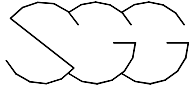


Tutti i diritti sono riservati.  
La riproduzione e la divulgazione a terzi e' vietata.

AGG.	DESCRIZIONE AGGIORNAMENTO	DATA	FIRMA
COMMITTENTE : <b>Studio Dr. Geol. Paola</b>		N. Arch. <b>3568/08</b>	
		N. Commessa <b>P272</b>	
LOCALITA': <b>Loc. Pozzale via C. Cattaneo - Comune di Empoli (FI)</b>			
INDAGINE: <b>P.U.A. 7.4 - PIANO ATTUATIVO</b>			
OGGETTO: <b>RAPPORTO TECNICO</b>		N. Copie	N. Pagine
			FORMATO A4 <input type="checkbox"/> A3 <input type="checkbox"/>
<b>Il Tecnico: Dr. Geol. Filippo GIORGI</b>			
 STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA S.r.l. STRADA MASSETANA ROMANA , 56 - SIENA - ITALY - Tel. 057749276 - Fax 0577287254 - e.mail: info@sgg.it		DATA	CONTROLLO



## INDICE

1	- INTRODUZIONE	Pag.	3
2	- INDAGINI SVOLTE	Pag.	4
3	- STRUMENTAZIONE, PERSONALE IMPIEGATO E QUALITÀ	Pag.	5
4	- FINALITA' DELLA PROSPEZIONE	Pag.	7
5	- ESECUZIONE DEI RILIEVI	Pag.	7
6	- ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE DI VOLUME "P"	Pag.	8
7	- ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE SUPERFICIALI "S"	Pag.	9
8	- ANALISI DEI RISULTATI	Pag.	14

## ALLEGATO

TAV. 1	Planimetria ubicativa, profilo sismico e prova Re.Mi.	scala	1:1000 1:500
--------	--	-------	-----------------



## 1 - INTRODUZIONE

Il presente rapporto riferisce i risultati ottenuti da un'indagine sismica, condotta per conto dello Studio Geologico Violanti in loc. Pozzale via C. Cattaneo nel comune di Empoli (FI).

L'indagine è stata realizzata attraverso una prospezione di sismica a rifrazione e registrazione di microtremori. Il rilievo è stato eseguito con un allineamento la cui ubicazione è stata concordata con la Committenza.

Lo scopo primo della prospezione è stato quello di fornire il valore  $V_{S30}$  utile per la classificazione del terreno nelle categorie di suolo come prescritto dalla normativa antisismica.

A tal scopo è stato realizzato, un profilo sismico tomografico a rifrazione per determinare le variazioni della velocità delle onde di volume "P" nel sottosuolo. Inoltre, per permettere una più adeguata rappresentazione del terreno indagato e descrivere la propagazione delle onde superficiali è stato realizzato, in corrispondenza di ciascun stendimento sismico, una prova "Re.Mi." (Refraction Microtremor) in modo da ricostruire le variazioni della velocità delle onde S e definire il valore  $V_{S30}$ .

Nella presente relazione sono illustrate le metodologie esecutive ed interpretative delle misure geofisiche ed i risultati della prospezione secondo un criterio essenzialmente geofisico.

I lavori si sono svolti nel giorno 5 Novembre 2008.



## 2 - INDAGINI SVOLTE

In accordo con la Committenza, l'indagine geofisica si è svolta attraverso l'esecuzione di un profilo sismico a rifrazione, elaborato con metodo tomografico. Inoltre, in corrispondenza dello stendimento sismico costituito da 24 geofoni, è stata acquisita una prova "Re.Mi.". L'ubicazione del profilo è riportata nella tavola 1 allegata: *Planimetria ubicativa, profilo sismico e prova Re.Mi.* .

Di seguito si riporta il dettaglio delle indagini:

<b>Profilo</b>	<b>Interdistanza Geofoni</b>	<b>Geofoni</b>	<b>Lunghezza *</b>	<b>prove Re.Mi.</b>
<b>n°</b>	<b>(m)</b>	<b>n°</b>	<b>(m)</b>	<b>n°</b>
1	5	24	120	1

\* Si ricorda che la misura riportata per il profilo è comprensiva dei punti di scoppio esterni allo stendimento geofonico realizzato.



### 3 – STRUMENTAZIONI, PERSONALE IMPIEGATO, E QUALITA'

Per l'esecuzione della prospezione sono state utilizzate le seguenti strumentazioni ed attrezzature:

n°	Strumentazione PER INDAGINI SISMICHE	COD. IDENT.
1	Sismografo GEOMETRICS "GEODE" 24 ch- 24 bit	SGG-SI-47
1	Computer portatile HP per registrazione dei dati di campagna;	
24	Geofoni verticali con frequenza pari a 4,5 Hz	SGG-SI-02
1	Cavo di collegamento per geofoni	SGG-SI-39H
1	Massa battente da 10 kg	

Tutti gli strumenti di misura impiegati, in riferimento con il "calendario di taratura" afferente al "sistema di qualità" in uso presso questo studio, sono periodicamente tarati presso il LABORATORIO CETACE di Prato, della CESVIT S.p.A., ed accreditato SIT (Servizio di Taratura in Italia).

#### AUTOMEZZI

- ◆ 1 NISSAN doble cab (DM 270 XH).



### Risorse coinvolte

Per l'esecuzione della prospezione di campagna e della relativa interpretazione in ufficio, sono state coinvolte le seguenti risorse:

- Responsabile dell'incarico F. GIORGI
- Responsabile della prospezione F. GIORGI
- Responsabile Assicurazione Qualità C. ROSSI
- Prospektori geofisici F. GIORGI
- Interpretazione F. GIORGI
- Editing F. GIORGI

Tutte le risorse umane coinvolte sono state utilizzate nel rispetto della certificazione SA8000 in materia di responsabilità sociale recentemente conseguita da questa società.

### SISTEMA QUALITÀ

La prospezione geofisica è stata eseguita in riferimento alle specifiche SP0302 e SP0901; l'elaborazione dei dati è avvenuta in conformità all'istruzione IS09001.

Per la registrazione delle varie attività sono stati utilizzati i moduli del sistema qualità in uso presso questo studio.



## 4 - FINALITÀ DELLA PROSPEZIONE

Le finalità della prospezione geofisica possono così essere sinteticamente riassunte:

- *Definire il modello del sottosuolo in riferimento alla velocità delle onde "P" ed "S";*
- *Definire il valore del  $V_{S30}$ .*

## 5 – ESECUZIONE DEI RILIEVI

In riferimento all'indagine geofisica nel suo complesso, il profilo sismico a rifrazione è stato acquisito con le seguenti caratteristiche:

- *Numero geofoni: 24;*
- *Spaziatura dei geofoni: 5 metri;*
- *Frequenza geofoni: 4.5 Hz;*
- *Spaziatura dei tiri: 15 metri;*
- *Sorgente: massa battente da 10 kg*

Di seguito sono invece riportate le principali caratteristiche della prova Re.Mi. effettuata:

- *Numero geofoni: 24;*
- *Spaziatura dei geofoni: 5 metri;*
- *Frequenza geofoni: 4.5 Hz;*
- *Tempo di registrazione degli eventi: 30 s;*
- *Tempo di campionamento:  $2 \times 10^{-3}$  s;*
- *n°6 registrazioni.*



## 6 – ANALISI DELLE VELOCITA' DELLE ONDE DI VOLUME “P”

La fase d'interpretazione dei dati acquisiti in campagna è preceduta dalla lettura dei tempi sismici registrati.

I tempi d'arrivo delle onde “P” sono letti attraverso uno specifico programma di *picking* ed in seguito tabellati. Tale programma permette di apprezzare variazioni di tempo dell'ordine di  $0,1 \times 10^{-3}$  s.

Dopo, per mezzo dello specifico programma SEISOPT@2DV3.0, viene eseguita un'interpretazione con metodologia tomografica del profilo sismico.

La metodologia tomografica prevede la suddivisione dello spazio bidimensionale in celle quadrangolari secondo una maglia prefissata, con l'attribuzione ad ognuna di un determinato valore di velocità sismica. Il programma calcola quindi il tempo di transito dell'onda sismica attraverso le maglie del modello e confronta tale valore con quello sperimentale, impiegando iterativamente algoritmi di calcolo adeguati, previo controllo dei tragitti dei raggi sismici. Per successive iterazioni si perviene a dei valori di velocità sismica per le diverse celle che soddisfino contemporaneamente più raggi sismici.

L'elaborazione dei dati è sviluppata tramite un'analisi con modellazione del sottosuolo su base anisotropa, la quale fornisce, in seguito ad un'elaborazione con metodologie iterative R.T.C. e ad algoritmi di ricostruzione tomografica, il campo delle velocità sismiche del sottosuolo attraverso la suddivisione dello spazio in celle regolari.

Nel caso specifico è stata utilizzata una maglia quadrata di dimensioni  $2,5 \times 2,5$  metri; nella restituzione, i valori di velocità sismica attribuiti alla singola cella, sono rappresentati attraverso una scala colorimetrica. Inoltre, per facilitare la lettura delle velocità sulle sezioni, sono state disegnate le curve d'isovelocità con equidistanza pari a 200 m/s.



Per la determinazione del modello d'interpretazione, il software utilizza il metodo d'inversione controllato MONTECARLO, basato su una modellizzazione avanzata, dove i modelli derivati dagli algoritmi propri del programma sono accettati o rifiutati basandosi su un criterio statistico.

In particolare, i risultati in termine d'affidabilità statistica dell'interpretazione operata, risultano essere i seguenti:

profilo sismico	precisione (s <sup>2</sup> )	n° di iterazioni
<b>1</b>	6,847x10 <sup>-6</sup>	93.226

dove per *precisione* si intende la sommatoria degli scarti al quadrato tra i valori sperimentali e quelli calcolati nelle dromocrone diviso per il numero dei punti; per *iterazioni* il numero di volte che il programma ha eseguito la verifica del modello totale.

## **7 – ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE SUPERFICIALI “S”**

Sullo stendimento sismico è stata eseguita, inoltre, una prova “Re.Mi.”, al fine di caratterizzare il terreno anche attraverso l'ausilio della velocità delle onde di superficie. La metodologia Refraction Microtremor permette altresì di definire il parametro  $V_{S30}$  utile per la classificazione dei terreni nelle categorie di suolo da utilizzare in seguito per la progettazione delle costruzioni secondo la normativa antisismica.

Il parametro  $V_{S30}$  determinato attraverso questo particolare tipo d'indagine di risposta sismica locale, corrisponde alla velocità equivalente di propagazione entro i primi 30 metri di profondità delle onde superficiali ed è calcolata con la seguente espressione:



$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità delle onde S (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei primi 30 metri di profondità. Il valore del parametro  $V_{S_{30}}$  di ciascuna prova Re.Mi. è riportato, per convenzione, al centro del relativo stendimento geofonico.

Nelle tavole allegate sono riportate le elaborazioni effettuate relative ai profili realizzati.

Il metodo “Re.Mi.” consente di eseguire un’analisi del sottosuolo mediante l’uso dei microtremori, naturali e/o artificiali, i quali si propagano all’interno dello stesso.

Per l’interpretazione dei dati sperimentali è stato utilizzato uno specifico programma (*SeiSopt “Re.Mi. Version 3.0”*).

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 (orizzontale e verticale) della linea sismica, e nel rappresentarne poi lo spettro di potenza su un grafico  $p$ - $f$  (fig. 1).

### *p-f Image with Dispersion Modeling Picks*

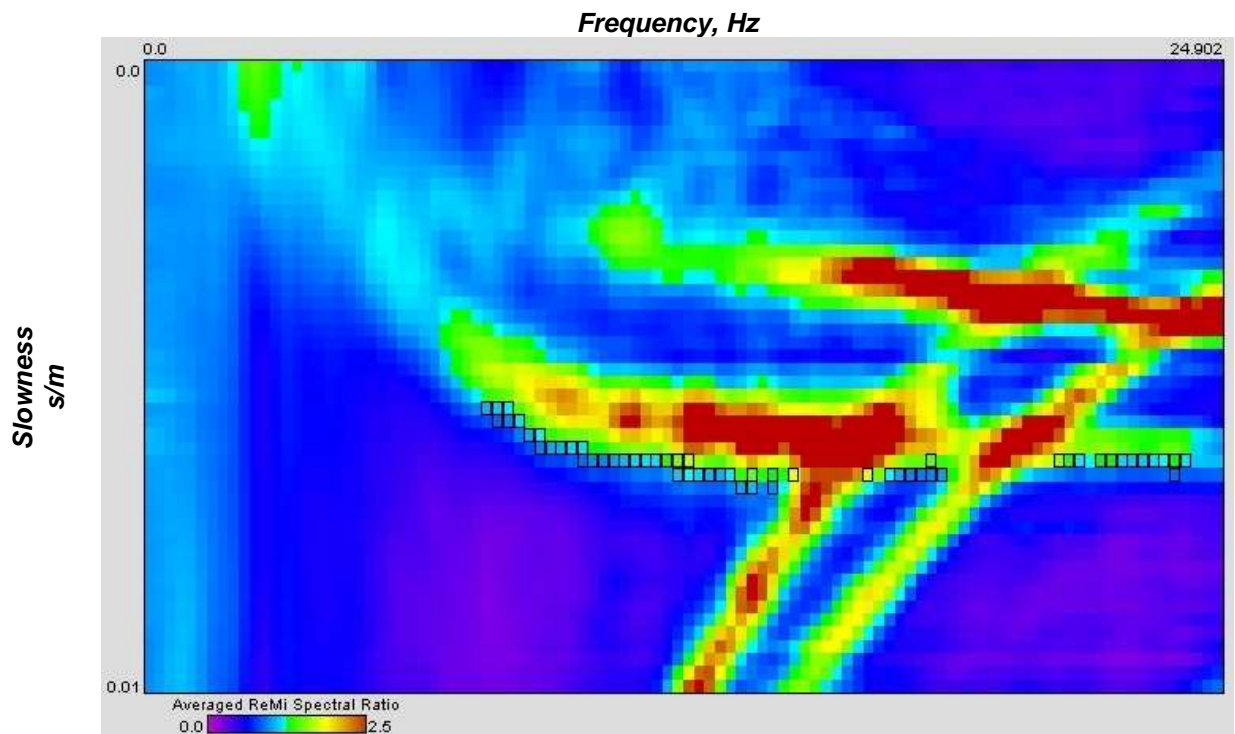


Figura 1: grafico p-f tratto dalla prova Re.Mi.

Nell'immagine, riportata sopra, sono evidenziati gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza rilevante, e ciò consente un riconoscimento visivo delle onde di Rayleigh in quanto queste presentano un carattere dispersivo rispetto a quelle riconducibili ad altre modalità e tipi d'onda.

Sullo spettro di frequenza è eseguito un "picking" (soprassegno con quadratini neri) attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (inverso della velocità di fase) per alcune frequenze (fig. 1). Tali valori poi sono riportati su di un diagramma periodo-velocità di fase (fig. 2) per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

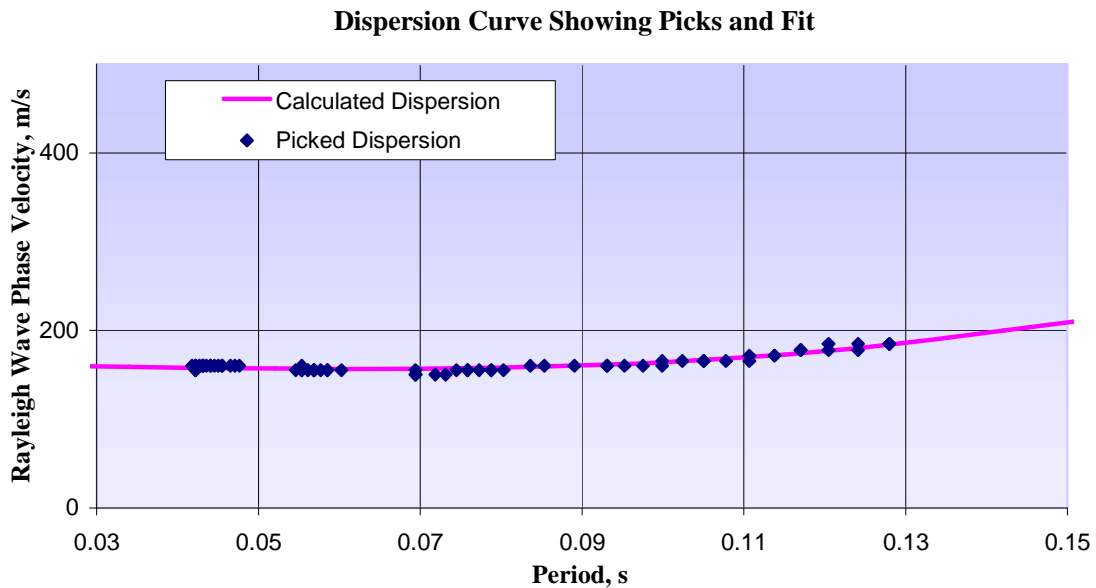
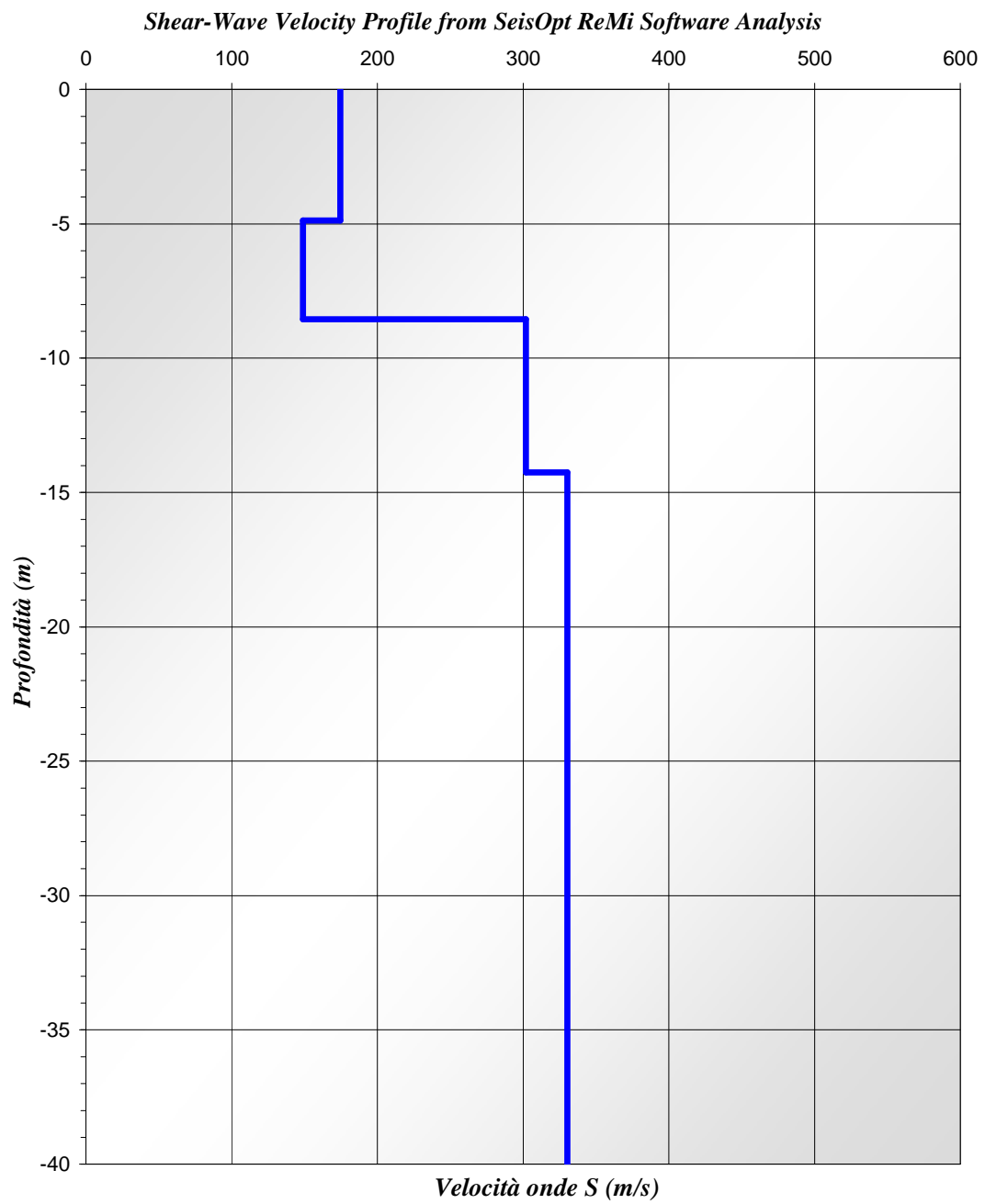


Figura 2: Diagramma periodo – velocità di fase tratto dalla prova Re.Mi.

Variando la geometria del modello interpretativo ed i valori di velocità delle onde “S” si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione, rappresentata con il colore magenta nella figura 2; si consegue un buon fitting con i valori sperimentali e si assume tale modello come interpretativo.

Lo studio dello spettro di potenza permette in definitiva la ricostruzione di un modello sismico monodimensionale del sottosuolo (fig. 3), con le velocità delle onde di superficie “S” (espresse in m/s) e la profondità (espressa in metri).



*Figura 3: modello interpretativo, tratto dalla prova Re.Mi., le cui modifiche influenzano direttamente la curva di dispersione.*



## **8 – ANALISI DEI RISULTATI**

Nel complesso l'indagine geofisica eseguita ha permesso di caratterizzare il sottosuolo sia con il modello di distribuzione della velocità delle onde "P", tramite l'interpretazione tomografica, sia con il modello di distribuzione della velocità delle onde "S", attraverso l'analisi della prova Re.Mi.

I risultati dell'indagine geofisica di seguito descritti sono stati riportati nella tavola allegata.

### **Profilo sismico a rifrazione**

Il profilo ha evidenziato una discreta omogeneità laterale dei valori di velocità sismica. In generale la prospezione sismica a rifrazione ha permesso di rappresentare il sottosuolo con un modello di distribuzione della velocità delle onde "P" che si correla bene con l'assetto geologico attraversato dalle prove penetrometriche.

La sua interpretazione ha evidenziato sostanzialmente un andamento regolare delle velocità sismiche del sottosuolo che denota un assetto circa parallelo alla superficie topografica.

Nella porzione superficiale con profondità inferiori a 5 metri, si evidenziano velocità sismiche inferiori a 800 m/s . Al di sotto, fino alla profondità di circa 15 metri si evidenzia un aumento graduale del gradiente di velocità, che porta la velocità a circa 1.800 m/s. Inferiormente, alla profondità di circa 25 metri, i terreni presenti mostrano velocità sismica pari a circa 2.400 m/s.

**Prova Re.Mi.**

L'interpretazione della prova Re.Mi. , relativamente alle onde S, ha reso evidente la seguente successione:

Profondità da P.C		Velocità Onde S (m/s)
0,0	4,9	175
4,9	8,5	149
8,5	14,2	302
14,2	40	330

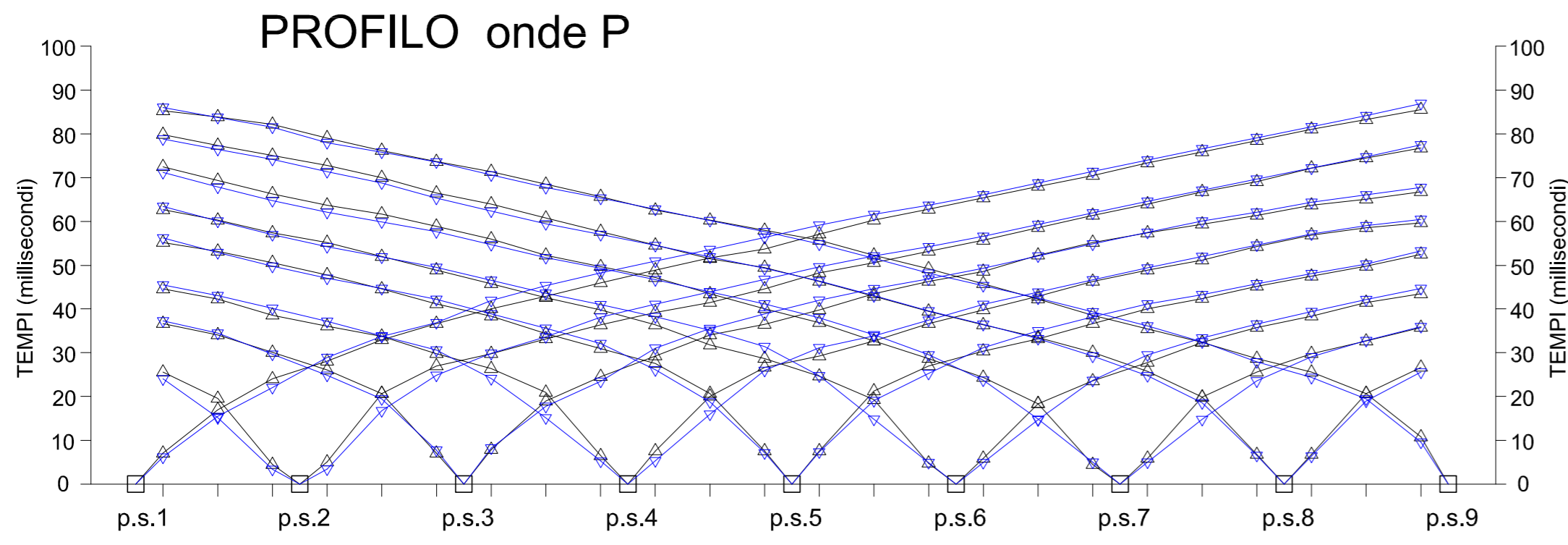
Per questo terreno il valore di Vs30 risulta pari a 253 m/s.

In definitiva, la prova Re.Mi. realizzata evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa italiana, in **classe C**.

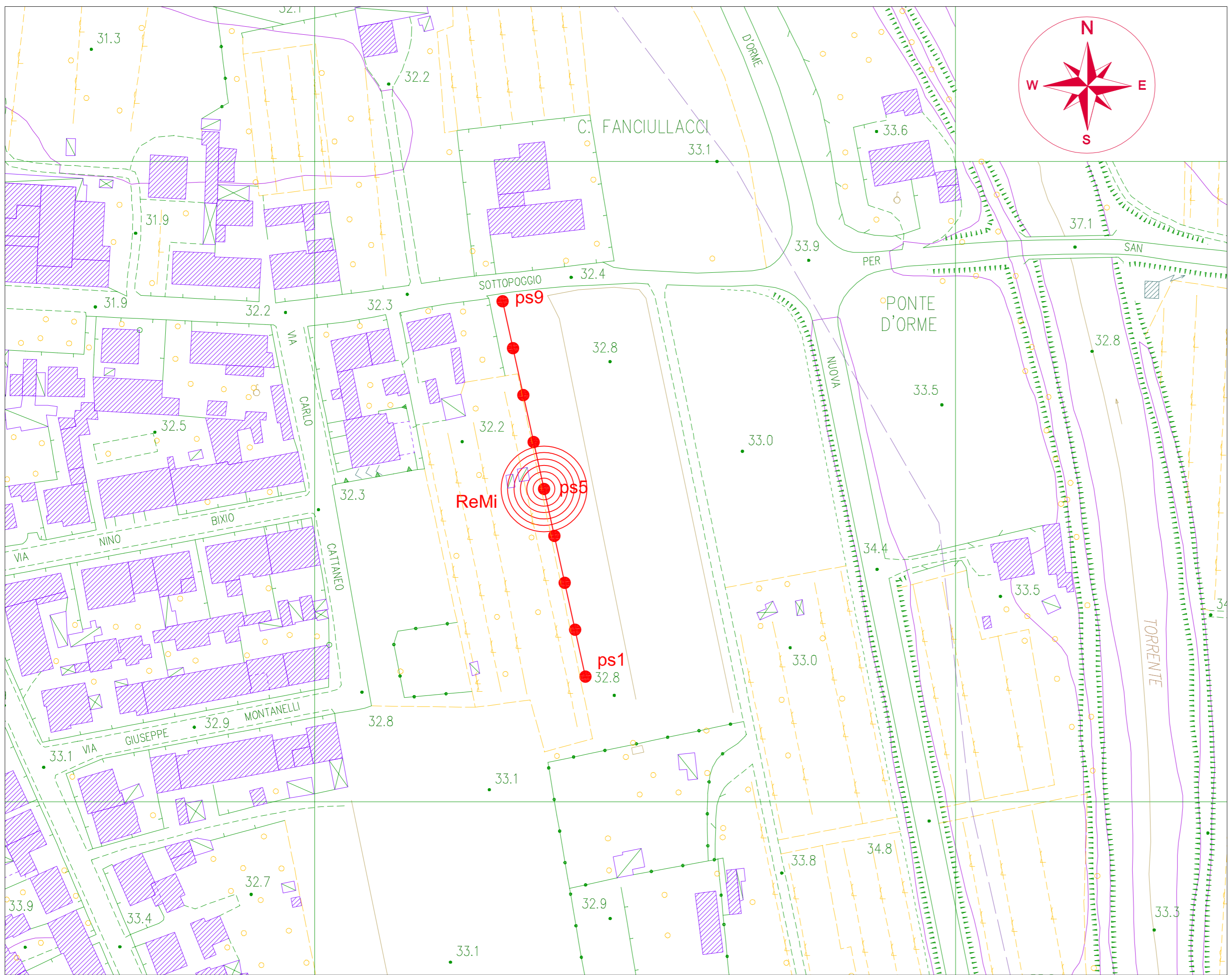
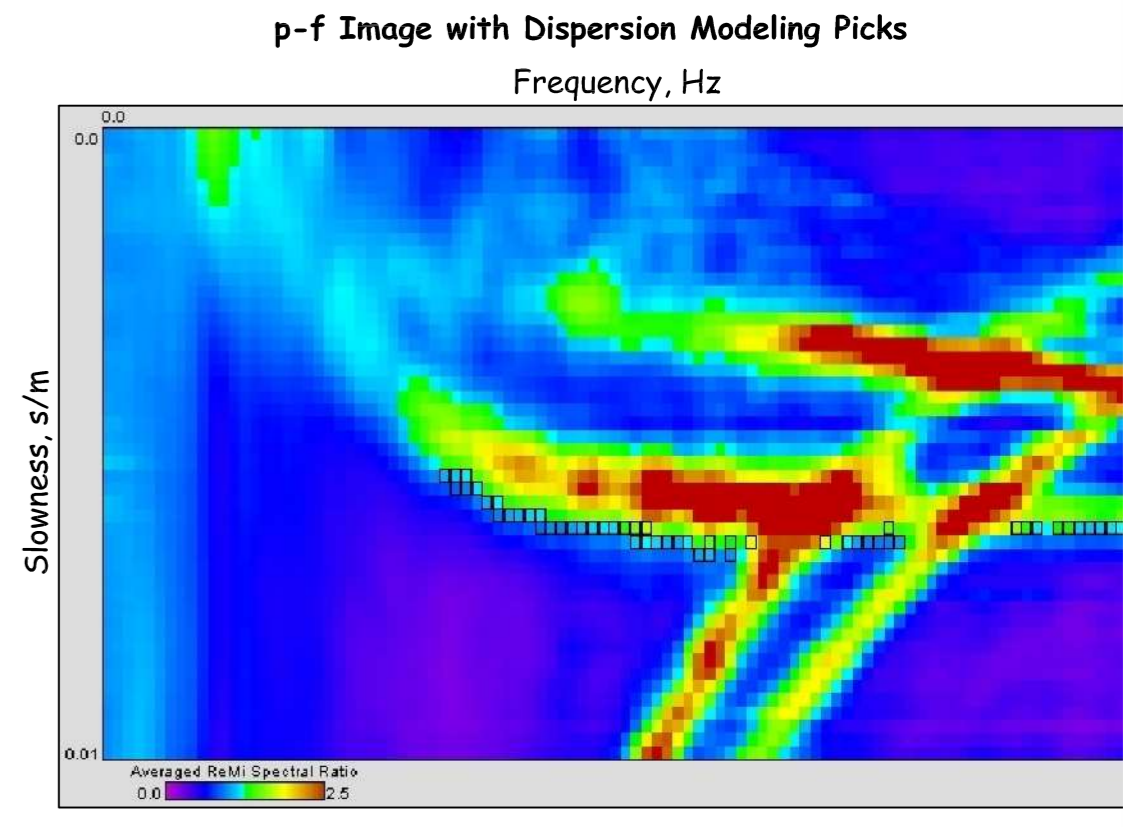
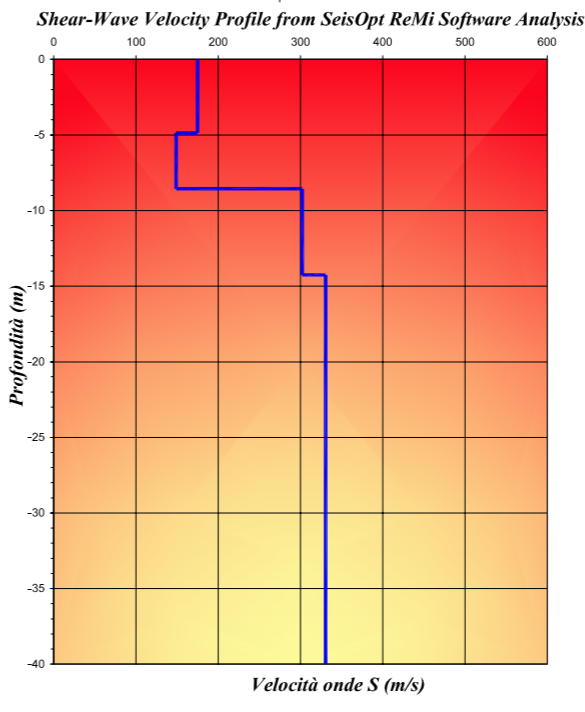
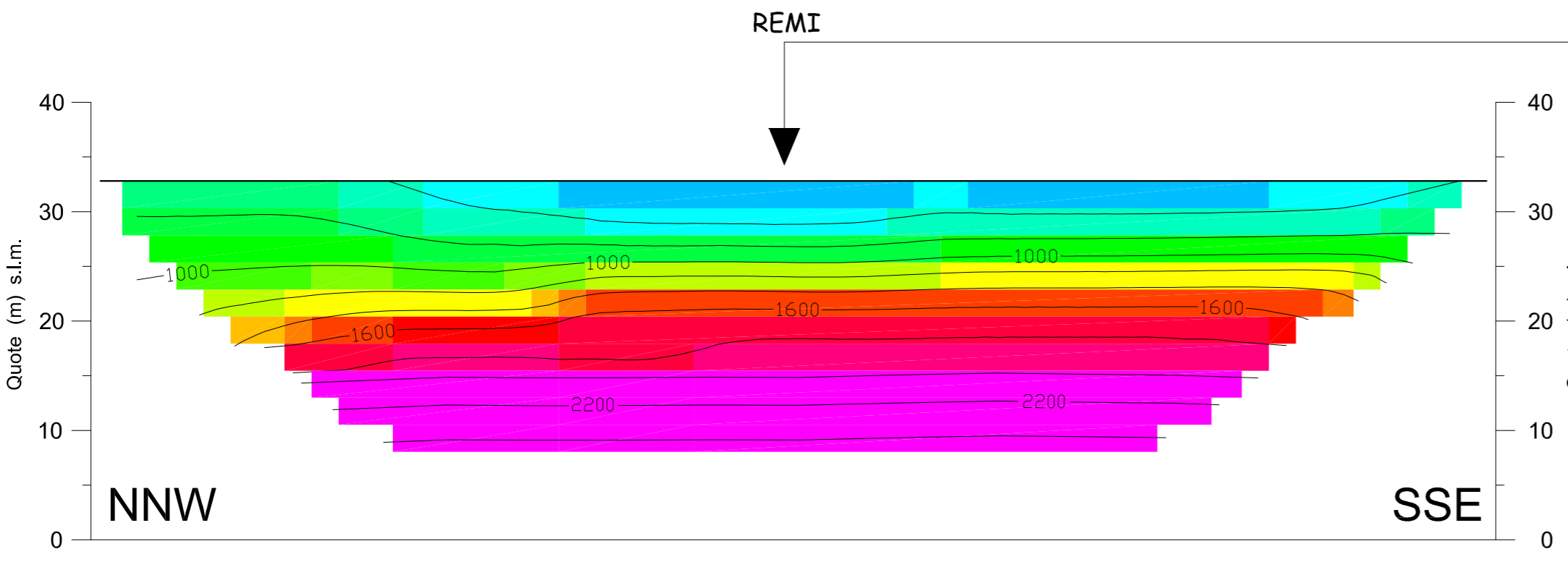
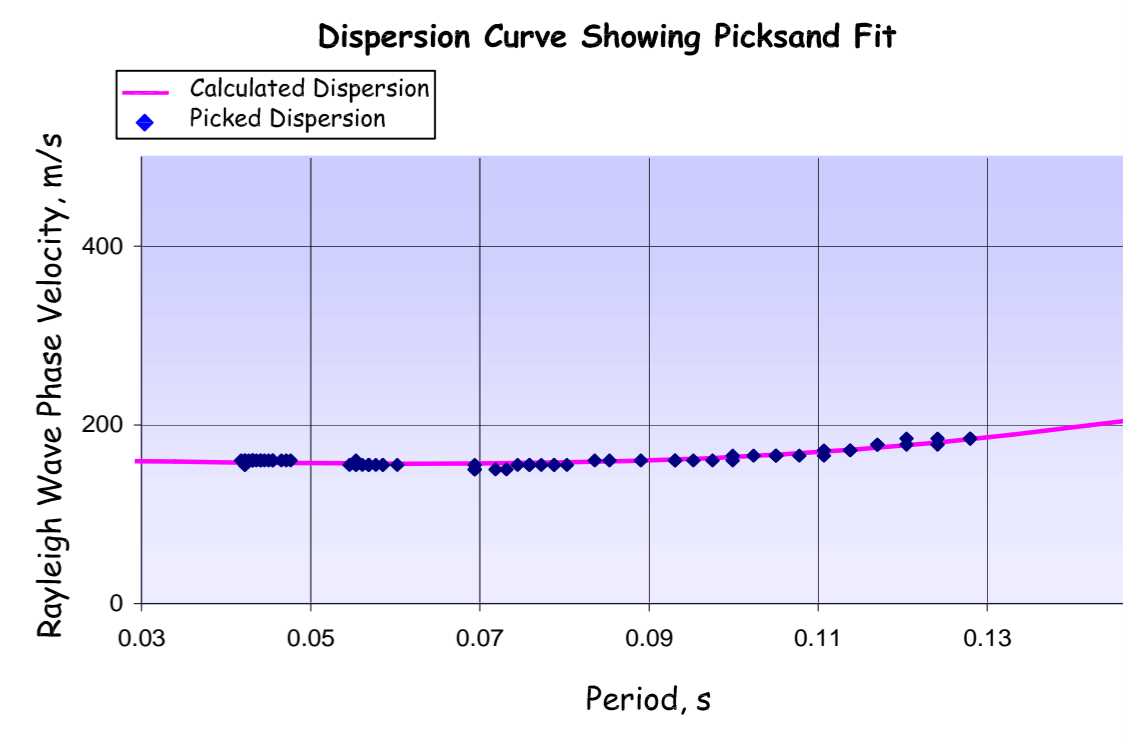
Siena, Novembre 2008

Dr. Geol. FILIPPO GIORGI

Prova Re.Mi.



$V_s$  Refraction Microtremor,  
 $V_{s30} = 253 \text{ m/s}$   
 Site Class C



- LEGENDA
- PROFILO 1  
ps 1
  - ⊙ Prova ReMi