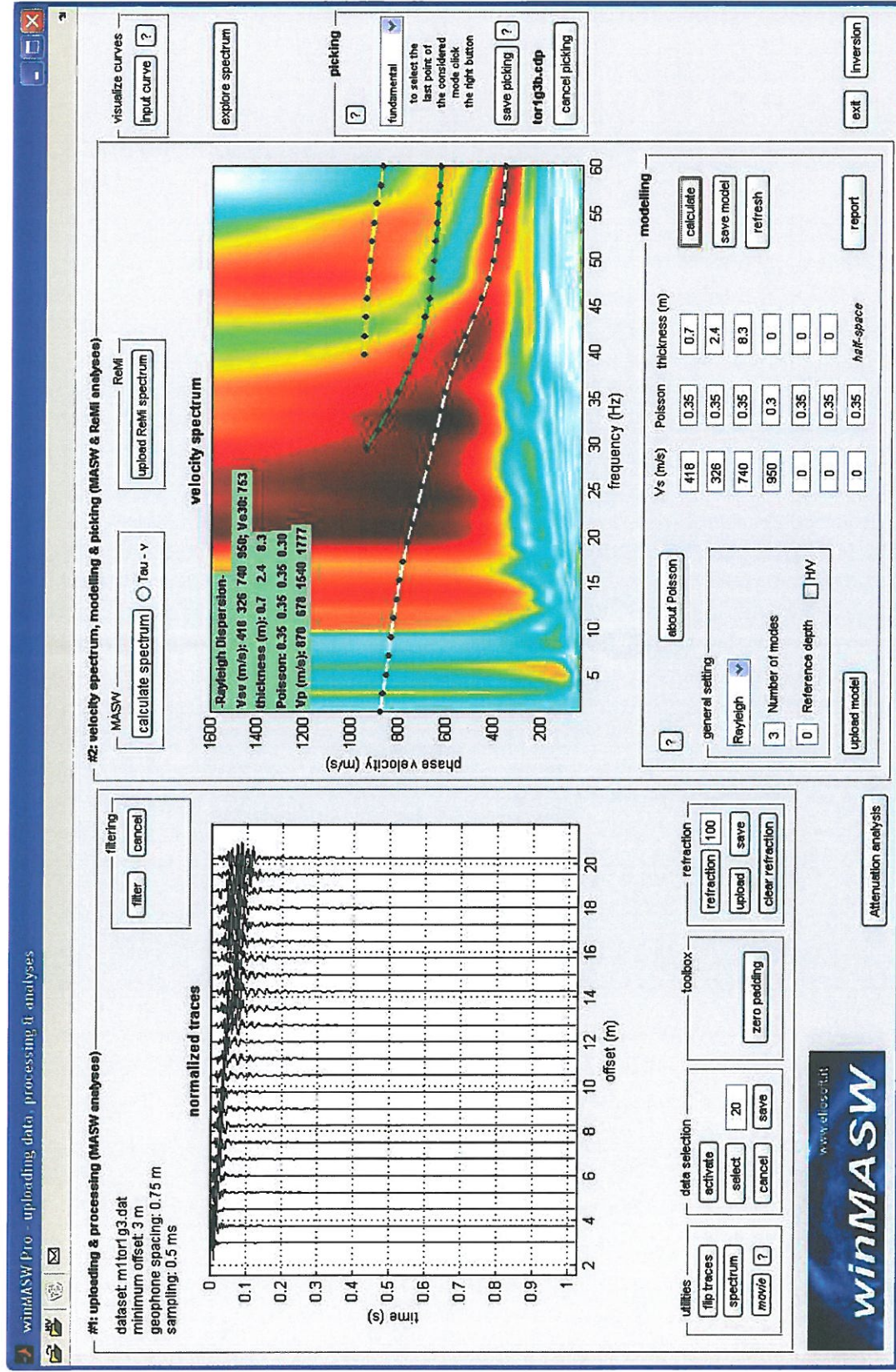
Via delle Sette Volte, 21  
56126 PISA  
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)  
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)  
e.mail: posta@p3online.eu  
pec: posta@pec.p3online.eu



**Indagine MASW1. Profilo verticale delle  $V_s$ .**





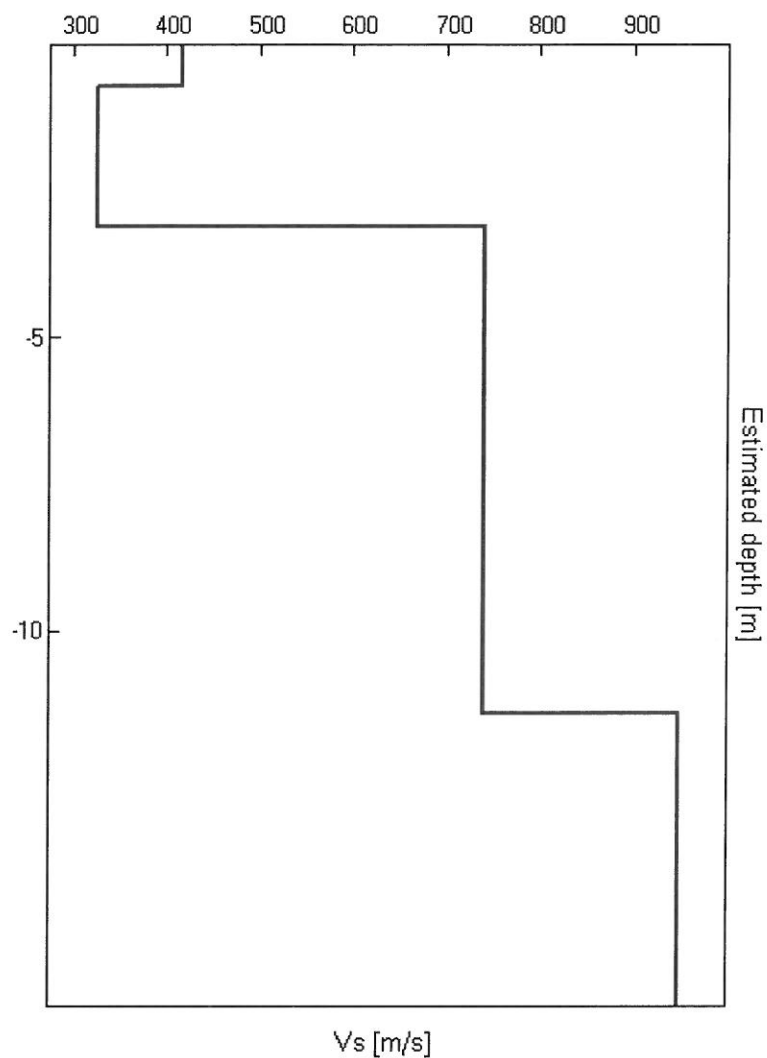
Indagine MASW2. Sismogramma, spettro di velocità e modello di dispersione.

P3 s.n.c

Via delle Sette Volte, 21  
56126 PISA  
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)  
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)  
e.mail: posta@p3online.eu  
pec: posta@pec.p3online.eu





**Indagine MASW2. Profilo verticale delle  $V_s$ .**

**Seguono: Schede indagini HVSR**

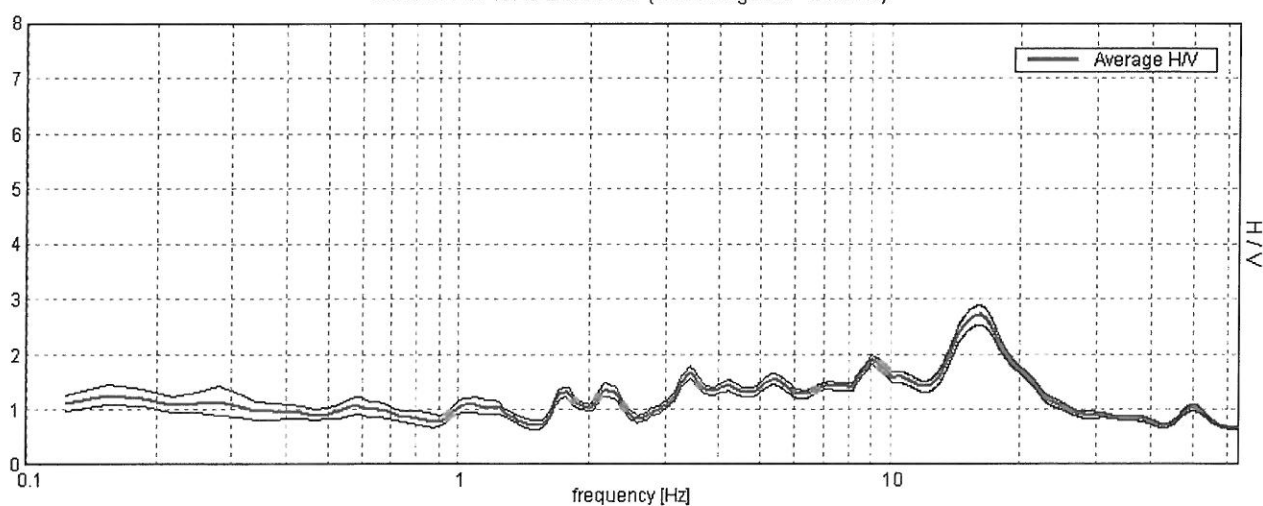
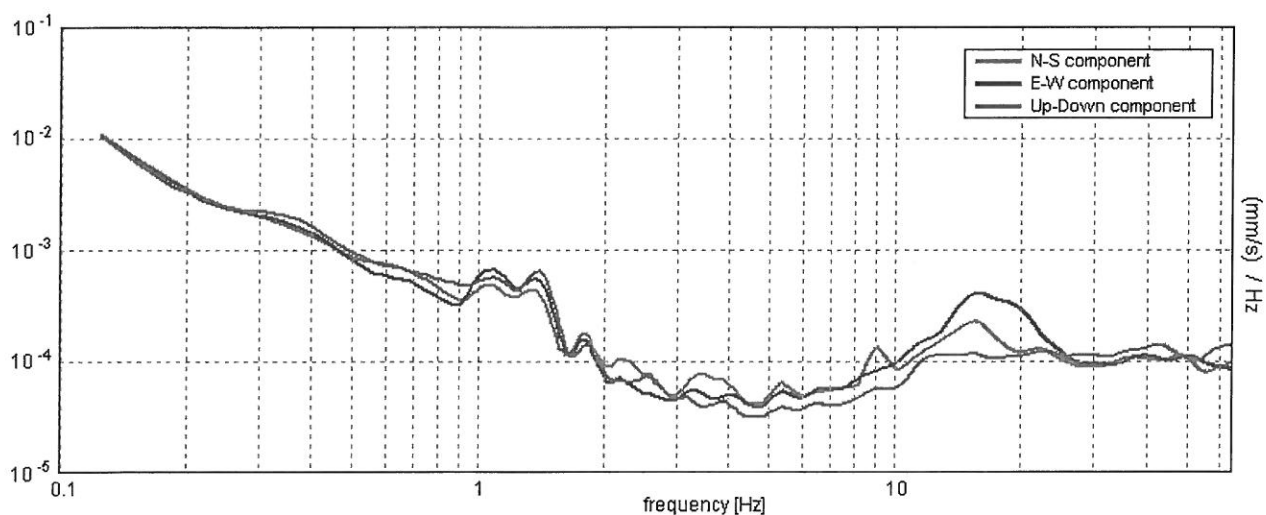
**10\_02\_13\_CARRARA, CARRARA TR1**

Start recording: 13/02/10 12:38:33      End recording: 13/02/10 12:54:33  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

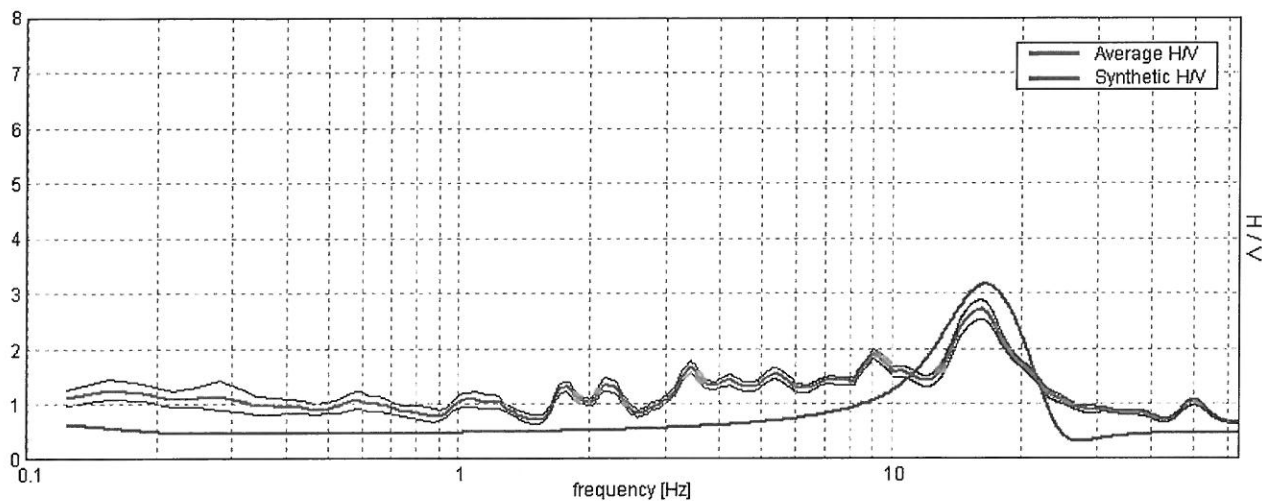
Trace length: 0h16'00".      Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling frequency: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing window: Triangular window  
 Smoothing: 10%

**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**

Max. H/V at  $16.13 \pm 0.08$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**SINGLE COMPONENT SPECTRA**

## EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $16.13 \pm 0.08$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Depth at the bottom of the layer

[m]

4.80

inf.

Thickness [m]

4.80

inf.

Vs [m/s]

310

750

Vs(0.0-30.0)=611m/s

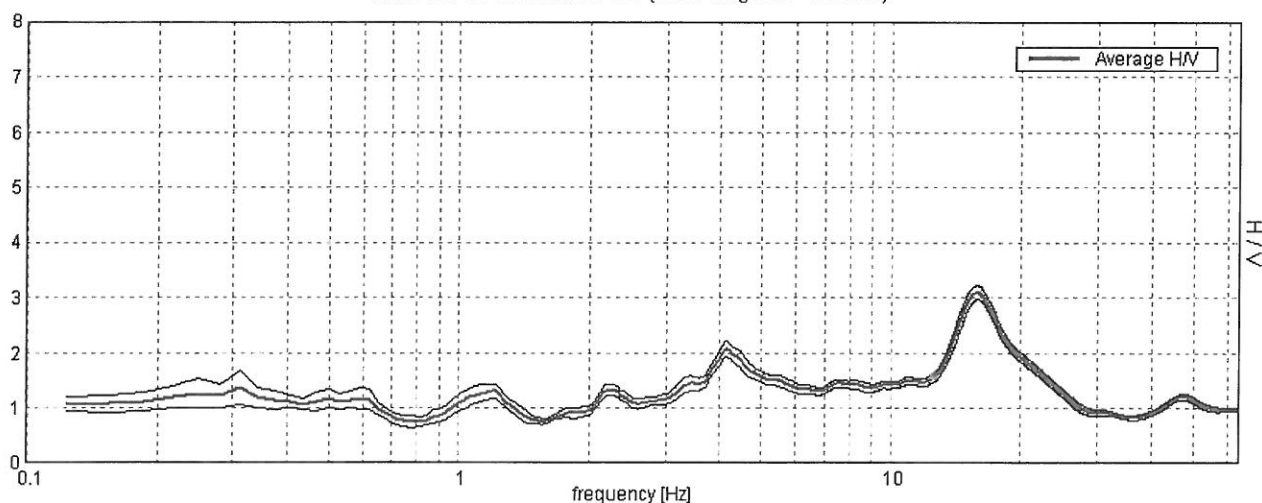
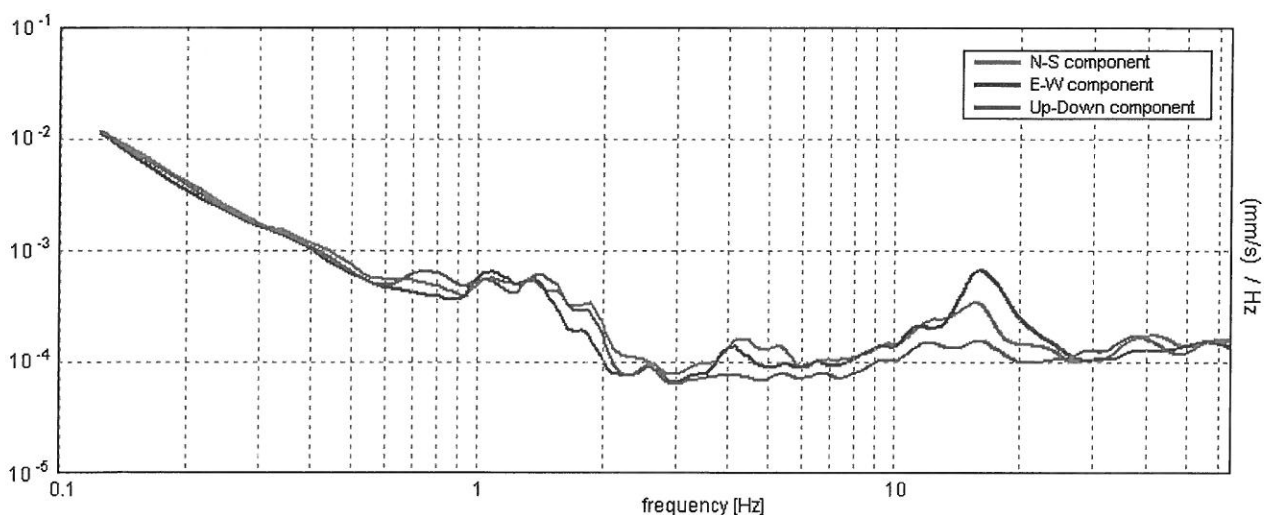
**10\_02\_13\_CARRARA, CARRARA TR2**

Start recording: 13/02/10 10:36:31      End recording: 13/02/10 10:52:32  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

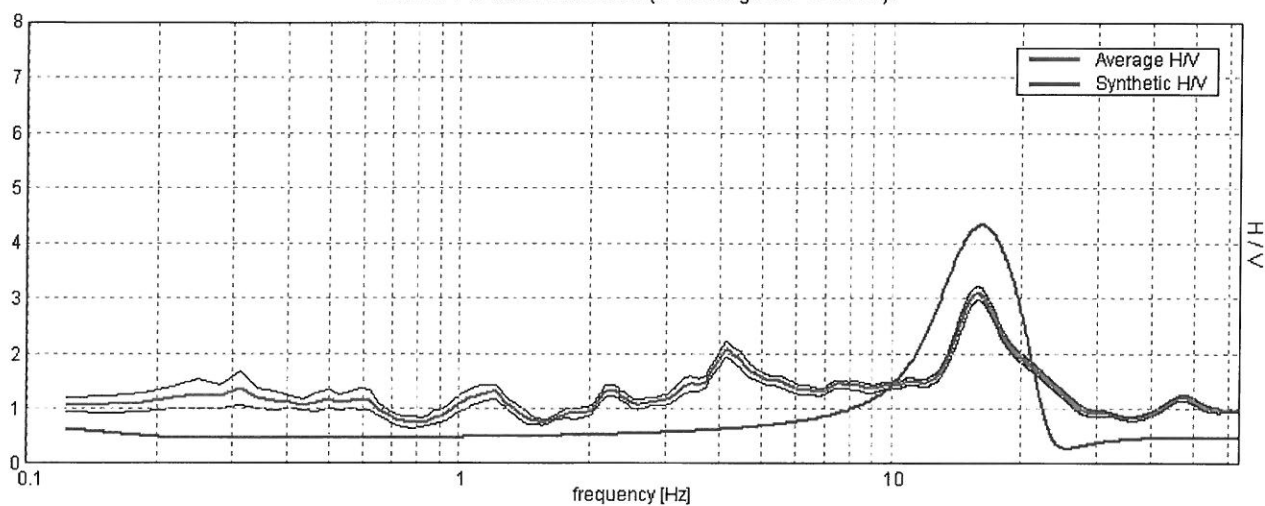
Trace length: 0h16'00".      Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling frequency: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing window: Triangular window  
 Smoothing: 10%

**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**

Max. H/V at  $15.84 \pm 0.05$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**SINGLE COMPONENT SPECTRA**

## EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $15.84 \pm 0.05$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Depth at the bottom of the layer

[m]

4.60

inf.

Thickness [m]

4.60

inf.

Vs [m/s]

280

720

Vs(0.0-30.0)=580m/s

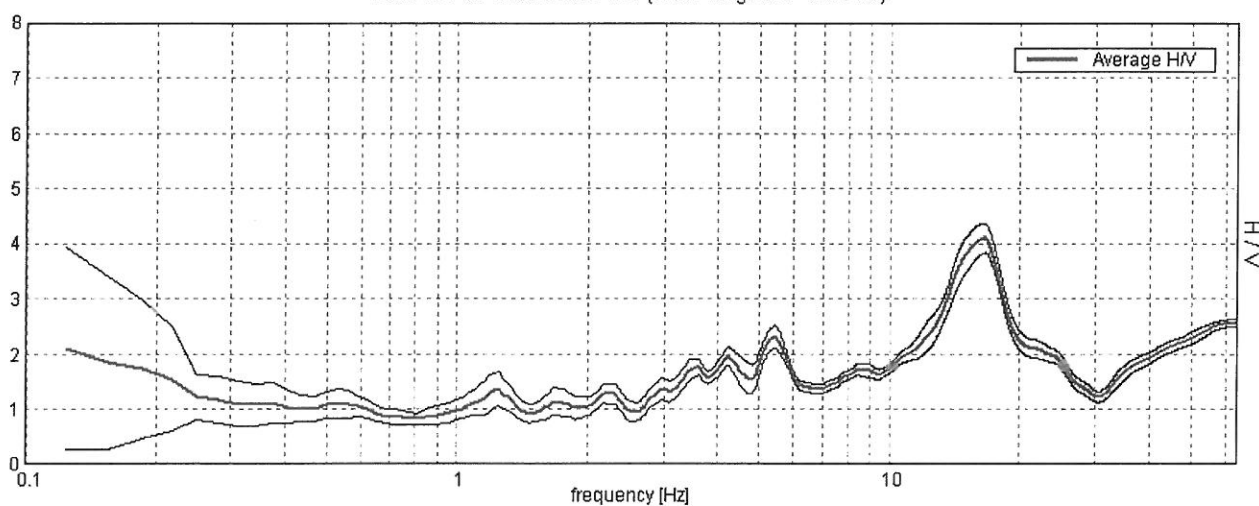
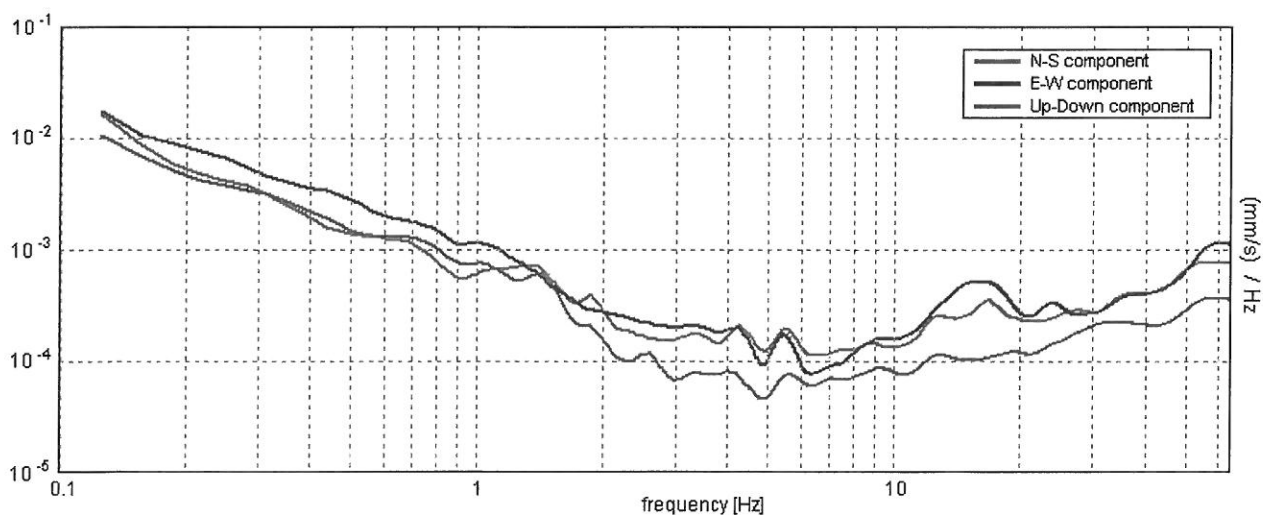
**10\_02\_20\_CARRARA, CARRARA TR3**

Start recording: 20/02/10 11:52:16      End recording: 20/02/10 12:06:17  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h14'00".      Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling frequency: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing window: Triangular window  
 Smoothing: 10%

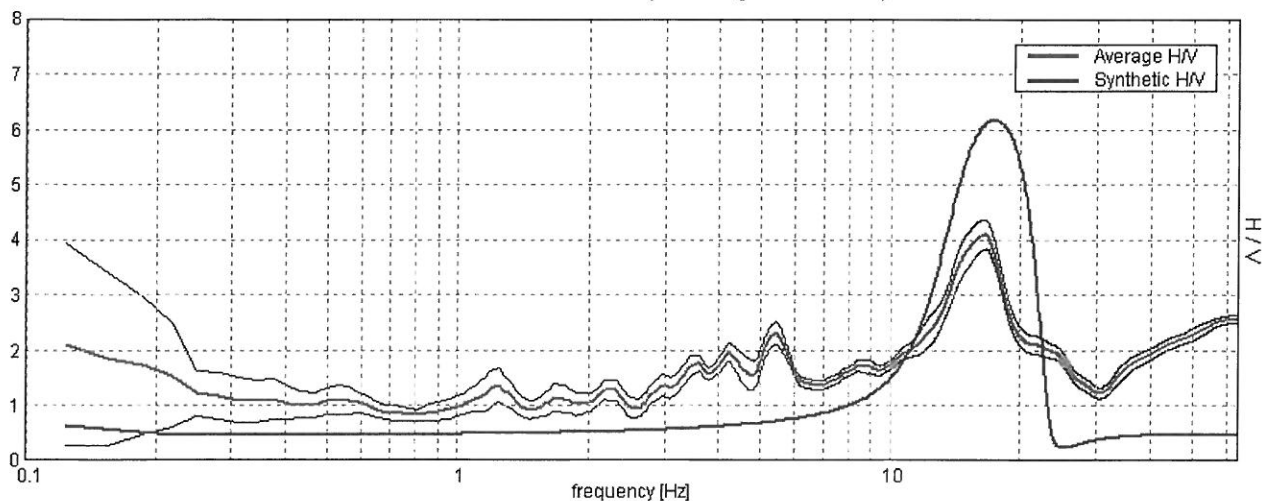
**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**

Max. H/V at  $16.56 \pm 2.89$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**SINGLE COMPONENT SPECTRA**



## EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $16.56 \pm 2.89$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Depth at the bottom of the layer

[m]

4.30

inf.

Thickness [m]

4.30

inf.

Vs [m/s]

260

720

Vs(0.0-30.0)=574m/s

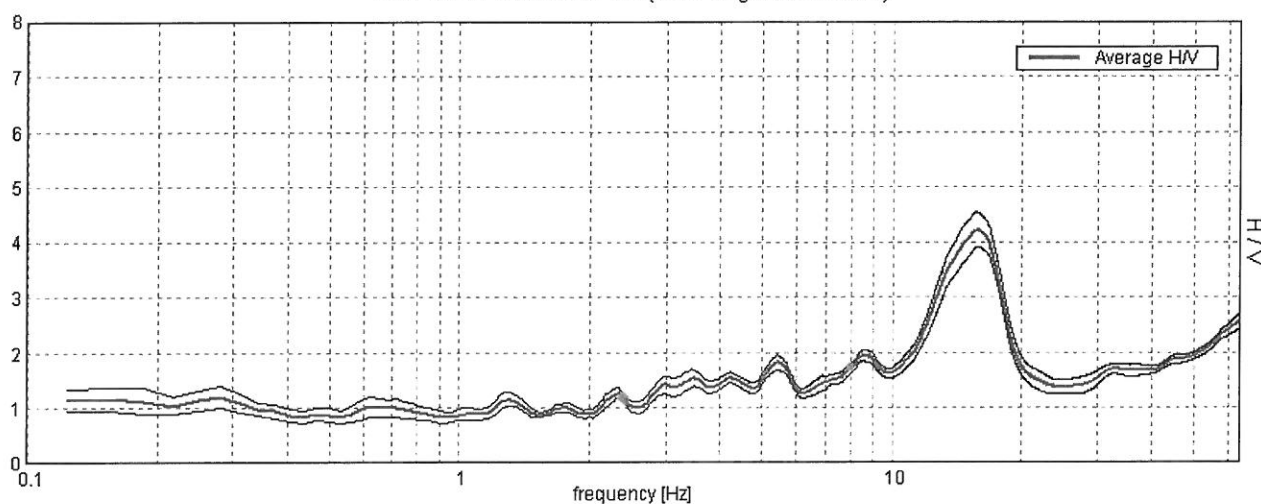
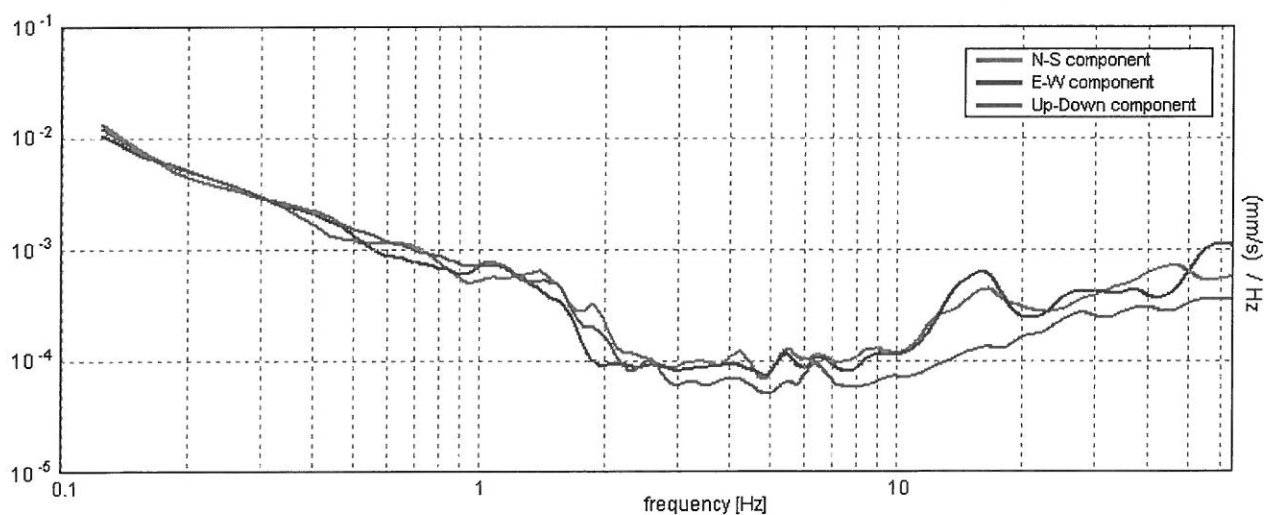
**10\_02\_20\_CARRARA, CARRARA TR4**

Start recording: 20/02/10 11:32:58      End recording: 20/02/10 11:46:59  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

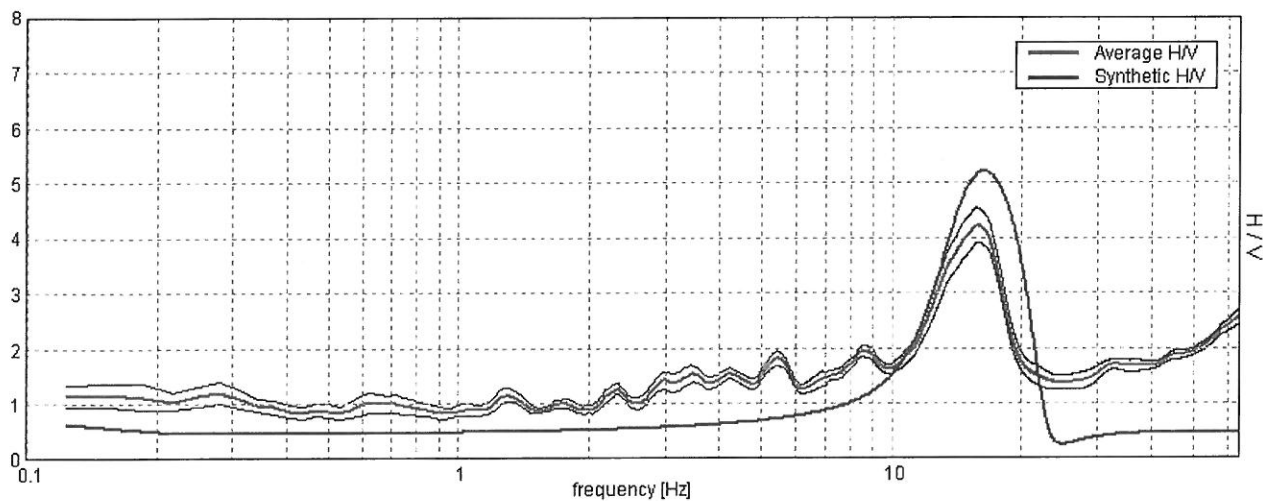
Trace length: 0h14'00".      Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling frequency: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing window: Triangular window  
 Smoothing: 10%

**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**

Max. H/V at  $15.75 \pm 0.17$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**SINGLE COMPONENT SPECTRA**

## EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $15.75 \pm 0.17$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Depth at the bottom of the layer  
[m]  
4.70  
inf.

Thickness [m]  
4.70  
inf.

Vs [m/s]  
280  
750

Vs(0.0-30.0)=594m/s

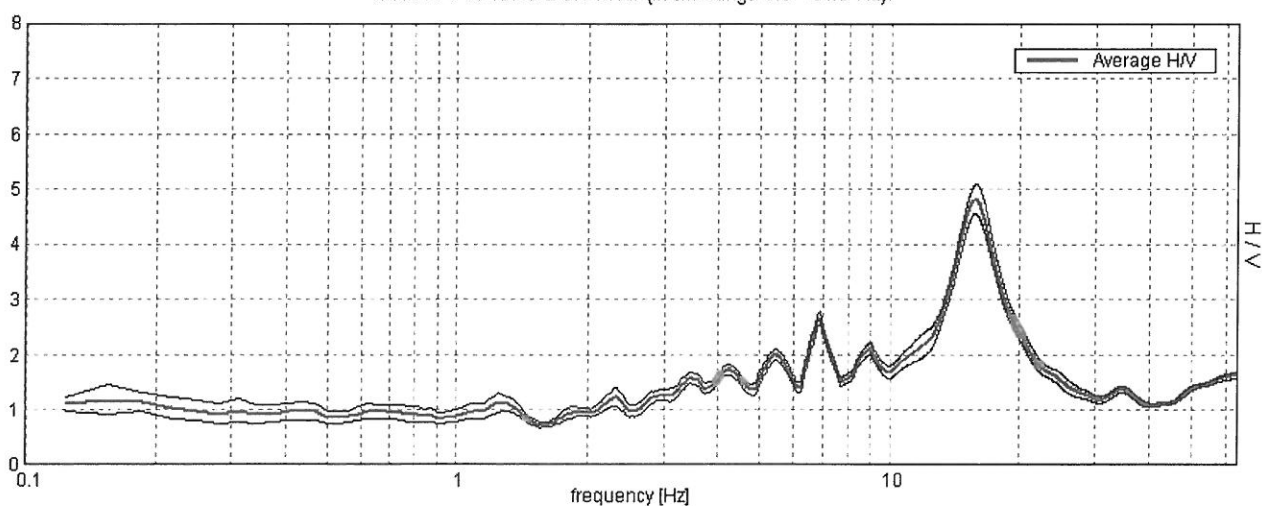
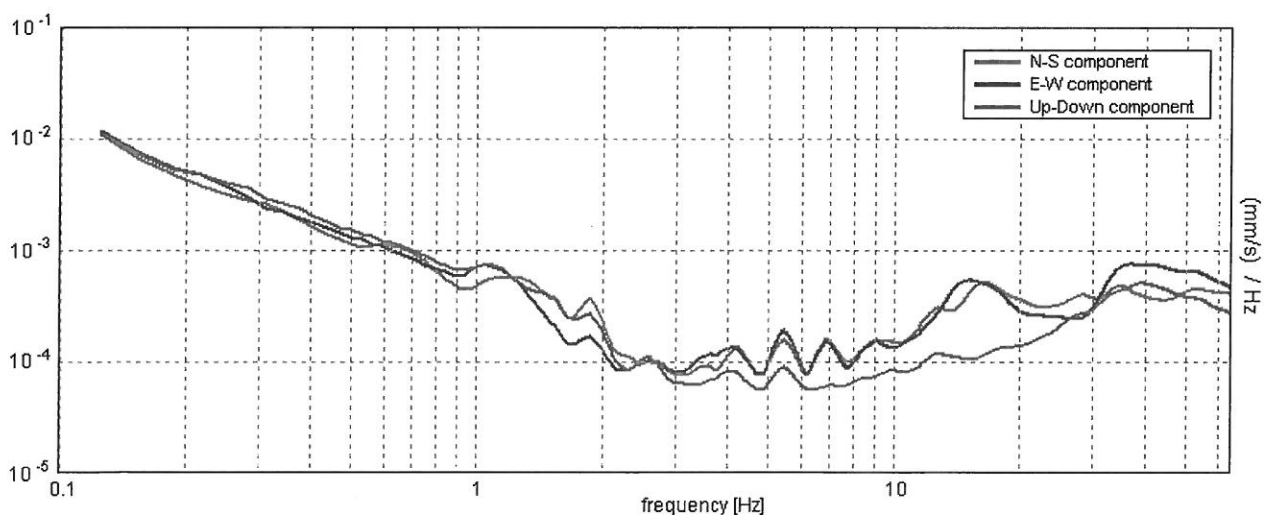
**10\_02\_20\_CARRARA, CARRARA TR5**

Start recording: 20/02/10 10:29:00      End recording: 20/02/10 10:43:01  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

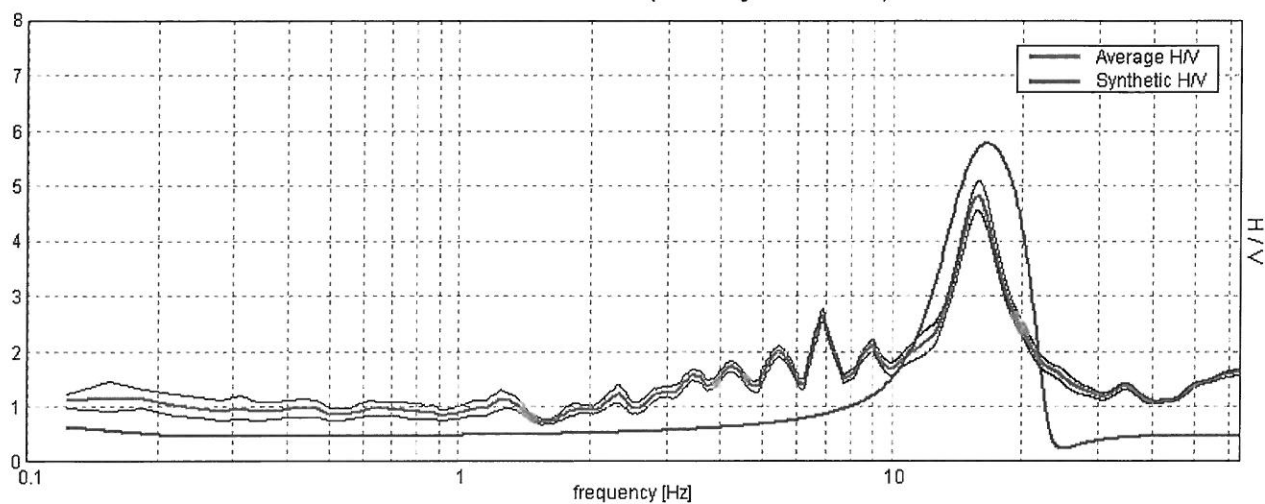
Trace length: 0h14'00".      Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling frequency: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing window: Triangular window  
 Smoothing: 10%

**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**

Max. H/V at  $15.75 \pm 0.04$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**SINGLE COMPONENT SPECTRA**

## EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $15.75 \pm 0.04$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Depth at the bottom of the layer

[m]

4.70

inf.

Thickness [m]

4.70

inf.

Vs [m/s]

280

750

 $V_s(0.0-30.0)=594\text{m/s}$

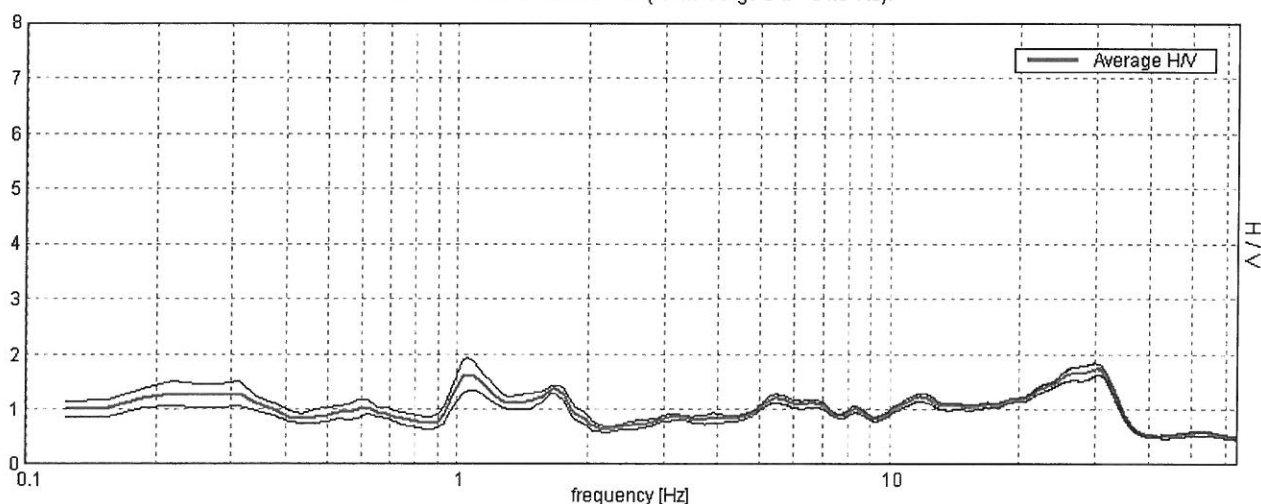
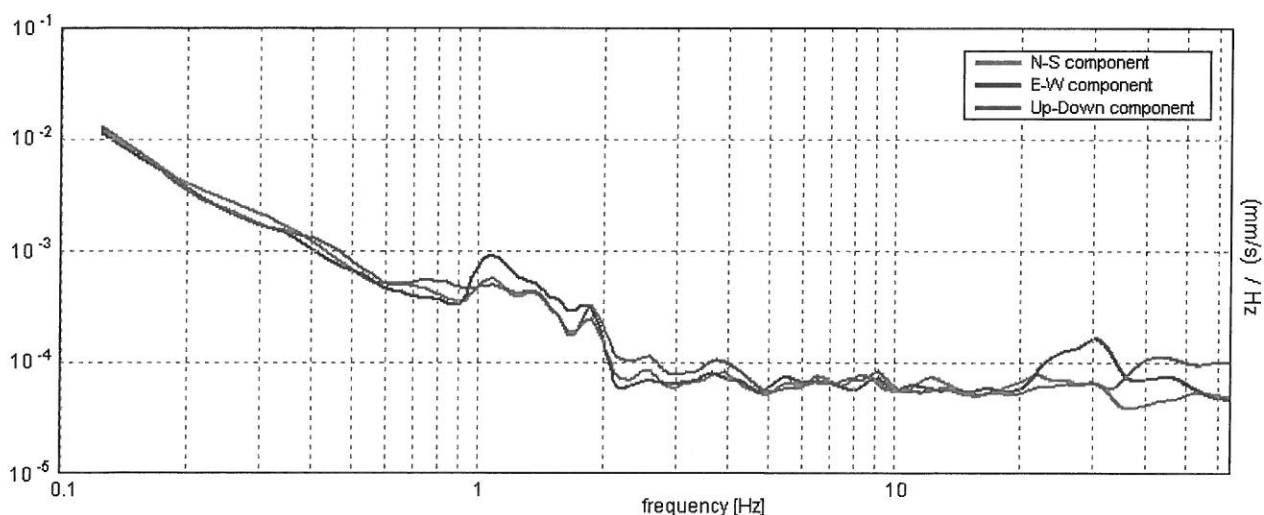
**10\_02\_13\_CARRARA, CARRARA TR6**

Start recording: 13/02/10 11:18:12      End recording: 13/02/10 11:32:13  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

Trace length: 0h14'00".      Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling frequency: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing window: Triangular window  
 Smoothing: 10%

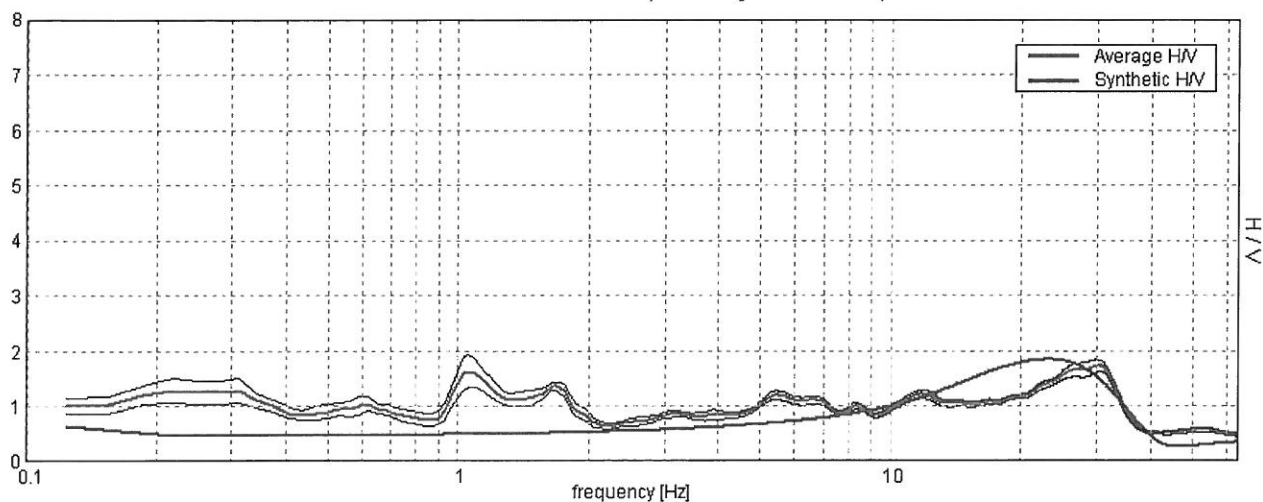
**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**

Max. H/V at  $30.31 \pm 6.53$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**SINGLE COMPONENT SPECTRA**



## EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $30.31 \pm 6.53$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Depth at the bottom of the layer

Thickness [m]

Vs [m/s]

[m]

0.50

0.50

418

2.90

2.40

326

11.20

8.30

740

inf.

inf.

950

Vs(0.0-30.0)=758m/s

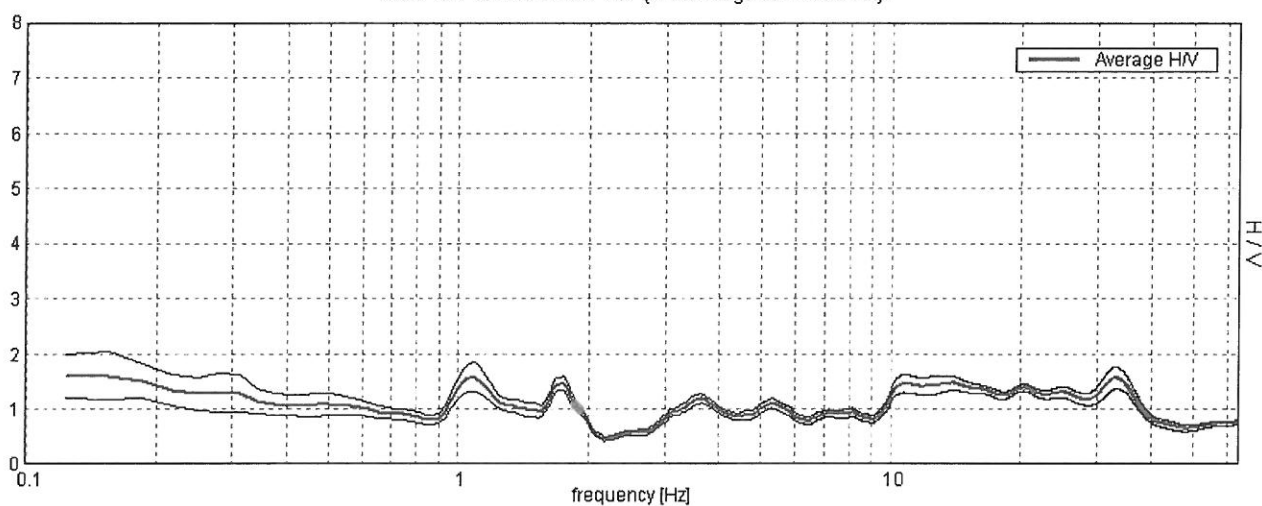
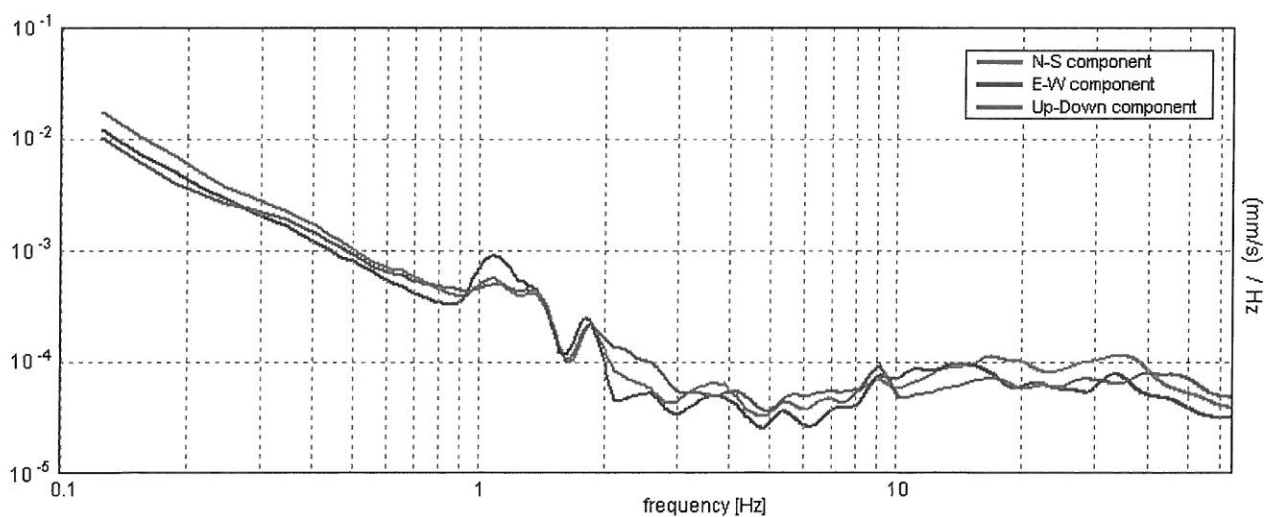
**10\_02\_13\_CARRARA, CARRARA TR7**

Start recording: 13/02/10 12:12:17      End recording: 13/02/10 12:26:18  
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
 GPS data not available

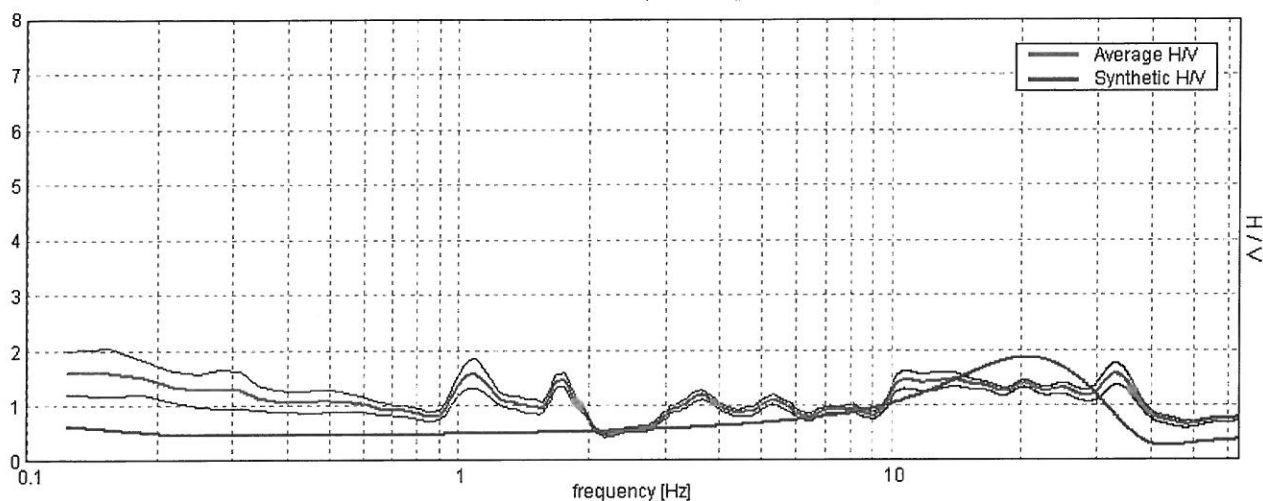
Trace length: 0h14'00".      Analysis performed on the entire trace.  
 Sampling frequency: 128 Hz  
 Window size: 20 s  
 Smoothing window: Triangular window  
 Smoothing: 10%

**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**

Max. H/V at  $0.16 \pm 4.41$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

**SINGLE COMPONENT SPECTRA**

## EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $0.16 \pm 4.41$  Hz. (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Depth at the bottom of the layer

[m]

0.70

3.10

11.40

inf.

Thickness [m]

0.70

2.40

8.30

inf.

Vs [m/s]

418

326

740

950

Vs(0.0-30.0)=753m/s