



## Badia Tedalda Eolico Srl

| Via Francesco Tamagno, 7 | 20124 Milano (MI) | P.IVA 12334000960 | PEC badiatedaldaeolicosrl@pec.it |

### Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

#### Referente di progetto

Dott. Roberto Schirru

#### Coordinamento tecnico

ENVIarea stp snc Ing. Cristina Rabozzi, Dott. Agr. Andrea Vatteroni, Dott. Agr. Elena Lanzi

#### Progettazione opere civili e cantierizzazione

ENKI srl Ing. Andrea Mazzetti

#### Progettazione opere di utenza e di rete per la connessione CP "Badia Tedalda"

Ing. Michele Pigliaru

#### Geologia e geotecnica

Sinergia srls Dott. Geol. Luca Gardone

#### Aspetti trasportistici

Siemens Gamesa S.A. Ing. Alessandro Noro

#### Topografia

3D Metrica Ing. Paolo Corradeghini

#### Anemometria

Skywind GmbH Ing. Sasha Claes

#### Studio di impatto ambientale, studio di incidenza ambientale, aspetti socio-economici e antropici

ENVIarea stp snc Ing. Cristina Rabozzi, Dott. Agr. Andrea Vatteroni, Dott. Agr. Elena Lanzi

#### Paesaggio

INLAND Landscape Architecture Arch. Andrea Meli

#### Biodiversità, ecosistemi e reti ecologiche

Consorzio Futuro in Ricerca Dott. Lisa Brancaleoni (aspetti floristico-vegetazionali)

Dott. For. Iliara Scatarzi aspetti forestali, ecosistemi e reti ecologiche

Dott. Biol. Marco Lucchesi avifauna

Dott. Dino Scaravelli chiroterofauna

#### Archeologia

Cooperativa archeologia s.c. Dott. Andrea Biondi

#### Acustica

Tecnocreo srl Ing. Matteo Bertoneri

#### CEM e vibrazioni

Ing. Michele Pigliaru

Aprile 2023

## PD.GEO.S.05.a Relazione Geologica Certificati prospezioni sismiche

Progettazione specialistica  
Soc. Sinergia s.r.l.s  
Geol. Luca Gardone  
- Ord.Geol.RT n.649

Rev.	Data	Oggetto
a	11/04/2023	Prima emissione

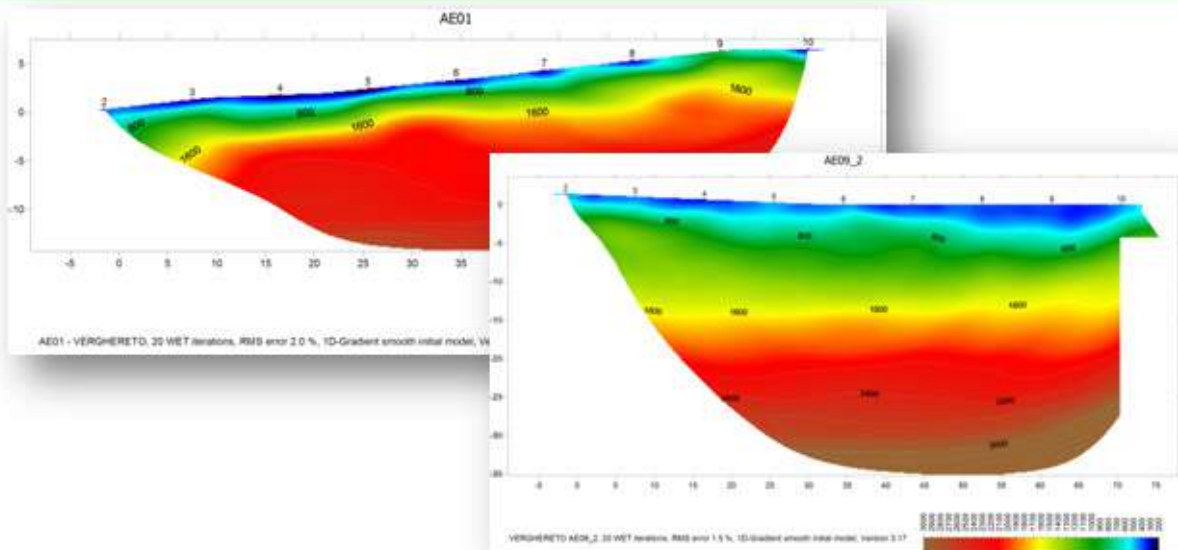
# **RELAZIONE SPECIALISTICA PROSPEZIONI SISMICHE**

**2010**



**Comune di BADIA TEDALDA (AR)**  
**Comune di CASTELDELICI (PU)**  
**Comune di VERGHERETO (FC)**

## **PARCO EOLICO "POGGIO TRE VESCOVI"**



**INDAGINI GEOFISICHE, SISMICHE INTEGRATE,  
TOMOGRAFIA RIFRAZIONE ONDE P E FREQUENZIALE  
ONDE S, DI SUPPORTO ALLA CARATTERIZZAZIONE  
GEOMECCANICA E SISMICA DI SOTTOSUOLO**

**SETTEMBRE 2010**



Enki s.r.l.  
Via Giambattista Lulli 62  
50144 Firenze  
Tel 055 3247209 – Fax 055 3289276  
P.IVA 05008670480 – REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082  
Reg.Impr. Firenze n. 9079/2000







Enki s.r.l.

Via Lulli, 62  
50144 Firenze

Tel 055 3247209 – Fax 055 3289276

P.IVA 05008670480 – REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082

Reg.Impr. Firenze n. 9079/2000

---

**Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC).**

## **1. INTRODUZIONE**

- 1.1. Descrizione dei contenuti della relazione
- 1.2. Programmazione delle indagini geofisiche

## **2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA**

- 2.1. Tomografia sismica
- 2.2. La tecnica MASW
- 2.3. La tecnica ReMi
- 2.4. Elaborazione dati sismici
- 2.5. D.M. 14/01/2008 N.T.C. Categorie di profilo sismico-stratigrafico
- 2.6. D.M. 14/01/2008 N.T.C. Pericolosità Sismica locale
- 2.7. Conclusioni

## **Allegato A - ELABORATI GRAFICI**

- **A01** - INQUADRAMENTO PLANIMETRICO
- **A02 A** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE AGLI STENDIMENTI S01 E S02
- **A02 B** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE AGLI STENDIMENTI S03 E S04



Enki s.r.l.

Via Lulli, 62  
50144 Firenze

Tel 055 3247209 – Fax 055 3289276

P.IVA 05008670480 – REA C.C.I.A.A. Firenze n. 510082

Reg.Impr. Firenze n. 9079/2000

- **A02 C** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE ALLO STENDIMENTO S08
- **A02 D** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE ALLO STENDIMENTO S09
- **A02 E** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE AGLI STENDIMENTI S10 E S11
- **A02 F** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE AGLI STENDIMENTI S12 E S14
- **A02 G** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE AGLI STENDIMENTI S15 E S18
- **A02 H** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE AGLI STENDIMENTI S20, S22 E S23
- **A02 I** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE AGLI STENDIMENTI S27 E S28
- **A02 L** – TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P, PROFILI VELOCITA'  $V_s$ , SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE E RIPRESE FOTOGRAFICHE RELATIVE AGLI STENDIMENTI S29, S34 E S35

## **Allegato B**

- MASW - CURVE DI DISPERSIONE  $V_{s,30}$  E PROFILI DI VELOCITA'  $V_{s,30}$

## **1 INTRODUZIONE**

La corretta esecuzione di opere di ingegneria civile nel sottosuolo richiede un'attenta caratterizzazione degli orizzonti geotecnici interessati dalle suddette opere.

Tramite opportune indagini si possono infatti evidenziare i profili stratigrafici, le caratteristiche idrauliche e meccaniche del terreno e le condizioni della falda, rilevando inoltre eventuali strutture e corpi sepolti e/o sottoservizi non mappati.

Le indagini da effettuare in situ sono di due tipologie:

- **Geognostiche** (ad esempio sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo e prove penetrometriche)
- **Geofisiche.**

Le tecniche di indagini **geognostiche**, sono di tipo puntuale e restituiscono la grandezza della variabile misurata solamente nell'intorno del punto di campionamento.

Le tecniche **geofisiche**, sono invece di tipo volumetrico e non invasivo, restituiscono cioè la grandezza della variabile misurata mediata su elevati volumi di terreno.

E' evidente che ricorrendo in forma **complementare e correlata** alle diverse tecniche di indagine si ottengono notevoli vantaggi nella qualità delle informazioni ottenute sul sito investigato e nell'impiego ottimizzato di risorse economiche ed umane.

Infatti le tecniche di indagine integrate citate sono in grado di fornire al tecnico progettista delle informazioni sulla modalità e sulla tecnica di realizzazione di opere di ingegneria civile rispetto al contesto geologico e geotecnico in cui sono inserite, permettendo a priori una valutazione della qualità dell'esecuzione dei lavori.

Le tecniche di indagine geofisiche si prefigurano quindi come un supporto informativo utilizzabile nella redazione di progetti di opere di ingegneria civile complesse nel sottosuolo.

Ai fini della **caratterizzazione litostratigrafica** di un'area la realizzazione di:

- **Prospezioni geofisiche con metodo sismico**, con tecnica ReMi e MASW, permettono di ottenere la classificazione del sottosuolo ai sensi della vigente normativa NCT 2008 Norme Tecniche per le Costruzioni DM 14/01/2008;

**Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)**

- **Prove penetrometriche**, permettono la determinazione di parametri geomeccanica del terreno di dettaglio.

La campagna di prospezione geofisica può essere propedeutica all'eventuale campagna di prospezione geognostica, in modo che l'elaborazione **congiunta ed integrata** dei dati ottenuti:

- dalla serie di **stendimenti sismici MASW e ReMi**;
- dalle **indagini dirette geognostiche** quali prove penetrometriche;

permetta così la:

- Ricostruzione del **profilo litostratigrafico** con individuazione del **bedrock** e/o di **trovanti**;
- **Parametrizzazione** del comportamento meccanico dei terreni;
- **Caratterizzazione geotecnica** dei terreni e delle rocce presenti in sito
- Stima del **livello della falda idrica**;

L'utilizzo correlato delle tecniche di prospezione geofisiche, indagini geognostiche e prove penetrometriche sopra indicate permette di superare le problematiche che normalmente sorgono operando in ambienti in cui sono molto forti i disturbi e le problematiche per l'acquisizione di parametri descrittivi del sottosuolo; normalmente infatti per ottenere indicazioni attendibili che permettano la caratterizzazione del sottosuolo è necessario acquisire i dati in maniera multiparametrica e multistrumentale, ricorrendo a diverse tecniche di prospezione e di indagine.

### **1.1 Descrizione dei contenuti della relazione**

La presente relazione illustrerà la metodologia, la strumentazione utilizzata ed i risultati ottenuti con la campagna di prospezione geofisica sismica integrata, a supporto della caratterizzazione geomeccanica e sismica del sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi" sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC).

In particolare l'indagine ha riguardato il sottosuolo interessato da diversi tipi di intervento, e ha permesso:

- Caratterizzare le aree dal punto di vista geomeccanico;

- Classificare il sottosuolo dal punto di vista sismico.

Nel capitolo 2 "Caratterizzazione sismica" verranno riportati i risultati della campagna di prospezione sismica, in particolare con riferimento alle tecniche MASW e ReMi.

## **1.2 Programmazione delle indagini geofisiche**

In base alle indicazioni ricevute e al sopralluogo effettuato è stato deciso di realizzare una campagna di prospezione geofisica sismica, consistente nell'esecuzione di **26** stese sismiche a 24 geofoni con passo intergeofonico di 2 m (7 stese) o 3 m (19 stese) e offset rispettivamente di 10 o 15 m dall'inizio con tecnica Tomografica per onde Vp e frequenziale ReMi e MASW per onde Vs, con giacitura come da allegato A.

## **2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA**

Ai fini di una completa caratterizzazione sismica dell'area indagata, per ogni profilo sismico i dati sono stati acquisiti secondo modalità che hanno permesso di invertire ed interpretare sequenzialmente secondo diverse tecniche di cui:

1. Tomografia sismica con restituzione di profilo tomografico 2D delle onde di compressione Vp;
2. Tecnica ReMi e MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) che sono una derivazione delle tecniche SASW (Spectral Analysis of Surface Waves) che si basano sull'elaborazione delle proprietà spettrali delle onde di superficie per la costruzione di un modello monodimensionale verticale di velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

### **2.1 Tomografia sismica**

La tomografia sismica, per raggi diretti, è una tecnica d'indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un potere risolutivo nettamente superiore ad altri metodi, offrendo la possibilità della ricostruzione, con elevato grado di qualità, di anomalie stratigrafiche, anche particolarmente complesse non risolvibili con differenti tecniche d'indagine.

Per le procedure di realizzazione di immagini tomografiche è necessario utilizzare un maggior numero di sorgenti di energizzazione e di punti di ricezione delle onde sismiche, che permettano una distribuzione dei raggi sismici omogenea e con una densità che viene predefinita in funzione del "target" da raggiungere.

Le tecniche operative possono essere molto diverse, si può infatti operare:

- a livello del piano di campagna disponendo i ricevitori (geofoni e idrofondi) ed i trasmettitori (punti di scoppio) su linee parallele;
- utilizzando due fori, residui di sondaggi geognostici, (tomografia cross-hole), dove previo opportuno condizionamento si alloggiano i ricevitori ed i trasmettitori;
- utilizzando un solo foro (sondaggio sismico tomografico), in cui sono alloggiati i ricevitori, eseguendo una serie di tiri a distanze crescenti dall'imboccatura del foro stesso.

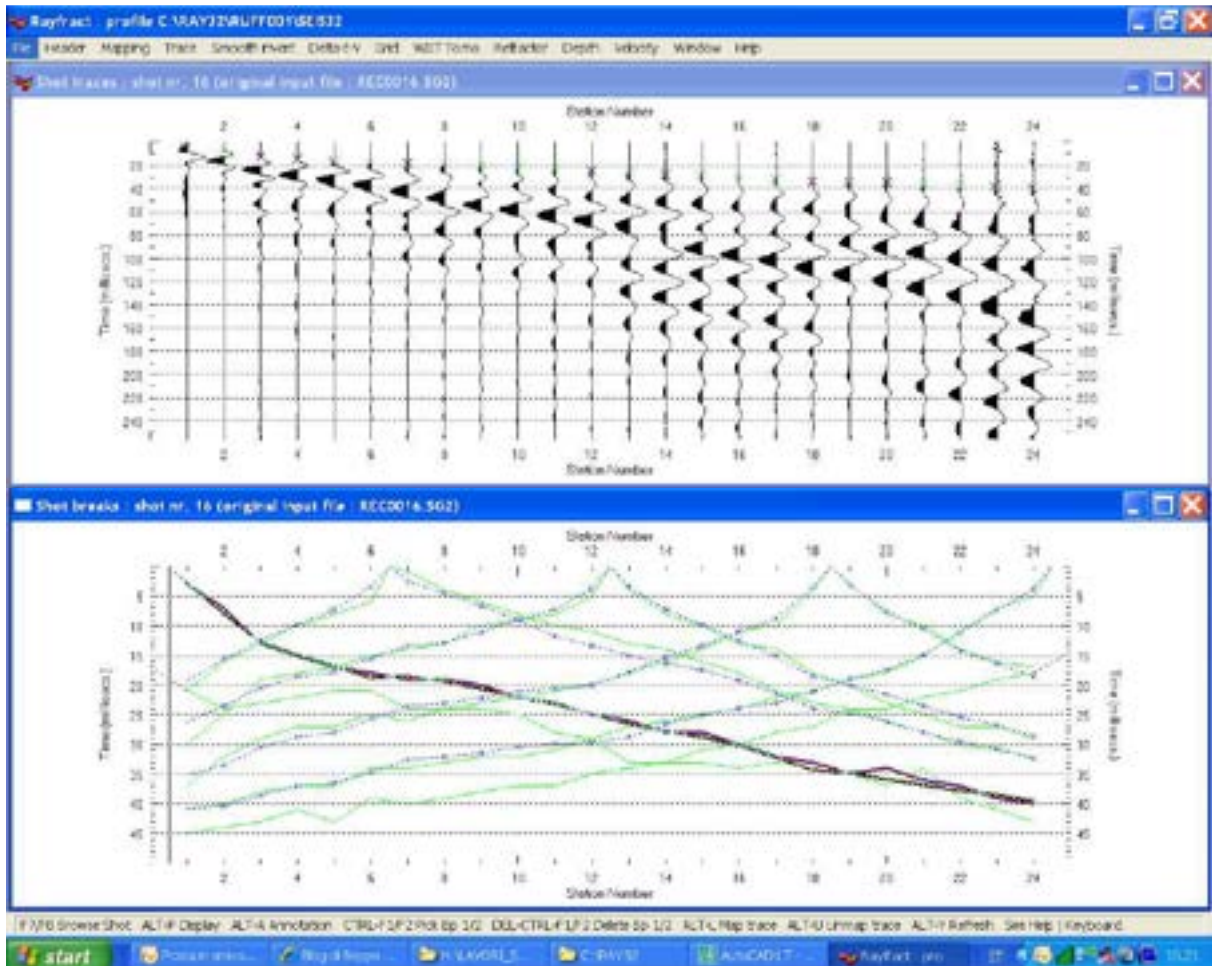
Per il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano; la presentazione delle elaborazioni eseguite dà come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Le classiche prospezioni sismiche si basano sul concetto che le onde acustiche si propagano nei diversi mezzi con velocità differenti. Generando tali onde in un punto (detto di scoppio) e osservando i loro tempi di arrivo in altri punti predeterminati (detti di registrazione), è possibile ricostruire la distribuzione di velocità e con questa definire dal punto di vista elastico le aree oggetto di studio e individuare anomalie o corpi anomali.

L'applicazione della tecnica tomografica alle misure sismiche permette poi di ricostruire l'andamento di tale caratteristica fisica all'interno di una porzione di spazio non accessibile direttamente e di ottenere come risultati, immagini che visualizzano le non omogeneità incontrate nel mezzo.

Il risultato finale sarà la rappresentazione delle velocità (in m/s) per piani o sezioni indagate, poi ricostruite in 3D, secondo una scala cromatica prefissata, che in genere va dal blu (basse velocità) al magenta (alte velocità). Quanto più il mezzo attraversato dal suono è rigido e incompressibile, tanto maggiore sarà la sua velocità caratteristica. Valori bassi della velocità mettono in evidenza la variazione negativa delle caratteristiche elastiche e meccaniche, indicando la presenza di un possibile deterioramento della struttura interna.

Per l'inversione dei dati sismici acquisiti è stato utilizzato il software Rayfract ver. 3.12 che è un software di tomografia sismica che impiega le soluzioni Eikonali per il calcolo dei tempi di percorso e per la modellazione della diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche. Questo metodo fornisce un buon fit iniziale tra i primi arrivi di campagna e quelli sintetici. Il modello iniziale viene quindi ottimizzato automaticamente mediante l'inversione tomografica 2D WET (Wavepath Eikonal Traveltime).



**Fig. 2.1-1: CONFRONTO SHOT BREAK PRIMI ARRIVI E DROMOCRONE**

La tomografia WET modella i percorsi multipli della propagazione del segnale che contribuiscono ad un primo arrivo. Il procedimento Eikonale, usato per il calcolo dei tempi di percorso, modella la diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche.

Come conseguenza di ciò la capacità di fornire l'imaging di un'anomalia di velocità aumenta rispetto alla tomografia convenzionale del percorso di un raggio sismico.

## **2.2 La tecnica MASW**

Il principio ispiratore della tecnica ReMI e MASW è il carattere dispersivo delle onde di Rayleigh quando queste si propagano in un mezzo stratificato.

La dispersione consiste nella variazione della velocità di fase a diverse frequenze, con l'aumento della lunghezza d'onda (abbassamento di frequenza) la profondità coinvolta dalla propagazione dell'onda è via via maggiore.

È quindi possibile, impiegando onde di un certo intervallo di frequenza, caratterizzare le proprietà acustiche dei terreni sino ad una certa profondità. Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga.

Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .

Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.



Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale  $V_s$  dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

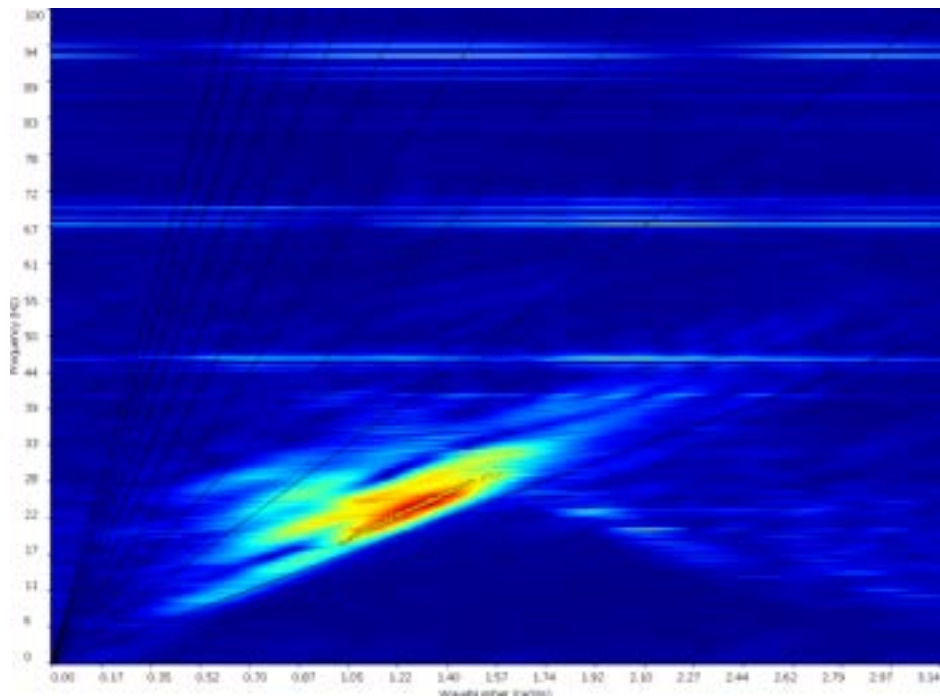
La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione.

La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale.

Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

**Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)**



**Fig. 2.2-1: SPETTRO F-K tecnica MASW**

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili ( $x$ ;  $y$ ), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma.

In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N.

Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo  $V_s$  di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente.

### 2.3 La tecnica ReMI

La tecnica di analisi del sottosuolo mediante l'uso dei microtremori (Veronese e Garbari, 2004) prende origine dagli studi e dalle sperimentazioni condotte da J. Louie presso la Nevada University.

Il metodo combina la semplicità operativa del SASW con l'elevata risoluzione nei terreni più superficiali propria del MASW.

I microtremori vengono registrati mediante uno stendimento lineare da 24 geofoni a bassa frequenza senza la necessità di dover operare con un sorgente attiva.

I dati vengono acquisiti mediante la classica strumentazione impiegata per i rilievi a rifrazione.

Generalmente si impiegano geofoni con frequenza variabile da 4 a 14 Hz e tempi di registrazione di 15-30 s. L'impiego di campionatori di elevata dinamica (cioè superiori a 144 dB) consente poi di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni.

È quindi teoricamente possibile registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza è compreso nell'intervallo tra 2 Hz e 25-30 Hz.

Questo intervallo, in condizioni ottimali, può consentire di stimare, con buon dettaglio, il profilo della Vs nei primi cento metri di profondità.

Il rumore registrato viene convertito dal dominio x-t al dominio p-f (slowness-frequenza) nel quale viene rappresentato lo spettro di potenza delle onde di superficie (un esempio in tal senso è visibile in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

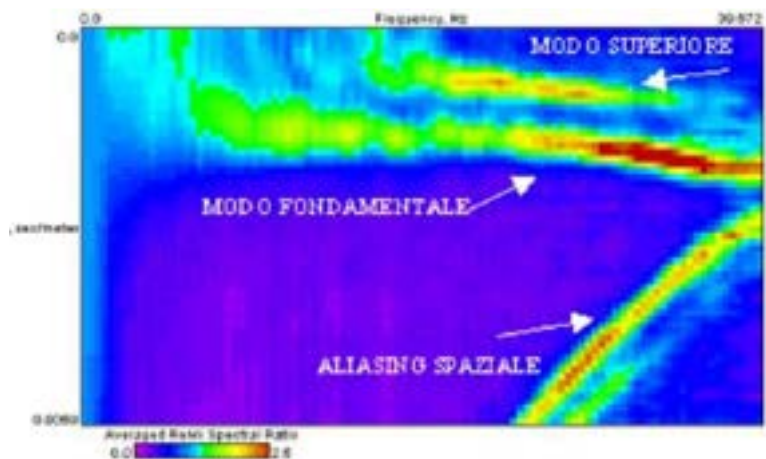


Fig. 2.3-1: SPETTRO p-f tecnica ReMI

## **2.4 Elaborazione dati sismici**

Sono stati acquisiti **26 profili sismici** con tecnica tomografica, MASW e ReMi con giacitura come da allegato A, particolarmente significativi delle aree da investigare.

Per l'acquisizione dei dati sismici è stato impiegato un amplificatore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D equipaggiato con geofoni a frequenza naturale di 8 Hz.

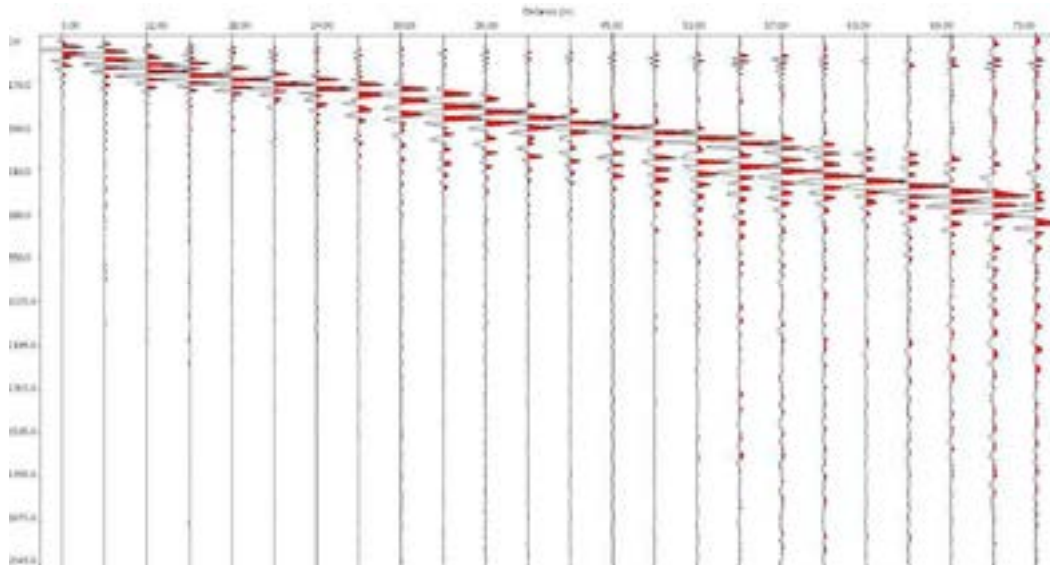
I parametri delle stese sismiche sono i seguenti, relativamente alla tecnica della **TOMOGRAFIA SISMICA e del MASW/ReMi**

- Energizzazione TOMOGRAFIA e MASW con mazza triggerata da 8 kg;
- Punto di battuta OFFSET TOMOGRAFIA e MASW, diretto, posizionato a 15 metri di distanza dal 1° geofono nelle stese con passo intergeofonico di 3 m e posizionato a 10 metri di distanza dal 1° geofono nelle stese con passo intergeofonico di 2 m;
- Punti di battuta INSET TOMOGRAFIA, presso geofoni 1-1, 3+1, 6+1, 9+1, 12+1, 15+1, 18+1, 21+1 e 24+1 nelle stese di passo 2 m e presso geofoni 1-1.5, 3+1.5, 6+1.5, 9+1.5, 12+1.5, 15+1.5, 18+1.5, 21+1.5 e 24+1.5 nelle stese di passo 3 m pari a 10 battute per ogni profilo sismico comprese battute OFFSET;
- lunghezza totale stesa sismica di 46 m + 10 m di offset nelle stese con distanza intergeofonica pari a 2 m e lunghezza totale stesa sismica di 69 m + 15 m di offset nelle stese con distanza intergeofonica pari a 3 m;
- Tempo di campionamento pari a 1 ms;
- Periodo di acquisizione TOMOGRAFIA di 1024 campioni, pari a 1s;
- Periodo di acquisizione MASW di 4096 campioni, pari 4 s;
- Sessioni di acquisizione ReMI pari a 10;
- Periodo di acquisizione per ogni sessione ReMI di 30208 campioni, pari a 30 s;

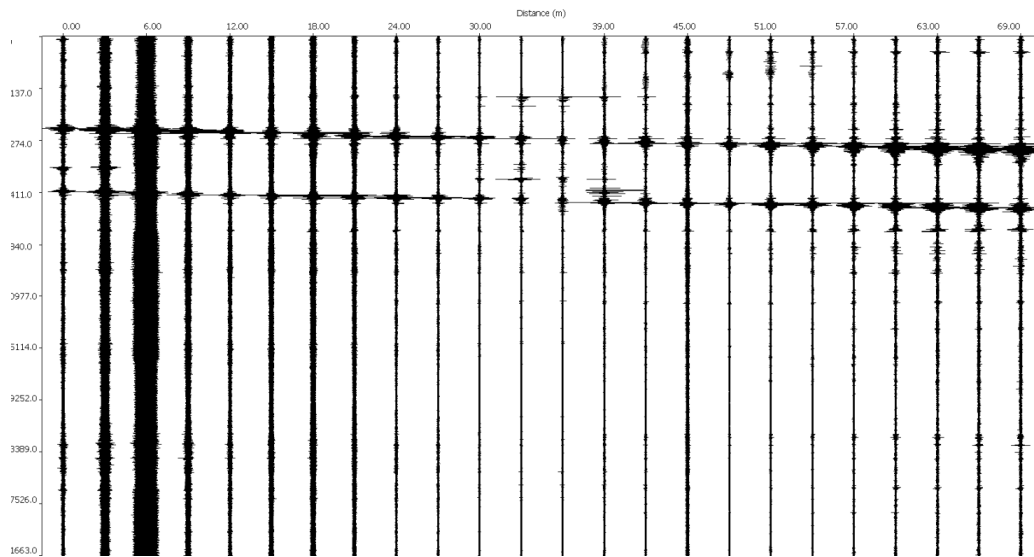
In corrispondenza di ciascun profilo sono state quindi acquisite numerose sessioni di registrazione, con controllo in tempo reale dei dati. Le registrazioni di scarsa qualità oppure quelle caratterizzate dalla presenza di rumore polarizzato sono state scartate.

**Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)**

Le sessioni di registrazione, in formato originario SEG2, vengono visualizzate in tempo reale in cantiere per una loro preliminare valutazione.



**Fig. 2.4-1: Sismogramma medio acquisizione MASW**



**Fig. 2.4-2: Sismogramma medio acquisizione ReMI**

In fase di acquisizione dei dati ciascuna sessione di registrazione è stata pre-elaborata per valutare contestualmente la qualità del dato registrato.

Nel caso in cui il modo fondamentale delle onde di superficie non venga campionato correttamente risulta impossibile stimare la curva di dispersione e costruire il modello verticale di velocità delle Vs.

Altre cause di disturbo, abbastanza frequenti nelle registrazioni passive, possono

essere determinate dalla presenza di rumore polarizzato. In questo caso potrebbe essere consigliabile ruotare lo stendimento di novanta gradi e ripetere alcune sessioni di registrazione.

La presenza di una sorgente polarizzata può infatti determinare la sottostima della velocità di fase durante l'operazione di determinazione della curva di dispersione nel dominio p-f.

I dati sono stati elaborati mediante il software commerciale "SWAN ver. 1.4" prodotto dalla GeoStudi Astier di Livorno.

Nella prima fase di elaborazione dei dati si inseriscono i parametri geometrici e si determina la frequenza massima da indagare, la velocità di fase minima di partenza ed il numero di vettori, al fine di ottenere lo spettro F-K.

La fase successiva consiste nella stima della curva di dispersione, e durante questa fase di elaborazione è opportuno selezionare esclusivamente le terne (frequenza, slowness, rapporto spettrale) con una buona coerenza ed intensità di segnale dello spettro di potenza. A parità di frequenza la velocità scelta è diversa a seconda della metodica di analisi MASW e ReMI, in quanto per il MASW deve essere quella coincidente con il picco massimo di intensità del segnale, mentre per il ReMI quella più bassa prossima al confine tra incoerenza propria del rumore e segnale.

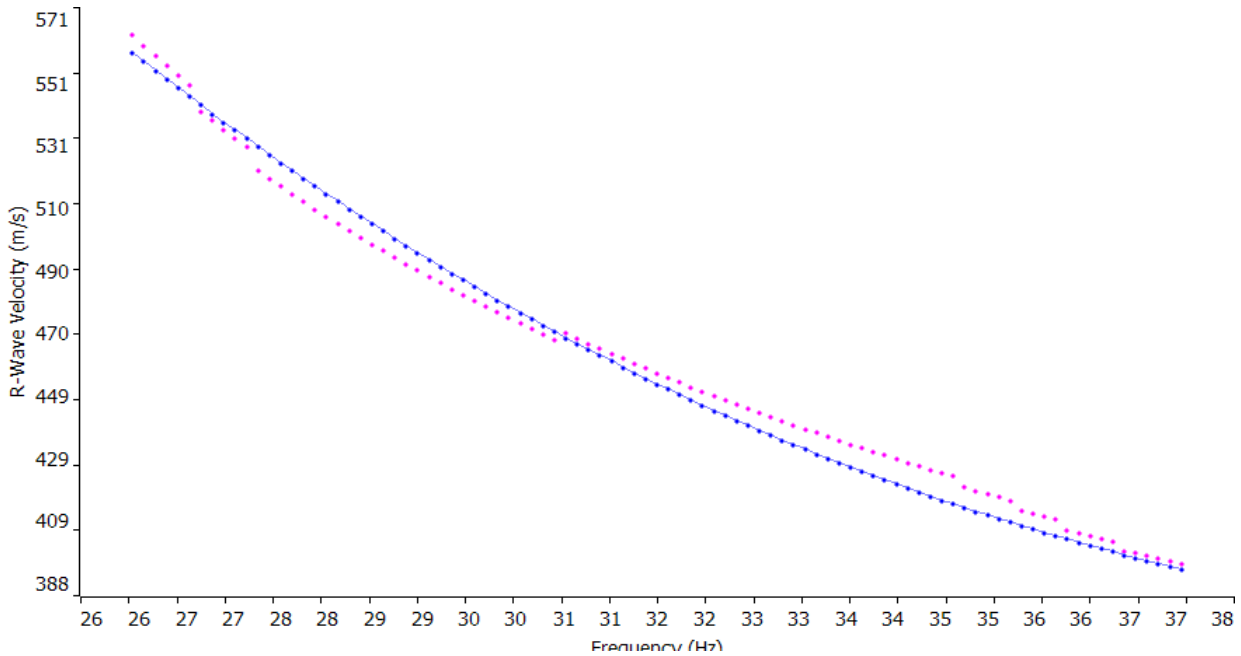
Questo è determinato dal fatto che i microtremori non provengono da un'unica sorgente e che l'energia del rumore che attraversa obliquamente lo stendimento appare nell'immagine p-f con una velocità apparente ( $V_a$ ) più elevata di quella reale ( $V_r$ ) osservabile in linea.

I dati selezionati dall'immagine F-K vengono plottati su un diagramma nel quale compare anche una curva di dispersione calcolata a partire da un modello di Vs che è modificabile dall'interprete.

Variando numero di strati, spessore e velocità di ciascuno strato del modello è possibile adattare la curva calcolata a quella sperimentale ottenuta mediante l'analisi spettrale.

Si tratta di un processo di modellazione diretta monodimensionale (simile alle tecniche impiegate per l'inversione dei SEV - Sondaggi Elettrici Verticali) la cui affidabilità dipende dalle capacità e dall'esperienza dell'analista e dalla possibilità di avere dei parametri di

controllo e di taratura (i.e. altre informazioni di tipo geofisico e stratigrafico).



**Fig. 2.4-3: Confronto tra curva sperimentale (punti rossi) e curva teorica (punti blu) calcolata per il**

**modello verticale di Vs riferito al MASW01.**

In questo tipo di approccio (modellazione diretta) sono insite delle ambiguità interpretative circa spessore e velocità dello strato nel senso che lo stesso risultato può essere ottenuto con diversi modelli valendo un principio di equivalenza. Il parametro determinabile univocamente è infatti rappresentato dal valore del prodotto di spessore e velocità. Ai fini della determinazione del parametro Vs30 questo non rappresenta una limitazione infatti tale parametro rappresenta proprio la media della velocità delle onde di taglio sui primi 30 m di profondità ed è dato dalla (1):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo per un totale di  $n$  strati presenti nei primi 30 metri di profondità.

I risultati dei processi di inversione ed interpretazione, dei dati sismici acquisiti sia con la tecnica MASW che ReMI hanno prodotto delle curve di velocità, come riportate in allegato B e simili a quelle delle figure seguenti.

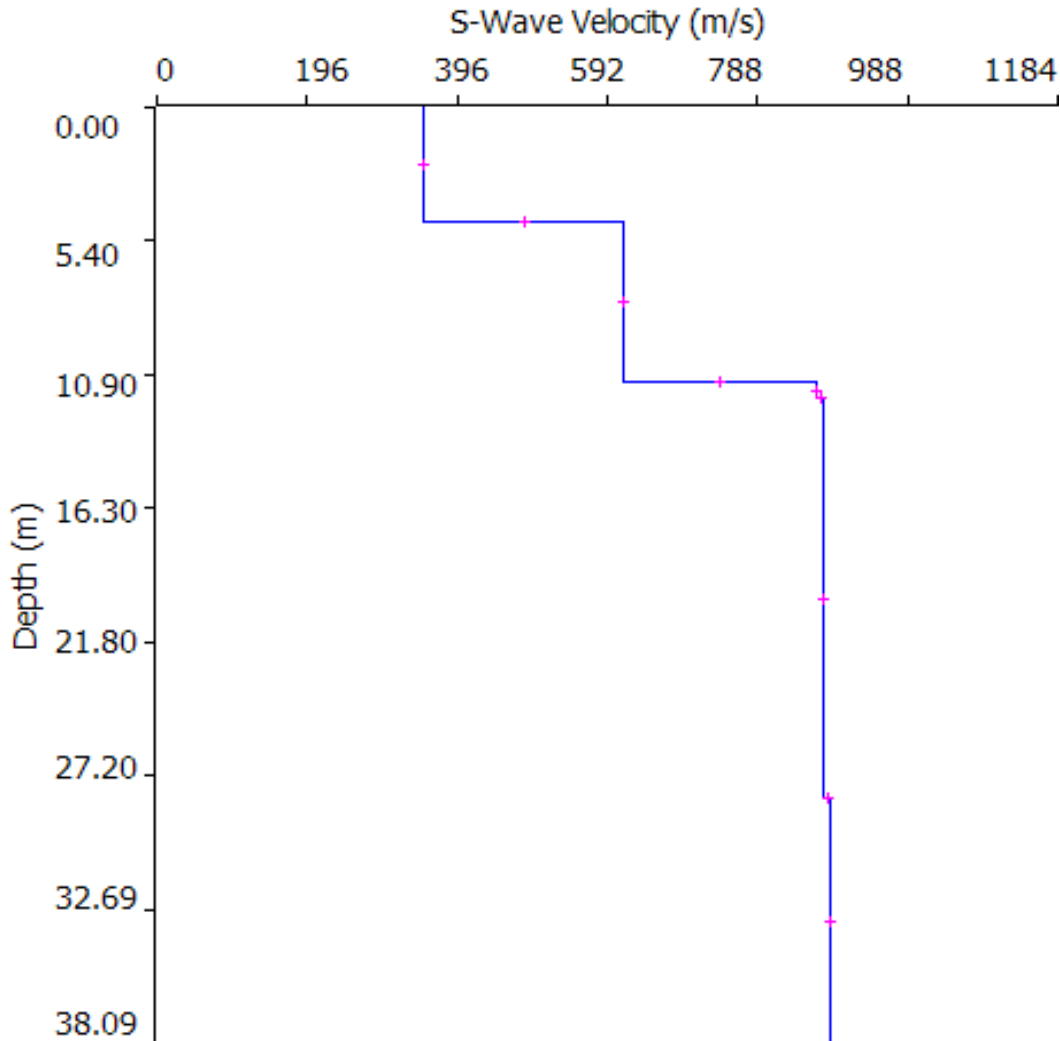


Fig. 2.4-4: Profilo di velocità monodimensionale onde S stesa MASW01.

Per ogni stendimento MASW, sono stati analizzati i profili sismici ottenuti dalle battute dirette e reciproche e dal loro stacking, e ai fini di modellazione viene utilizzato il profilo delle velocità che risulta avere il fit migliore.

In questo caso si evidenzia che, per la stesa sismica è stato interpretato il solo sismogramma diretto, e che l'inversione con il fit migliore è stata riportata in allegato A.



## 2.5 D.M. 14/01/2008 N.C.T. - CATEGORIE di PROFILO SISMICO-STRATIGRAFICO

I valori del parametro  $V_s$  calcolati permettono la definizione delle categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione, come previsto dalla vigente normativa (DM 14/01/08 NTC) ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto.

Ai fini della definizione delle "categorie di sottosuolo" si definiscono le seguenti tipologie stratigrafiche (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

- 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  $N_{SPT,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $C_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- C) Depositati 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  $15 < N_{SPT,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < C_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).
- D) Depositati 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  $N_{SPT,30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $C_{u,30} < 70$  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 definiscono altre due:

- S1) Depositati di terreni caratterizzati da valori di  $V_{s,30}$  inferiori a 100 m/s ( ovvero  $10 < C_{u,30} < 20$  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.

In base ai risultati ottenuti dall'interpretazione dei profili di velocità con tecnica MASW e ReMI, si evidenzia il valore numerico delle Vs30 relativo alla diverse stese sismiche con il fit migliore di cui:

**Tab. 2.5-1: RIEPILOGO CALCOLO Vs30**

<b>AEROGENERATORI</b>	<b>Vs30 [m/s]</b>	<b>CATEGORIA SOTTOSUOLO</b>
AE01	588	<b>B</b>
AE02	578	<b>B</b>
AE03	425	<b>B</b>
AE04	653	<b>B</b>
AE08	623	<b>B</b>
AE09	518	<b>B</b>
AE10	523	<b>B</b>
AE11	643	<b>B</b>
AE12	592	<b>B</b>
AE14	475	<b>B</b>
AE15	535	<b>B</b>
AE18	619	<b>B</b>
AE20	605	<b>B</b>
AE22	637	<b>B</b>
AE23	700	<b>B</b>
AE27	615	<b>B</b>
AE28	612	<b>B</b>
AE29	710	<b>B</b>
AE34	278	<b>C</b>
AE35	584	<b>B</b>

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica, di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

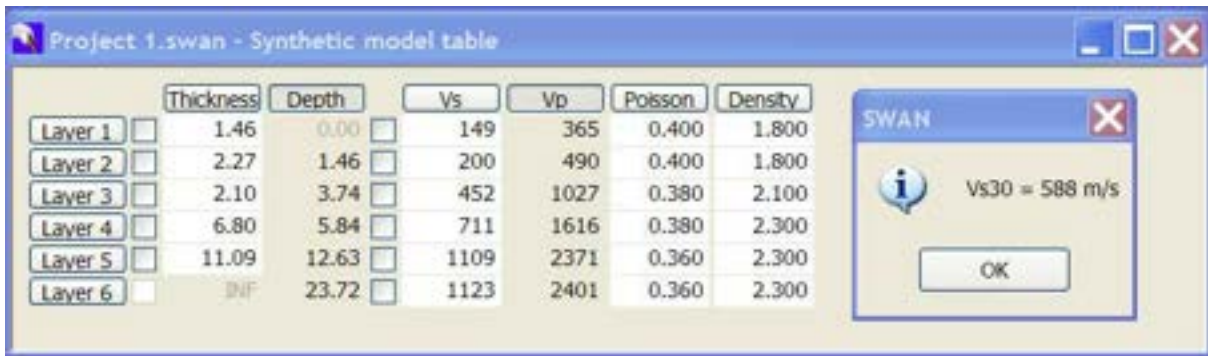


Fig. 2.5-1: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S01



Fig. 2.5-2: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S02

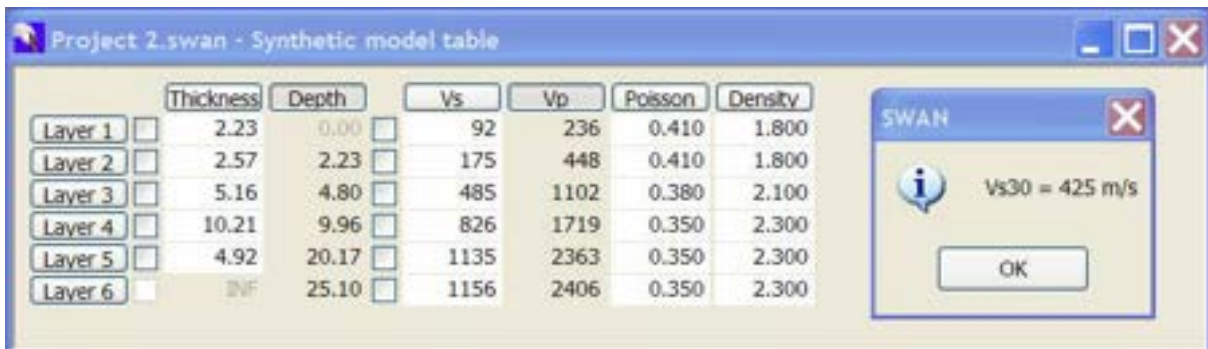


Fig. 2.5-3: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S03



Fig. 2.5-4: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S04

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica, di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)



Fig. 2.5-5: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S08

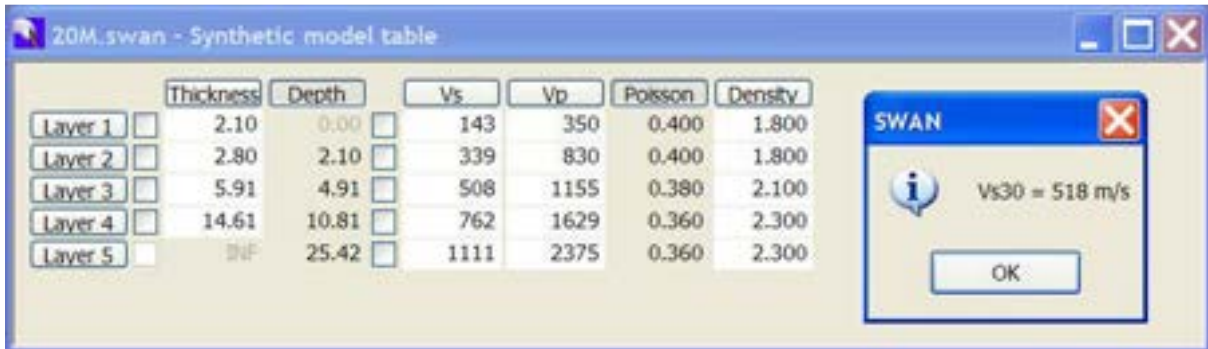


Fig. 2.5-6: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S09\_1

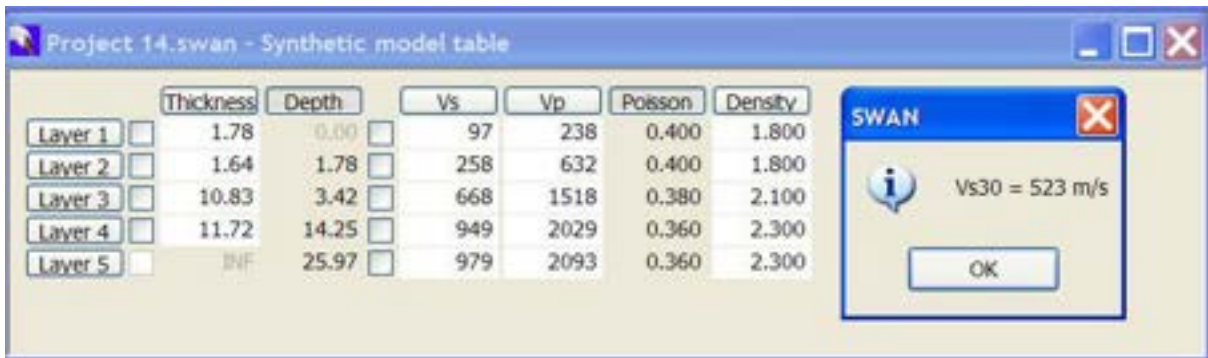


Fig. 2.5-7: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S10



Fig. 2.5-8: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S11



Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica, di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

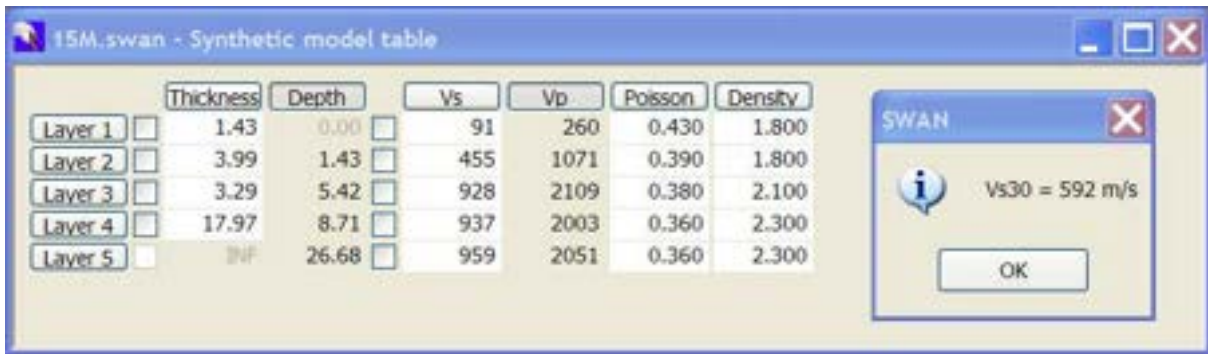


Fig. 2.5-9: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S12

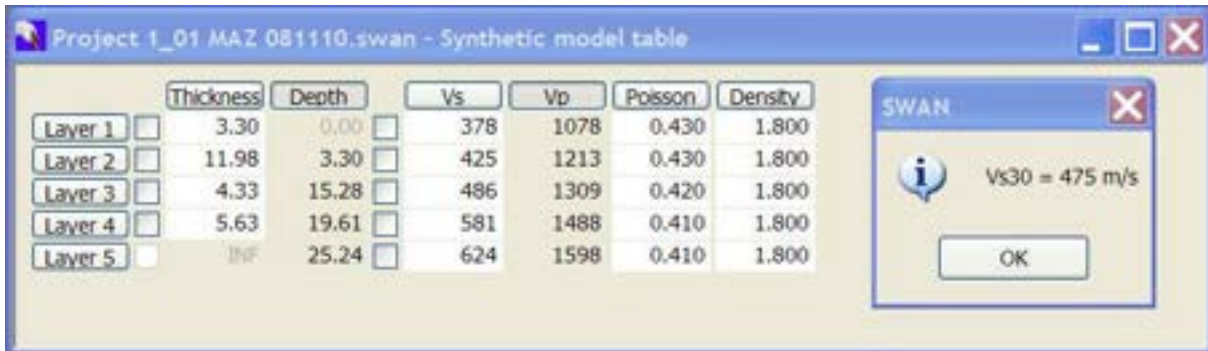


Fig. 2.5-10: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S14



Fig. 2.5-11: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S15

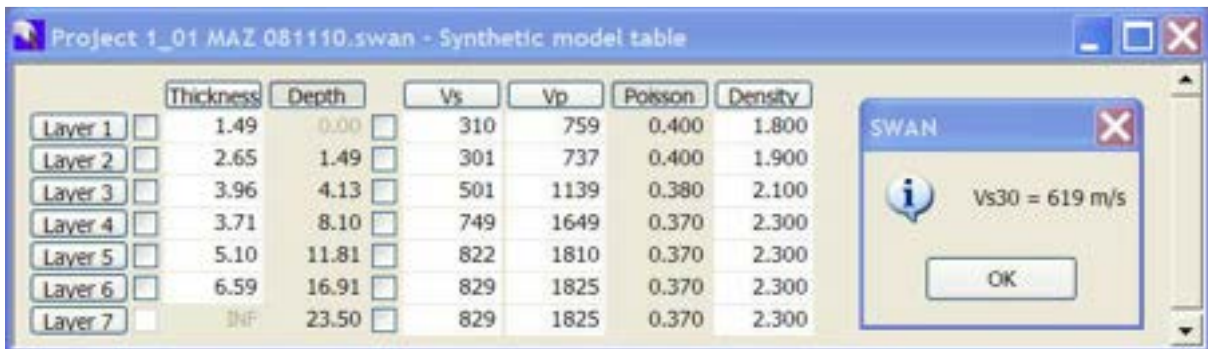


Fig. 2.5-12: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S18

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica, di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

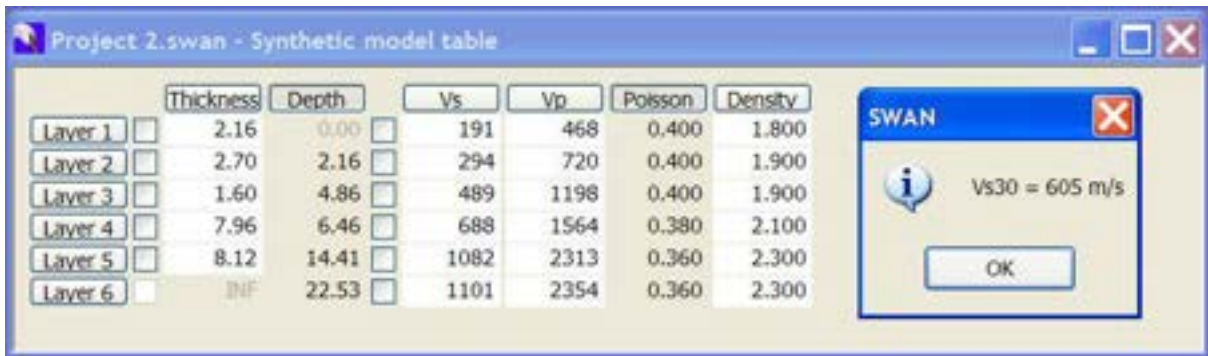


Fig. 2.5-13: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S20

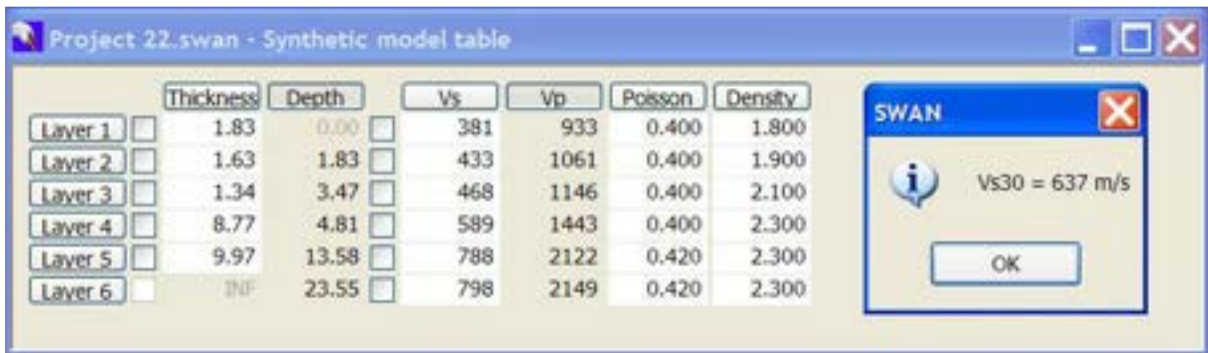


Fig. 2.5-14: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S22

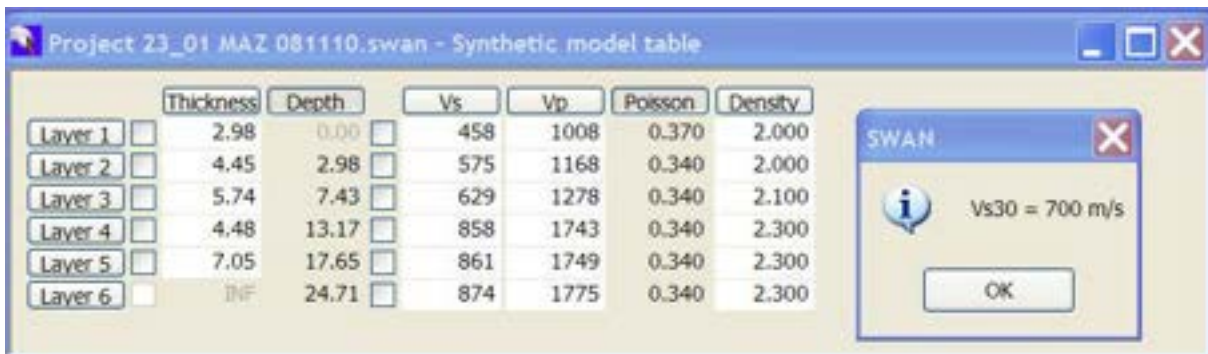


Fig. 2.5-15: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S23

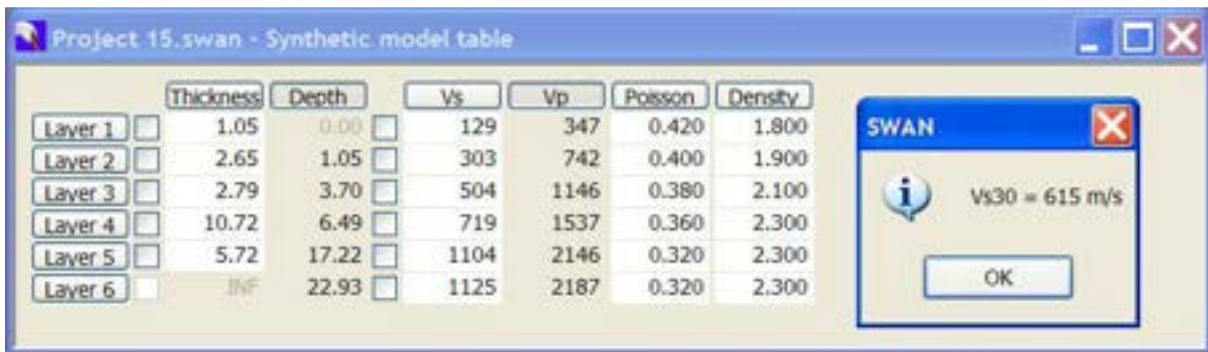


Fig. 2.5-16: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S27



Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

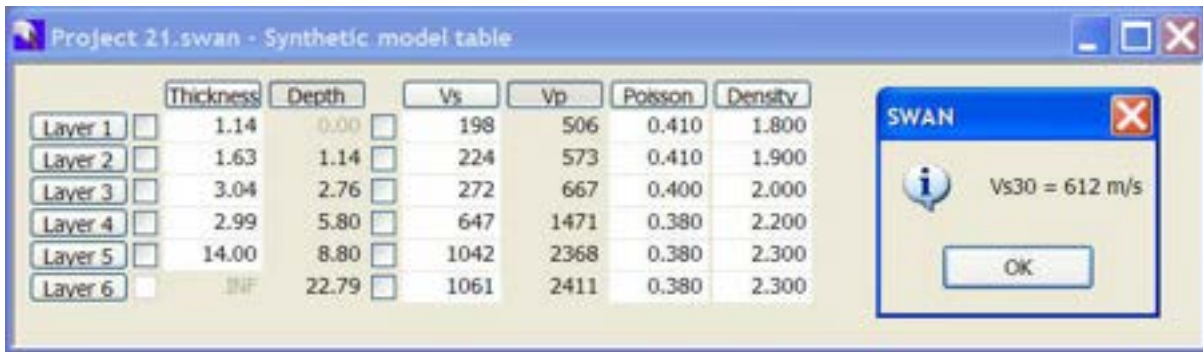


Fig. 2.5-17: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S28

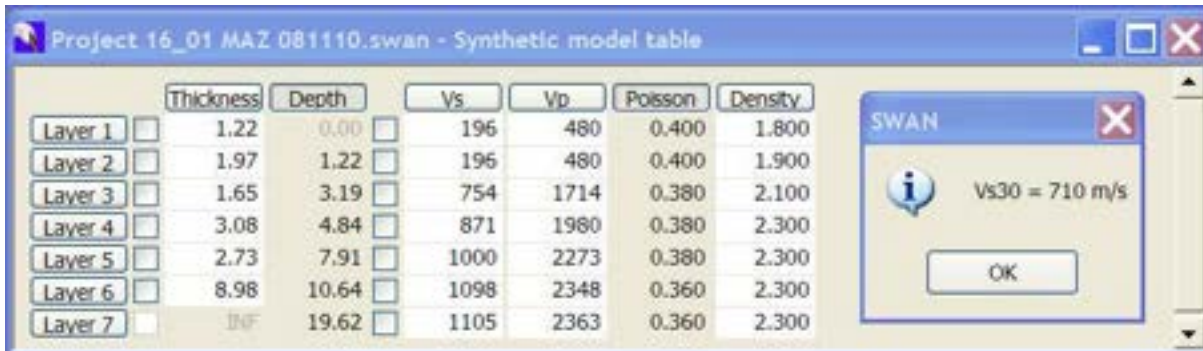


Fig. 2.5-18: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S29



Fig. 2.5-19: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S34

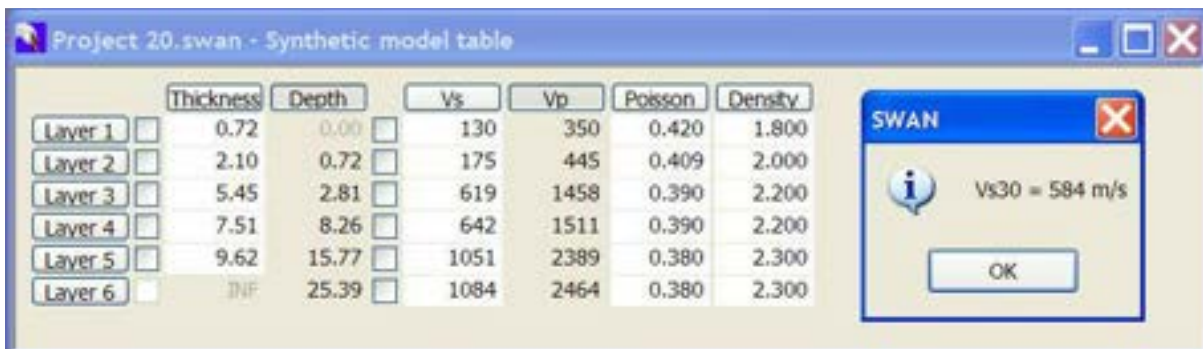


Fig. 2.5-20: STIMA VELOCITA' Vs30 – MASW S35

Per i sismogrammi analizzati, è stato generalmente possibile evidenziare un miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche, caratterizzato da velocità  $V_s$  crescenti con la profondità.

Come indicato dalla normativa vigente il sottosuolo resede della ipotizzata opera in progetto, in considerazione di un approccio a favore di sicurezza, è classificabile, ad eccezione dell'aerogeneratore 34, come:

- **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)

Per quanto riguarda l'aerogeneratore 34, invece, il terreno è classificabile come:

- **C)** Depositati 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).



## **2.6 D.M. 14/01/2008 – PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE**

Ai fini di una completa caratterizzazione sismica dell'area oggetto di studio, e in considerazione di quanto indicato al punto 3.2 delle NCT2008, si riporta la "VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA" in termini di "Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali".

Gli spettri di risposta sono stati ottenuti con il software "Azioni sismiche - Spettri di risposta ver. 1.03" messo on line sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Tale software fornisce gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale.

Con riferimento all'area oggetto di studio si evidenzia, che le determinazioni dei parametri sismici, e le COORDINATE GEOGRAFICHE sono riferite all'area in località Poggio Tre Vescovi nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC); gli stendimenti effettuati ricadono in due diversi reticoli. In particolare:

- Gli stendimenti S01, S02\_1, S02\_2, S03, S04\_1, S04\_2 e S12 ricadono nel reticolo che ha come nodi: 20070, 20071, 20292 e 20293; nelle figure che seguono lo chiameremo reticolo sinistro.
- Tutti gli altri stendimenti ricadono nel reticolo che ha come nodi: 20071, 20072, 20293 e 20294; nelle figure che seguono lo chiameremo reticolo destro.

Il software individua nella fase IA, la posizione del punto di coordinate inserite rispetto al reticolo dei punti di accelerazione calcolati, come indicato nella figura seguente:

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

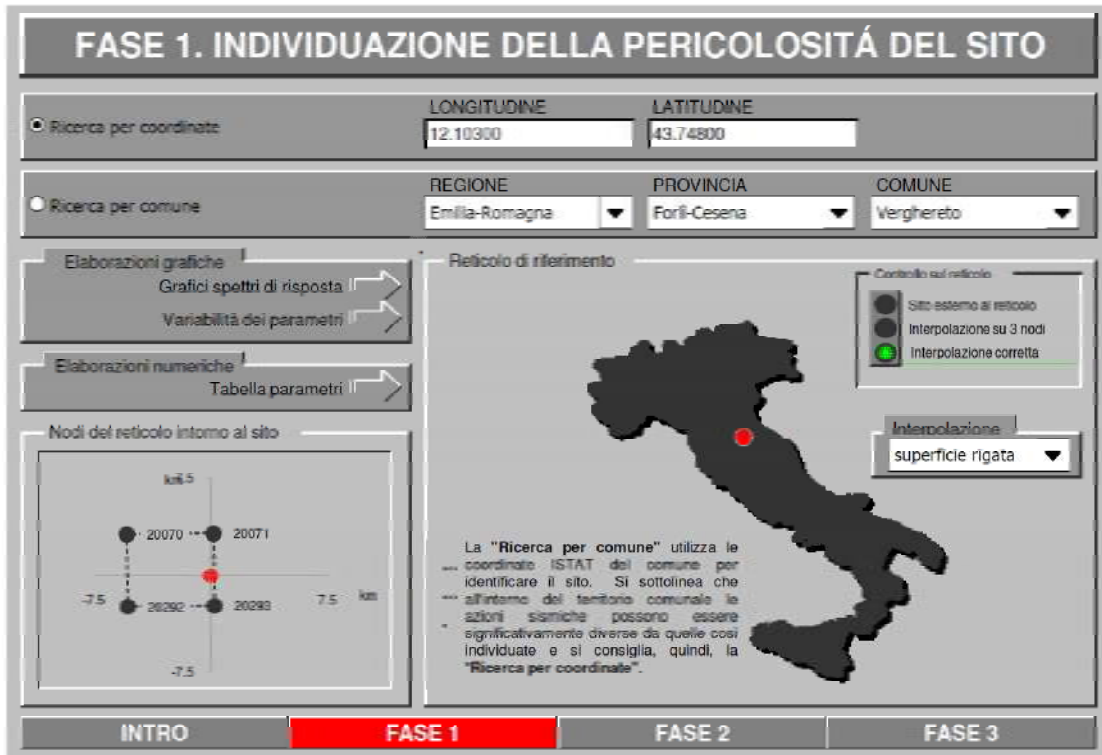


Fig. 2.6-1: Individuazione punto di coordinate note rispetto al reticolo di calcolo (RETICOLO OVEST).



Fig. 2.6-2: Individuazione punto di coordinate note rispetto reticolo di calcolo (RETICOLO EST).

In seguito all'individuazione del punto oggetto di analisi, si ottengono una serie di elaborazioni grafiche, di seguito riportate di cui:

- spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali;
- grafici di variabilità sito specifica dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  rispetto al periodo di ritorno considerato;
- Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  rispetto al periodo di ritorno considerato.

### Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento

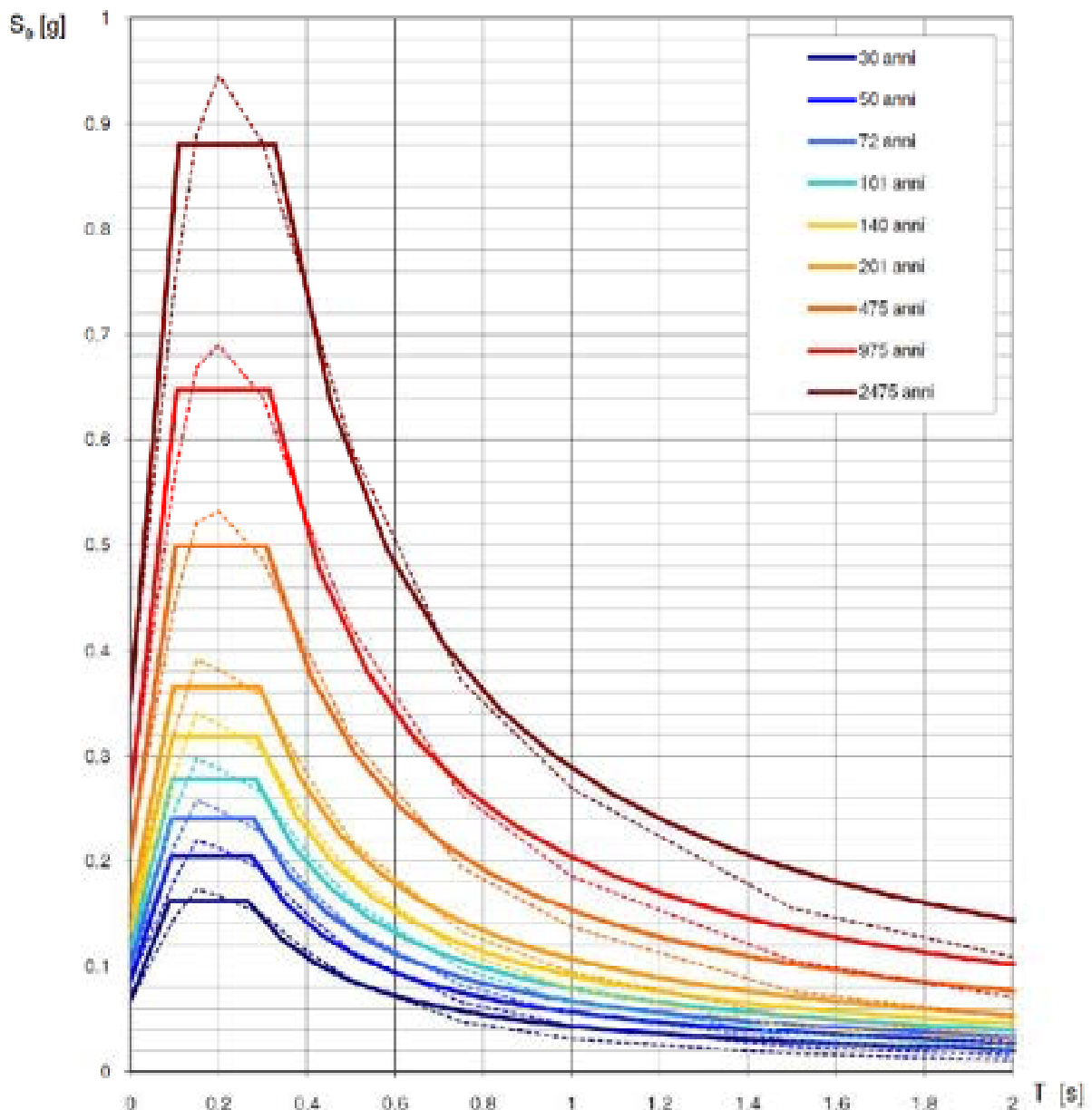


Fig. 2.6-3: Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali (RETICOLO OVEST)

### Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno $T_R$ di riferimento

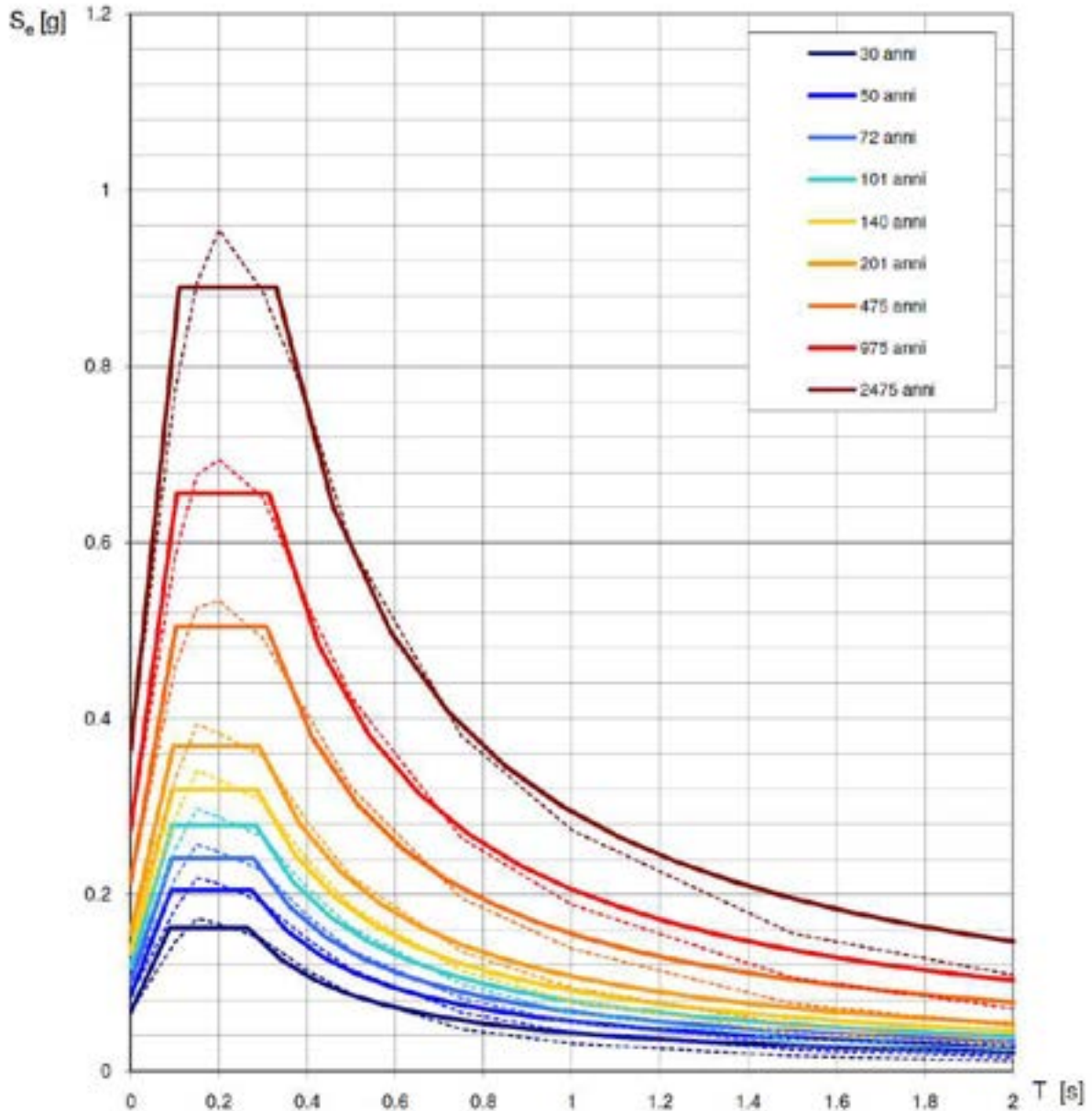
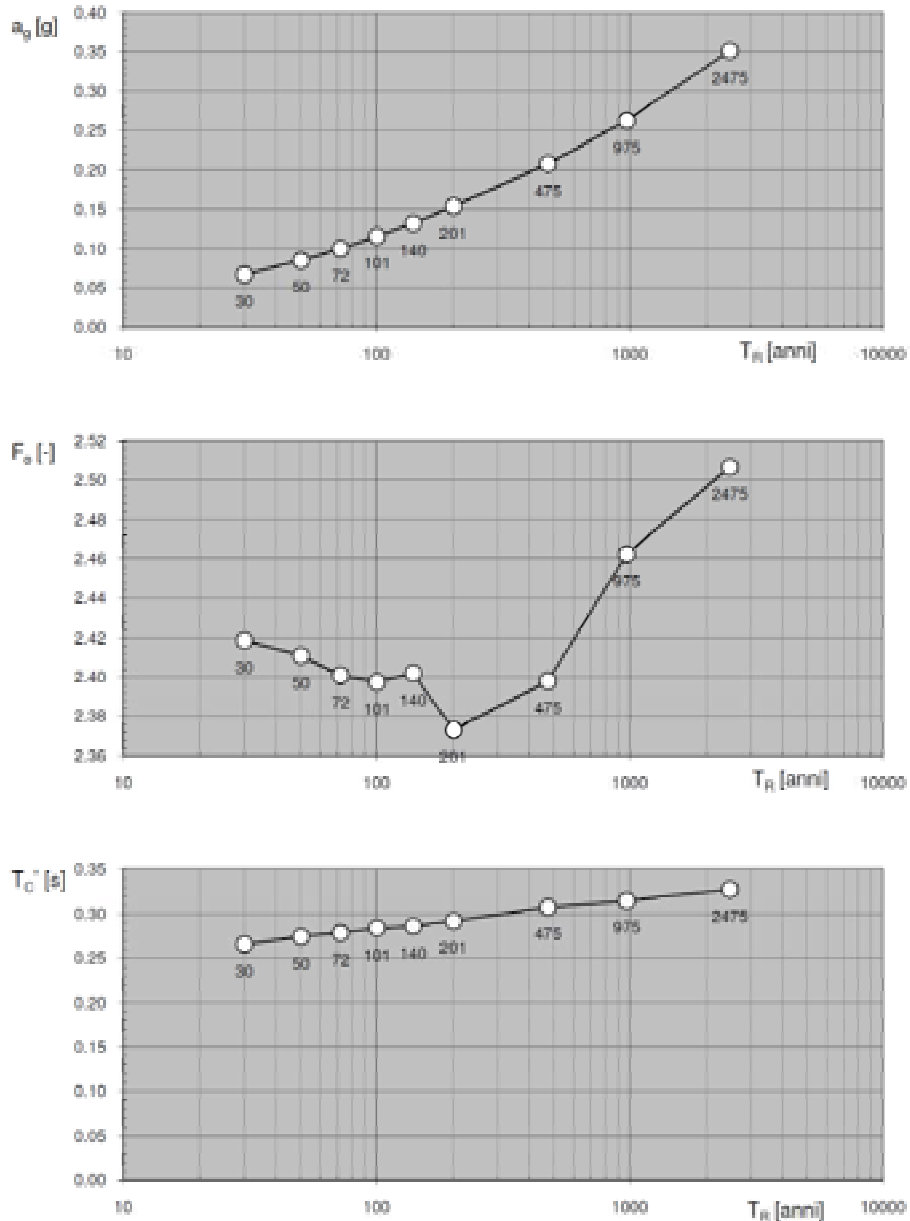


Fig. 2.6-4: Spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali (RETICOLO EST)

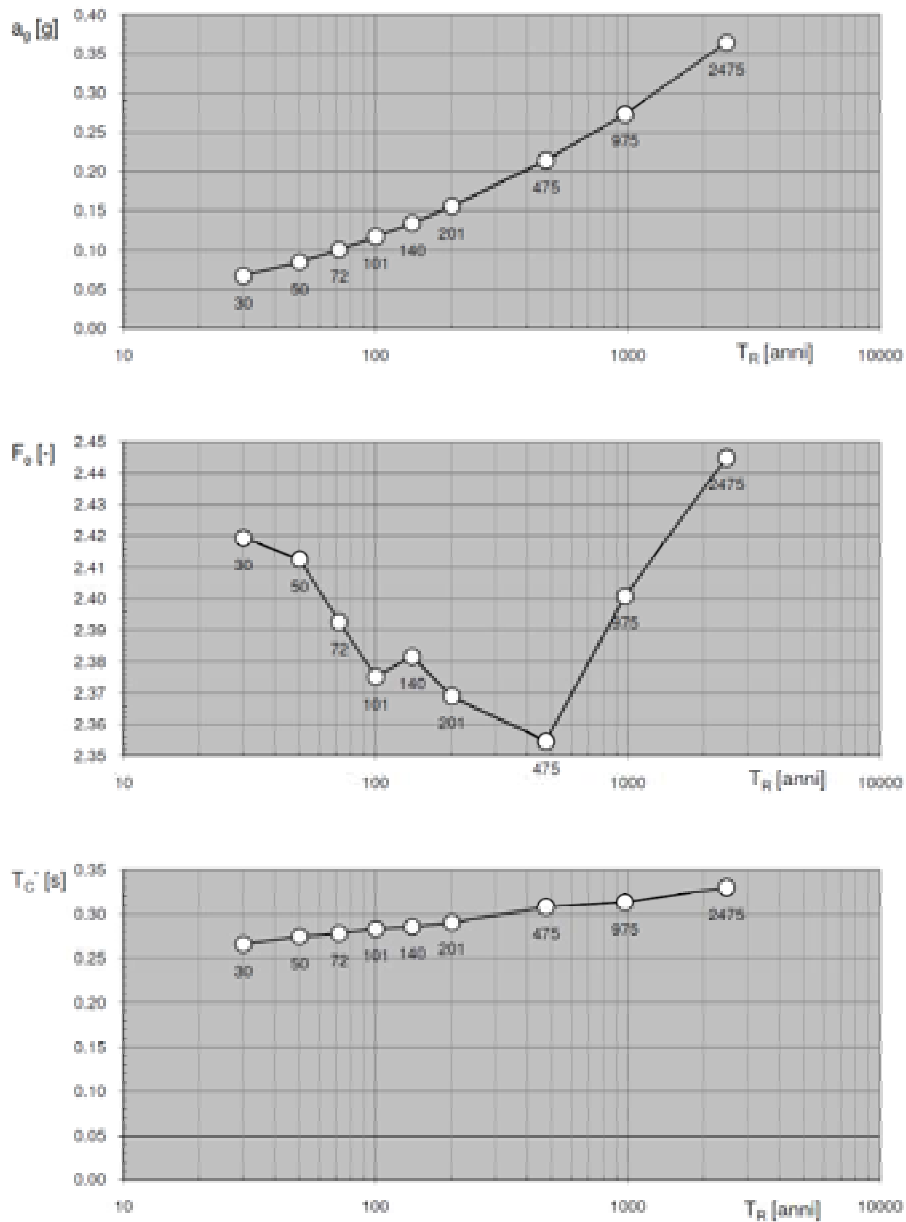
Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

**Fig. 2.6-5: Grafici di variabilità sito specifica dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  rispetto al periodo di ritorno considerato (RETICOLO OVEST)**

Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$ : variabilità col periodo di ritorno  $T_R$



La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

Fig. 2.6-6: Grafici di variabilità sito specifica dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  rispetto al periodo di ritorno considerato (RETICOLO EST)

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.067	2.419	0.266
50	0.085	2.411	0.274
72	0.100	2.401	0.279
101	0.116	2.398	0.284
140	0.133	2.402	0.286
201	0.154	2.373	0.292
475	0.208	2.398	0.308
975	0.263	2.462	0.315
2475	0.351	2.507	0.328

La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

Fig. 2.6-7: Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*C$  rispetto al periodo di ritorno considerato (RETICOLO OVEST)

**Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_C^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento**

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [s]
30	0.067	2.419	0.266
50	0.085	2.413	0.274
72	0.101	2.393	0.278
101	0.117	2.375	0.283
140	0.134	2.382	0.286
201	0.156	2.369	0.291
475	0.214	2.355	0.308
975	0.273	2.401	0.313
2475	0.364	2.445	0.330

La verifica dell' idoneità del programma, l' utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell' utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall' utilizzo dello stesso.

Fig. 2.6-8: Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*C$  rispetto al periodo di ritorno considerato (RETICOLO EST)

## **2.7 CONCLUSIONI**

Le misure effettuate con tecnica sismica attiva MASW e passiva ReMi hanno consentito di ottenere delle informazioni sulla stratificazione acustico-elastica del sottosuolo ed in particolare hanno permesso di stimare i profili verticali delle onde di taglio ( $V_s$ ) nei primi 30 m di profondità.

I valori del parametro  $V_{s30}$ , determinato con l'elaborazione dei dati sismici MASW e ReMi è risultato per tutte le stese, ad eccezione della stesa S34, compreso tra i 425 e i 674 m/s; per la stesa S34 è risultato un valore di 278 m/s.

In base all'analisi dei profili della velocità delle onde di taglio, i terreni resede delle opere nell' area oggetto di studio, possono essere definiti, ad eccezione dell'aerogeneratore 34, come:

- **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  $V_{s30}$  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)

Per quanto riguarda l'aerogeneratore 34, invece, il terreno è classificabile come:

- **C)** Depositati 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).

In questi suoli il fattore  $S$ , relativo al profilo stratigrafico del suolo di fondazione risulta essere pari a  $S = S_s * S_T$ .

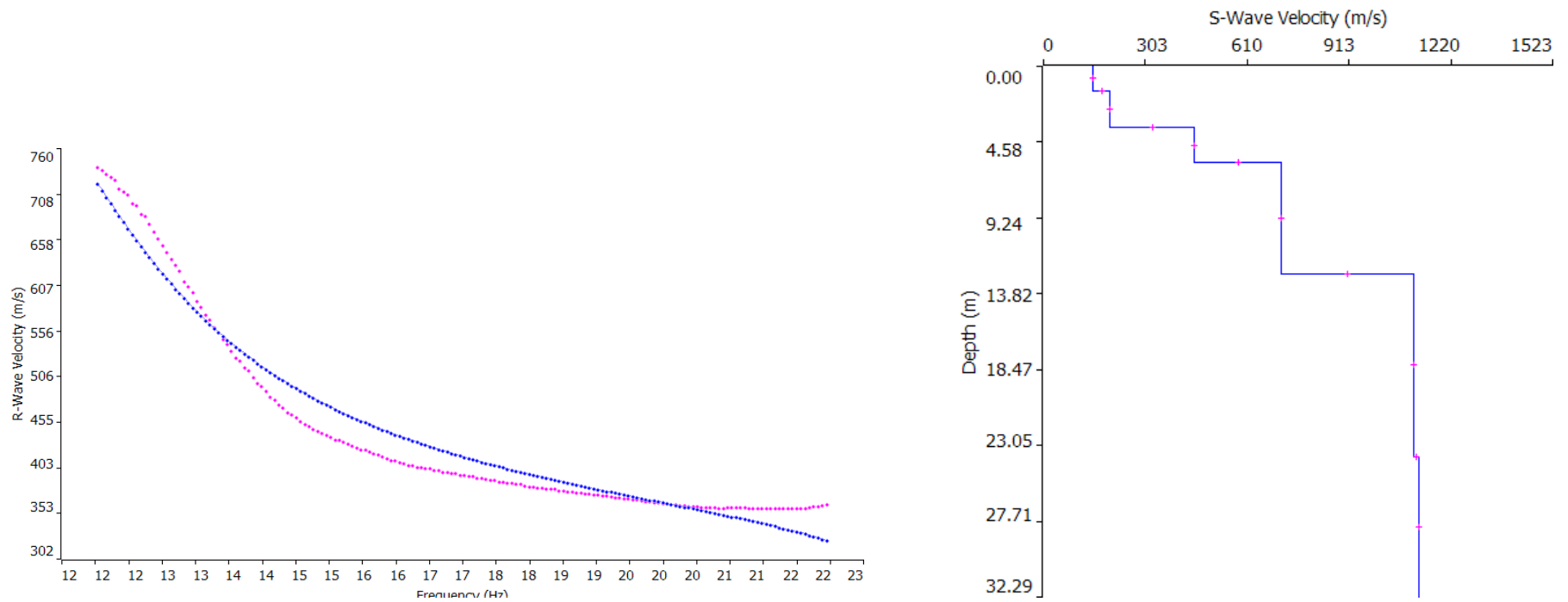
Dove  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, desumibile dalla Tab. 3.2.V delle NCT2008 in base al tempo di ritorno assegnato in funzione della tipologia ed importanza dell'opera progettata.

Dove  $S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica, desumibile dalla Tab. 3.2.VI e indicato nella relazione geologica.



Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sotto-suolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Castel delci (PU) e Verghereto (FC)

## Tav. A01 MASW AE01 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

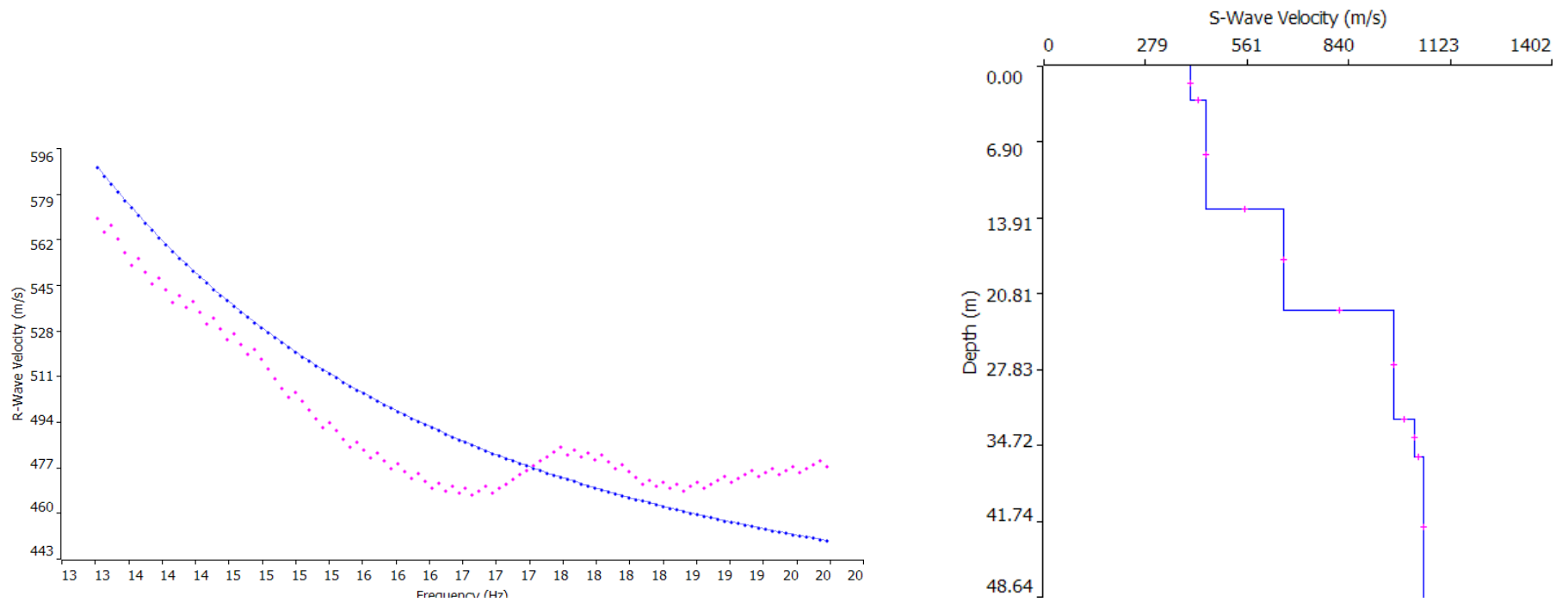


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Castel delci (PU) e Verghereto (FC)

## Tav. A02 MASW AE02 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

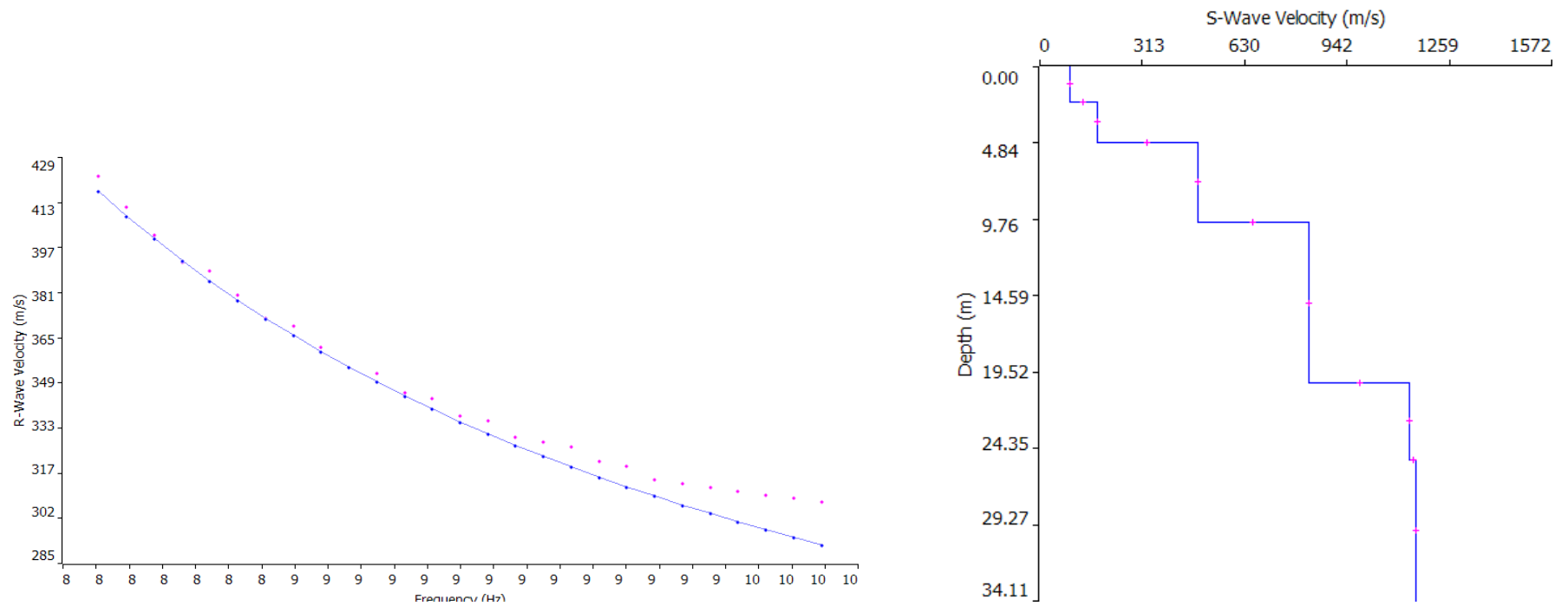


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sotto-suolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

### Tav. A03 MASW AE03 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

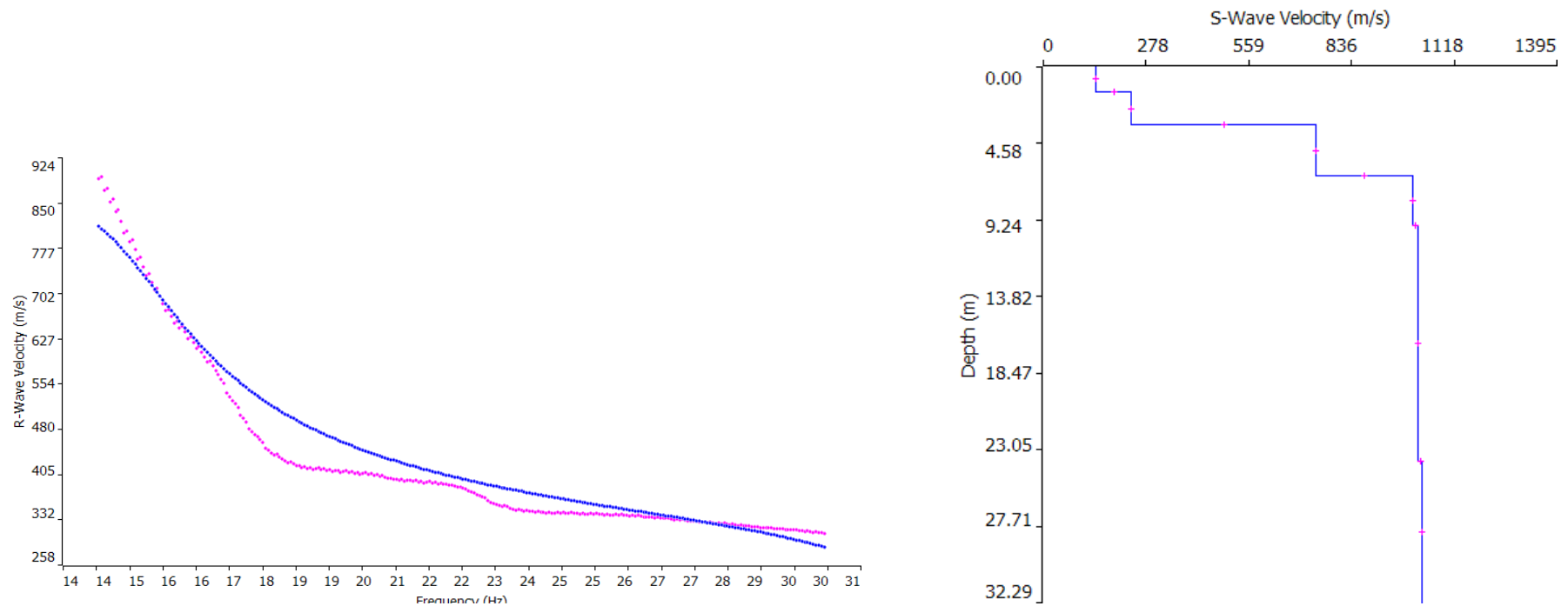


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

### Tav. A04 MASW AE04 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

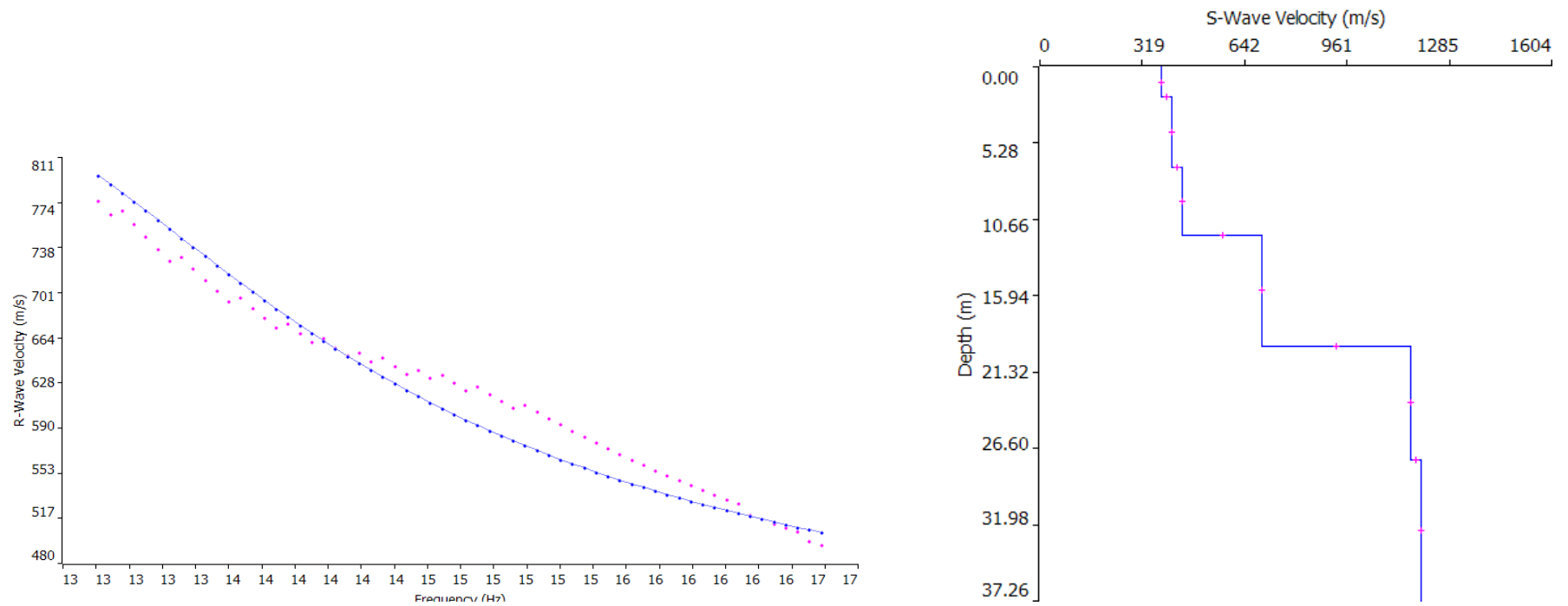


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

## Tav. A05 MASW AE08 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

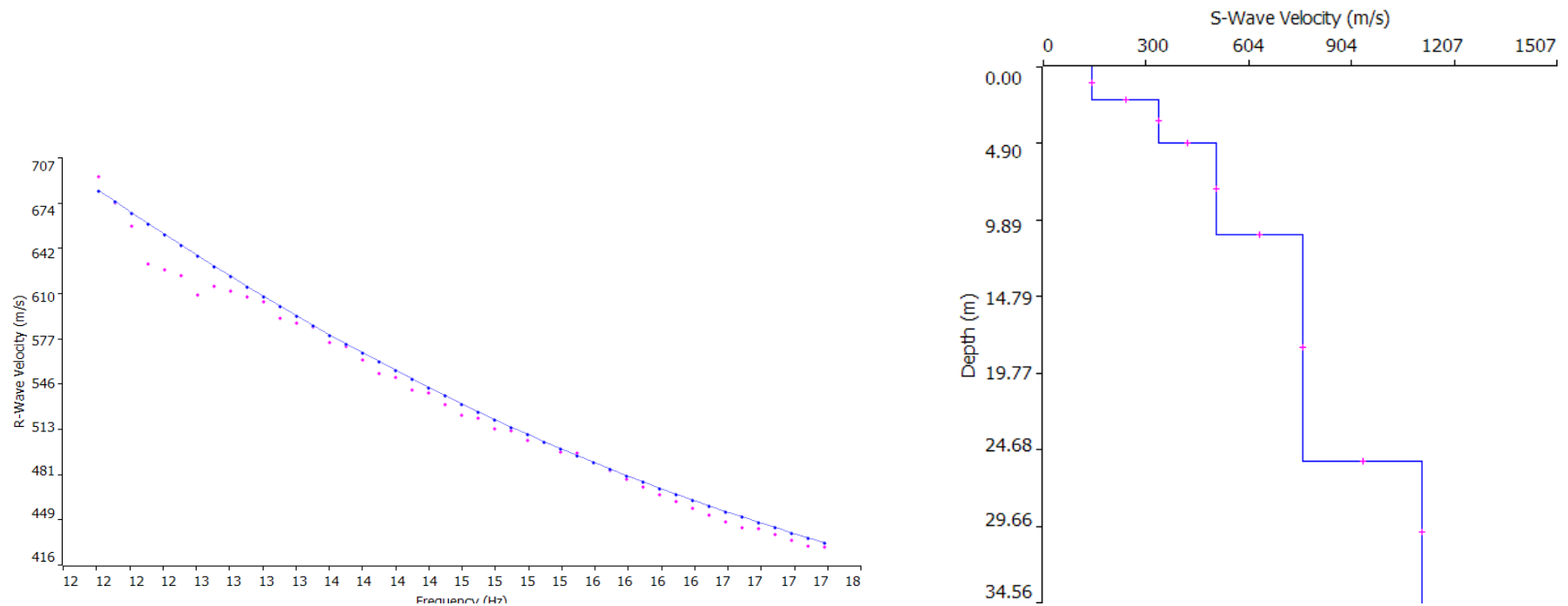


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Castel delci (PU) e Verghereto (FC)

## Tav. A06 MASW AE09 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

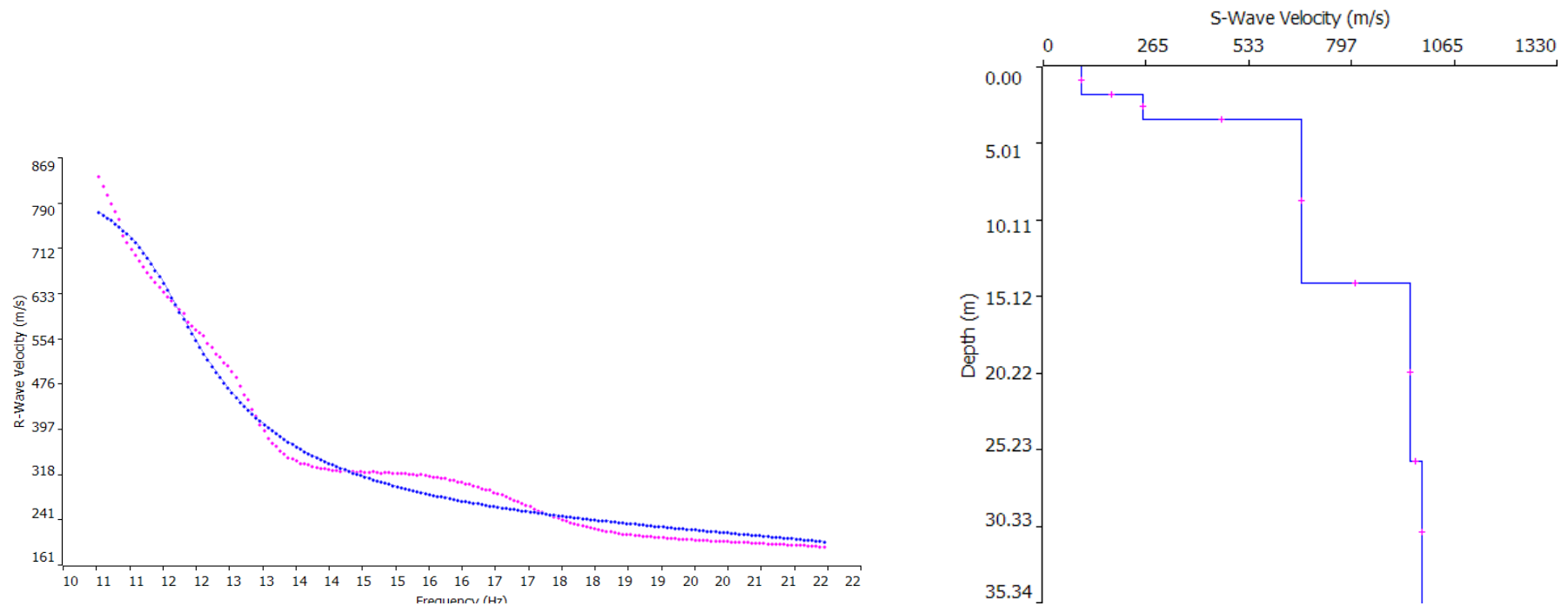


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Castel delci (PU) e Verghereto (FC)

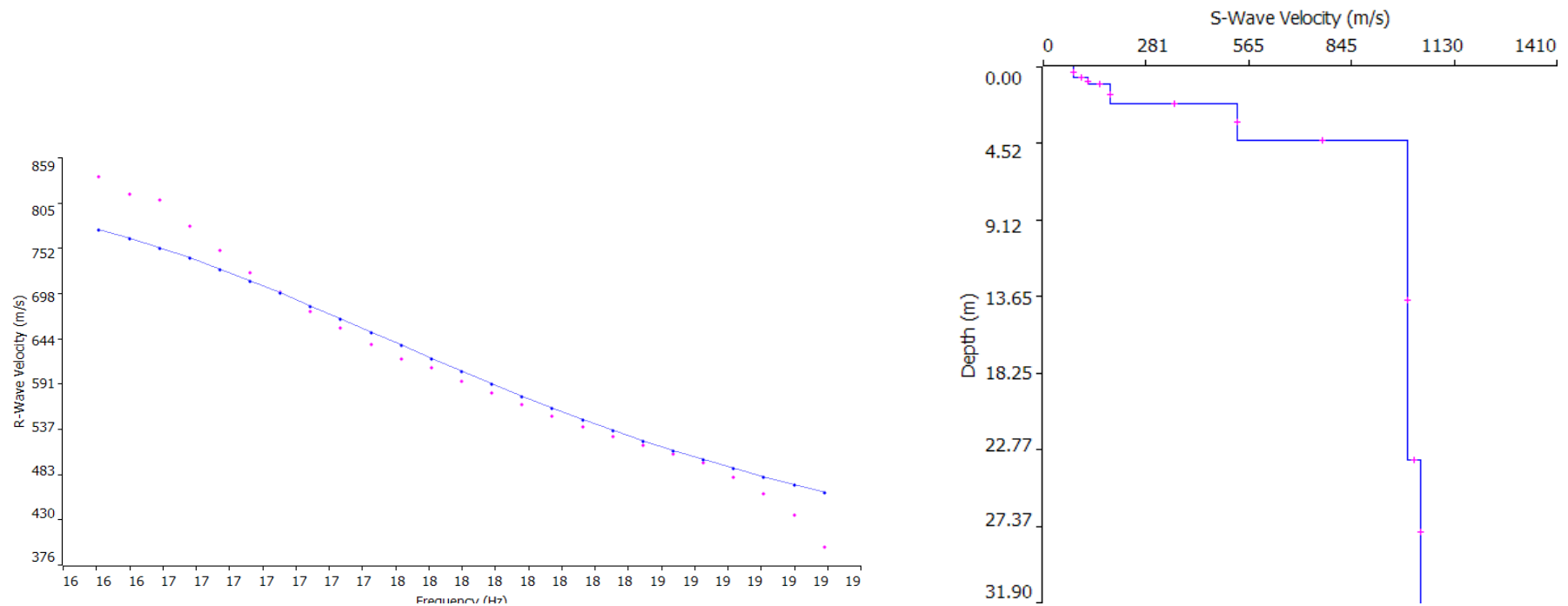
### Tav. A07 MASW AE10 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$



Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

## Tav. A08 MASW AE11 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$



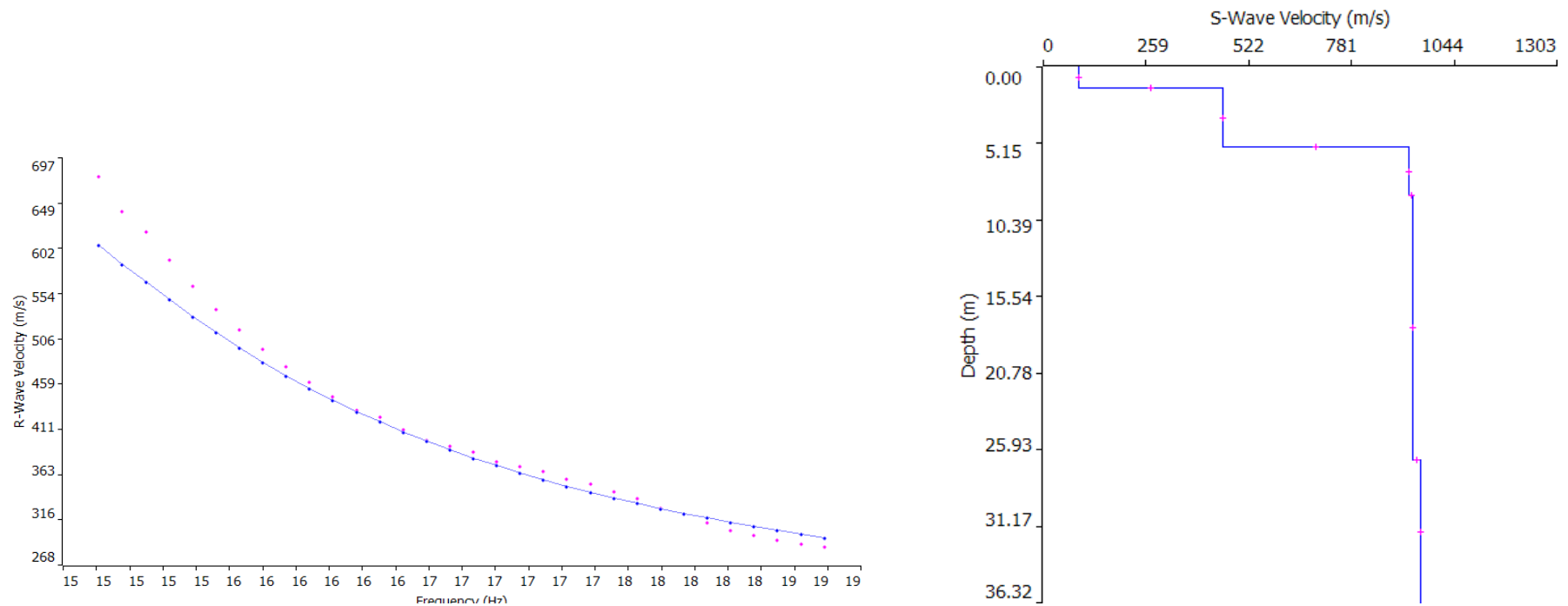
Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276



Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Castel delci (PU) e Verghereto (FC)

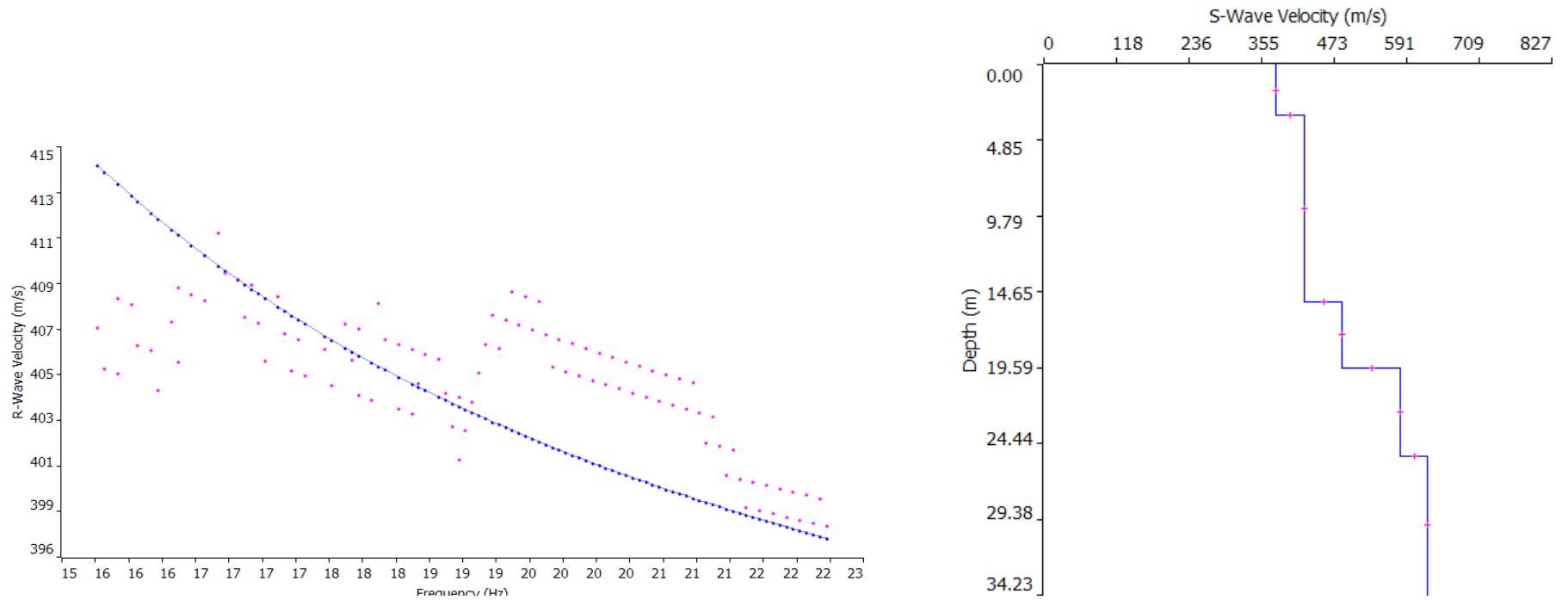
### Tav. A09 MASW AE12 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$



Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

### Tav. A10 MASW AE14 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

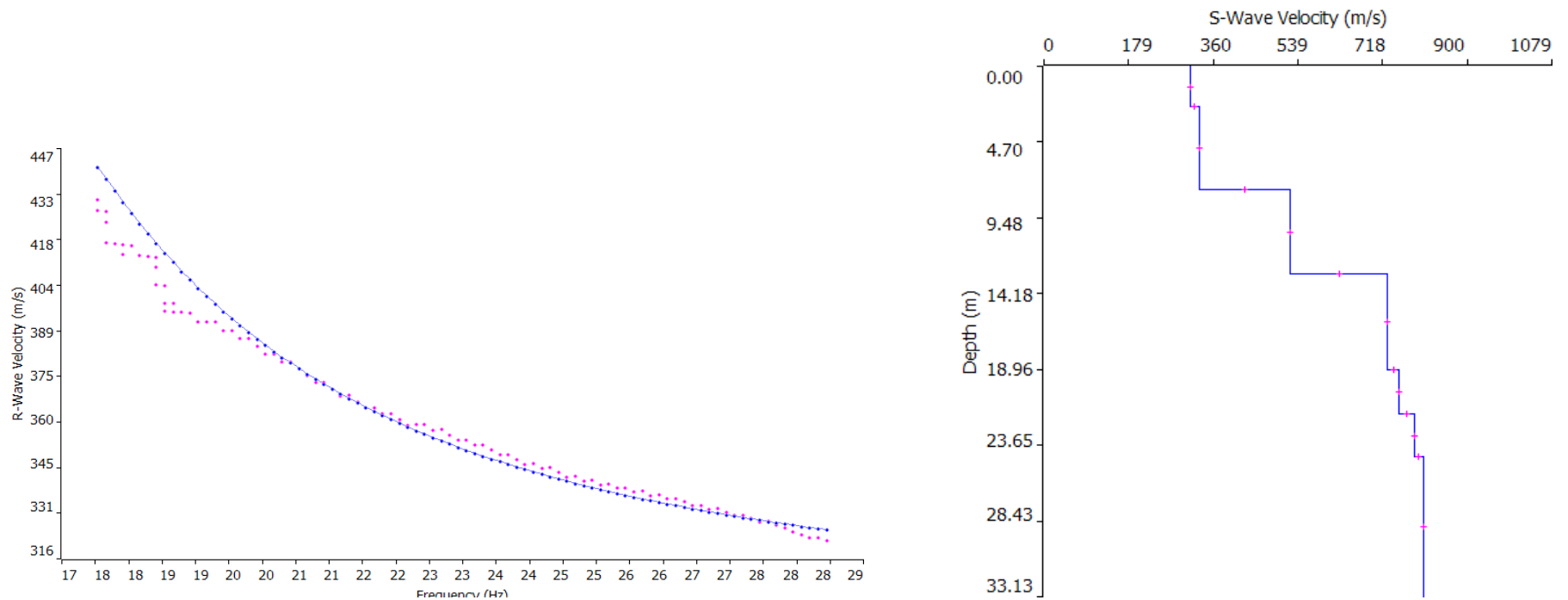


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sotto-suolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

### Tav. A11 MASW AE15 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

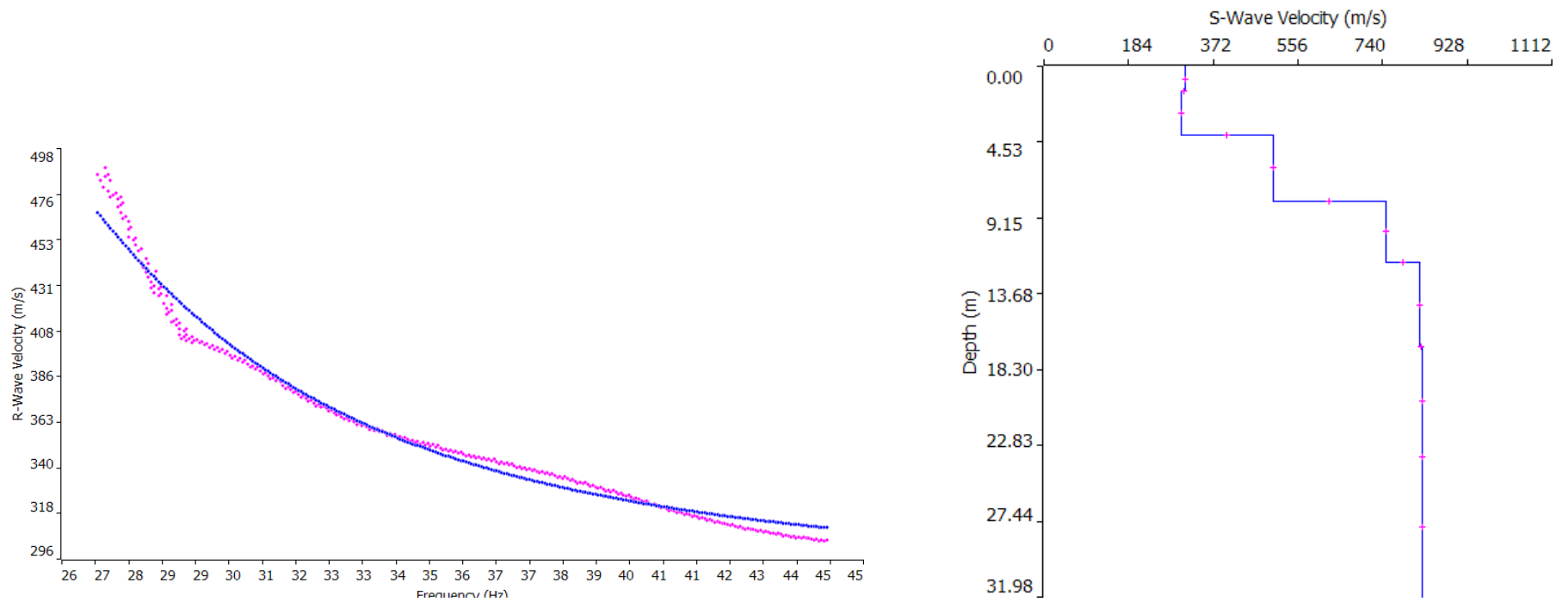


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Castel delci (PU) e Verghereto (FC)

## Tav. A12 MASW AE18 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

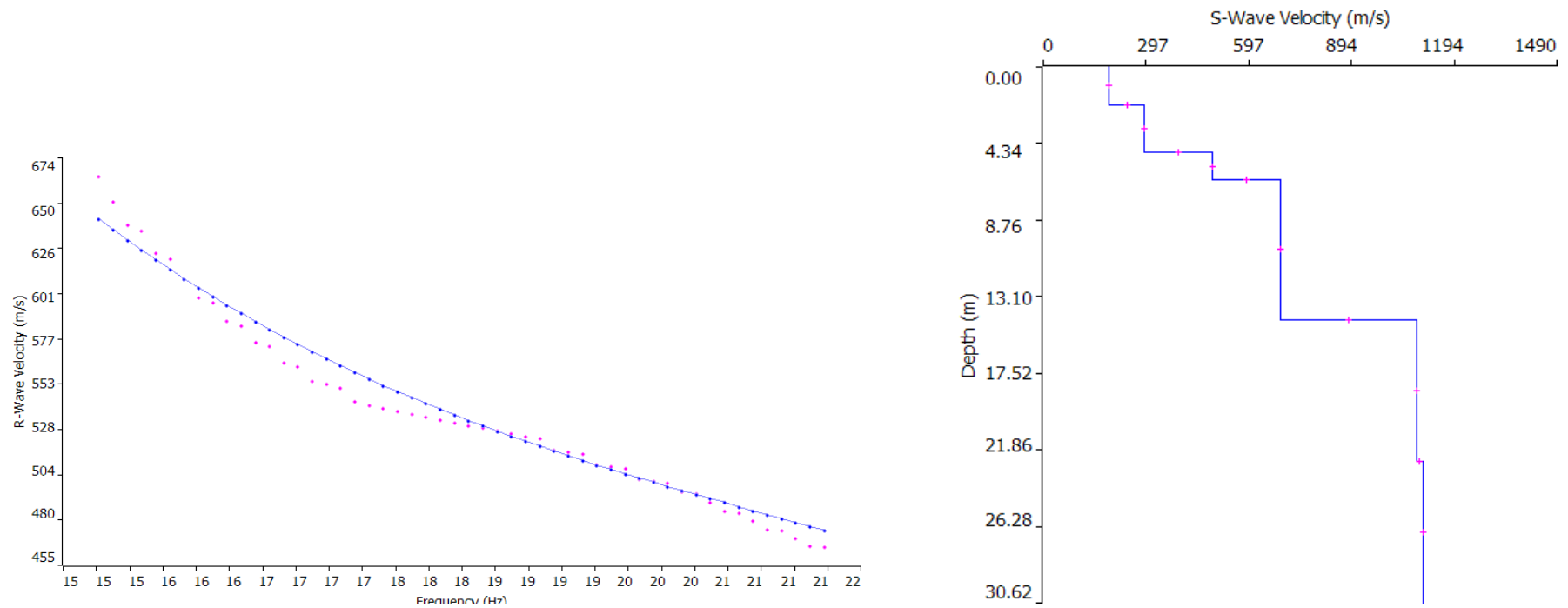


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

### Tav. A13 MASW AE20 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

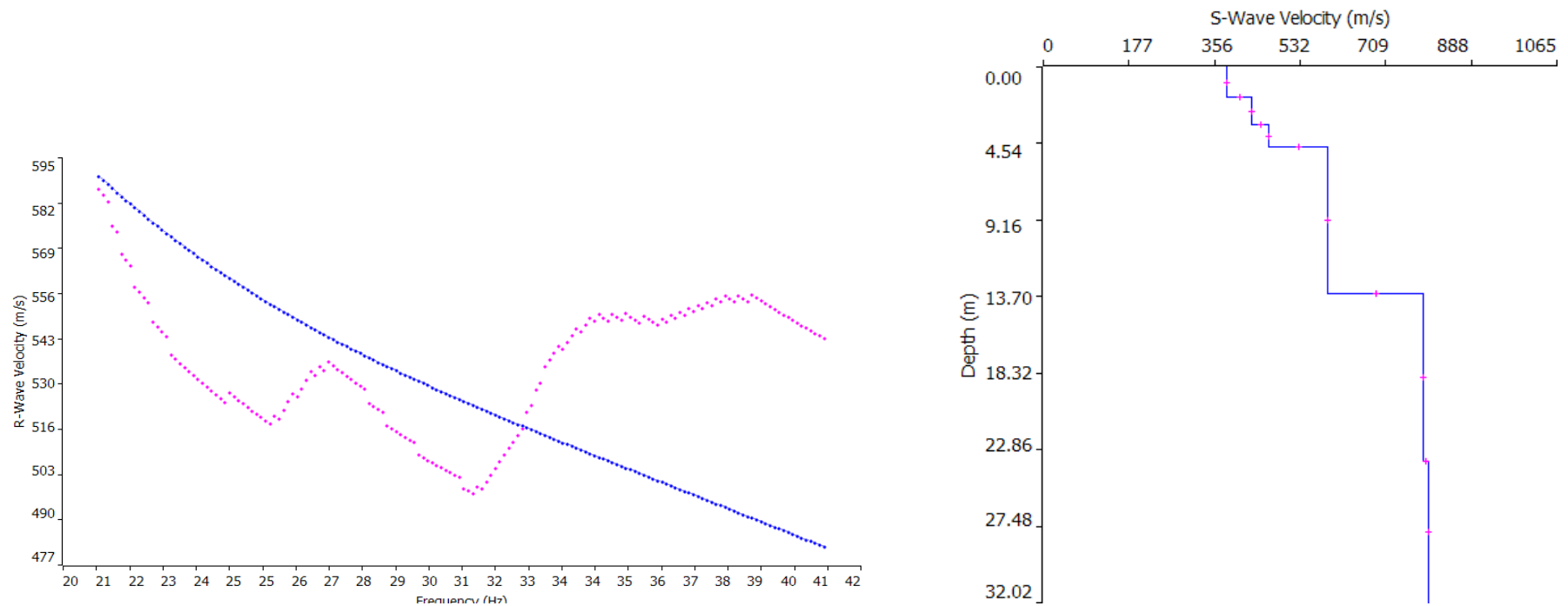


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

### Tav. A14 MASW AE22 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

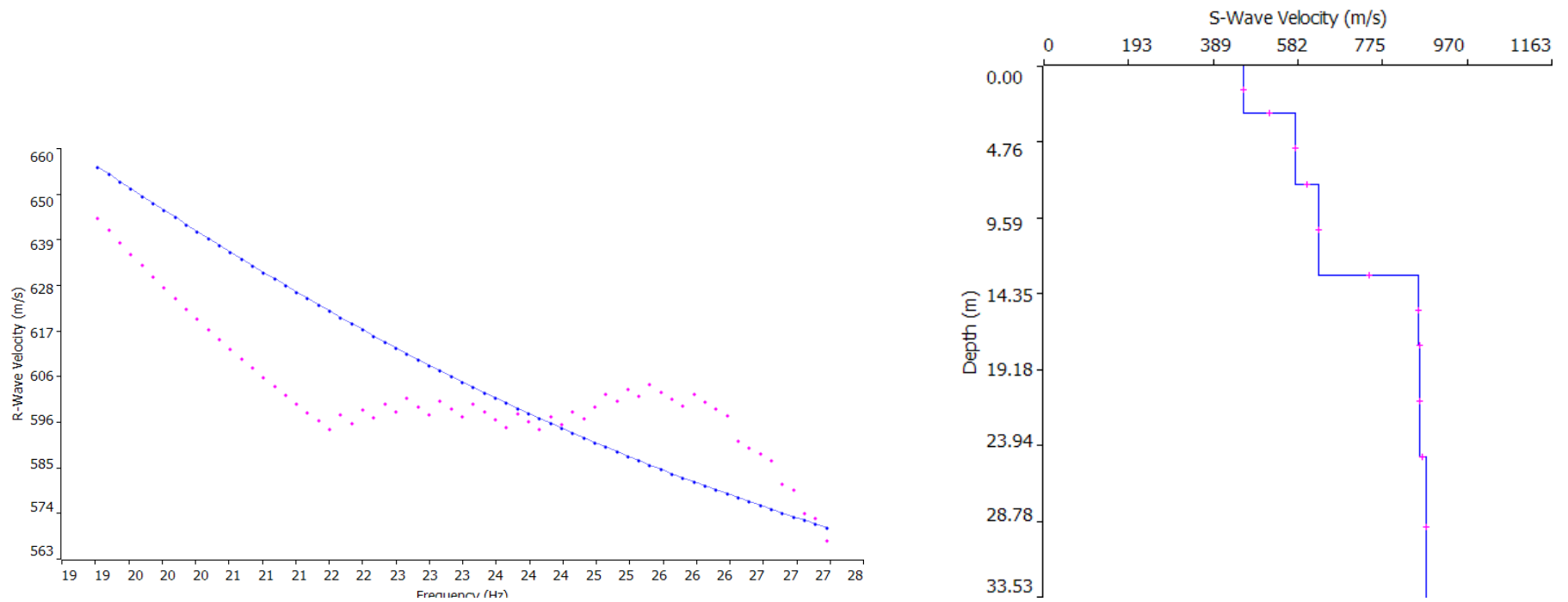


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Castel delci (PU) e Verghereto (FC)

### Tav. A15 MASW AE23 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$



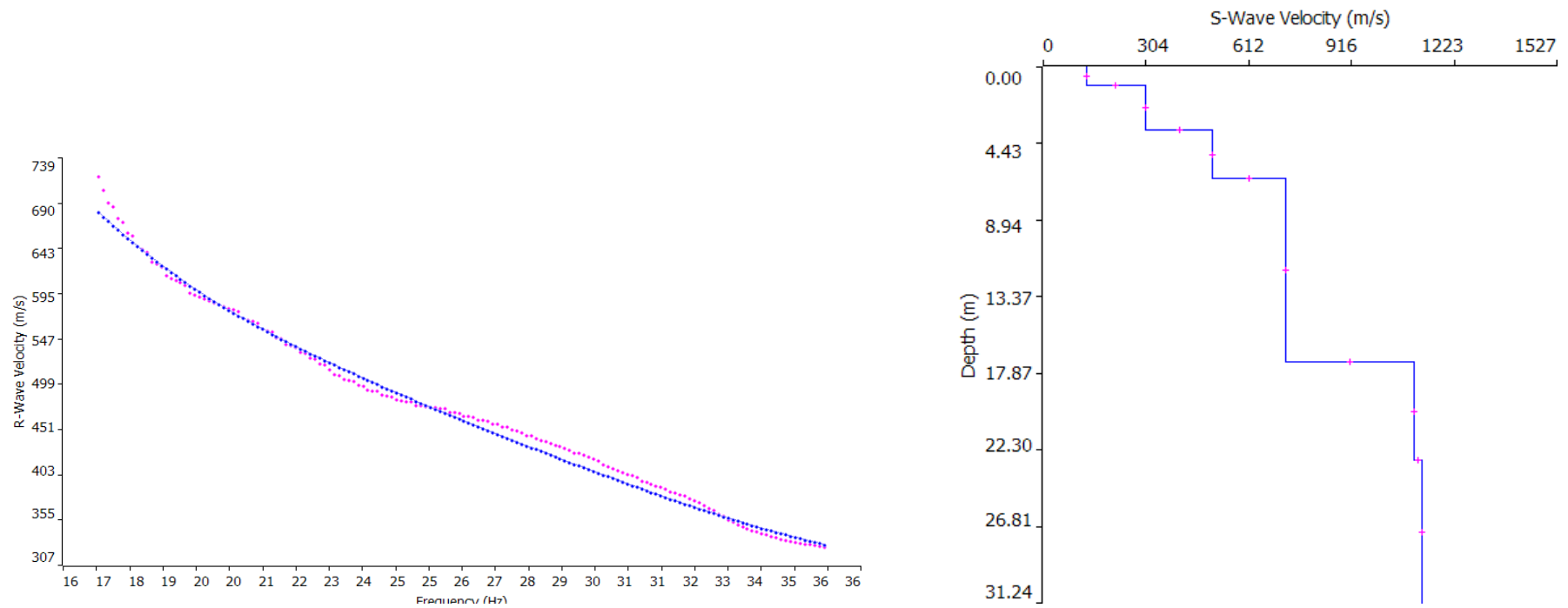
Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276



Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Castel delci (PU) e Verghereto (FC)

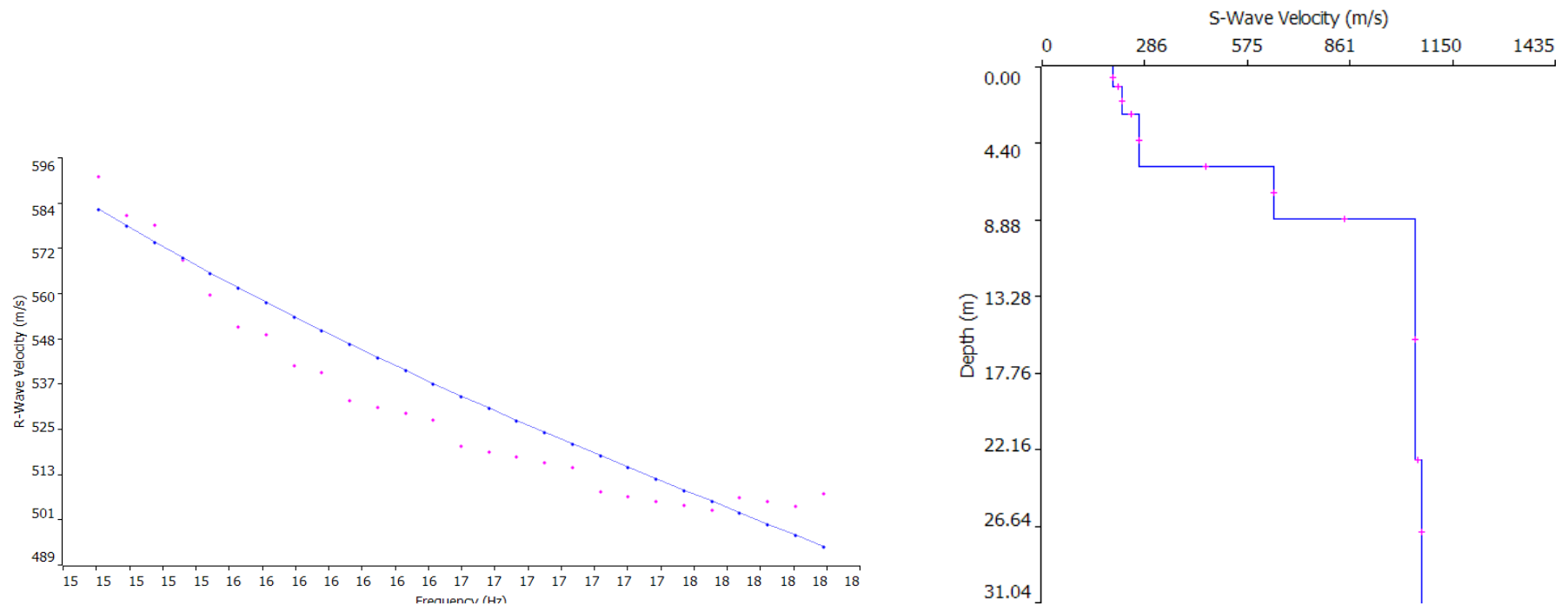
### Tav. A16 MASW AE27 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$



Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

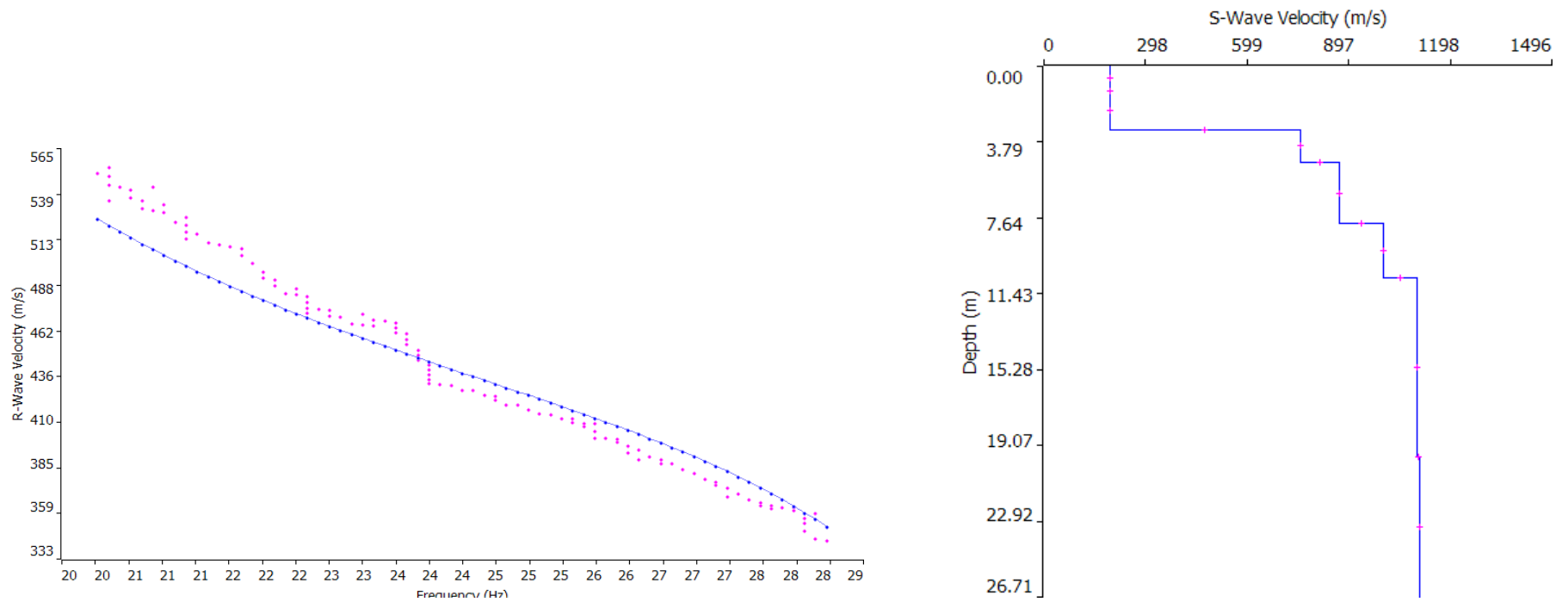
### Tav. A17 MASW AE28 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$



Scala orizzontale e verticale non definita

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Castel delci (PU) e Verghereto (FC)

## Tav. A18 MASW AE29 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

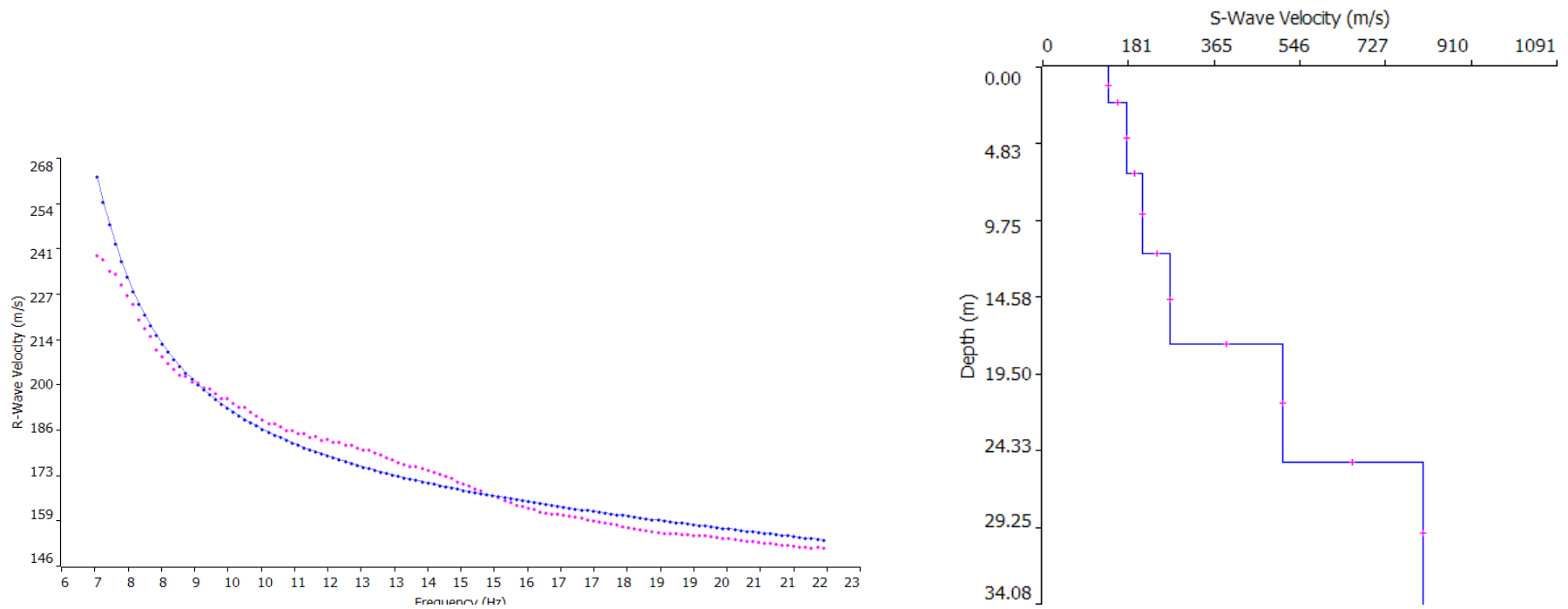


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

### Tav. A19 MASW AE34 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$

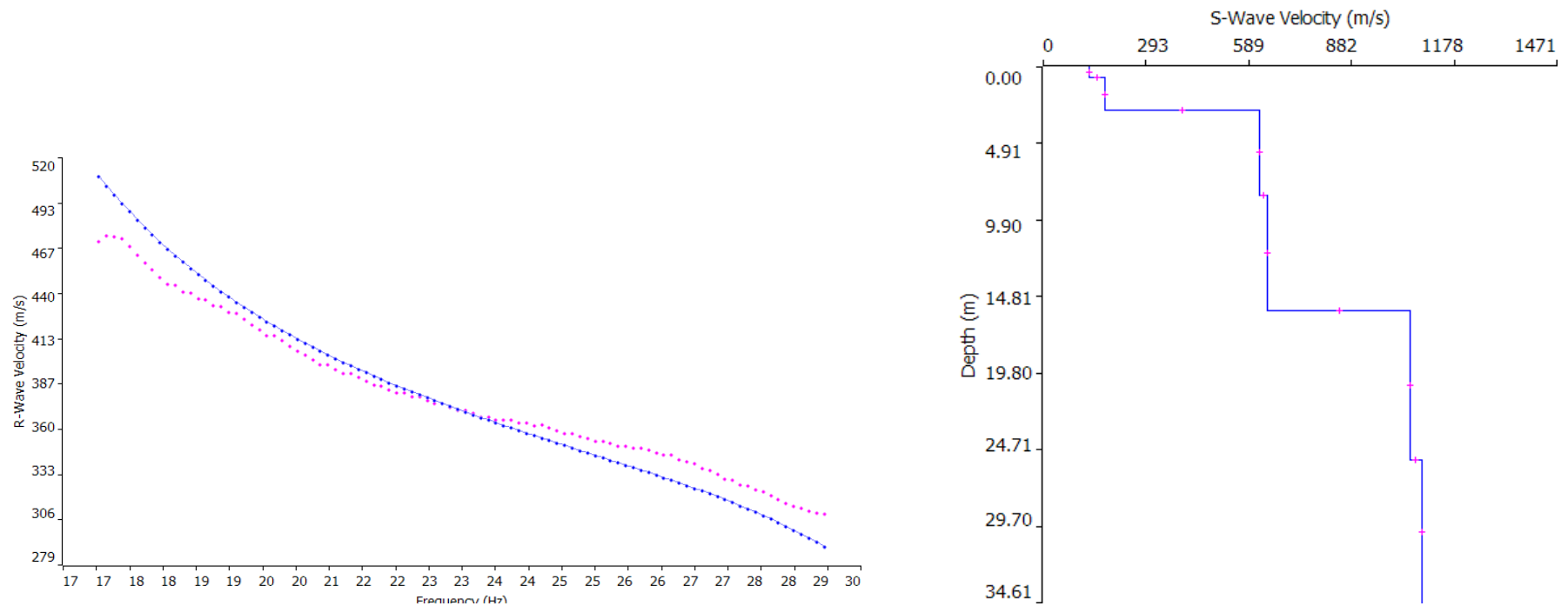


Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276

Indagini geofisiche, sismiche integrate, tomografia rifrazione onde P e sequenziale onde S, di supporto alla caratterizzazione geomeccanica e sismica di sottosuolo dei terreni del parco eolico "Poggio Tre Vescovi", sito nei Comuni di Badia Tedalda (AR), Casteldelci (PU) e Verghereto (FC)

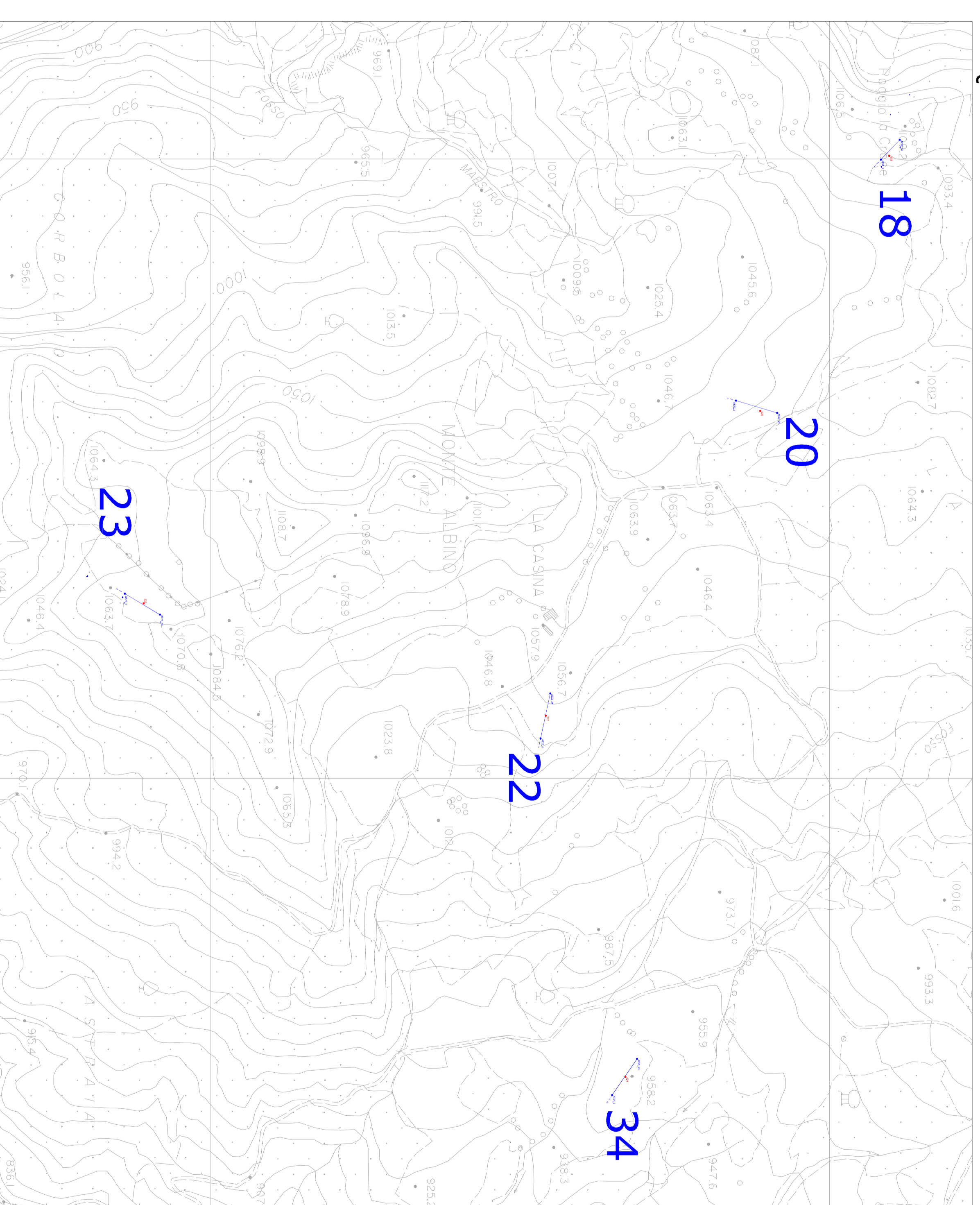
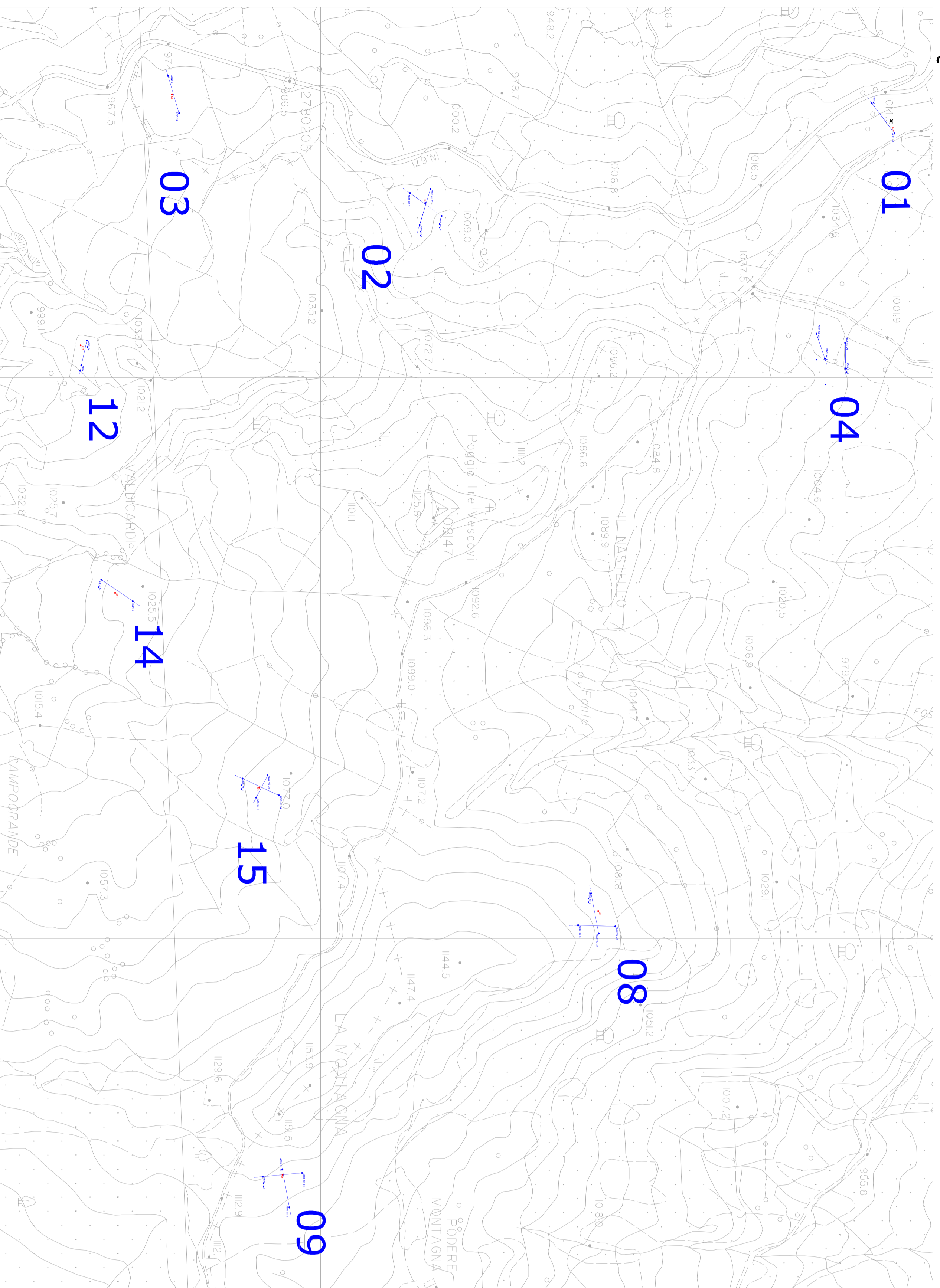
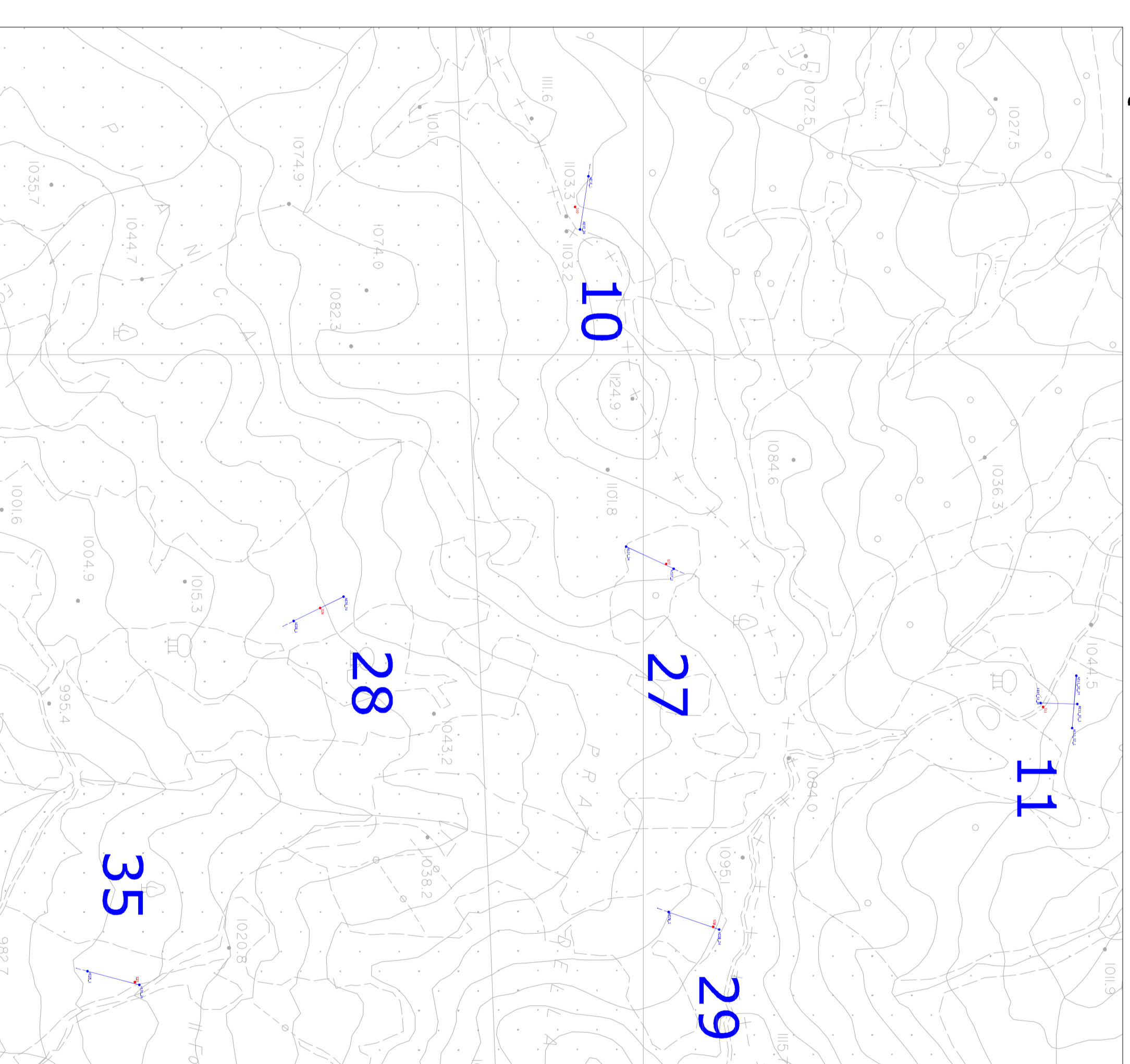
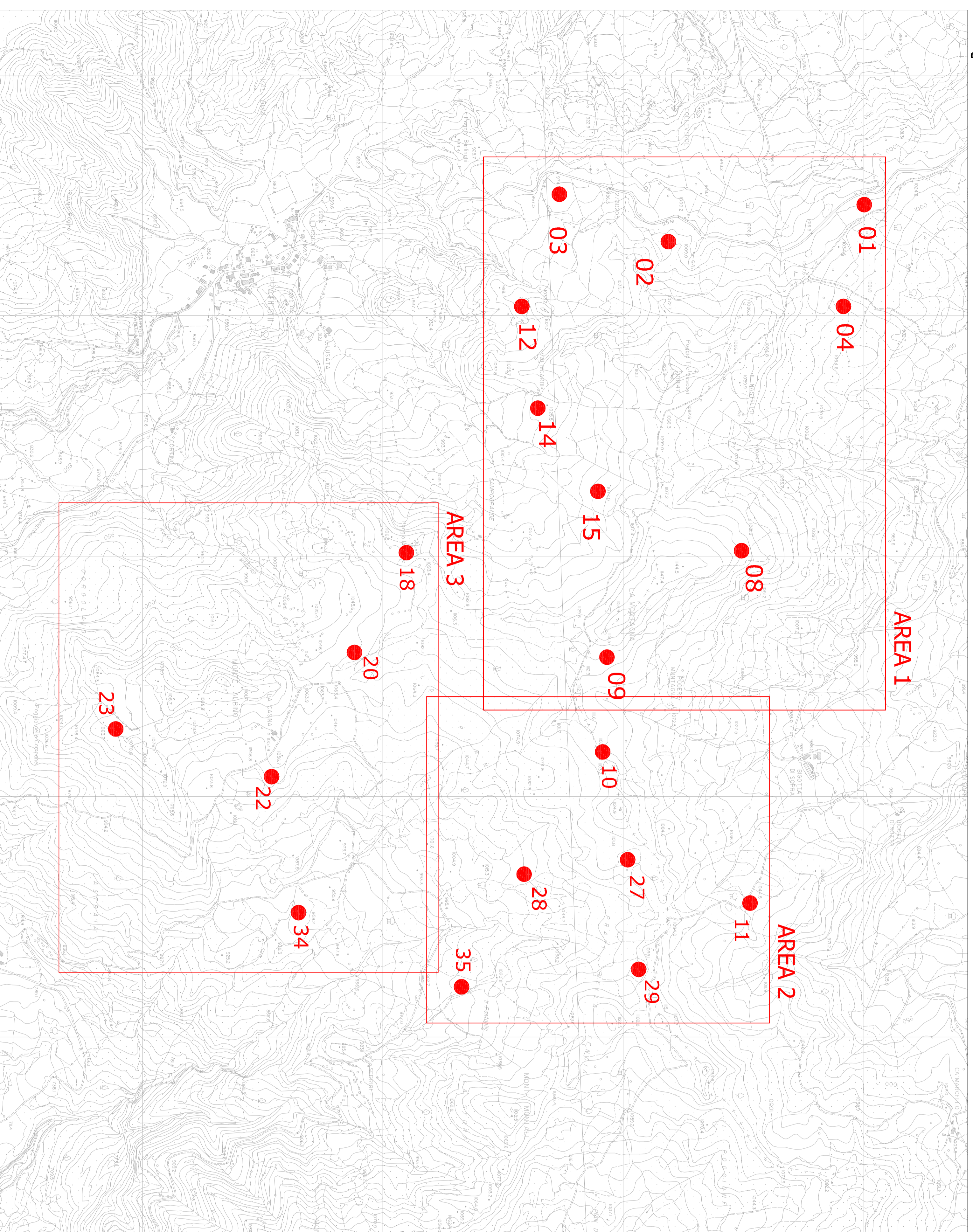
## Tav. A20 MASW AE35 - CURVA DI DISPERSIONE $V_{S,30}$ E PROFILO DI VELOCITA' $V_{S,30}$



Scala orizzontale e verticale non definita

Enki s.r.l. Società di Ingegneria Ambientale – Firenze  
Via G.B. Lulli 62 Tel. 0553247209 Fax. 0553289276





**GEOTITALIA SRL**  
Via Orfani, 38  
ROMA

INDAGINI GEOSISMICHE DI SUPPORTO ALLA  
REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "POGGIO TRE  
VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC),  
CASTELDELCI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

**INQUADRAMENTO PLANIMETRICO**

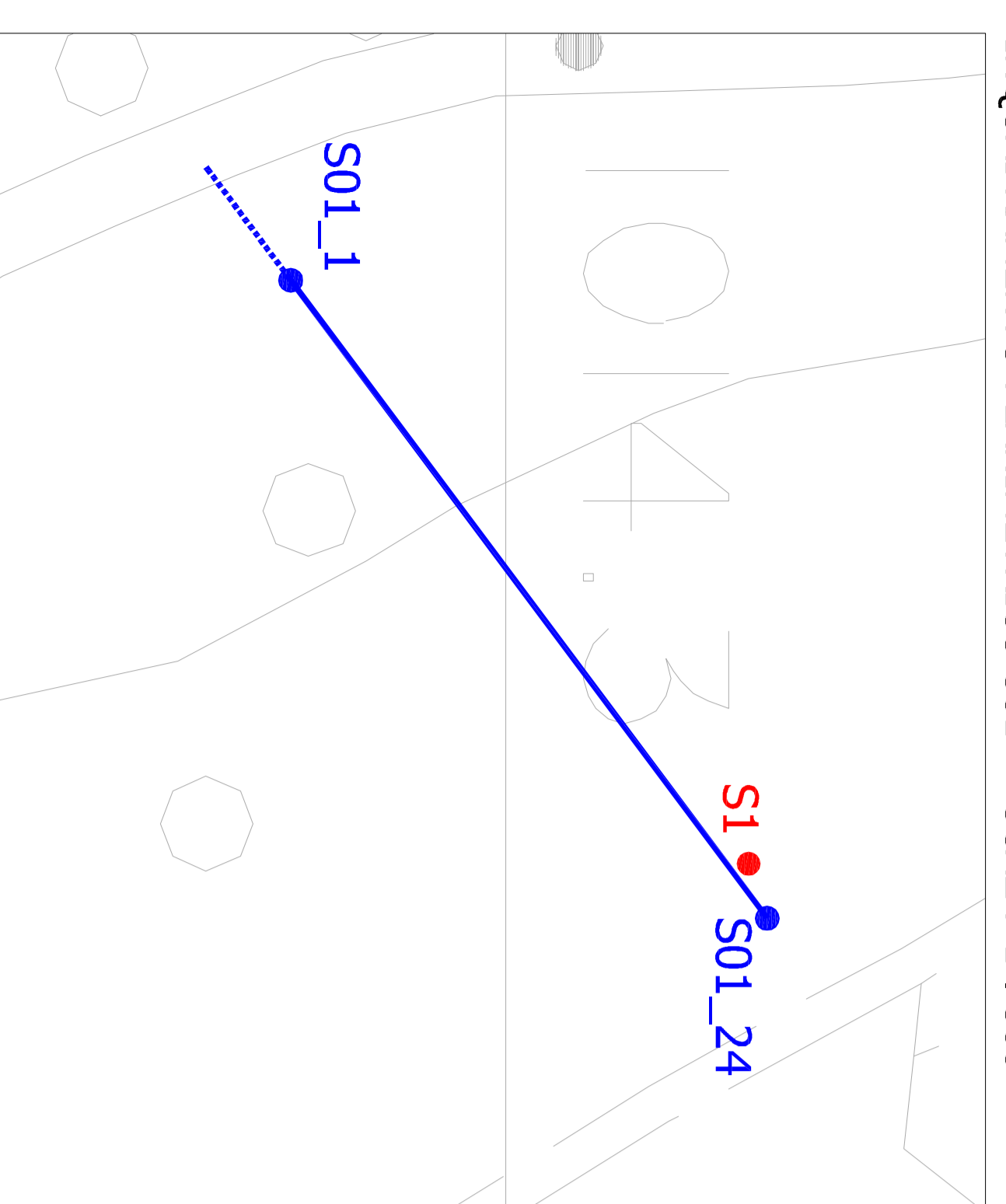
IL COMMITTENTE		PROGETTO		SCALA	
GEOTITALIA SRL		<b>PR</b>	<b>VARIE</b>		
via Orfani, 38		SERIE	TAVOLA		
ROMA		<b>A</b>	<b>01</b>		
INDAGINI GEOSISMICHE		REDAZIONE	VERIFICA		
ENKI		APPROVATO	DATA		
INGEGNERIA		<b>MA PS</b>	<b>SET 2010</b>		

**ENKI**  
INGEGNERIA

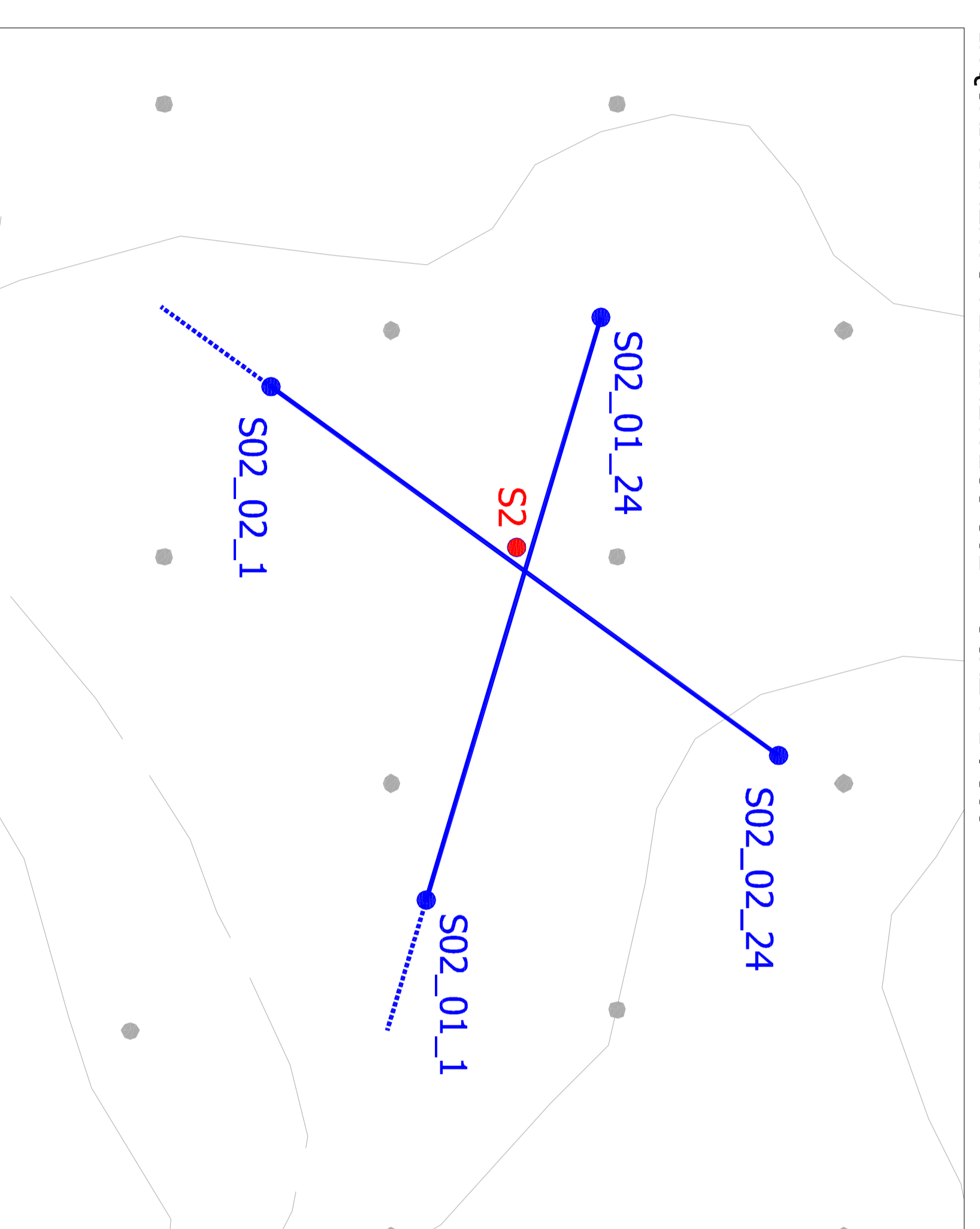
Enki s.r.l. - Roma  
CONSULENZA OPERE CIVILI -  
STRUTTURE E GEOTECNICA



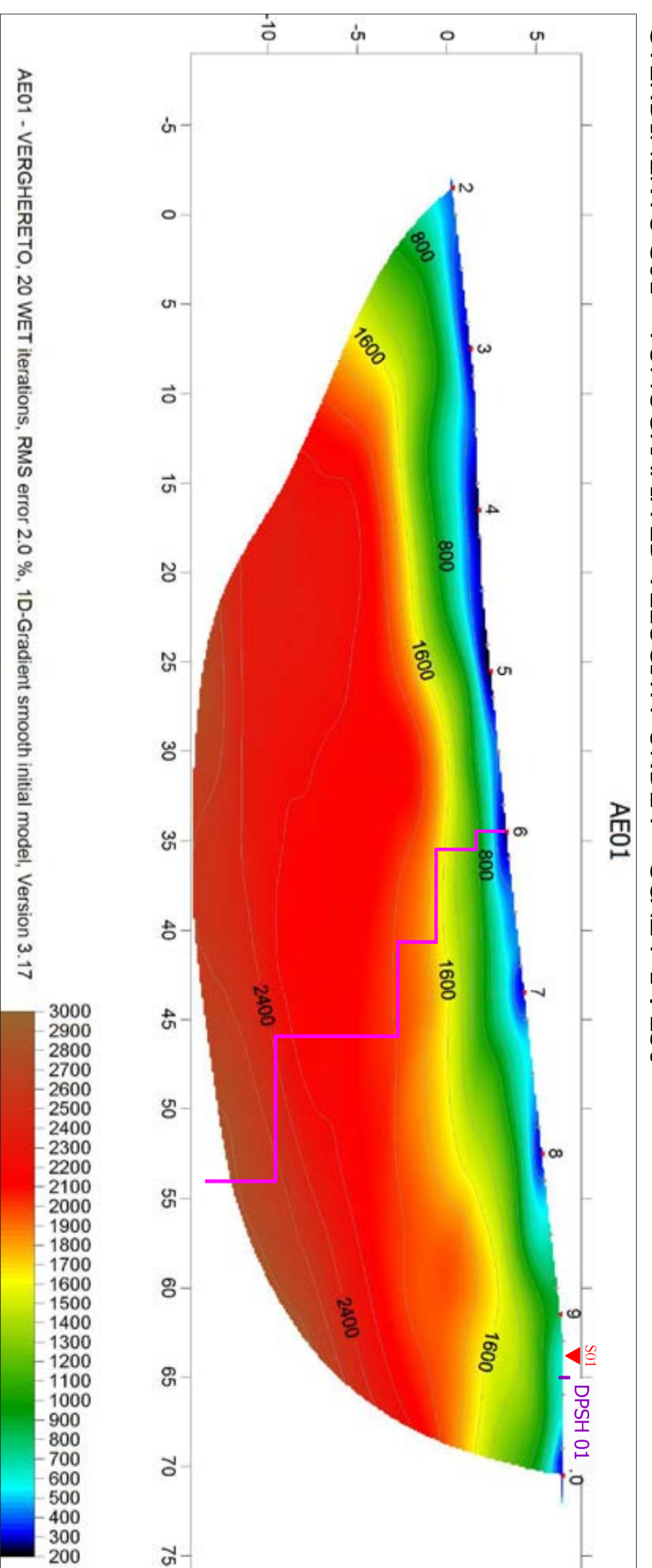
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S01 - SCALA 1 : 500



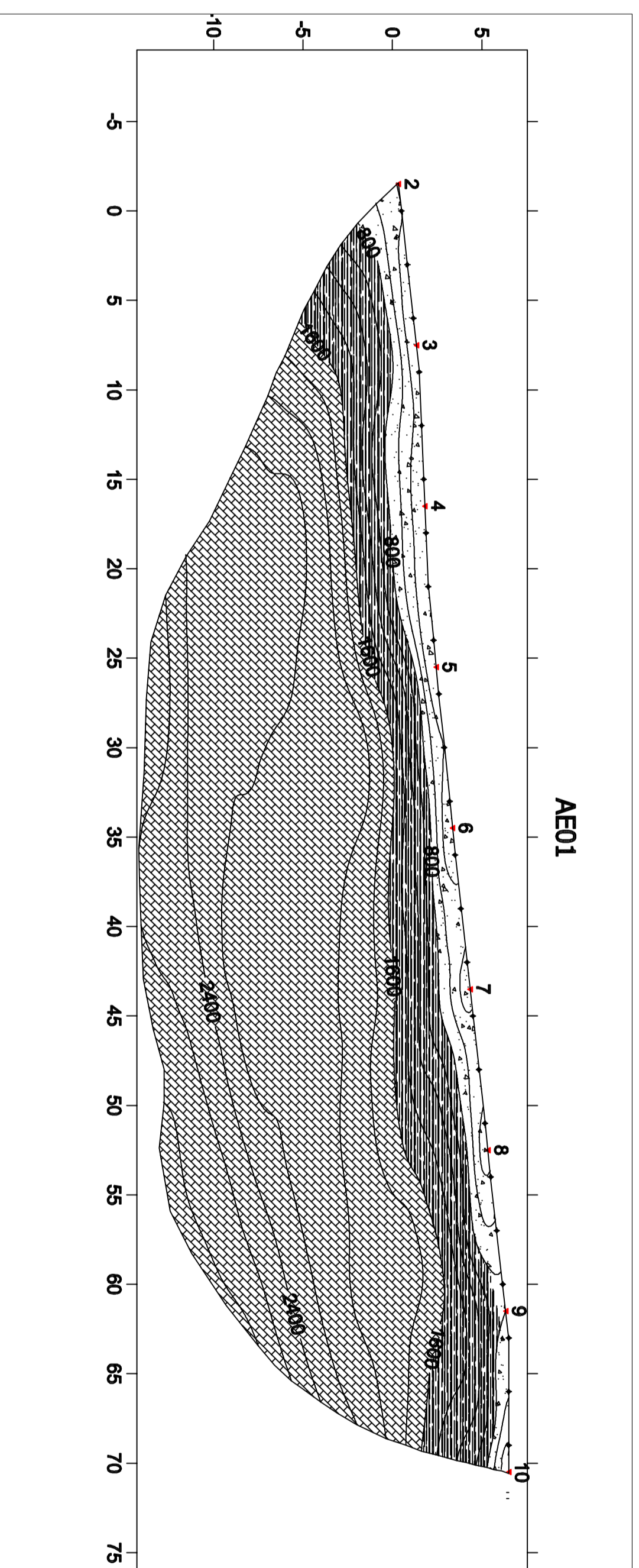
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S02 - SCALA 1 : 500



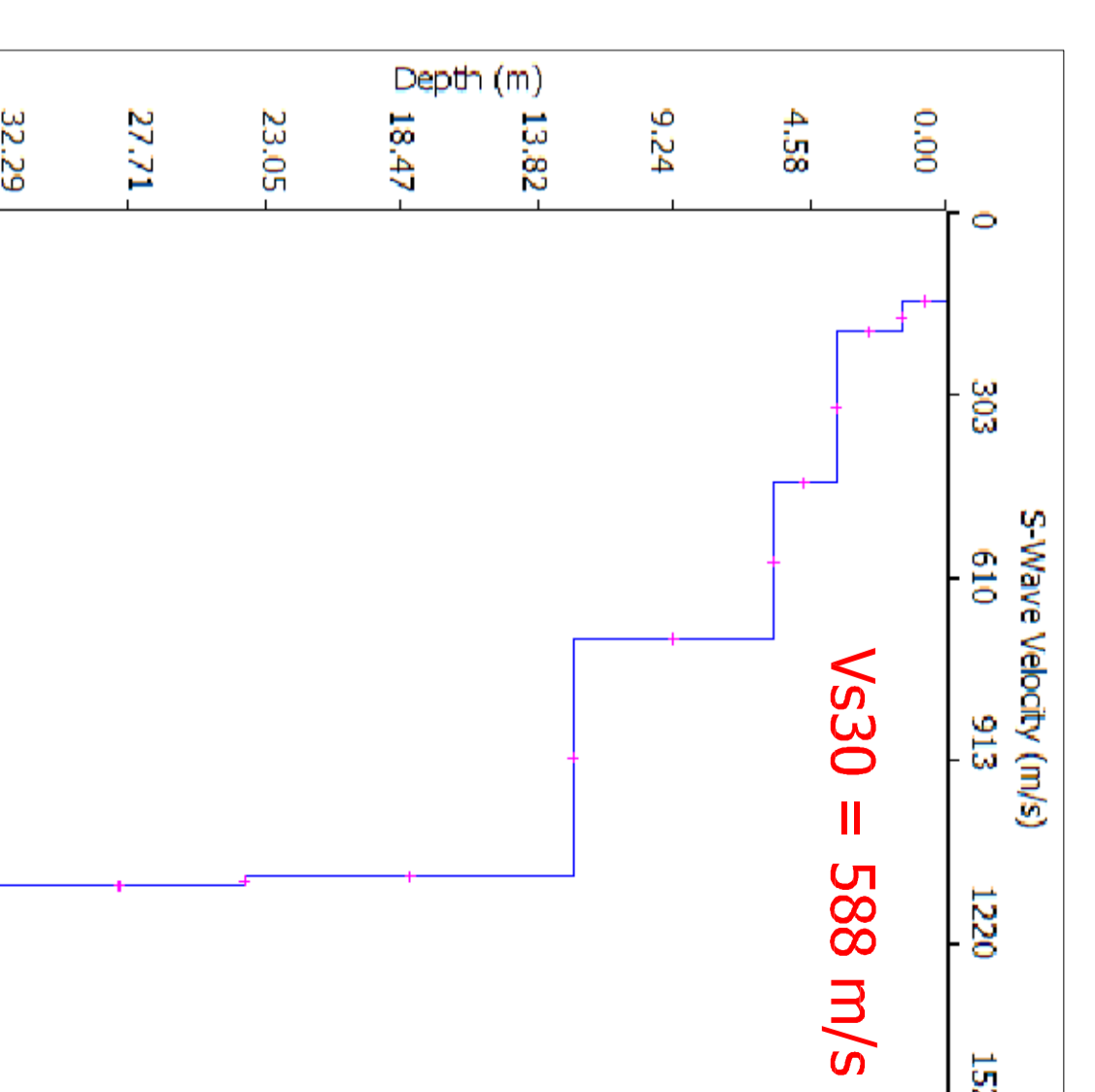
STENDIMENTO S01 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



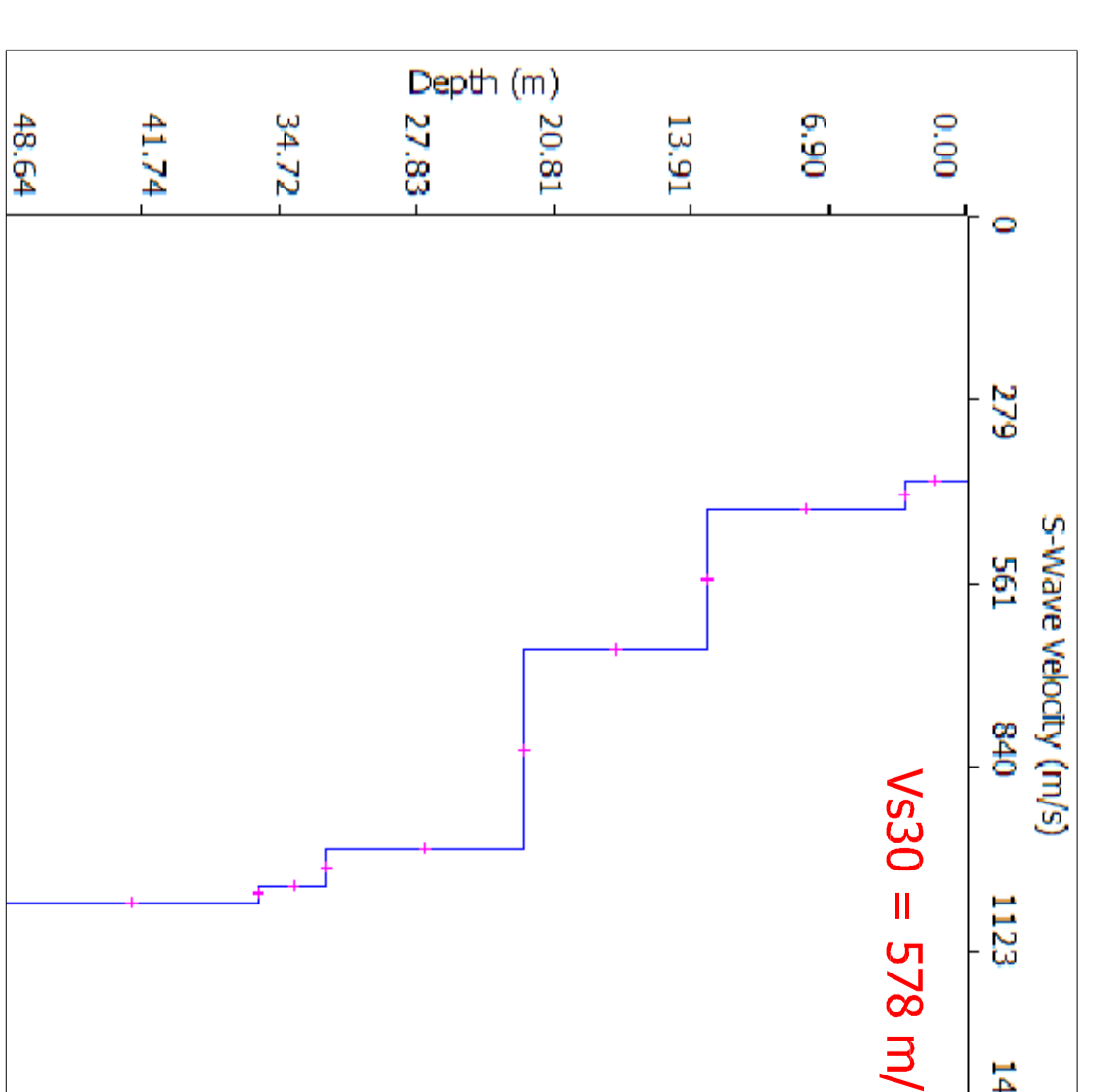
STENDIMENTO S01 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



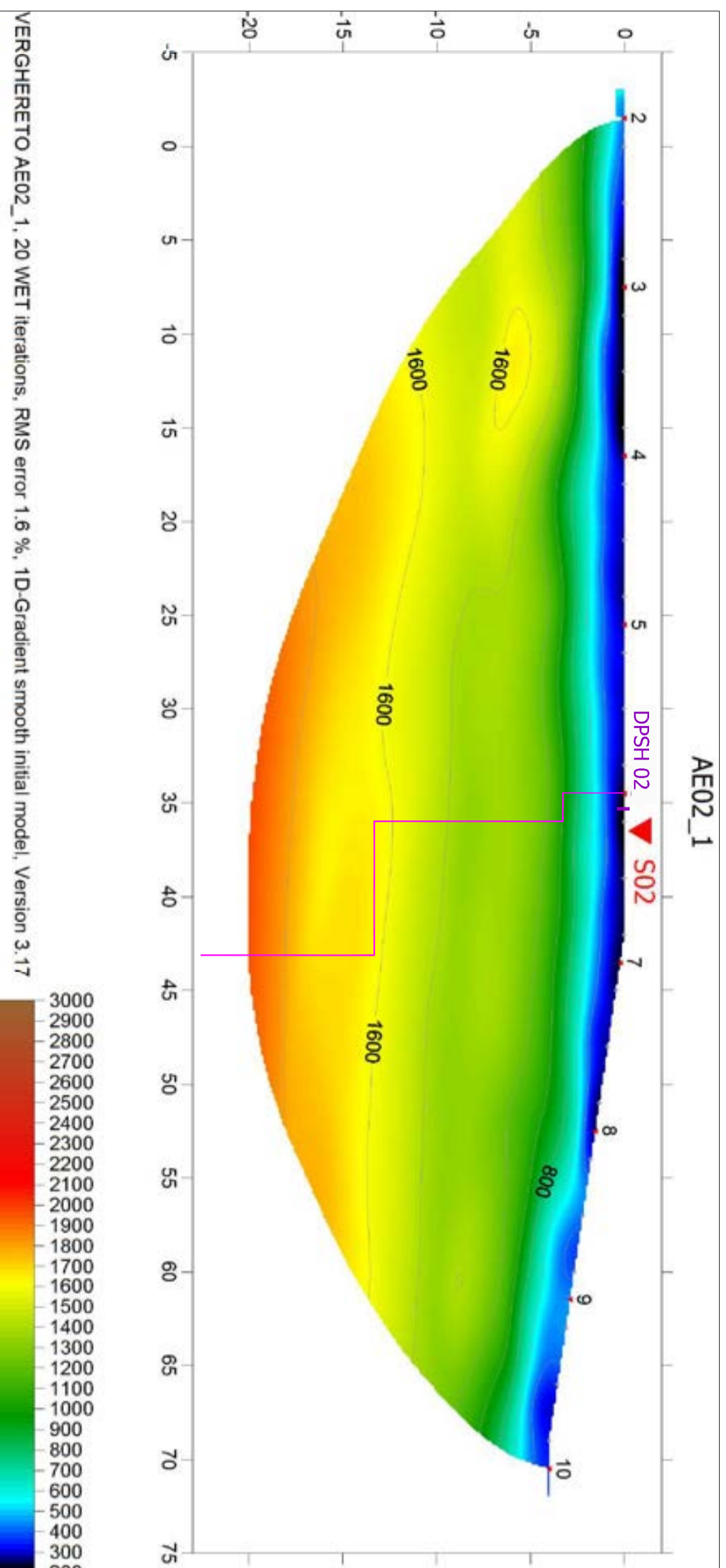
PROFILI DI VELOCITA' VS MASW AE01



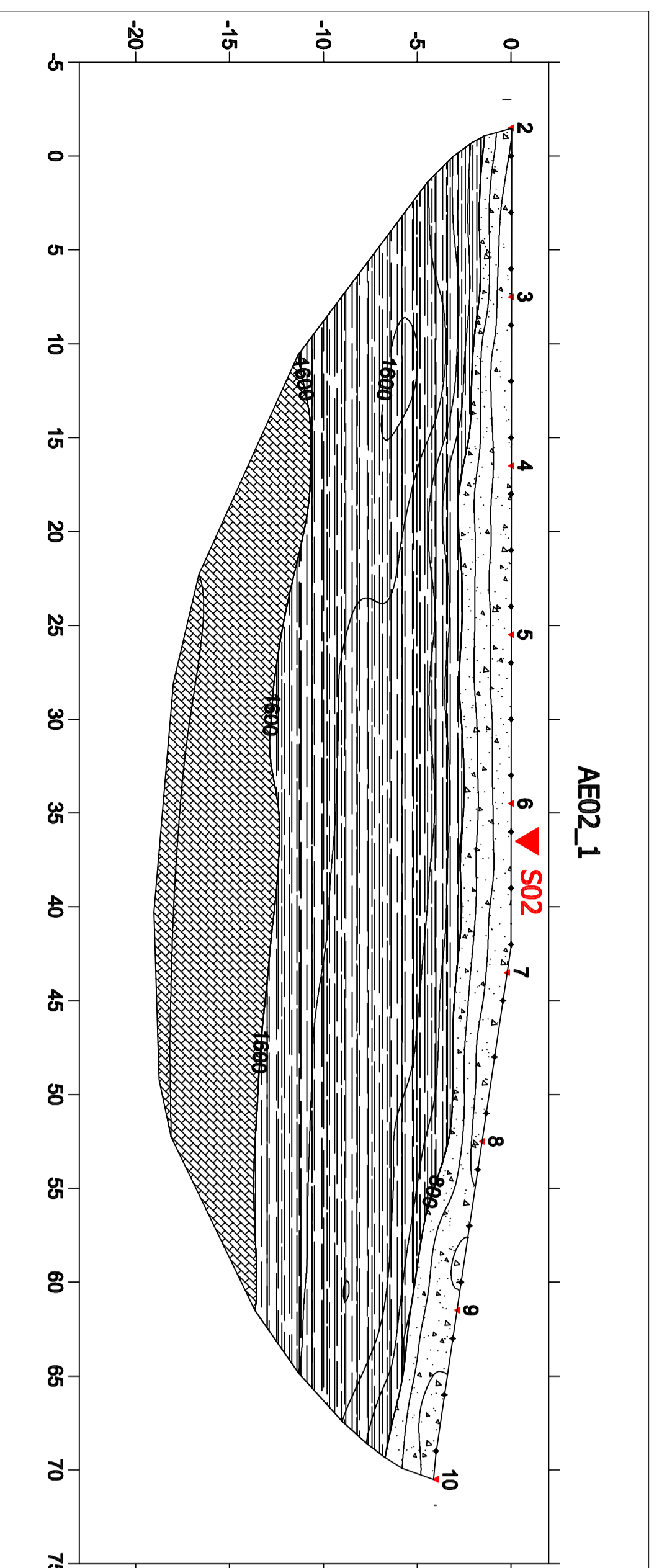
PROFILI DI VELOCITA' VS MASW AE02



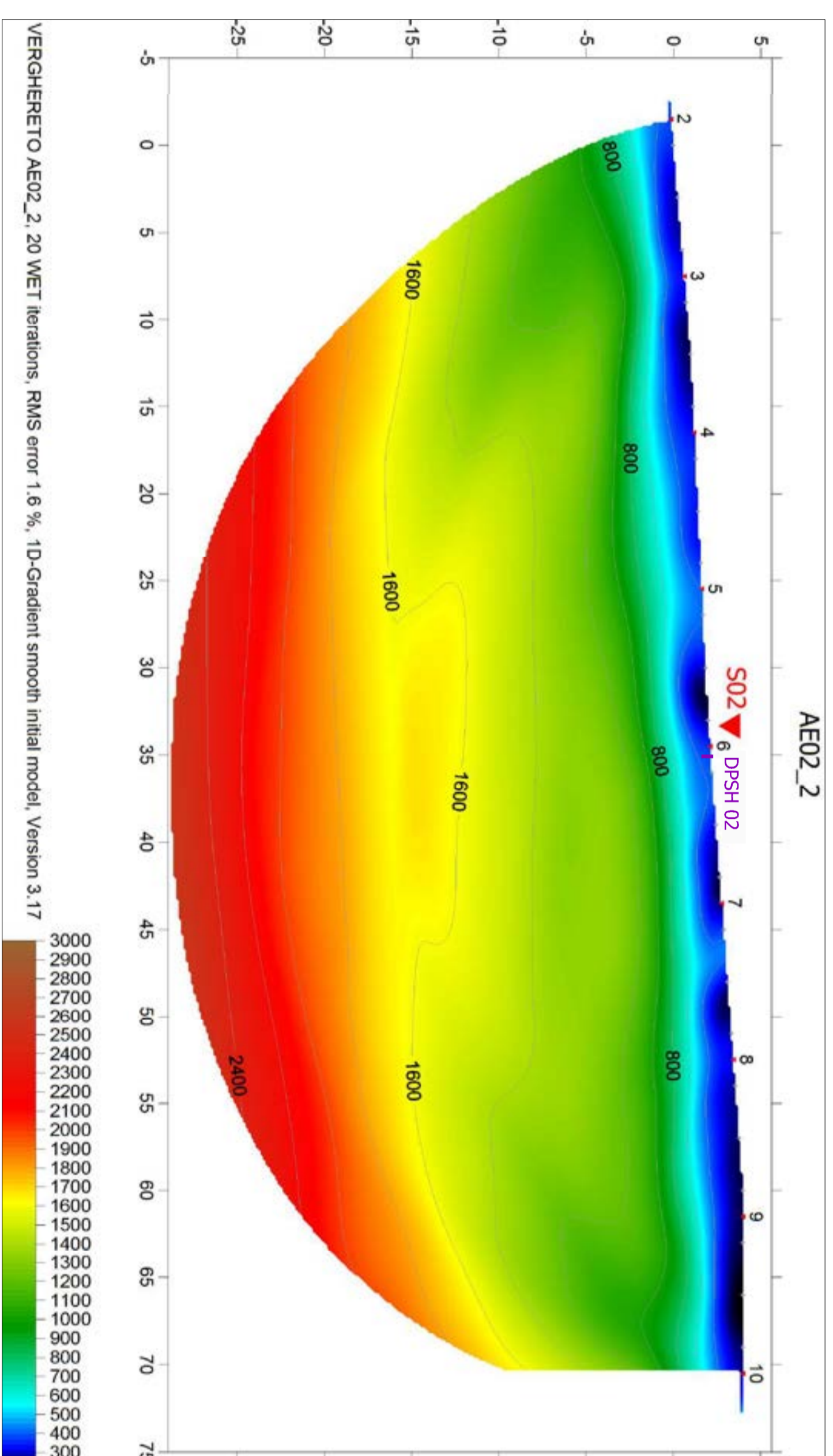
STENDIMENTO S02\_1 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



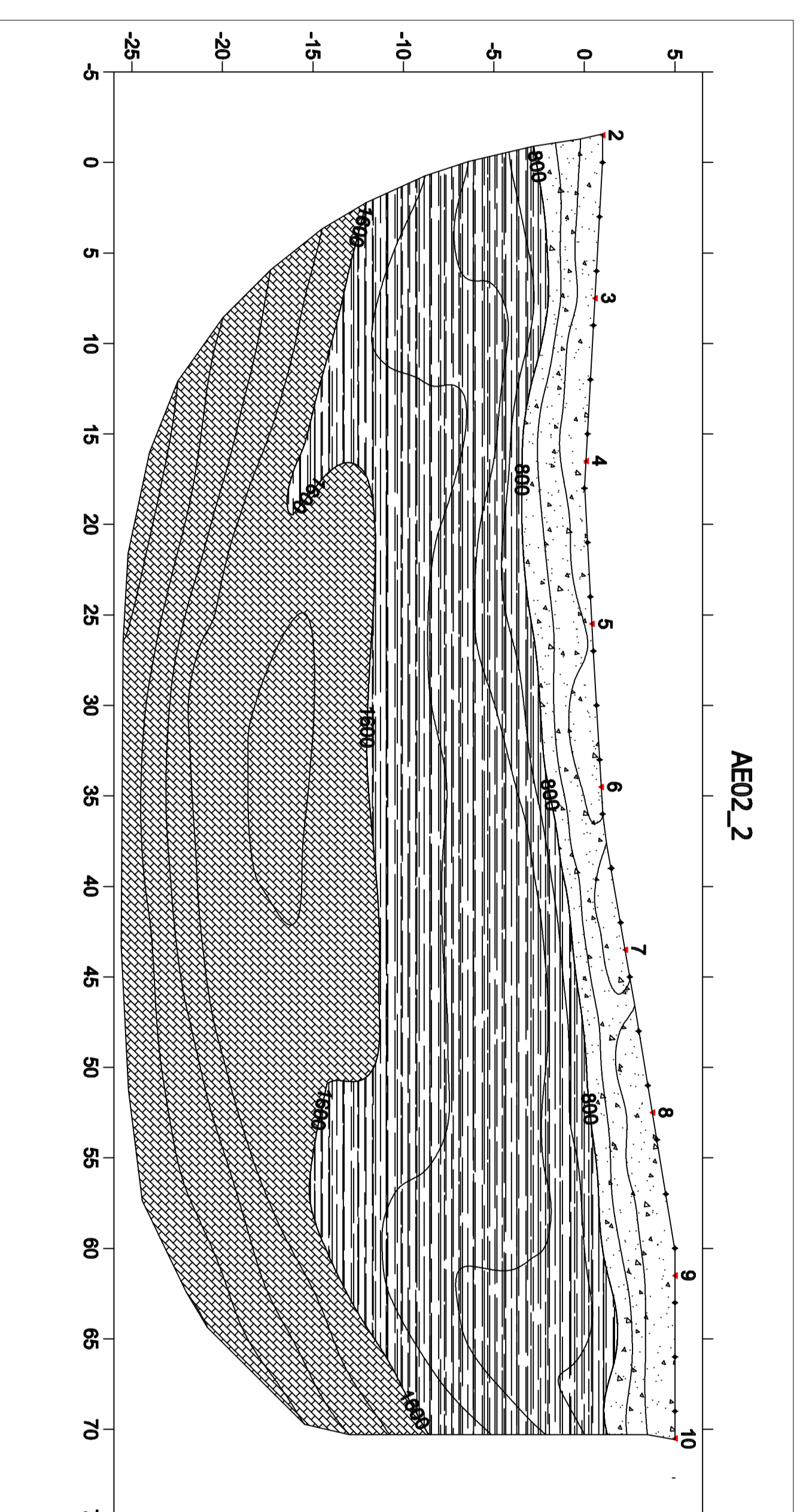
STENDIMENTO S02\_1 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



STENDIMENTO S02\_2 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



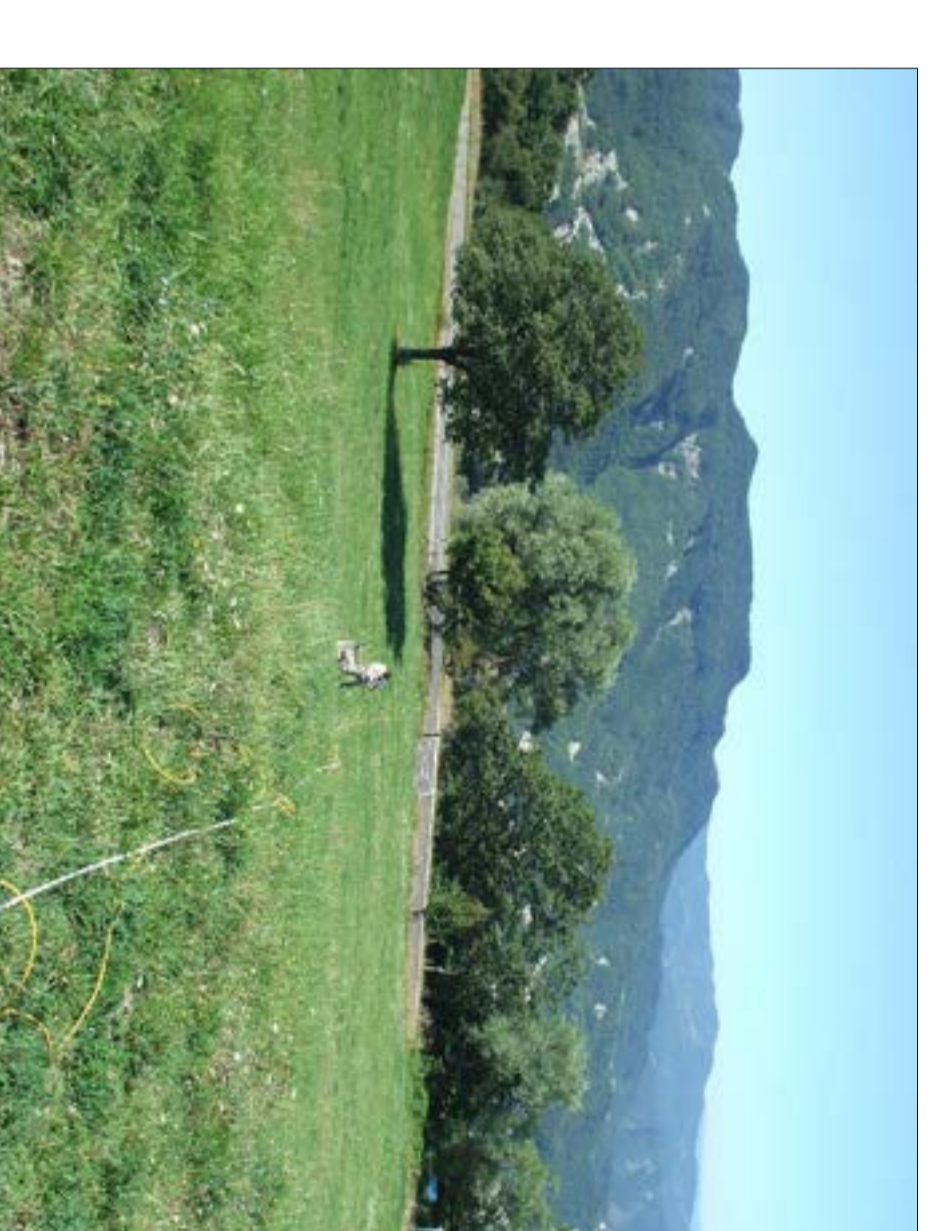
STENDIMENTO S02\_2 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



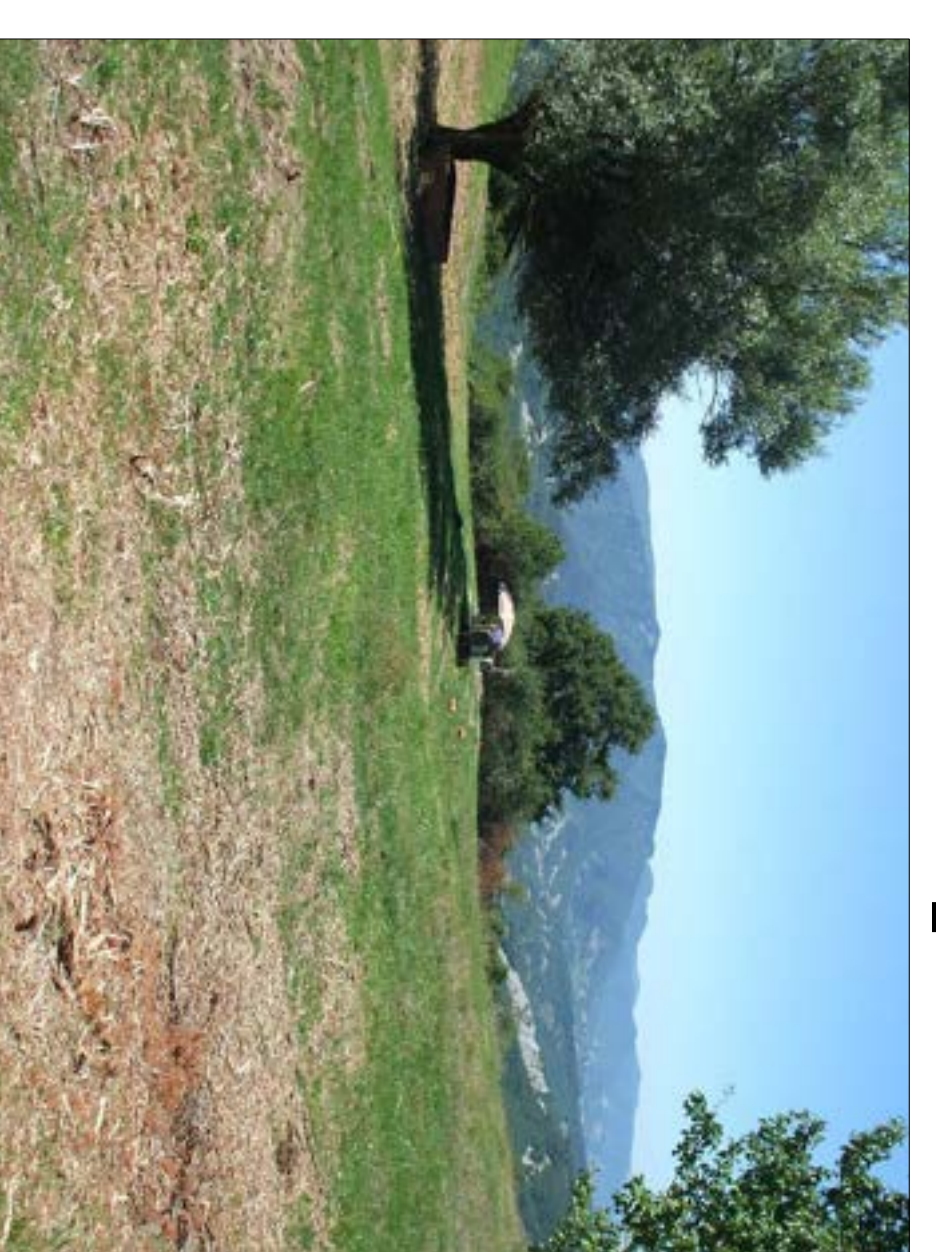
RIPRESA FOTOGRAFICA STESA S01 DAL GEOFONO 1



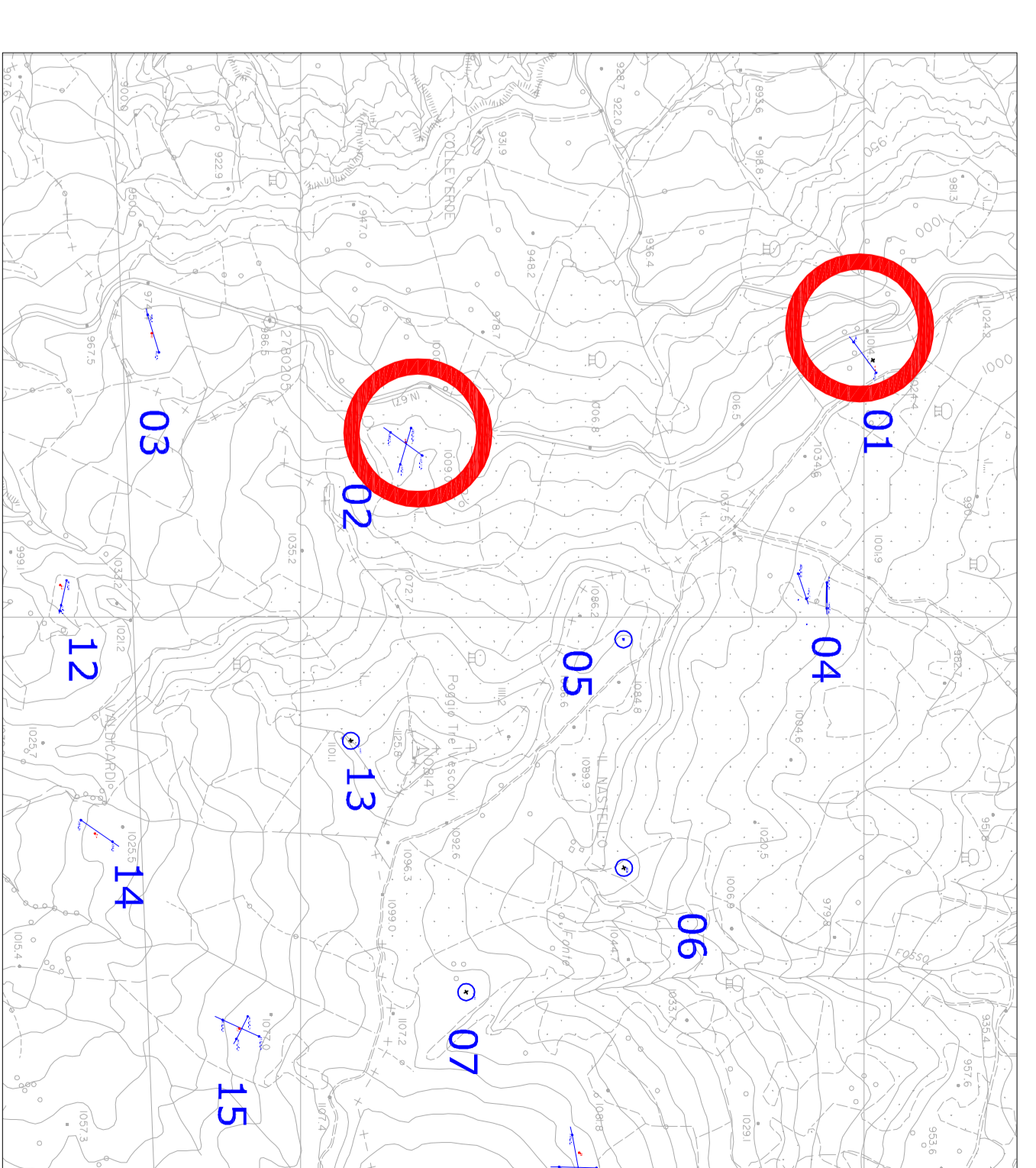
RIPRESA FOTOGRAFICA STESA S01 DAL GEOFONO 24



RIPRESA FOTOGRAFICA STESA S02\_1



RIPRESA FOTOGRAFICA STESA S02\_2



GEOTALLIA SRL  
Via Orfani, 38  
ROMA

INDAGINI GEOSISMICHE DI SUPPORTO ALLA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "POGGIO TRE VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC), CASTELDELCI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI STENDIMENTI S01, S02

IL COMMITTENTE		SCALA	
PR GEOTALLIA SRL		VARIARE	
via Orfani, 38 ROMA		TAVOLA <b>02 A</b>	
SERIE	PROGETTO	VERSIONE	DATA
<b>A</b>	<b>MA PS</b>	<b>01</b>	<b>SET 2010</b>
APPROVATO	MA	DATA	

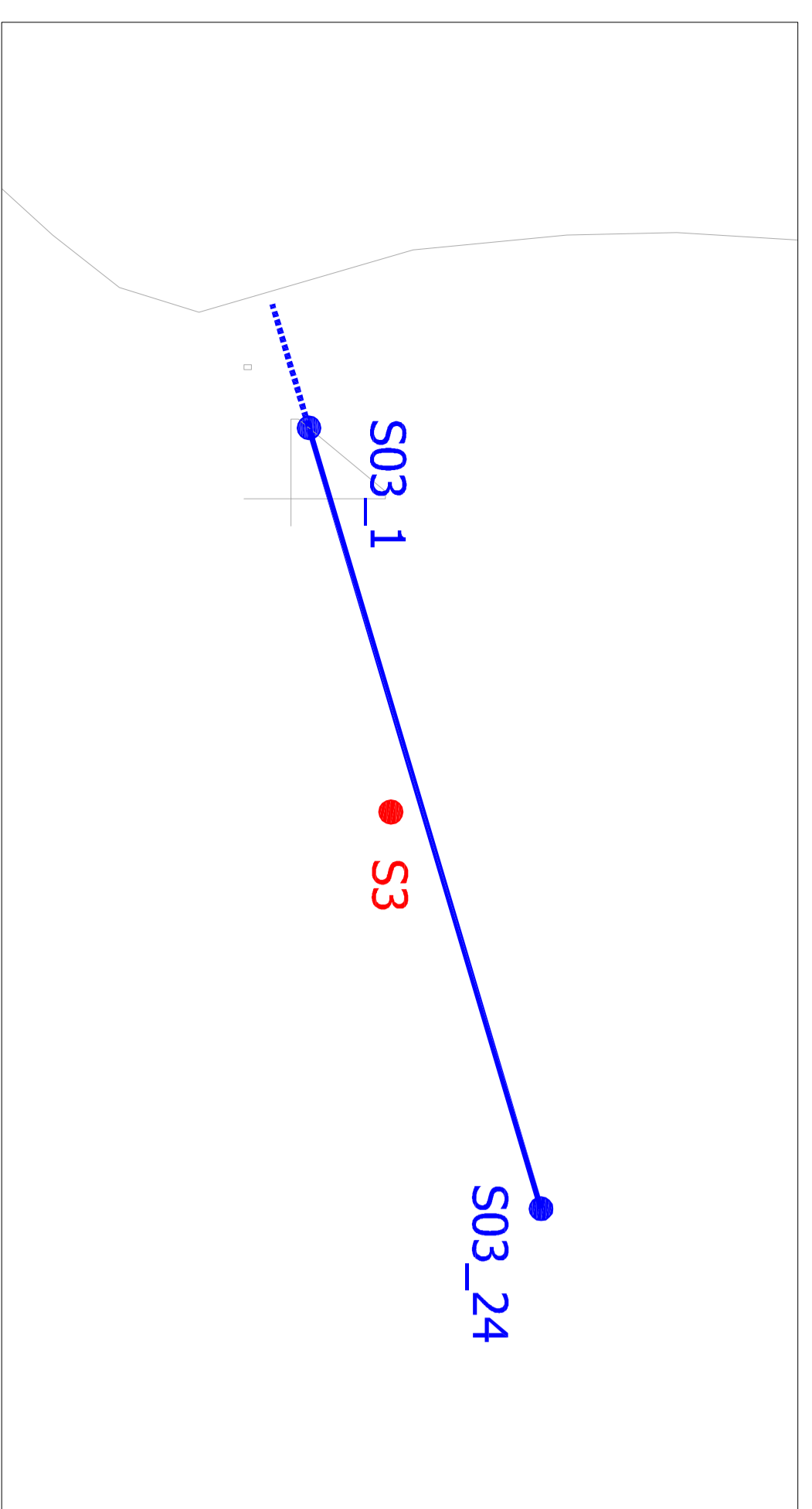
ENKI s.r.l. - Member  
CONSULENZA OPERE CIVILI -  
STRUTTURE E GEOTECNICA  
INGEGNERIA

INDAGINI GEOSISMICHE

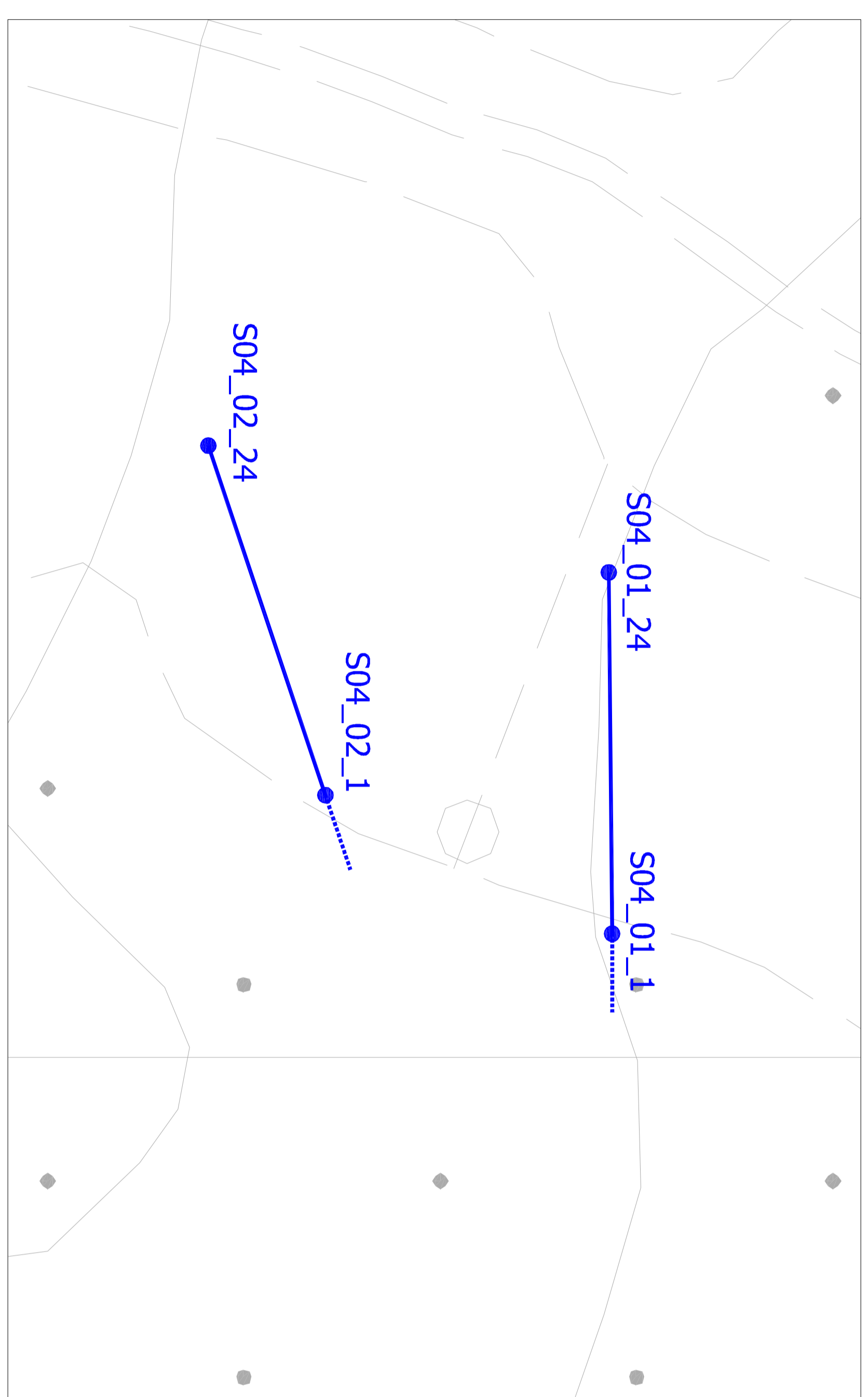
INDAGINI GEOSISMICHE



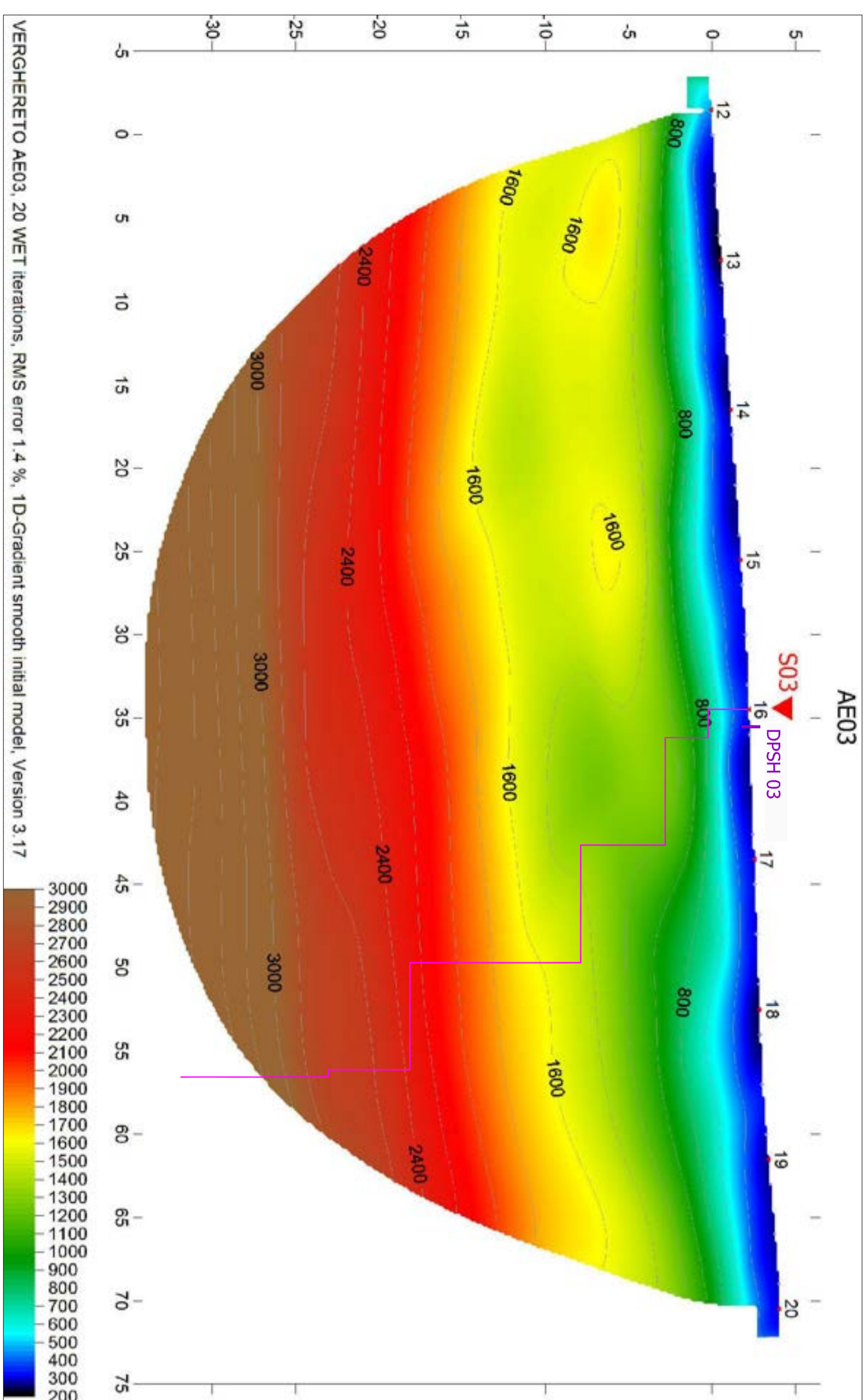
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S03 - SCALA 1 : 500



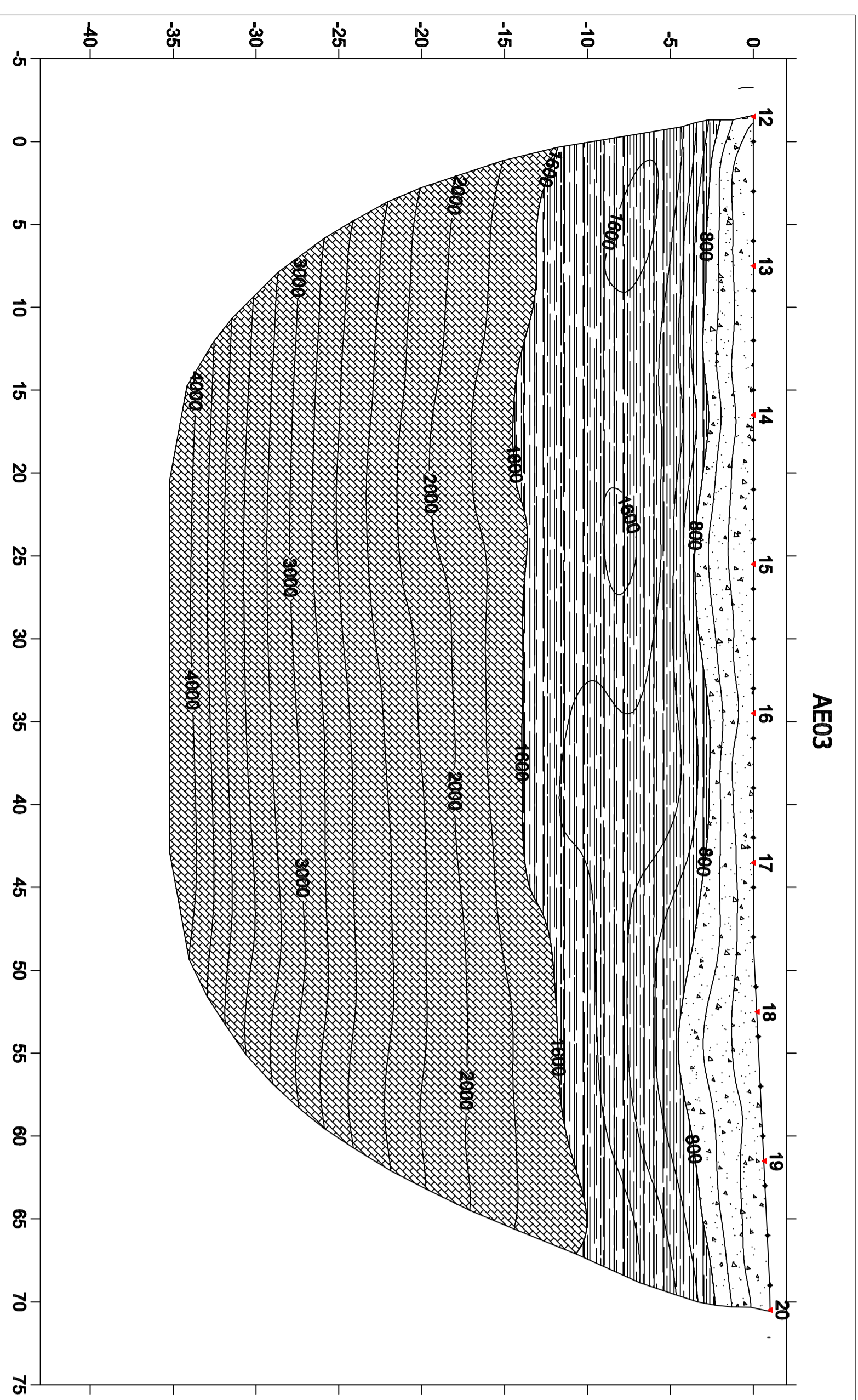
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S04\_1 e S04\_2 - SCALA 1 : 500



STENDIMENTO S03 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



STENDIMENTO S03 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250

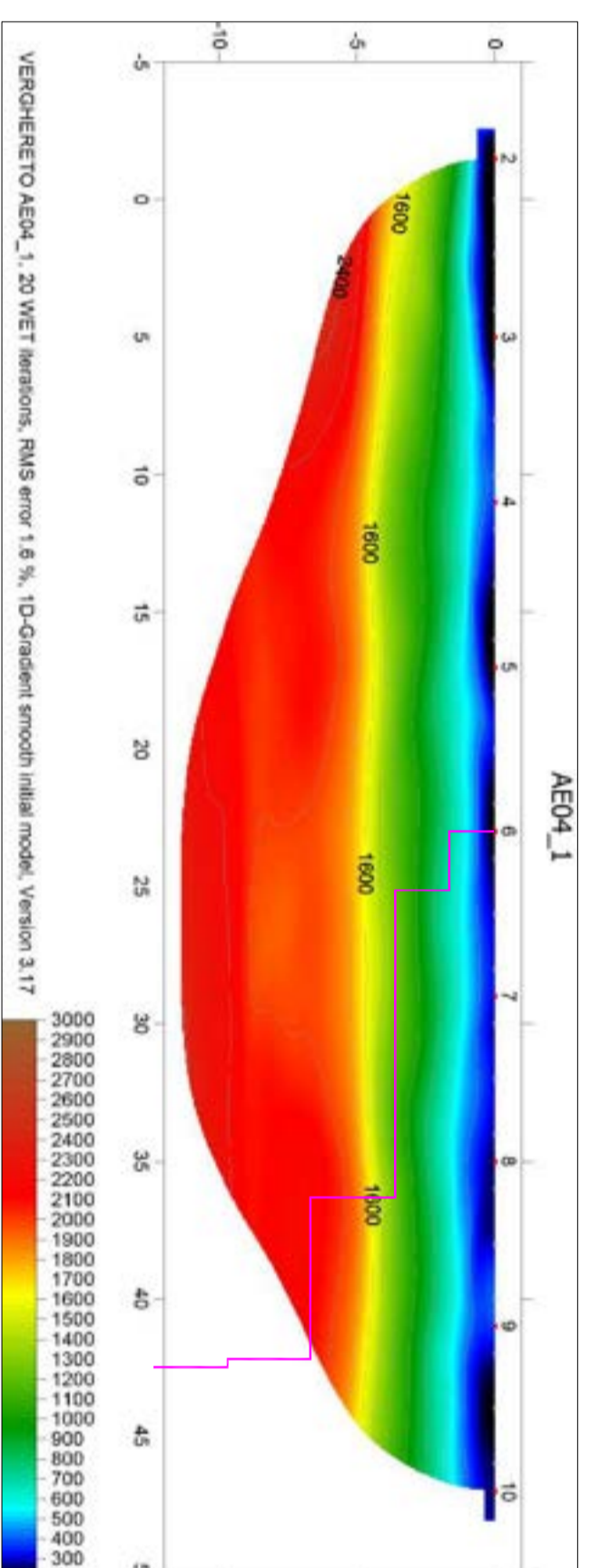


I SISTRATO SUPERFICIALE  
ADENSAMENTO BASSO

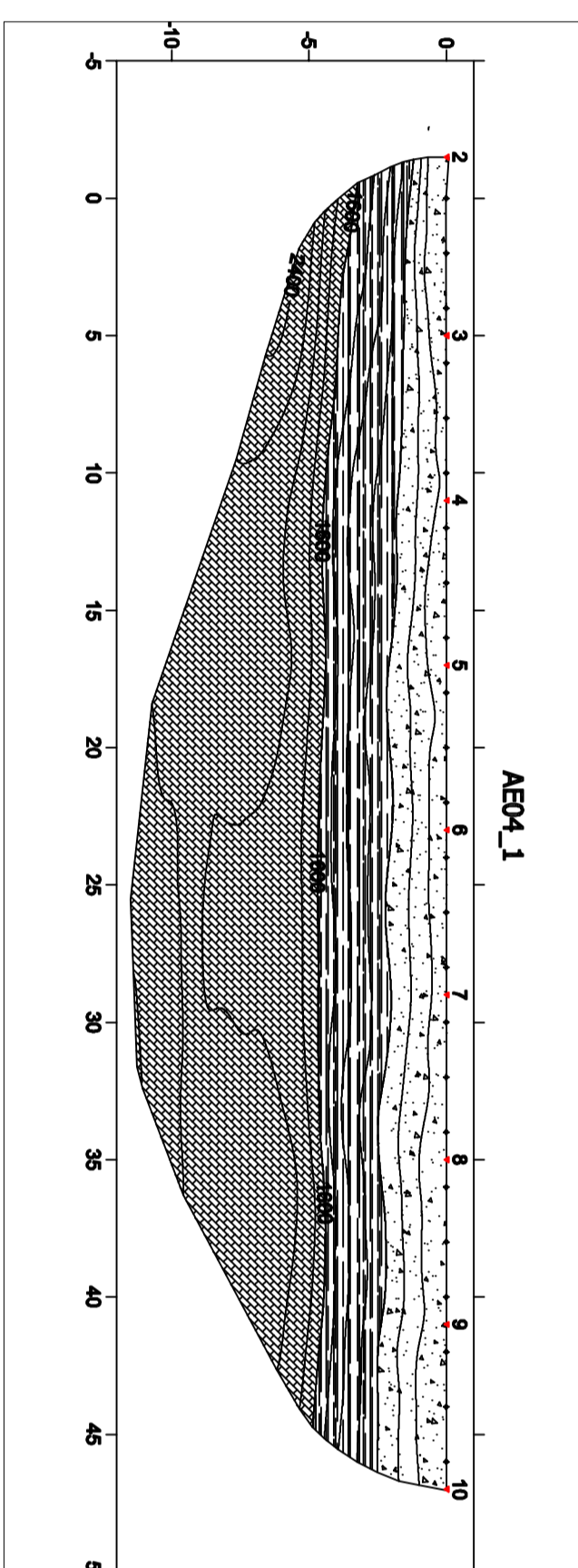
II SISTRATO INTERMEDIO  
ADENSAMENTO MEDIO

III SISTRATO SISMICO  
ADENSAMENTO ALTO

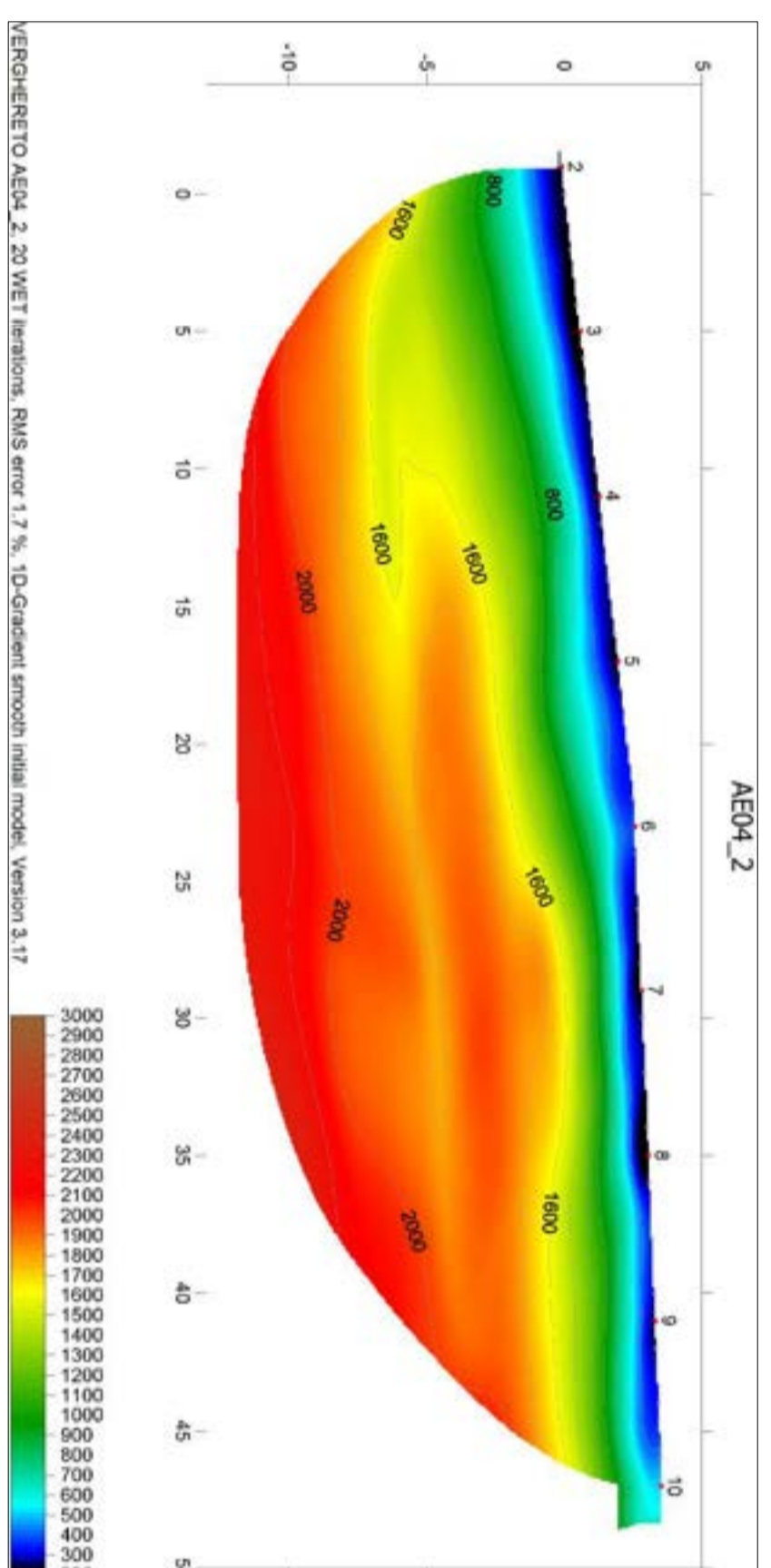
STENDIMENTO S04\_1 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P  
SCALA 1 : 250



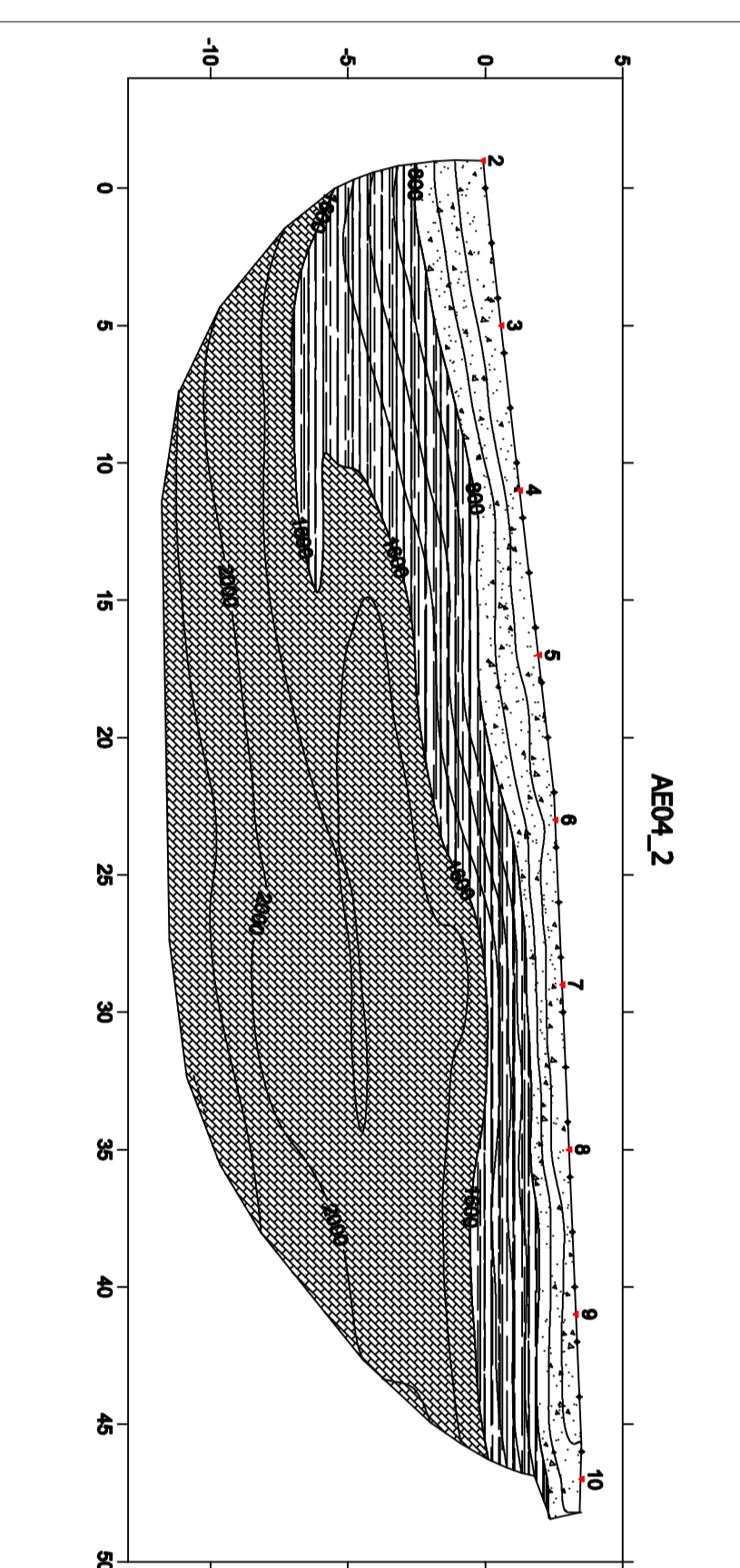
STENDIMENTO S04\_1 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA  
SCALA 1 : 250



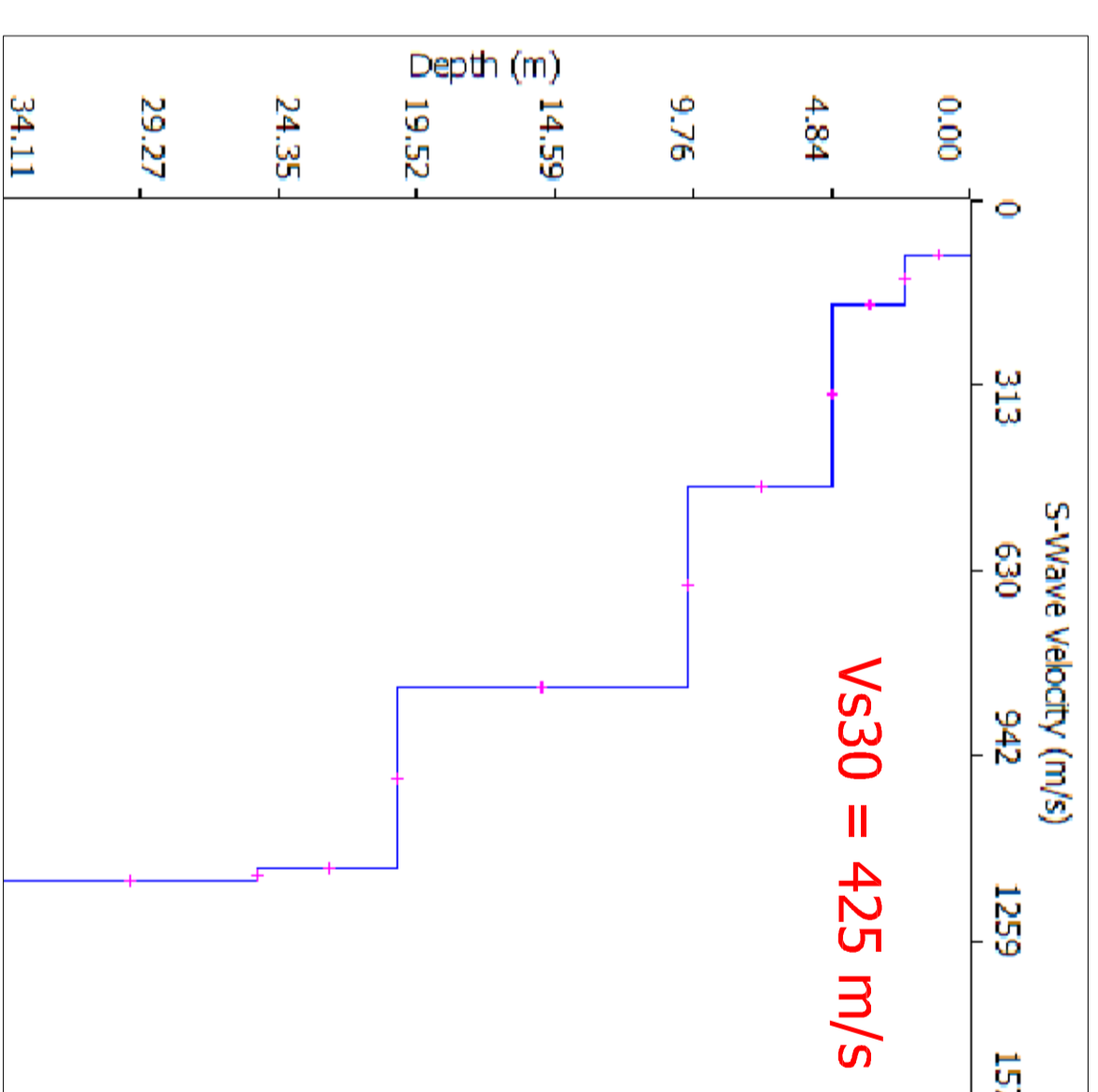
STENDIMENTO S04\_2 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P  
SCALA 1 : 250



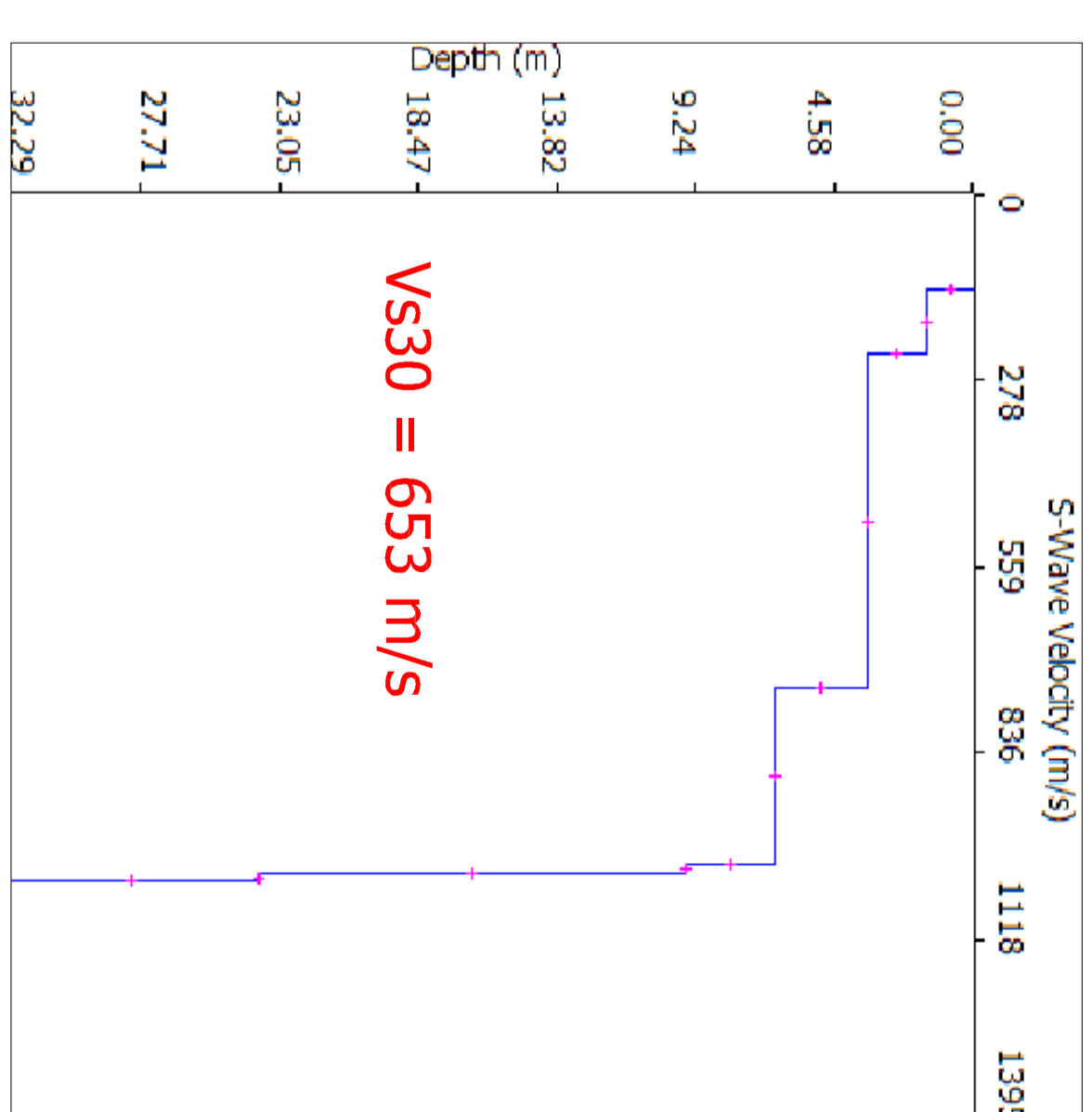
STENDIMENTO S04\_2 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA  
SCALA 1 : 250



PROFILI DI VELOCITA' VS MASW AE03



PROFILI DI VELOCITA' VS MASW AE04



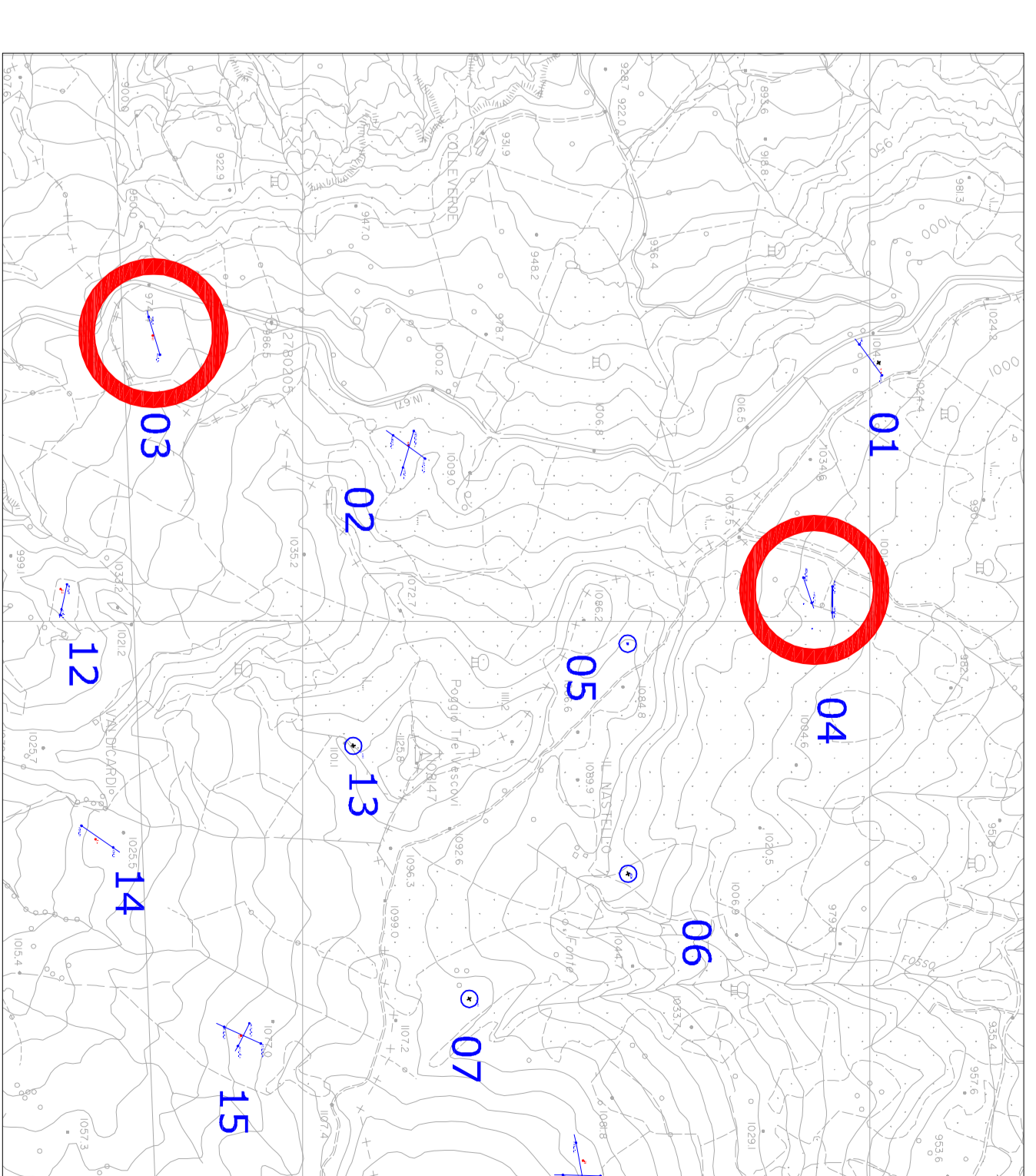
RIPRESA FOTOGRAFICA S03 DAL GEOFONO 1



RIPRESA FOTOGRAFICA S04\_1  
DAL GEOFONO 24



RIPRESA FOTOGRAFICA S04\_2 DAL GEOFONO 24



GEOTITALIA SRL  
Via Oriani, 38  
ROMA

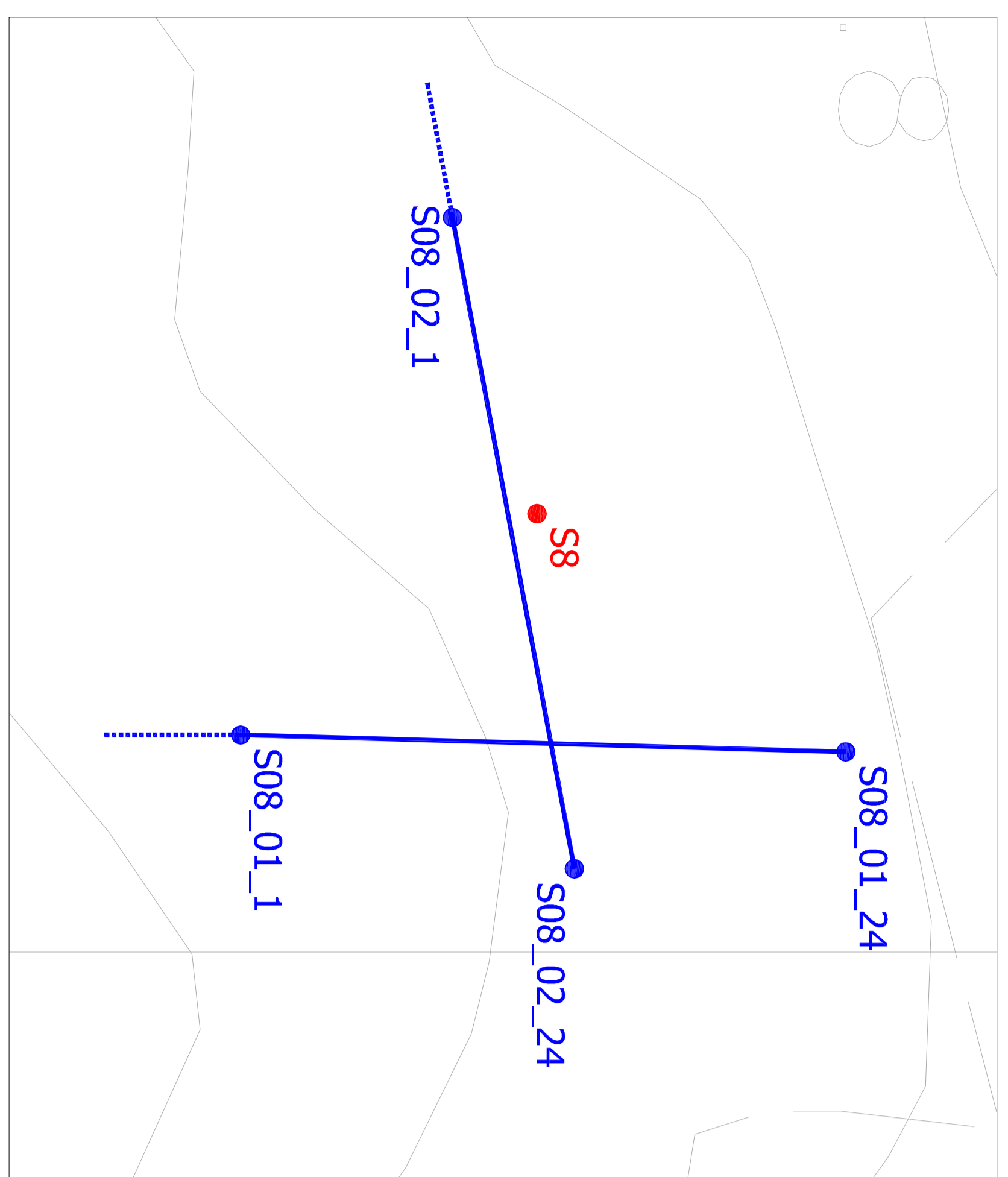
INDAGINI GEOSISMICHE DI SUPPORTO ALLA  
REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "POGGIO TRE  
VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC),  
CASTELDELCI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E  
SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI  
STENDIMENTI S03, S04

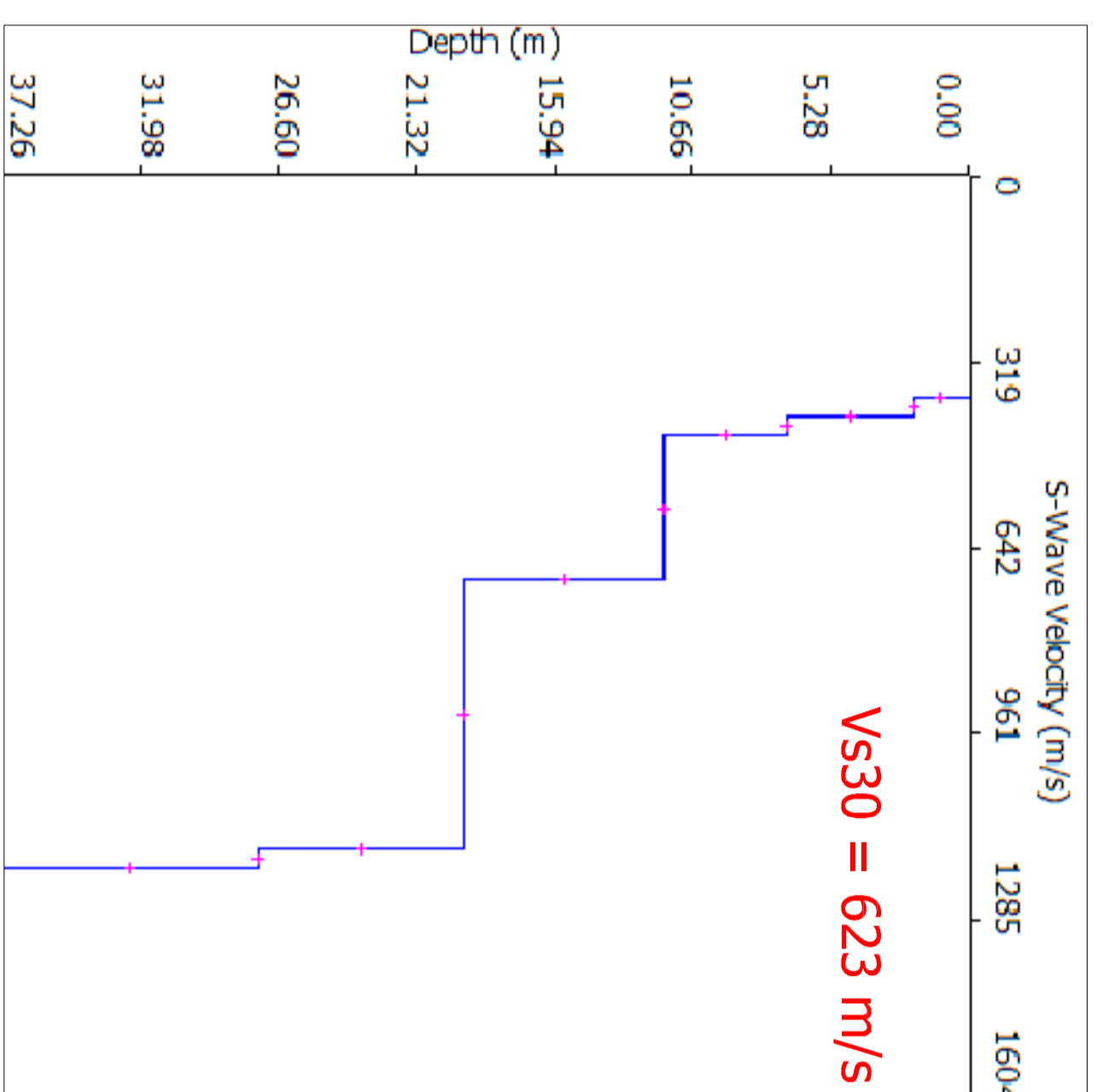
IL COMMITTENTE		SCALA	
PR		VARI	
SERIE		TAVOLA	
A		02 B	
TRACCIATO	MA PS	VERSIONE	01
APPROVATO	MA	DATA	SET 2010

INDAGINI GEOSISMICHE  
ENKI s.r.l. - Roma  
CONSULENZA OPERE CIVILI -  
STRUTTURE E GEOTECNICA  
INGEGNERIA





PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AE08



RIPRESA FOTOGRAFICA S08\_1 DAL GEOFONO 24



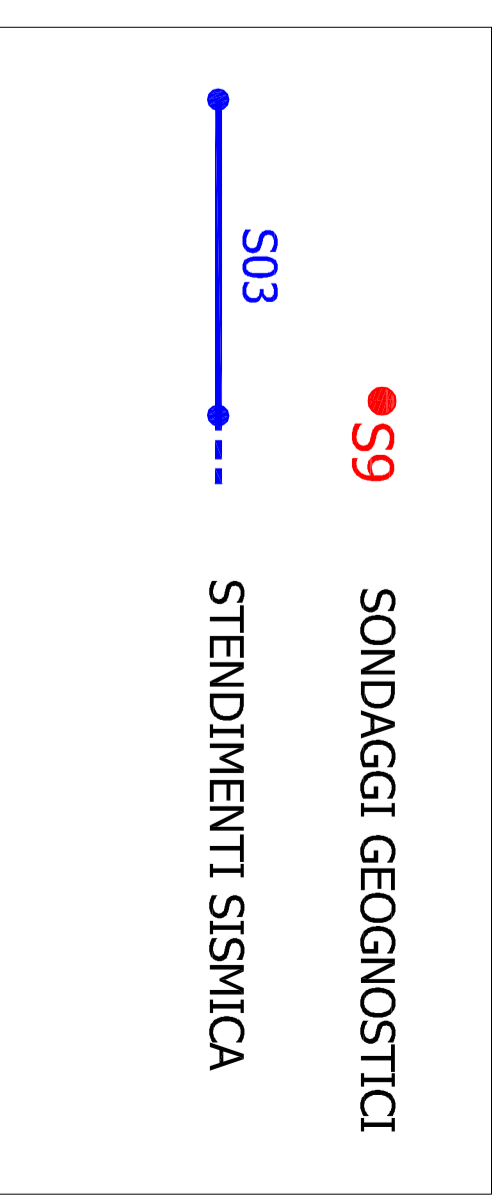
RIPRESA FOTOGRAFICA S08\_2 DAL GEOFONO 1



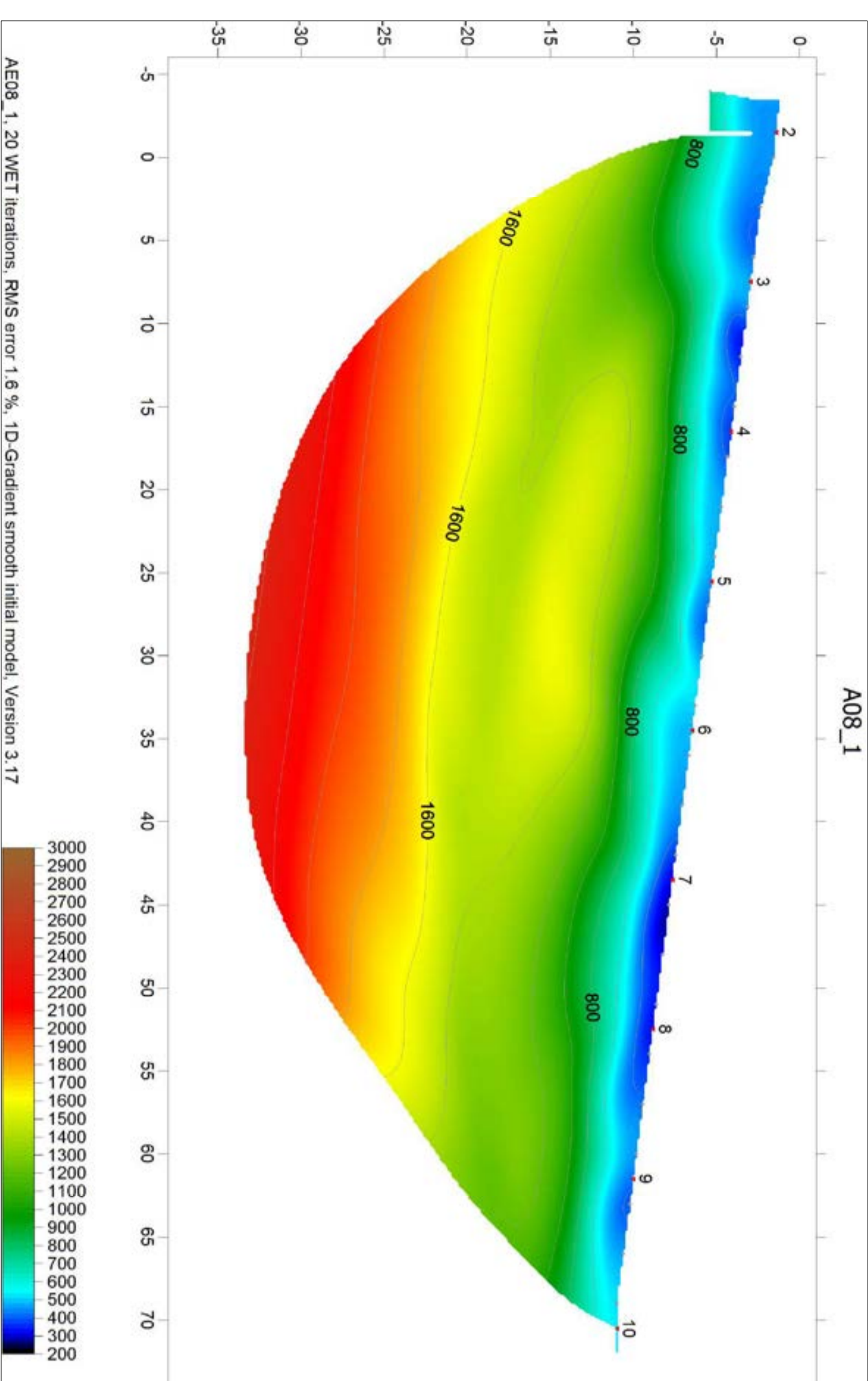
RIPRESA FOTOGRAFICA S08\_1 DAL GEOFONO 1



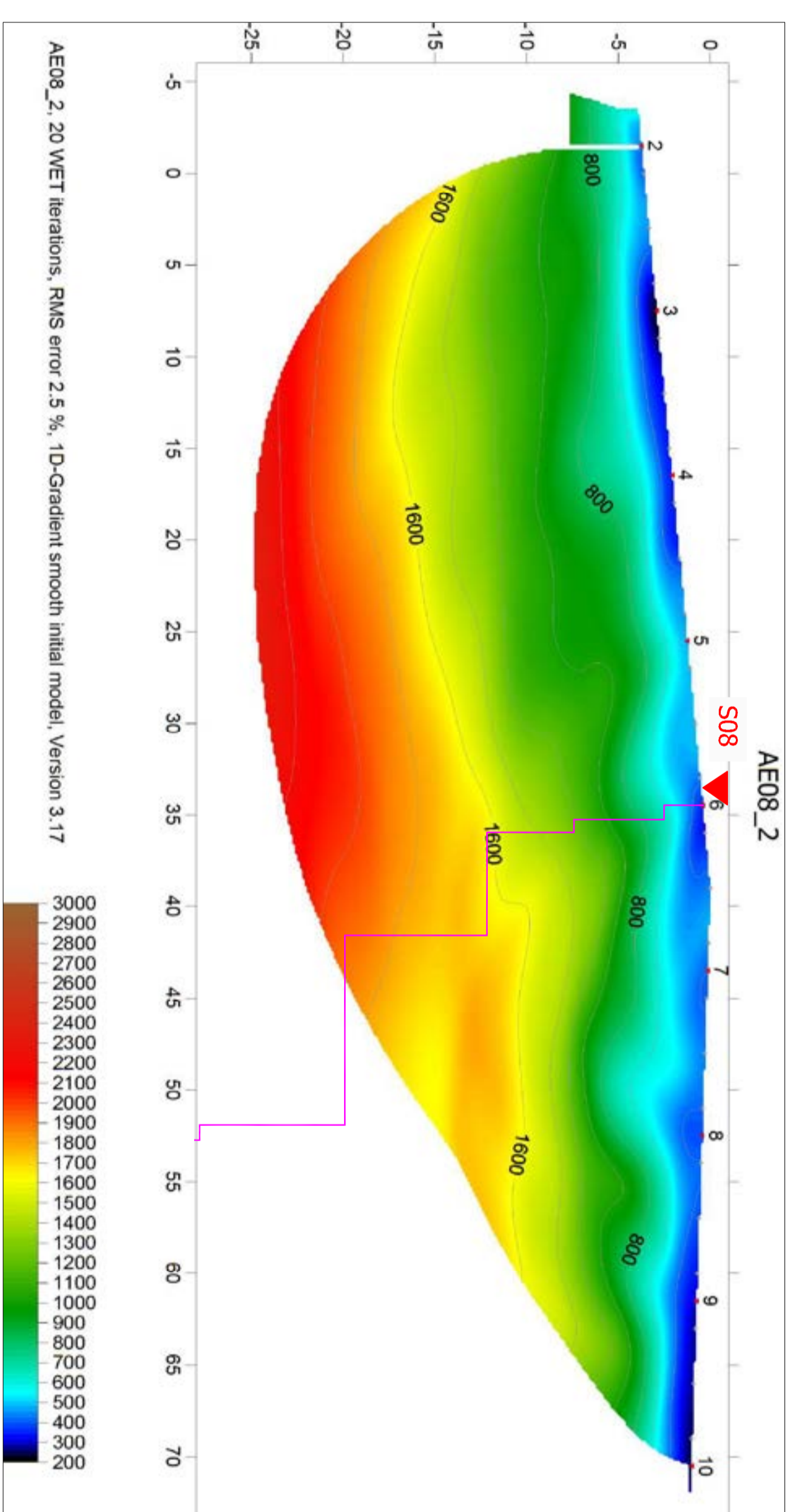
RIPRESA FOTOGRAFICA S08\_2 DAL GEOFONO 24



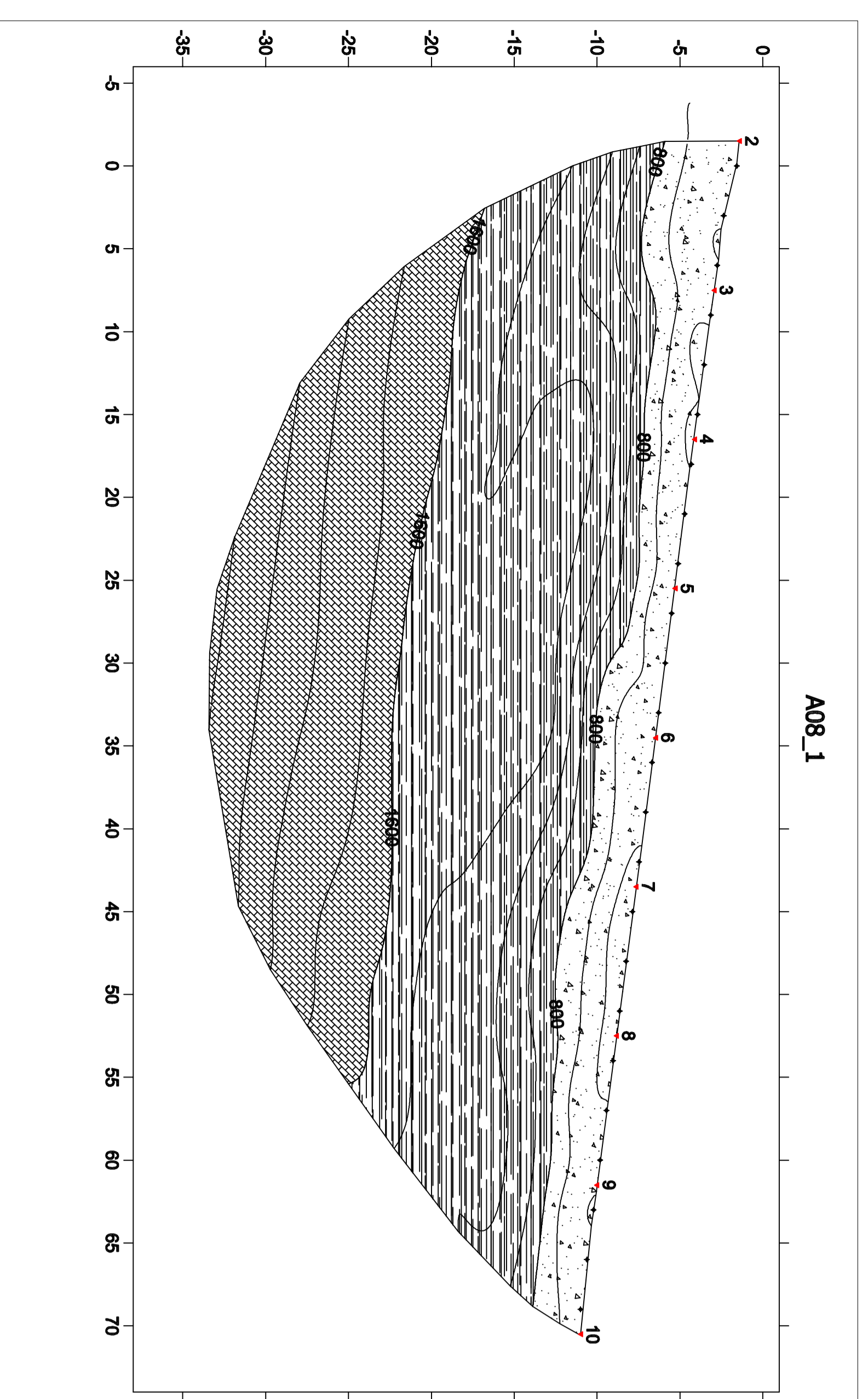
STENDIMENTO S08\_1 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



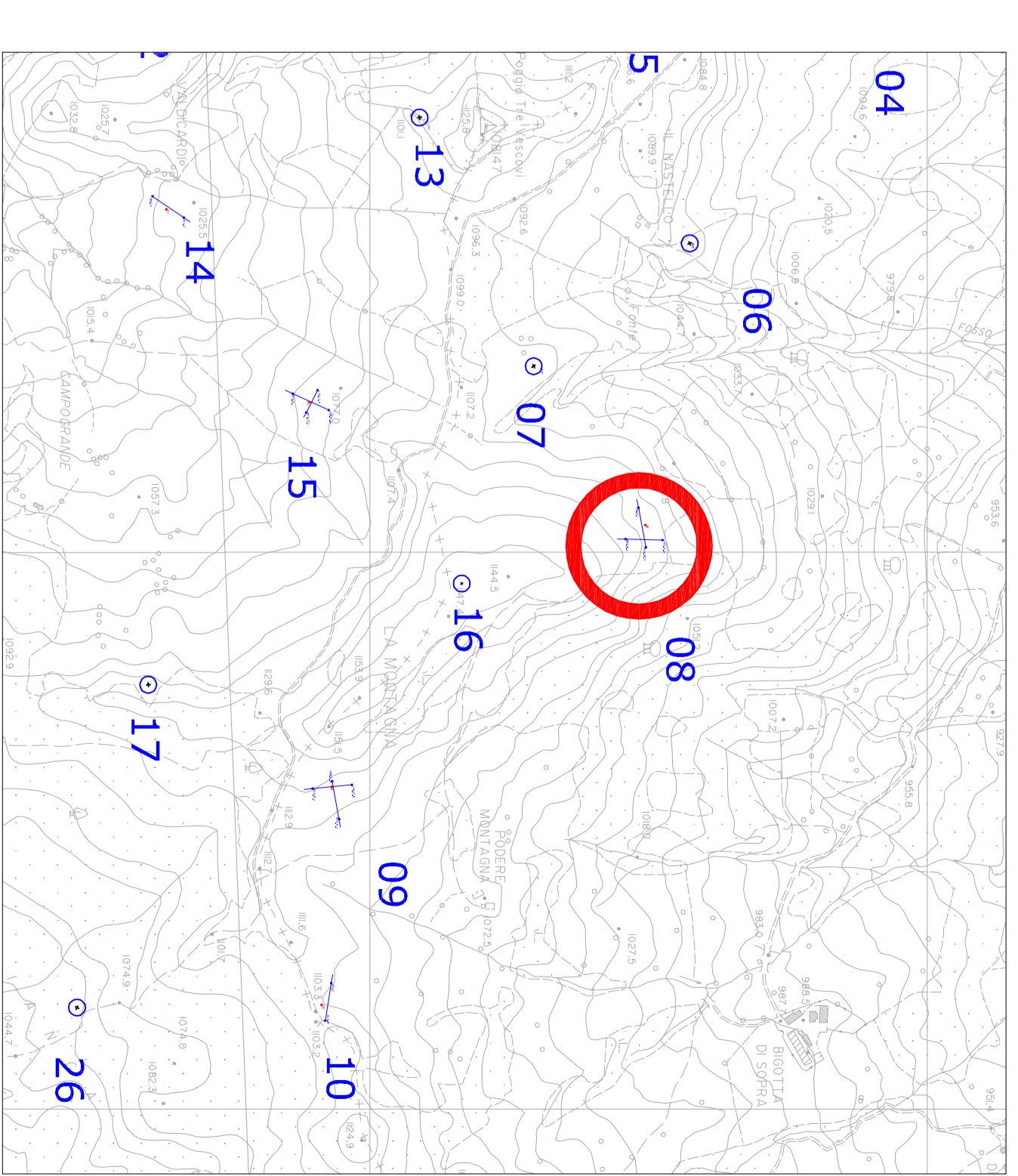
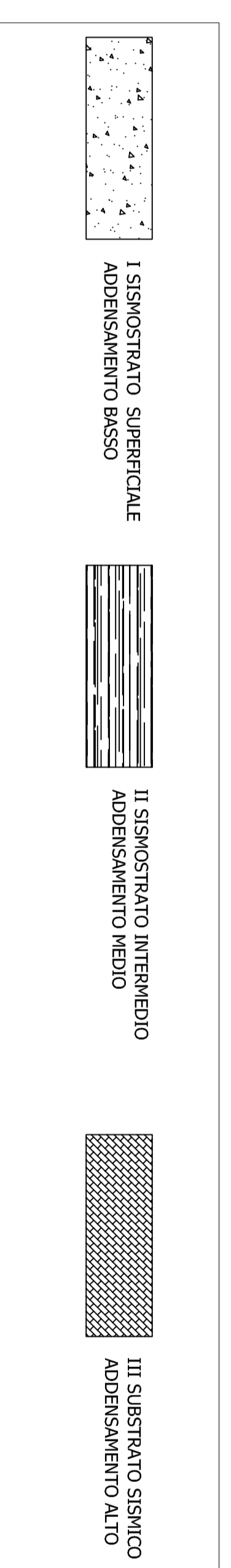
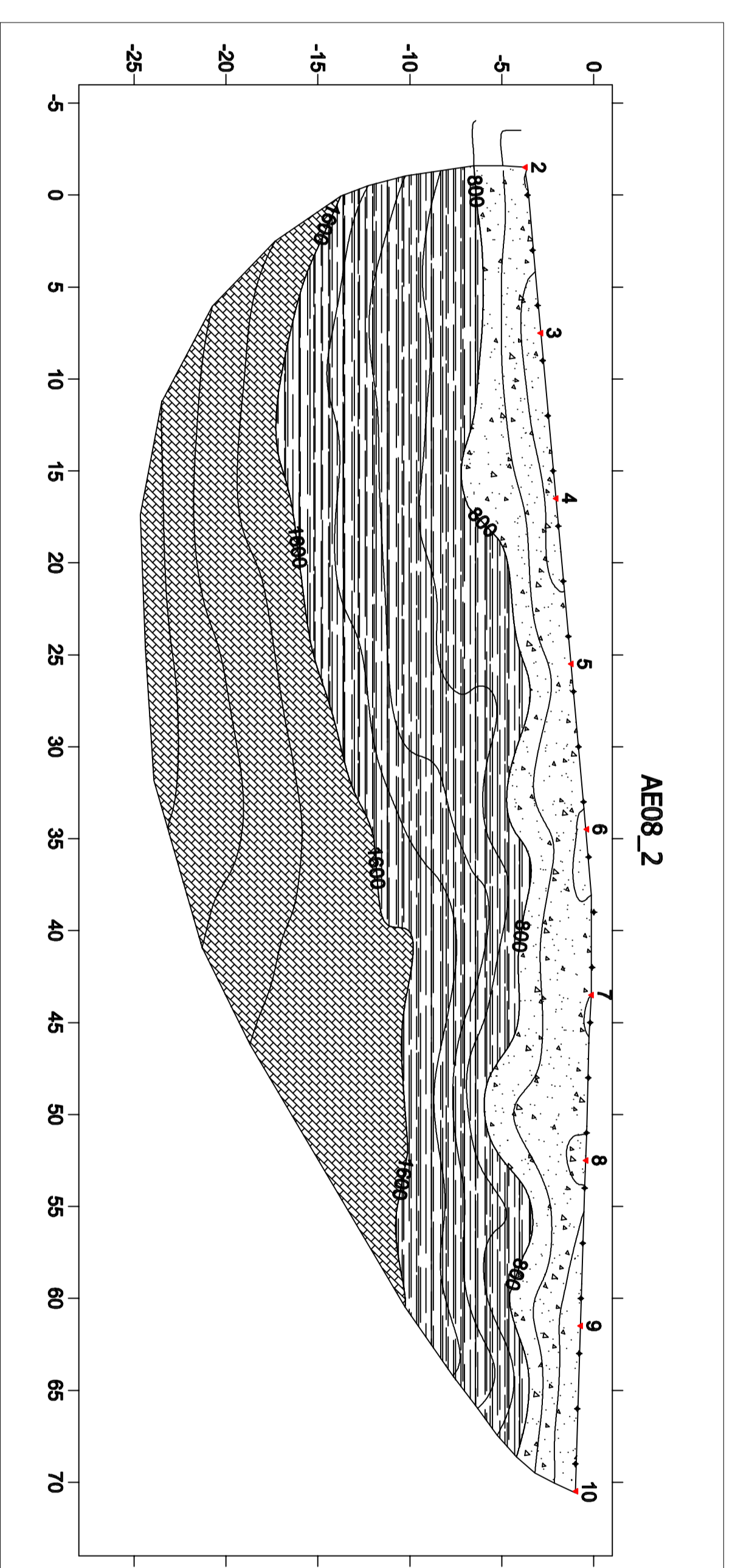
STENDIMENTO S08\_2 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



STENDIMENTO S08\_1 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



STENDIMENTO S08\_2 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



GEOTITALIA SRL  
Via Orfani, 38  
ROMA

INDAGINI GEOSISICHE DI SUPPORTO ALLA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "POGGIO TRE VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC), CASTELDELCI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

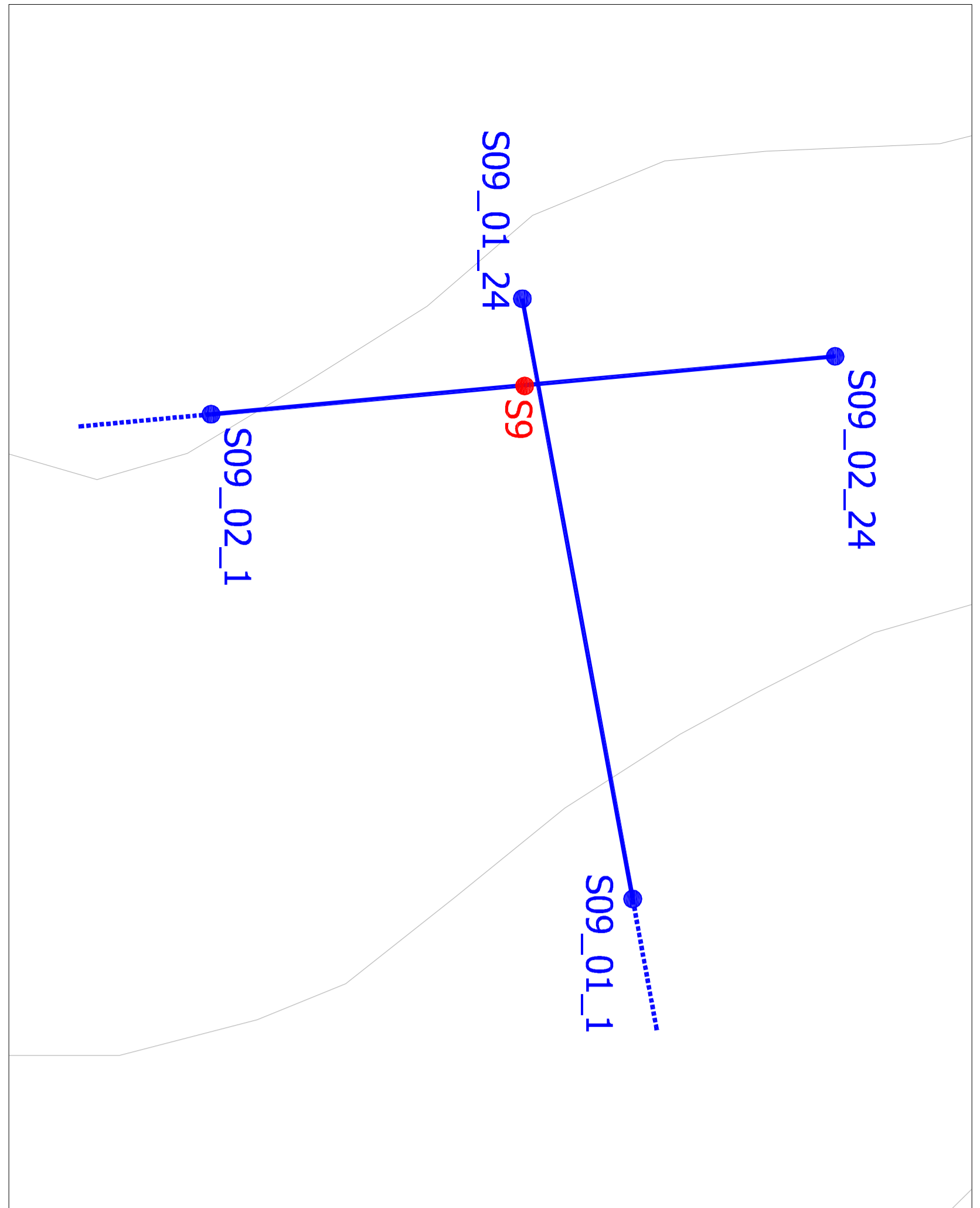
TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI STENDIMENTI S08\_1, S08\_2

PROGETTO	PR	SECU	VARIE
STRUTTORE	A	TRONCA	02 C
VERIFICHE	MA PS	VERIFICHE	01
APPROVATO	MA	DATA	SET 2010

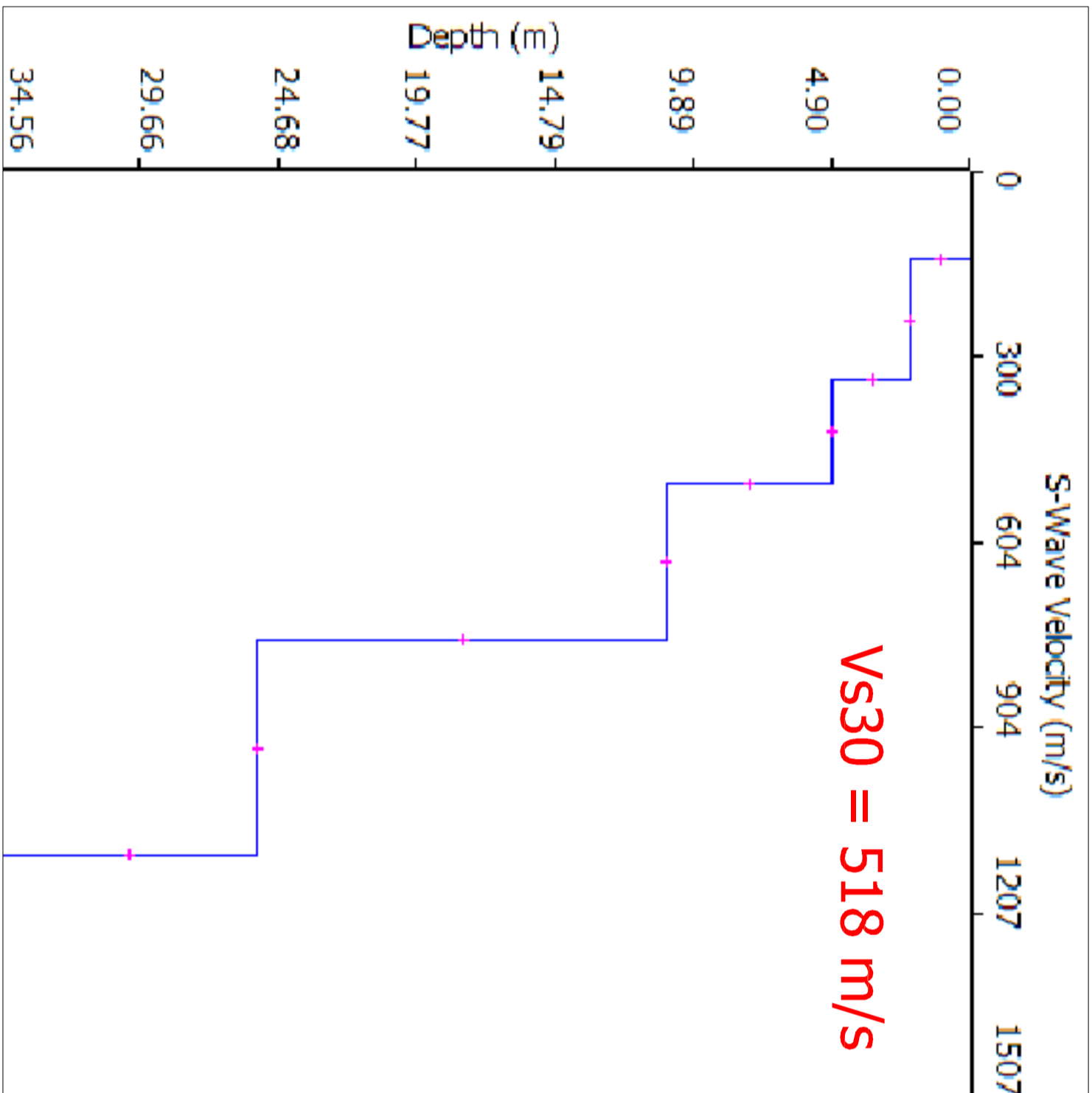
INDAGINI GEOSISICHE  
**ENKI**  
ENKI Srl  
Consulenza Operativa  
Strutture e Geotecnica  
Ingegneria



INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S09\_1 E S09\_2 - SCALA 1 : 500



PROFILLO DI VELOCITA' VS MASW AE09



RIPRESA FOTOGRAFICA S09\_1 DAL GEOFONO 1



RIPRESA FOTOGRAFICA S09\_1 DAL GEOFONO 24



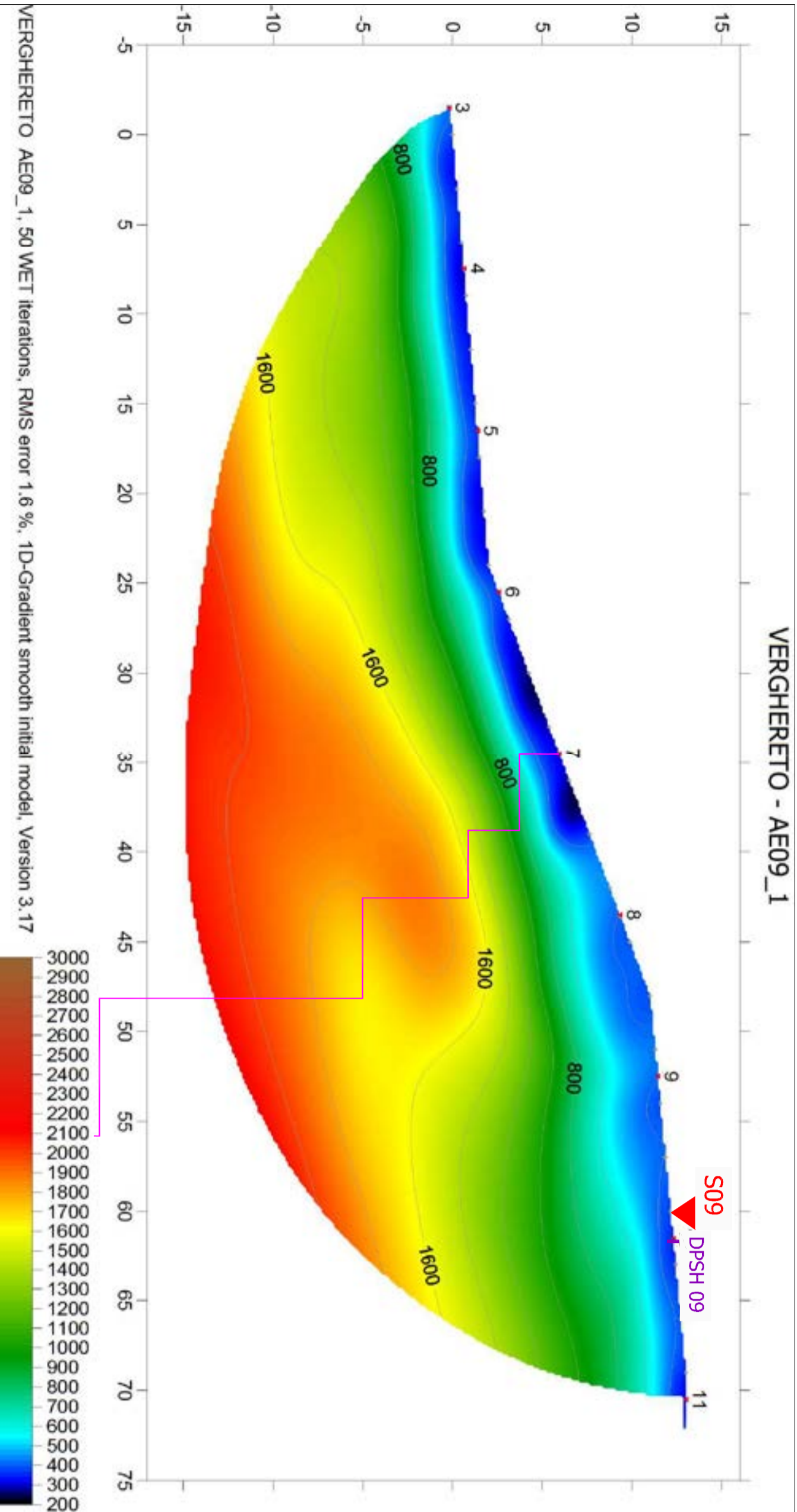
RIPRESA FOTOGRAFICA S09\_2 DAL GEOFONO 1



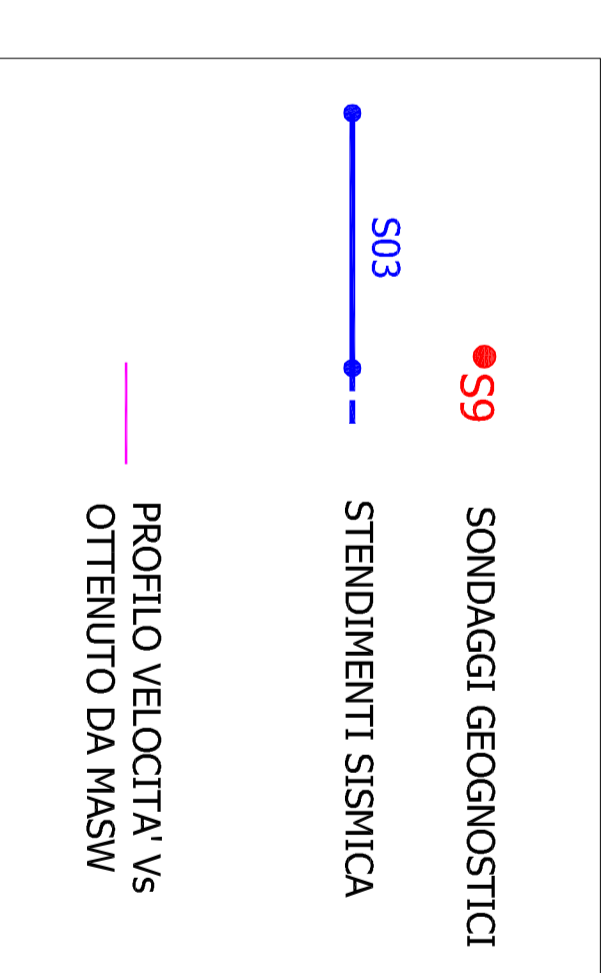
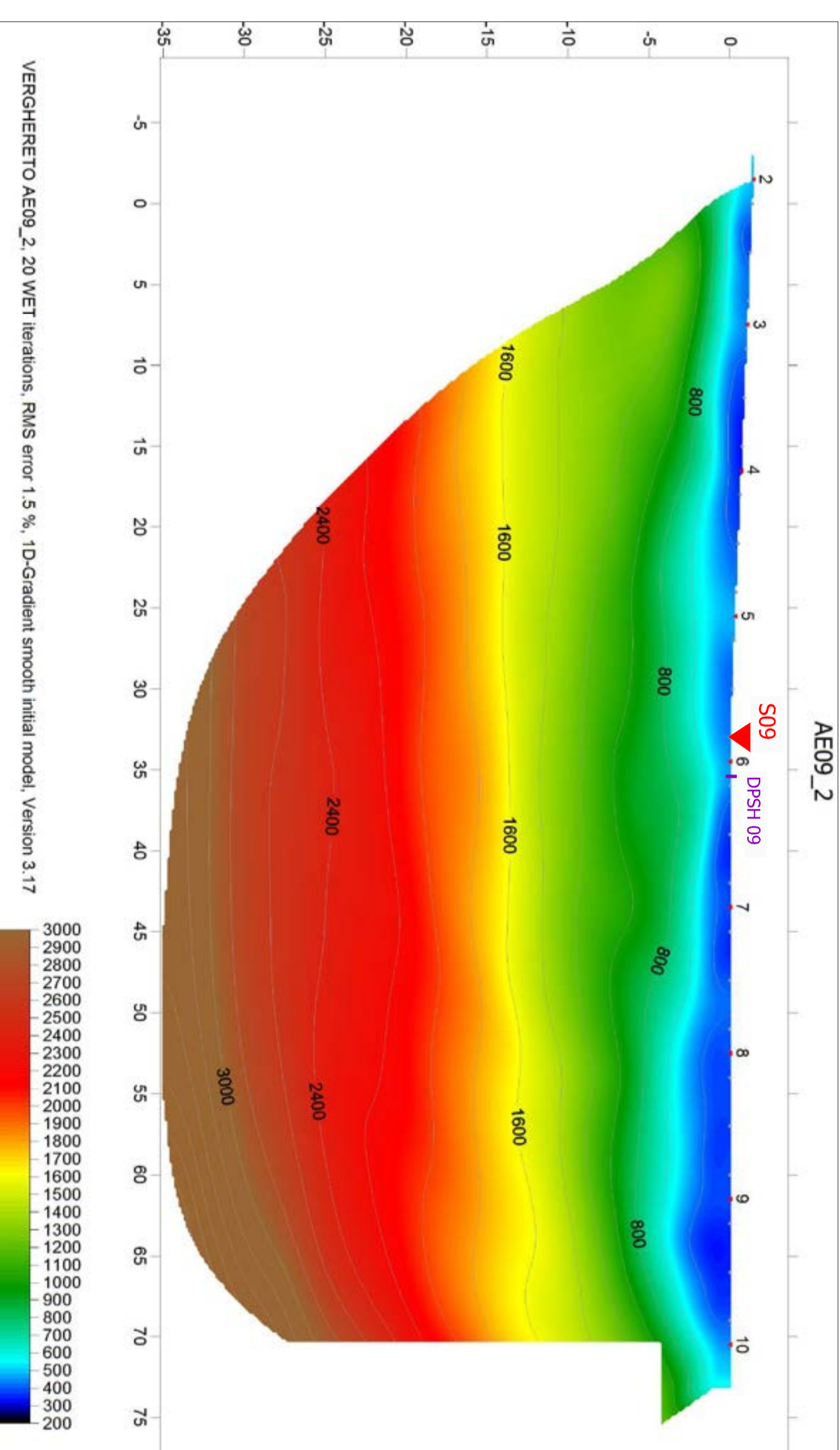
RIPRESA FOTOGRAFICA S09\_2 DAL GEOFONO 24



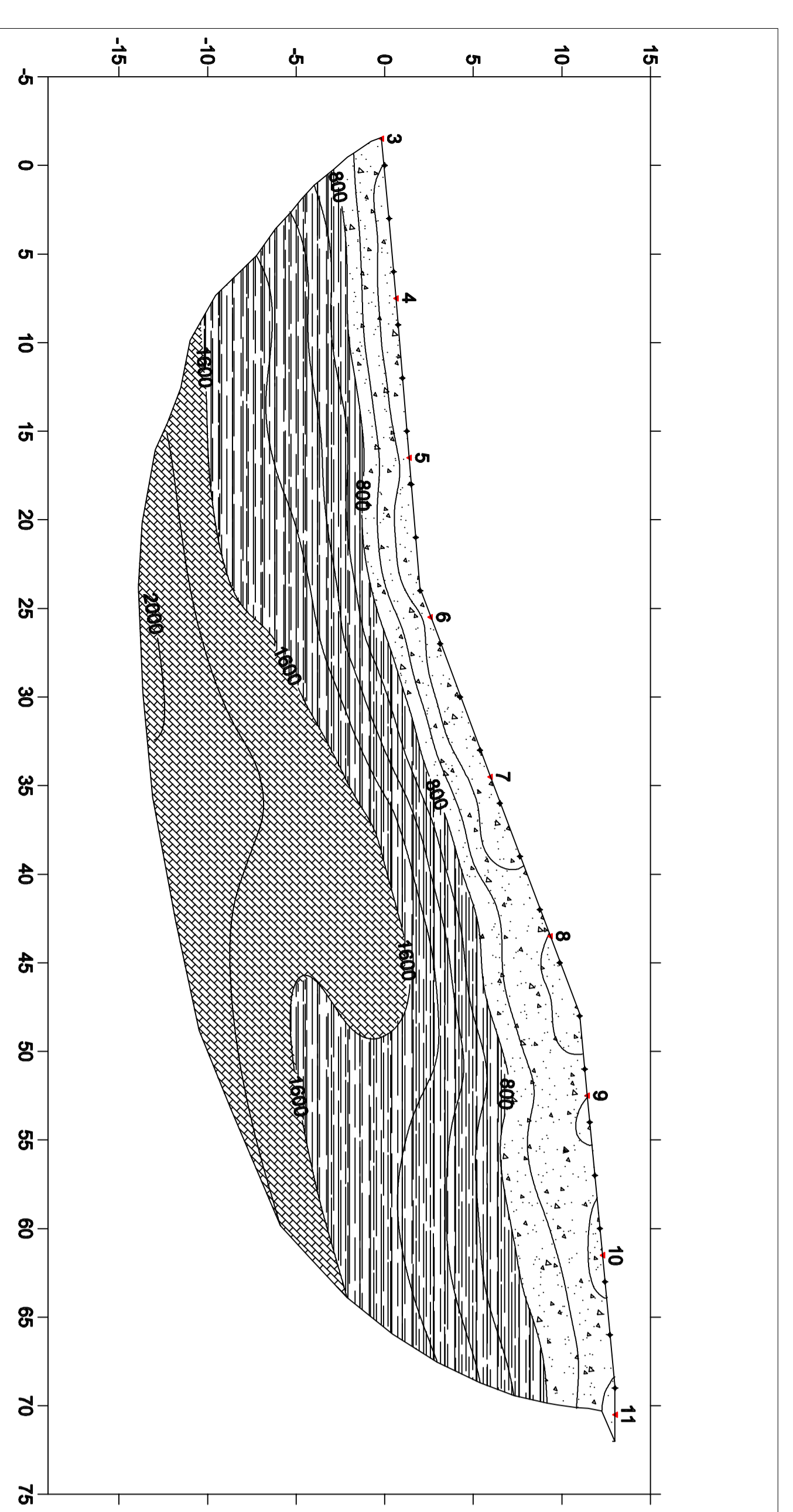
STENDIMENTO S09\_1 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



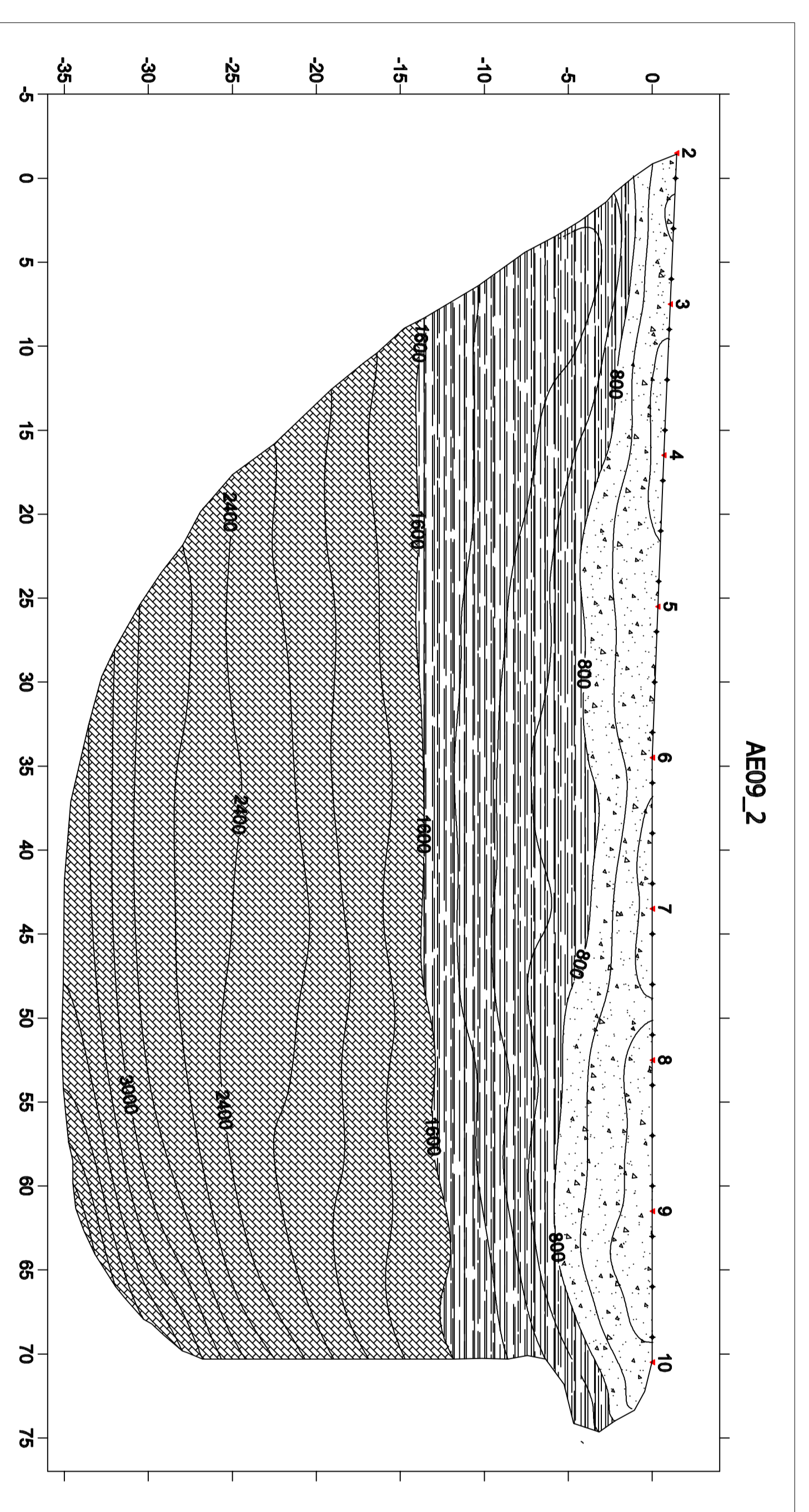
STENDIMENTO S09\_2 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



STENDIMENTO S09\_1 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



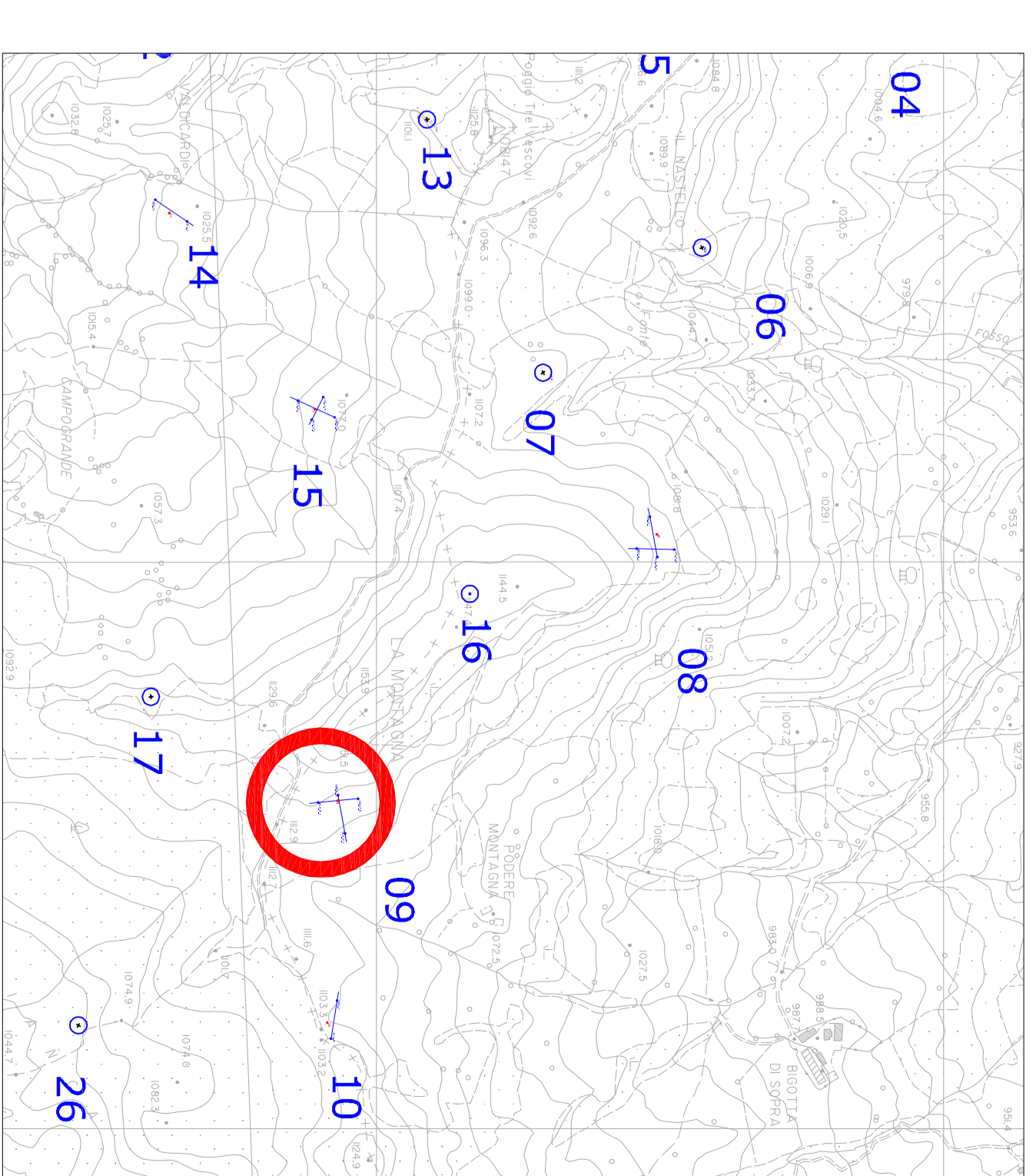
STENDIMENTO S09\_2 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



I SINGOLATO SUPERFICIALE  
ADENSAMENTO BASSO

II SINGOLATO INTERMEDIO  
ADENSAMENTO MEDIO

III SINGOLATO SUPERFICIALE  
ADENSAMENTO ALTO



GEOTALLIA SRL  
Via Orfani, 38  
ROMA

INDAGINI GEOSISMICHE DI SUPPORTO ALLA REALIZZAZIONE DEL PARCO FOLICO "POGGIO TRE VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC), CASTELDELCI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI STENDIMENTI S09\_1, S09\_2

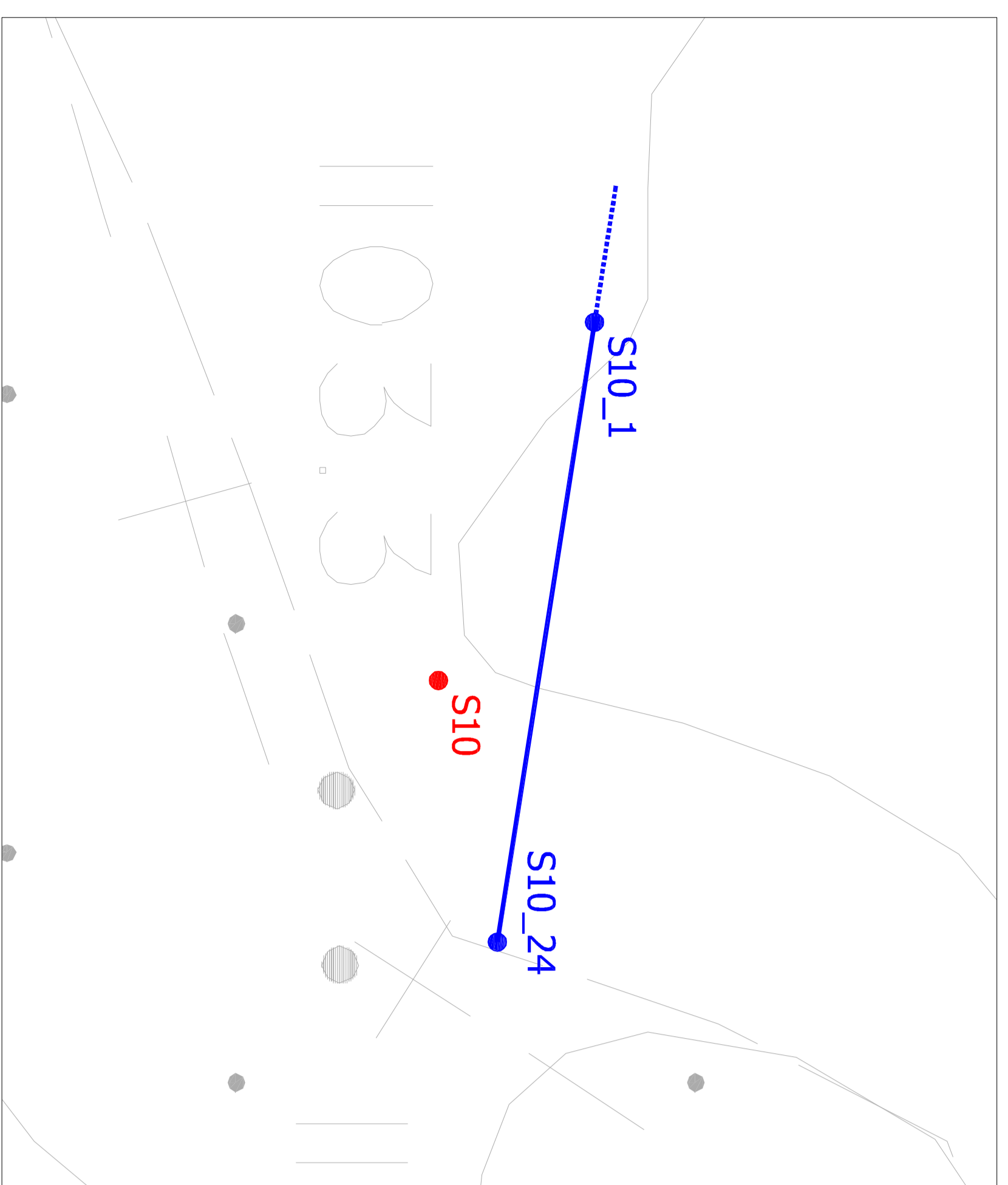
IL COMMITTENTE	PROGETTO	SECUZ
GEOTALLIA SRL	PR	VARIE
Via Orfani, 38 ROMA	A	02 D
INDAGINI GEOSISMICHE	APPROVATO	DATA
	MA PS	SET 2010
	01	

ENKI  
INGEGNERIA

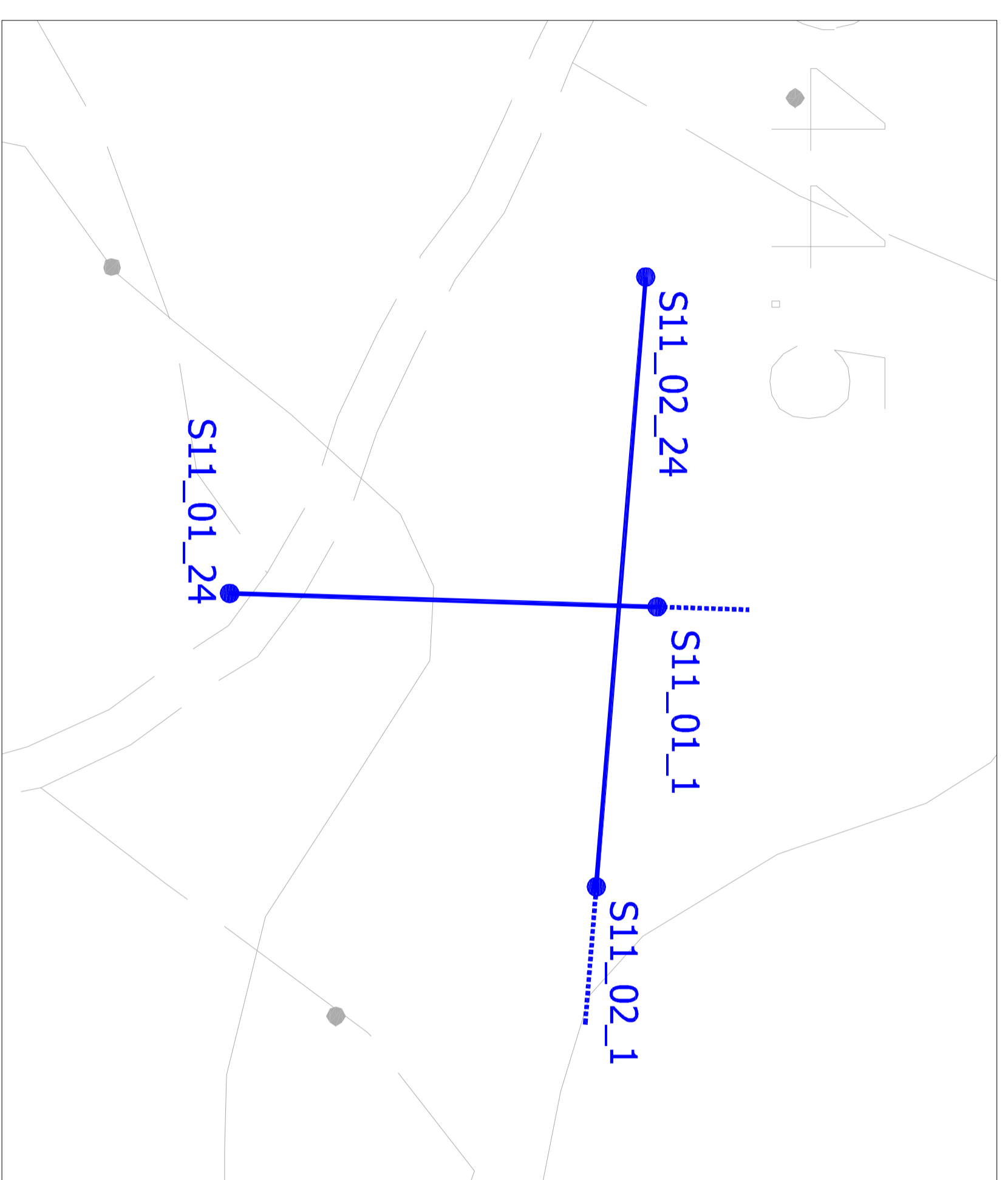
ENKI S.p.A.  
Ingegneria e Servizi  
CONSULENZA OPERE CIVILI -  
STRUTTURE E GEOTECNICA



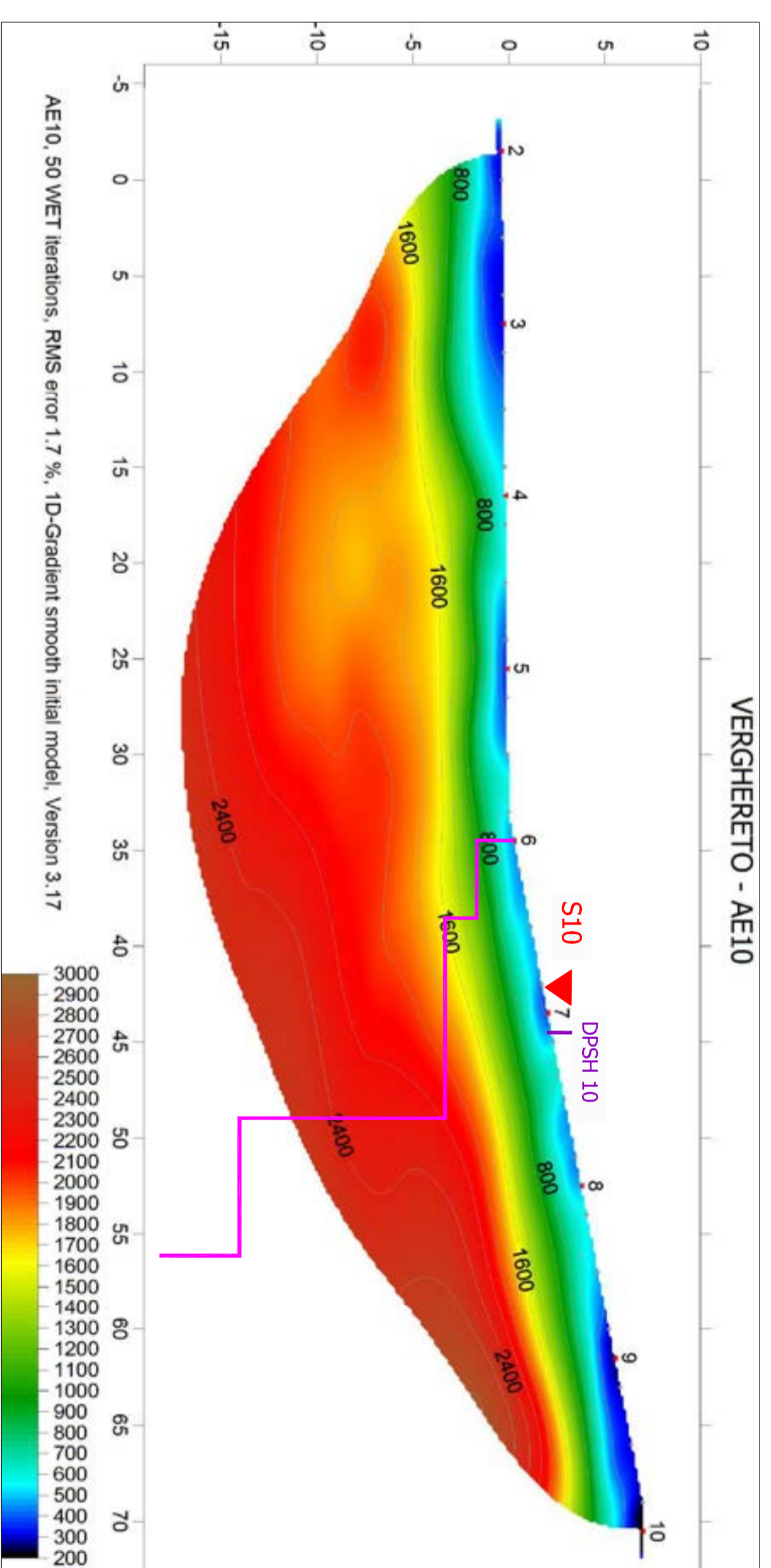
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S10 - SCALA 1 : 500



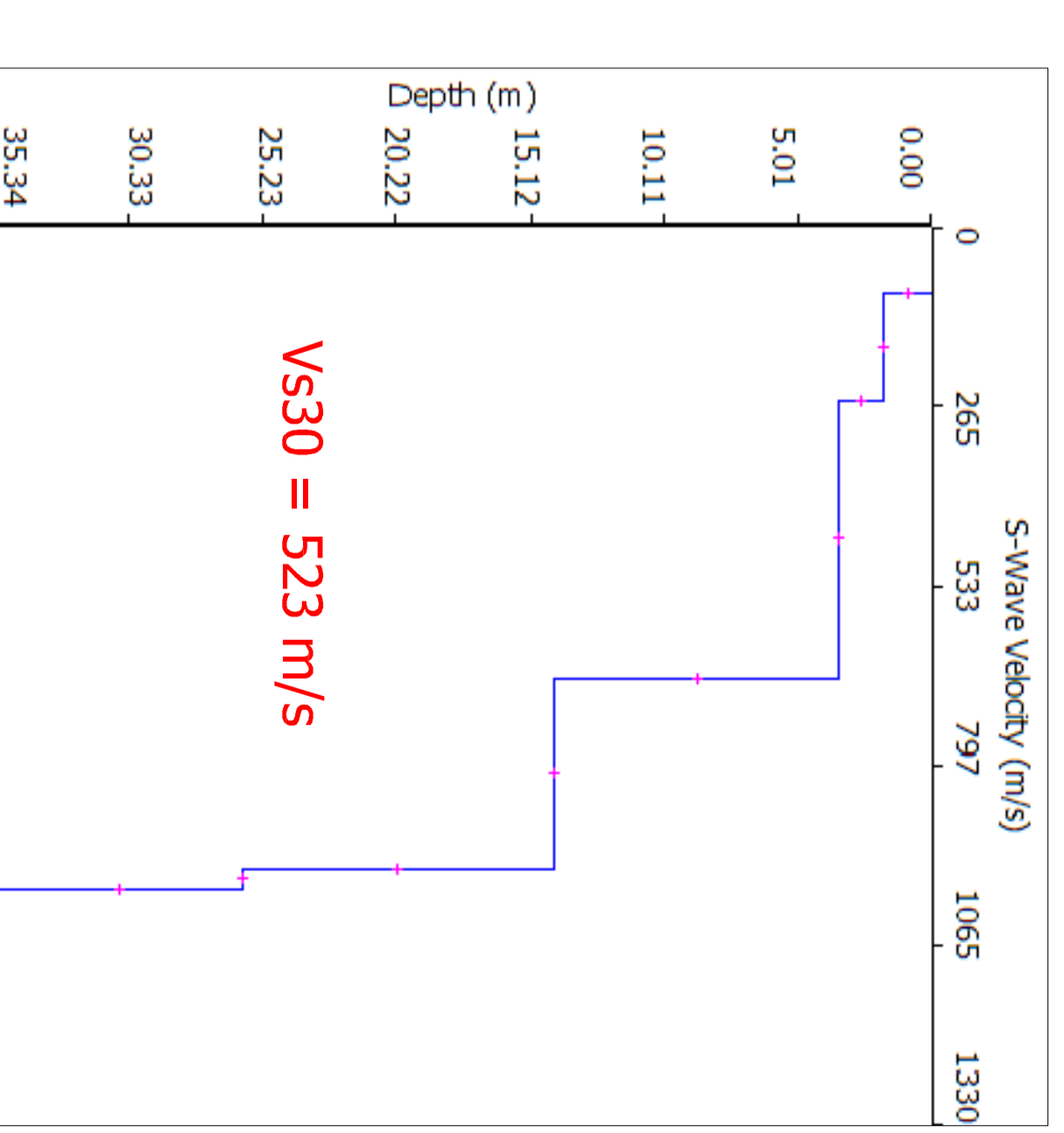
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S11\_1 E S11\_2 - SCALA 1 : 500



STENDIMENTO S10 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250

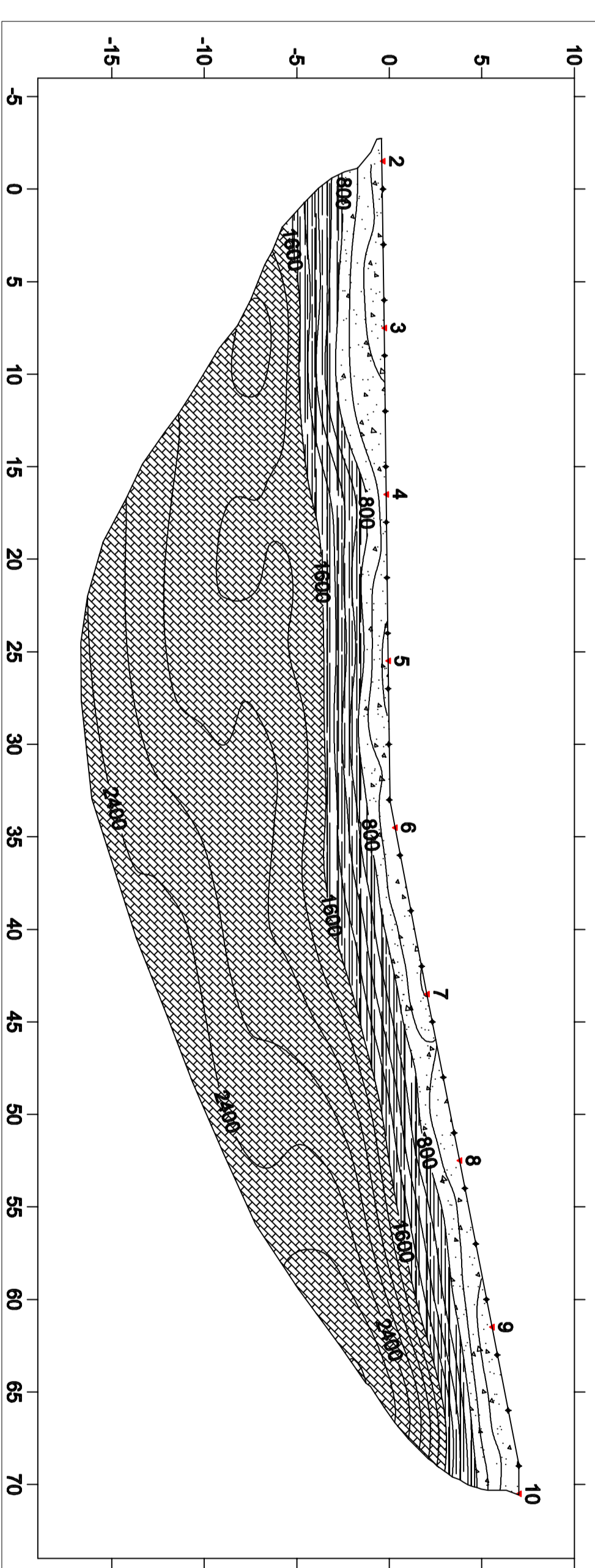


PROFILLO DI VELOCITA' VS MASW AE10

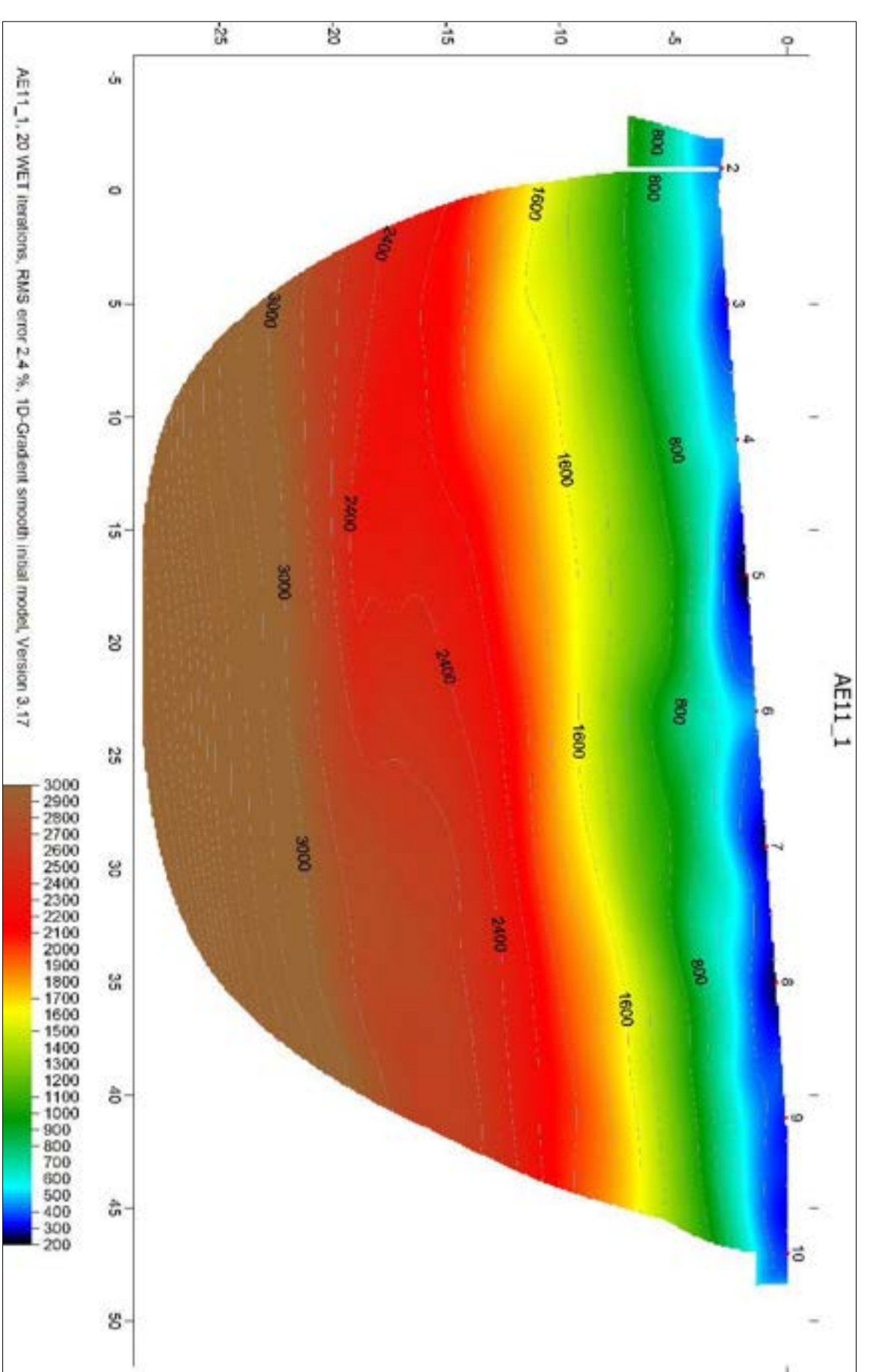


STENDIMENTO S10 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250

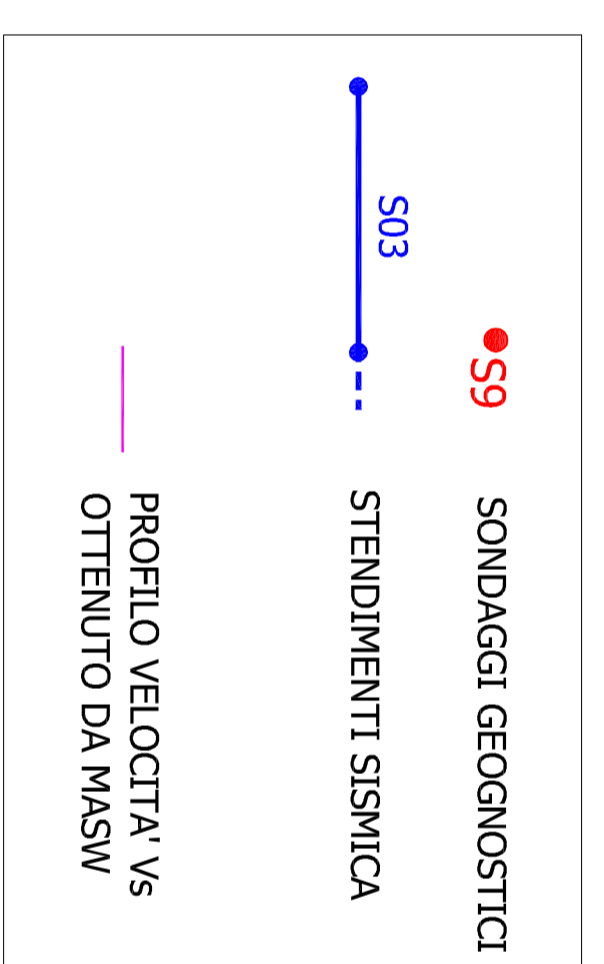
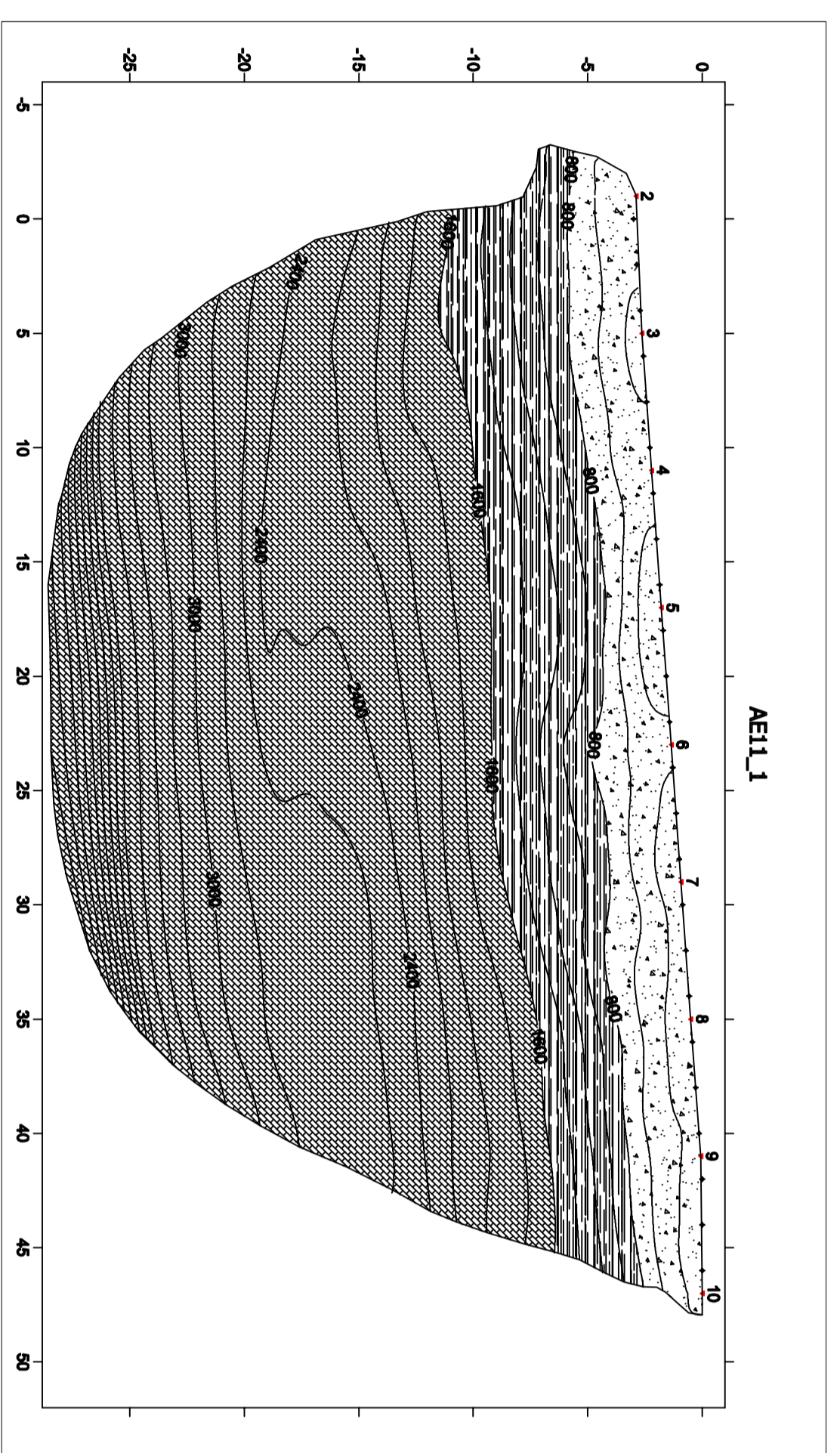
VERGHERETO - AE10



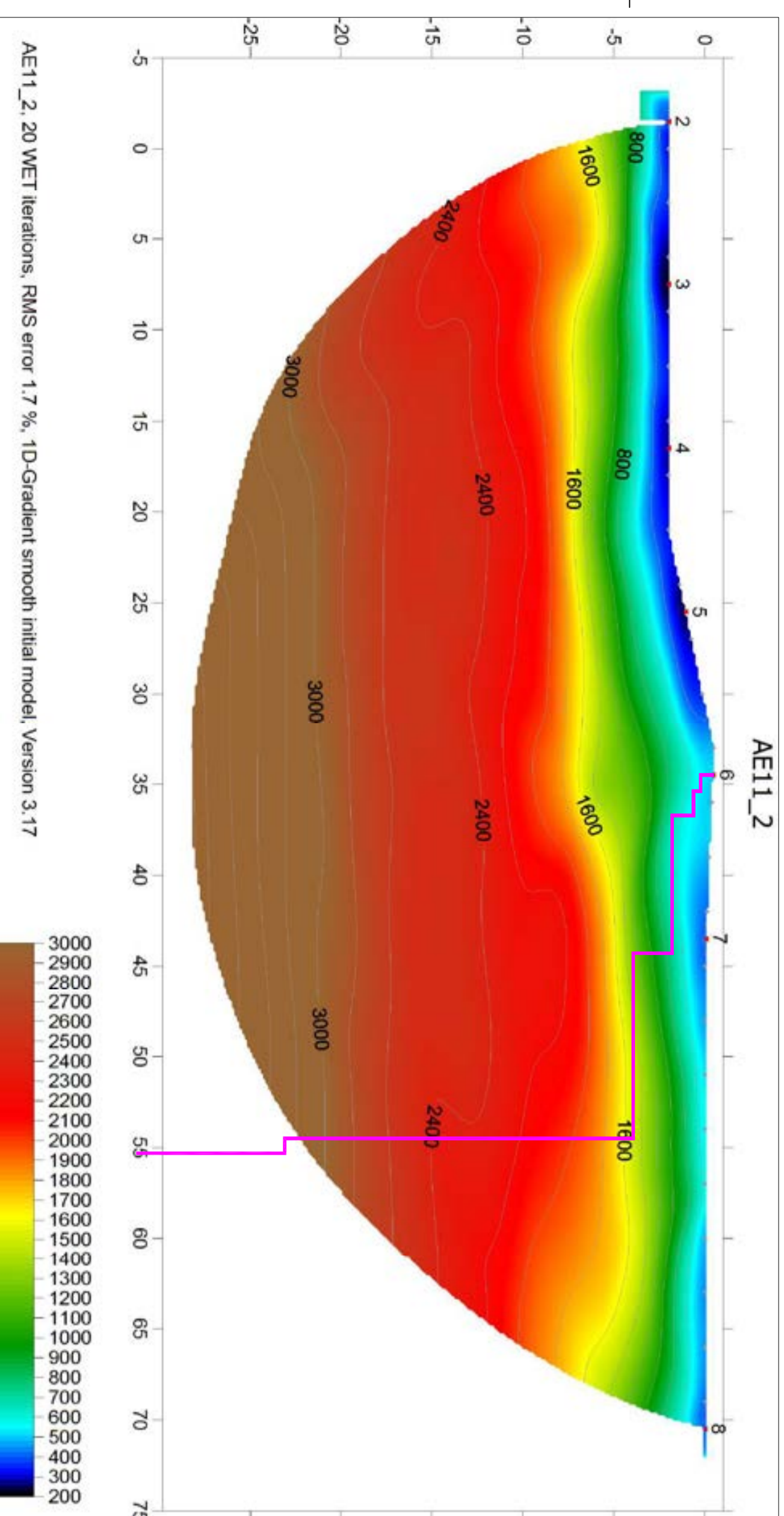
STENDIMENTO S11\_1 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



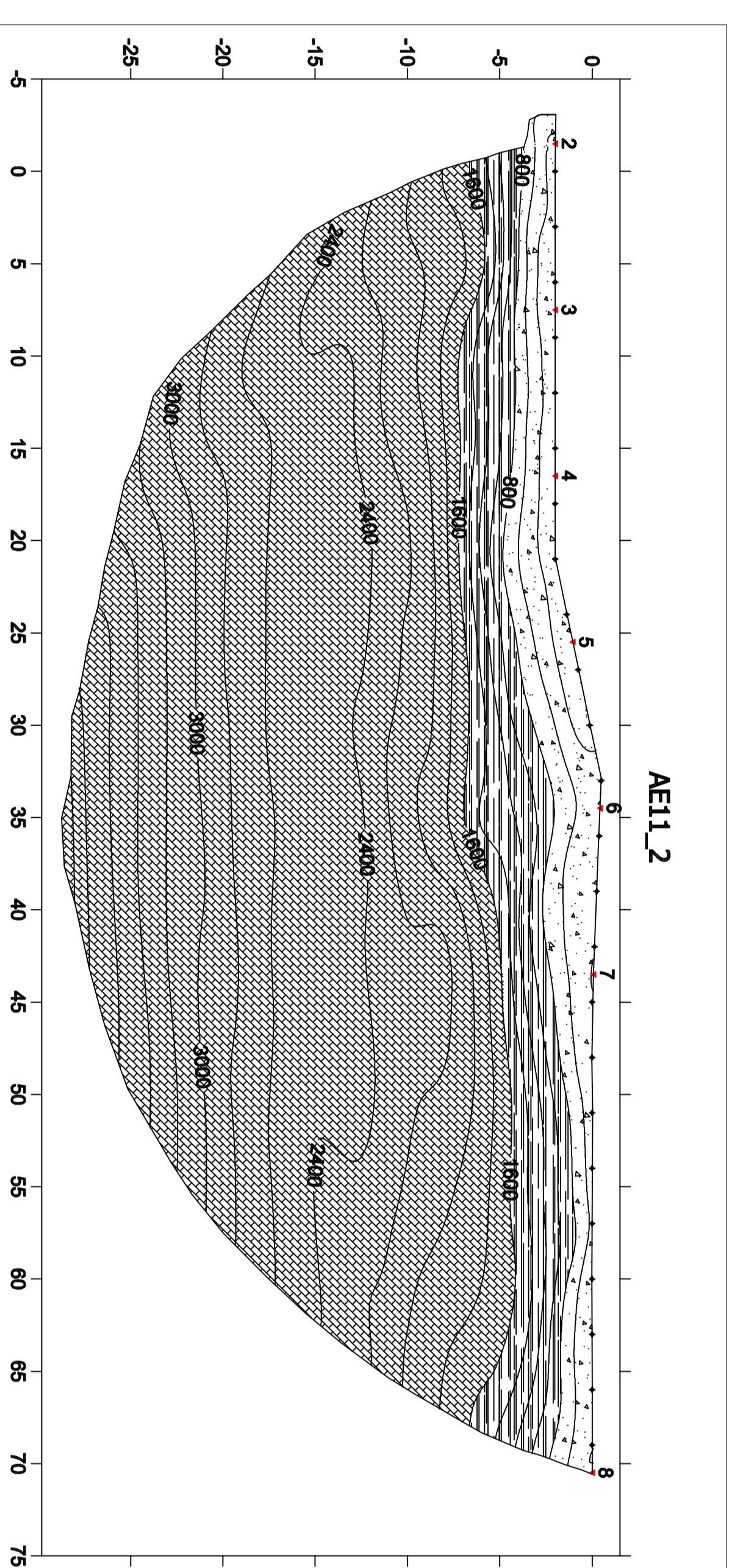
STENDIMENTO S11\_1 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



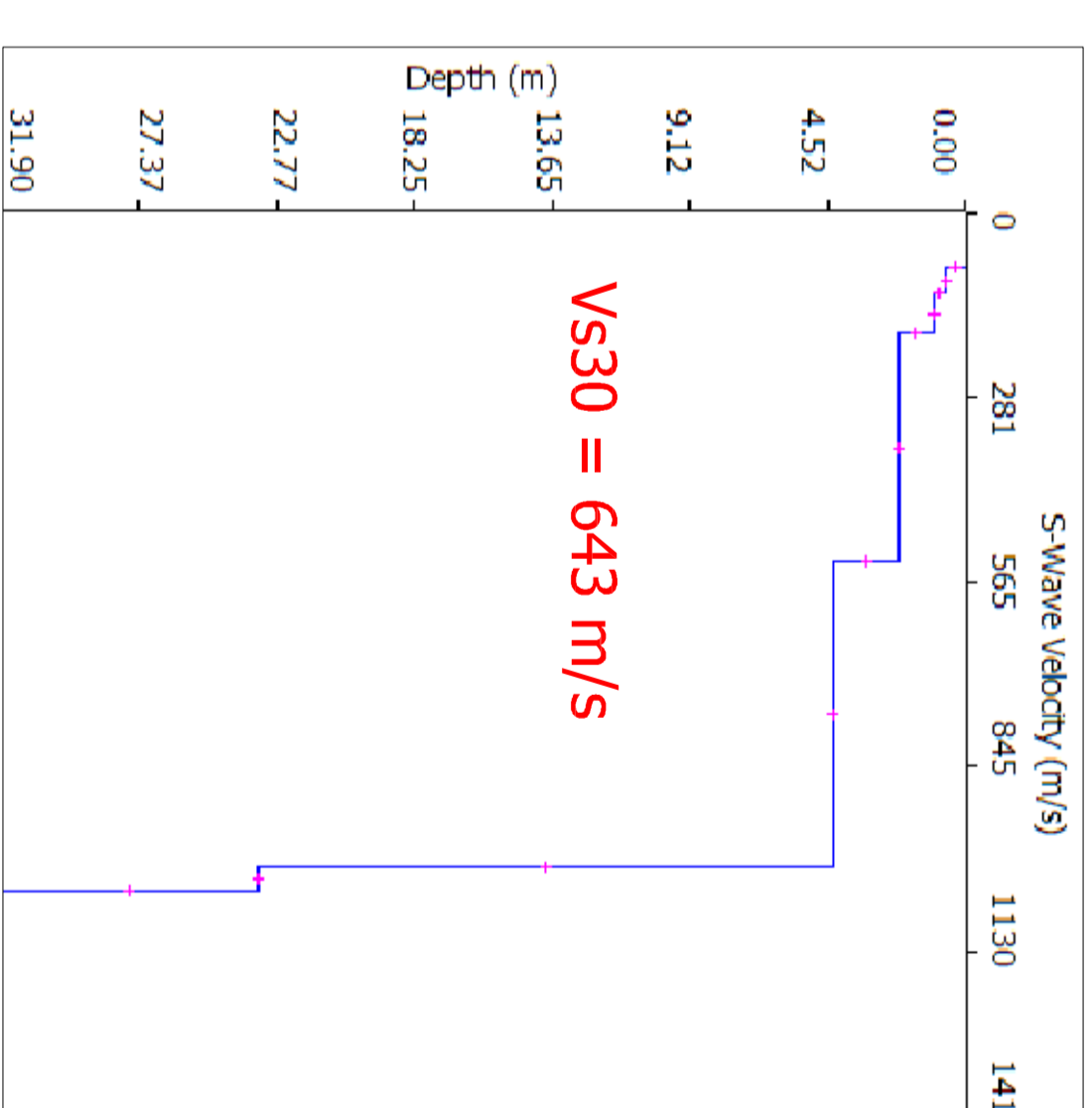
STENDIMENTO S11\_2 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



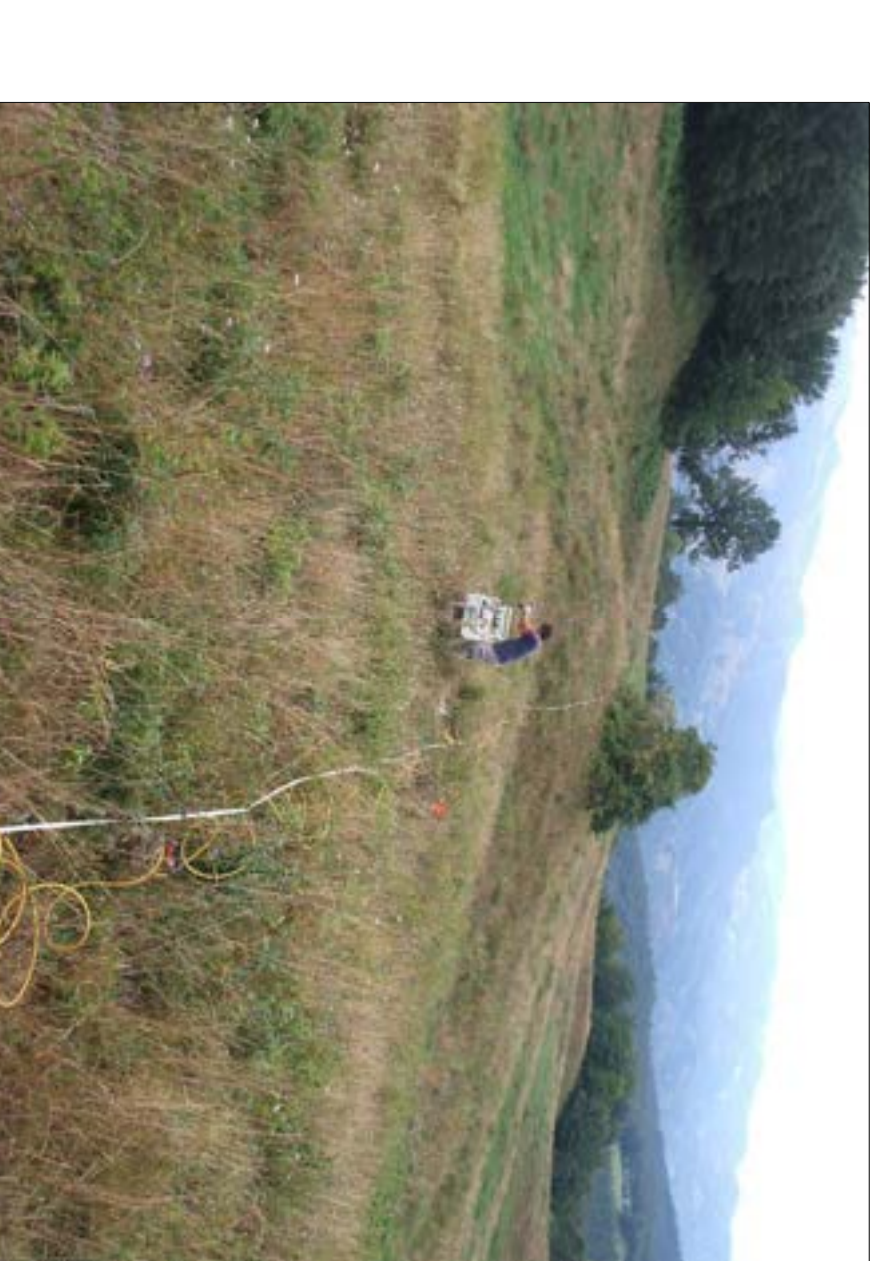
STENDIMENTO S11\_2 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



PROFILLO DI VELOCITA' VS MASW AE11



RIPRESA FOTOGRAFICA S01\_1 DAL GEOPONO 24



RIPRESA FOTOGRAFICA S11\_1 DAL GEOPONO 1



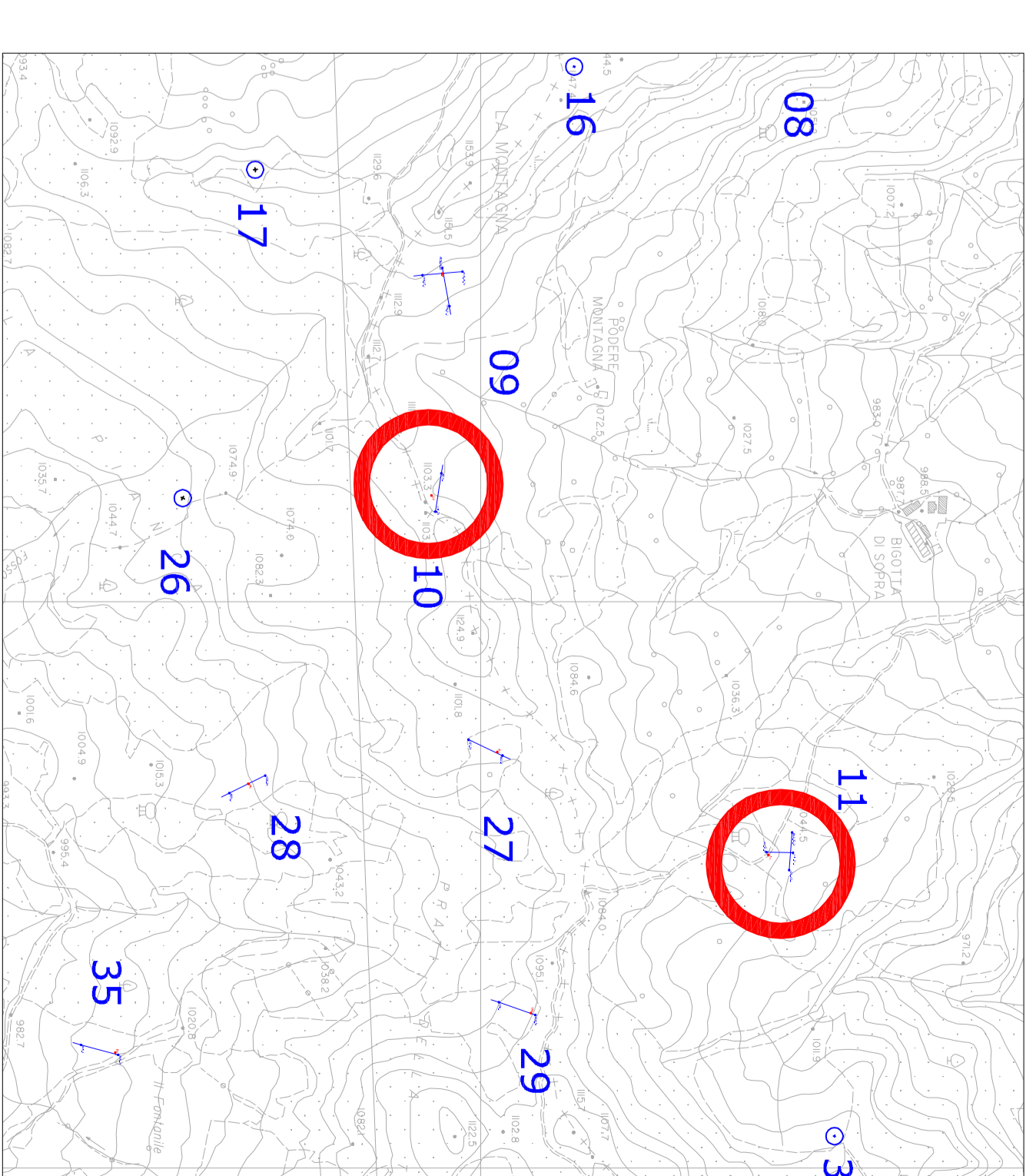
RIPRESA FOTOGRAFICA S11\_2 DAL GEOPONO 1



RIPRESA FOTOGRAFICA S11\_2 DAL GEOPONO 24



RIPRESA FOTOGRAFICA S10



GEOTITALIA SRL  
Via Oriani, 38  
ROMA

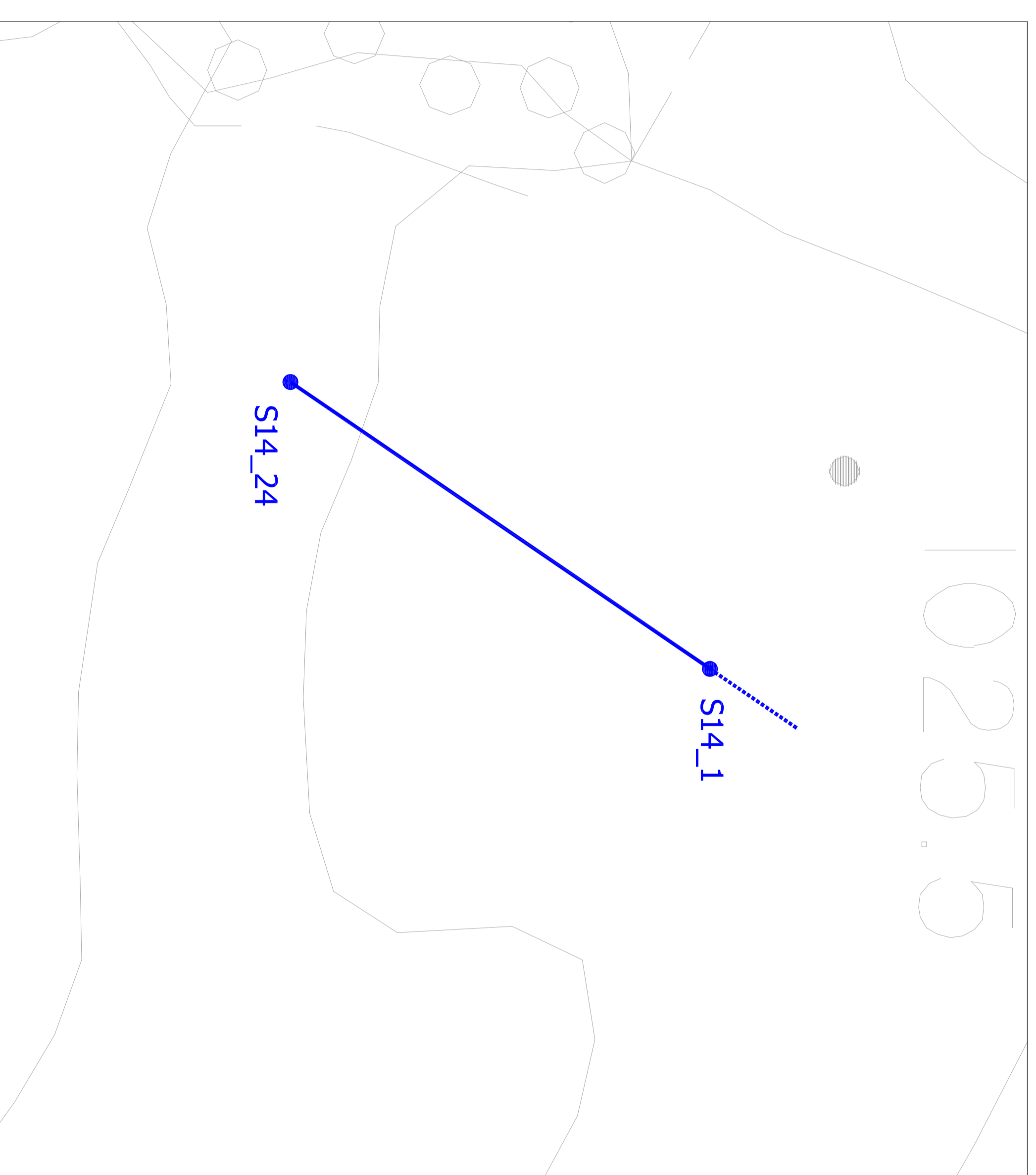
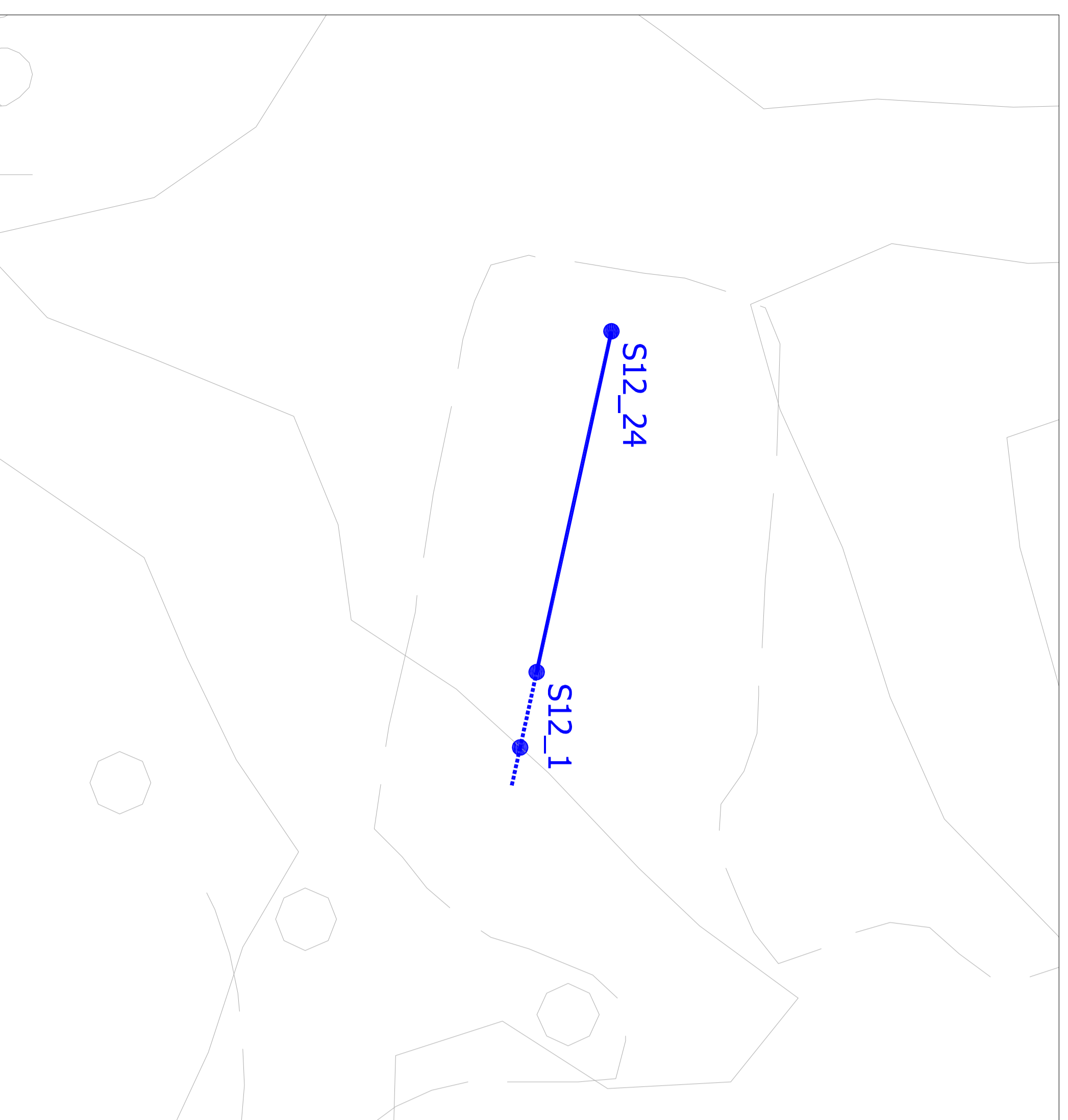
INDAGINI GEOSISICHE SISMICHE DI SUPPORTO ALLA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "POGGIO TRE VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC), CASTELDELICI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI STENDIMENTI S10, S11\_1 E S11\_2

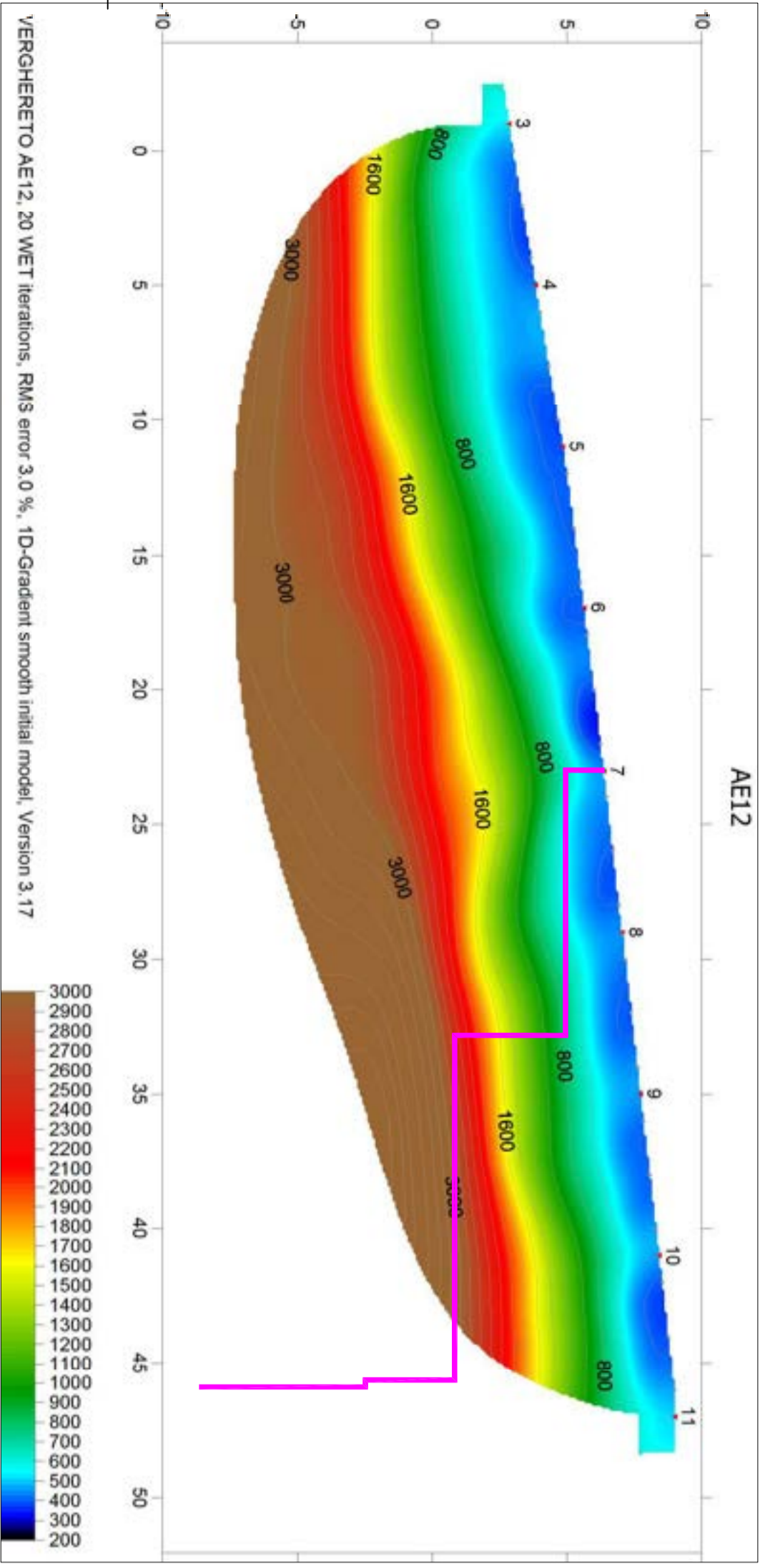
IL COMMITTENTE		PROGETTO	
GEOTITALIA SRL		PR	VARIE
Via Oriani, 38 ROMA		SCHEDA	
		TAVOLA	
		02 E	
		VERSIONE	
		01	
		DATA	
		SET 2010	

INDAGINI GEOSISICHE  
ENKI S.p.A. - ENKI  
CONSULENZA OPERE CIVILI -  
STRUTTURE E GEOTECNICA  
INGEGNERIA

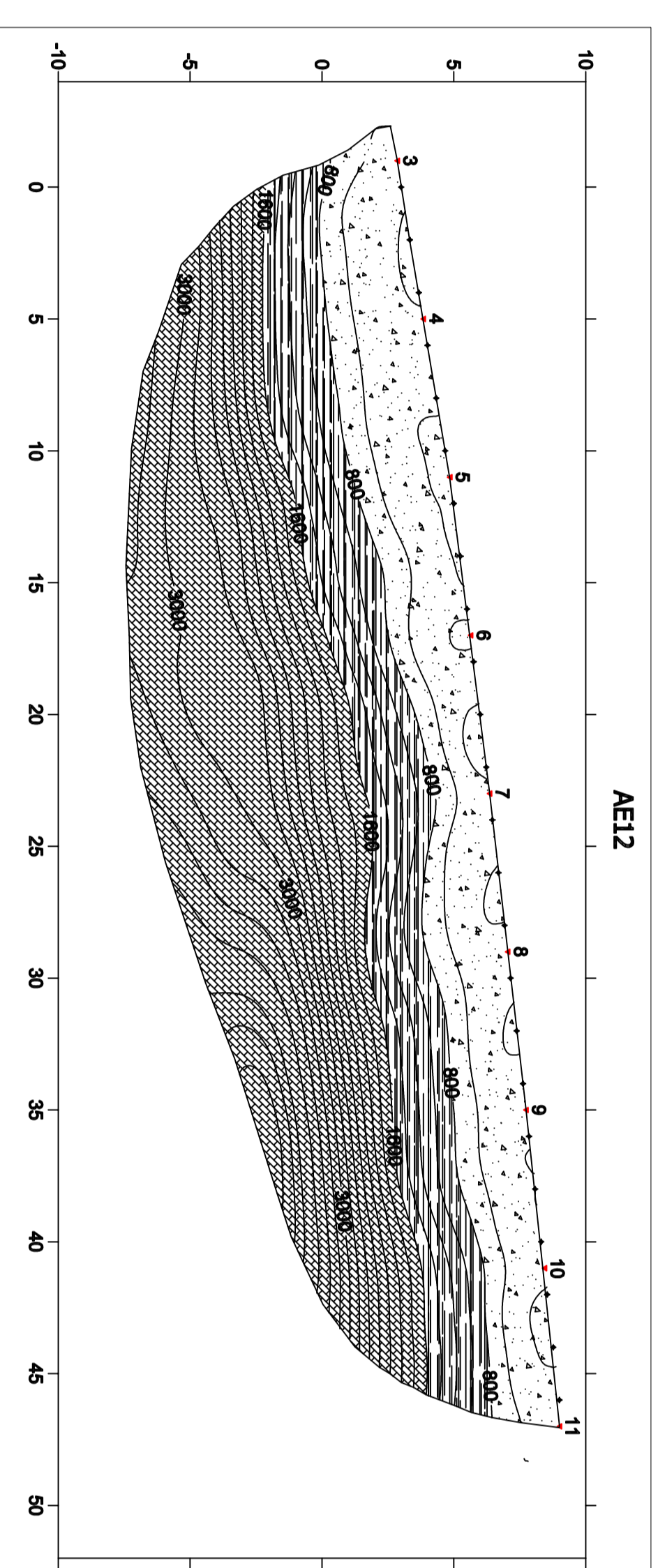




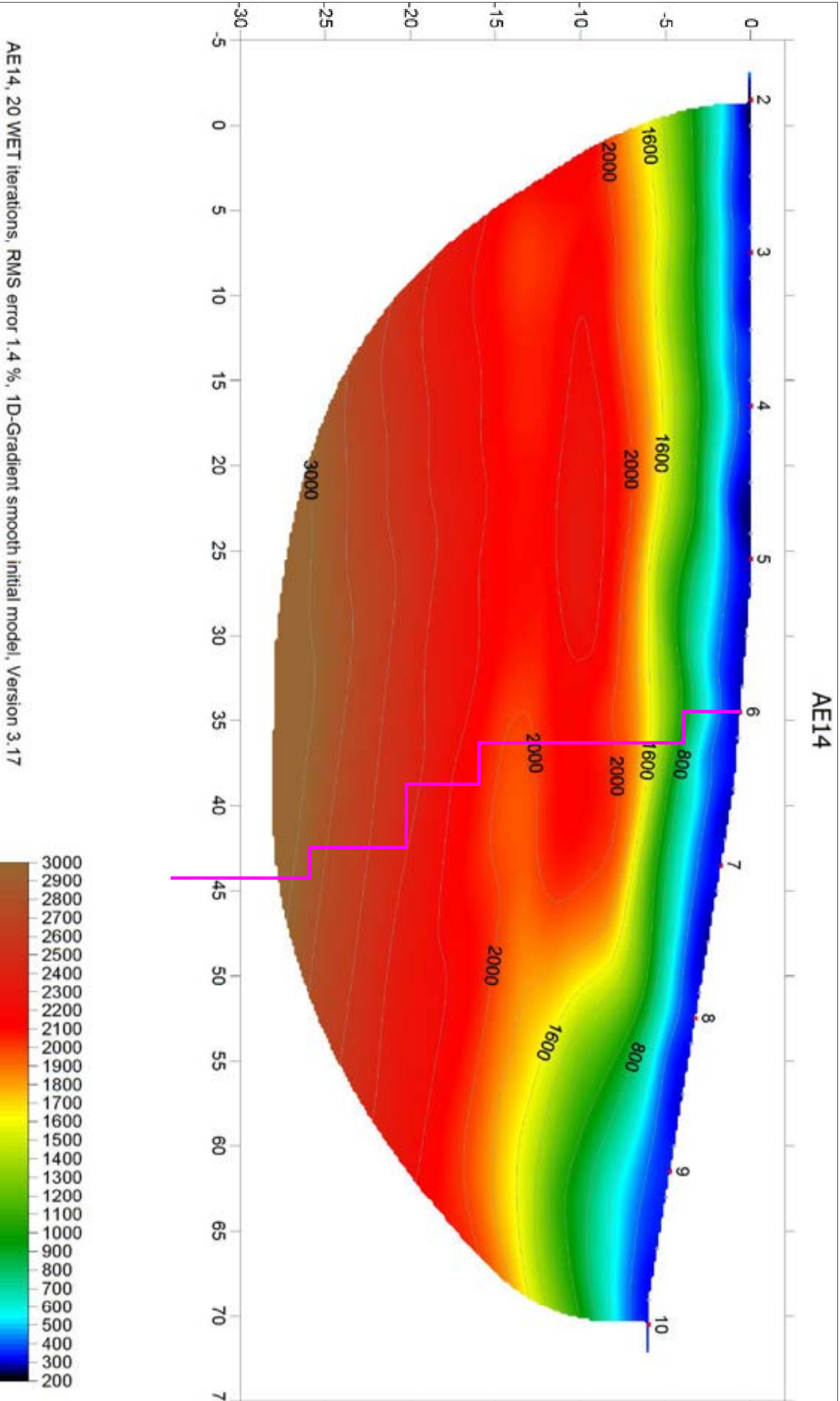
STENDIMENTO S12 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 200



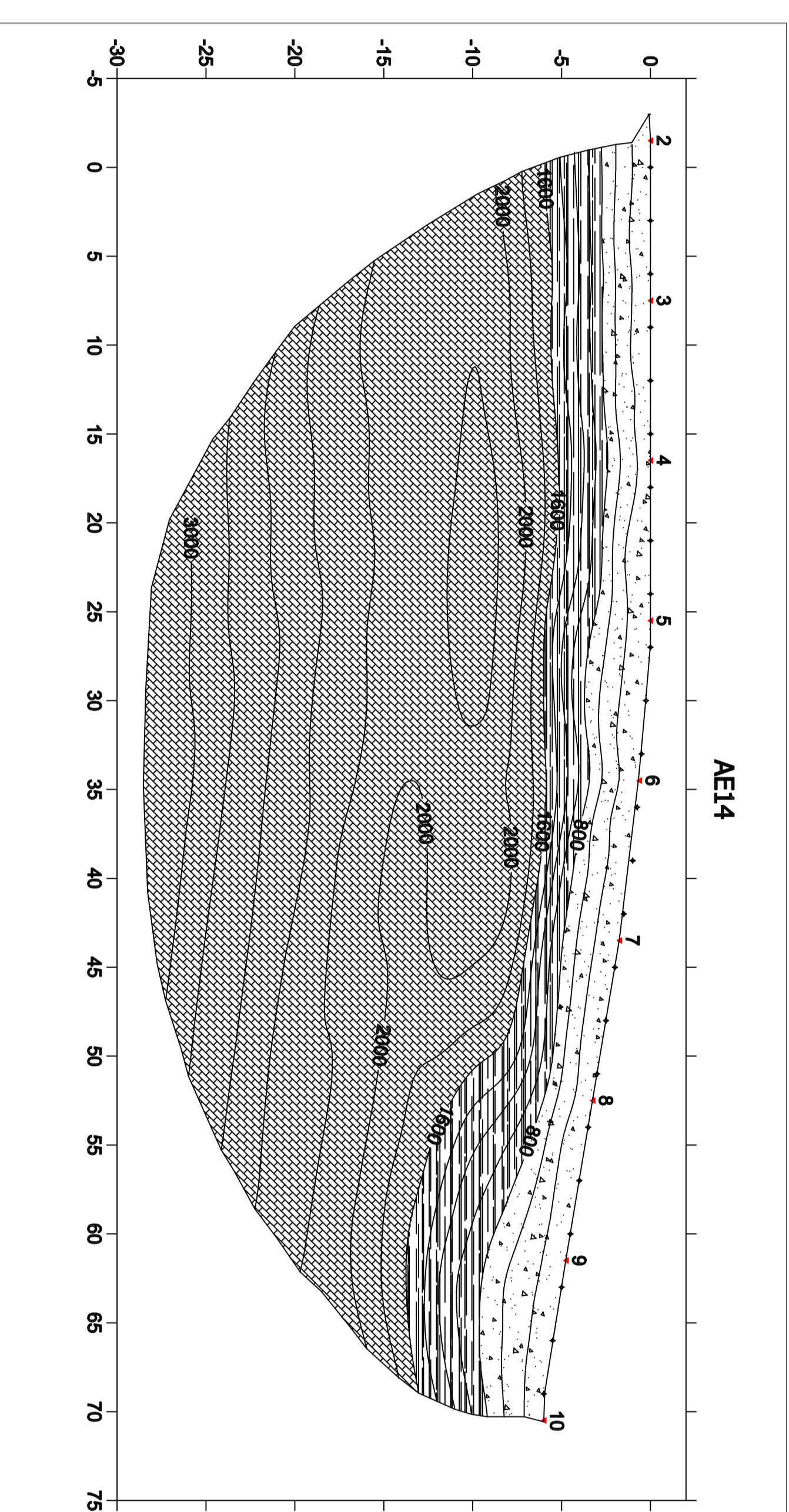
STENDIMENTO S12 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 200



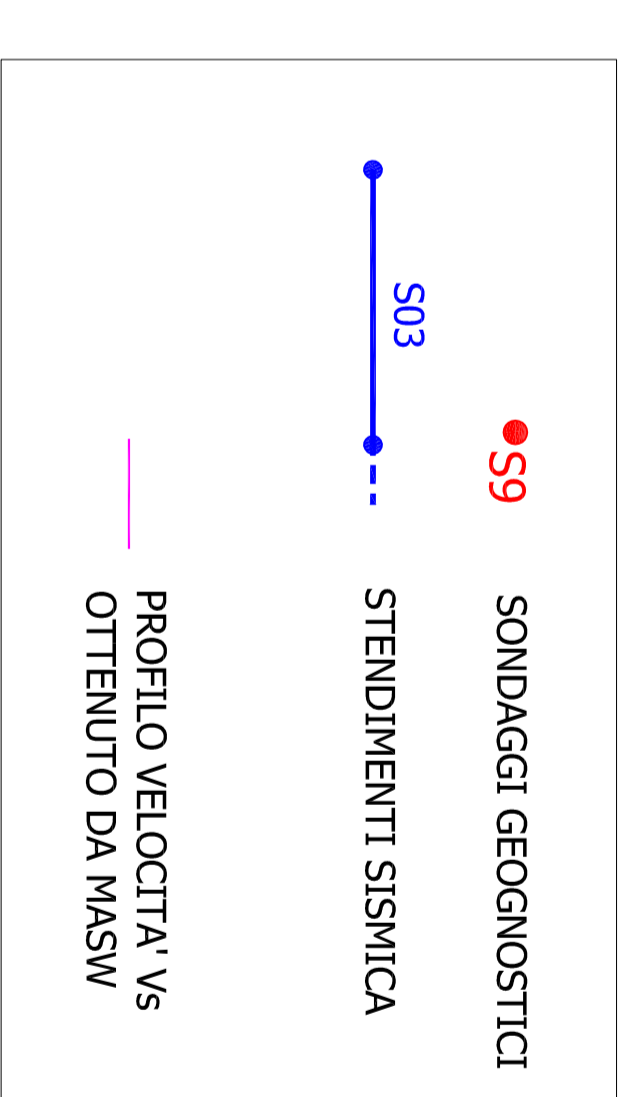
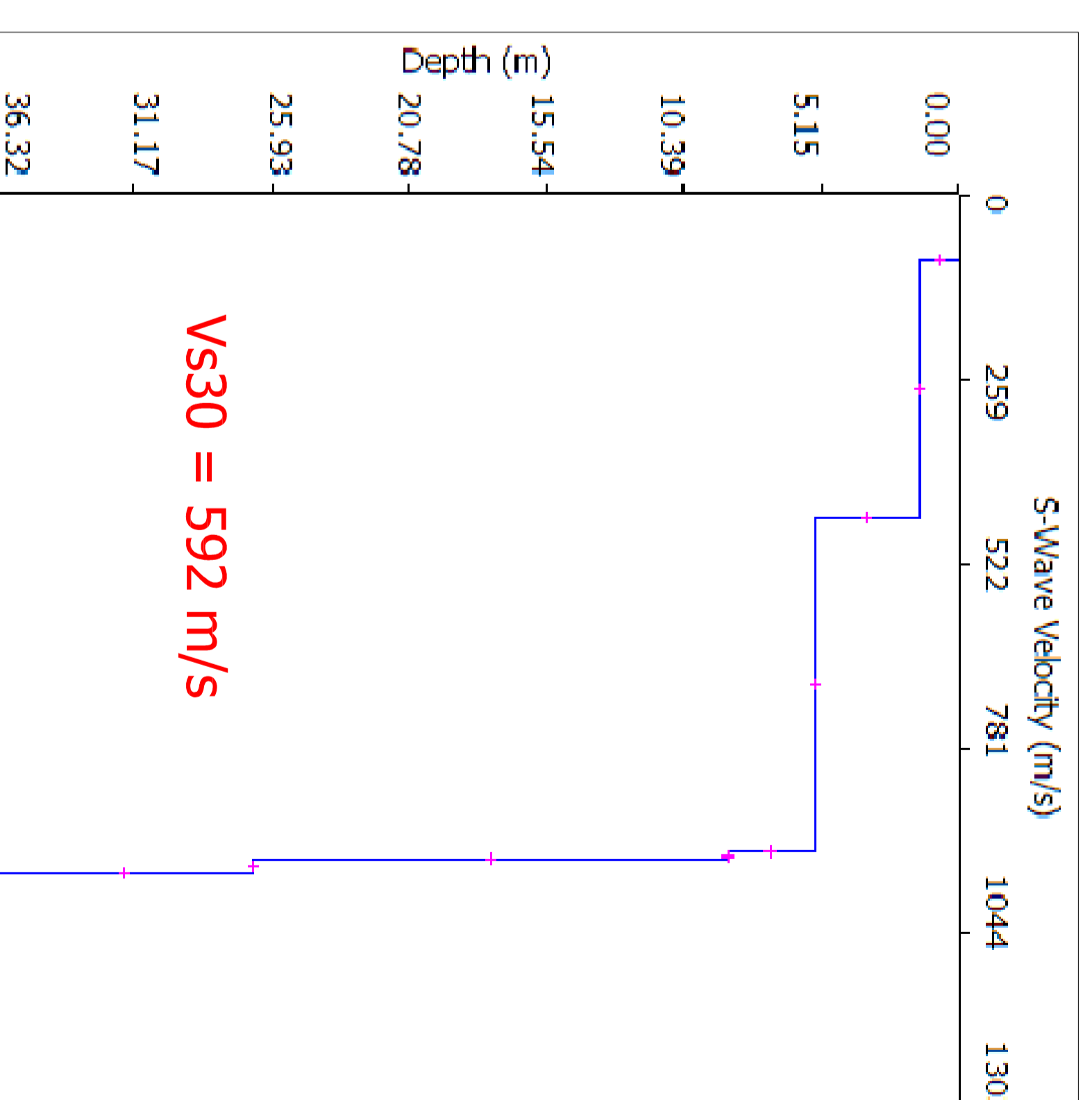
STENDIMENTO S14 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



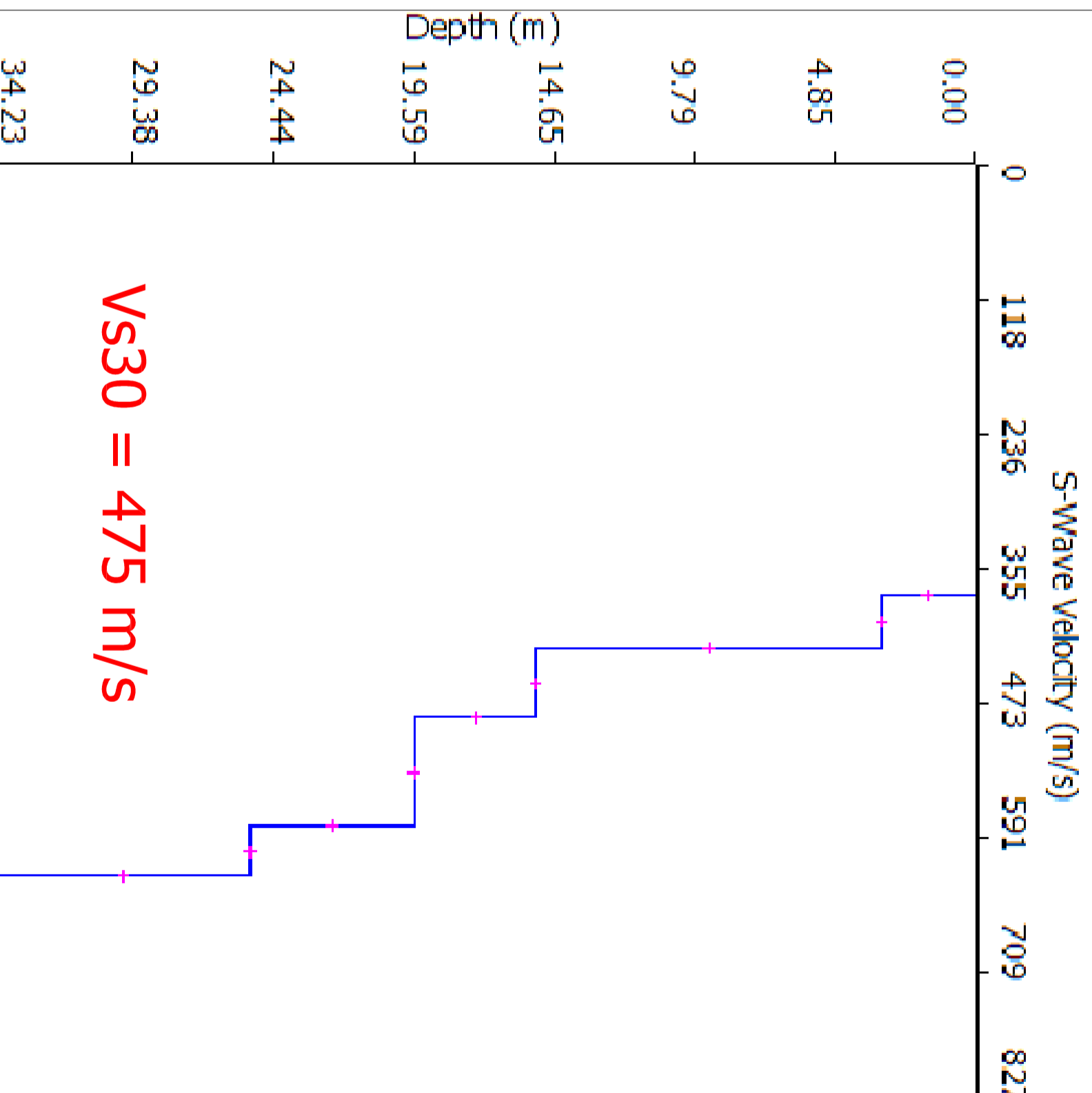
STENDIMENTO S14 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



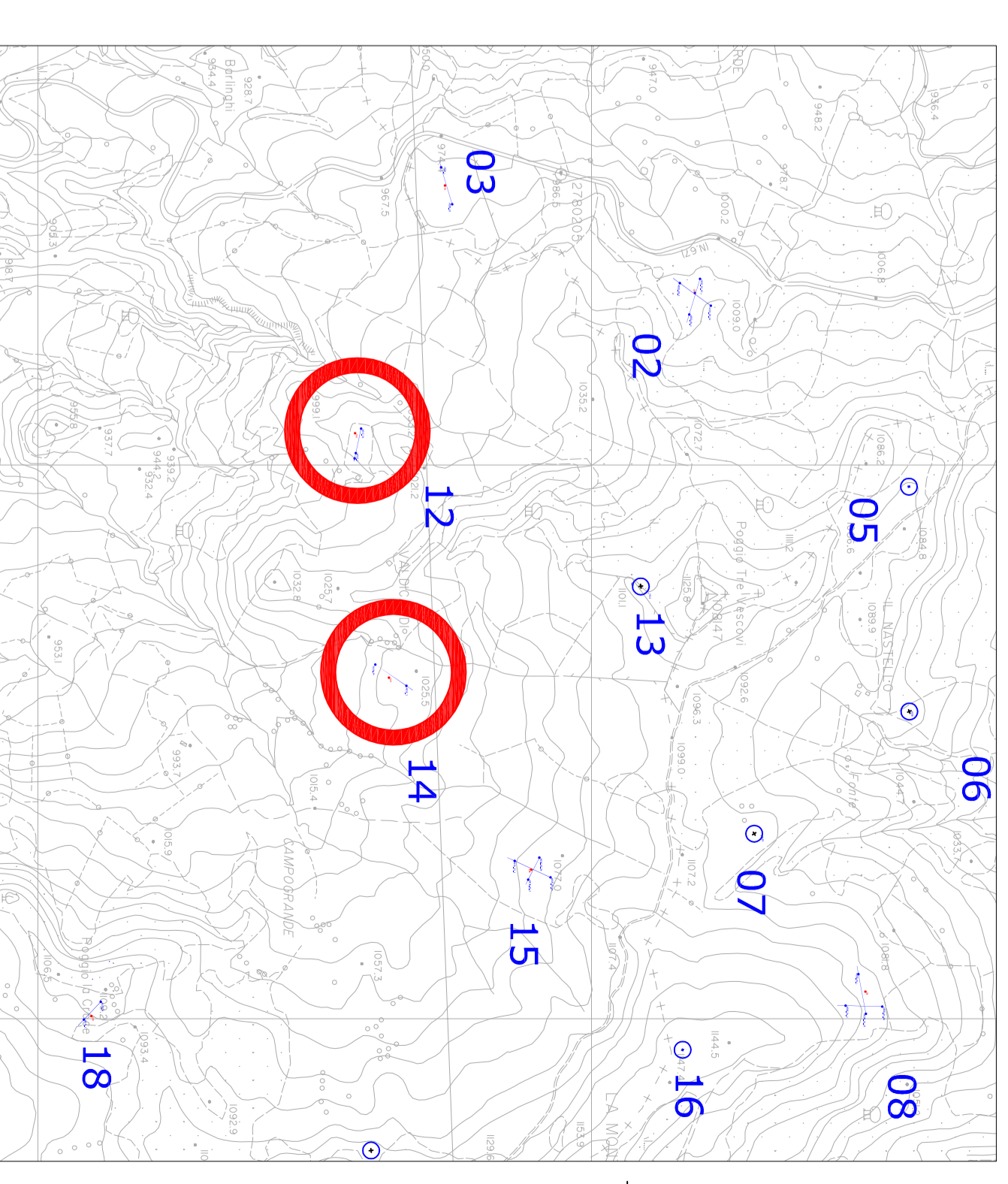
PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AE12



PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AE14



RIPRESA FOTOGRAFICA S14 DAL GEOFONO 24



GEOTALLA SRL

Via Orfani, 38  
ROMA

INDAGINI GEOFISICHE SISMICHE DI SUPPORTO ALLA REALIZZAZIONE DEL PARCO FOLICO "POGGIO TRE VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC), CASTELDELCI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI STENDIMENTI S12 E S14

IL COMMITTENTE		SCALA	
GEOTALLA SRL		VARIARE	
Via Orfani, 38 ROMA		02 F	
PROGETTO		TAVOLA	
PR		01	
SERIE		VERSIONE	
A		01	
TITOLO		ZAPPALATO	
MA PS		MA	
APPROVATO		DATA	
SET 2010			

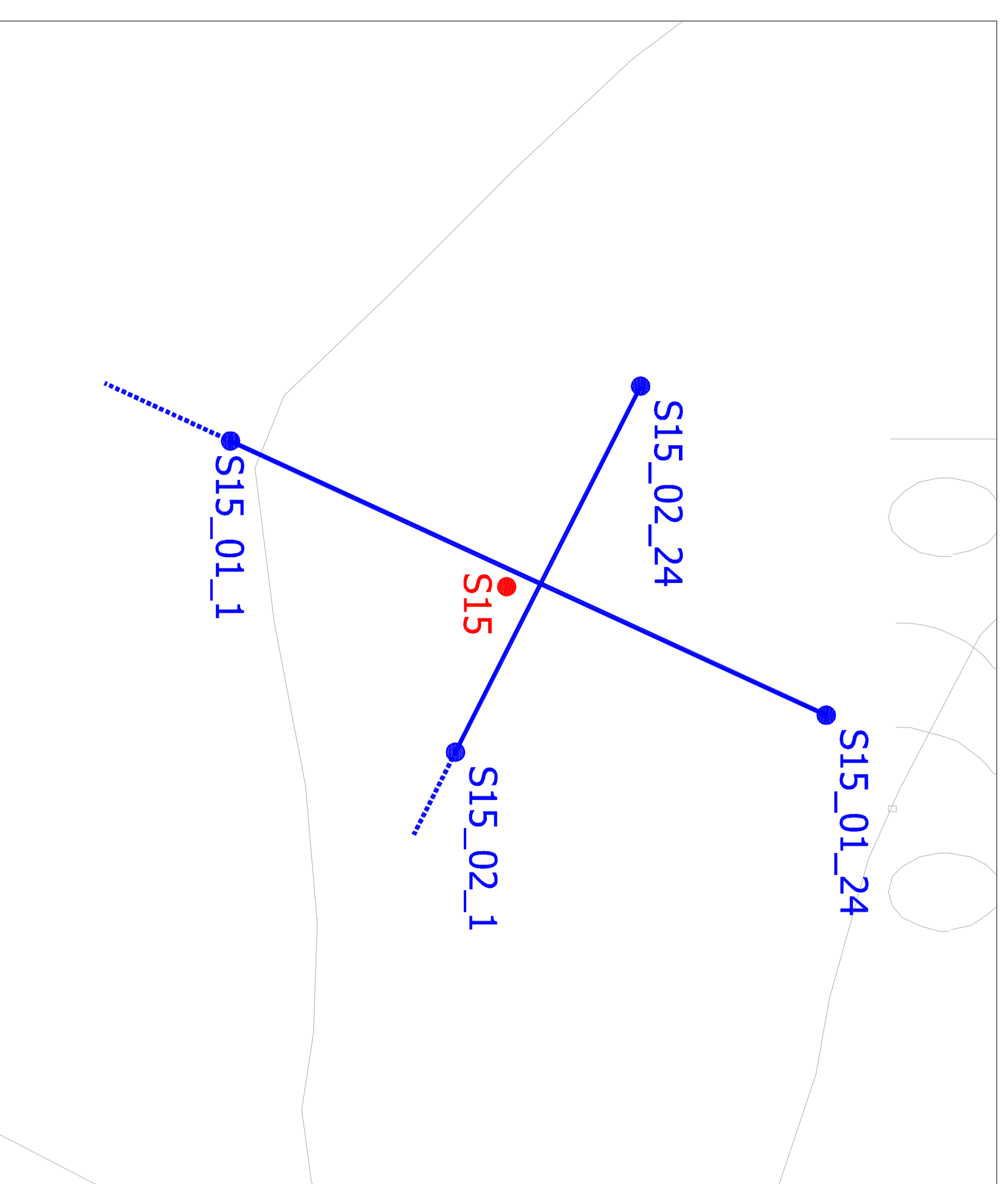
INDAGINI GEOFISICHE

ENKI  
CONSULENZA OPERE CIVILI -  
STRUTTURE E GEOTECNICA  
INGEGNERIA

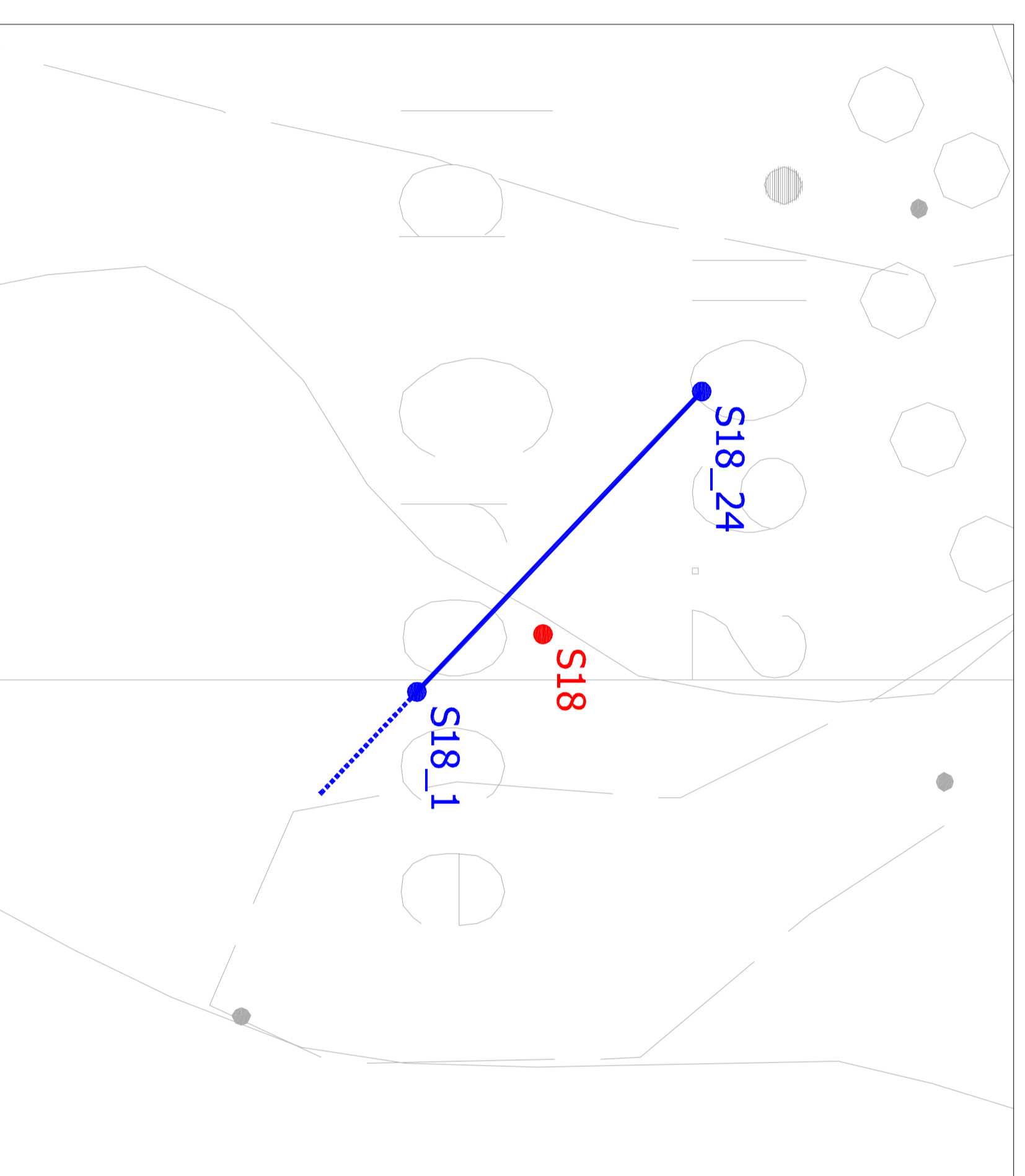
ENKI s.r.l. - Anelli  
CONSULENZA OPERE CIVILI -  
STRUTTURE E GEOTECNICA  
INGEGNERIA



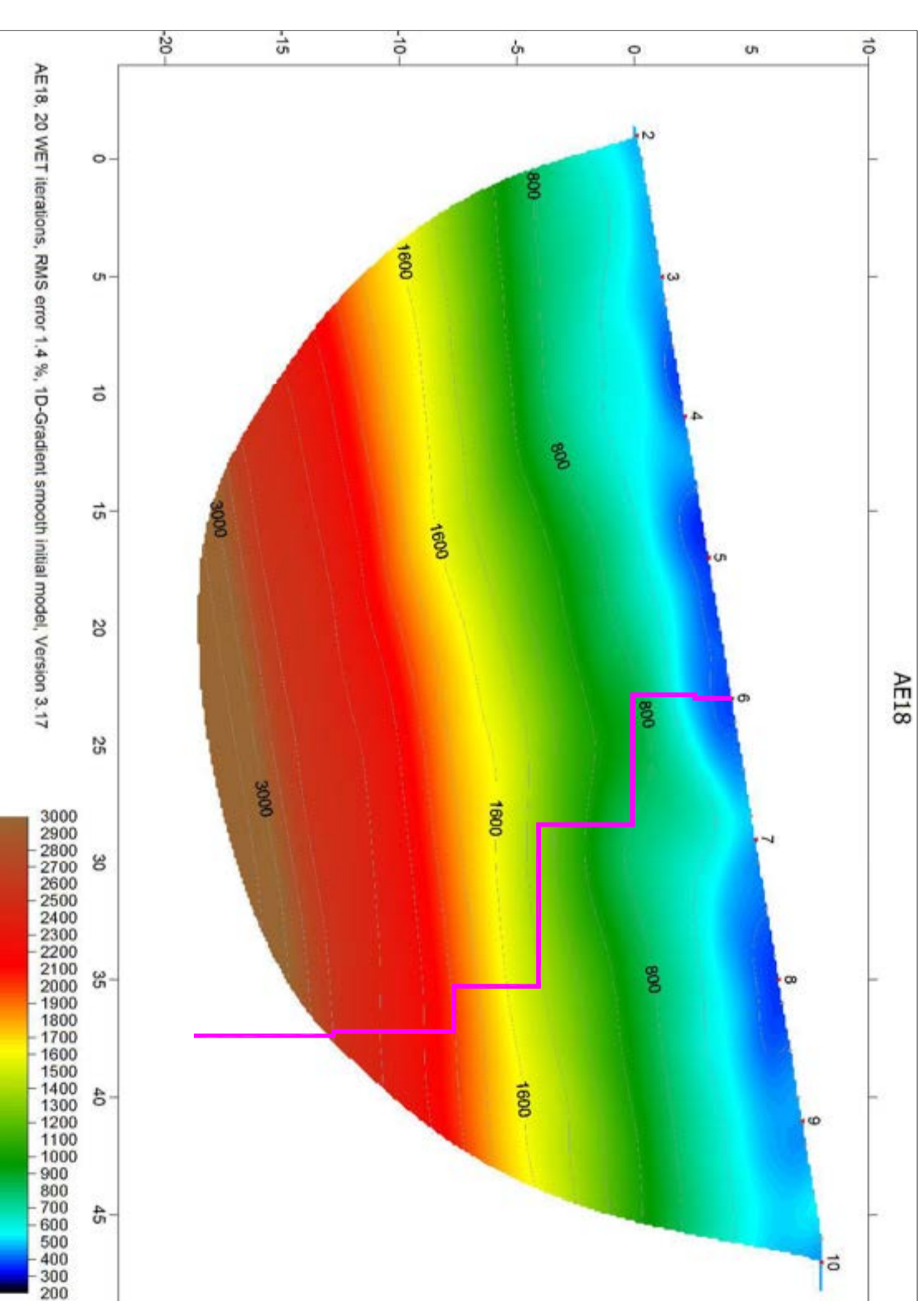
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO SIS\_1 E SIS\_2 - SCALA 1 : 500



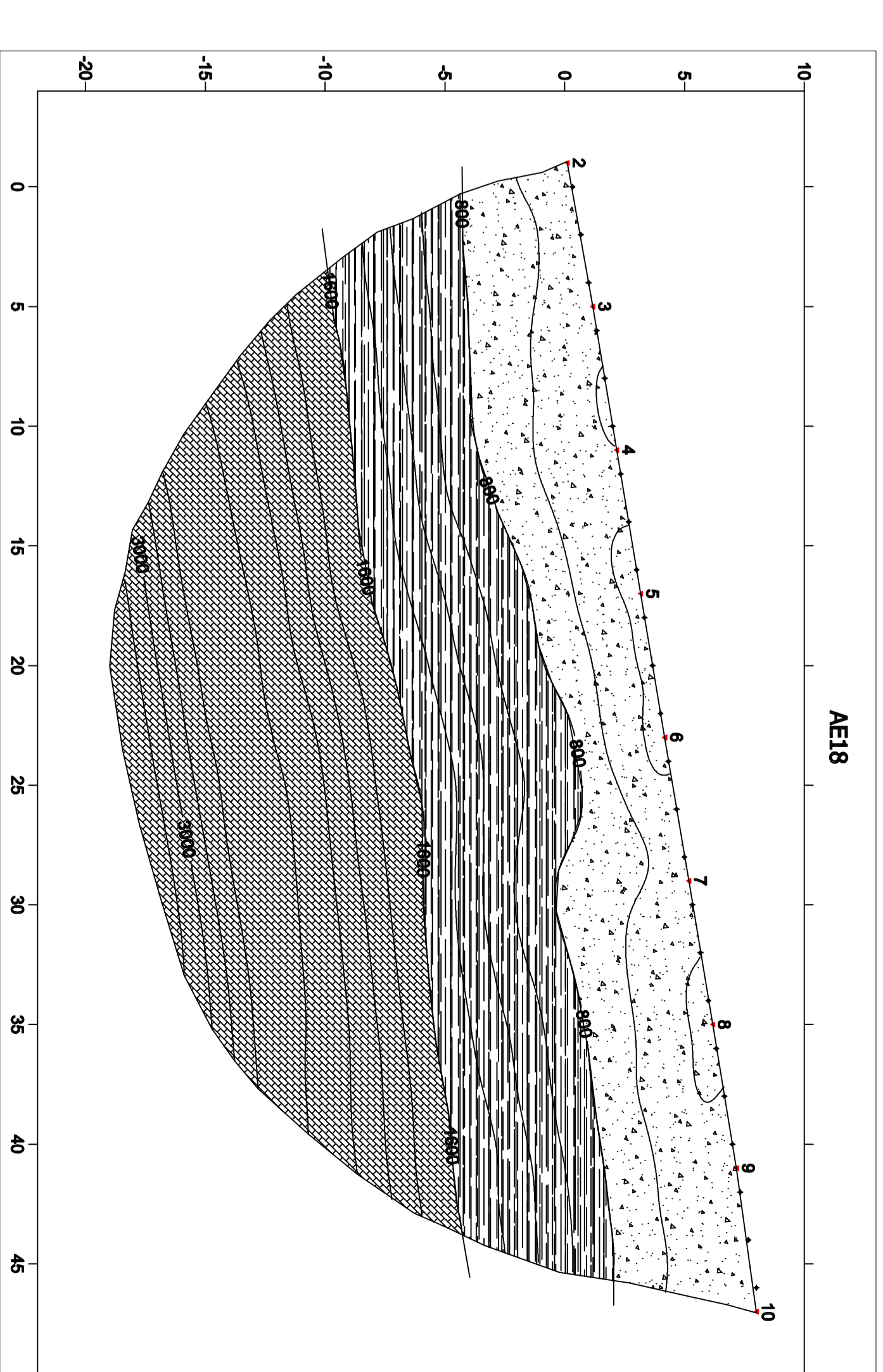
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S18 - SCALA 1 : 500



STENDIMENTO S18 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P  
SCALA 1 : 200



STENDIMENTO S18 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA  
SCALA 1 : 200



SCALA 1 : 200

RIPRESA FOTOGRAFICA SIS\_2 DAL GEOFONO 1



RIPRESA FOTOGRAFICA SIS\_2 DAL GEOFONO 24



RIPRESA FOTOGRAFICA S18 DAL GEOFONO 1

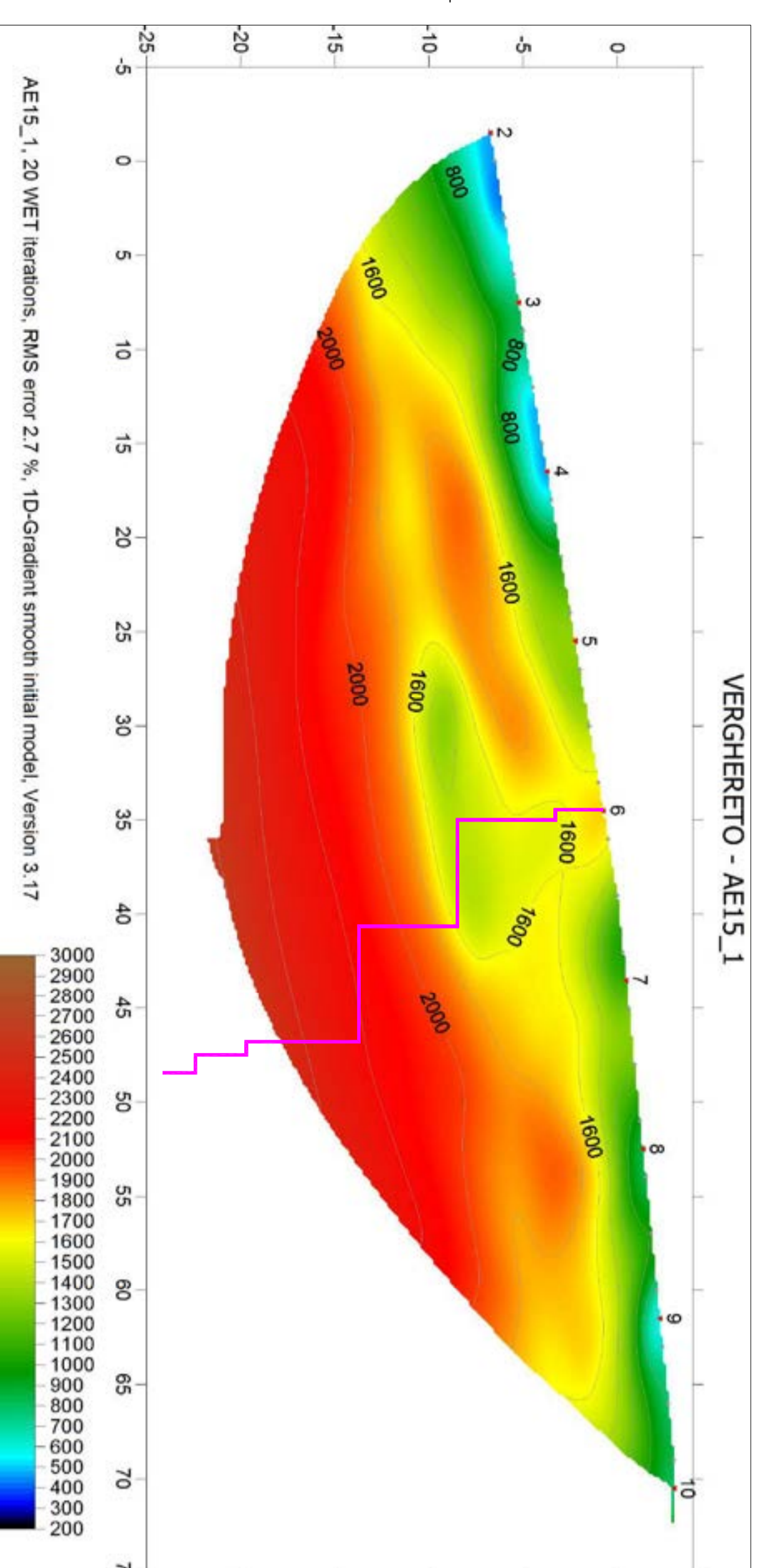


RIPRESA FOTOGRAFICA S18 DAL GEOFONO 24



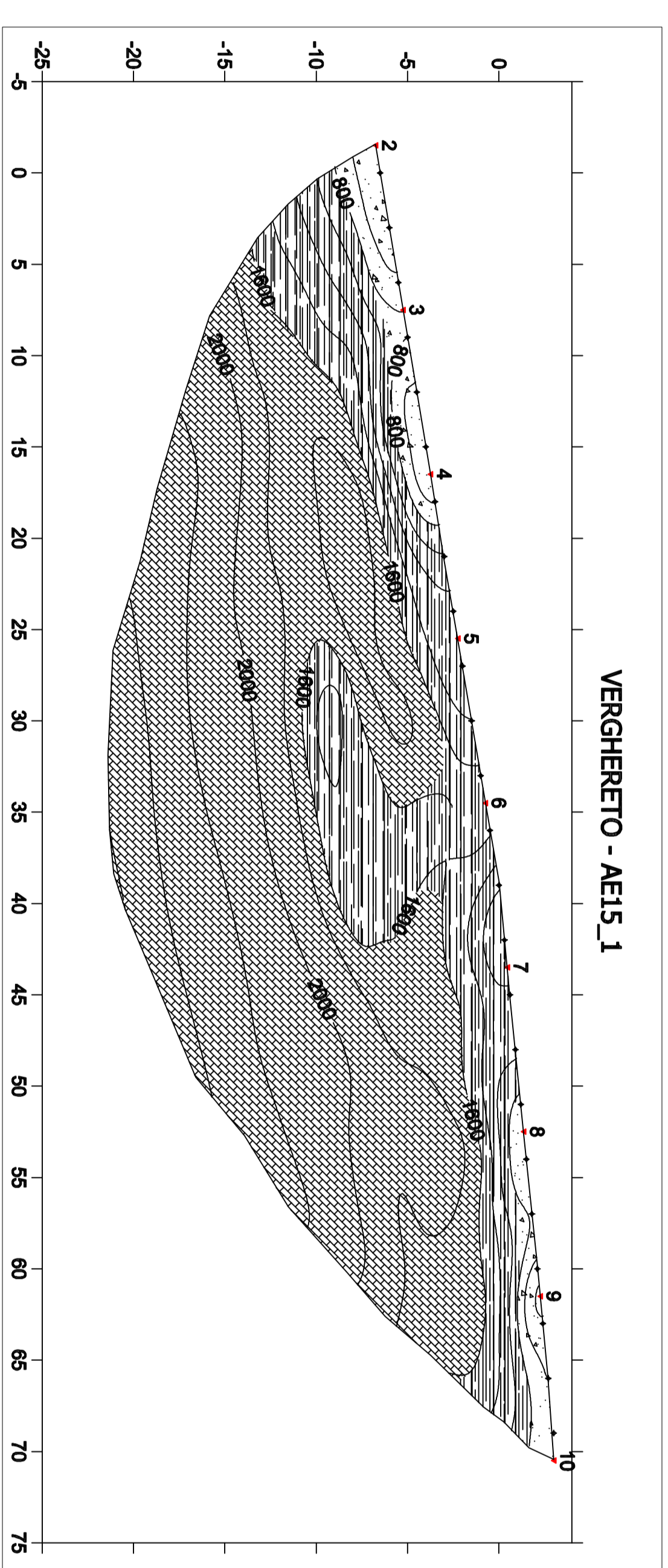
STENDIMENTO SIS\_1 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P- SCALA 1 : 250

VERGHERETO - AE15\_1



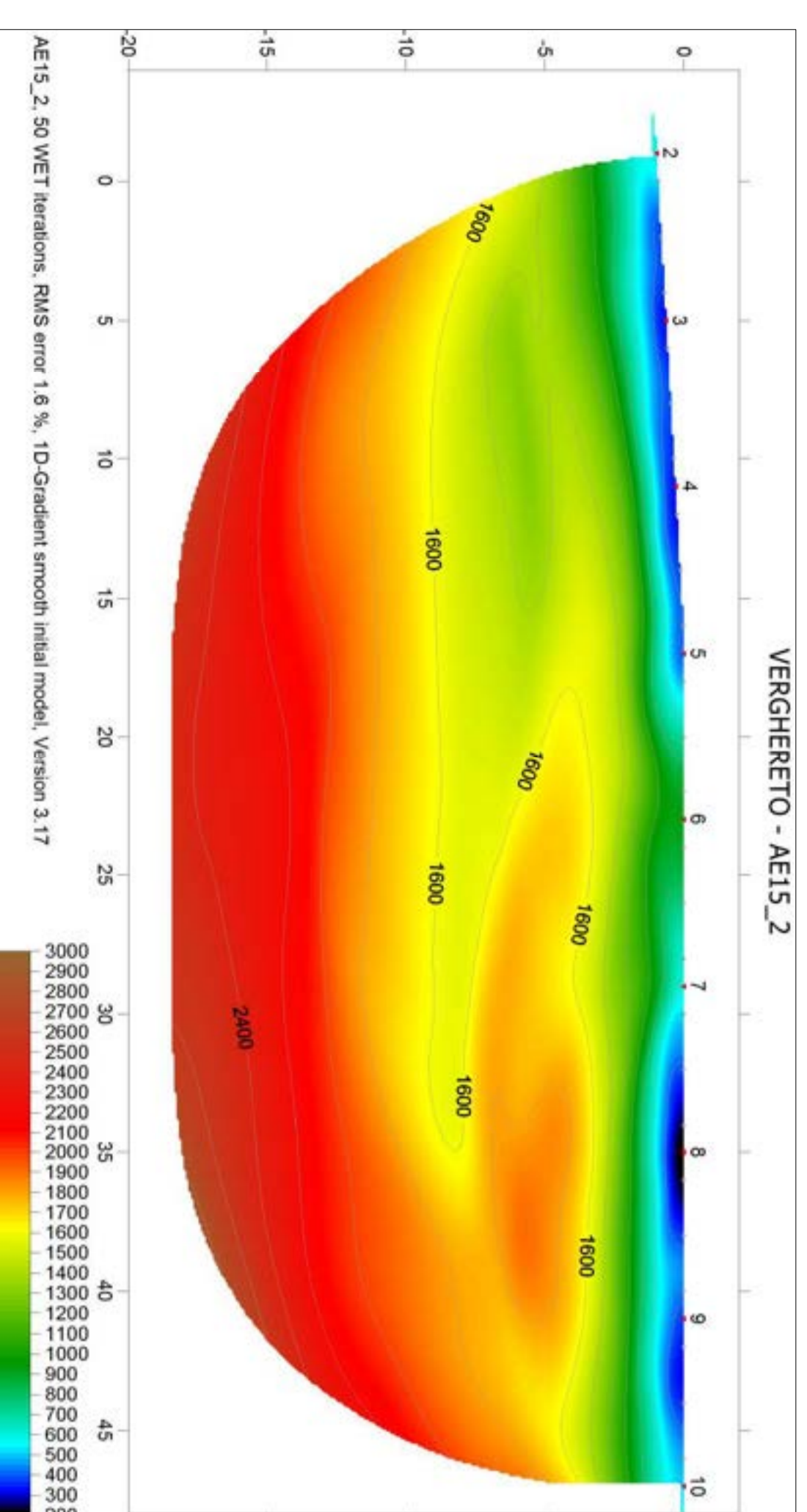
STENDIMENTO SIS\_1 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250

VERGHERETO - AE15\_1



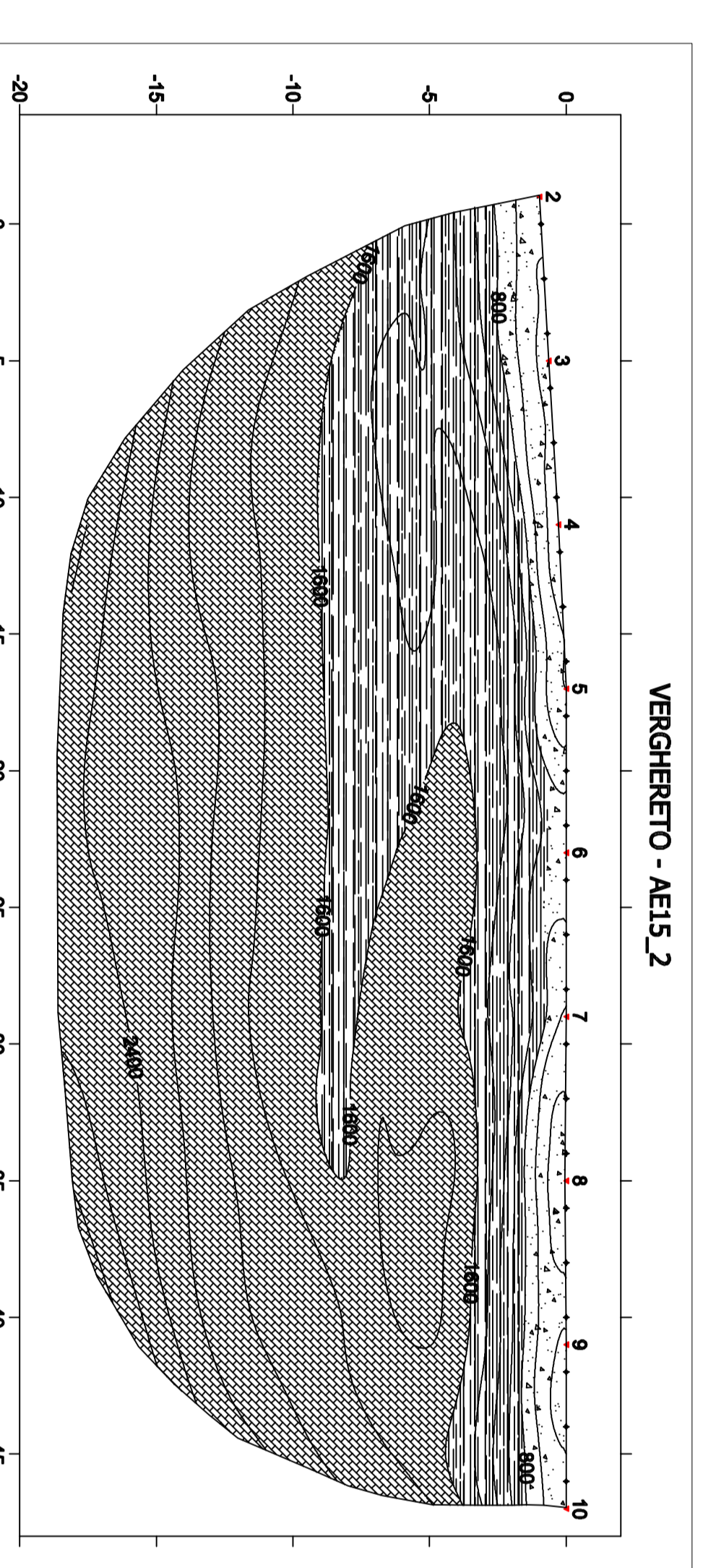
STENDIMENTO SIS\_2 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 200

VERGHERETO - AE15\_2

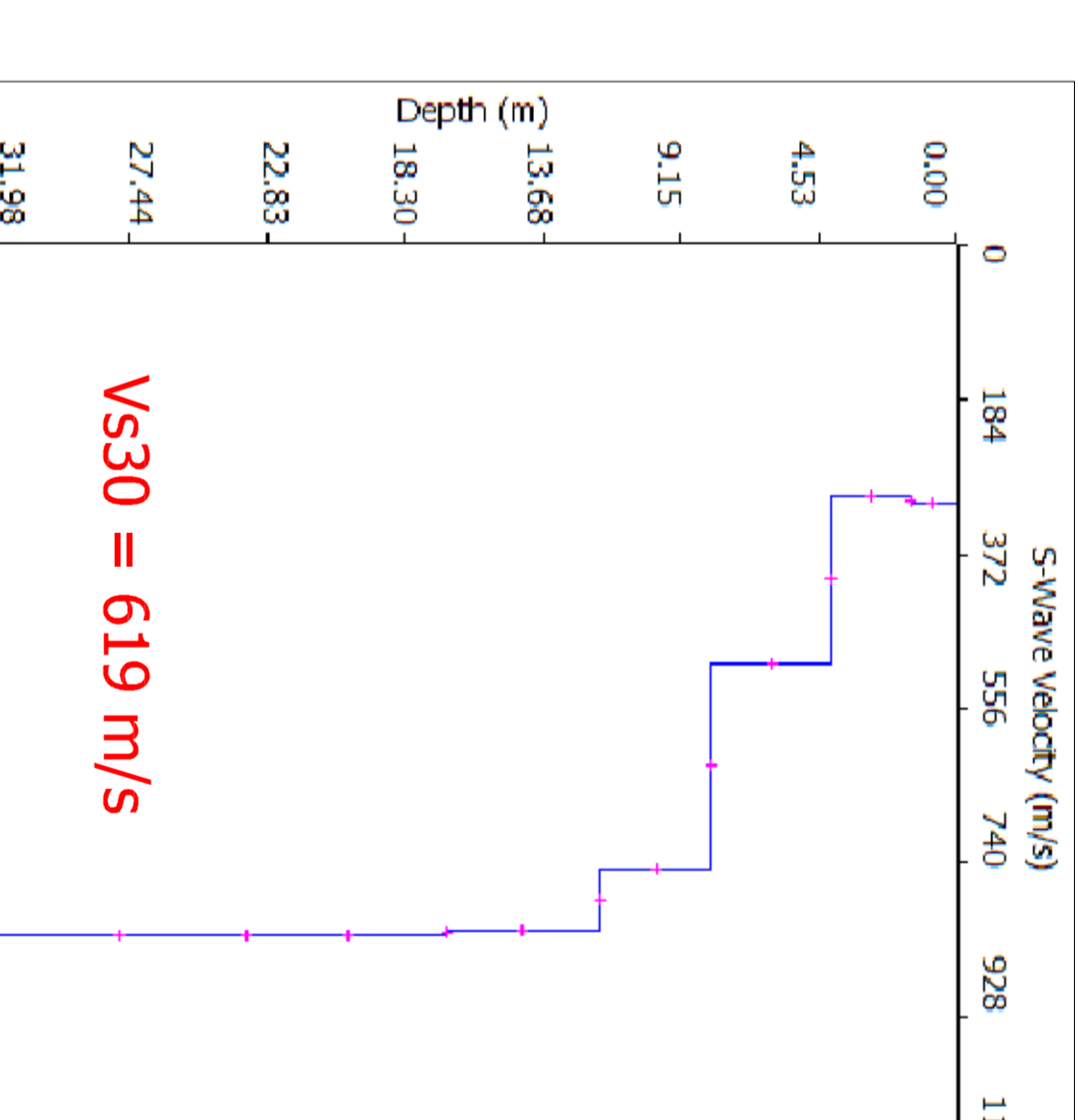


STENDIMENTO SIS\_2 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 200

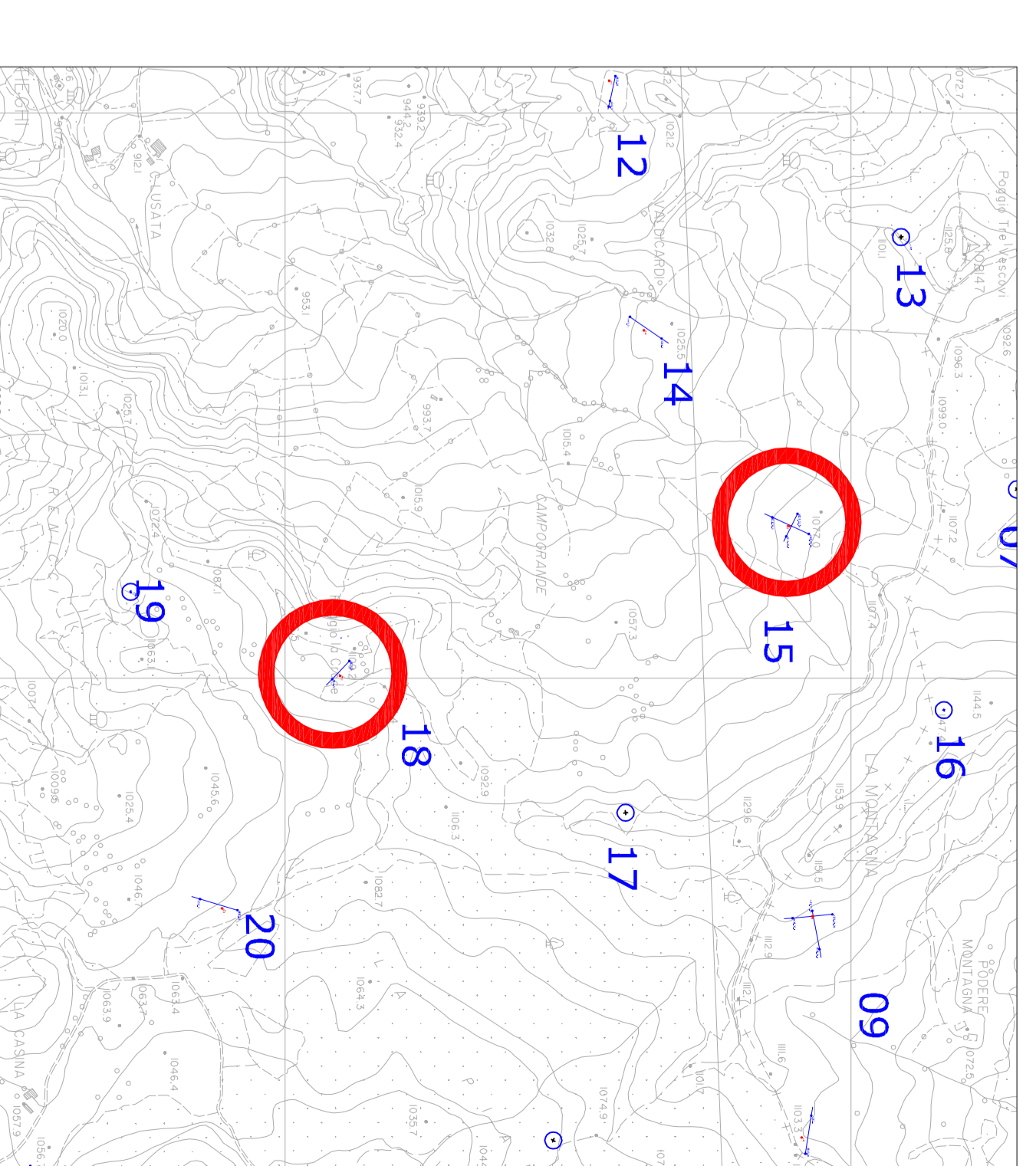
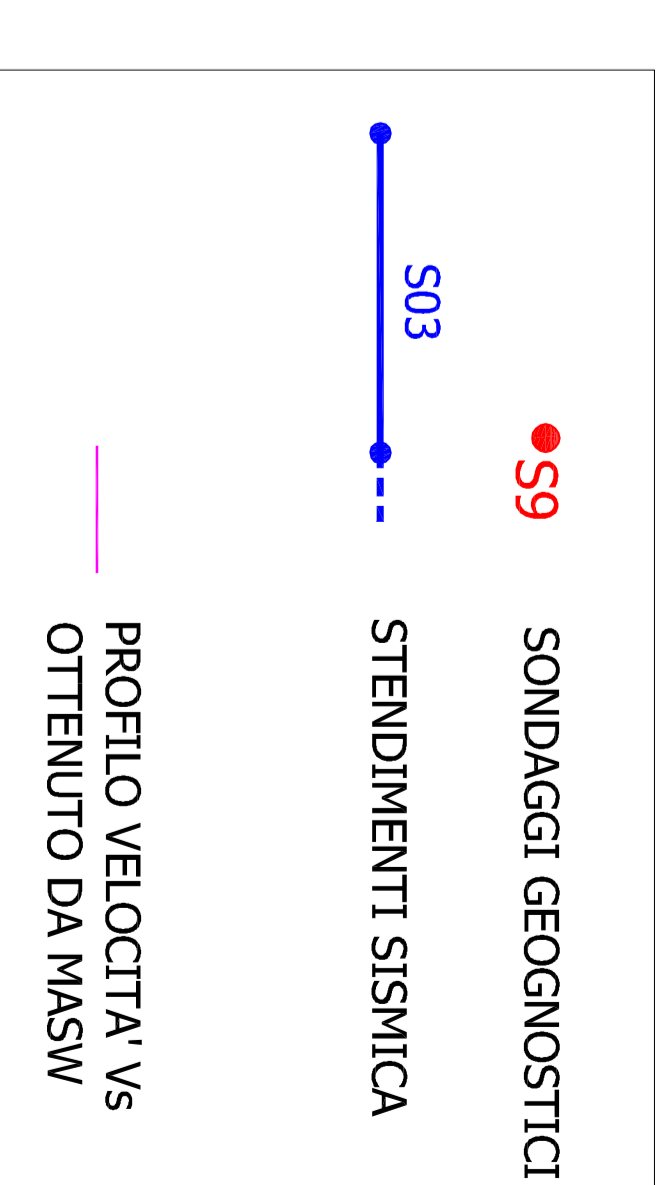
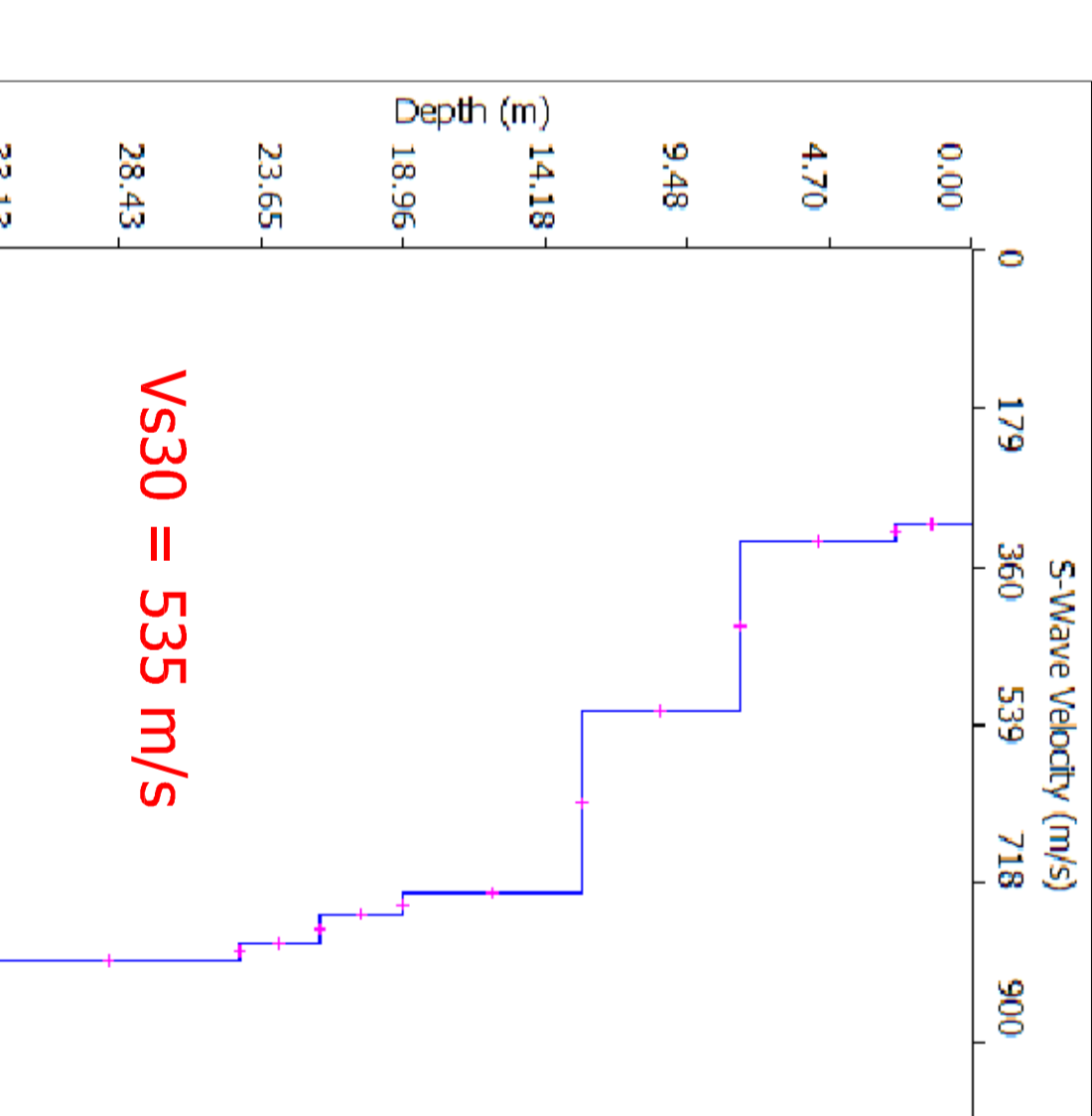
VERGHERETO - AE15\_2



PROFLO DI VELOCITA' VS MASW AE18



PROFLO DI VELOCITA' VS MASW AE15



GEOTALLIA SRL  
Via Oriani, 38  
ROMA

INDAGINI GEOFISICHE SISMICHE DI SUPPORTO ALLA REALIZZAZIONE DEL PARCO FOLICO "POGGIO TRE VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC), CASTELDELICI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI STENDIMENTI SIS\_1, SIS\_2 E S18

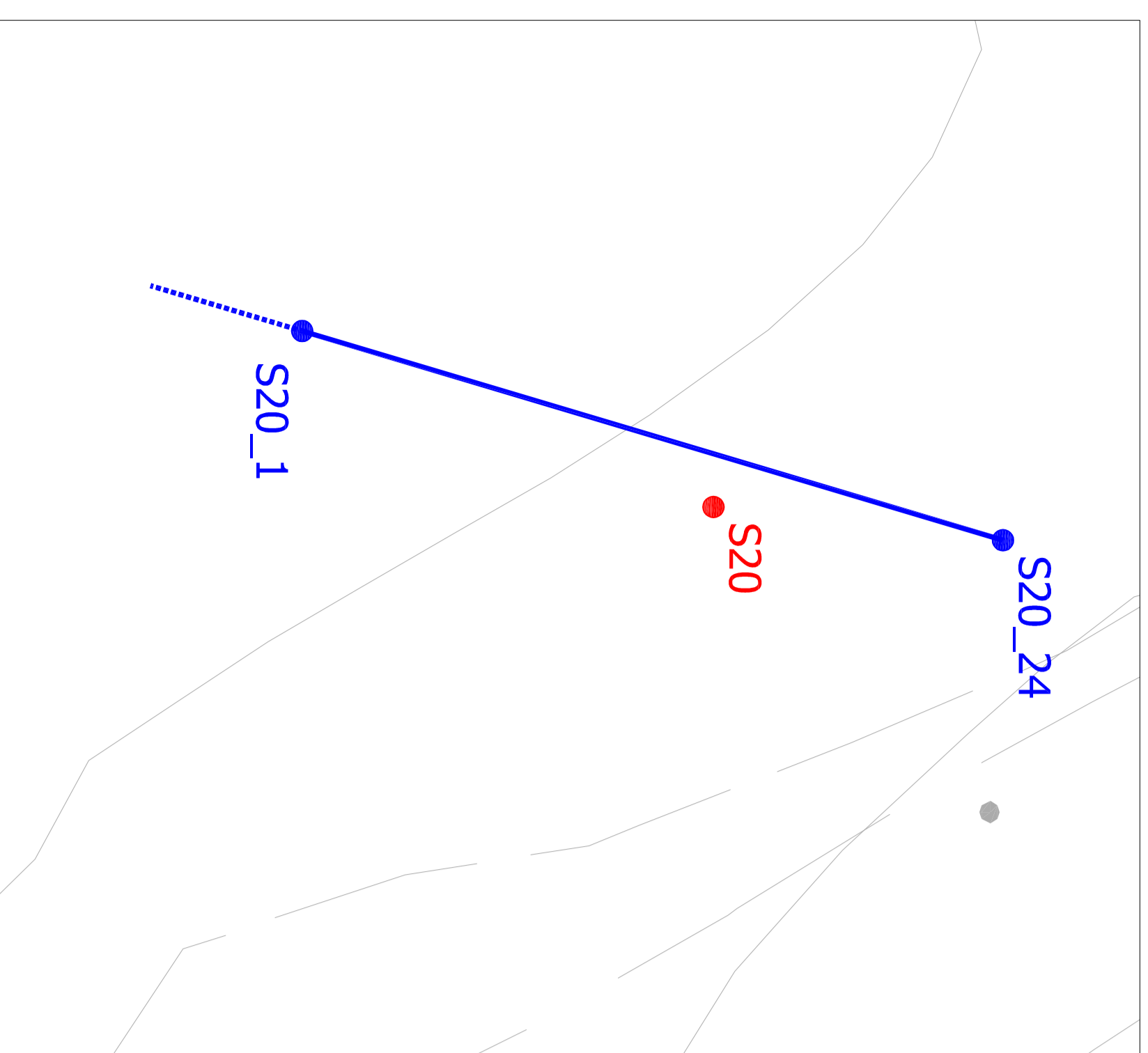
LE COMMITTERE		SECUA	
GEOTALLIA SRL		VARIE	
Via Oriani, 38 ROMA		TAVOLA <b>02 G</b>	
PROGETTO	PR	VERGHERETO	01
TAVOLA	A	VERGHERETO	01
ZAPPALONTO	MA PS	DATA	SET 2010

INDAGINI GEOFISICHE  
**ENKI** ENKI  
CONSULENZA OPERE CIVILI -  
STRUTTURE E GEOTECNICA  
INGEGNERIA

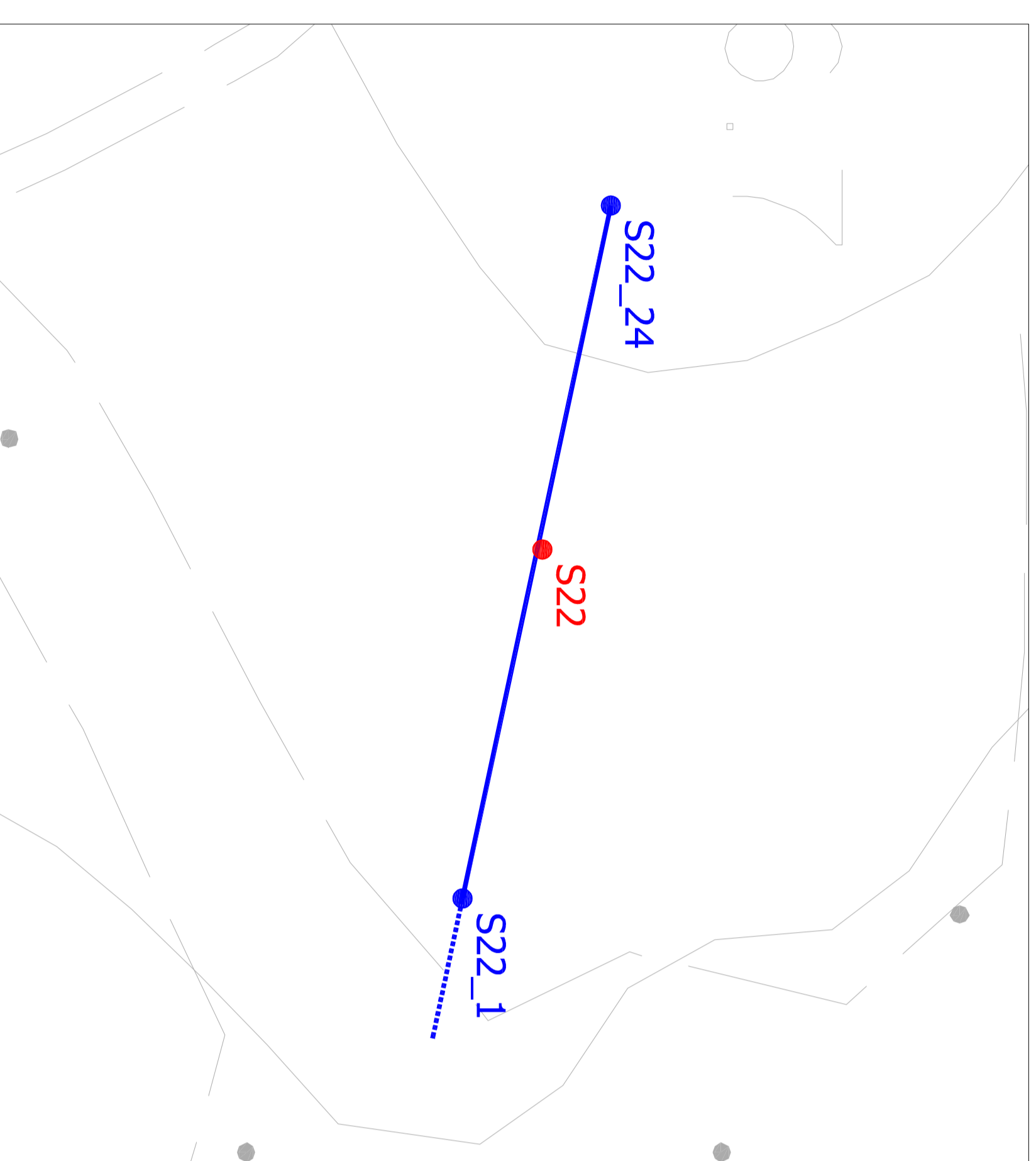
ENKI S.p.A. ENKI  
Manelli  
CONSULENZA OPERE CIVILI -  
STRUTTURE E GEOTECNICA  
INGEGNERIA



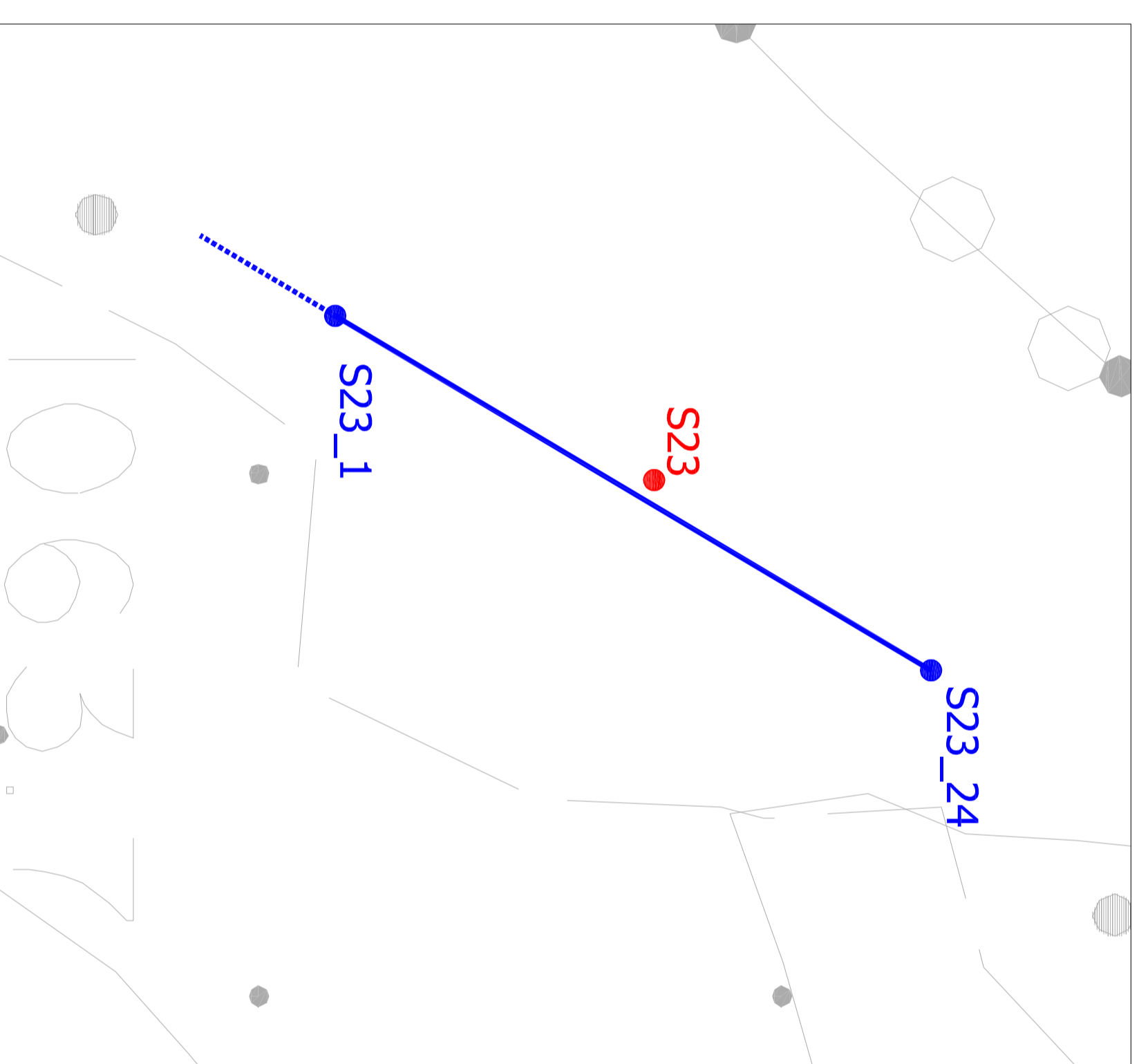
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S20 - SCALA 1 : 500



INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S22 - SCALA 1 : 500



INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S23 - SCALA 1 : 500



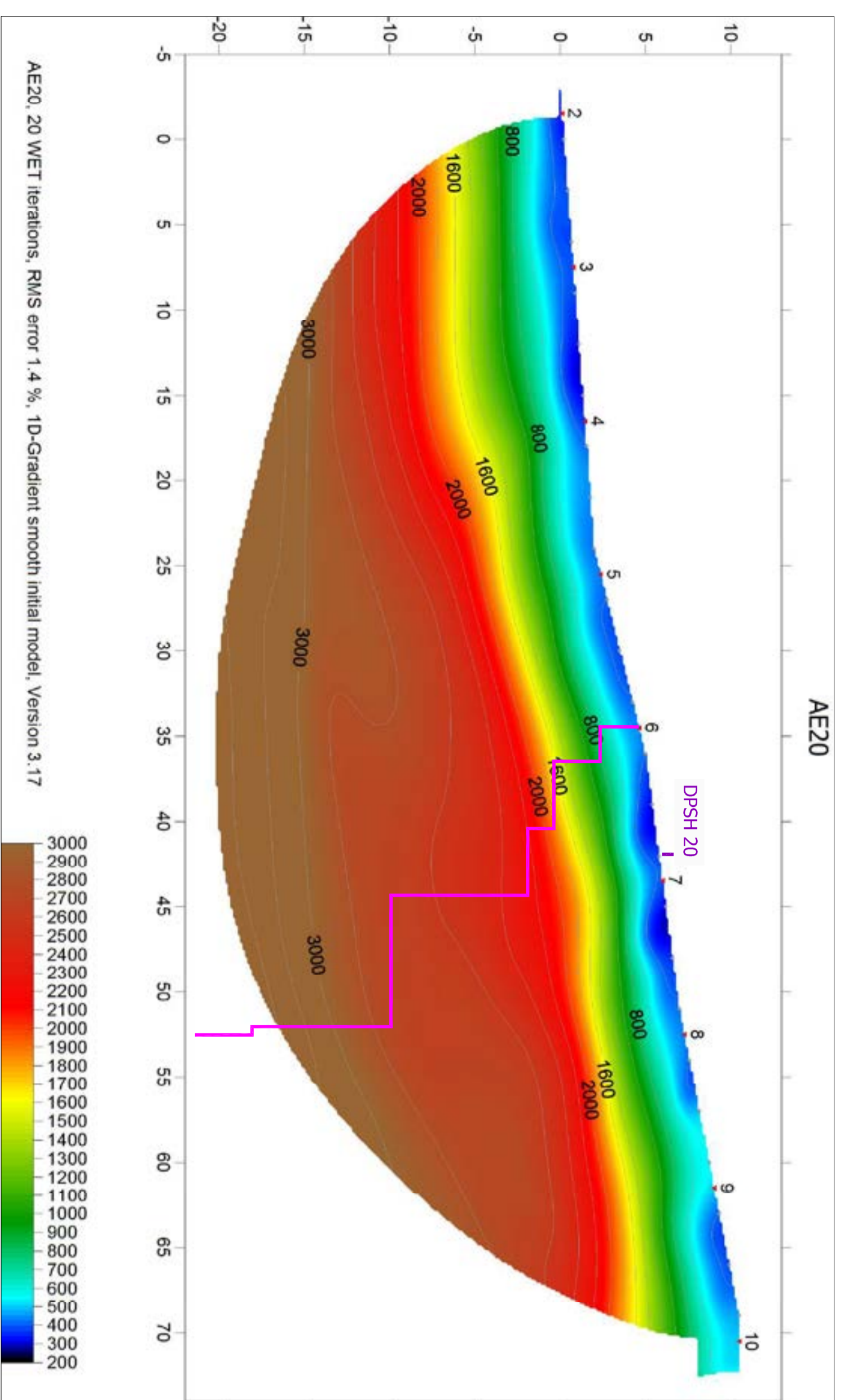
RIPRESA FOTOGRAFICA S20 DAL GEOFONO 1



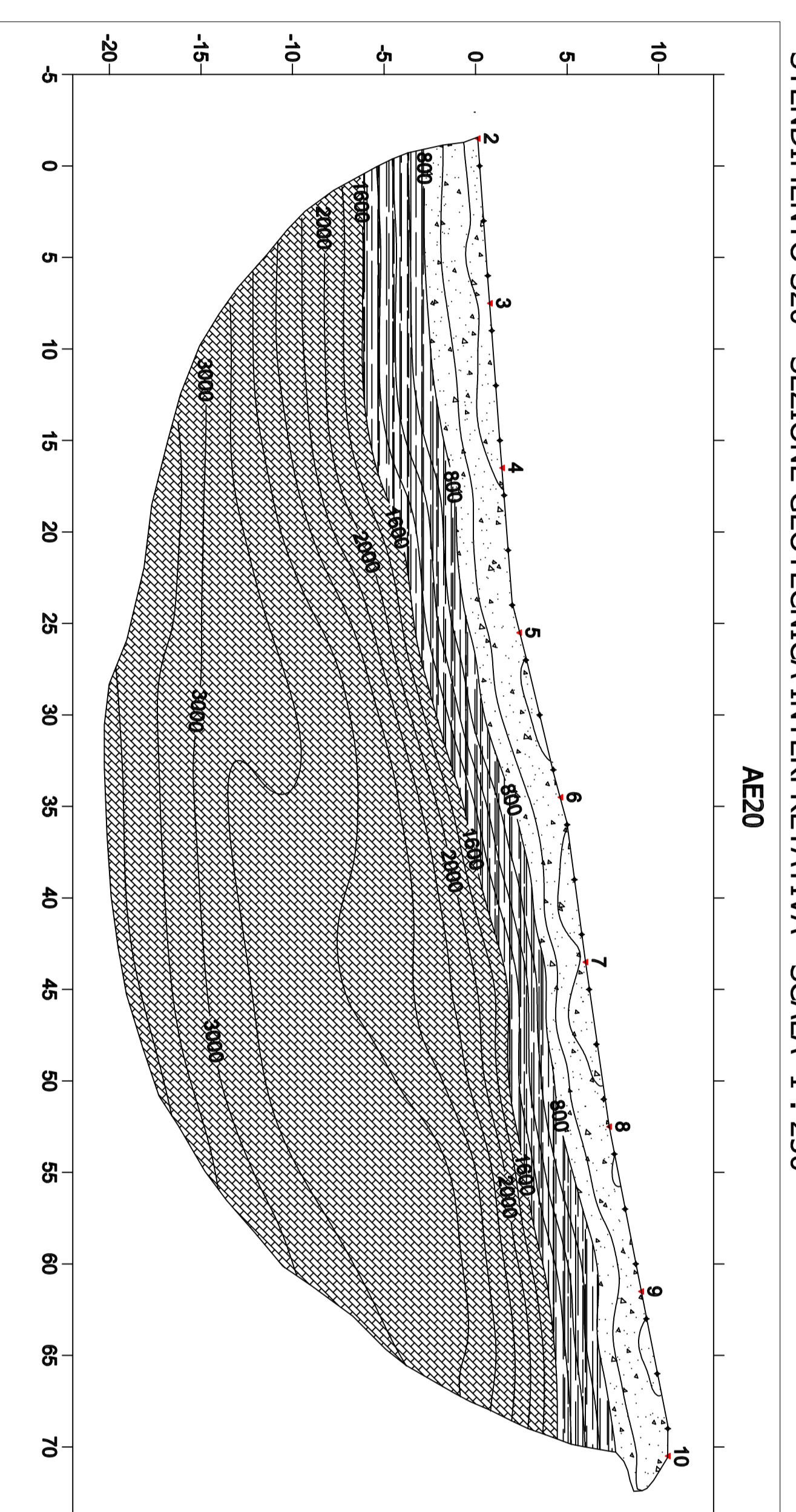
RIPRESA FOTOGRAFICA S22 DAL GEOFONO 24



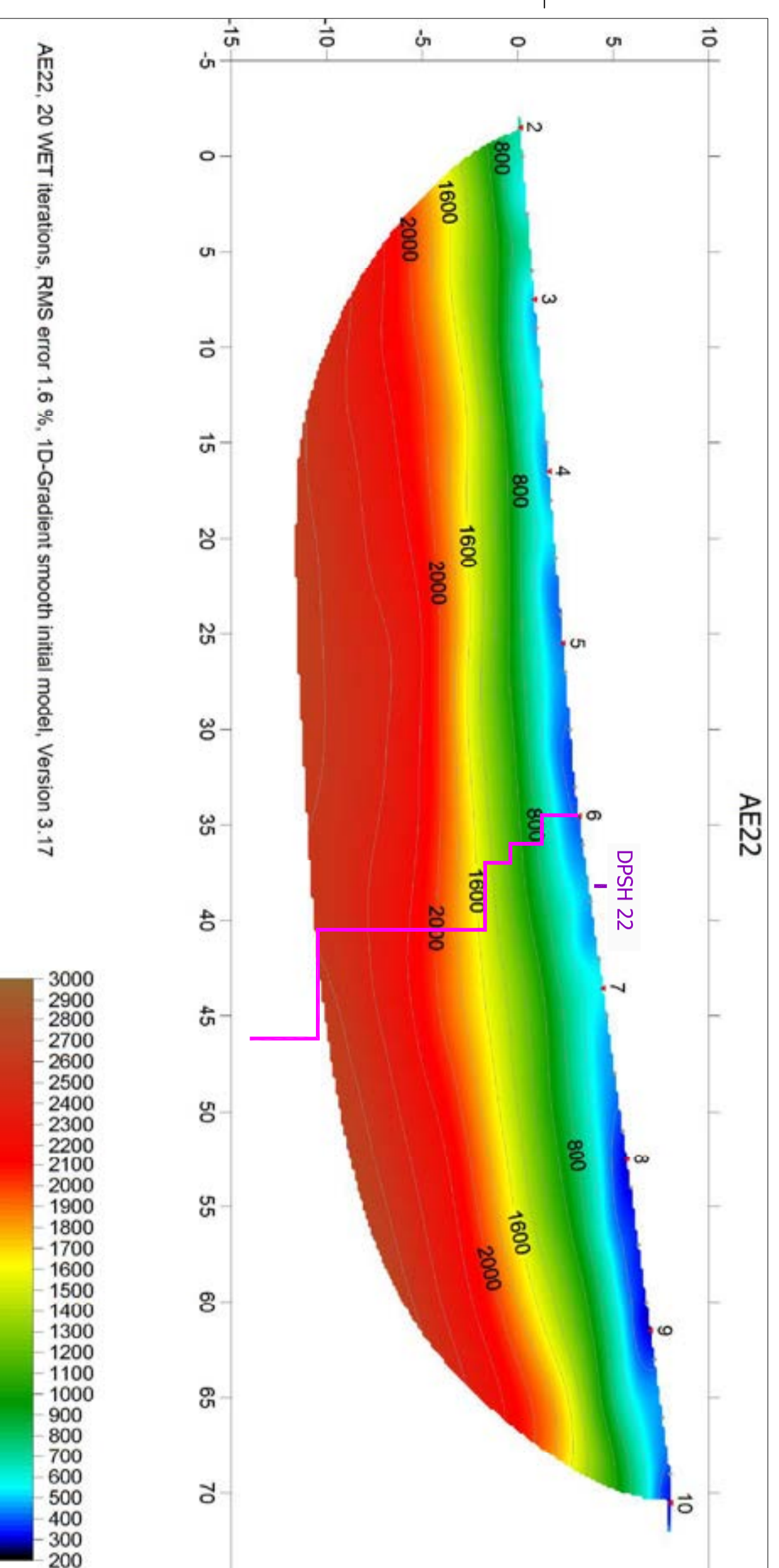
STENDIMENTO S20 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



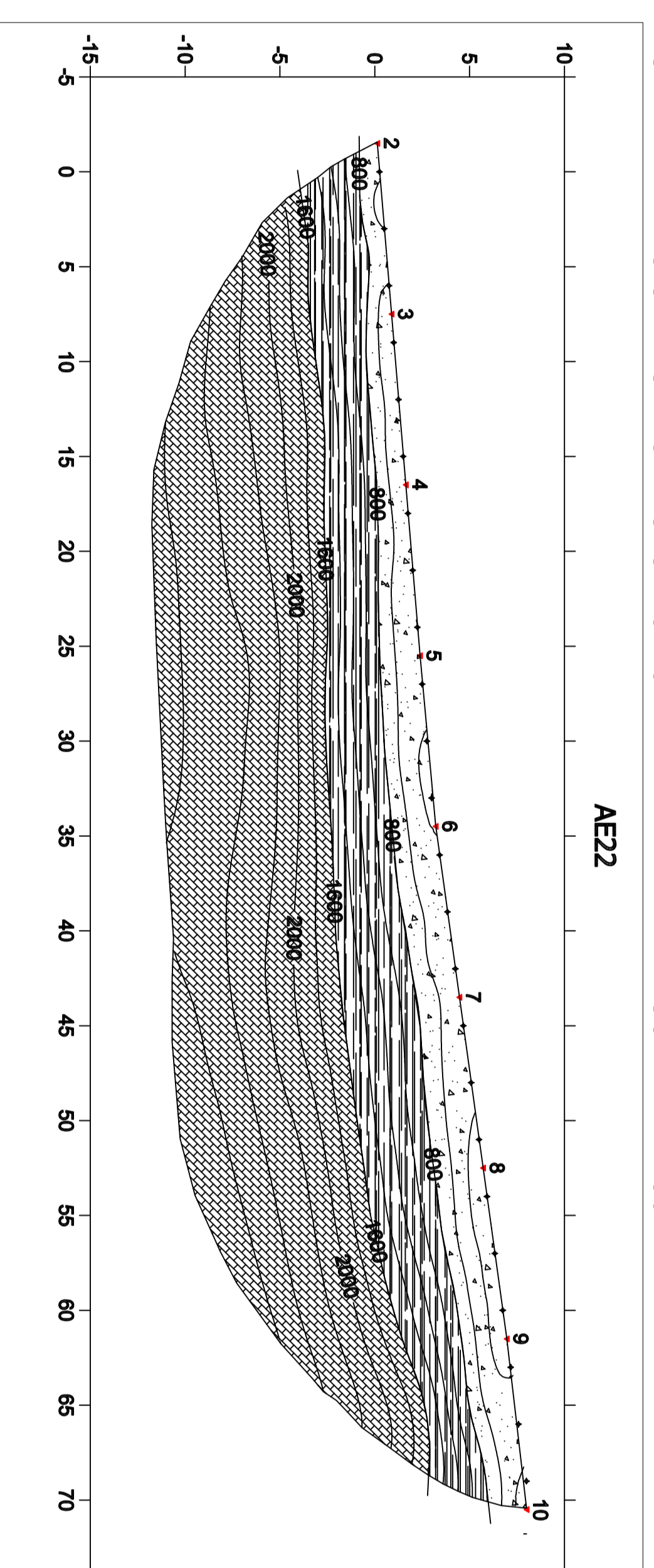
STENDIMENTO S20 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



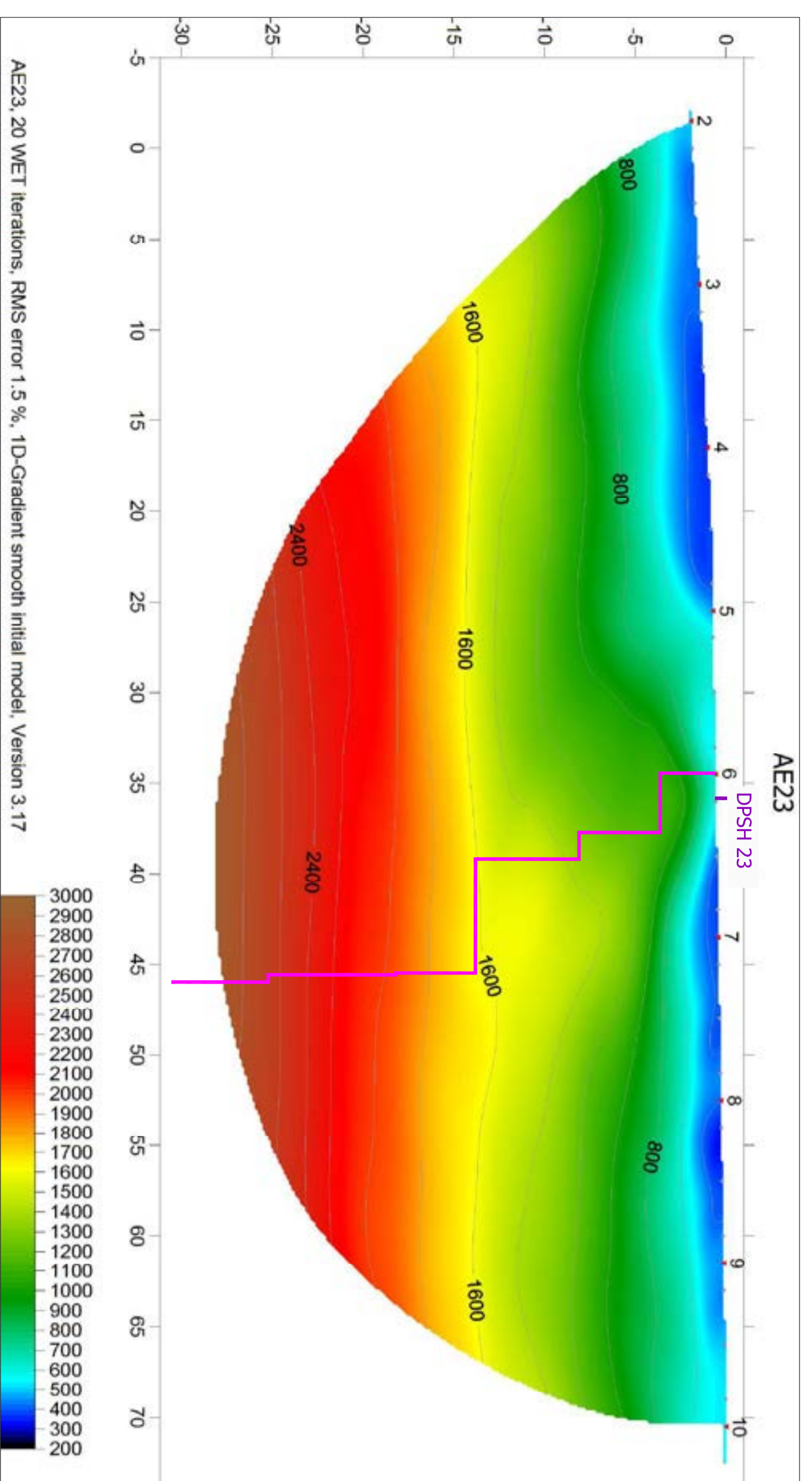
STENDIMENTO S22 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



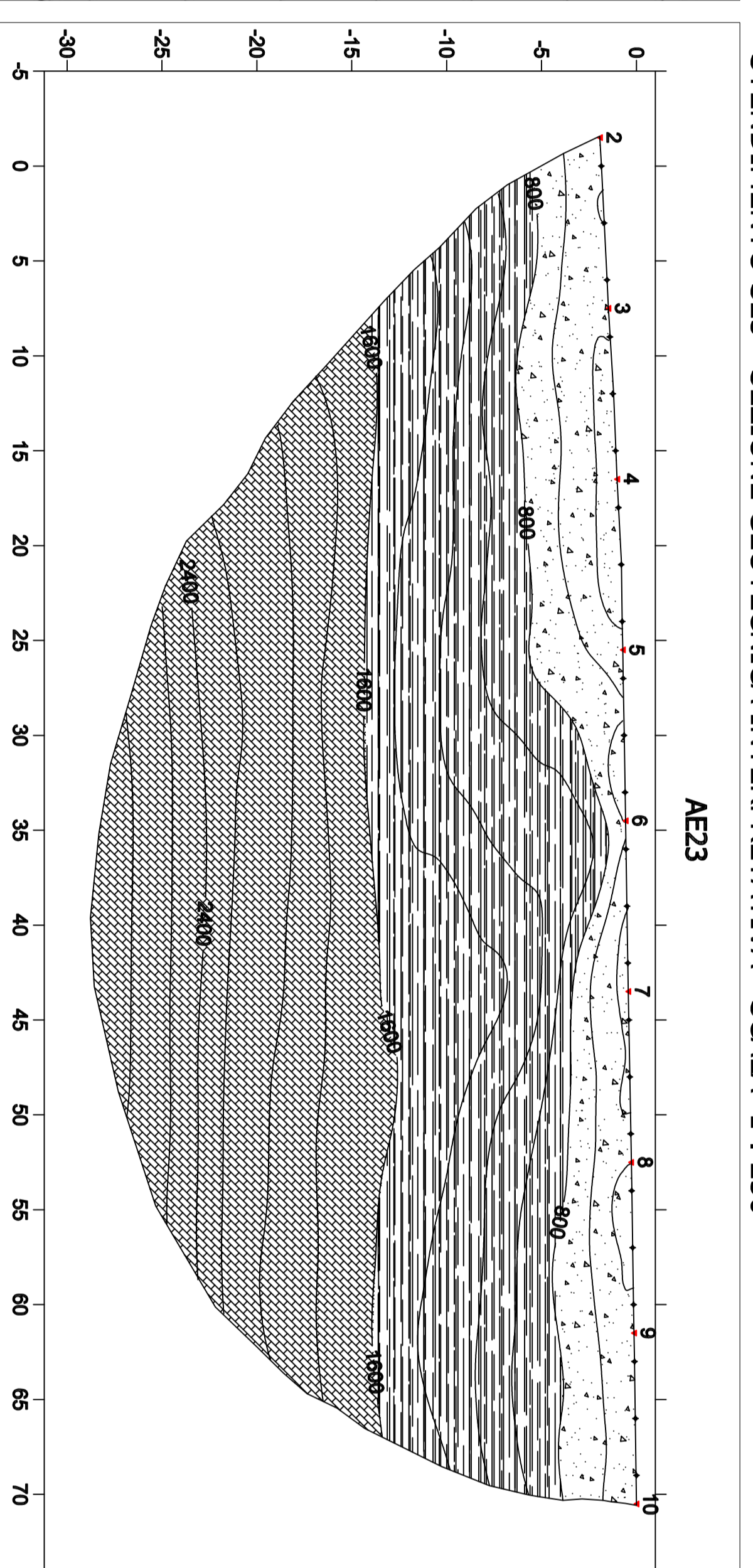
STENDIMENTO S22 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



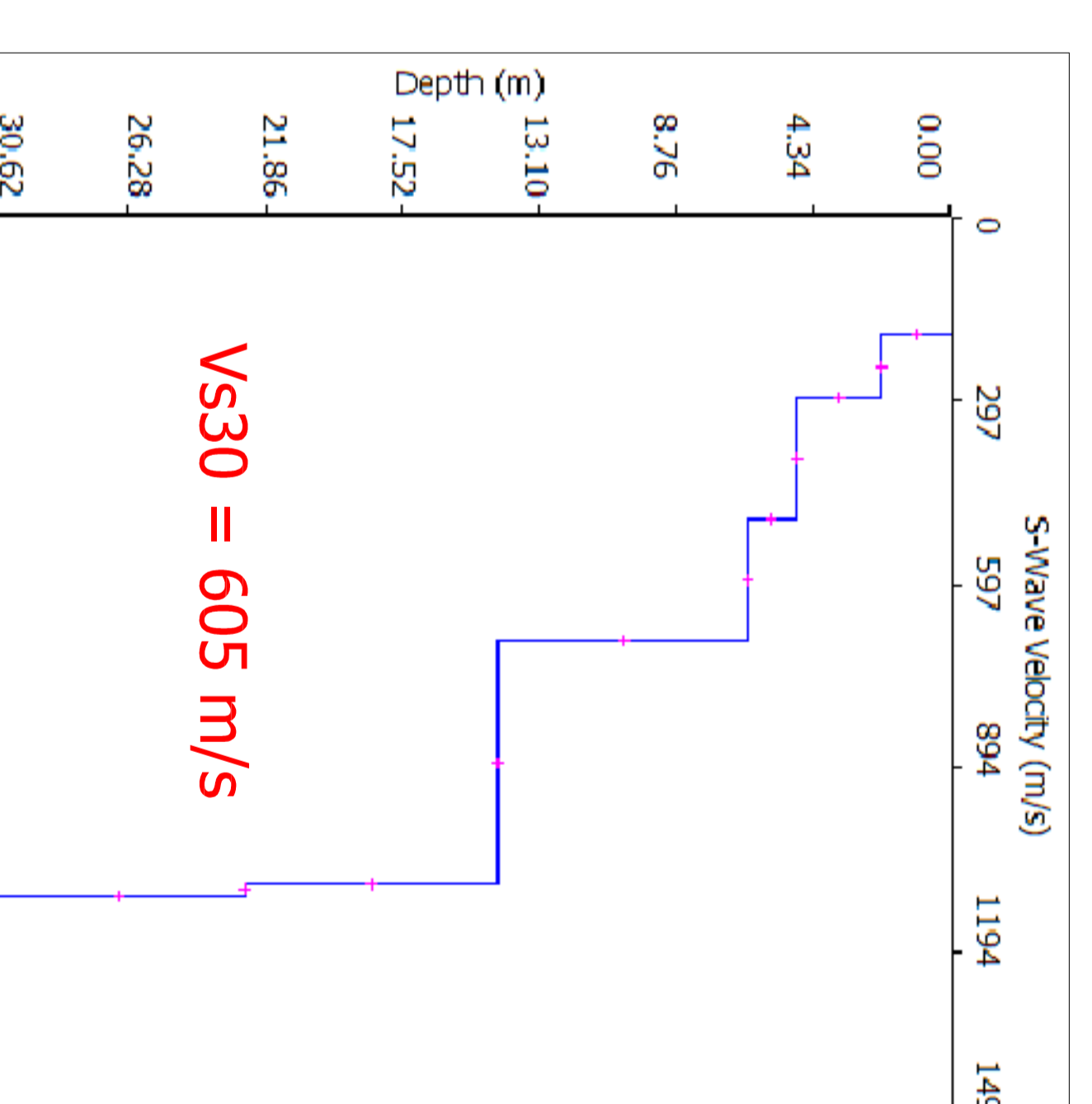
STENDIMENTO S23 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



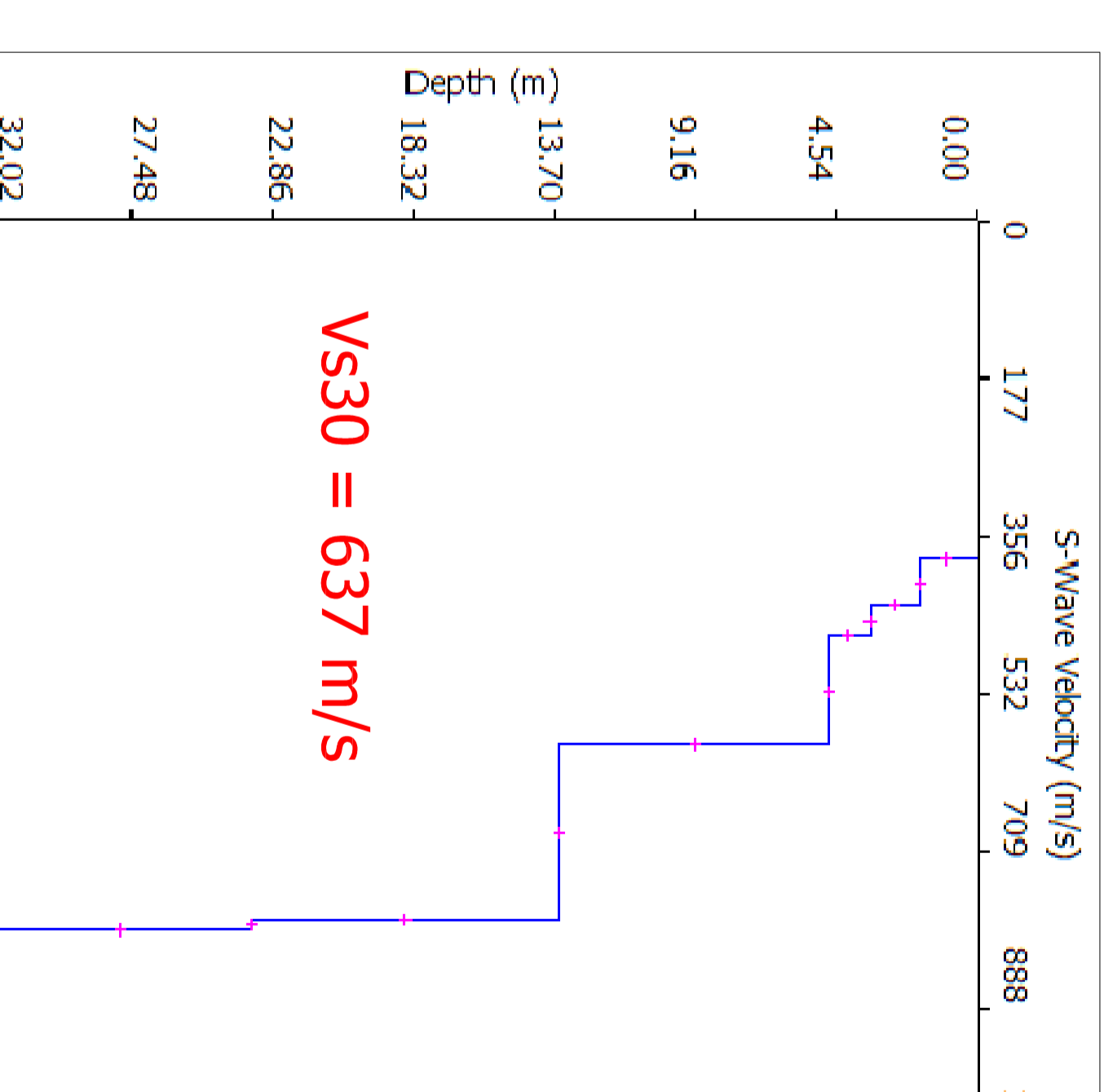
STENDIMENTO S23 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



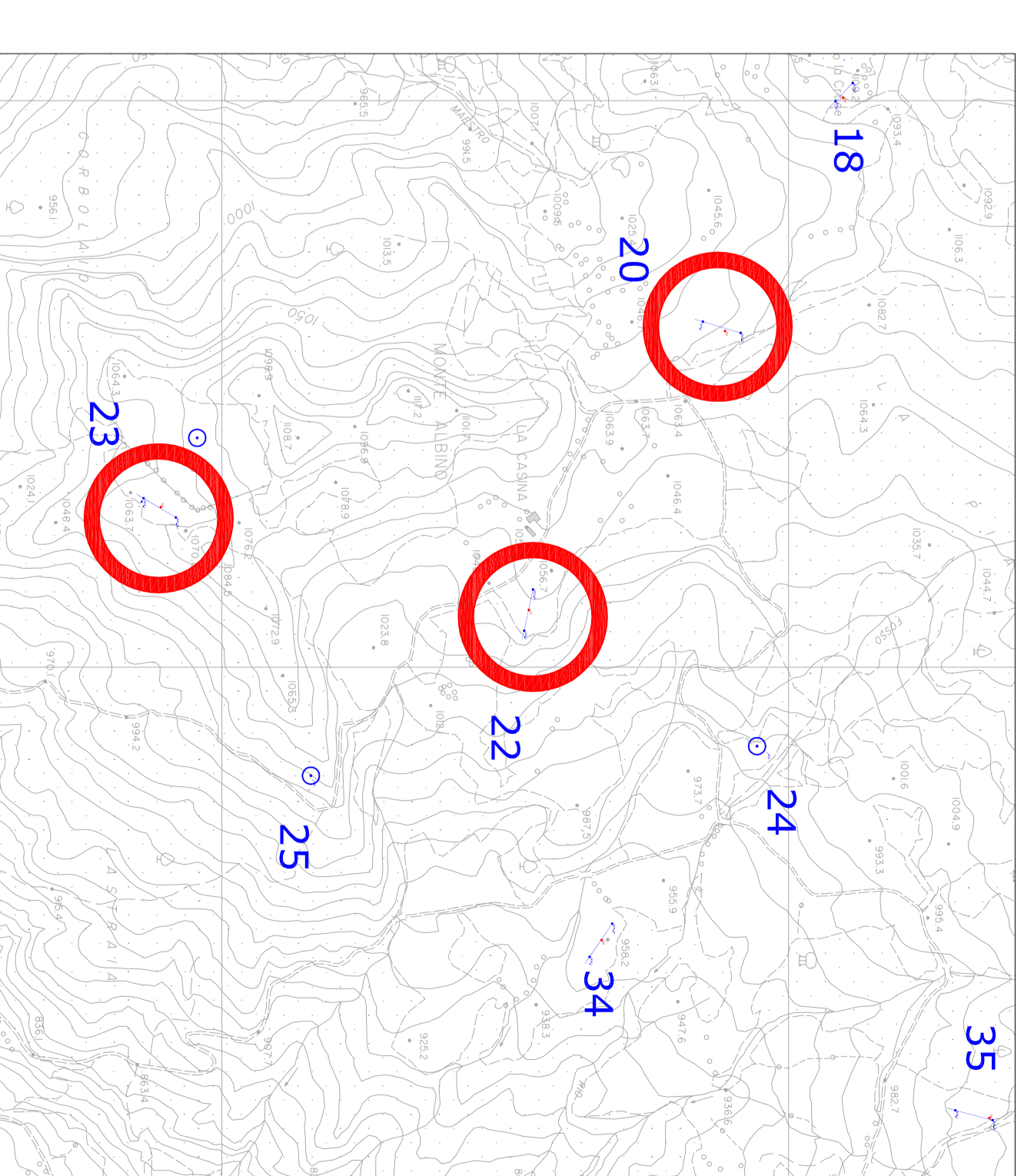
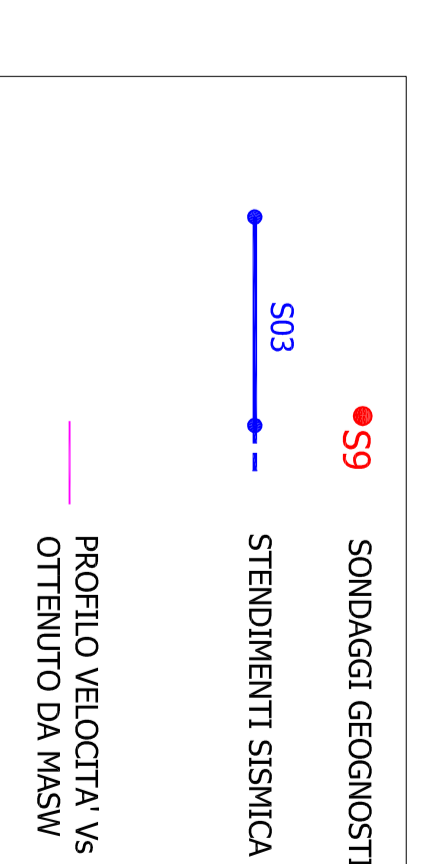
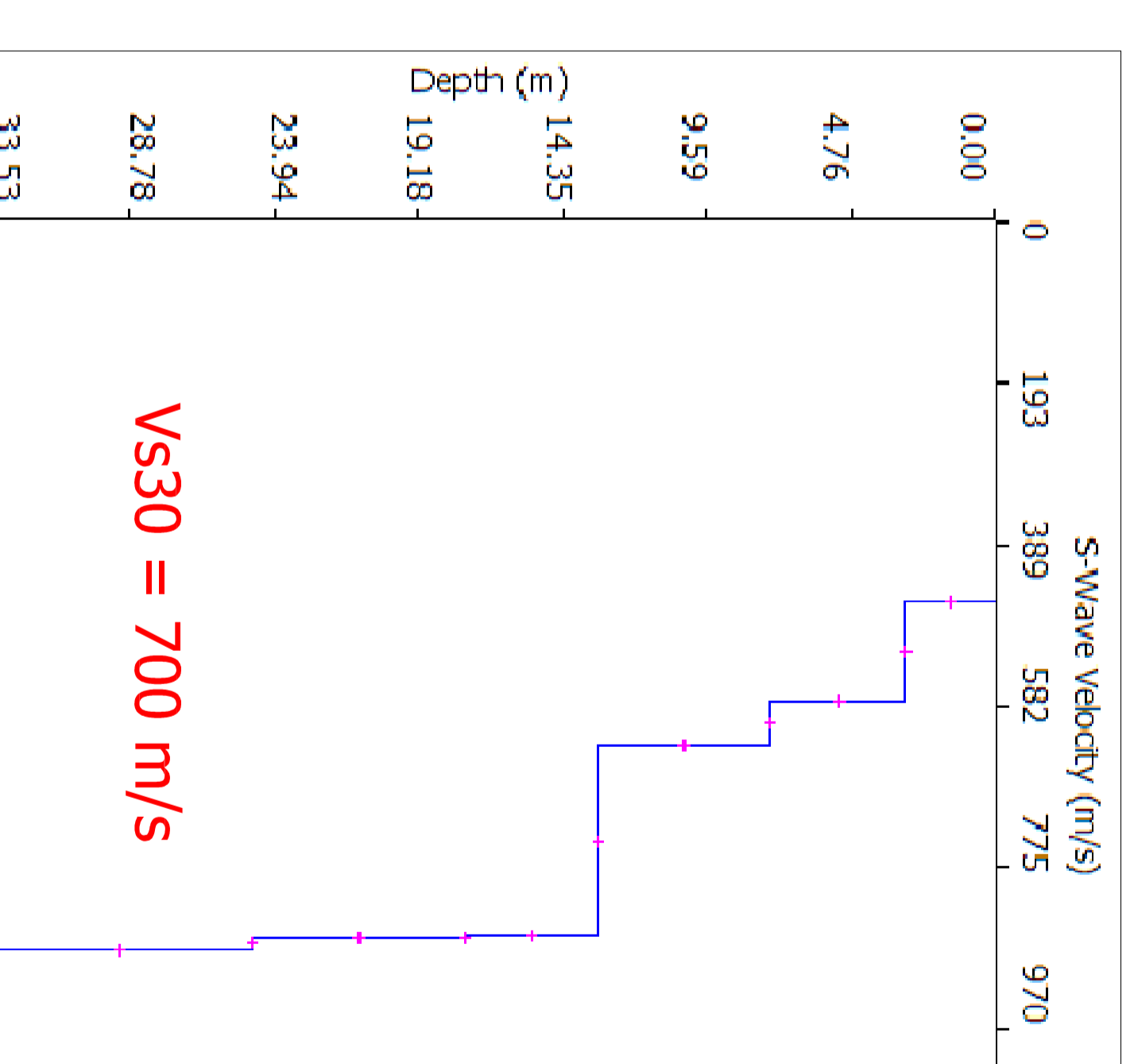
PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AE20



PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AE22



PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AE23



GEOTALLIA SRL  
Via Oriani, 38  
ROMA

INDAGINI GEOSISMICHE E SISMICHE DI SUPPORTO ALLA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "POGGIO TRE VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC), CASTELDELICI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI STENDIMENTI S20, S22 E S23

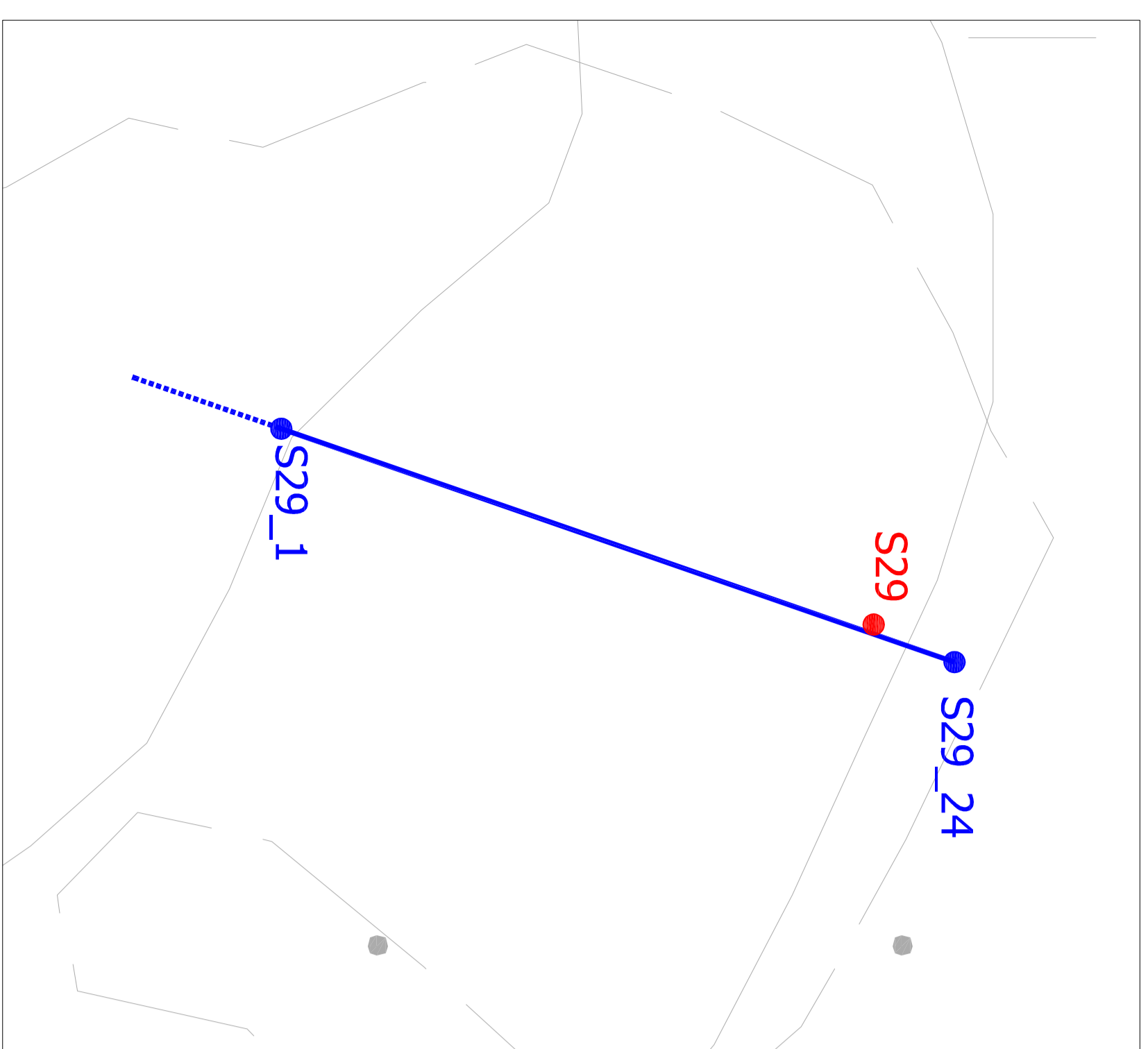
IL COMMITTENTE	PROGETTO	SCALA
GEOTALLIA SRL	PR	VARIE
Via Oriani, 38 ROMA	SERIE <b>A</b>	TAVOLA <b>02H</b>
	REDAZIONE MA PS	VERSIONE 01
	APPROVAZIONE MA	DATA SET 2010

ENKI  
Enki s.r.l.  
Via Andrea Maffei, 1  
00144 Roma  
STRUTTURE E GEOTECNICA  
INGEGNERIA

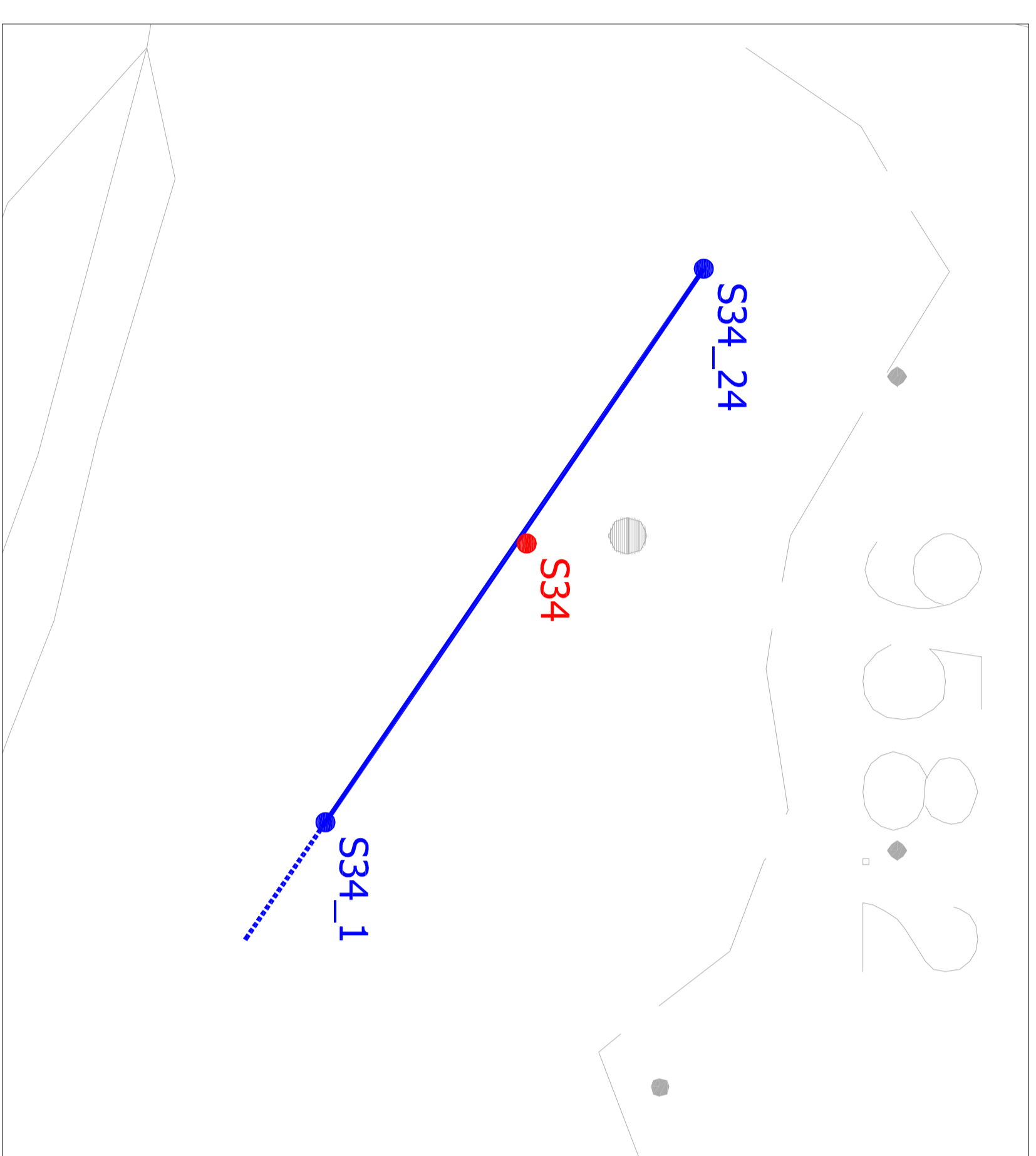
INDAGINI GEOSISMICHE	PROGETTO	SCALA
ENKI	PR	VARIE
Enki s.r.l. Via Andrea Maffei, 1 00144 Roma STRUTTURE E GEOTECNICA INGEGNERIA	SERIE <b>A</b>	TAVOLA <b>02H</b>
	REDAZIONE MA PS	VERSIONE 01
	APPROVAZIONE MA	DATA SET 2010



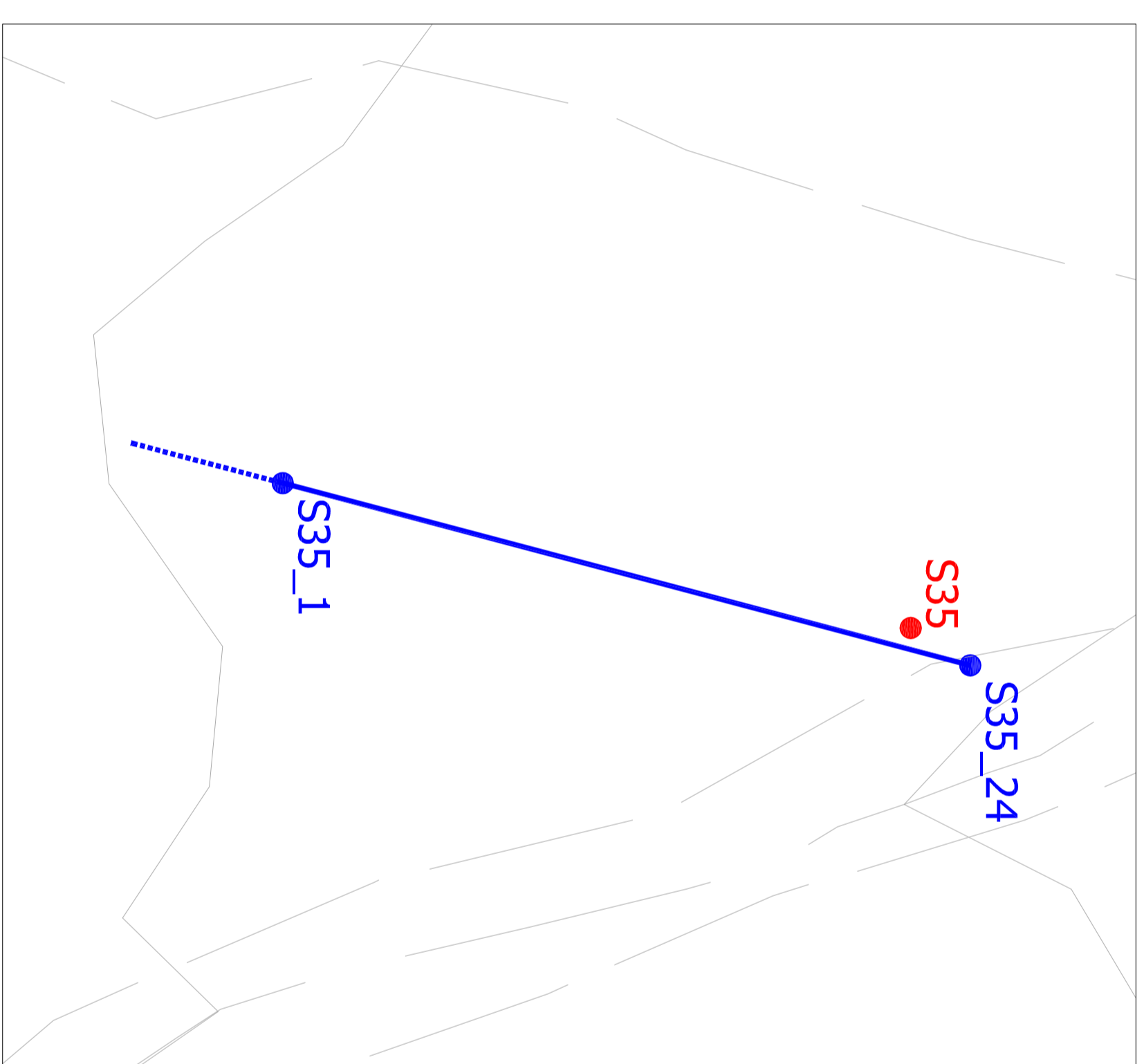
INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S29 - SCALA 1 : 500



INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S34 - SCALA 1 : 500



INQUADRAMENTO PLANIMETRICO S35 - SCALA 1 : 500



RIPRESA FOTOGRAFICA S29 DAL GEOFONO 24



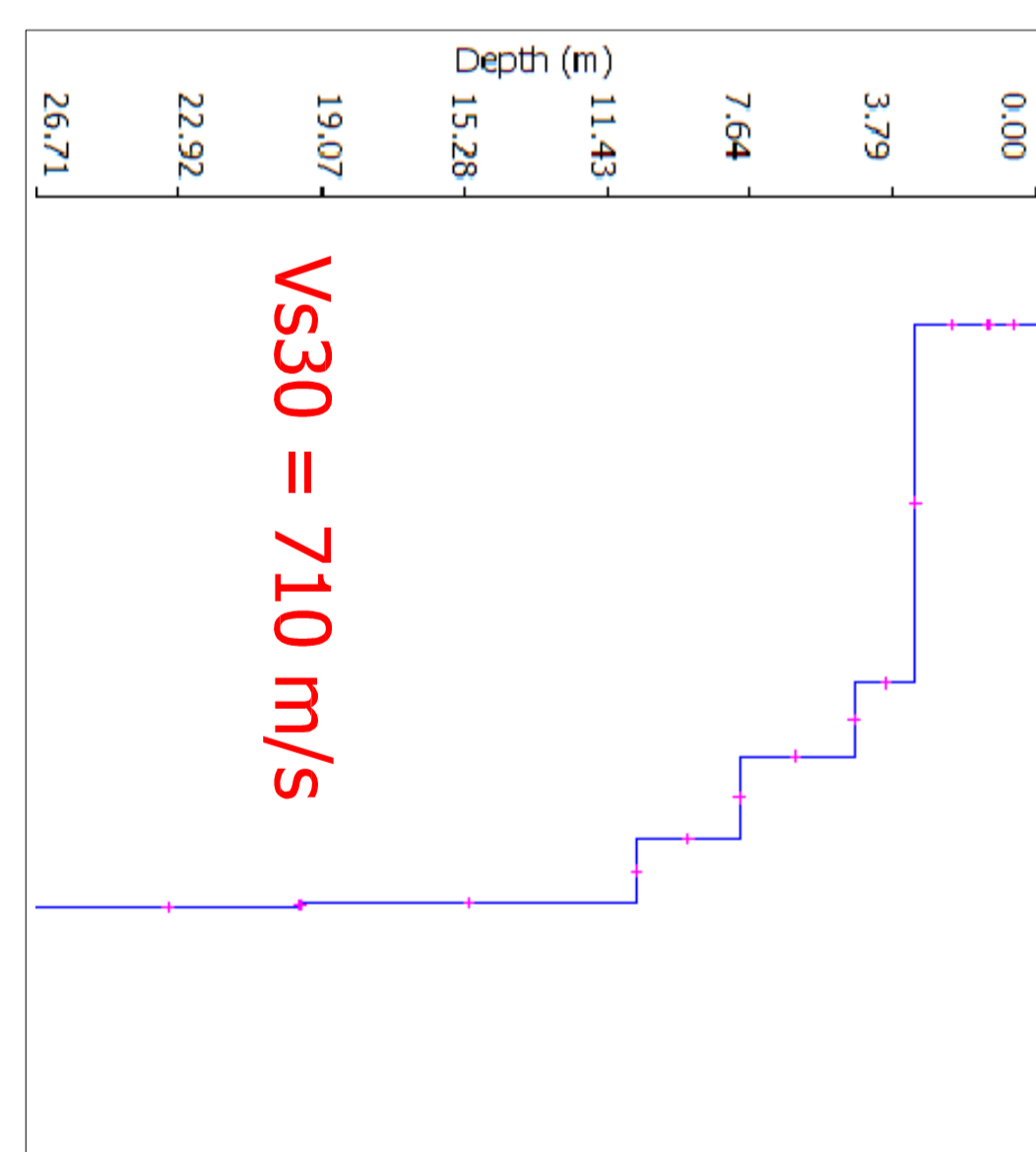
RIPRESA FOTOGRAFICA S34 DAL GEOFONO 1



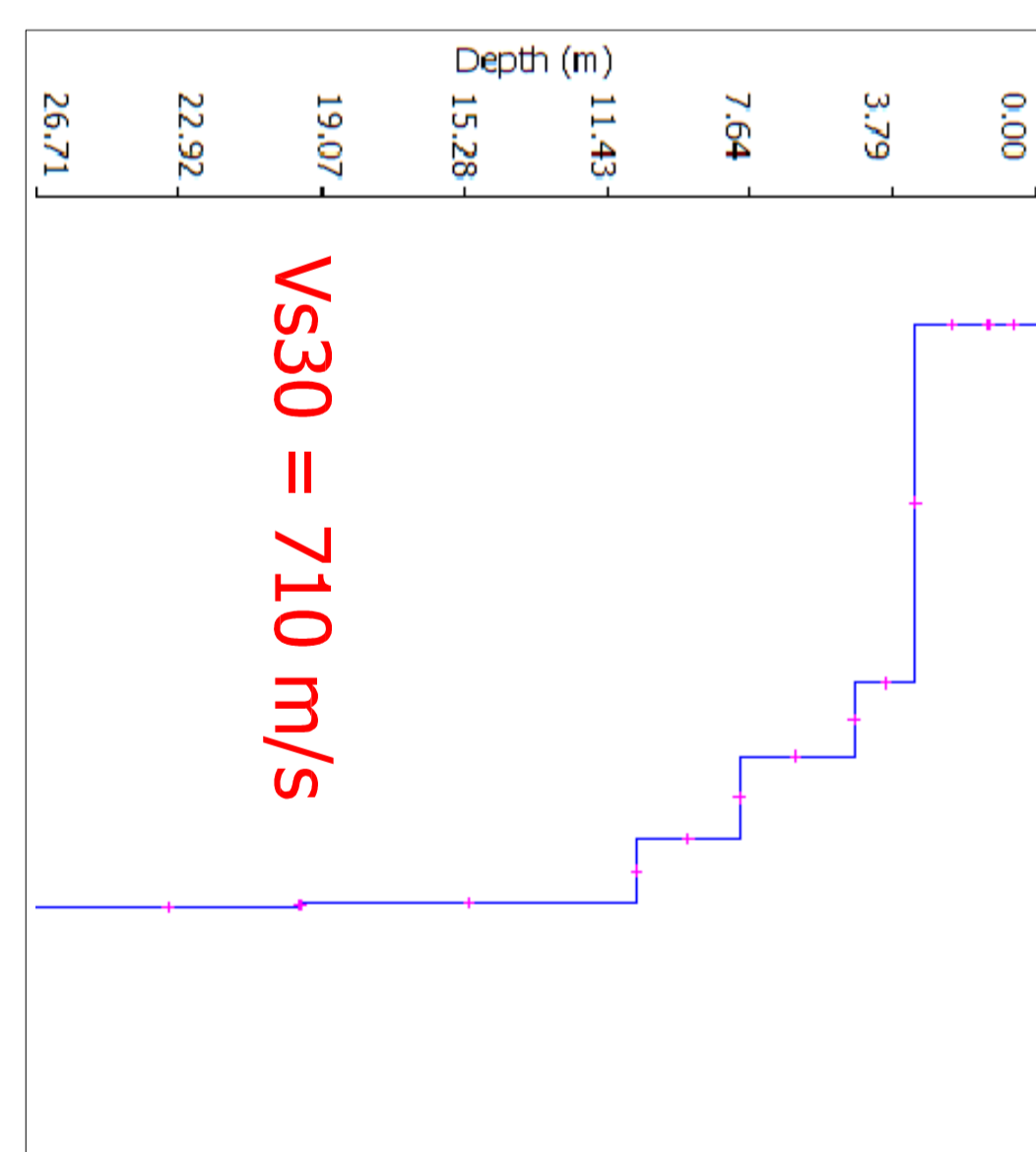
RIPRESA FOTOGRAFICA S35 DAL GEOFONO 24



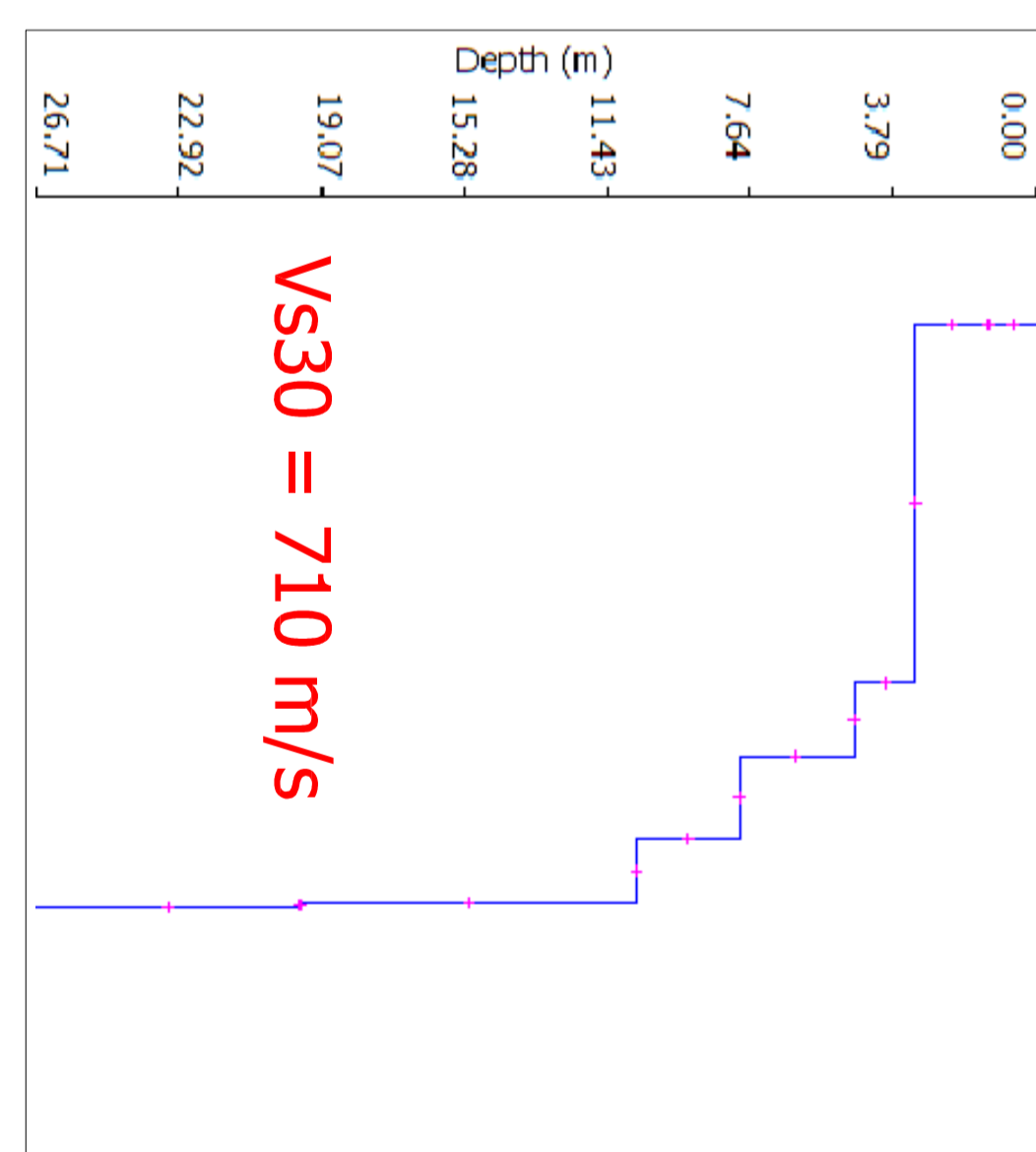
PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AE29



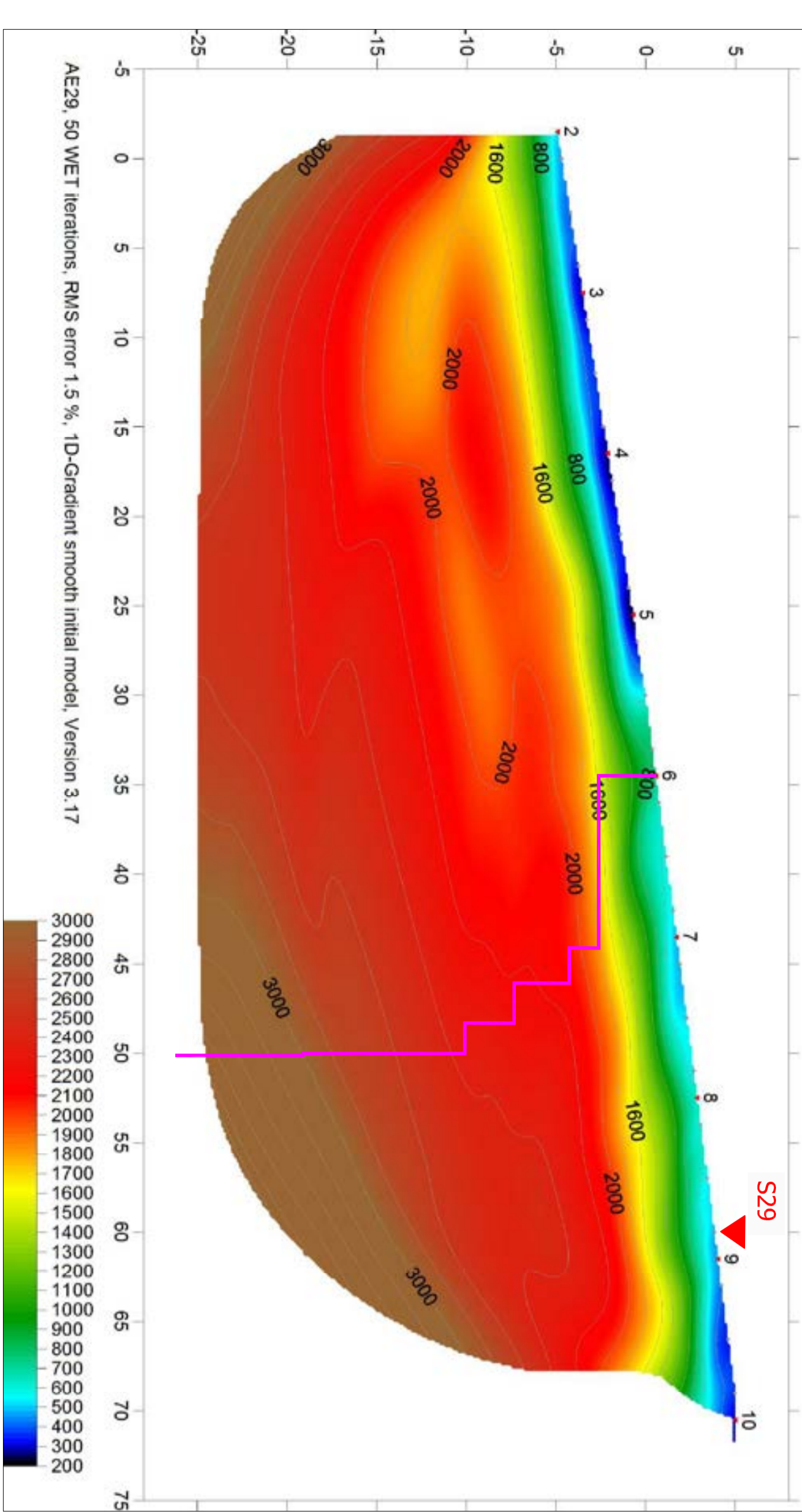
PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AE34



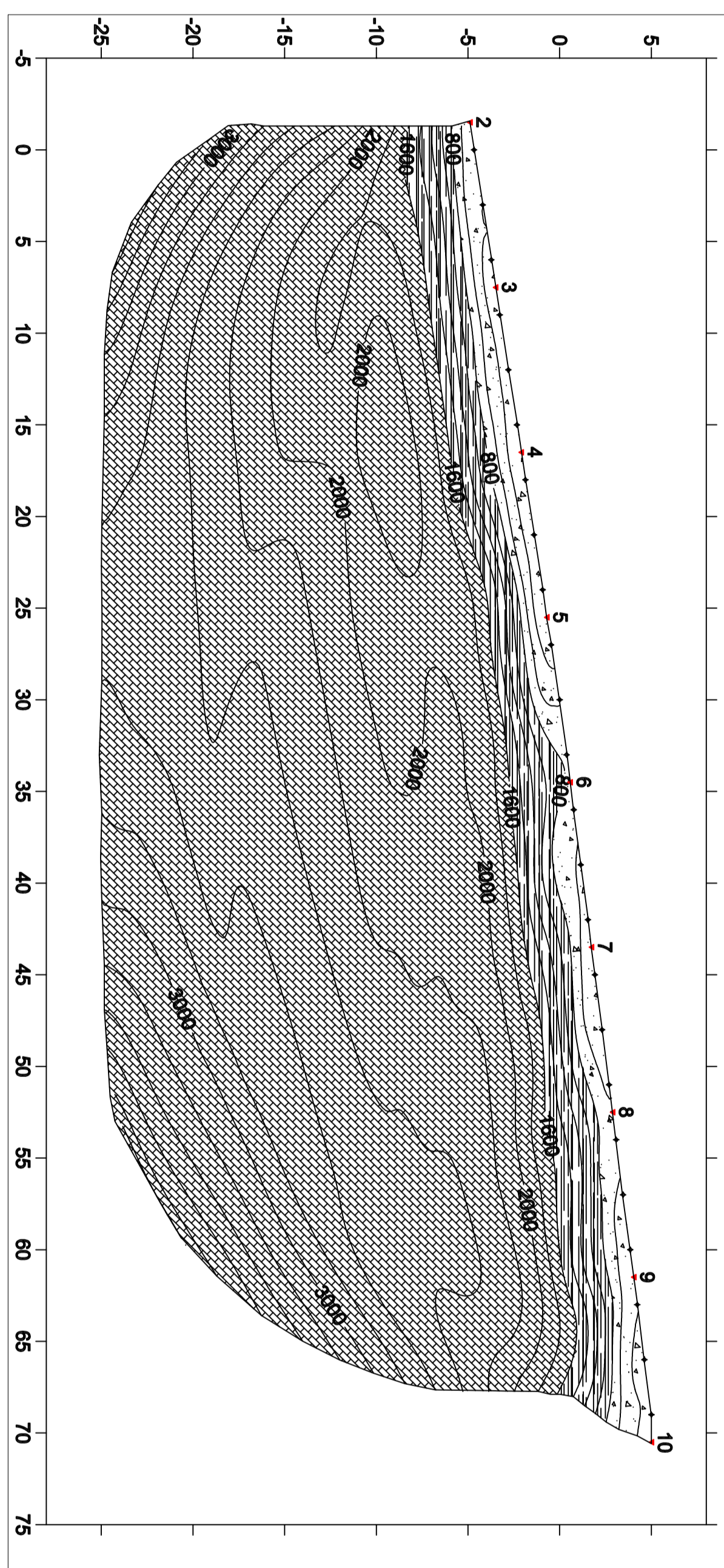
PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AE35



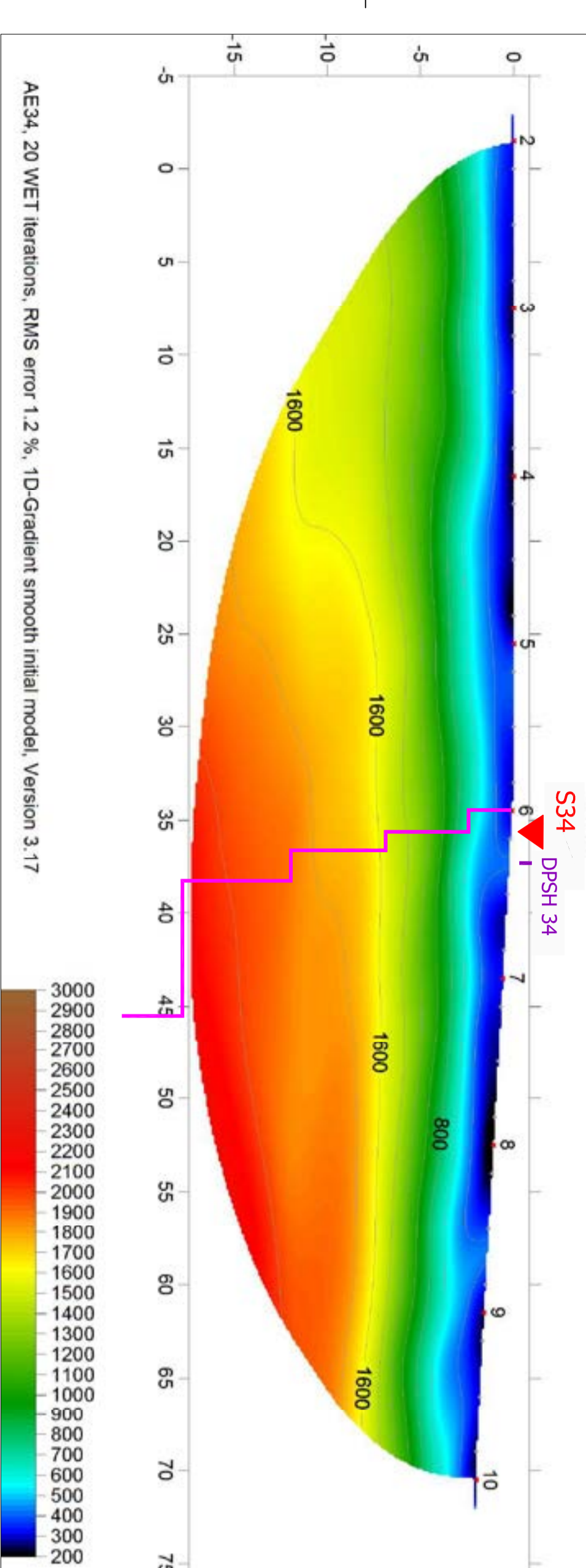
STENDIMENTO S29 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250  
VERGHERETO - AE29



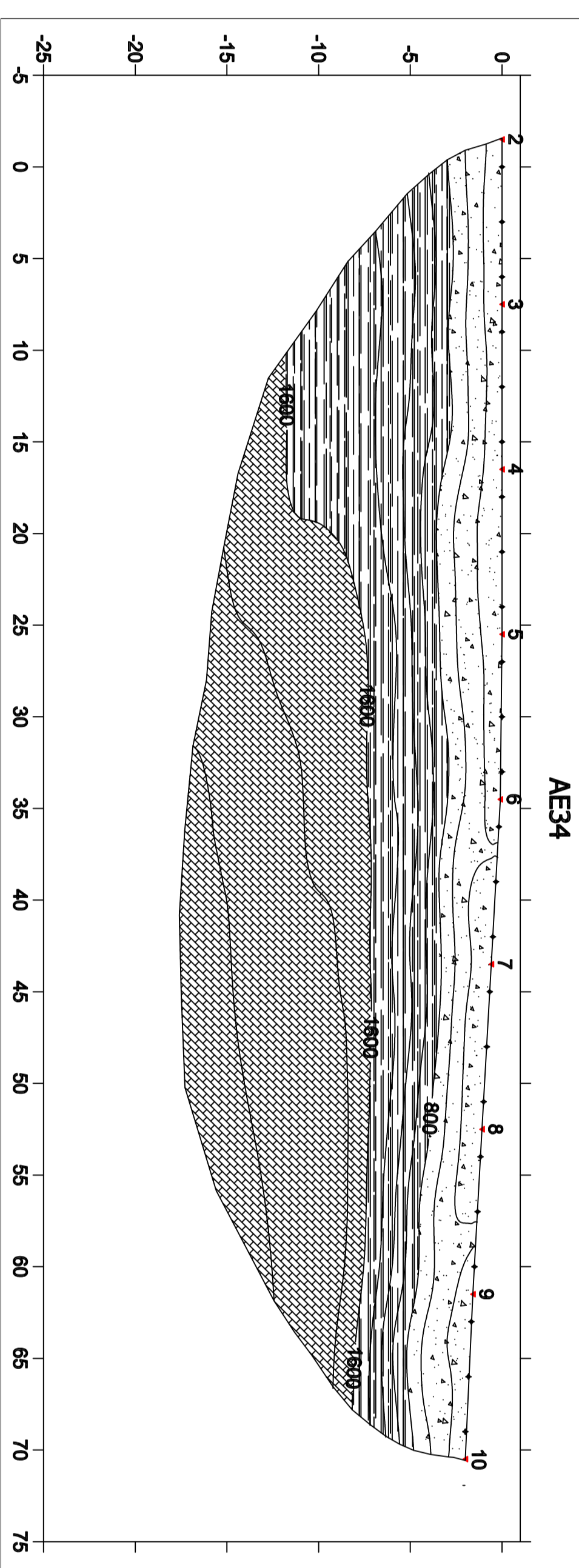
STENDIMENTO S29 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250  
VERGHERETO - AE29



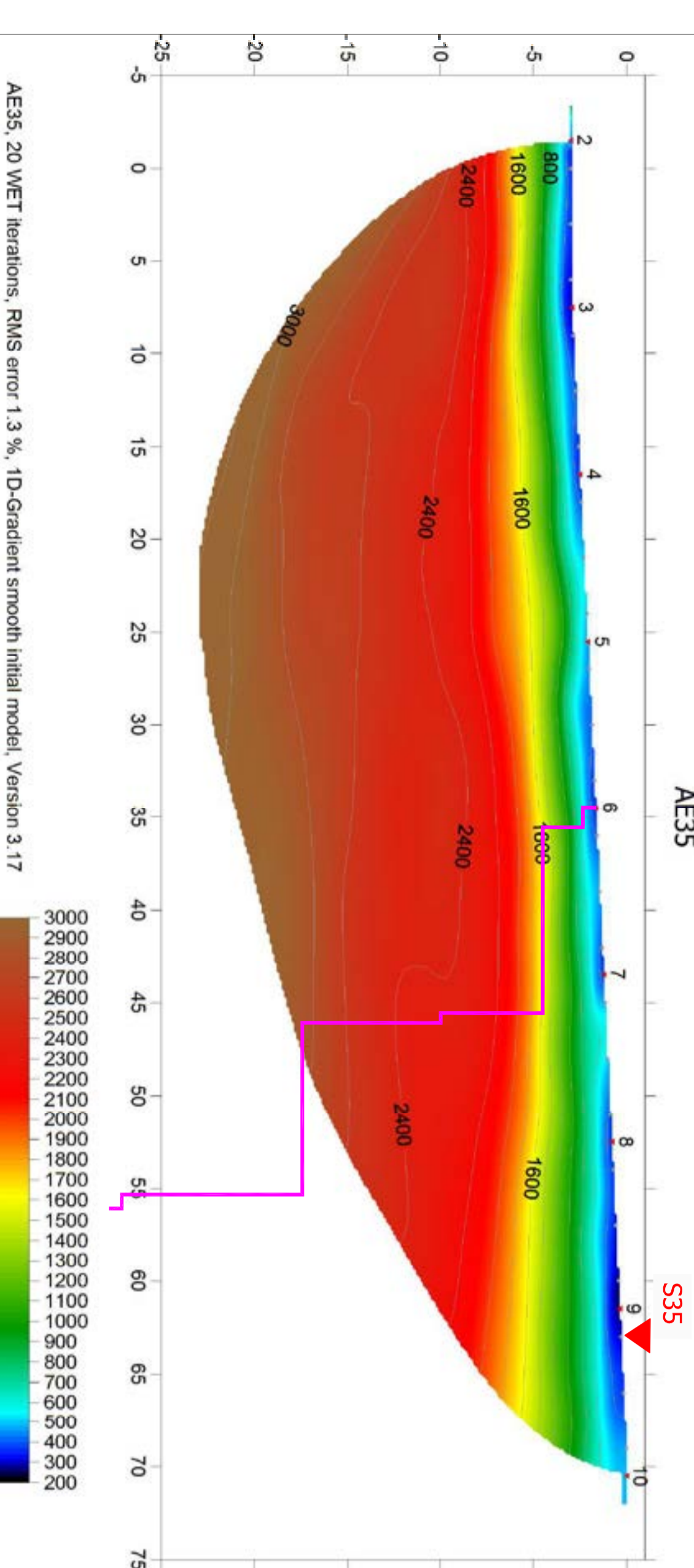
STENDIMENTO S34 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



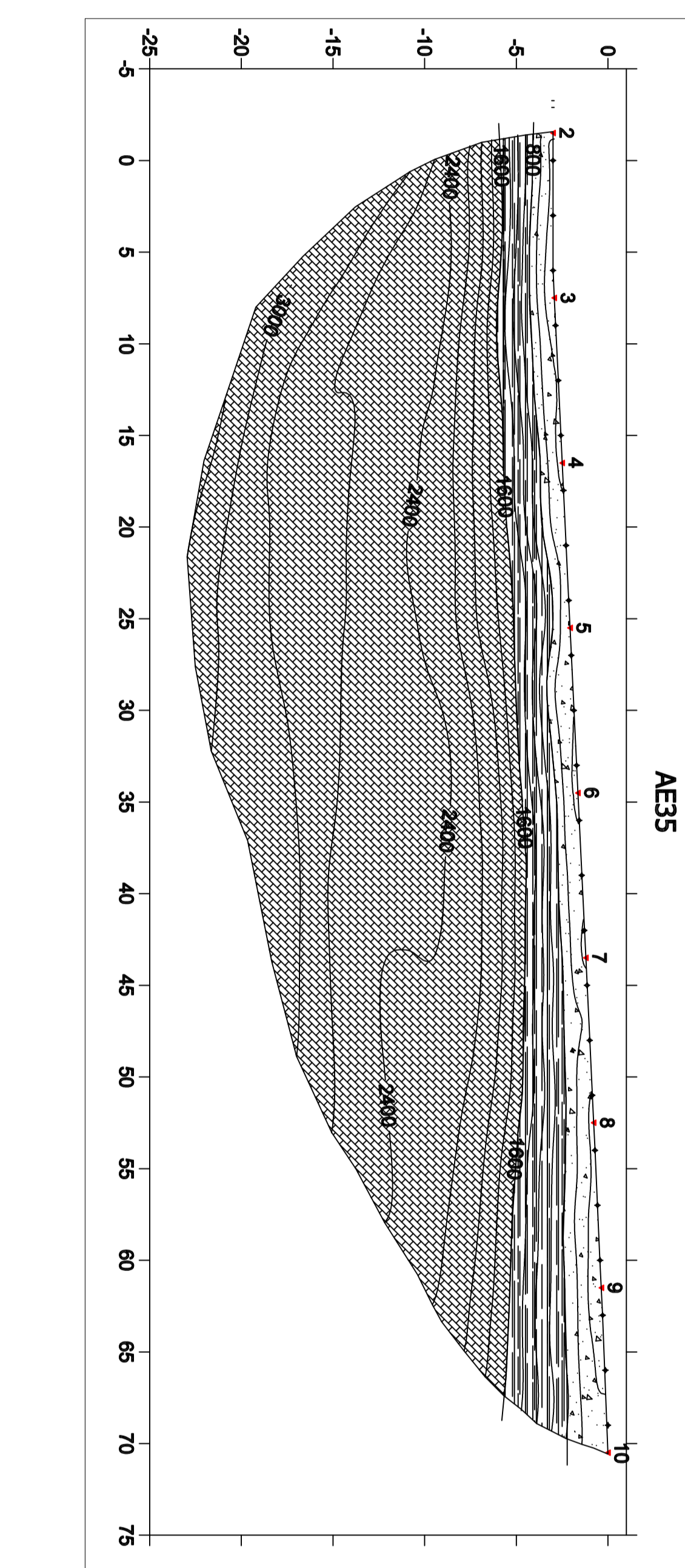
STENDIMENTO S34 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



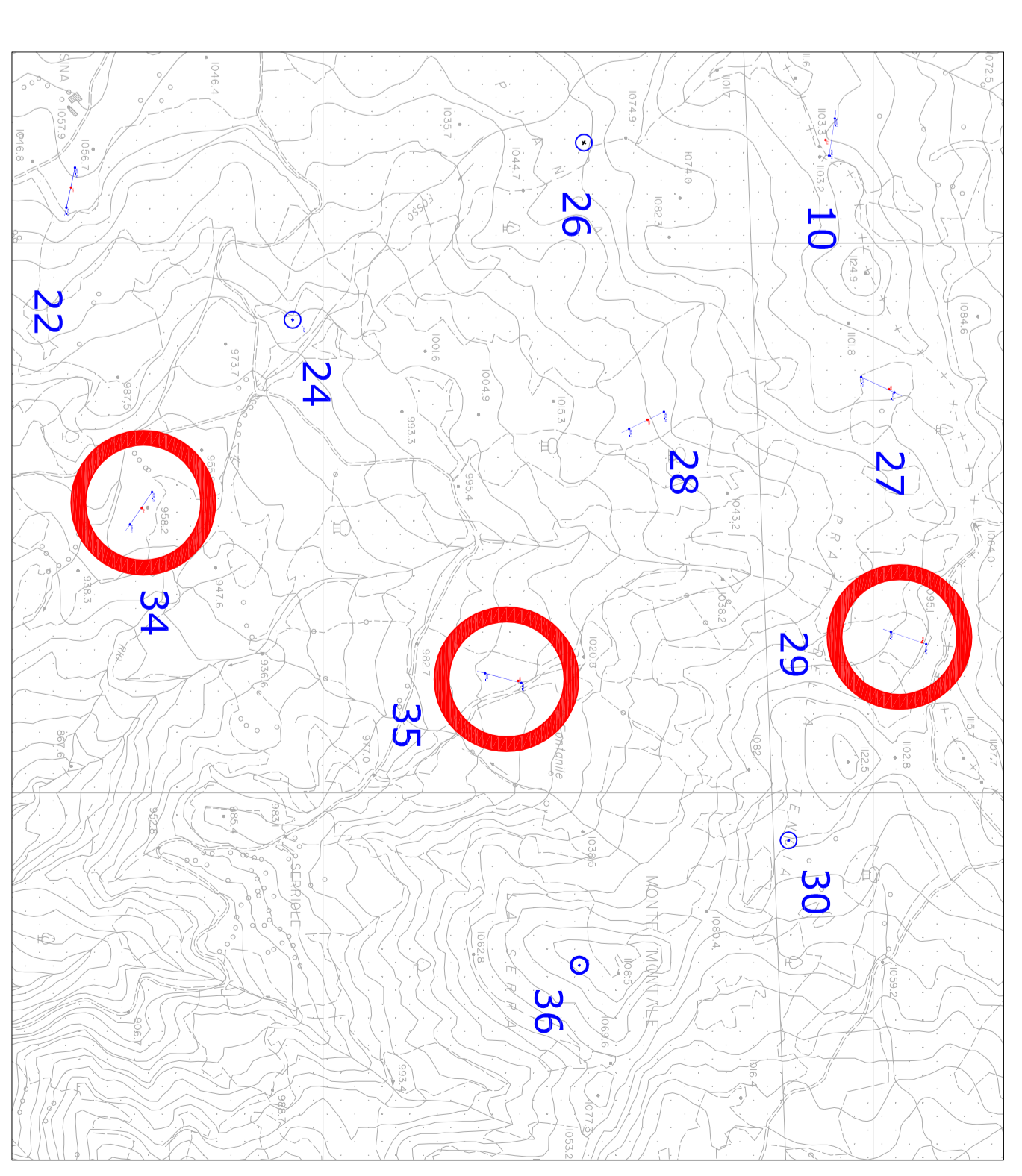
STENDIMENTO S35 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



STENDIMENTO S35 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



● S9 SONDAGGI GEONOSTICI  
● S03 STENDIMENTI SISMICA  
— PROFILO VELOCITA' VS OTTENUTO DA MASW



**GEOTITALIA SRL**  
Via Oriani, 38  
ROMA

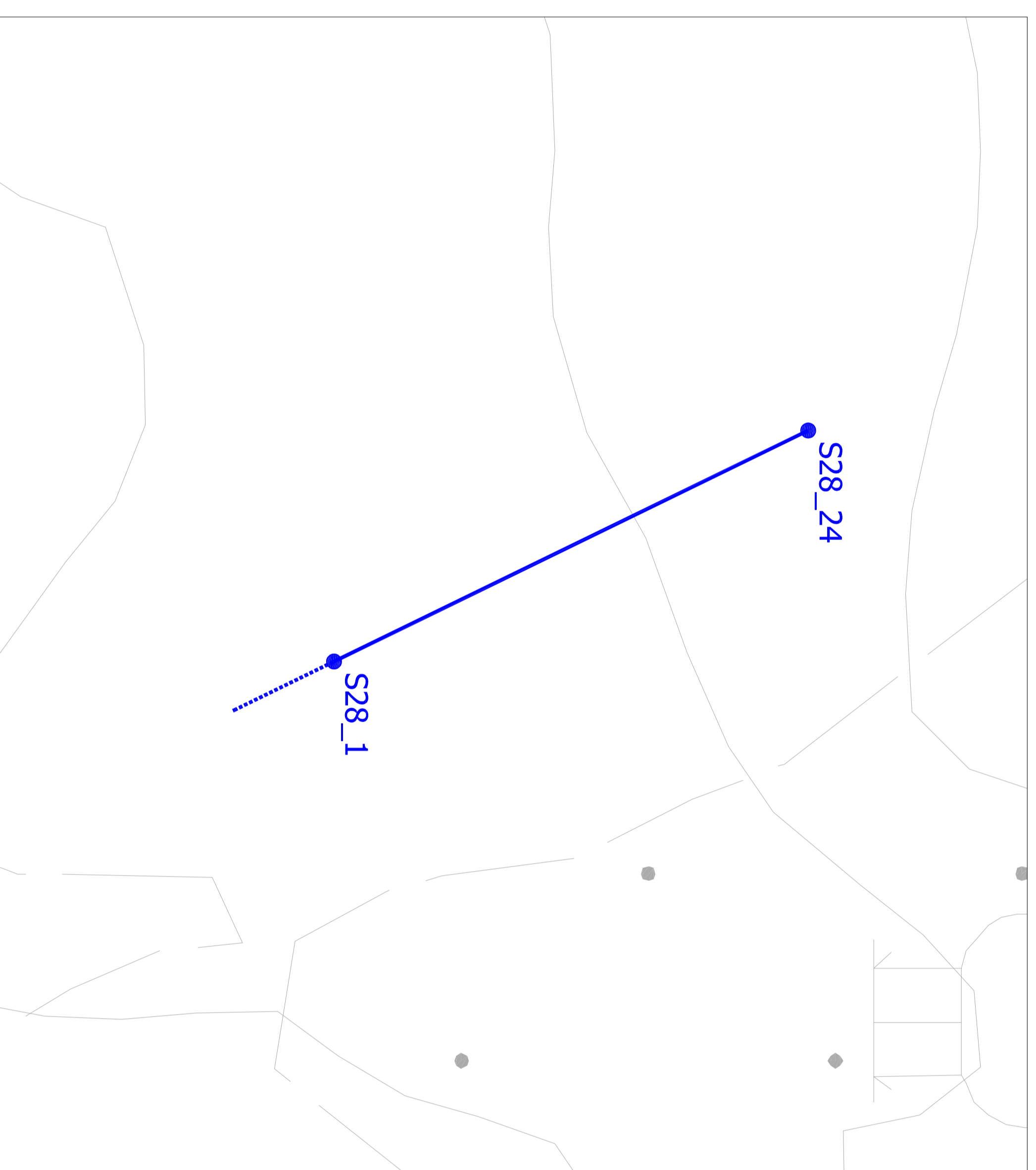
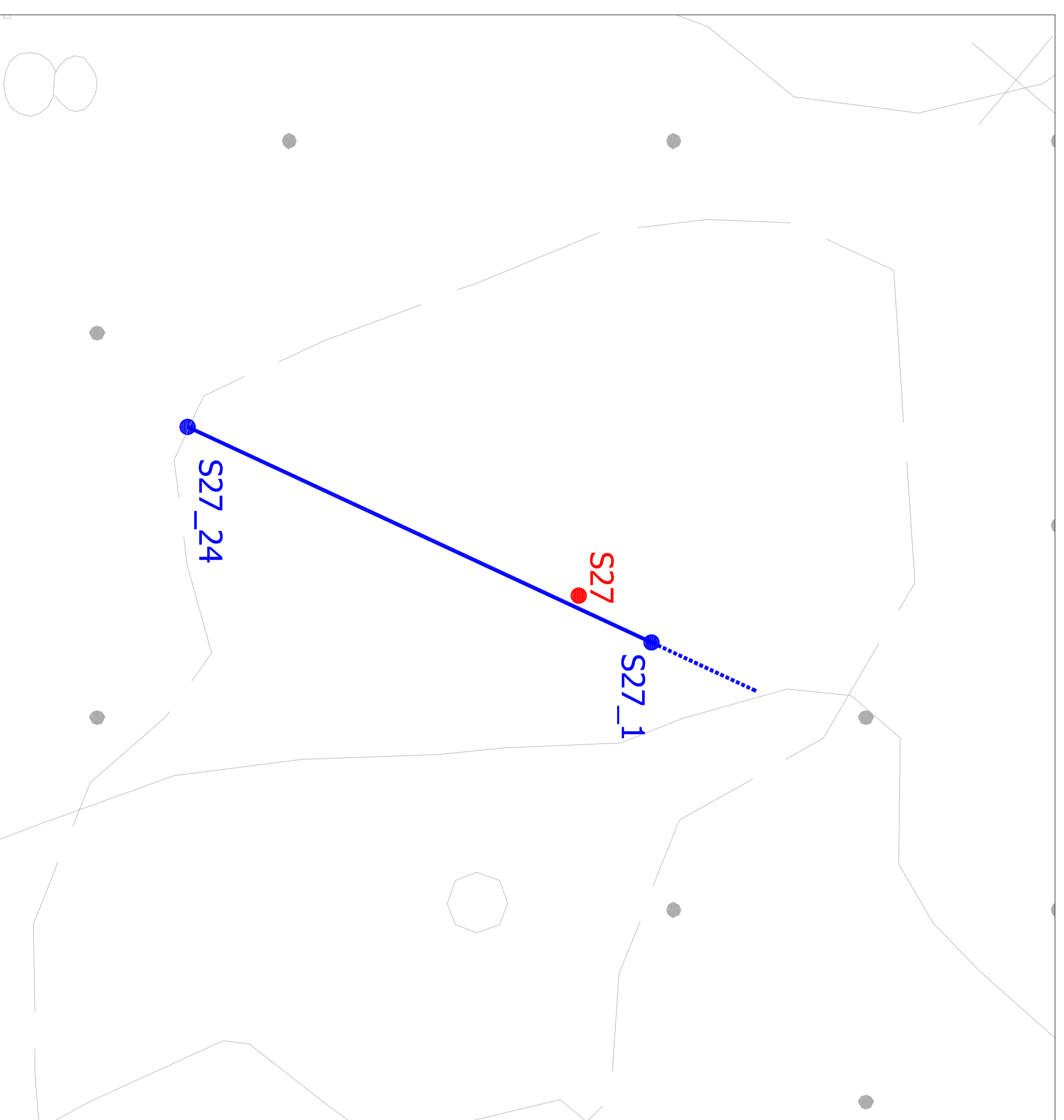
INDAGINI GEOFISICHE SISMICHE DI SUPPORTO ALLA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "POGGIO TRE VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC), CASTELDELICI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI STENDIMENTI S29, S34 E S35

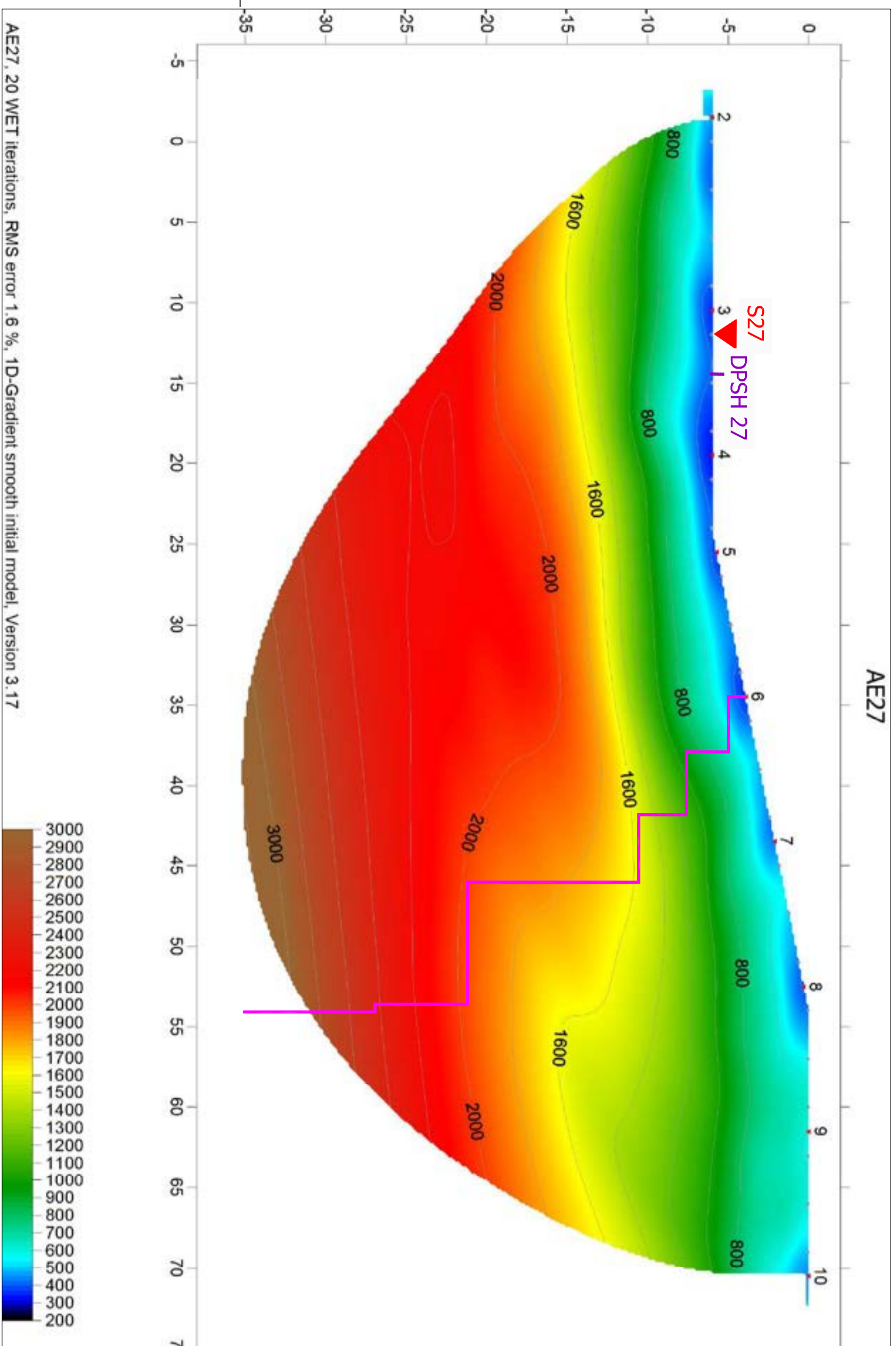
IL COMMITTENTE		PROGETTO	
GEOTITALIA SRL		PR	
Via Oriani, 38 ROMA		SCALE VARIE	
SERIE		TAVOLA	
A		02L	
REDAZIONE MA PS		VERSIONE 01	
APPROVATO MA		DATA SET 2010	

INDAGINI GEOFISICHE  
**ENKI**  
ENKI s.r.l.  
Via Andrea Maffei, 1  
00144 ROMA  
STRUTTURE E GEOTECNICA

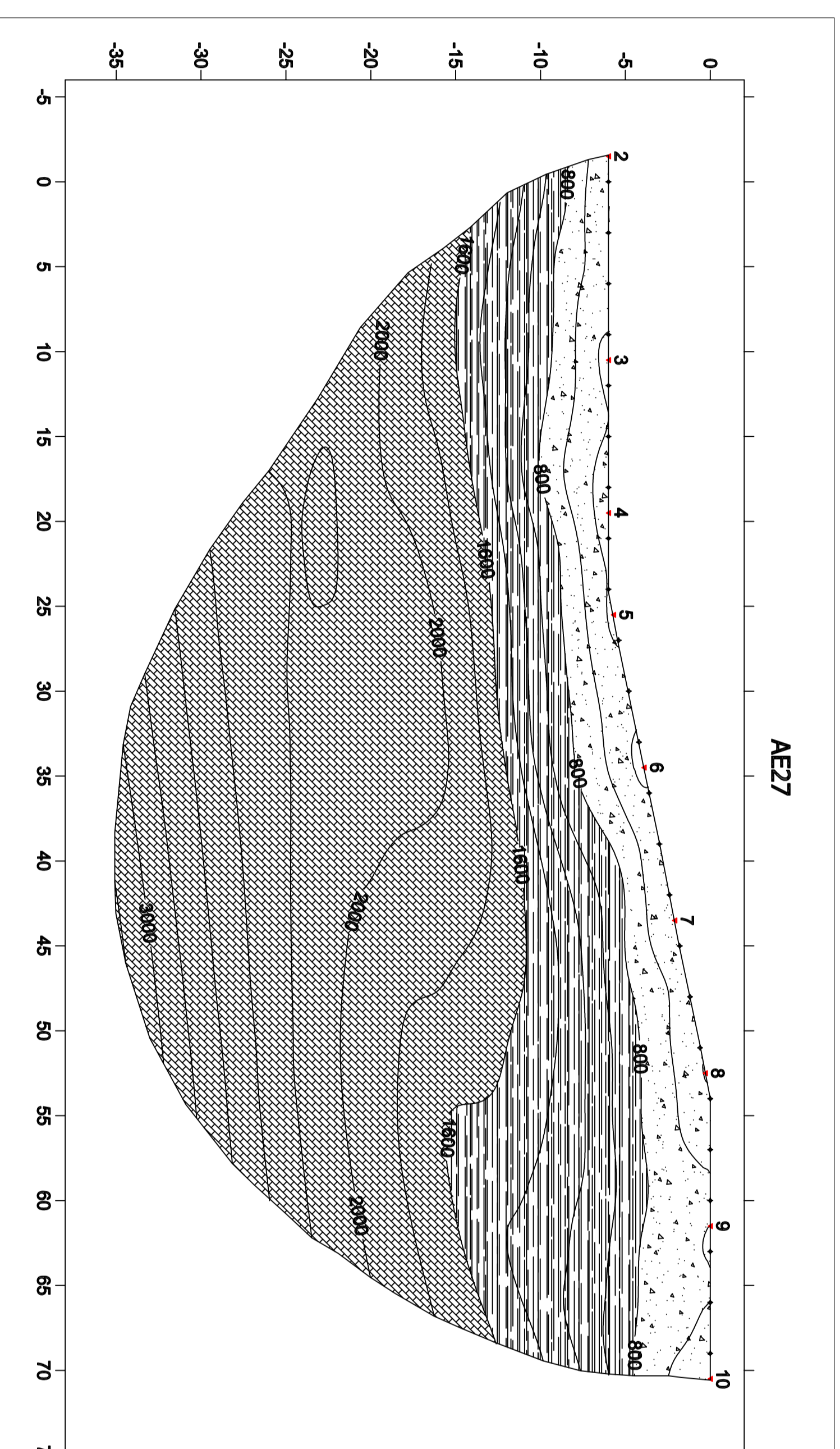




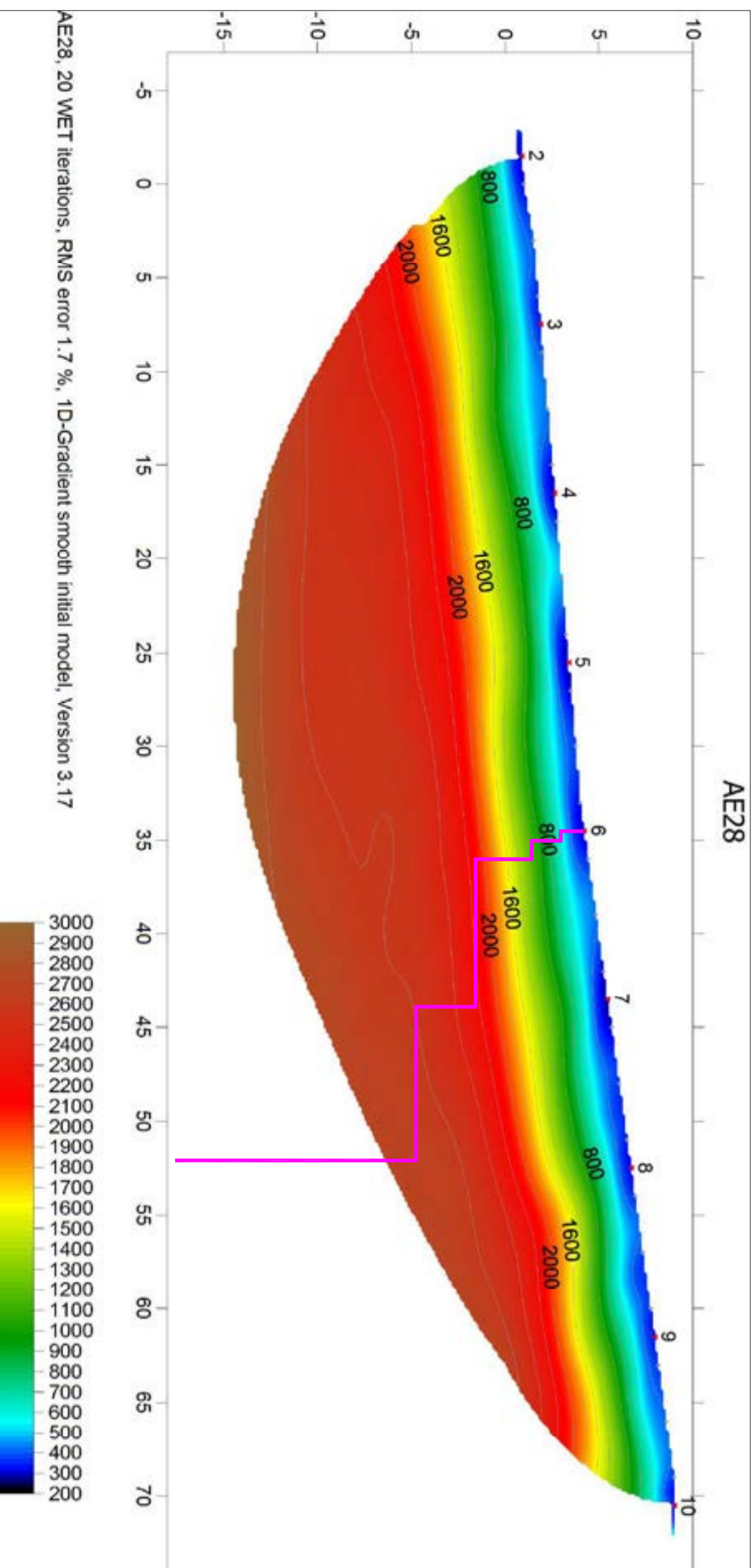
STENDIMENTO S27 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



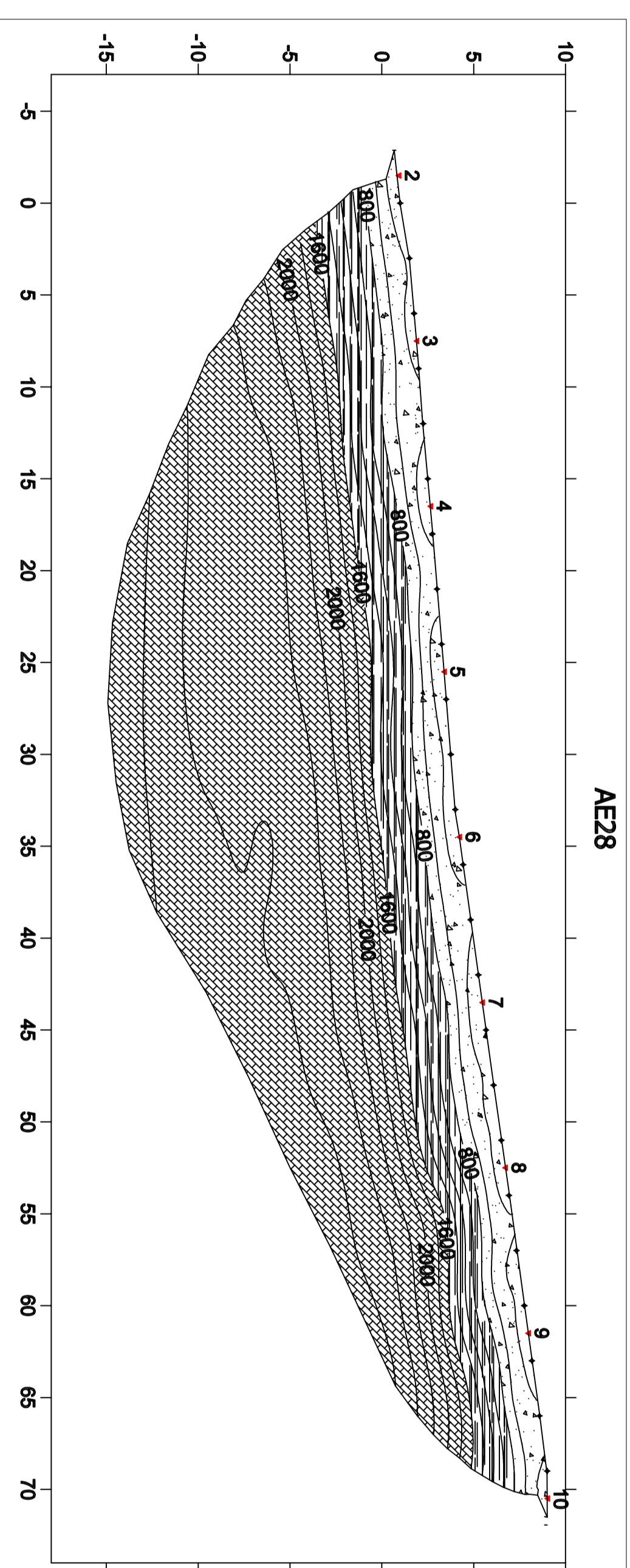
STENDIMENTO S27 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



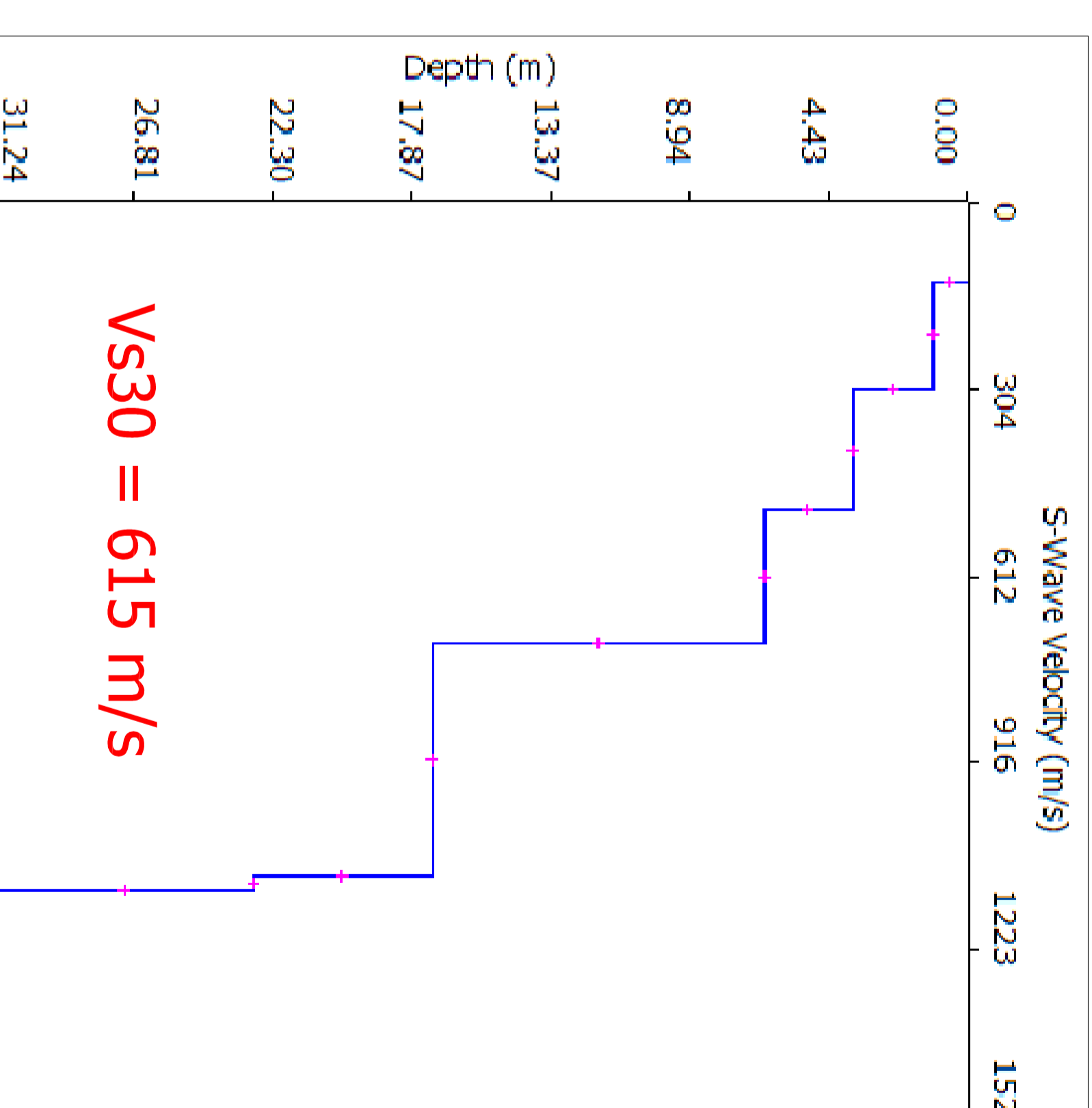
STENDIMENTO S28 - TOMOGRAFIA 2D VELOCITA' ONDE P - SCALA 1 : 250



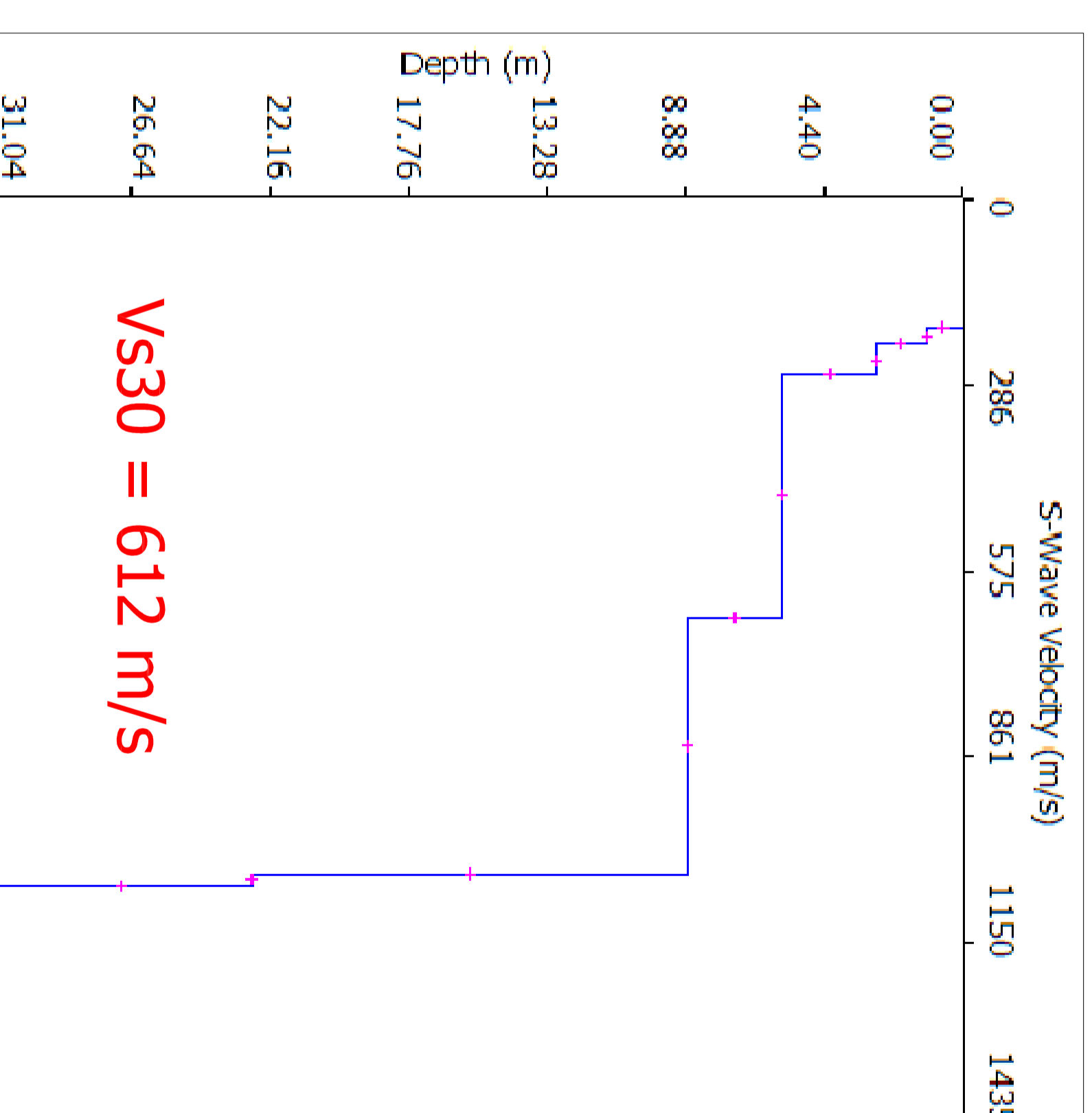
STENDIMENTO S28 - SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA - SCALA 1 : 250



PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AEZ7



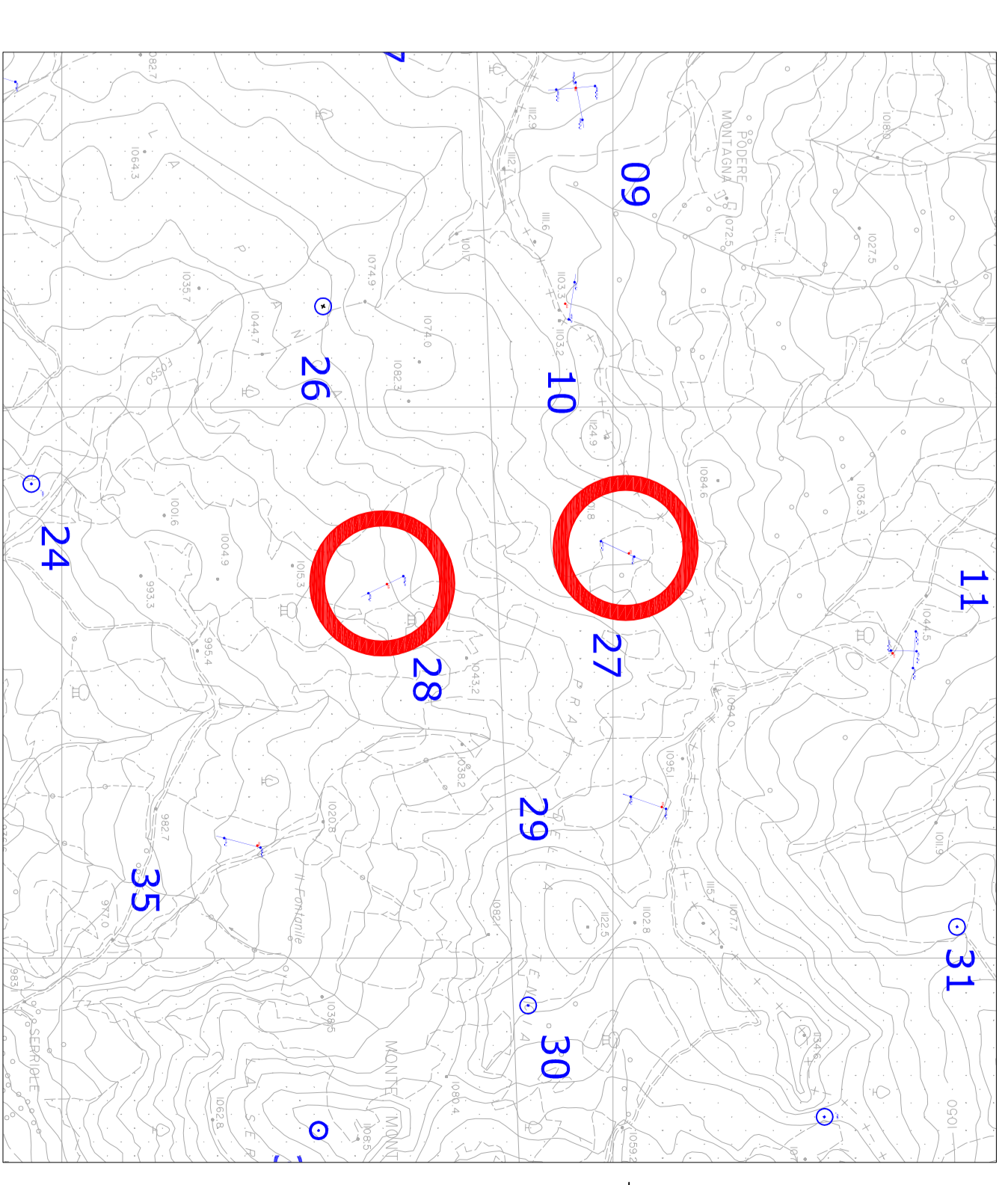
PROFILO DI VELOCITA' VS MASW AEZ8



● S9 SONDAGGI GEOSTOSTICI

— STENDIMENTI SISMICA

— PROFILO VELOCITA' VS OTTENUTO DA MASW



GEOTITALIA SRL

Via Oriani, 38  
ROMA

INDAGINI GEOFISICHE SISMICHE DI SUPPORTO ALLA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "POGGIO TRE VESCOVI" NEI COMUNI DI VERGHERETO (FC), CASTELDELICI (PU) E BADIA TEDALDA (AR)

TOMOGRAFIE 2D DELLE VELOCITA' DELLE ONDE P E SEZIONI GEOTECNICHE INTERPRETATIVE DEGLI STENDIMENTI S27 E S28

IL COMMITTENTE

GEOTITALIA SRL

Via Oriani, 38  
ROMA

INDAGINI GEOFISICHE

ENKI s.r.l.  
Via Andrea Maffei, 10  
00144 ROMA  
INGEGNERIA

PROGETTO	SCALA
PR	VARIE
SERIE	
TAVOLA	
021	
VERSIONE	01
DATA	SET 2010
APPROVATO	
MA PS	
MA	



## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE05

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 01/09/10 14:56:26      End recording: 01/09/10 15:16:27

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 72% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

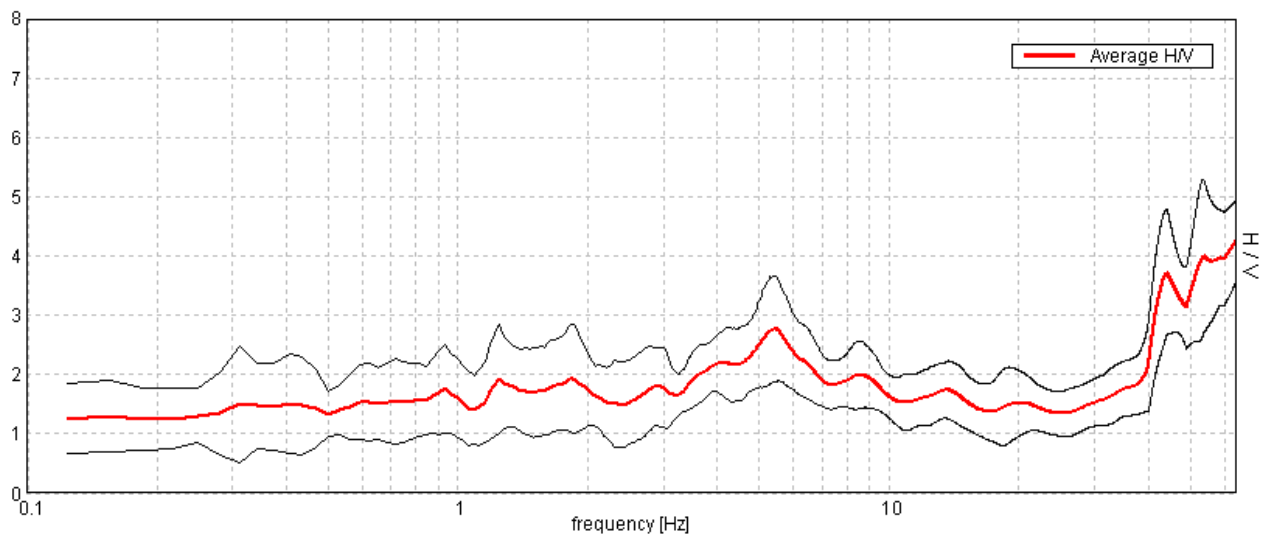
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

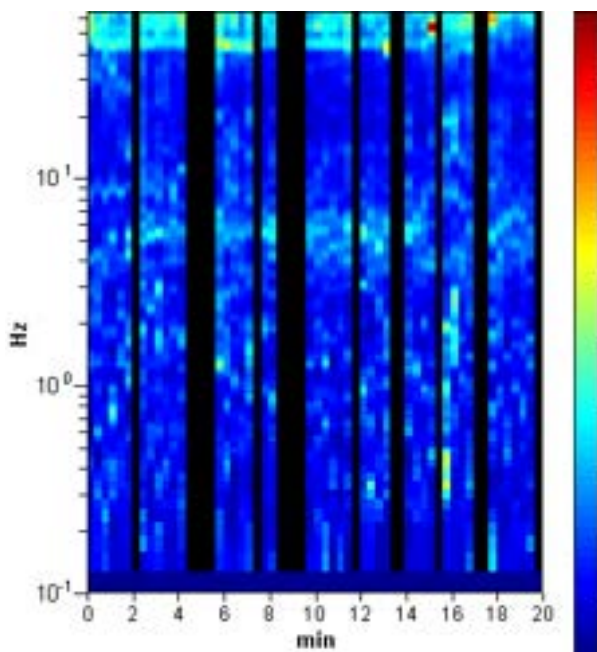
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

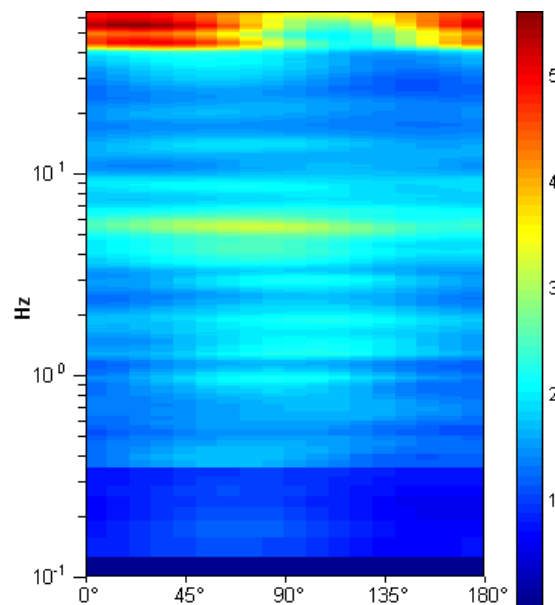
Max. H/V at  $63.97 \pm 4.2$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



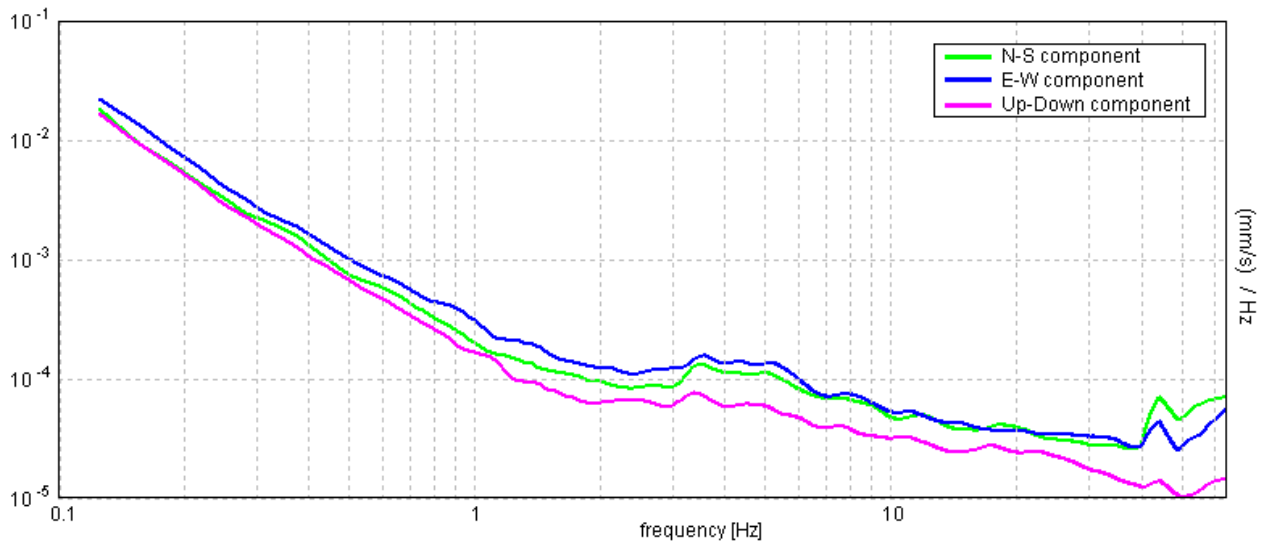
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

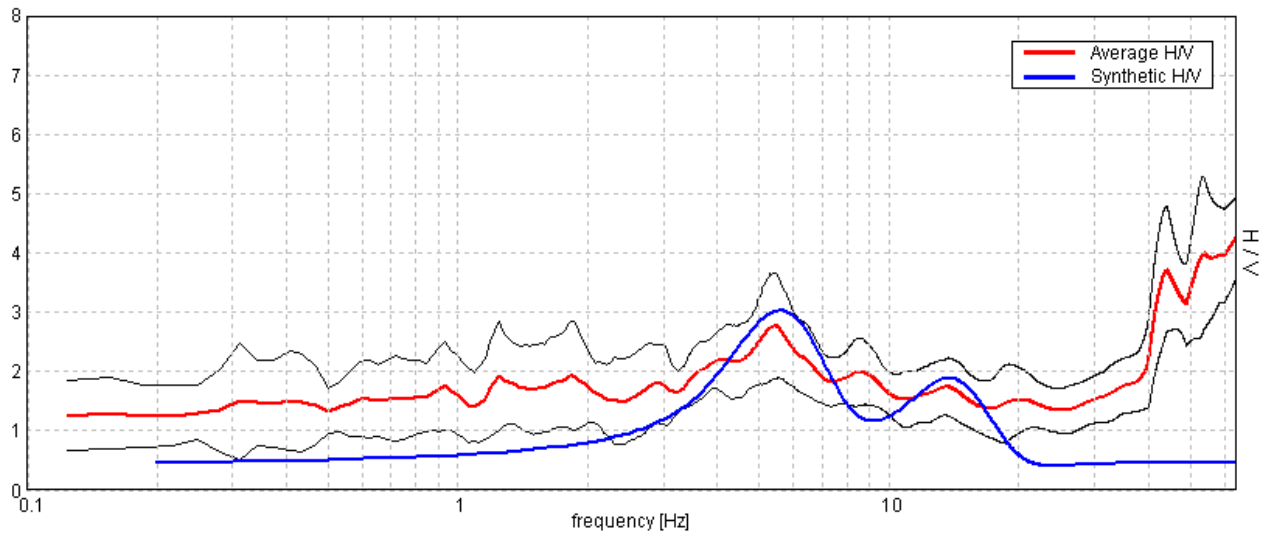


SINGLE COMPONENT SPECTRA



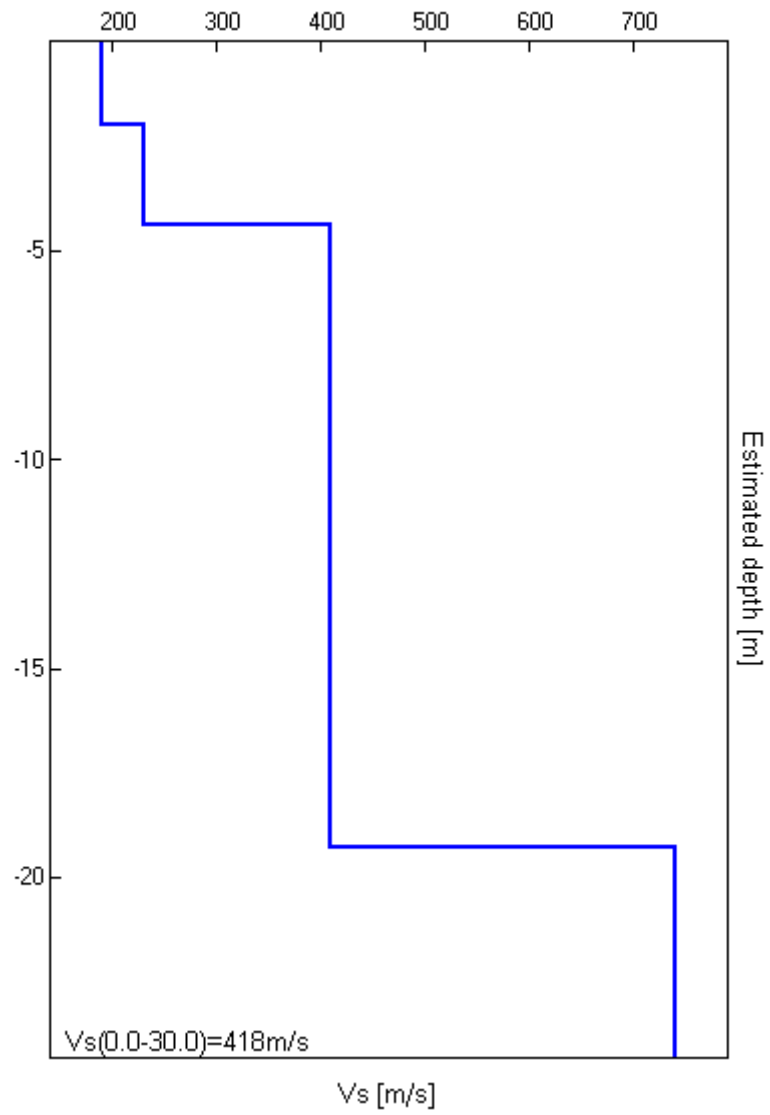
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 63.97 ± 4.2 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	190	0.39
4.40	2.40	230	0.38
19.30	14.90	410	0.37
inf.	inf.	740	0.35

Vs(0.0-30.0)=418m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 63.97 ± 4.2 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	55013.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	39.938 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	4.27 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03212  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.0549 < 3.19844	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3387 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE03

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 10/08/10 14:37:53      End recording: 10/08/10 14:57:54

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 77% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

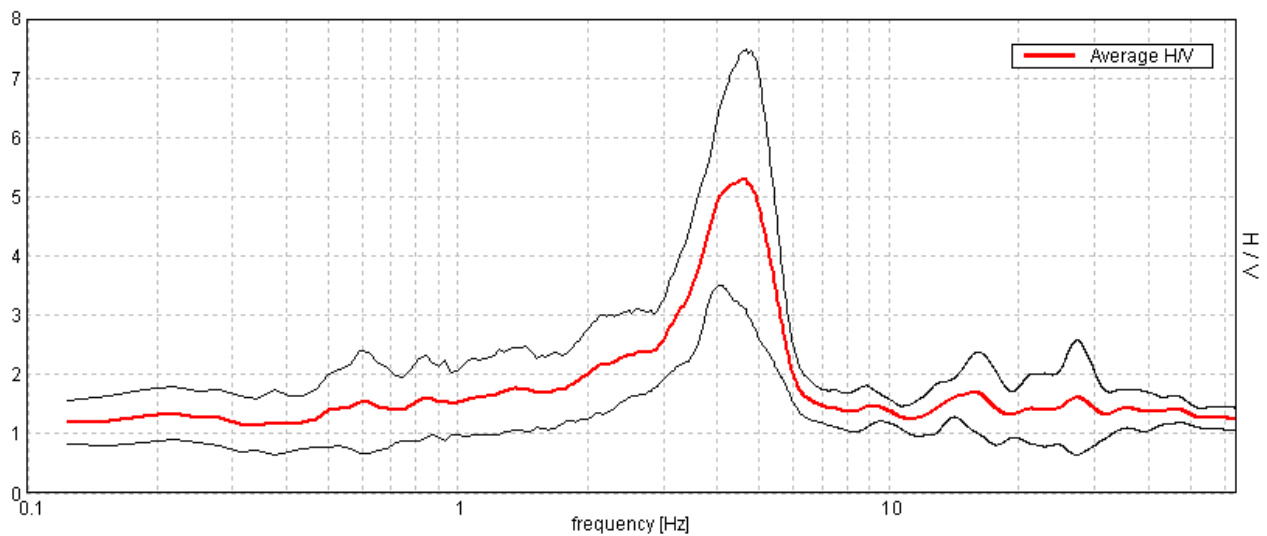
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

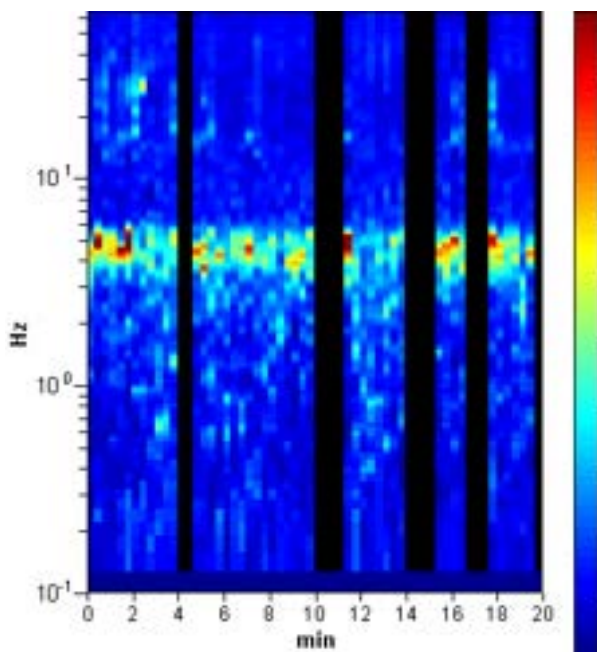
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

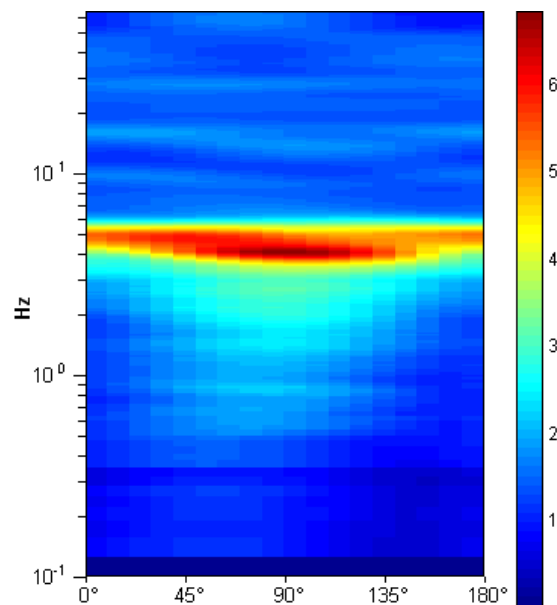
Max. H/V at  $4.56 \pm 0.02$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



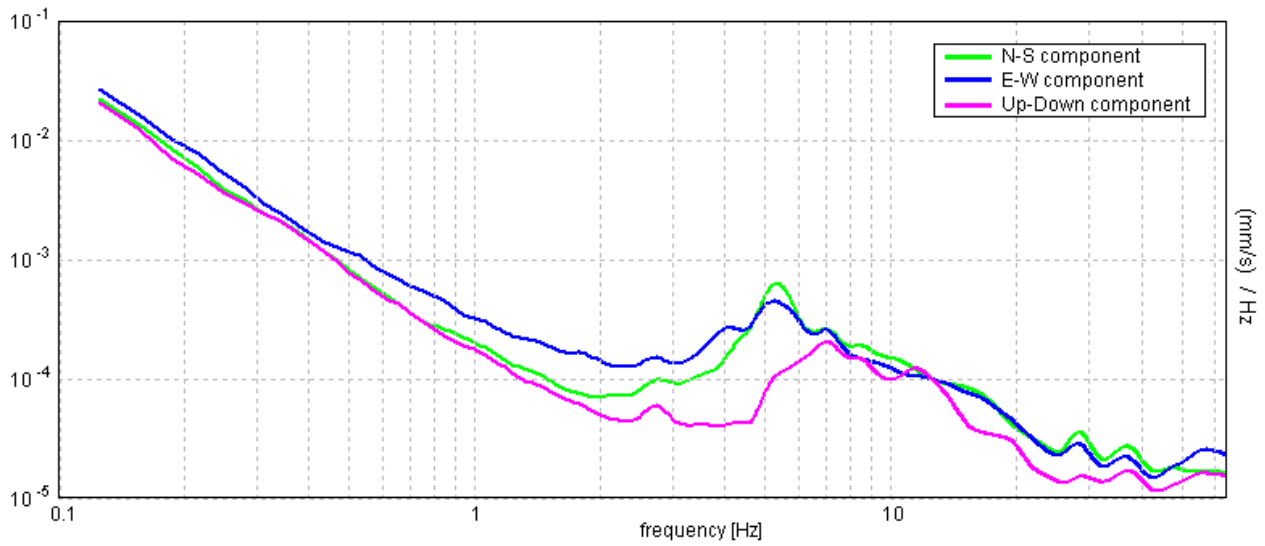
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

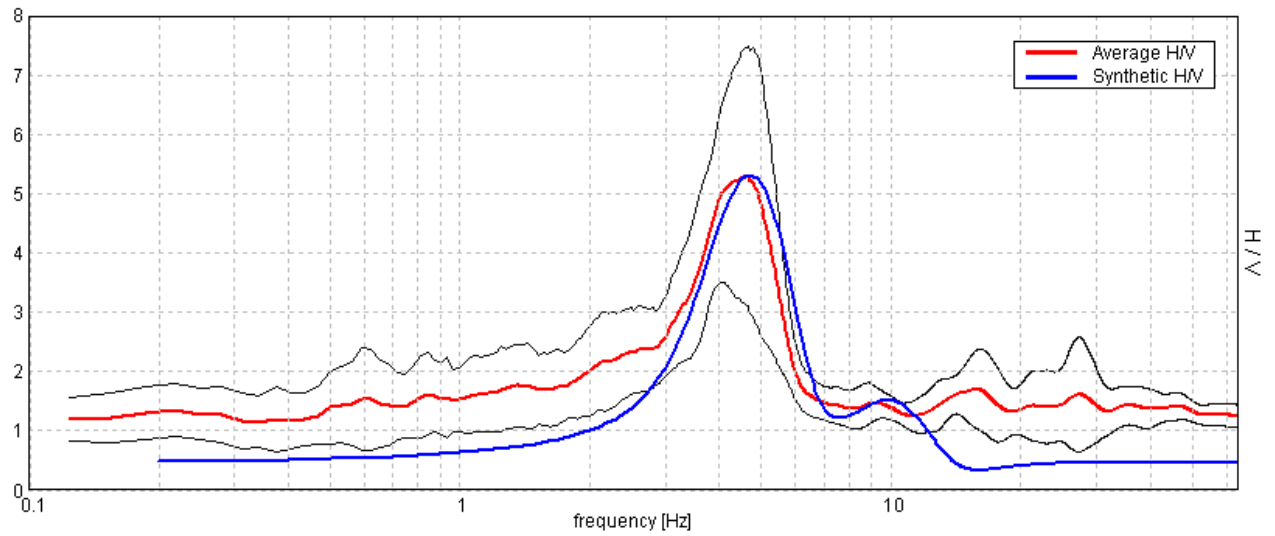


SINGLE COMPONENT SPECTRA



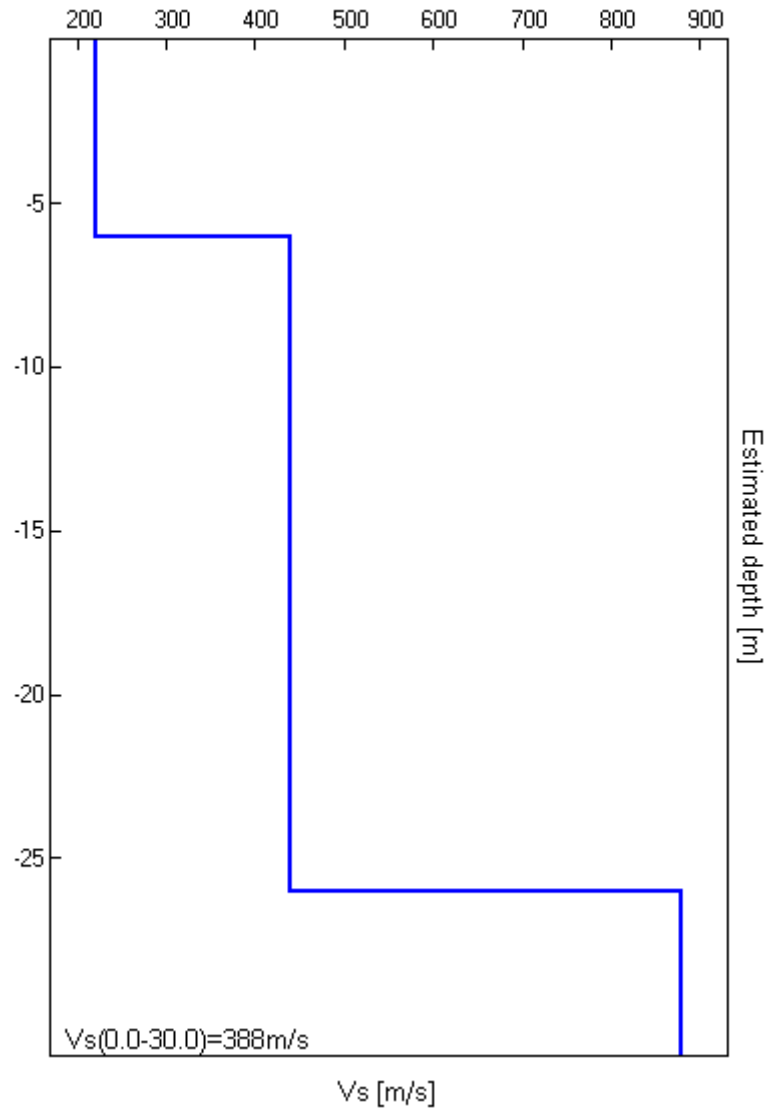
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 4.56 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
6.00	6.00	220	0.39
26.00	20.00	440	0.37
inf.	inf.	880	0.35

Vs(0.0-30.0)=388m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 4.56 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable HVSR curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	4.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4197.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 23 out of 220 times		NO
<b>Criteria for a clear HVSR peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	3.031 Hz	OK	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	5.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.30 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.0019  < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.00867 < 0.22813	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.0529 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE16

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 01/09/10 15:45:05      End recording: 01/09/10 16:05:06

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 55% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

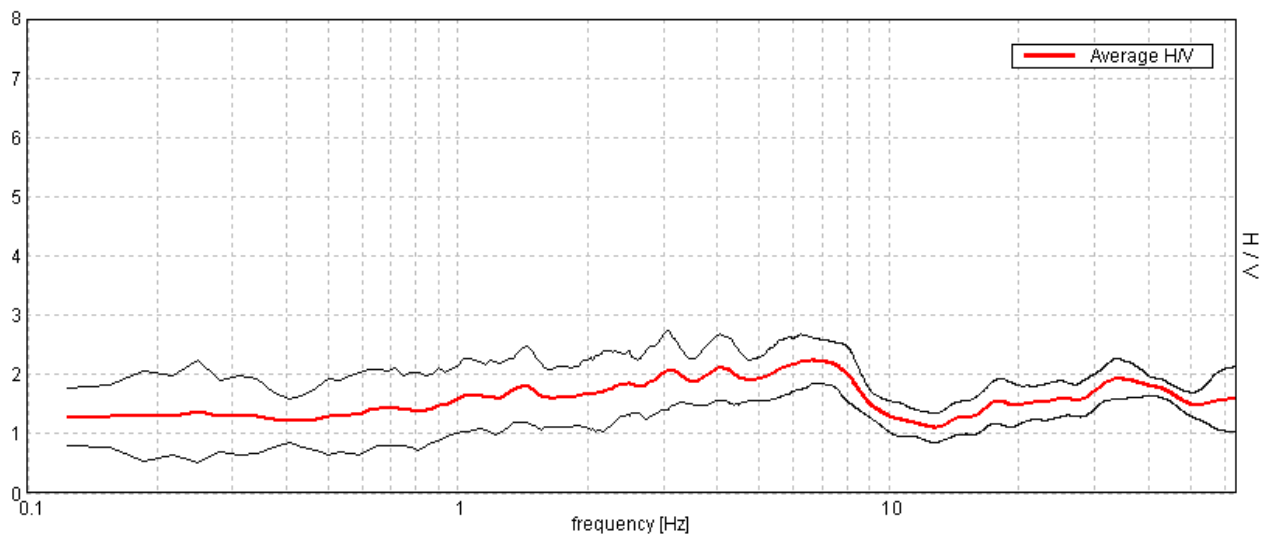
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

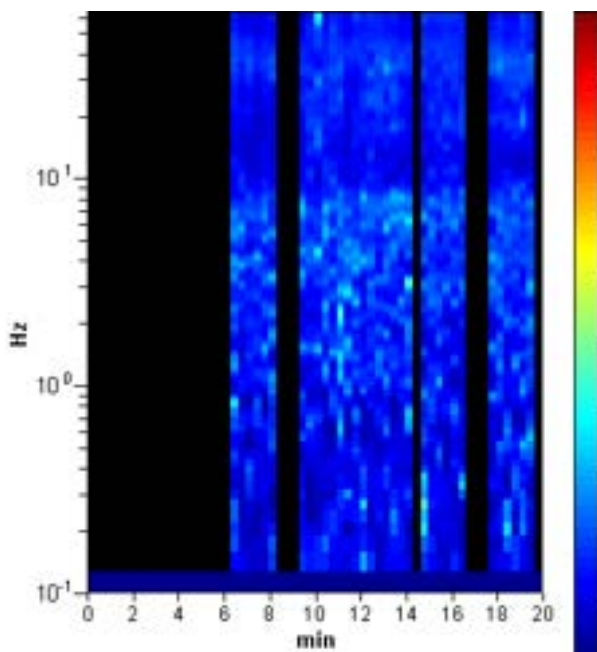
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

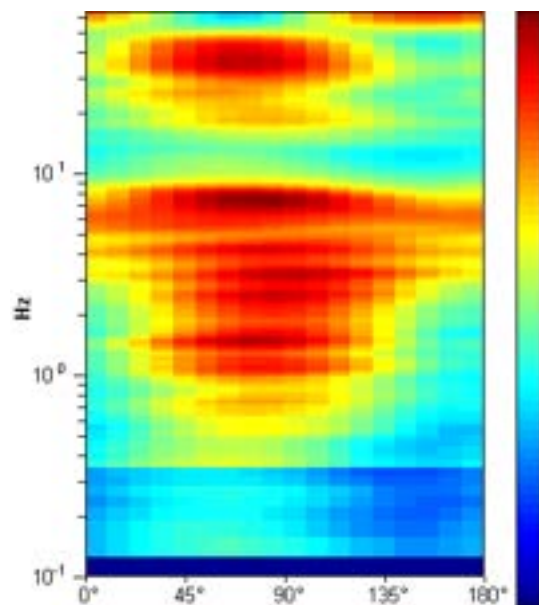
Max. H/V at  $6.66 \pm 0.62$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



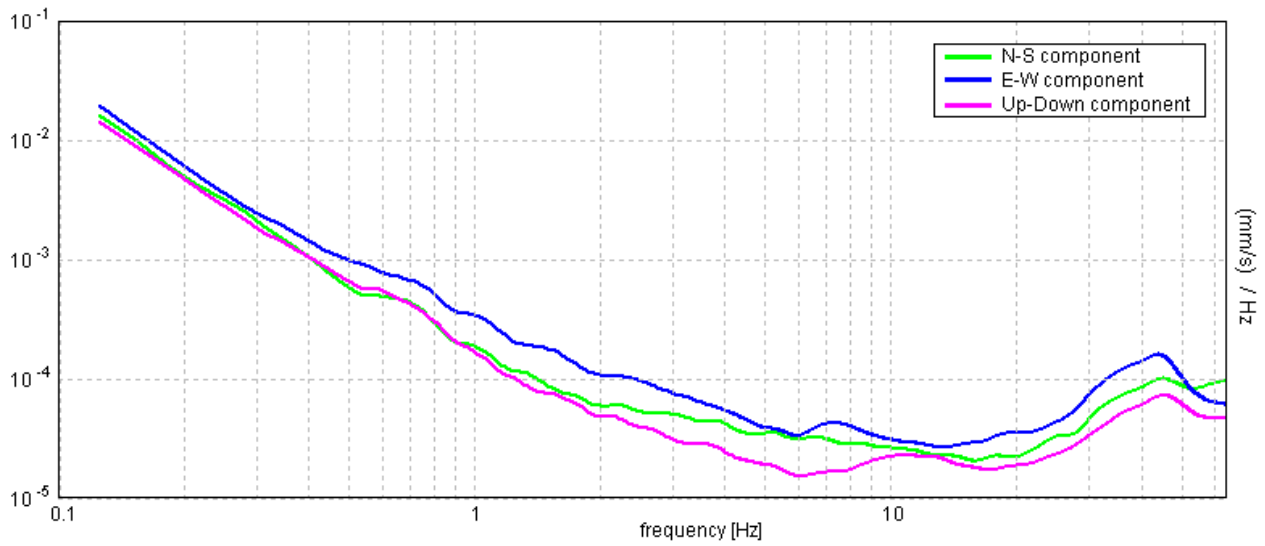
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

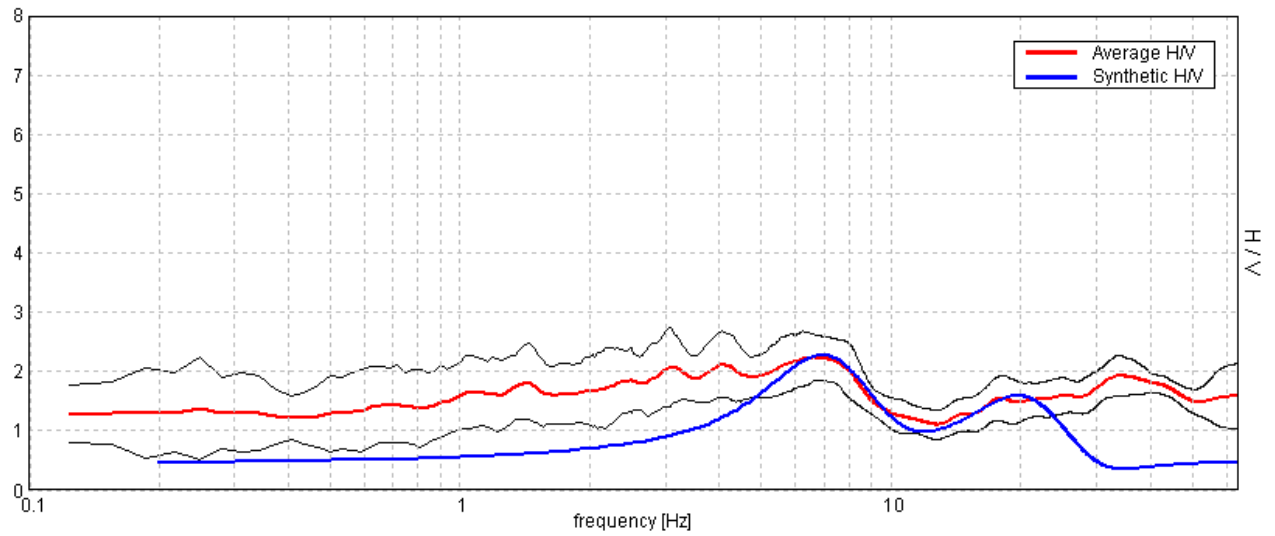


SINGLE COMPONENT SPECTRA



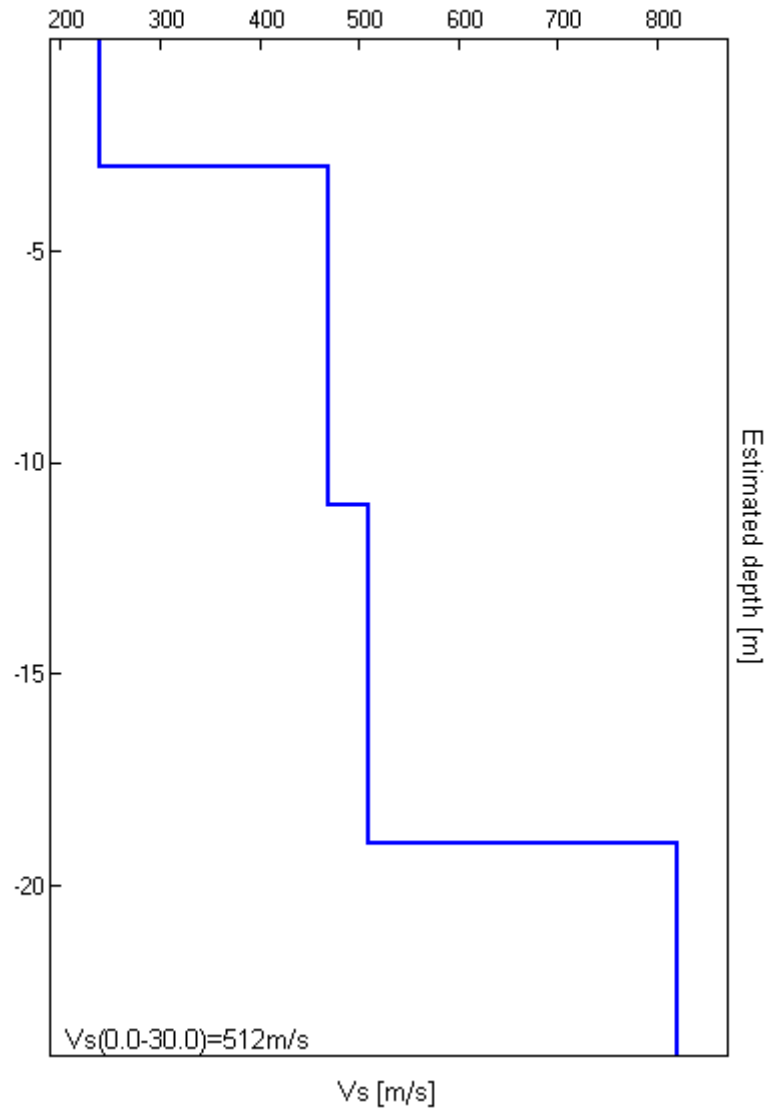
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 6.66 ± 0.62 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	240	0.39
11.00	8.00	470	0.38
19.00	8.00	510	0.36
inf.	inf.	820	0.35

Vs(0.0-30.0)=512m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 6.66 ± 0.62 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	6.66 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4393.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 320 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.23 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04488  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.29876 < 0.33281$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1867 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE17

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 11/08/10 08:36:12      End recording: 11/08/10 08:56:13

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analysis performed on the entire trace.

Sampling frequency: 128 Hz

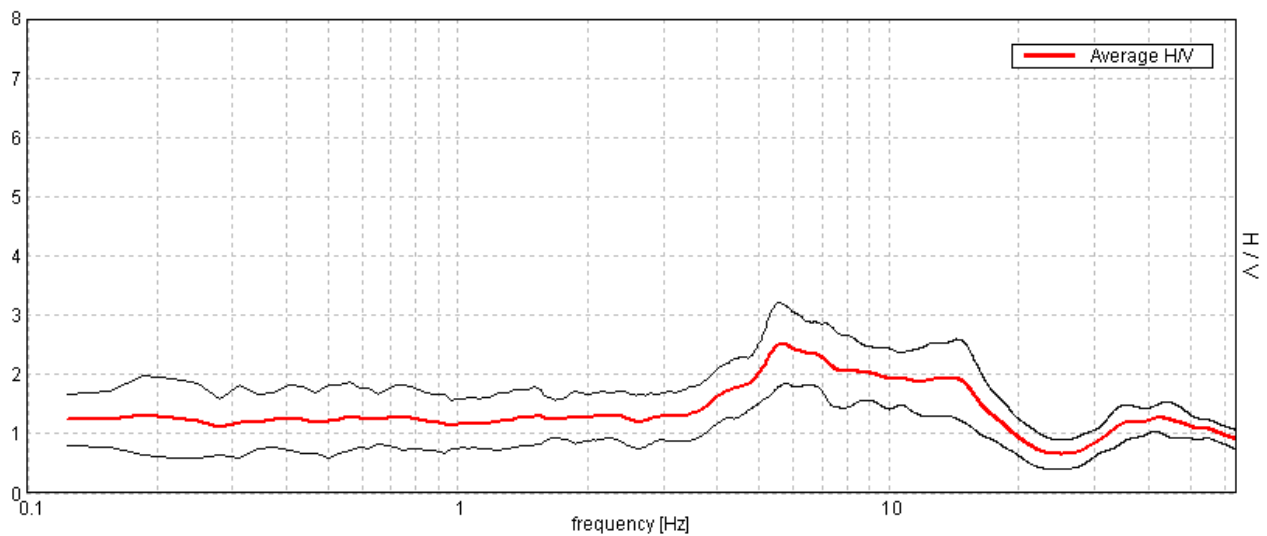
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

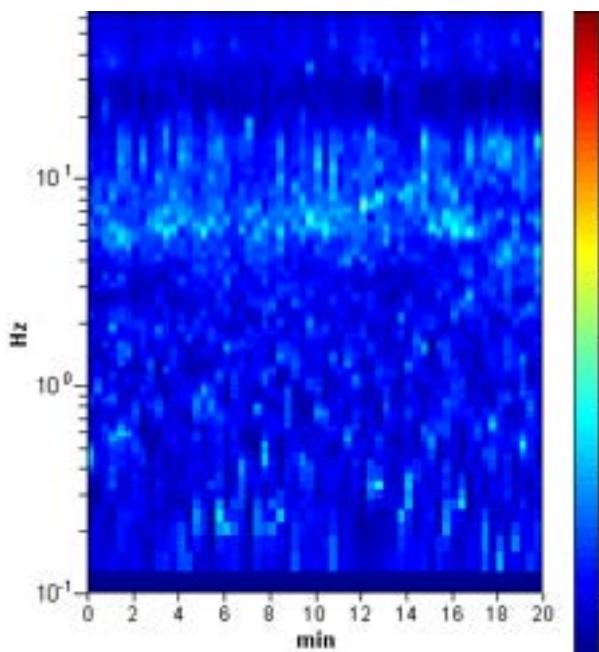
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

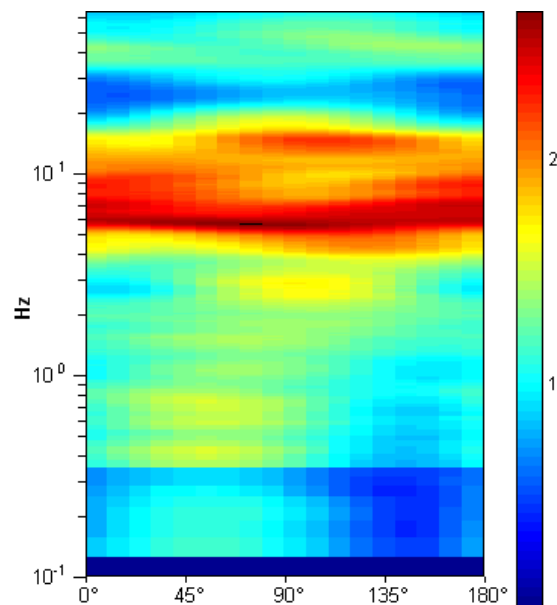
Max. H/V at  $5.63 \pm 0.25$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



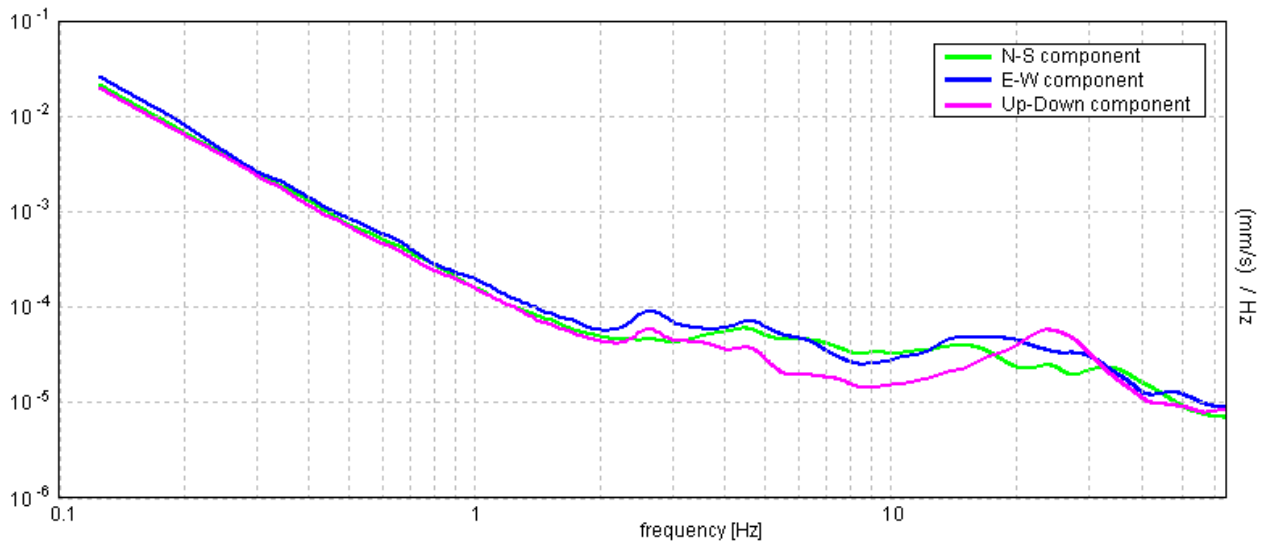
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

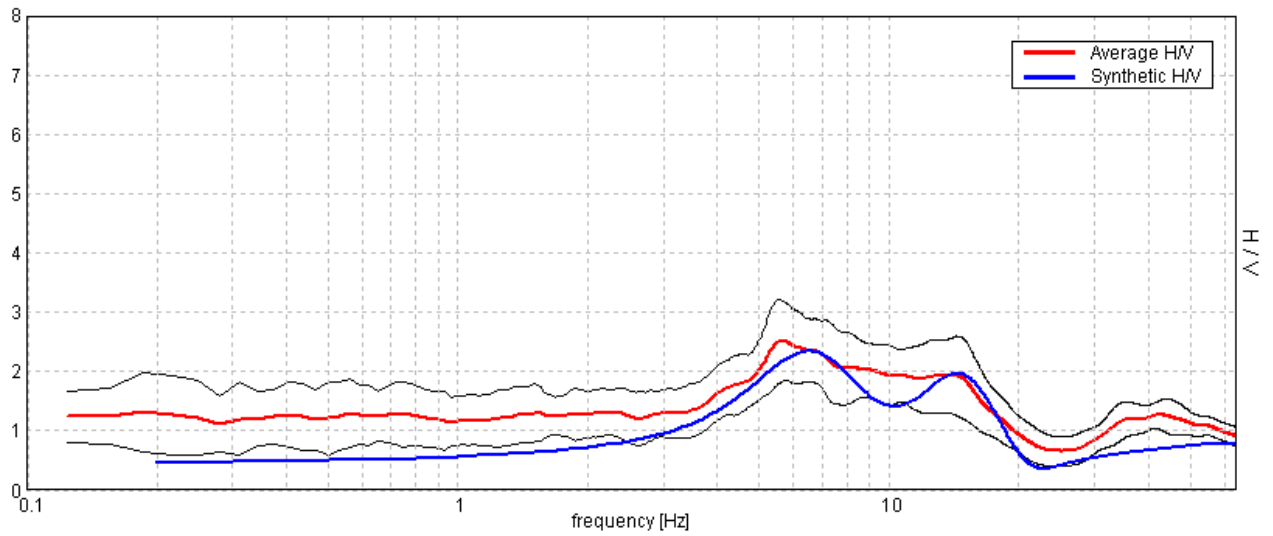


SINGLE COMPONENT SPECTRA



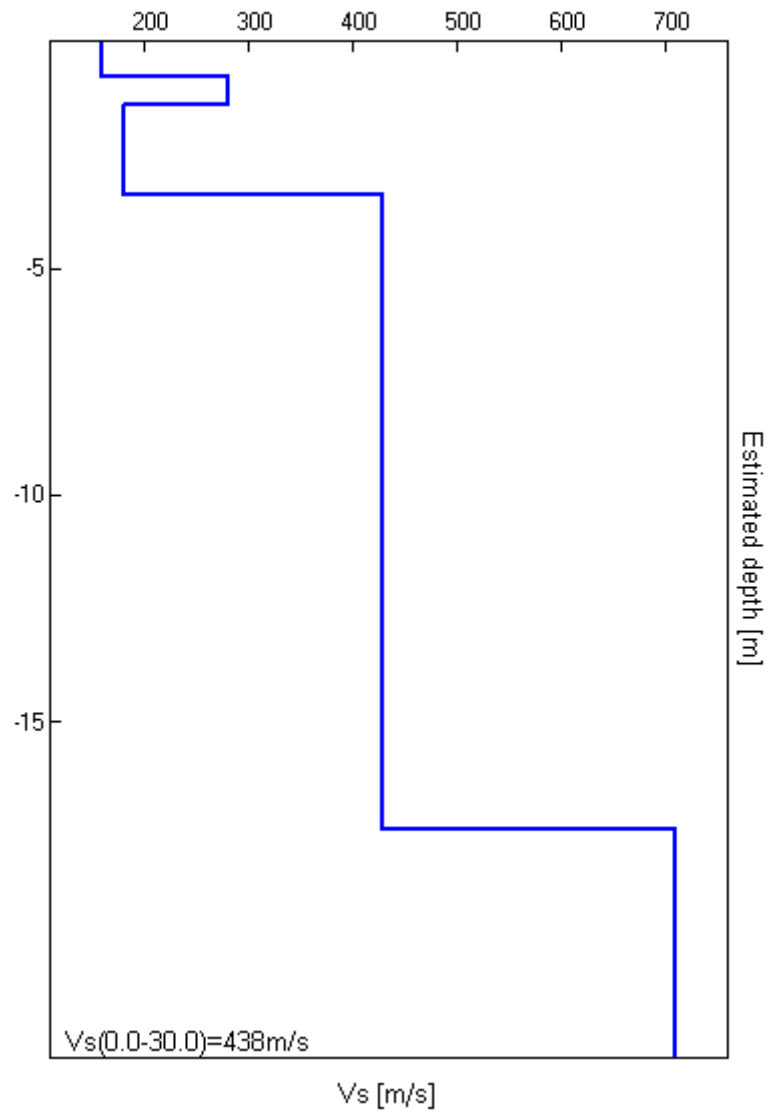
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $5.63 \pm 0.25$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.80	0.80	160	0.39
1.40	0.60	280	0.36
3.40	2.00	180	0.38
17.40	14.00	430	0.37
inf.	inf.	710	0.35

Vs(0.0-30.0)=438m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $5.63 \pm 0.25$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$6750.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 271 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.781 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	17.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.52 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02227  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12527 < 0.28125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3474 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE19

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 01/09/10 10:19:02      End recording: 01/09/10 10:39:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analysis performed on the entire trace.

Sampling frequency: 128 Hz

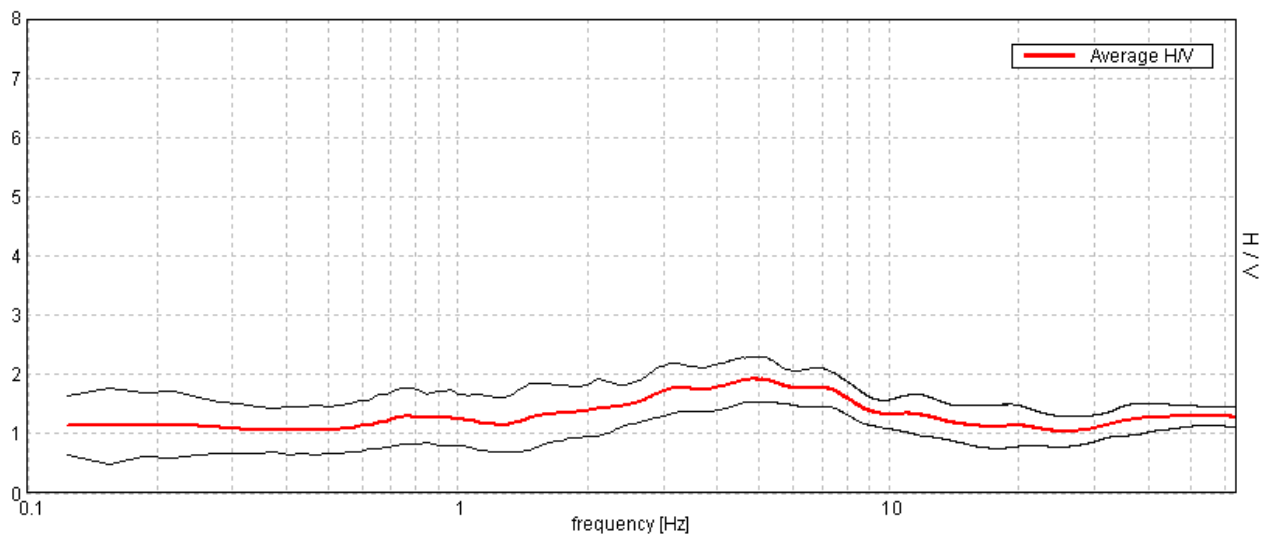
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

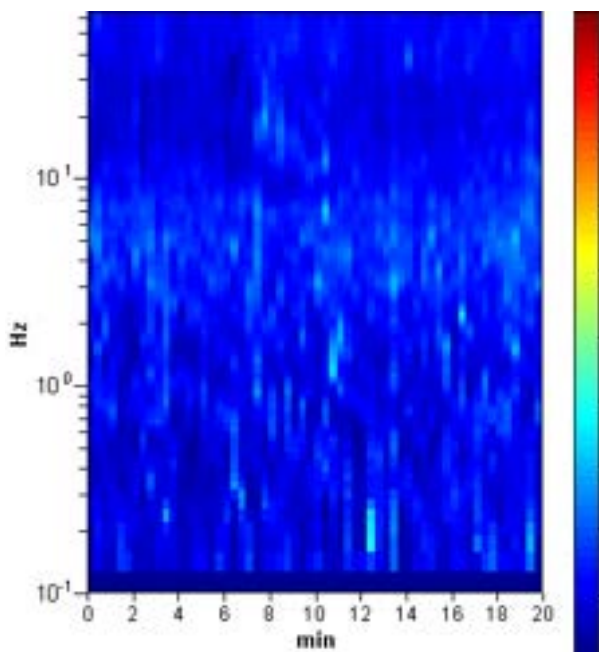
Smoothing: 19%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

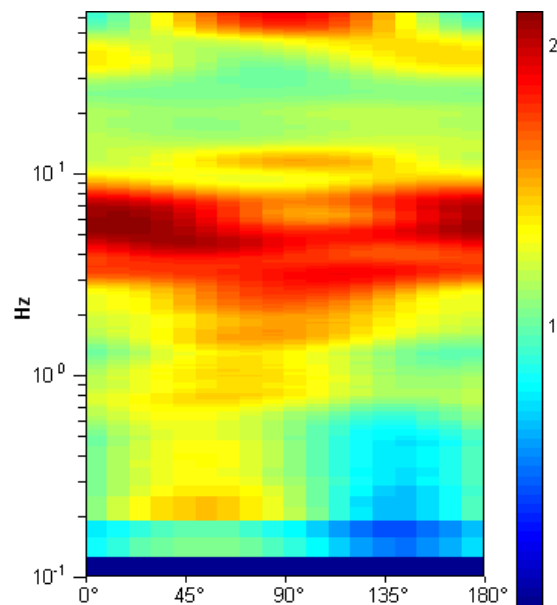
Max. H/V at  $4.88 \pm 0.05$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



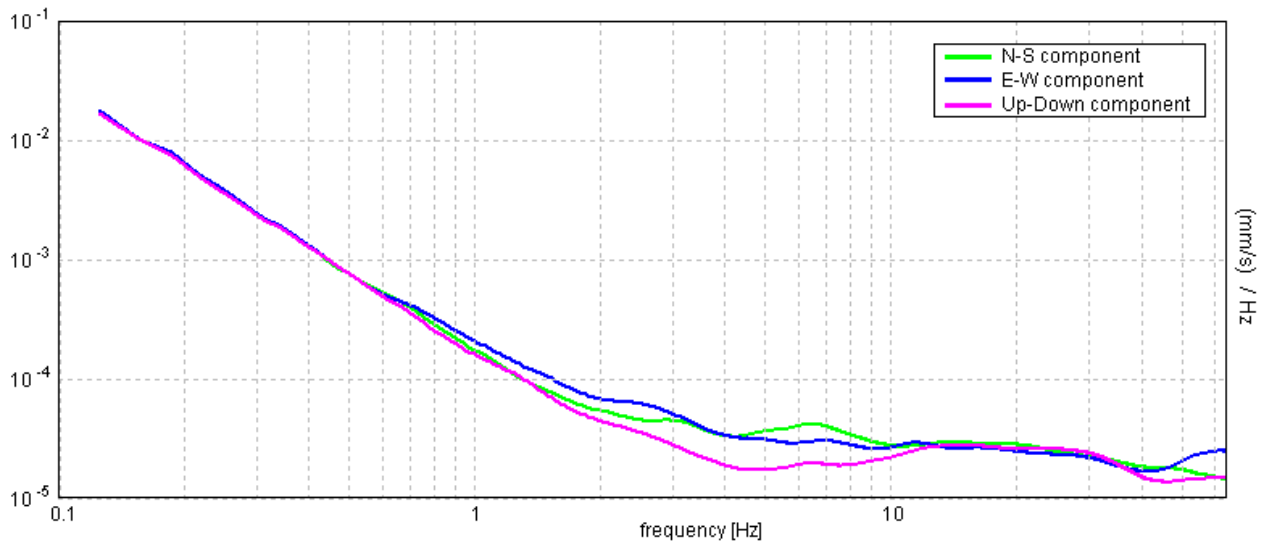
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

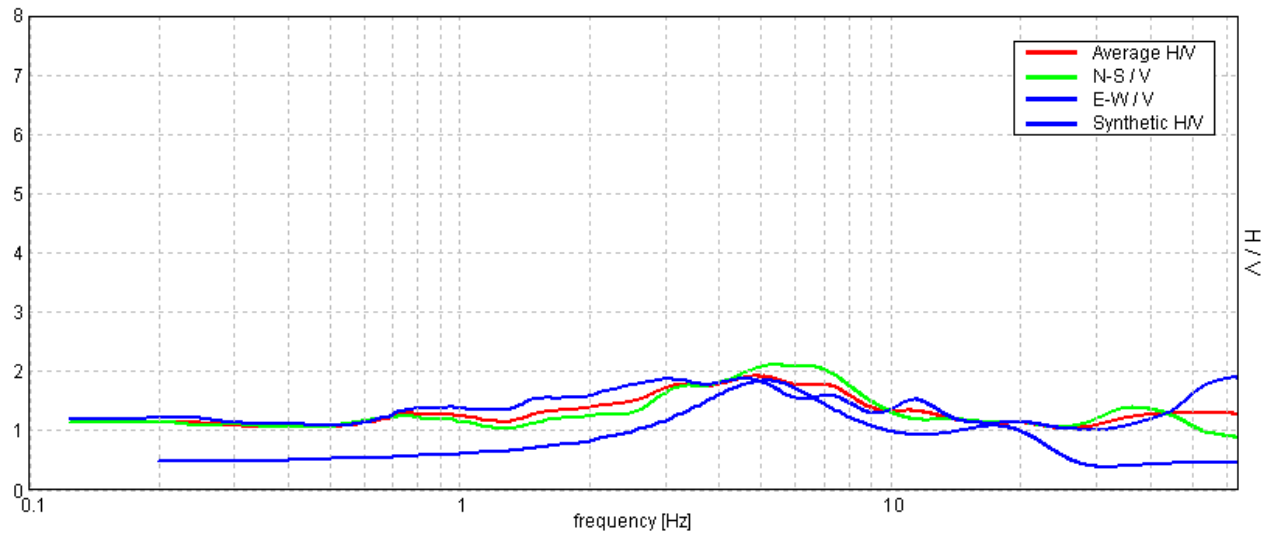


SINGLE COMPONENT SPECTRA



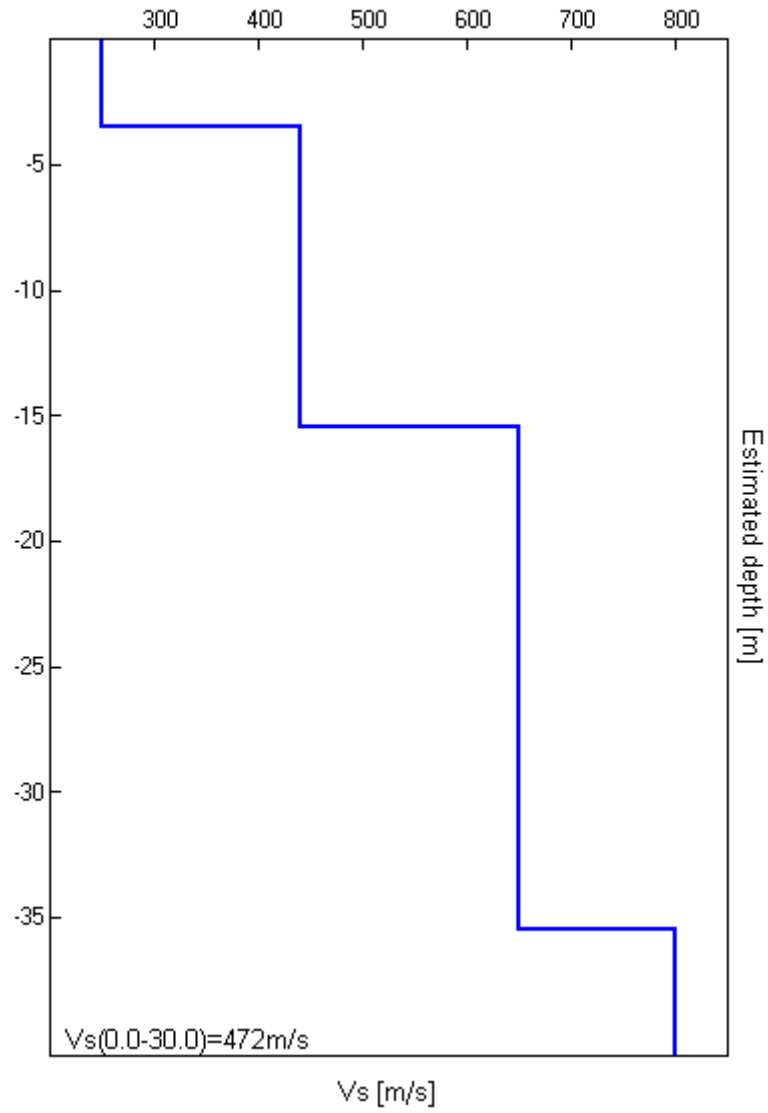
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $4.88 \pm 0.05$  Hz. Max.(N-S)/V:  $5.25 \pm 0.15$  Hz. Max.(E-W)/V:  $62.56 \pm 11.02$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.50	3.50	250	0.39
15.50	12.00	440	0.39
35.50	20.00	650	0.36
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=472m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $4.88 \pm 0.05$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5850.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 235 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.92 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00491  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02395 < 0.24375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1879 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE21

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 01/09/10 10:19:02      End recording: 01/09/10 10:39:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 57% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

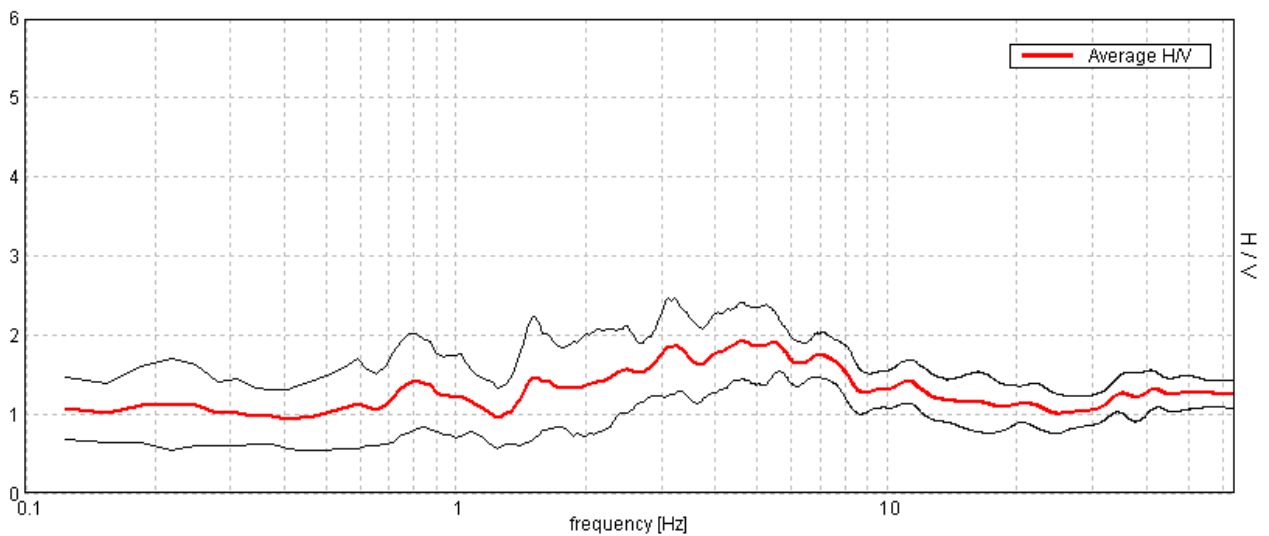
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

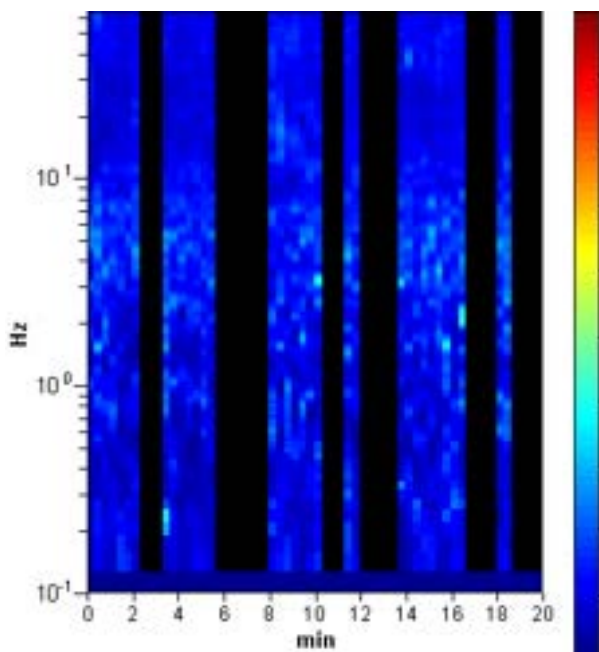
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

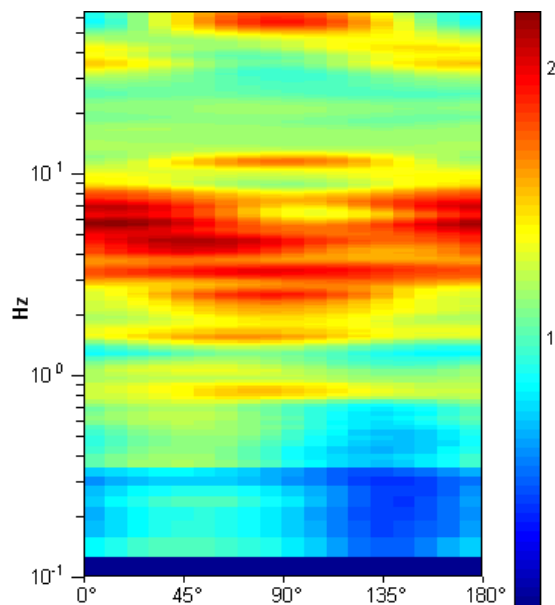
Max. H/V at  $4.59 \pm 0.26$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



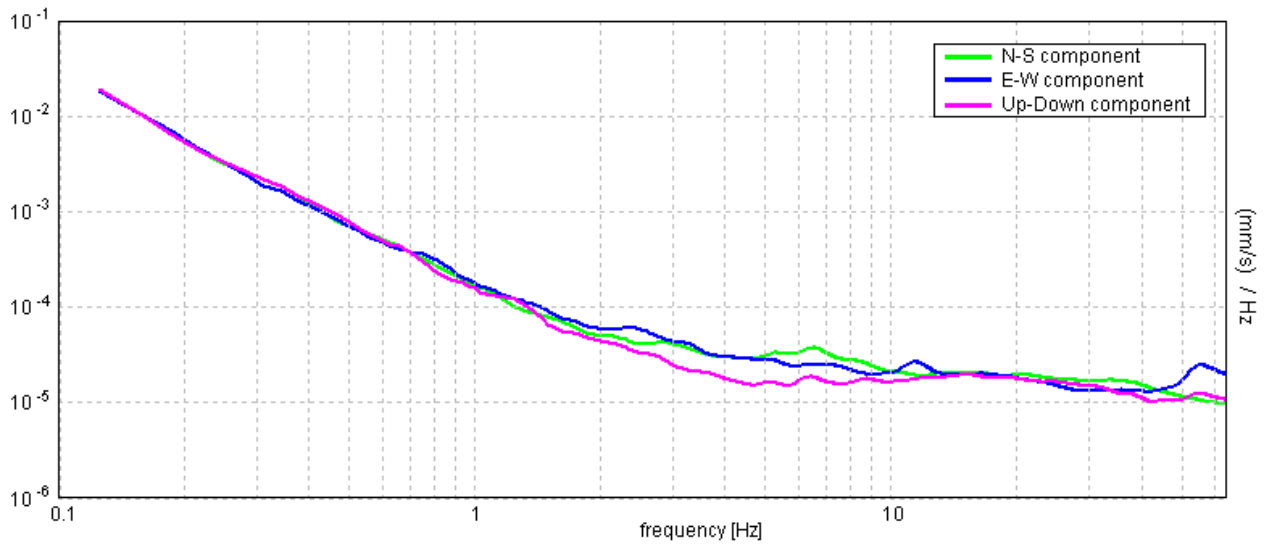
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

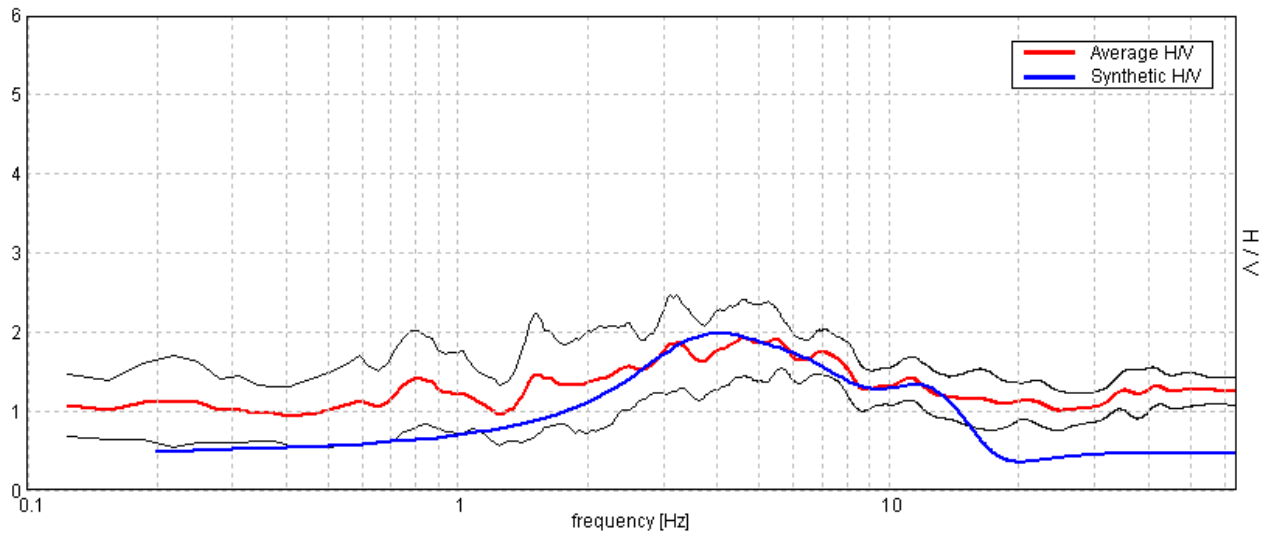


SINGLE COMPONENT SPECTRA



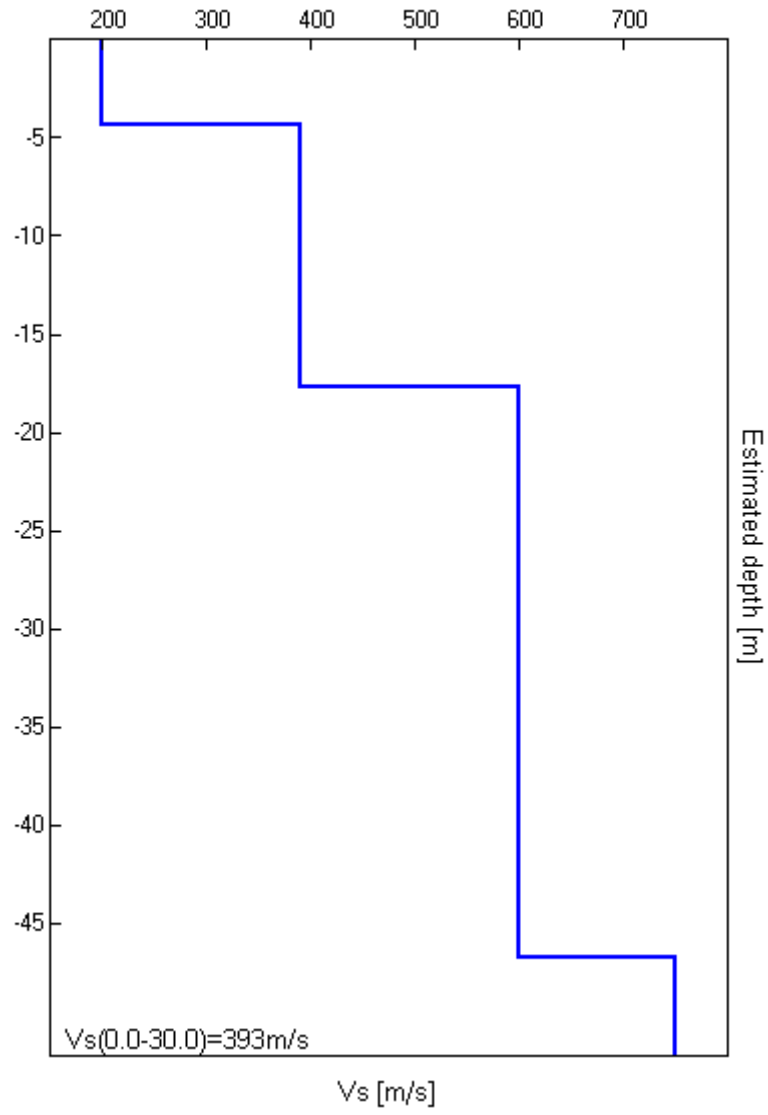
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $4.59 \pm 0.26$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.30	4.30	200	0.39
17.70	13.40	390	0.38
46.70	29.00	600	0.36
inf.	inf.	750	0.35

Vs(0.0-30.0)=393m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $4.59 \pm 0.26$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.59 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3123.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 222 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.25 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.93 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02757  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12665 < 0.22969$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2357 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE24

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 10:16:27      End recording: 07/09/10 10:36:28

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 75% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

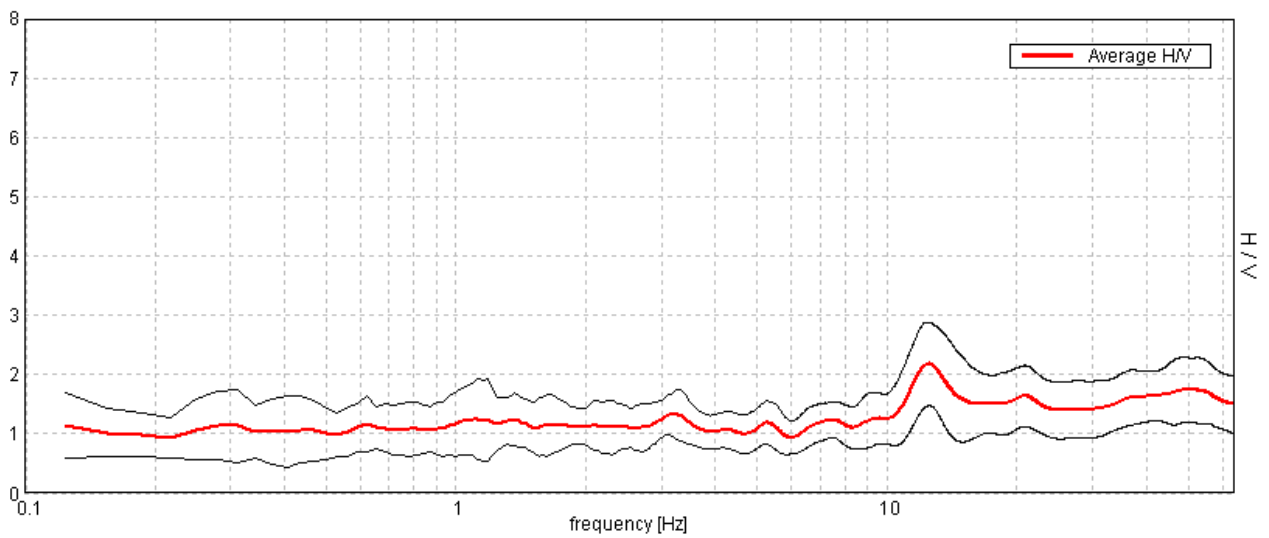
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

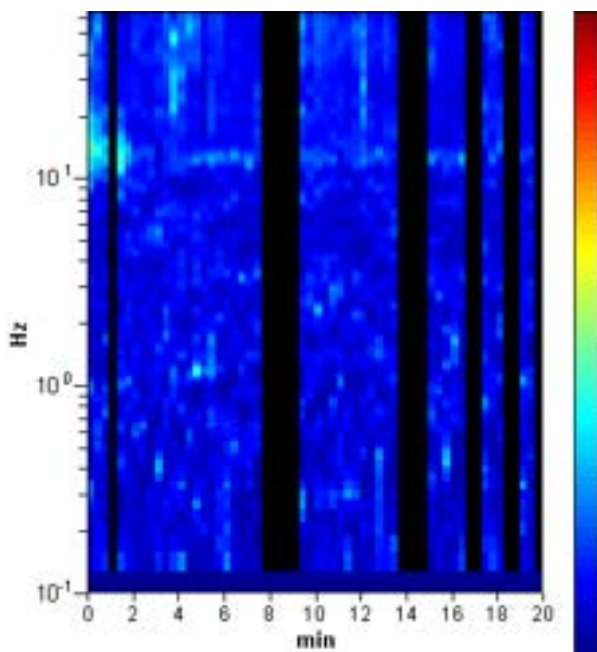
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

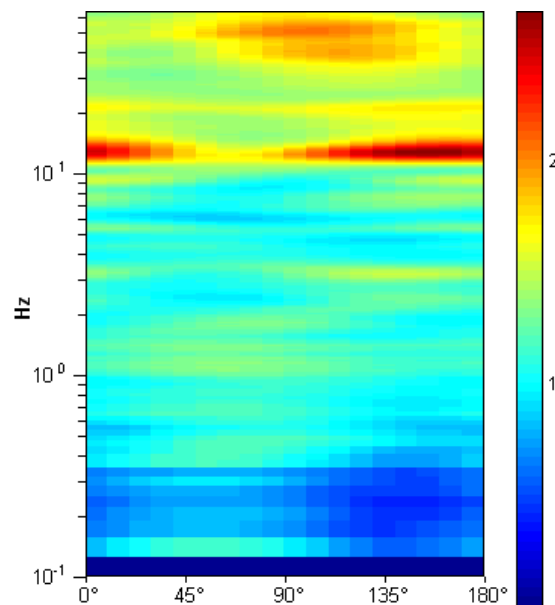
Max. H/V at  $12.47 \pm 0.17$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



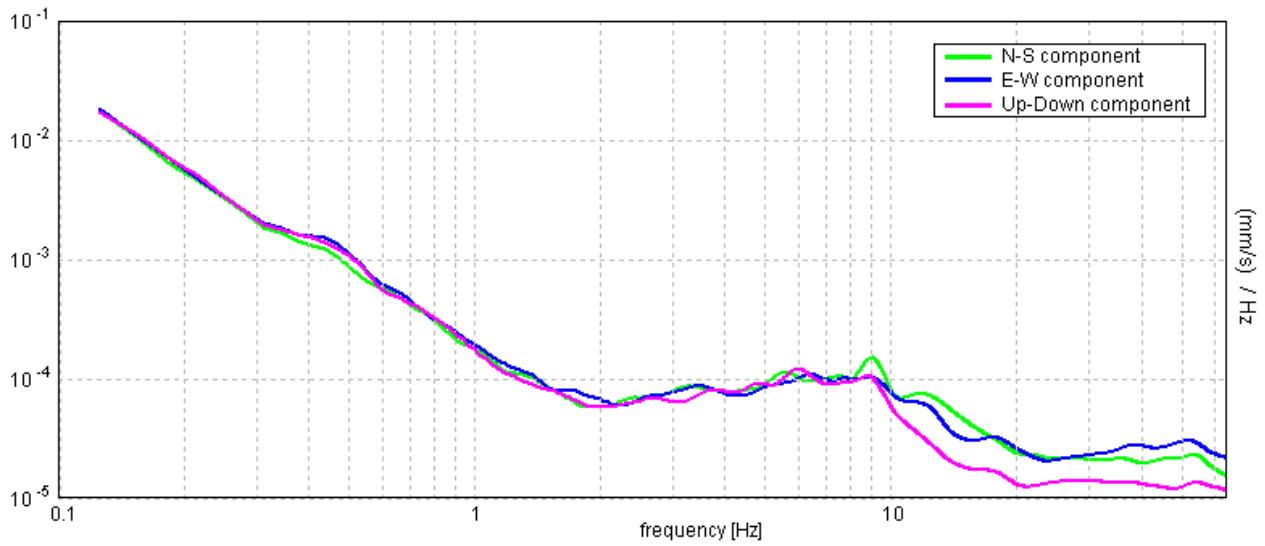
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

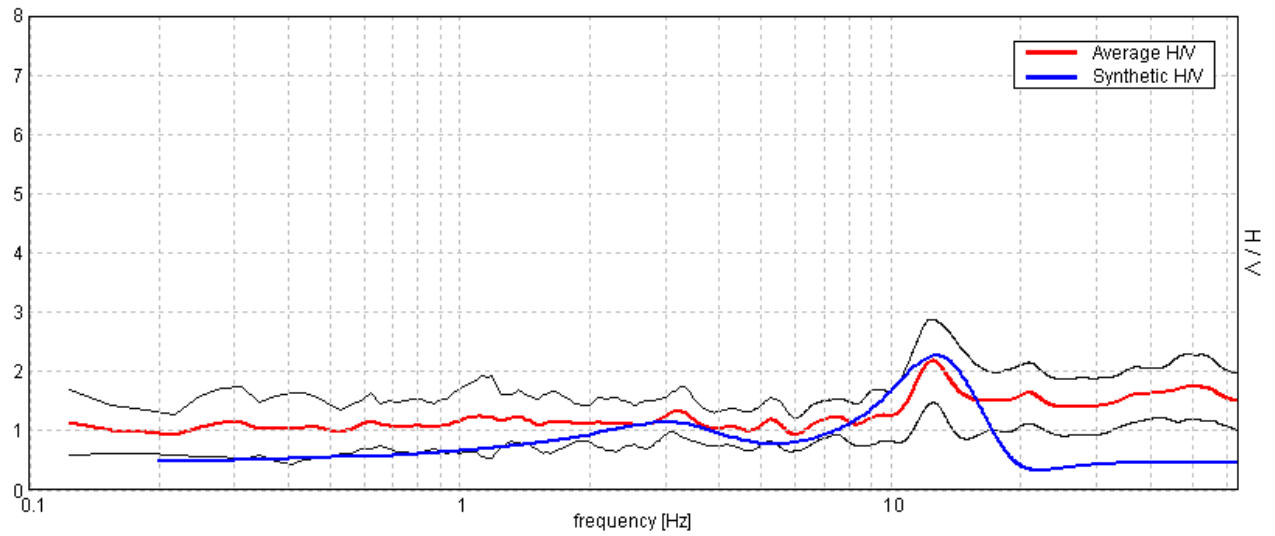


SINGLE COMPONENT SPECTRA



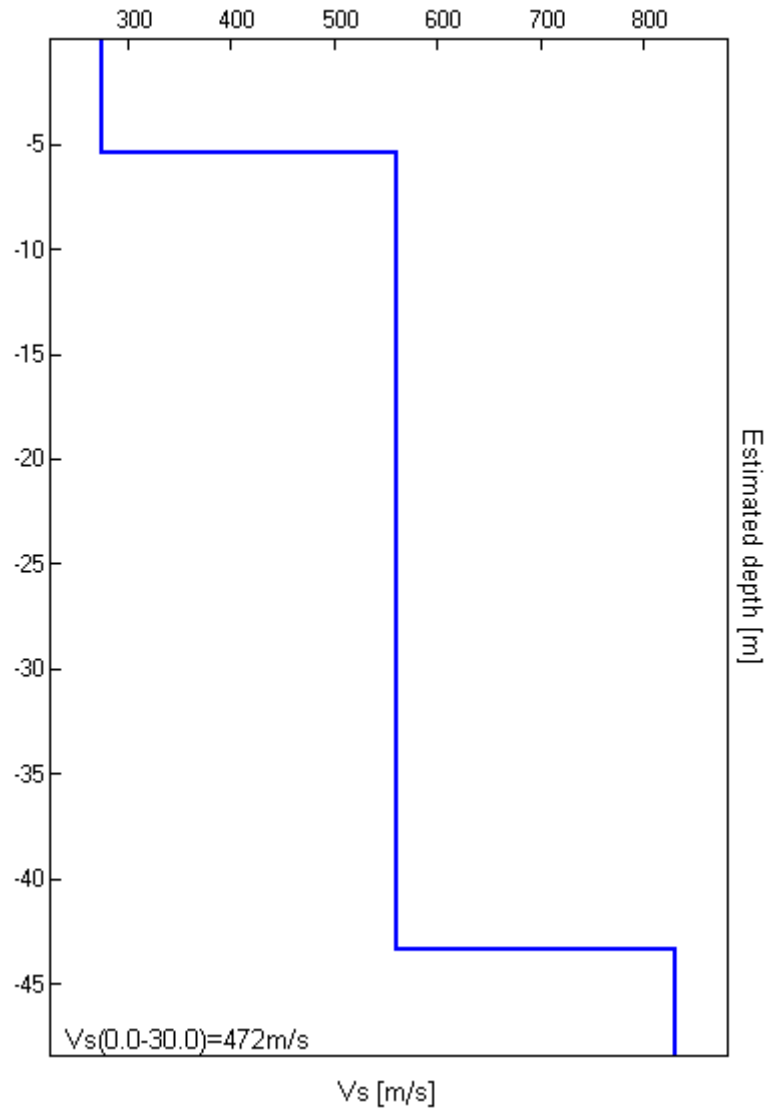
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 12.47 ± 0.17 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
5.40	5.40	275	0.39
43.40	38.00	560	0.37
inf.	inf.	830	0.35

Vs(0.0-30.0)=472m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 12.47 ± 0.17 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	12.47 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11221.9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 600 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.5 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.18 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00674  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.08398 < 0.62344$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.345 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE30

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 15:03:47      End recording: 07/09/10 15:23:48

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 35% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

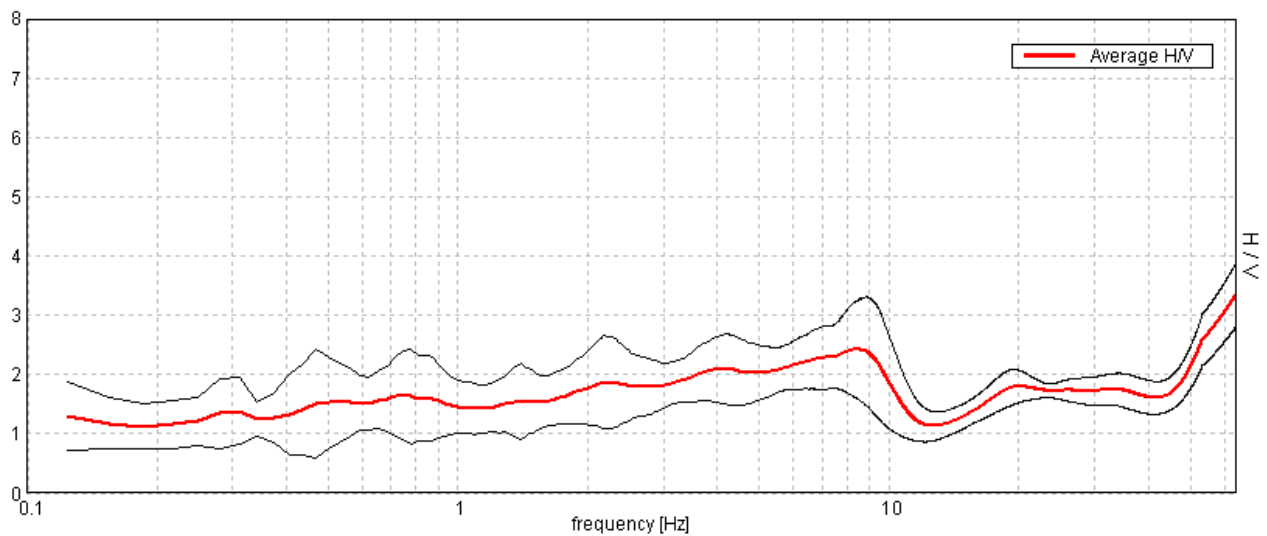
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

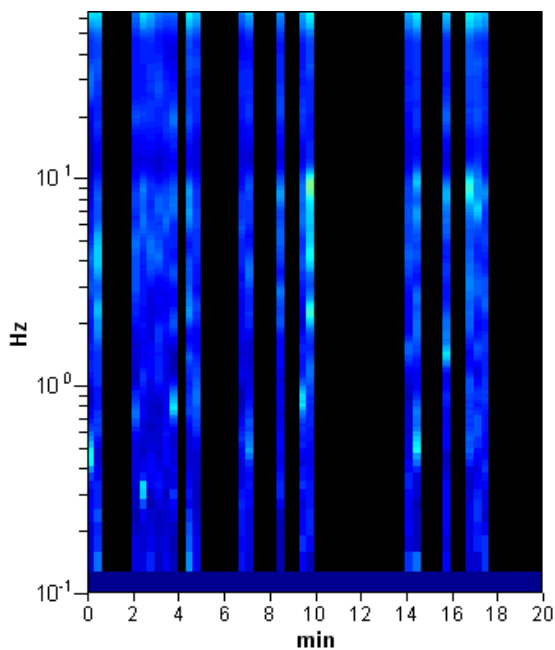
Smoothing: 20%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

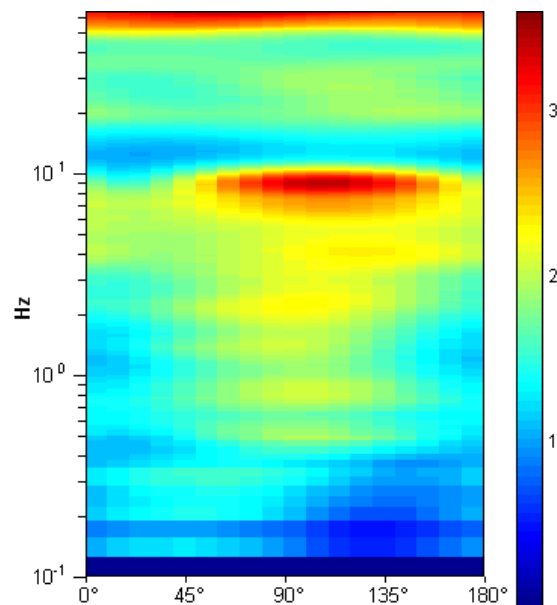
Max. H/V at  $63.97 \pm 0.0$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



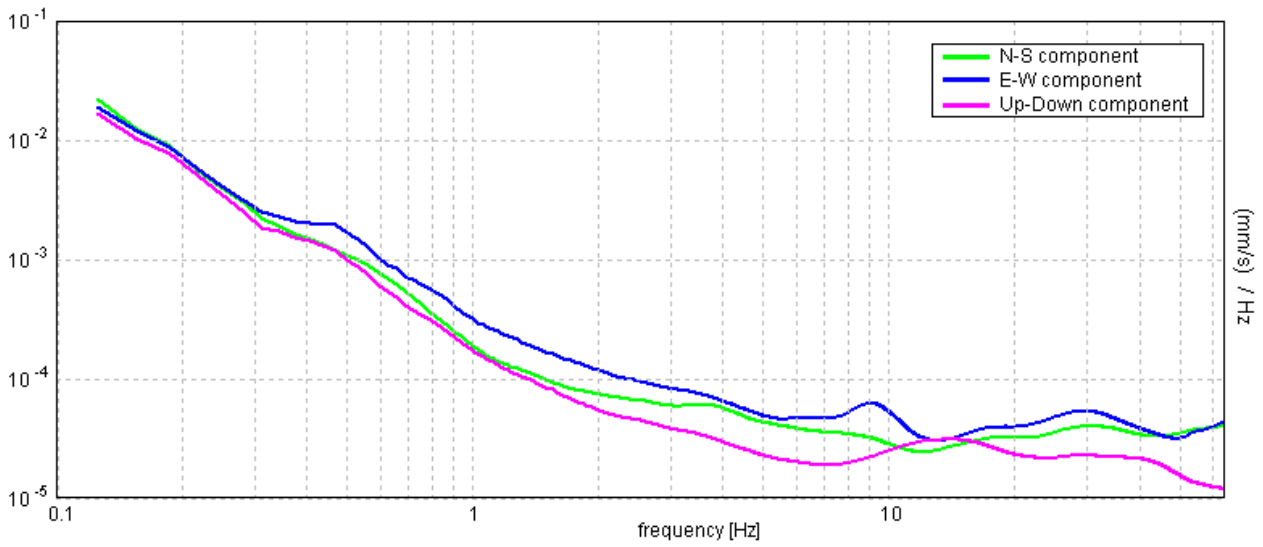
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

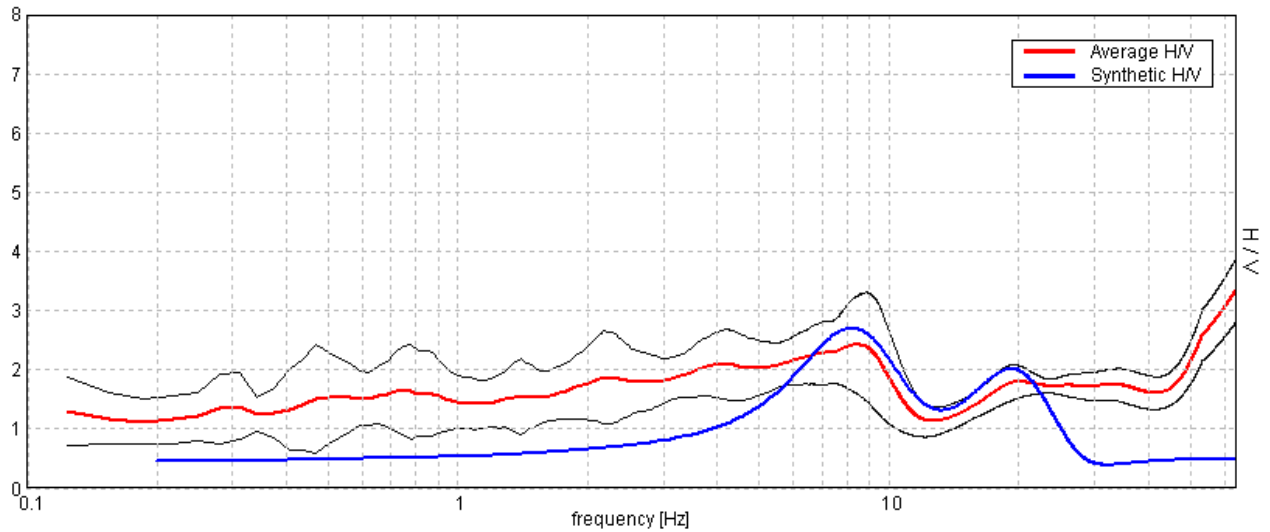


SINGLE COMPONENT SPECTRA



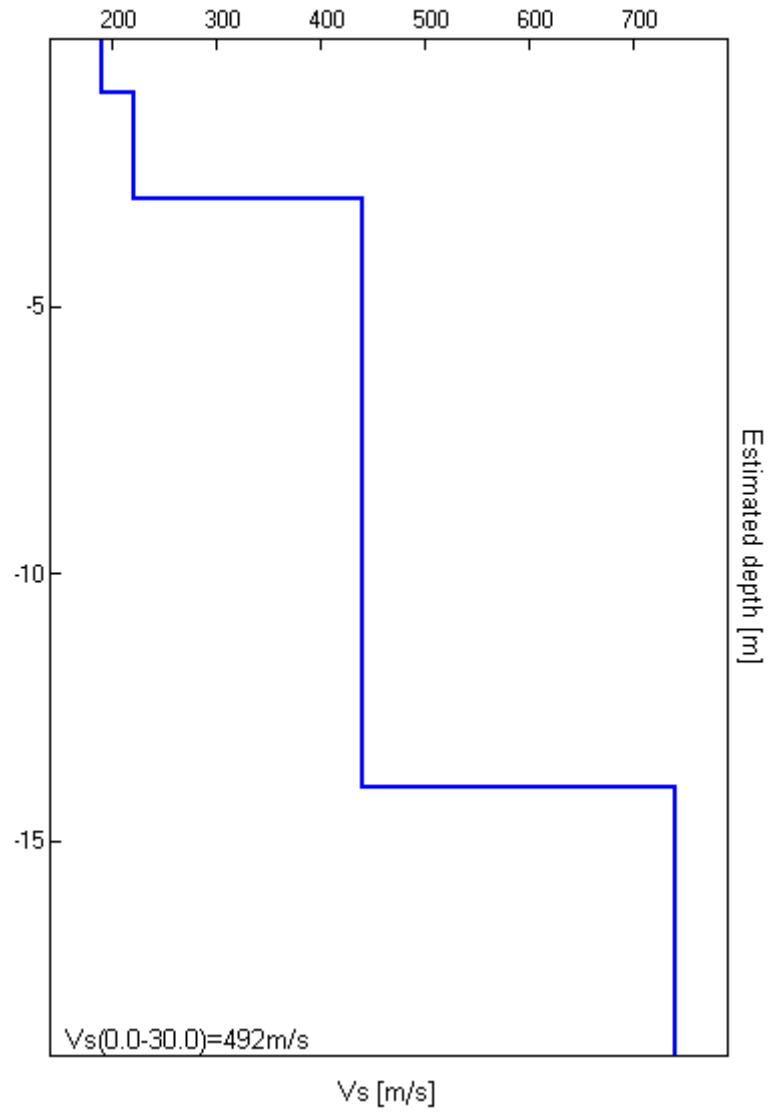
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $63.97 \pm 0.0$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	190	0.39
3.00	2.00	220	0.38
14.00	11.00	440	0.37
inf.	inf.	740	0.35

Vs(0.0-30.0)=492m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 63.97 ± 0.0 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	26866.9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	44.844 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.35 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.0  < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.0 < 3.19844	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.252 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE26

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 11:44:23      End recording: 07/09/10 12:04:24

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analysis performed on the entire trace.

Sampling frequency: 128 Hz

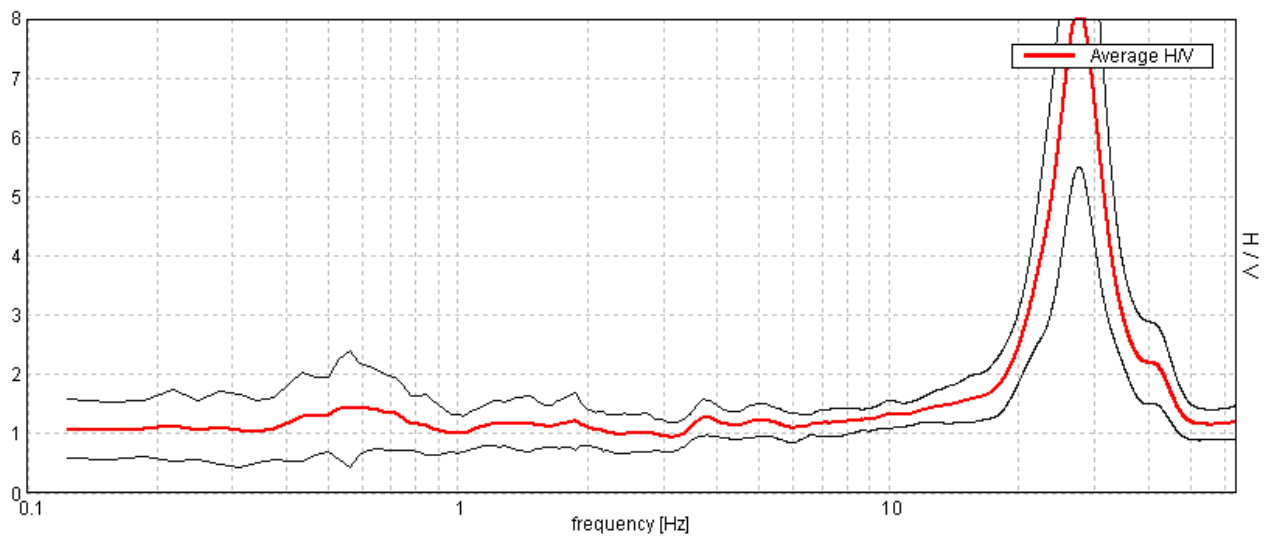
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

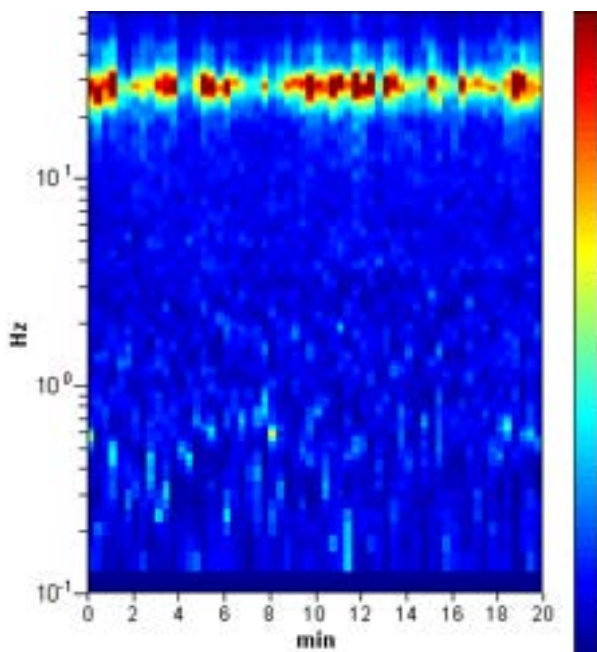
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

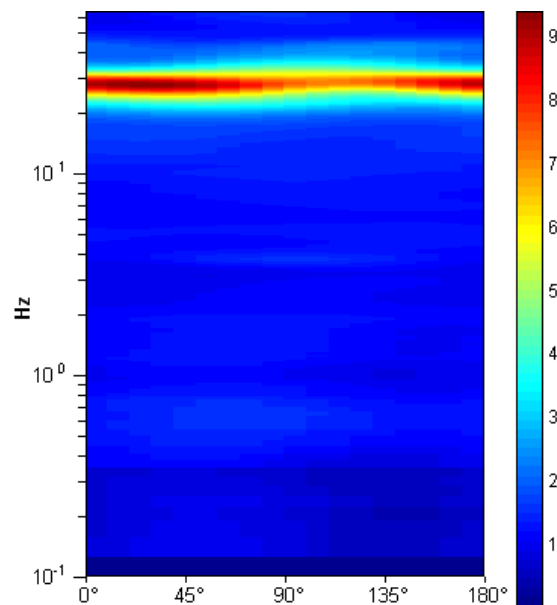
Max. H/V at  $27.5 \pm 0.11$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



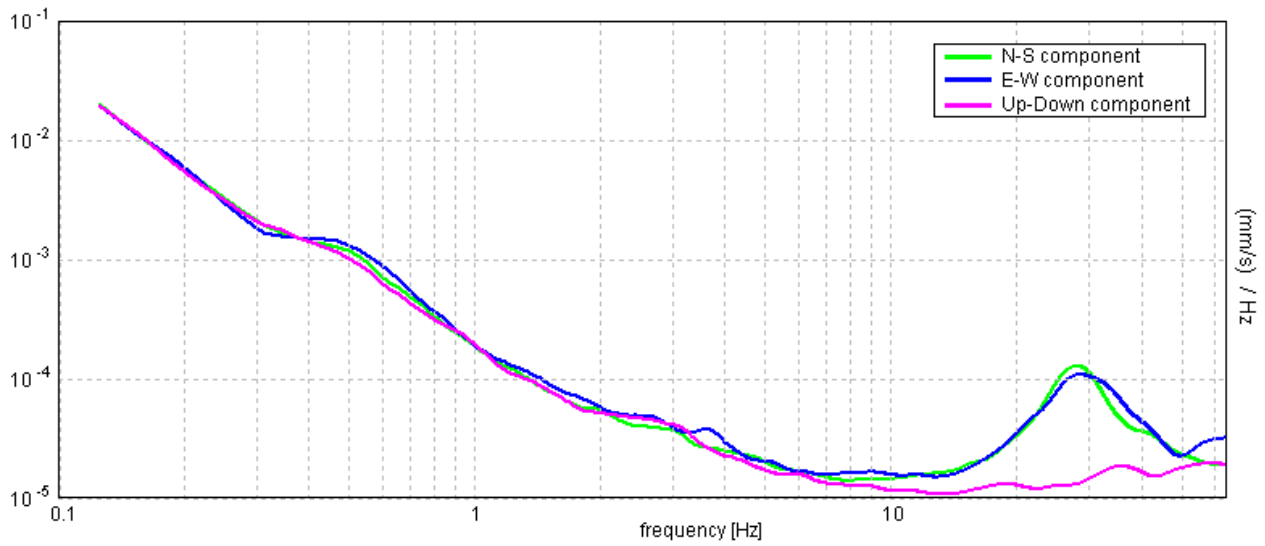
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

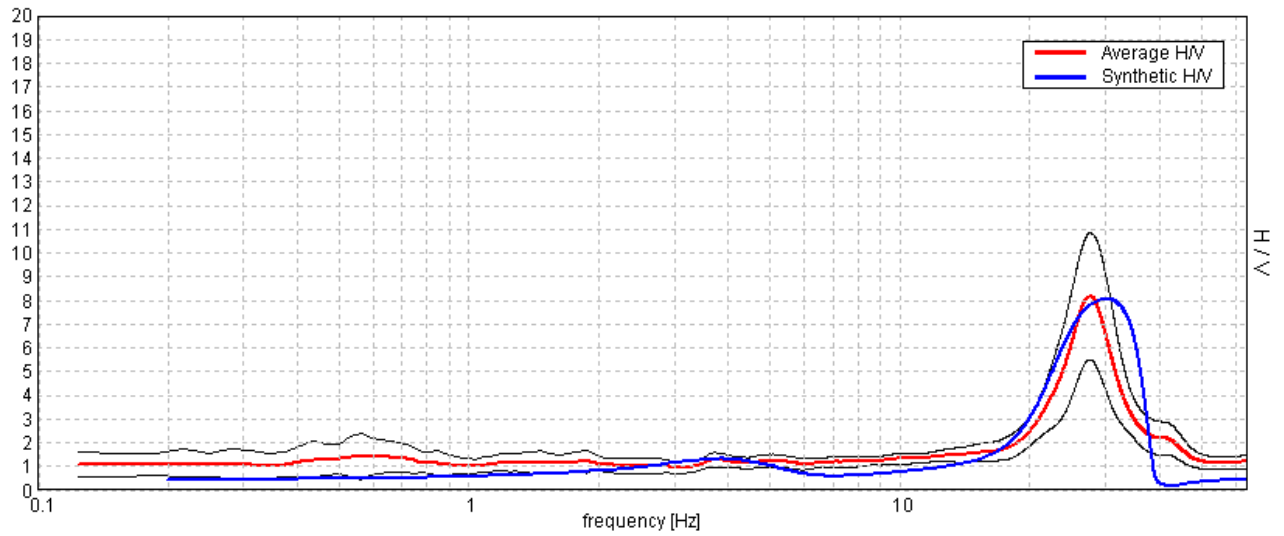


SINGLE COMPONENT SPECTRA



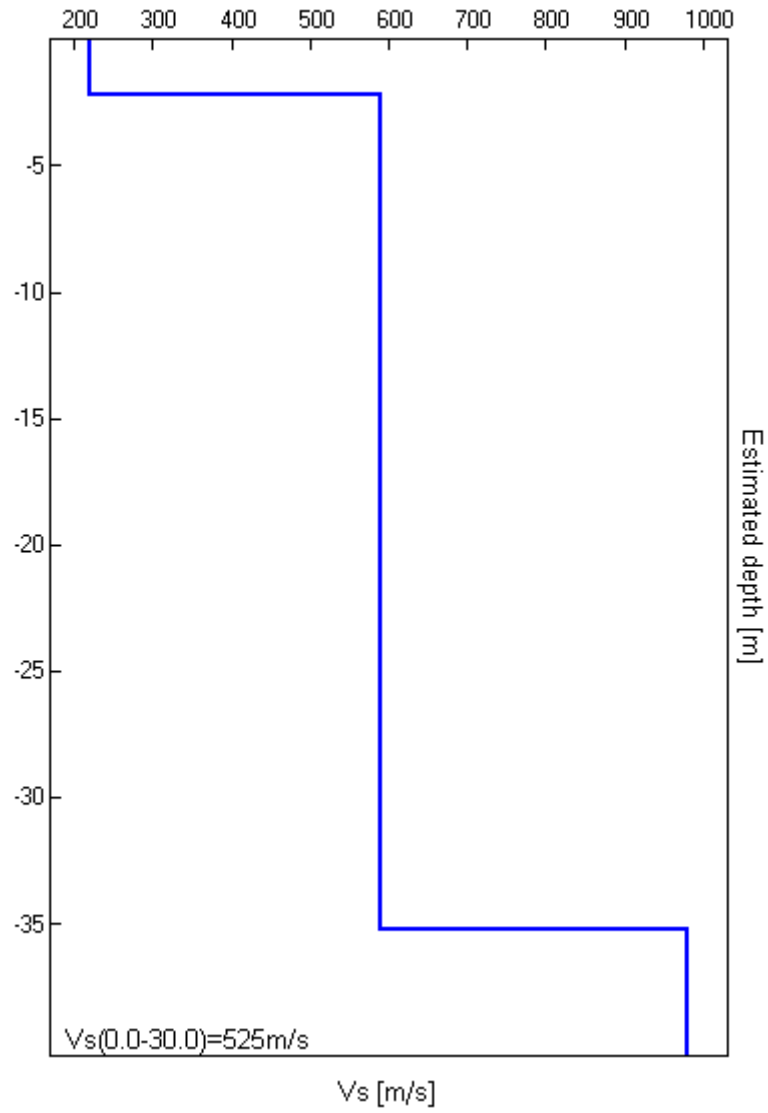
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 27.5 ± 0.11 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.20	2.20	220	0.38
35.20	33.00	590	0.35
inf.	inf.	980	0.45

Vs(0.0-30.0)=525m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $27.5 \pm 0.11$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$27.50 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$33000.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 224 out of 1321 times		NO

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	22.688 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	32.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$8.17 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0019  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05217 < 1.375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.3222 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE33

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 15:35:23      End recording: 07/09/10 15:55:24

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 73% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

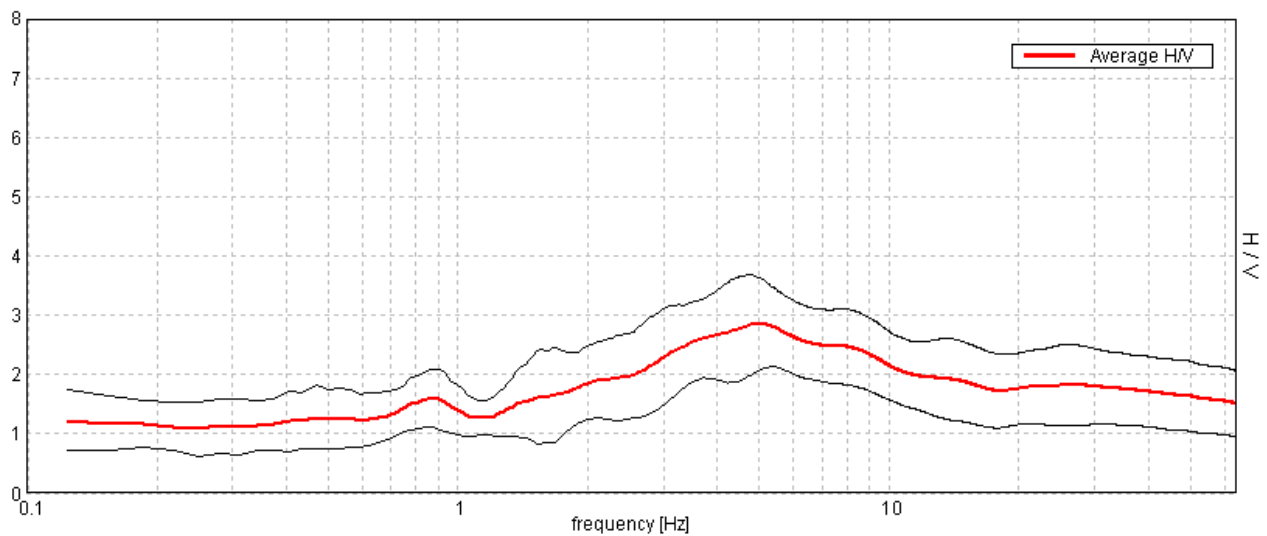
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

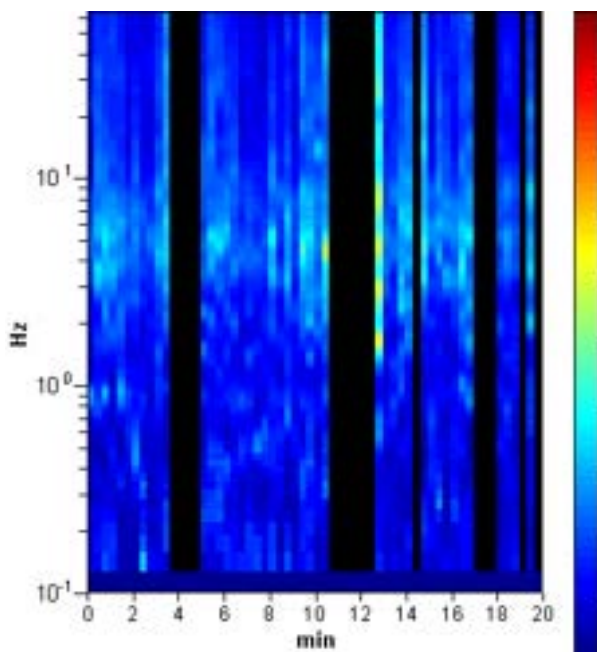
Smoothing: 20%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

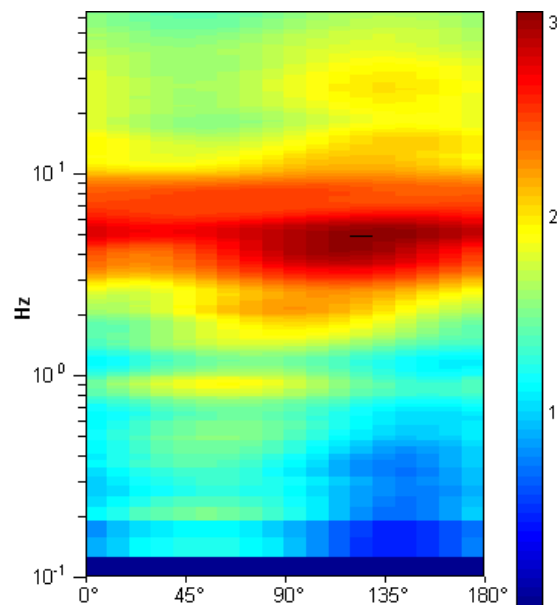
Max. H/V at  $5.0 \pm 0.21$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



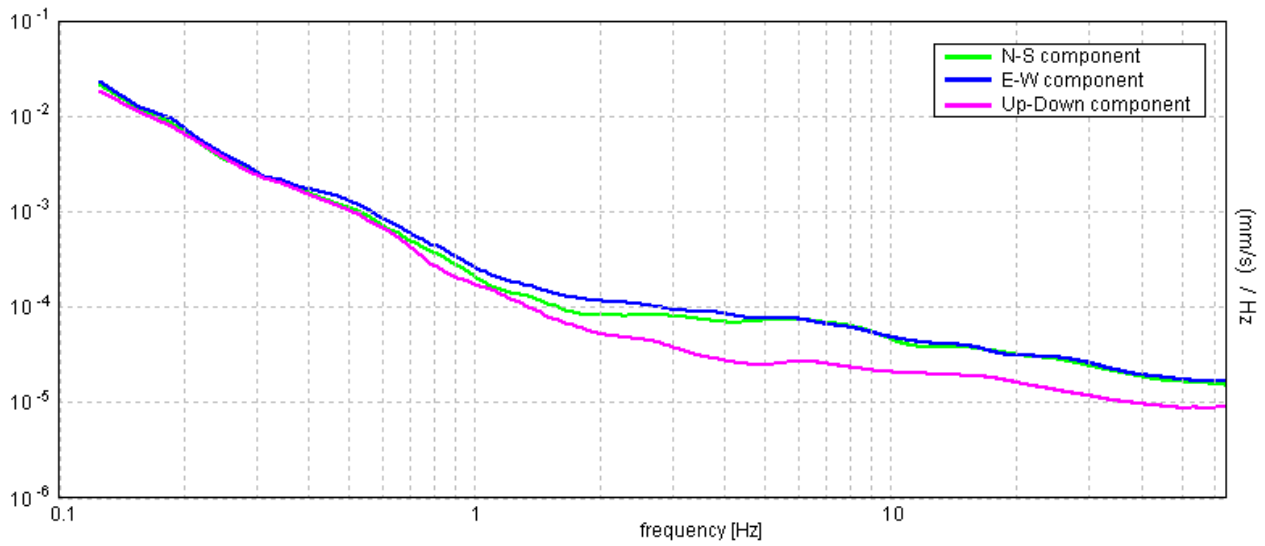
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

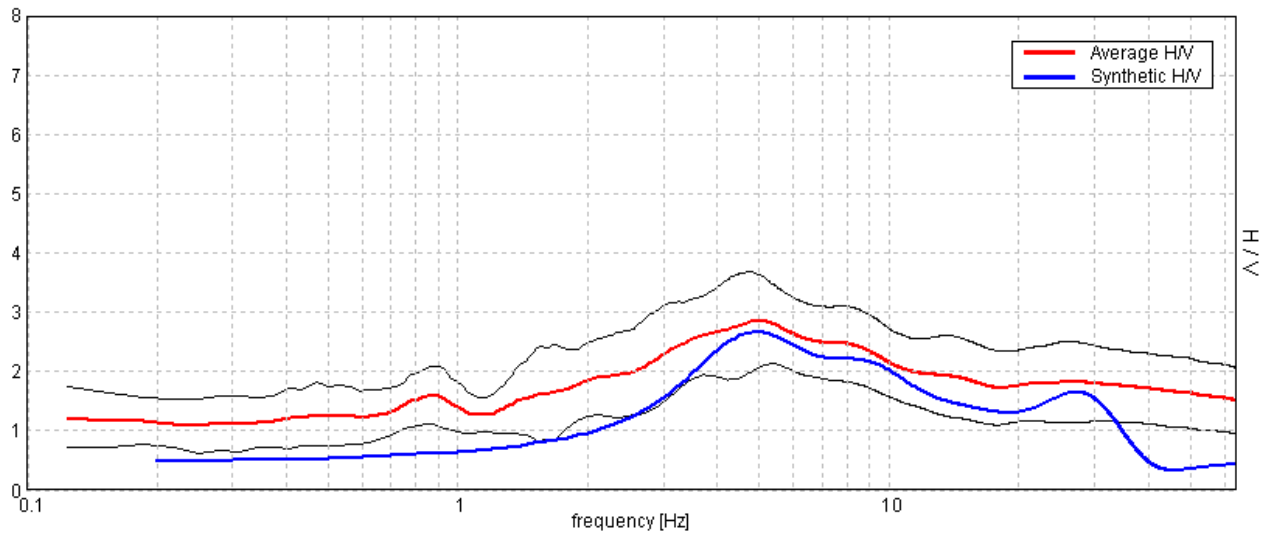


SINGLE COMPONENT SPECTRA



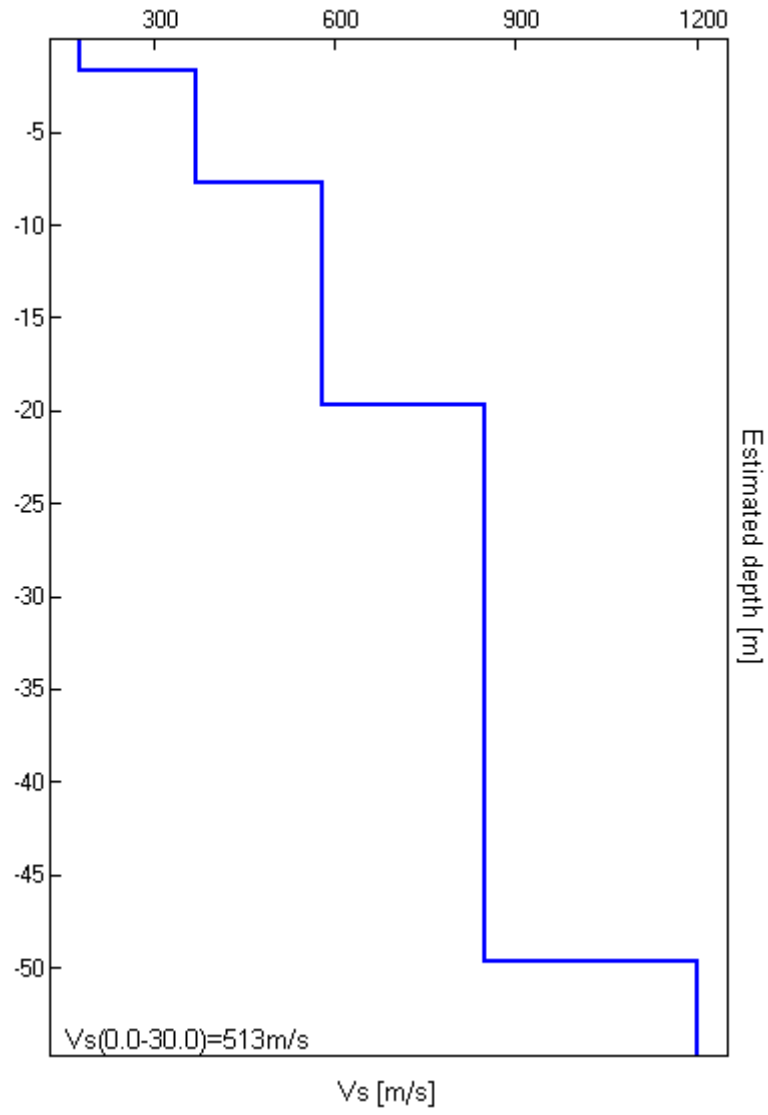
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $5.0 \pm 0.21$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.70	1.70	180	0.39
7.70	6.00	370	0.37
19.70	12.00	580	0.37
49.70	30.00	850	0.36
inf.	inf.	1200	0.33

Vs(0.0-30.0)=513m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 5.0 ± 0.21 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	5.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4400.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 241 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.313 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.85 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02072  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.10362 < 0.25	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3839 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE25

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 11:01:36      End recording: 07/09/10 11:21:37

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 70% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

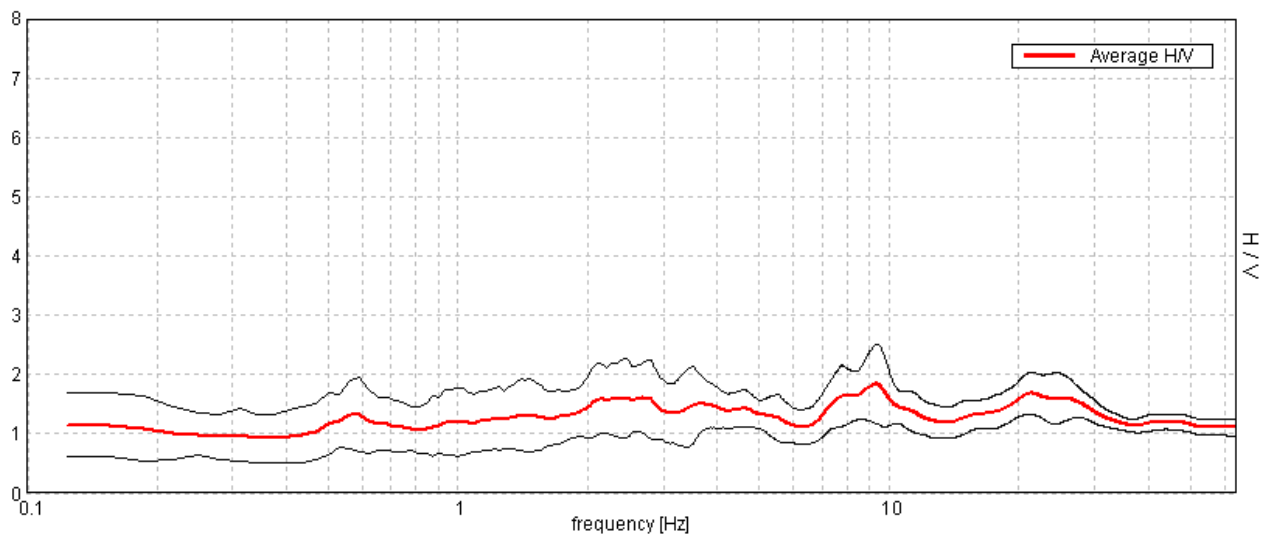
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

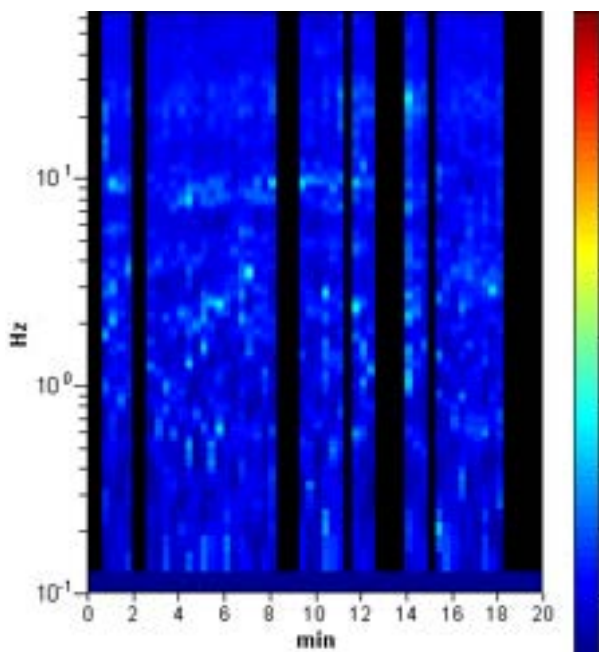
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

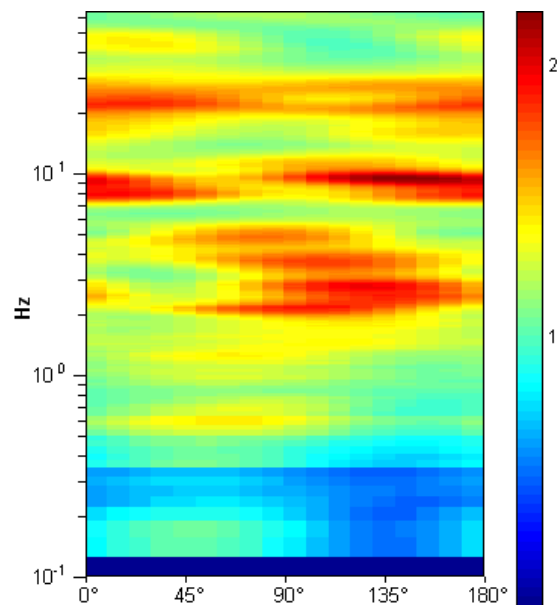
Max. H/V at  $9.31 \pm 0.38$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



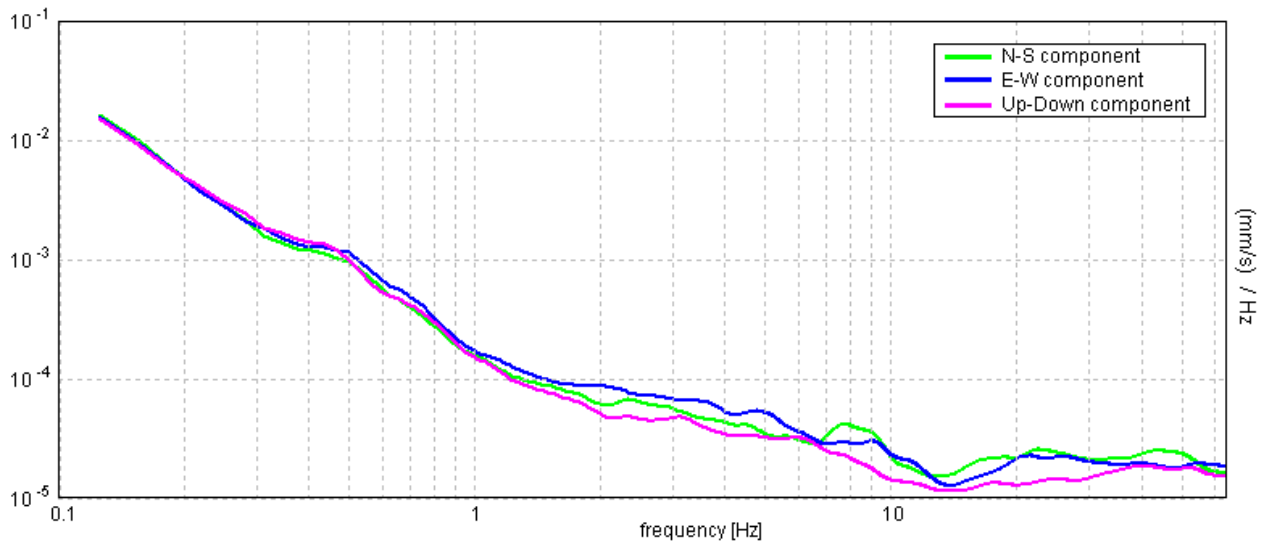
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

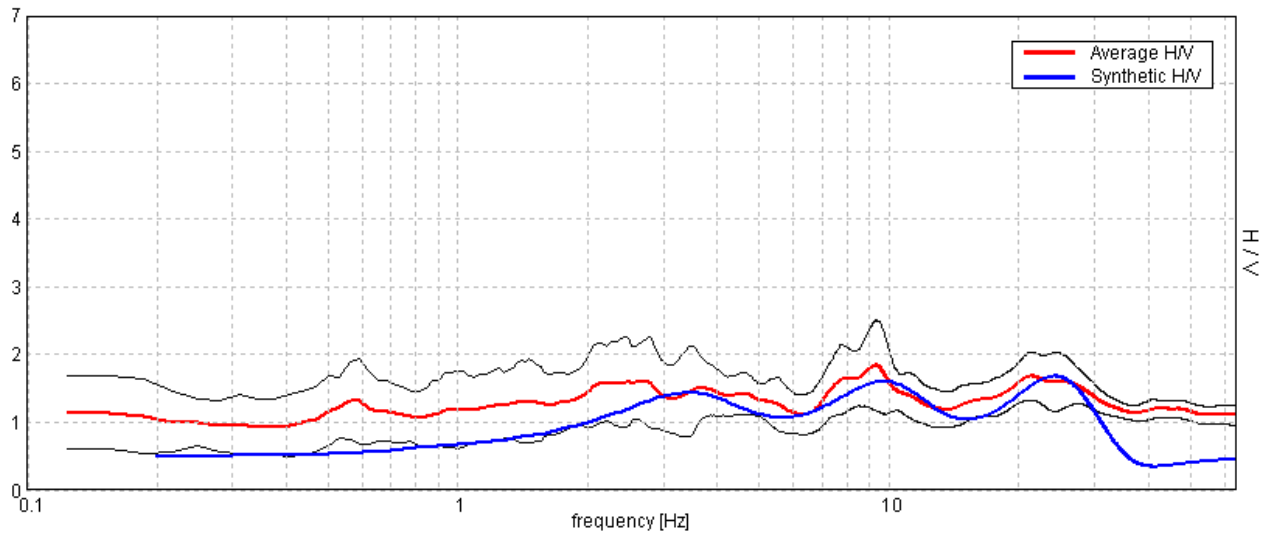


SINGLE COMPONENT SPECTRA



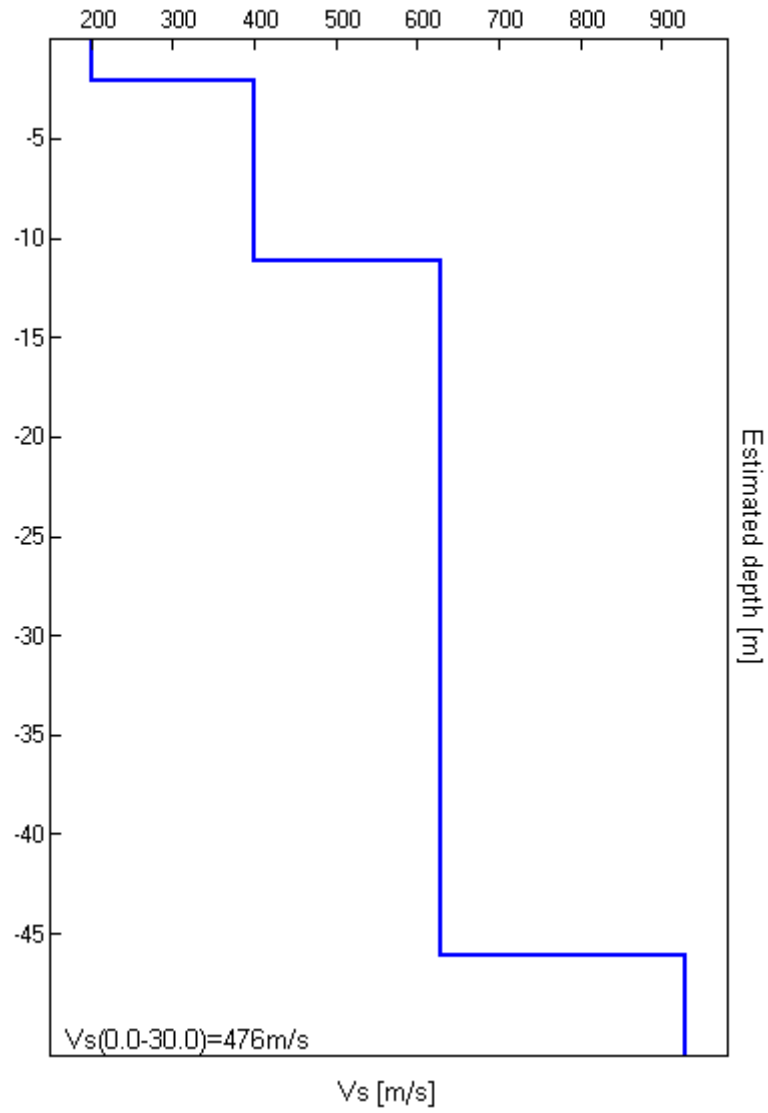
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $9.31 \pm 0.38$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.10	2.10	200	0.39
11.10	9.00	400	0.37
46.10	35.00	630	0.36
inf.	inf.	930	0.35

Vs(0.0-30.0)=476m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 9.31 ± 0.38 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	9.31 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	7822.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 448 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.84 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01981  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1845 < 0.46563	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3265 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE36

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 15:03:47      End recording: 07/09/10 15:23:48

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 48% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

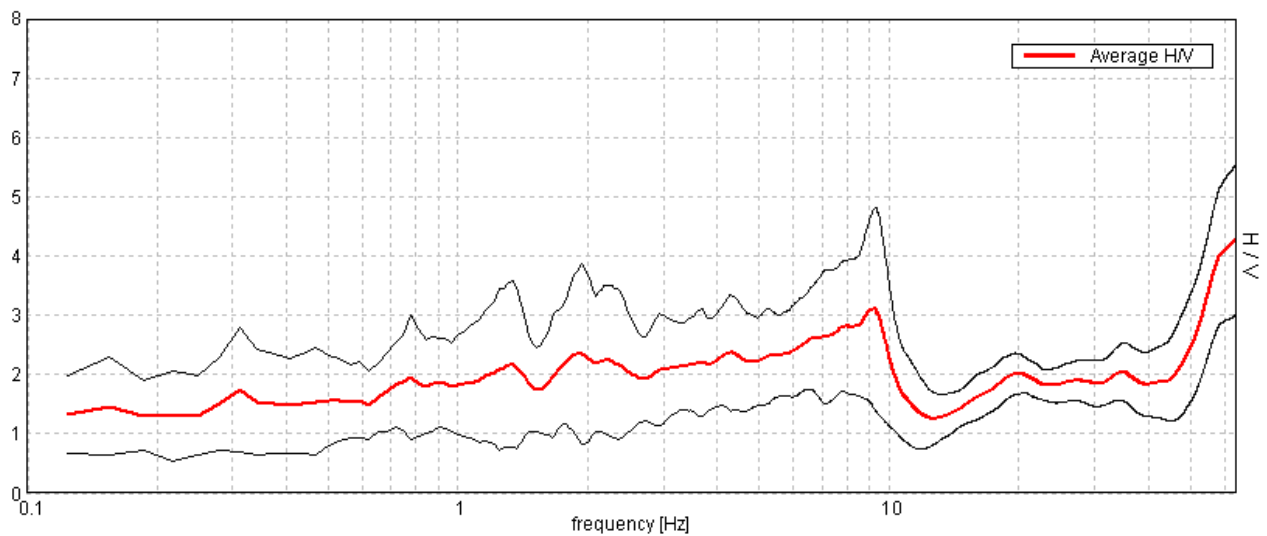
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

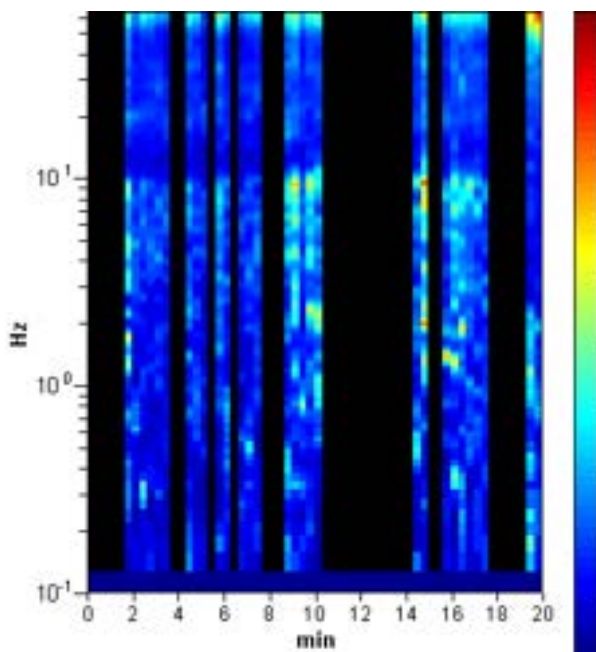
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

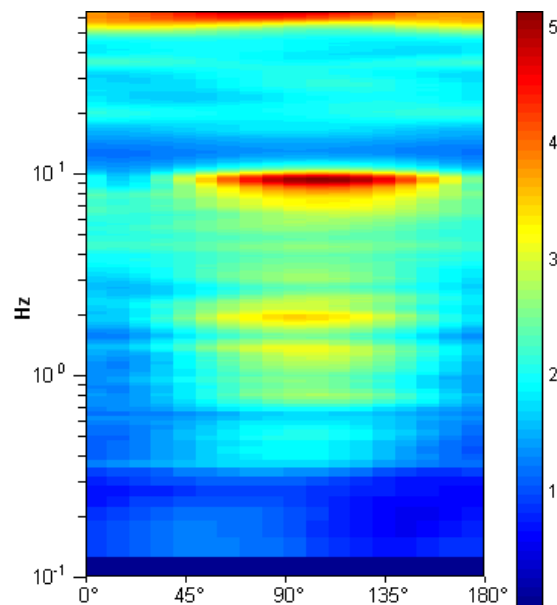
Max. H/V at  $63.97 \pm 6.18$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



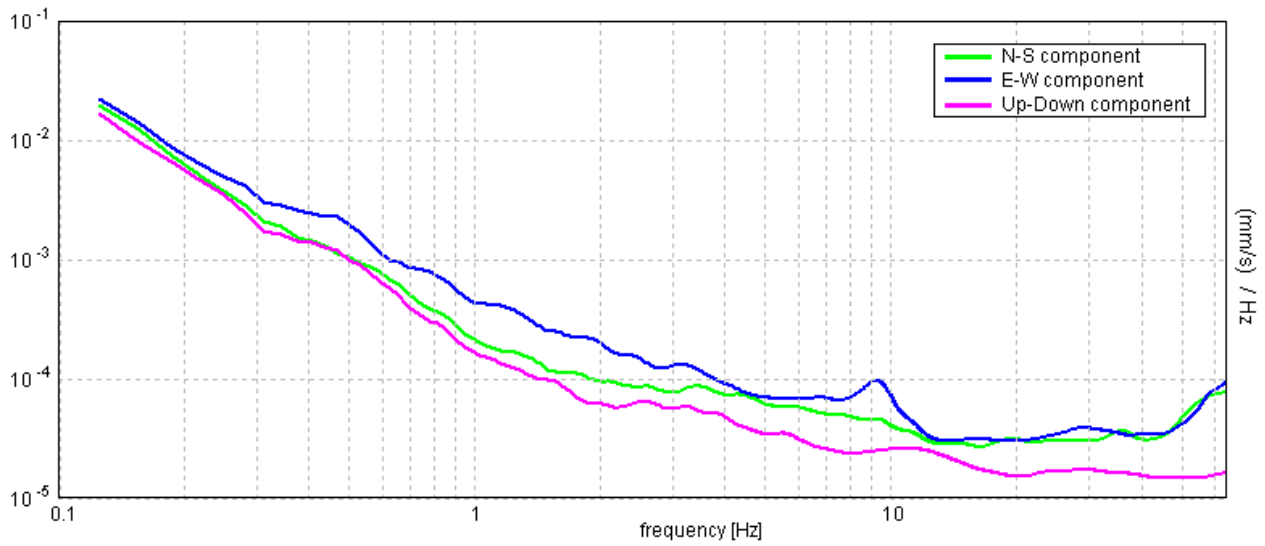
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

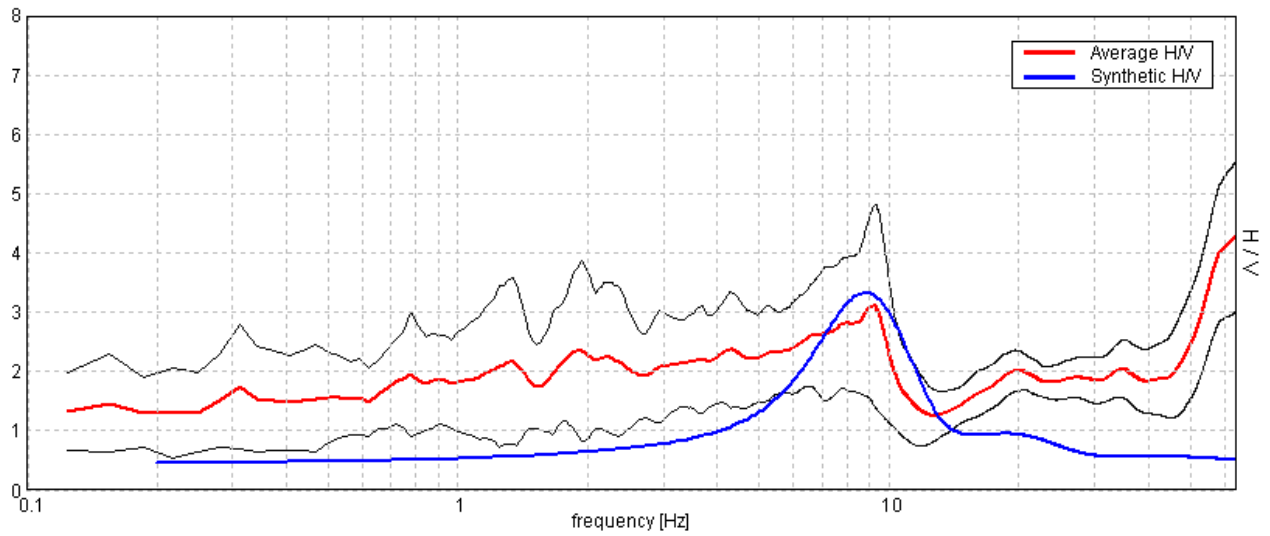


SINGLE COMPONENT SPECTRA



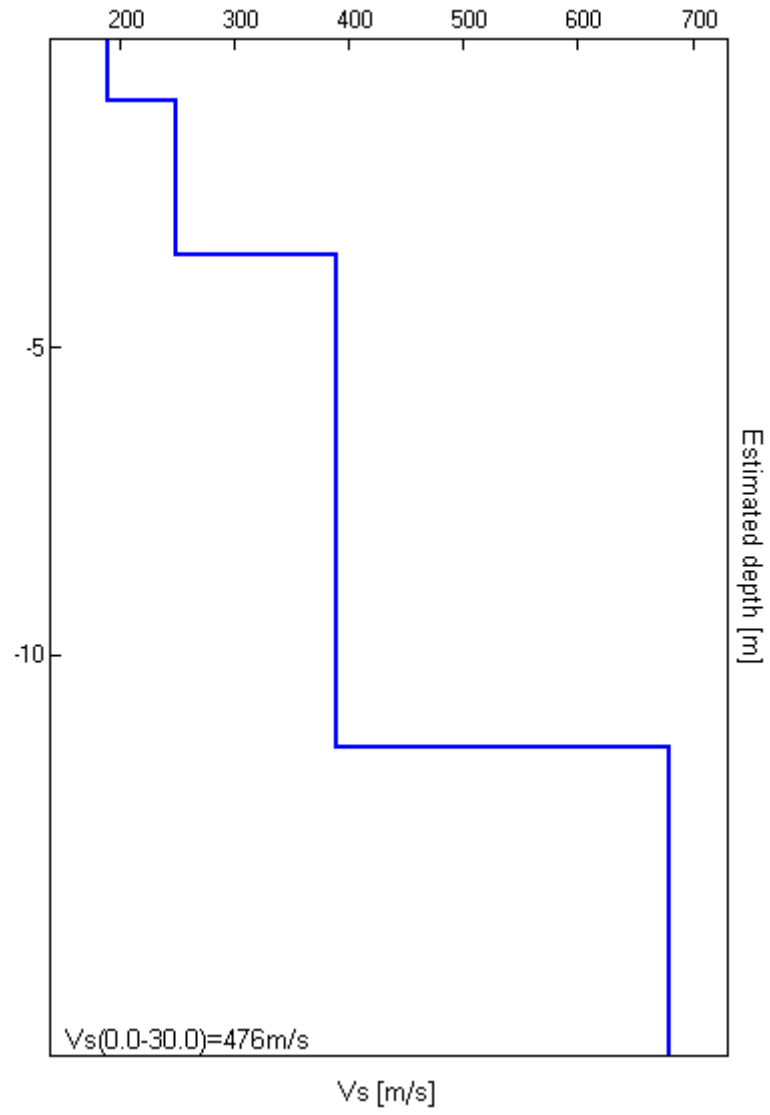
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 63.97 ± 6.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	190	0.39
3.50	2.50	250	0.38
11.50	8.00	390	0.37
inf.	inf.	680	0.35

Vs(0.0-30.0)=476m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 63.97 ± 6.18 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	37101.9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	47.594 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	4.30 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04633  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.96351 < 3.19844	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6086 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



# **RELAZIONE SPECIALISTICA CAROTAGGI SISMICI**

**2010**

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

D																
C																
B																
A		20/09/2010	De Luca	Rossi	Rossi											
Rev.	Descrizione	Data	Redatto	Verificato	Approvato											
<b>COMMITTENTE : Geo Italia</b> <b>Geotecnica Palazzi-Giomarelli S.r.l.</b>				Archivio n°	3932											
				Commessa n° R	339											
LOCALITA': Bedia Tedalda (AR)																
INDAGINE: Ricostruzione del sottosuolo																
OGGETTO: Rapporto tecnico indagine geofisica																
<table border="1"> <tr> <td>3</td> <td>9</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>S</td> <td>G</td> <td>G</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>A</td> <td>data 20.09.10</td> </tr> </table>			3	9	3	2	S	G	G	0	1	A	data 20.09.10	N° Copie	N° Pagine	Formato
3	9	3	2	S	G	G	0	1	A	data 20.09.10						
Nome file 3932SGG01A.dwg					A4 <input type="checkbox"/>											
					A3 <input type="checkbox"/>											
Coordinatore: Dr. Geologo Claudio Rossi																
		<b>STUDIO DI GEOLOGIA E GEOFISICA S.r.l.</b> STRADA MASSETANA ROMANA , 56 - SIENA - ITALY - Tel. +39 0577 49276 - Fax +39 0577 287254 - e.mail: info@egg.it			<b>CONTROLLO QUALITA'</b> data-sigla											



## INDICE

1	- INTRODUZIONE	pag	3
2	- INDAGINI SVOLTE	pag	3
3	- STRUMENTAZIONE, PERSONALE IMPIEGATO E QUALITÀ	pag	4
4	- FINALITA' DELLA PROSPEZIONE	pag	6
5	- ESECUZIONE DEI RILIEVI	pag	6
6	- ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE DI VOLUME P - S <sub>H</sub>	pag	10
7	- ANALISI DEI RISULTATI	pag	14
8	- MODULI ELASTICI DINAMICI	pag	15

---

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico



## 1 - INTRODUZIONE

Nel presente rapporto sono illustrati i risultati dell'indagine geofisica eseguita per conto della società GEOTECNICA PALAZZI-GIOMARELLI SRL, nell'ambito di un progetto di caratterizzazione del sottosuolo, realizzato per la Geo Italia, nell'area del Parco Eolico Poggio Tre Vescovi.

Lo scopo della prospezione è stato quello di identificare e ricostruire, sulla base delle loro caratteristiche fisiche e meccaniche, i rapporti geometrici degli strati di terreno ed il computo del valore del  $V_{s30}$ . A tal scopo sono stati realizzati due carotaggi sismici down hole per determinare la velocità delle onde di volume P e la velocità delle onde di taglio polarizzate  $S_H$ .

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

## 2 - INDAGINI SVOLTE

La prospezione geofisica è stata eseguita nel giorno 7 settembre 2010.

L'indagine geofisica si è svolta attraverso l'esecuzione di **due carotaggi sismici Down Hole** su di due fori di sondaggio della profondità di **30 metri** ciascuno appositamente attrezzato; tale metodologia è stata interpretata per bracci di dromocrone riportate su di un grafico profondità (m) – tempi (ms).

Nel complesso sono stati eseguiti 60 metri di carotaggio sismico down hole.

---

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico



### 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-52
1	notebook HP per registrazione dei dati di campagna con MULTIPLEGEODEOPTIMSOFTWARE (MGOS)	
1	sistema per la generazione di onde polarizzate S <sub>H</sub> con peso complessivo superiore a 200 kg	
1	hammer switch per dispositivo time-break	
1	massa battente da 5 kg	
1	Geofono tridimensionale da foro Geostuff, a frequenza propria di 15 Hz, munito di bussola elettronica per orientamento del geofono stesso e di ancoraggio meccanico motorizzato alla parete del foro	SGG-SI-55B
	cavi e prolunghe per il dispositivo di time-break e per il collegamento GEODE-notebook	
1	tromografo MICROMED SpA "TROMINO ENGY PLUS"	SGG-SI-65

#### AUTOMEZZI

- ◆ Furgone Ducato.

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 CE.TA.CE. di Calenzano, della CESVIT S.p.A., ed accreditato SIT n°56 (Servizio di Taratura in Italia).

---

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico



### Risorse coinvolte

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

• Responsabile dell'incarico	C. ROSSI
• Responsabile della prospezione	F. GIORGI
• Prospettore geofisico	F. GIORGI
• Interpretazione	J. DE LUCA
• Editing	J. DE LUCA

Tutte le risorse umane coinvolte sono state utilizzate nel rispetto della certificazione SA8000 in materia di responsabilità sociale.

### 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 IS0901.

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

---

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico



## 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 di volume  $P$*
- *definire il modello del sottosuolo in riferimento alla velocità delle onde di taglio polarizzate  $S_H$*
- *caratterizzazione dinamica per bassi livelli di deformazione delle unità litostratigrafiche presenti nell'area di indagine, computo della  $V_{s30}$ , dei moduli elasto-dinamici e del coefficiente di Poisson.*

## 5 – ESECUZIONE DEI RILIEVI

### **Carotaggio sismico down hole**

Lo scopo del carotaggio sismico down-hole consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde  $P$ ) e di taglio (onde  $S_H$ ), calcolando il tempo ad esse necessario per raggiungere il geofono ricevitore (all'interno del foro di sondaggio) dalla zona sorgente (su piano campagna a distanza nota dal foro). Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno d'ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo ed isotropo.

I fori dei sondaggi meccanici sono stati appositamente attrezzato, per realizzare al loro interno una prova down-hole, con un rivestimento in PVC per tutta la loro lunghezza (30 m).

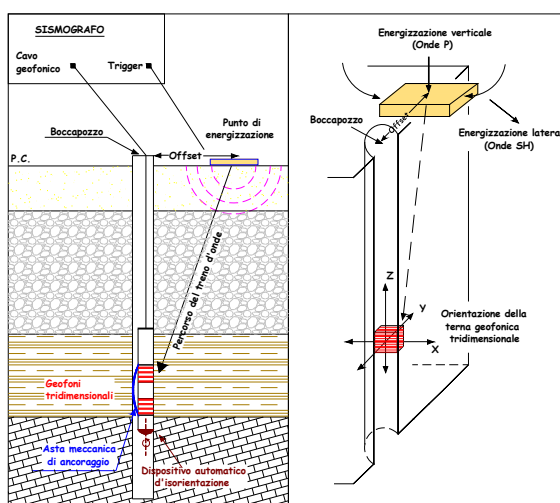
---

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico

Le tubazioni di rivestimento sono state rese solide con il terreno attraverso l'iniezione di una miscela cementizia lungo tutte le pareti esterne a contatto con il terreno.

La prova in generale consiste nel produrre in superficie sollecitazioni verticali per la generazione di onde di compressione P, ed orizzontali per la generazione di onde di taglio polarizzate orizzontalmente  $S_H$  e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde ad un sistema composto da una terna di geofoni, ancorati a profondità nota nel foro di sondaggio (fig. 5.1).



**Figura 5.1 - Rappresentazione schematica di un carotaggio sismico down-hole.**

Conosciuta la distanza tra la sorgente ed i ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P e  $S_H$ ) in corrispondenza della verticale di misura.

Per generare le onde di compressione P è stata utilizzata una massa battente da 10 kg. Per le onde  $S_H$  è stato invece utilizzato, come sorgente, un apposito dispositivo, la cui forma permette colpi laterali su entrambi i lati. Tale dispositivo viene gravato con sacchi di sabbia, al fine di assicurare una perfetta aderenza con il terreno, così da evitare ogni tipo di dispersione dell'energia prodotta. Il sistema energizzante adottato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza con forme d'onda ripetibili e direzionali, vale a dire con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali, ed eventualmente anche verticali, (fig. 5.2).

---

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico





**Figura 5.2 – Sorgente per la generazione delle onde di taglio.**

Come sistema di ricezione è stata utilizzata una sonda meccanizzata al cui interno sono alloggiati tre ricevitori, ciascuno dei quali è costituito da un trasduttore di velocità. Il trasduttore verticale è orientato secondo la lunghezza della sonda, mentre i trasduttori orizzontali, orientabili automaticamente secondo il Nord geografico, sono disposti in direzioni ad essa perpendicolare (N-S ed E-W).

I trasduttori hanno una frequenza propria di 15 Hz ed una sensibilità tale da poter ricevere in maniera adeguata il treno d'onde prodotto dalla sorgente. La sonda inoltre possiede un'asta meccanica motorizzata che garantisce l'aderenza tra i ricevitori e le pareti del rivestimento. Il sistema d'acquisizione dati è di tipo multicanale ed è in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 24 bit.



La prova si è sviluppata secondo le seguenti fasi:

1. Dopo aver predisposto un opportuno piano d'appoggio, il dispositivo sorgente è stato collocato sulla superficie in prossimità del foro ad una distanza di 3,0 m ed orientato con direzione Est-Ovest perpendicolarmente alla direttrice congiungente il sondaggio con il dispositivo stesso.
2. Il sistema, costituito dai tre ricevitori è stato calato all'interno del foro collegandolo alla superficie mediante un sistema che ne consente l'orientamento assoluto dalla superficie.
3. Dopo aver ancorato la sonda geofonica alle pareti del rivestimento, si è proceduto con le fasi di orientamento dei trasduttori.
4. È stato quindi attivato il dispositivo sorgente, producendo una sollecitazione che, attivando il trigger (dispositivo "hammer-switch"), si propaga dalla sorgente verso i ricevitori con vibrazioni di tipo compressionale; di seguito (con energizzazione separata e distinta) sono state generate vibrazioni di tipo  $S_H$ , dirette perpendicolarmente alla direzione di percussione e polarizzate sul piano orizzontale. Per l'ottenimento di una buona qualità dei dati, è necessario produrre alla sorgente due onde di polarità opposta e sommare le registrazioni d'ogni singolo arrivo, così da individuare in modo migliore l'istante di arrivo delle onde  $S_H$  (metodo cross-over).
5. La prova è stata quindi ripetuta con interdistanza fra le misure pari a 1,0 m per tutto il sondaggio.

---

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico



## **6 – ANALISI DI VELOCITA' DELLE ONDE DI VOLUME P-S<sub>H</sub> (Carotaggio sismico down hole)**

Per determinare il tempo di arrivo delle onde P e S<sub>H</sub> ai ricevitori, è stata utilizzata un'analisi visuale delle vibrazioni rilevate dai trasduttori del ricevitore e confrontate con il segnale del rumore acquisito attraverso delle registrazioni in bianco. Questo ha permesso di esaminare i vari spettri delle registrazioni e determinare dei filtri passa banda utili per il raggiungimento di una qualità migliore delle tracce sismiche. Per facilitare il riconoscimento delle fasi, oltre a un'analisi per singola profondità è stata costruita una sezione film complessiva, con il montaggio delle registrazioni P e SH alle varie profondità.

In linea di massima, il criterio di elaborazione dati si è articolato nelle seguenti fasi:

- picking dei primi arrivi P-S<sub>H</sub>;
- misura dei tempi di ricezione dei primi impulsi rilevati (t);
- calcolo dei tempi verticali (t\*).

Il percorso delle onde sismiche dovrebbe essere verticale dalla sorgente al ricevitore, per cui l'energizzazione dovrebbe essere fatta il più vicino possibile al pozzo; questa necessità si scontra, comunque, con l'esigenza di allontanare la sorgente dal boccaforo per far in modo che i primi arrivi registrati nel sismogramma non siano dovuti al percorso fatto lungo la cementazione del foro alla velocità del cemento (rifrazione sul casing). In questo caso si è deciso di adottare una distanza sorgente-boccaforo pari a 3 metri; questo ha permesso di evitare anche la possibilità di avere primi arrivi rifratti e non diretti.

Poiché le onde sismiche prodotte dalla sorgente non si propagano esattamente in direzione verticale rispetto ai ricevitori, data la posizione della sorgente, è stato necessario correggere i tempi di arrivo stimati per tenere conto dell'inclinazione del percorso effettivo.

---

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico

Indicata con  $z$  la profondità del ricevitore, con  $d$  la distanza effettiva tra sorgente e ricevitore e con  $R$  la distanza superficiale tra sorgente e centro del foro, con  $t$  il tempo determinato dalle tracce di registrazione, il tempo corretto risulta:

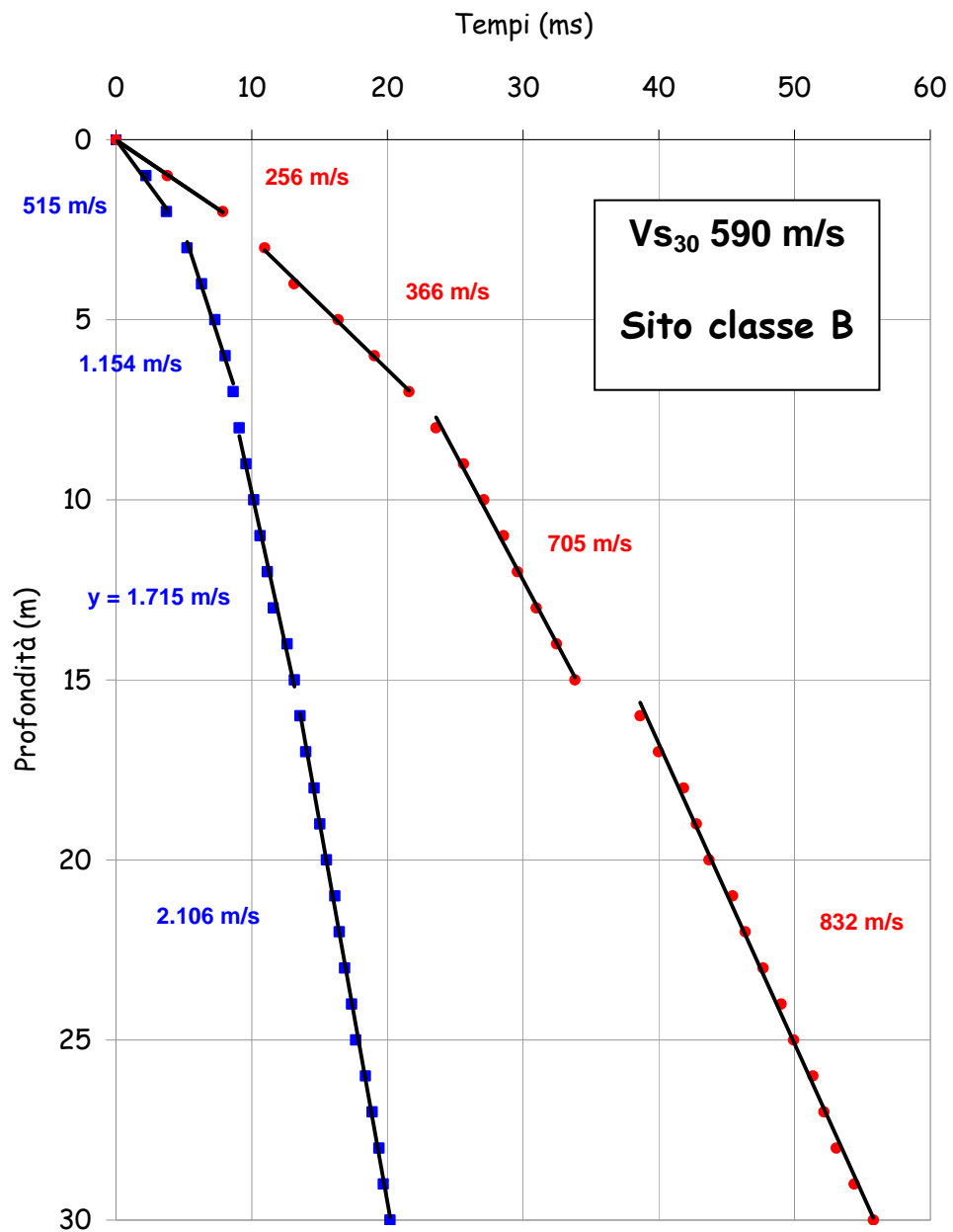
$$t^* = \frac{z}{d} t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} t$$

Dividendo la profondità a cui viene collocato il ricevitore per il tempo corretto si ricavano i valori di velocità per ciascuno dei ricevitori, in corrispondenza di ciascuna delle profondità considerate. Va rilevato che non sempre i tracciati registrati dai ricevitori sono chiari e univocamente interpretabili sia per l'eventuale presenza di rifratte di ampiezze non trascurabili, sia per il fatto che precedendo quelle dirette ingannano sui reali tempi d'arrivo indicando velocità intervallari anomale. Nel presente lavoro sono stati impiegati rispettivamente fondo scala di 1 secondo e passo di campionamento di 0,125 millisecondi.

I tempi relativi alle onde P ed SH sono stati letti attraverso uno specifico programma di picking (SeisOptPicker; precisione dell'ordine di 0,1 millisecondi). Per avere un buon controllo sulla procedura di lettura dei tempi e valutare al contempo la qualità dei dati sismici acquisiti per tutto il tragitto di ogni sondaggio, i valori numerici dei primi arrivi delle onde sismiche P ed S<sub>H</sub> sono stati riportati su sezioni tempo/tracce ove le varie tracce sono scelte in funzione dell'orientamento del sistema ricevitore/sorgente. Tale procedura ha consentito di ottenere così delle forme d'onda più definite nelle ampiezze. In particolare con riferimento alle onde di taglio sono state scelte le tracce riferite alla differenza tra la battuta destra e quella sinistra.

I tempi d'arrivo delle onde di compressione e di taglio sono stati corretti, rispetto alla verticale, e riportati su un diagramma profondità – tempi sui quali sono stati individuati i tratti a pendenza circa costante (fig. 6.1 e 6.2). Dalla pendenza dei tratti sono state determinate le velocità intervallari delle onde P ed S<sub>H</sub> nel terreno. Tale operazione è stata eseguita tenendo conto anche della stratigrafia redatta in fase di realizzazione del sondaggio fornitaci direttamente dalla committenza. La definizione delle velocità sismiche ha permesso di calcolare i moduli elastici dinamici, relativi ai terreni indagati.

**Carotaggio sismico down hole S13**



**Figura 6.1: diagramma profondità – tempi relativo al sondaggio S13 sui quali sono stati individuati i tratti a pendenza circa costante ( onde P in blu, onde S<sub>H</sub> in rosso).**

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico

Carotaggio sismico down hole S26

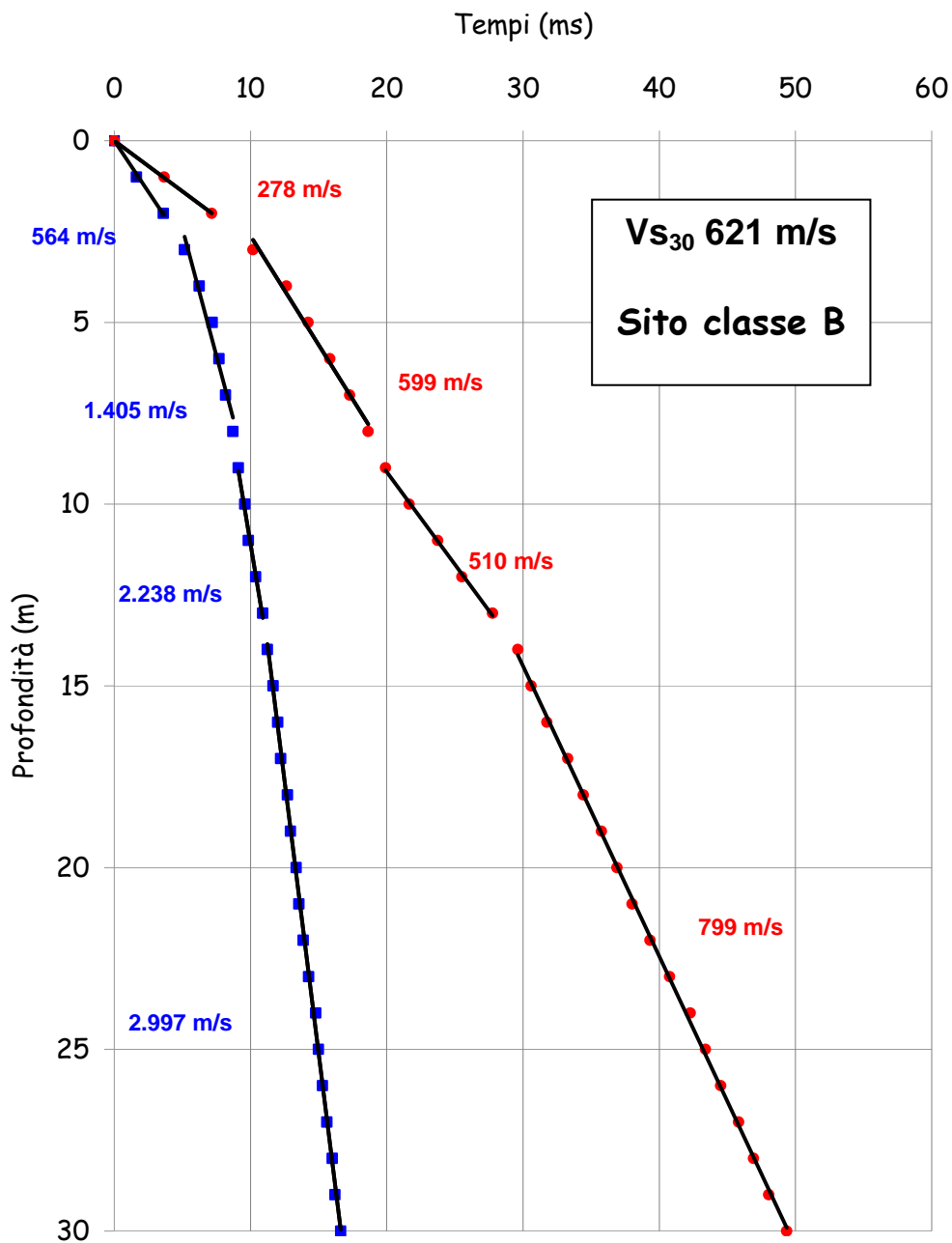


Figura 6.2: diagramma profondità – tempi relativo al sondaggio S26 sui quali sono stati individuati i tratti a pendenza circa costante ( onde P in blu, onde S<sub>H</sub> in rosso).

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico



## 7 – ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso, l'indagine geofisica ha permesso di caratterizzare il sottosuolo sia con il modello di distribuzione della velocità delle onde di volume (onde P), sia con il modello di distribuzione della velocità delle onde di taglio polarizzate (onde  $S_H$ ).

L'indagine sismica, relativamente al comportamento del terreno in merito alle onde di volume (onde P ed  $S_H$ ), ha permesso di evidenziare sismostrati caratterizzati in generale da velocità gradualmente crescenti con la profondità.

Unica eccezione nel sondaggio S26 dove l'interpretazione dei dati sismici ha messo in evidenza una lieve inversione di velocità delle onde  $S_H$  ad una profondità compresa tra i 9 ed 13 metri da piano campagna.

L'area oggetto dell'indagine geofisica, secondo i valori di  $V_{S30}$  di 590 m/s e 621 m/s rispettivamente per i sondaggi S13 e S26, si colloca secondo la normativa italiana vigente in **classe B**.

---

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico

## 8 – MODULI ELASTICI DINAMICI

Sulla base delle velocità sismiche  $V_P$  e  $V_{SH}$  ricavate dall'elaborazione della prova down hole, è stato possibile calcolare, i moduli elastici dinamici dei terreni attraversati. I valori di densità attribuiti a ciascuno strato sono stati desunti da dati reperibili in bibliografia.

I risultati sono riportati nella tabella sottostante:

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità ( $\text{kN/m}^3$ )	$V_P$ m/s	$V_{SH}$ m/s	coeff. Poisson	modulo taglio dinamico ( $\text{kN/m}^2$ )	modulo Young ( $\text{kN/m}^2$ )	modulo bulk ( $\text{kN/m}^2$ )
0	2	18.5	515	256	0.34	1.24E+05	3.30E+05	3.35E+05
2	7	19.0	1,154	366	0.44	2.59E+05	7.49E+05	2.23E+06
7	15	21.0	1,715	705	0.40	1.06E+06	2.98E+06	4.88E+06
15	30	21.0	2,107	832	0.41	1.48E+06	4.17E+06	7.53E+06

Moduli elastici dinamici relativi al carotaggio sismico down hole S13

Profondità m (da)	Profondità m (a)	densità ( $\text{kN/m}^3$ )	$V_P$ m/s	$V_{SH}$ m/s	coeff. Poisson	modulo taglio dinamico ( $\text{kN/m}^2$ )	modulo Young ( $\text{kN/m}^2$ )	modulo bulk ( $\text{kN/m}^2$ )
0	2	18.5	564	278	0.34	1.46E+05	3.90E+05	4.06E+05
2	8	19.0	1,405	599	0.39	6.95E+05	1.93E+06	2.90E+06
8	13	21.0	2,238	510	0.47	5.57E+05	1.64E+06	9.98E+06
13	30	21.0	2,997	799	0.46	1.37E+06	4.00E+06	1.74E+07

Moduli elastici dinamici relativi al carotaggio sismico down hole S26

Siena, Settembre 2010

Dr. Geol. Claudio Rossi

Località Parco Eolico Poggio Tre Vescovi

INDAGINE GEOFISICA  
Rapporto tecnico



# **TROMOGRAFIE SISMICHE**

**2010**

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE36

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 15:03:47      End recording: 07/09/10 15:23:48

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 48% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

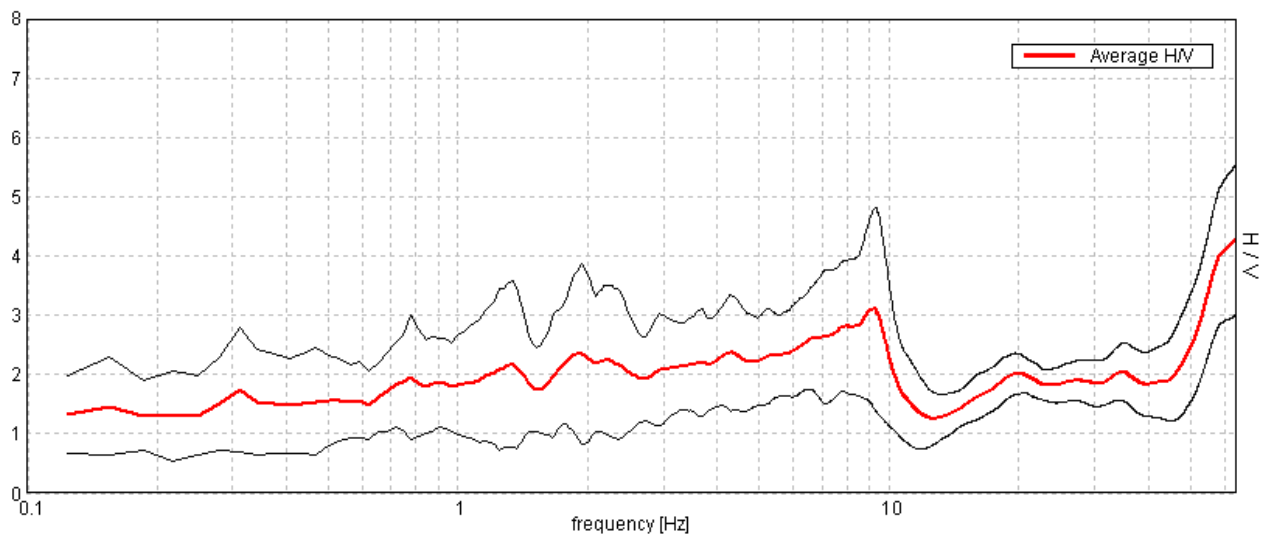
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

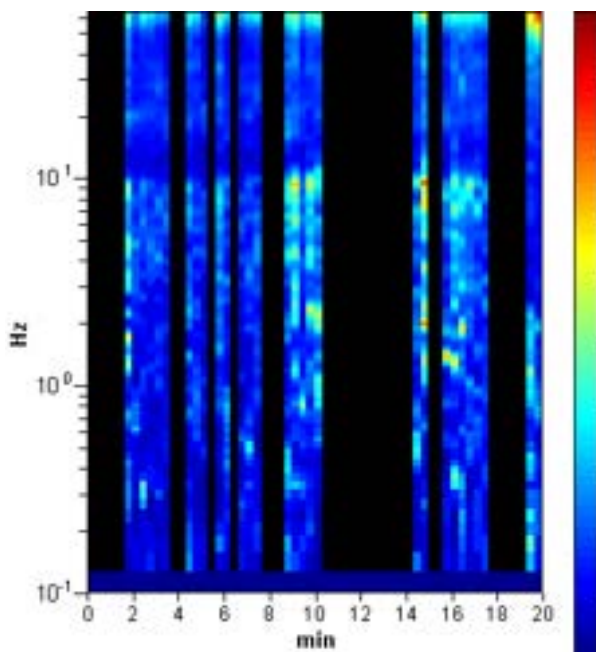
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

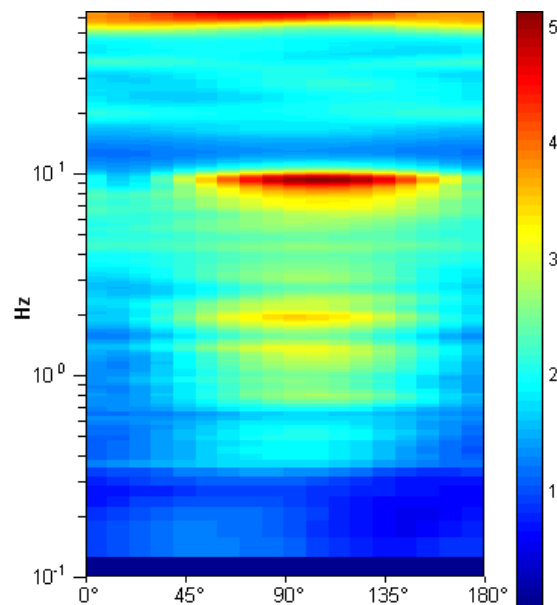
Max. H/V at  $63.97 \pm 6.18$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



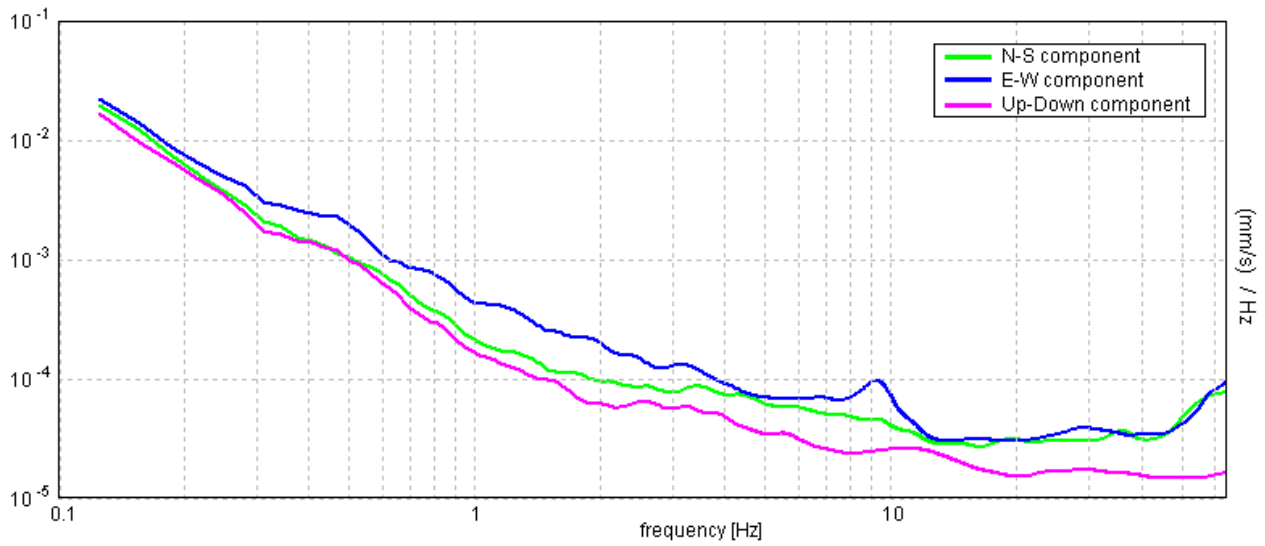
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

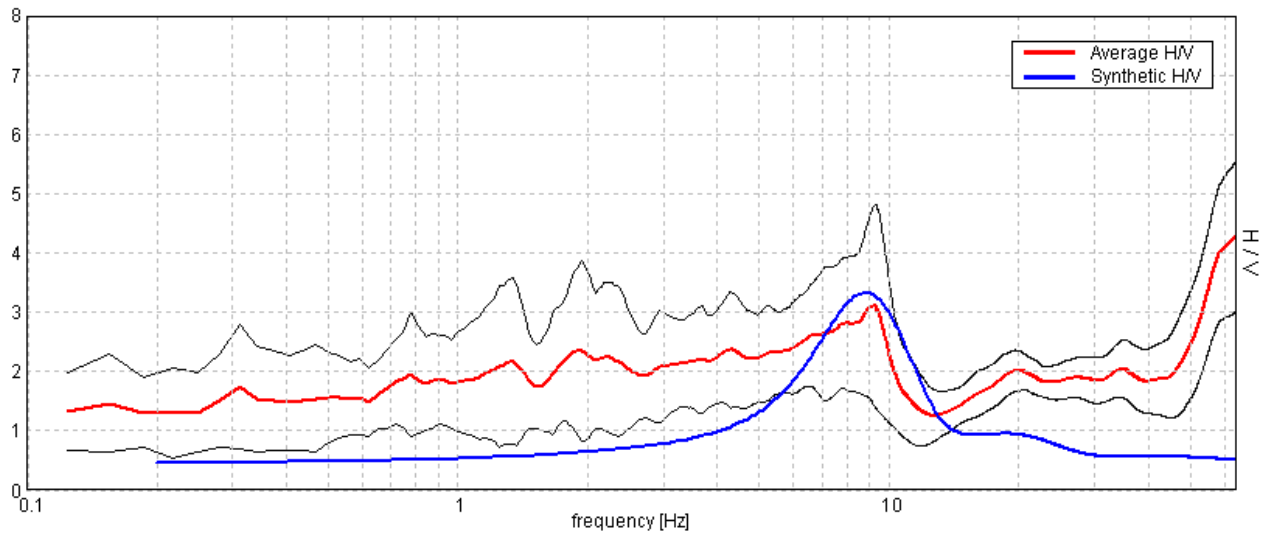


SINGLE COMPONENT SPECTRA



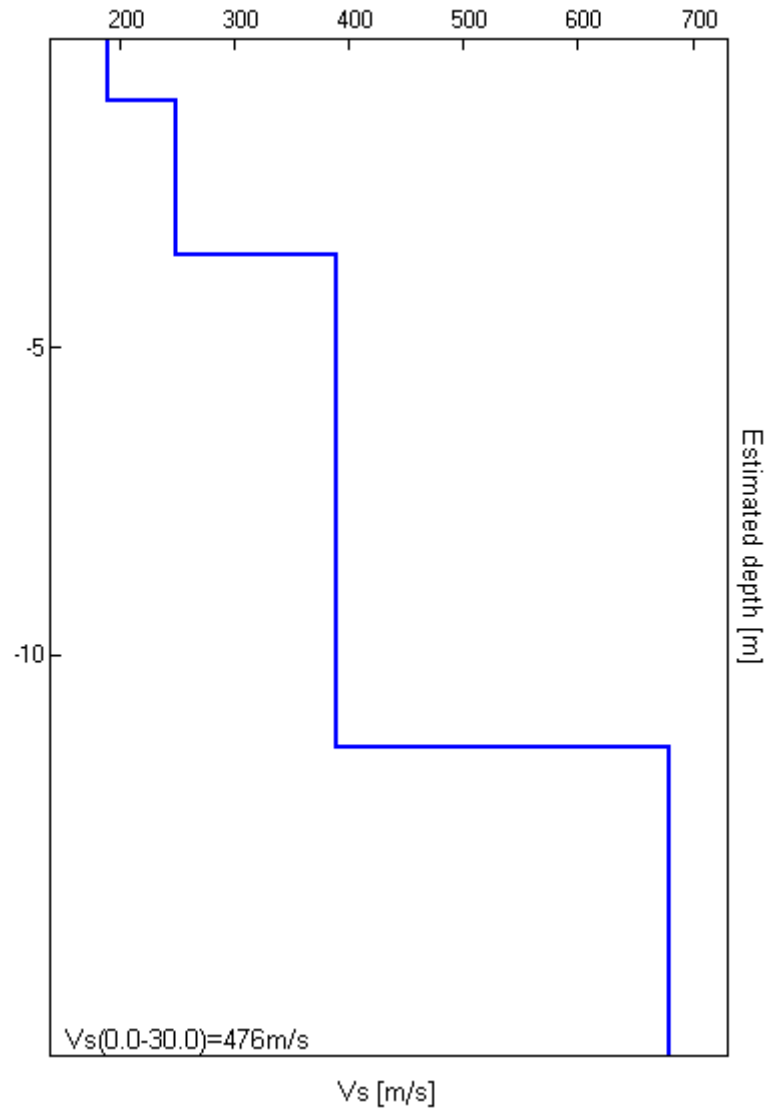
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 63.97 ± 6.18 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	190	0.39
3.50	2.50	250	0.38
11.50	8.00	390	0.37
inf.	inf.	680	0.35

Vs(0.0-30.0)=476m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 63.97 ± 6.18 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	37101.9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	47.594 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	4.30 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04633  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.96351 < 3.19844	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6086 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE05

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 01/09/10 14:56:26      End recording: 01/09/10 15:16:27

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 72% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

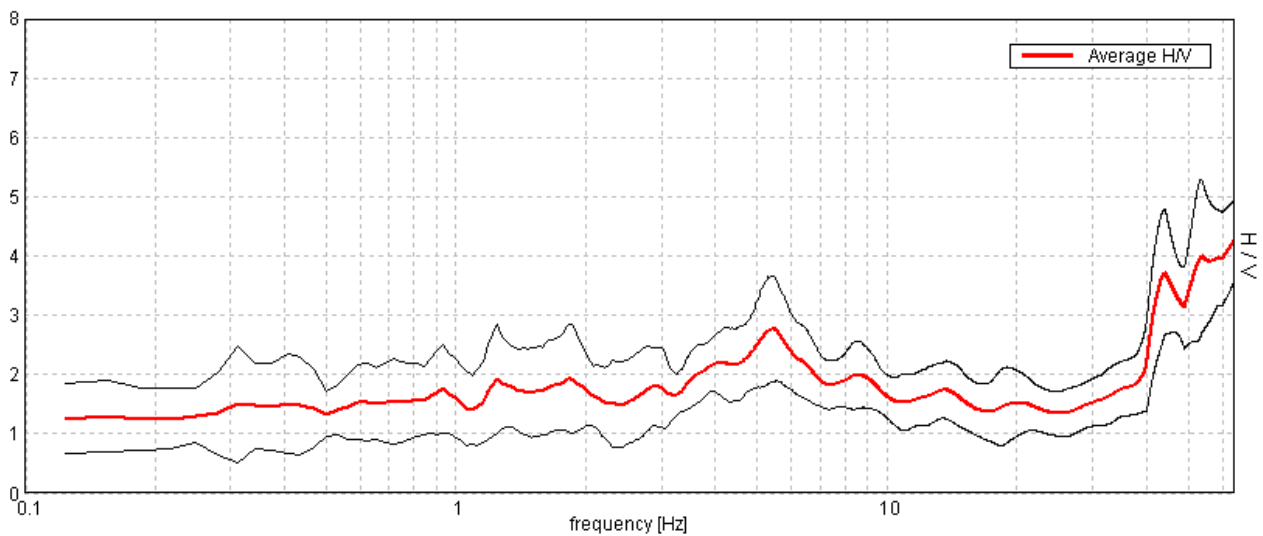
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

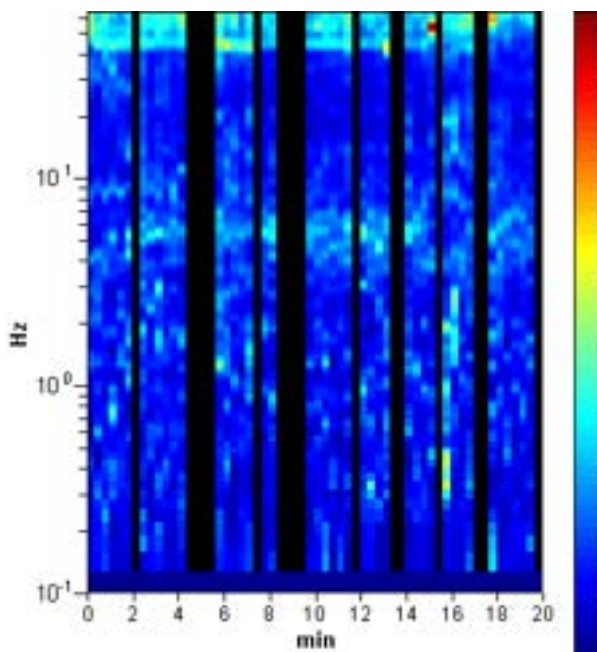
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

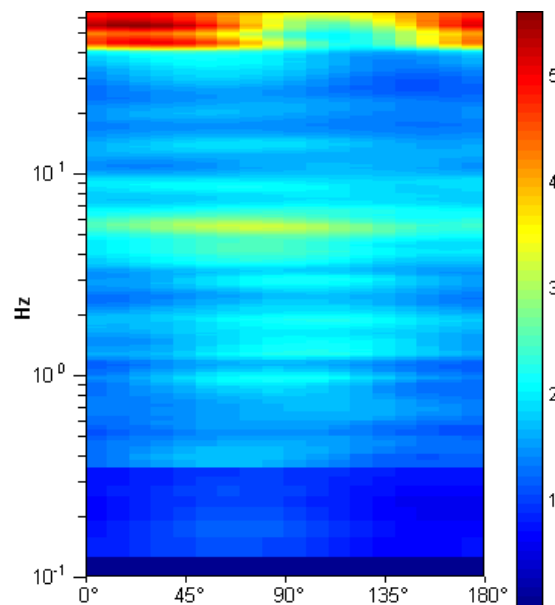
Max. H/V at  $63.97 \pm 4.2$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



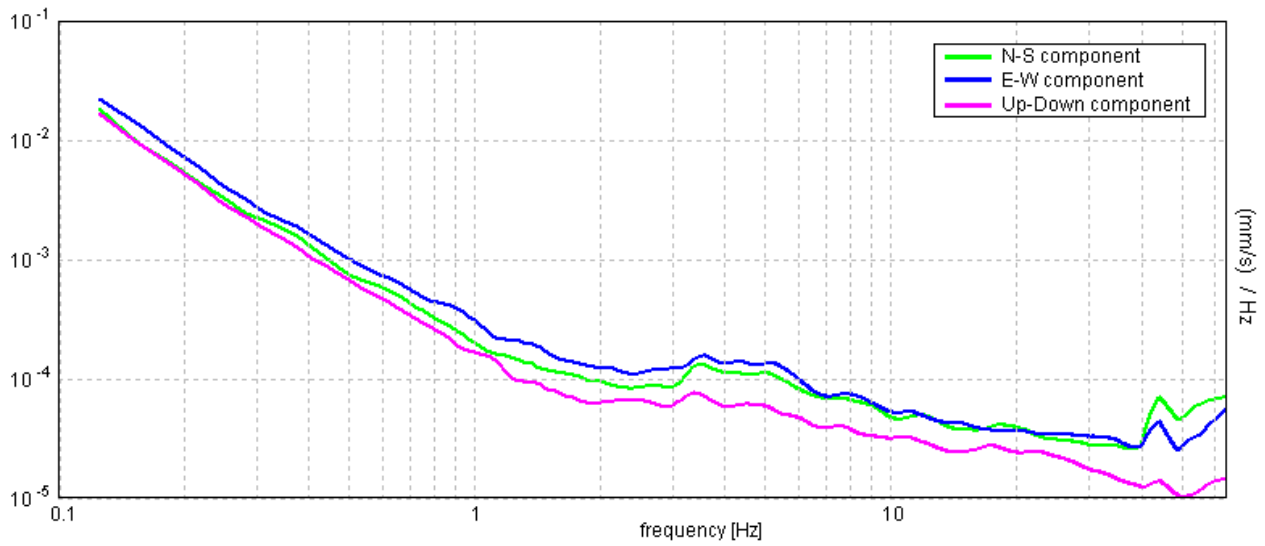
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

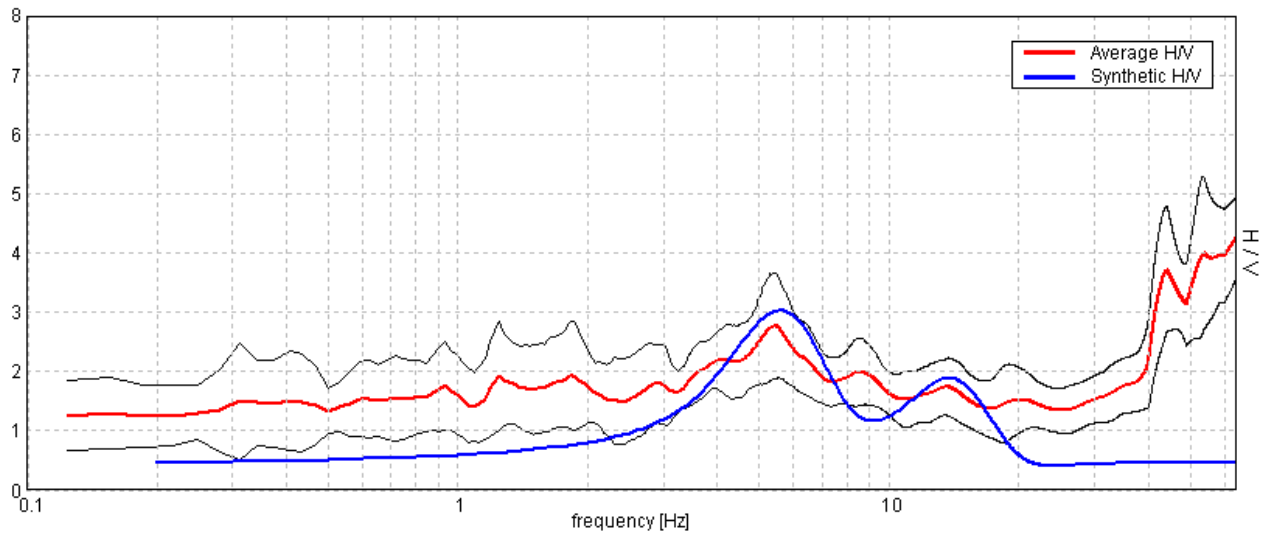


SINGLE COMPONENT SPECTRA



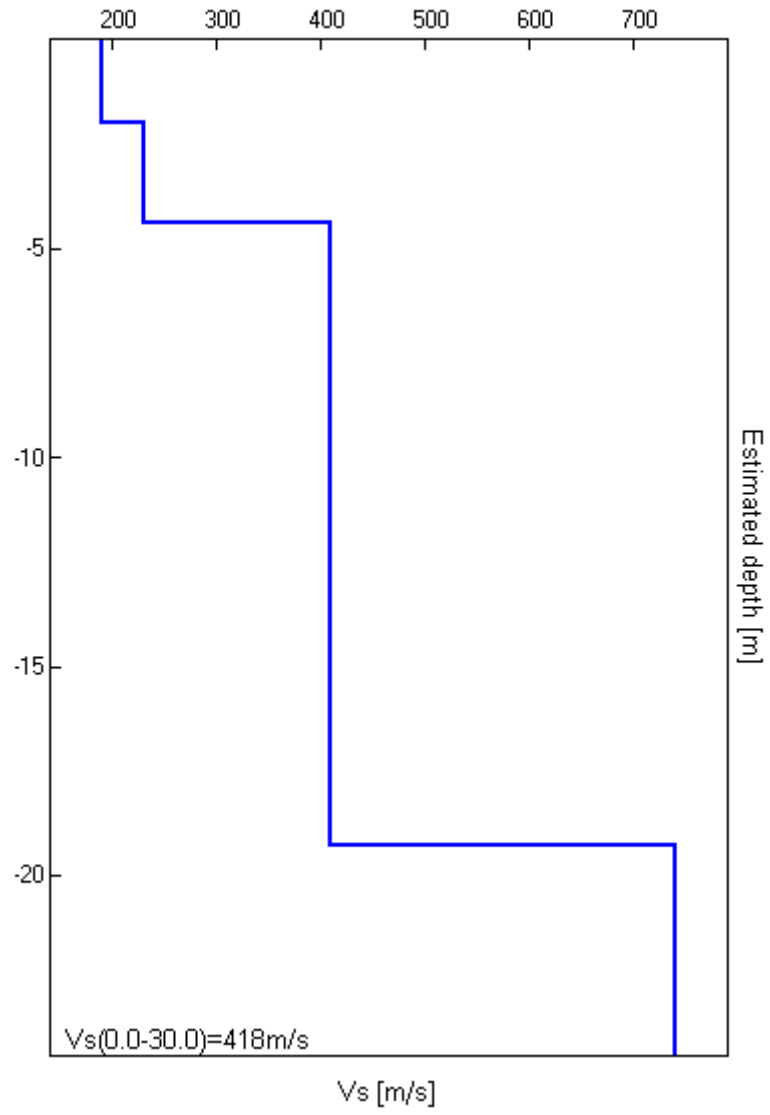
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 63.97 ± 4.2 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	190	0.39
4.40	2.40	230	0.38
19.30	14.90	410	0.37
inf.	inf.	740	0.35

Vs(0.0-30.0)=418m/s





[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 63.97 ± 4.2 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	55013.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	39.938 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	4.27 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03212  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.0549 < 3.19844	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3387 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE16

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 01/09/10 15:45:05      End recording: 01/09/10 16:05:06

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 55% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

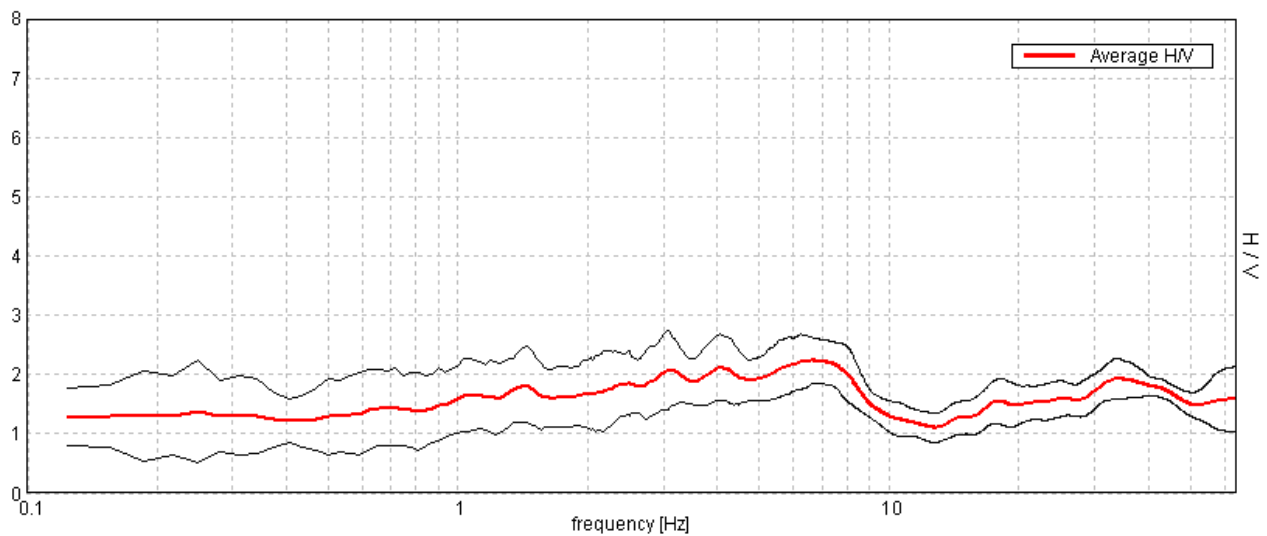
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

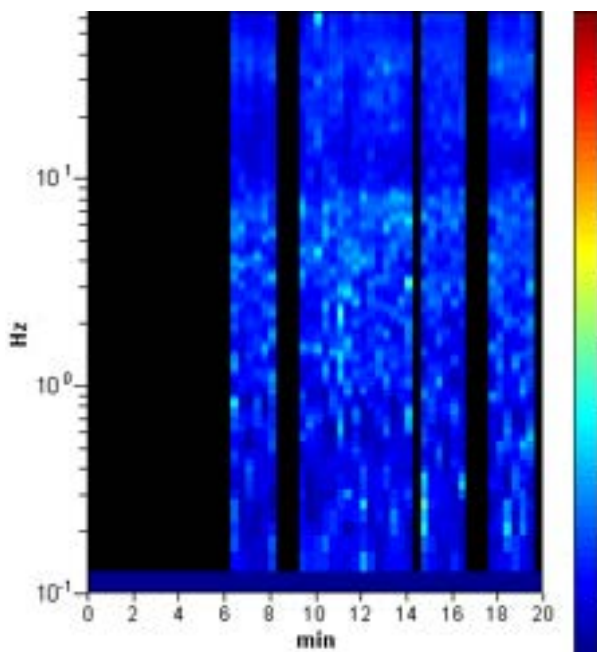
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

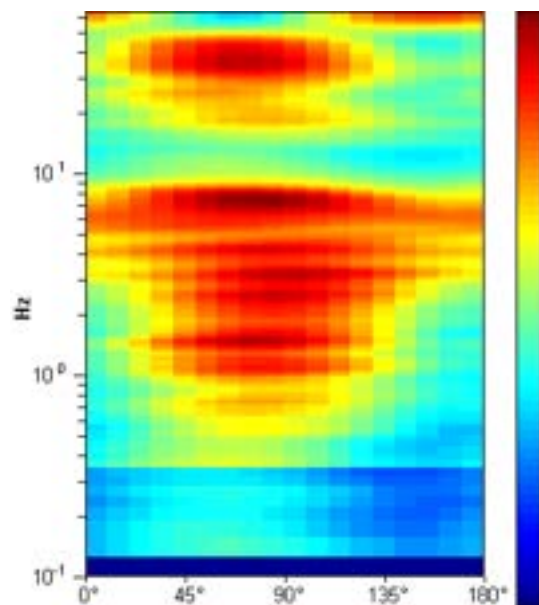
Max. H/V at  $6.66 \pm 0.62$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



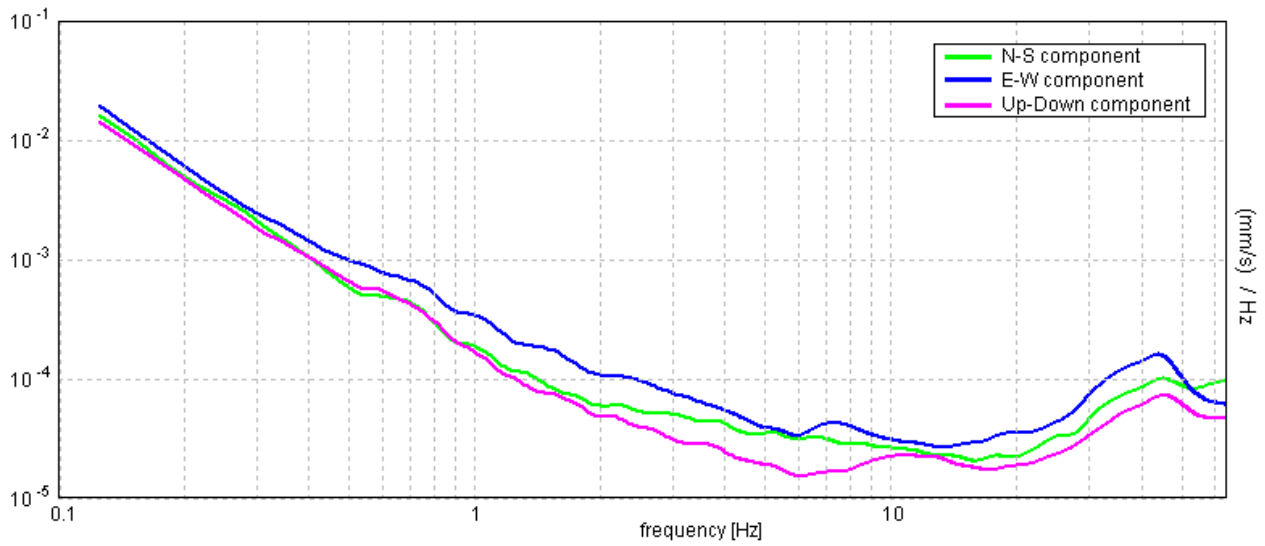
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

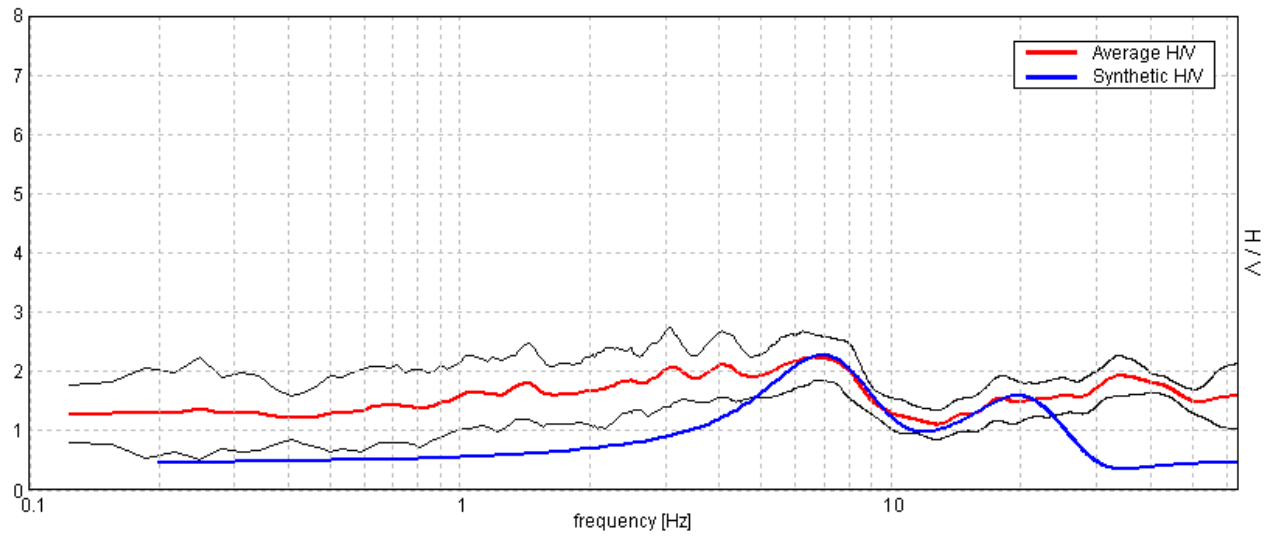


SINGLE COMPONENT SPECTRA



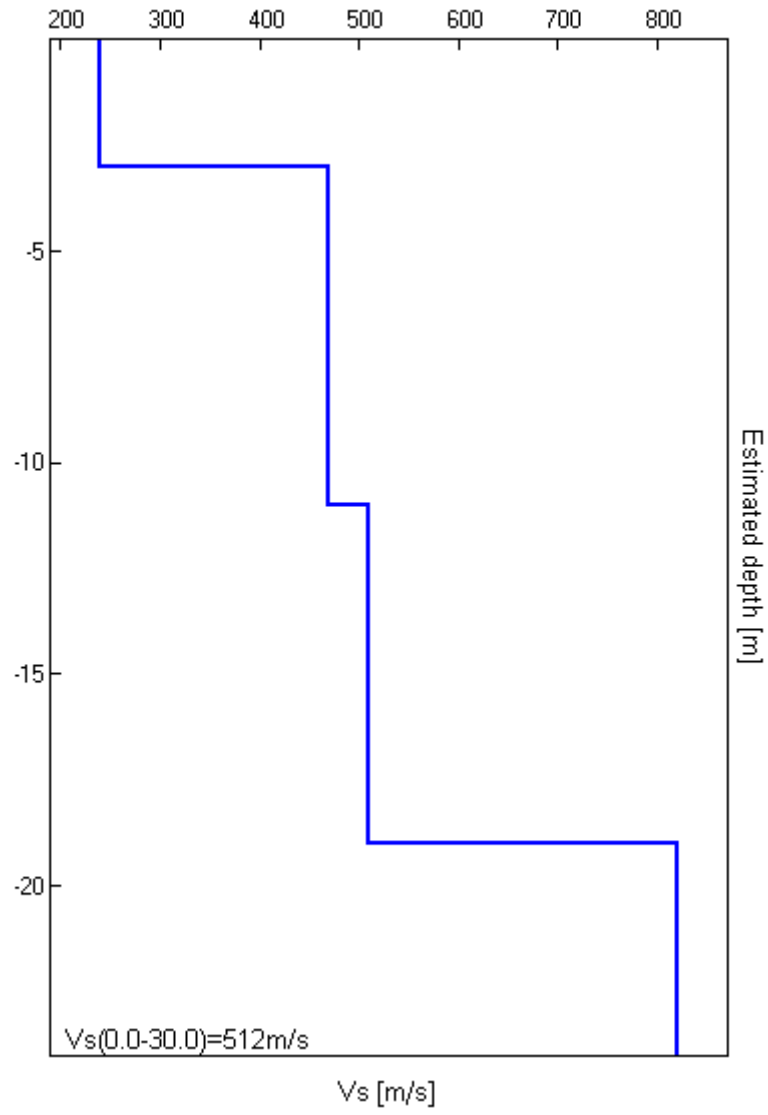
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 6.66 ± 0.62 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	240	0.39
11.00	8.00	470	0.38
19.00	8.00	510	0.36
inf.	inf.	820	0.35

Vs(0.0-30.0)=512m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 6.66 ± 0.62 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	6.66 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4393.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 320 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.23 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04488  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.29876 < 0.33281$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1867 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE17

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 11/08/10 08:36:12      End recording: 11/08/10 08:56:13

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analysis performed on the entire trace.

Sampling frequency: 128 Hz

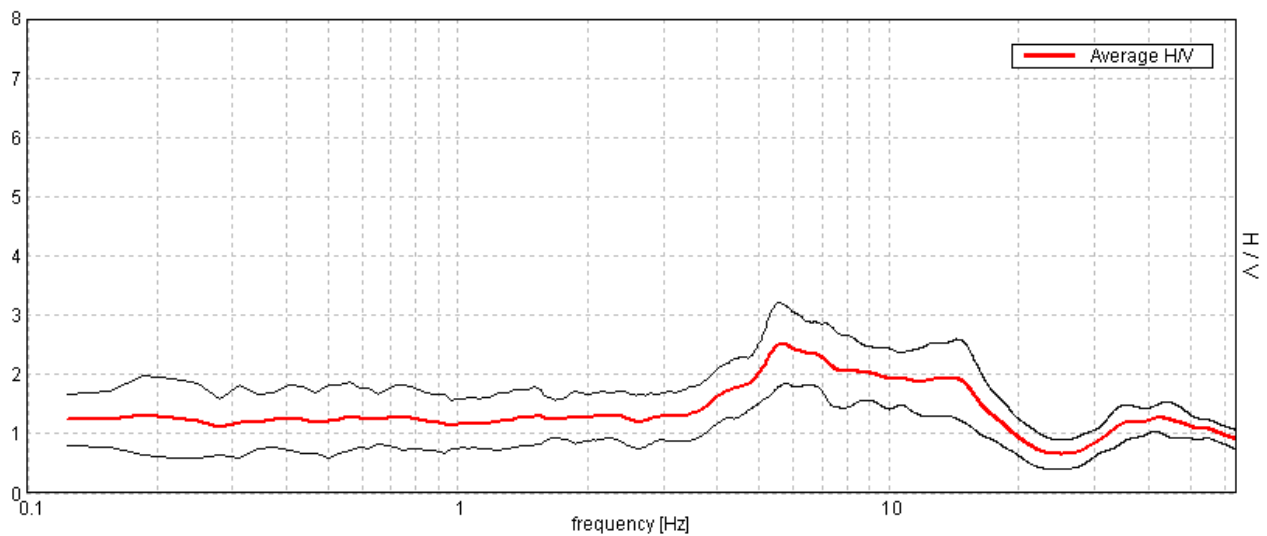
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

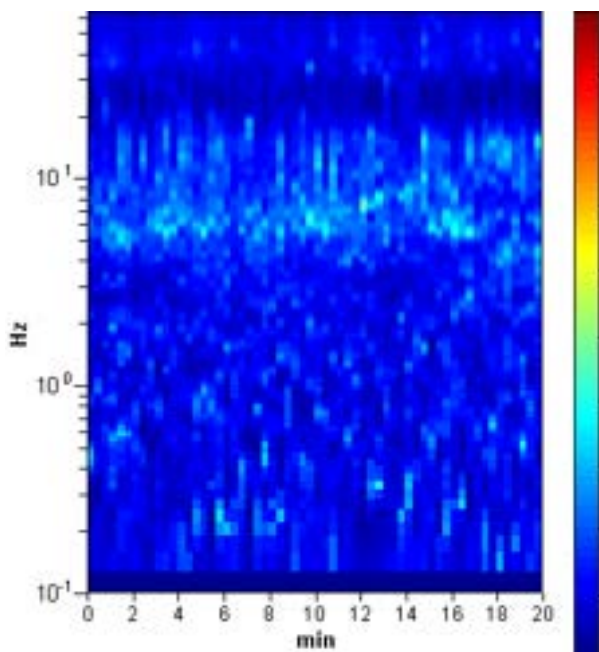
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

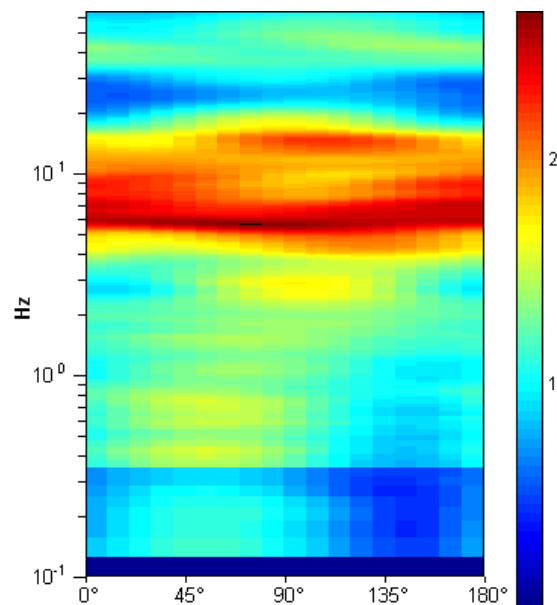
Max. H/V at  $5.63 \pm 0.25$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



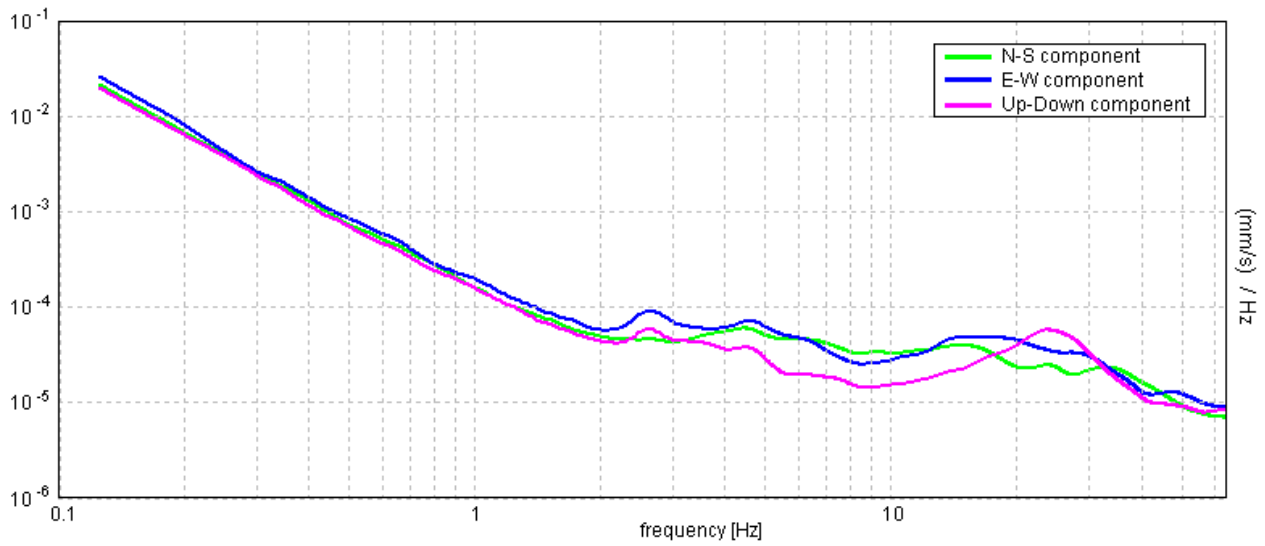
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

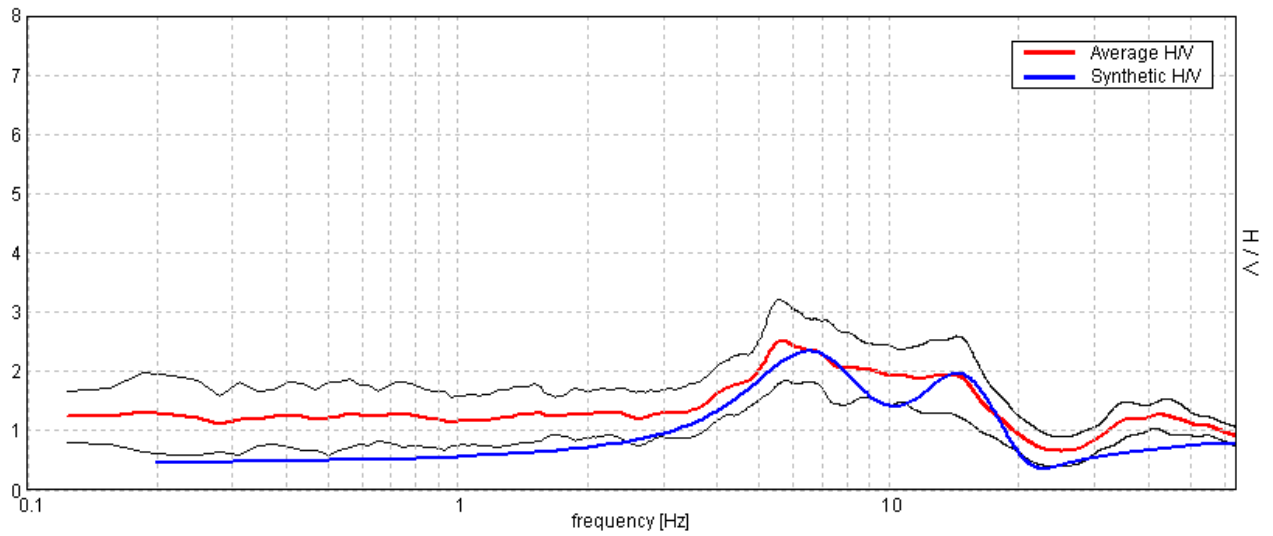


SINGLE COMPONENT SPECTRA



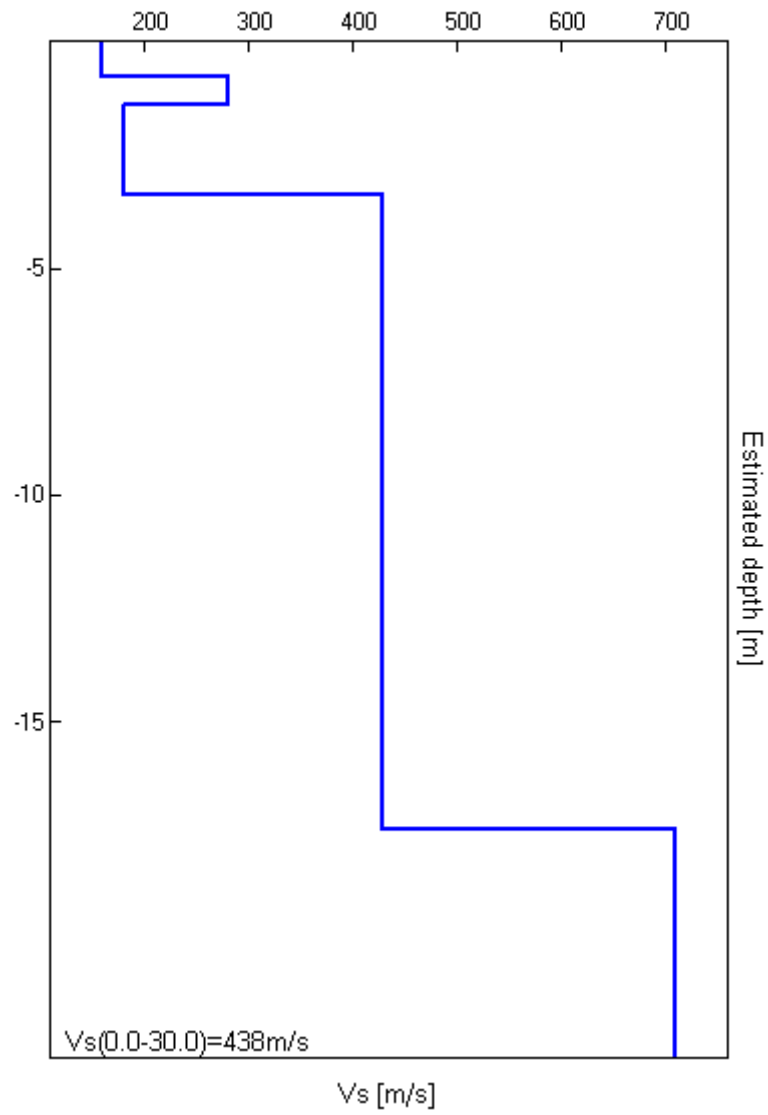
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $5.63 \pm 0.25$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.80	0.80	160	0.39
1.40	0.60	280	0.36
3.40	2.00	180	0.38
17.40	14.00	430	0.37
inf.	inf.	710	0.35

Vs(0.0-30.0)=438m/s





[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 5.63 ± 0.25 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	5.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6750.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 271 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.781 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	17.781 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.52 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02227  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12527 < 0.28125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3474 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE19

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 01/09/10 10:19:02      End recording: 01/09/10 10:39:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analysis performed on the entire trace.

Sampling frequency: 128 Hz

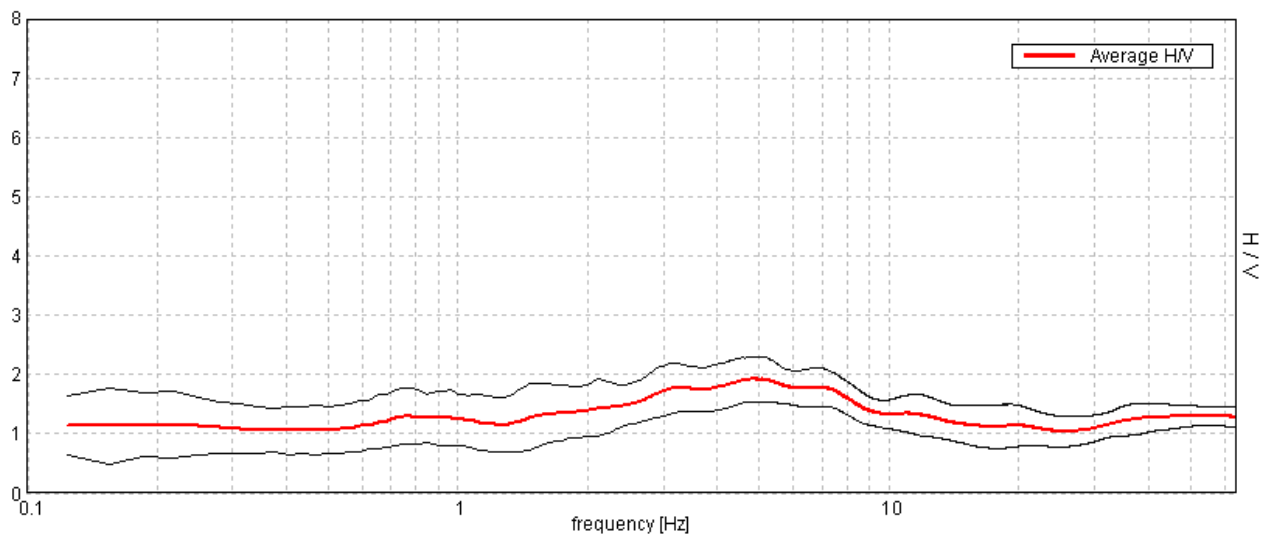
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

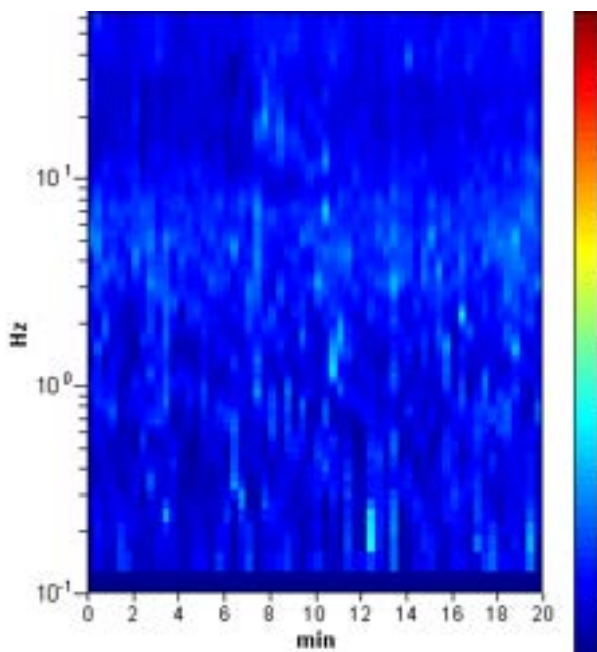
Smoothing: 19%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

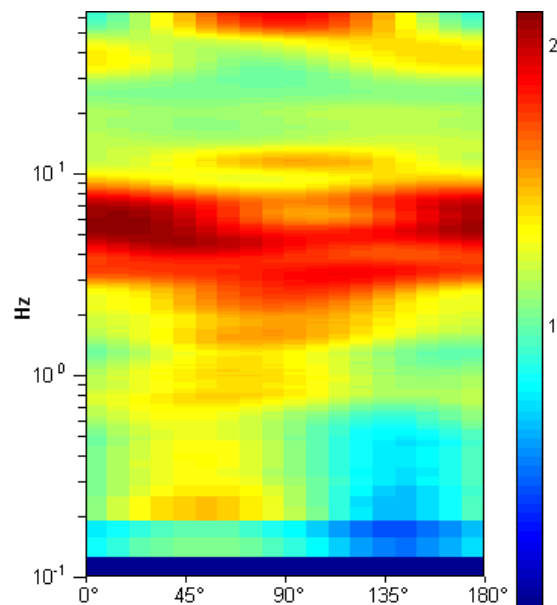
Max. H/V at  $4.88 \pm 0.05$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



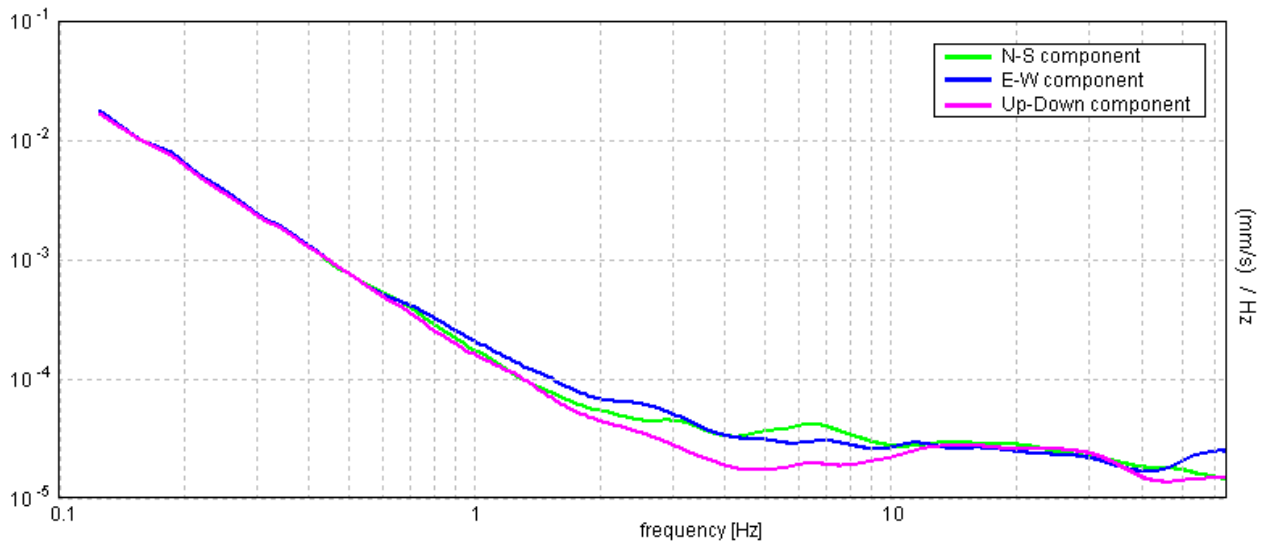
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

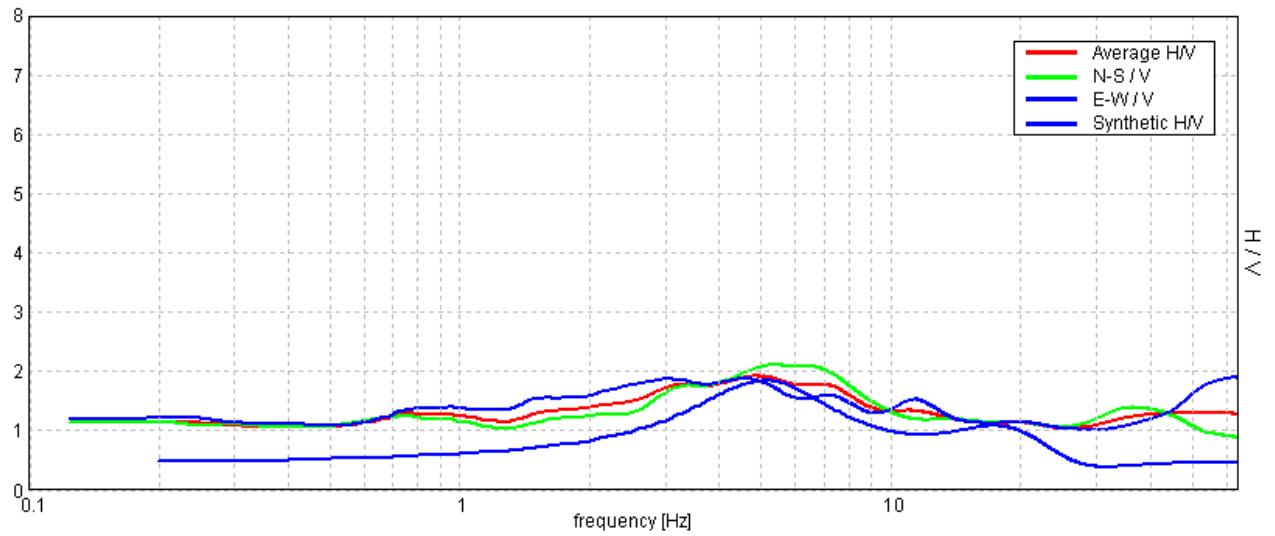


SINGLE COMPONENT SPECTRA



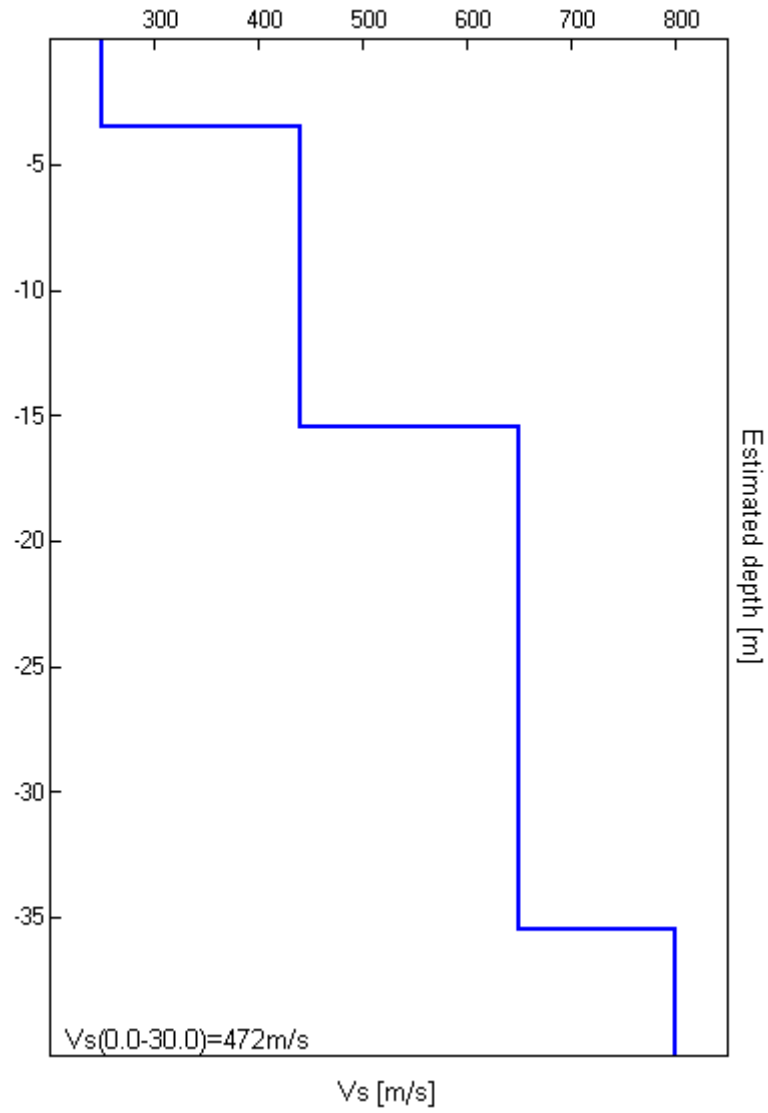
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $4.88 \pm 0.05$  Hz. Max.(N-S)/V:  $5.25 \pm 0.15$  Hz. Max.(E-W)/V:  $62.56 \pm 11.02$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.50	3.50	250	0.39
15.50	12.00	440	0.39
35.50	20.00	650	0.36
inf.	inf.	800	0.35

Vs(0.0-30.0)=472m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $4.88 \pm 0.05$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5850.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 235 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.92 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00491  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02395 < 0.24375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1879 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE21

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 01/09/10 10:19:02      End recording: 01/09/10 10:39:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 57% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

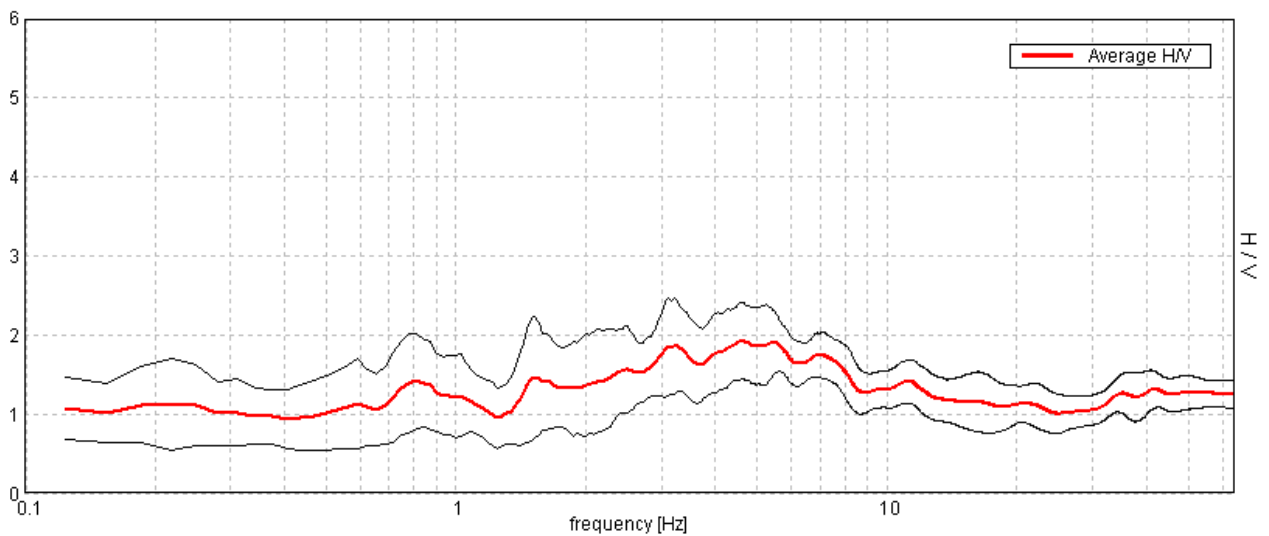
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

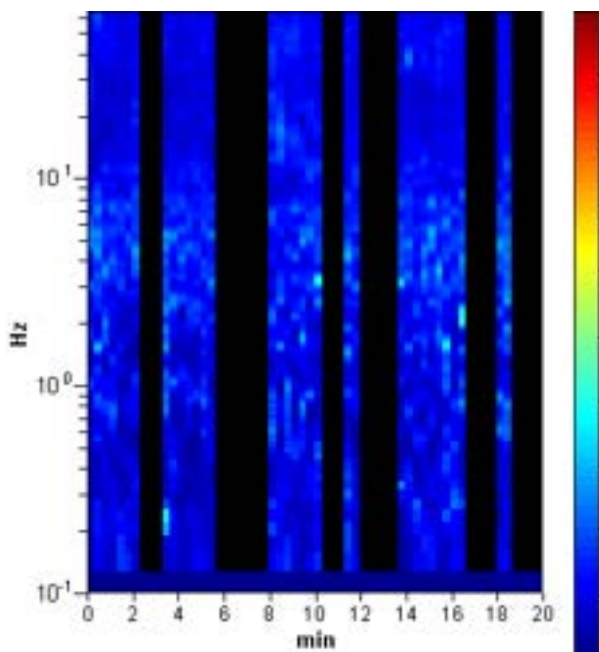
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

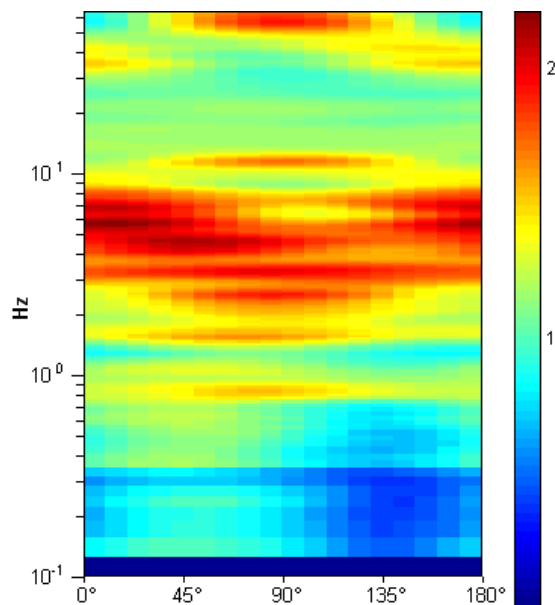
Max. H/V at  $4.59 \pm 0.26$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



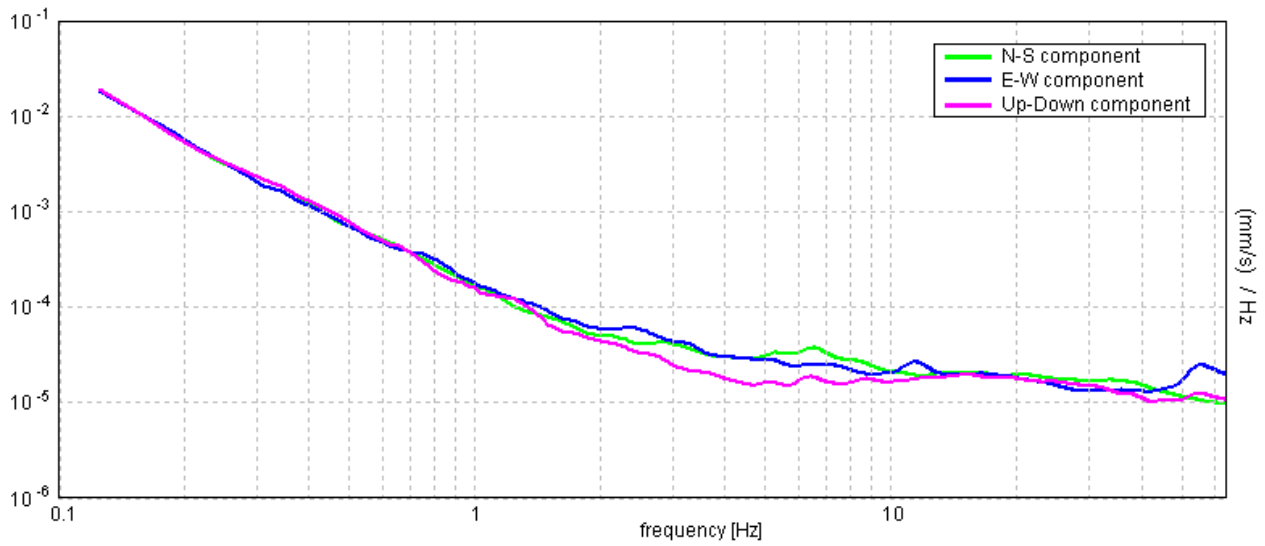
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

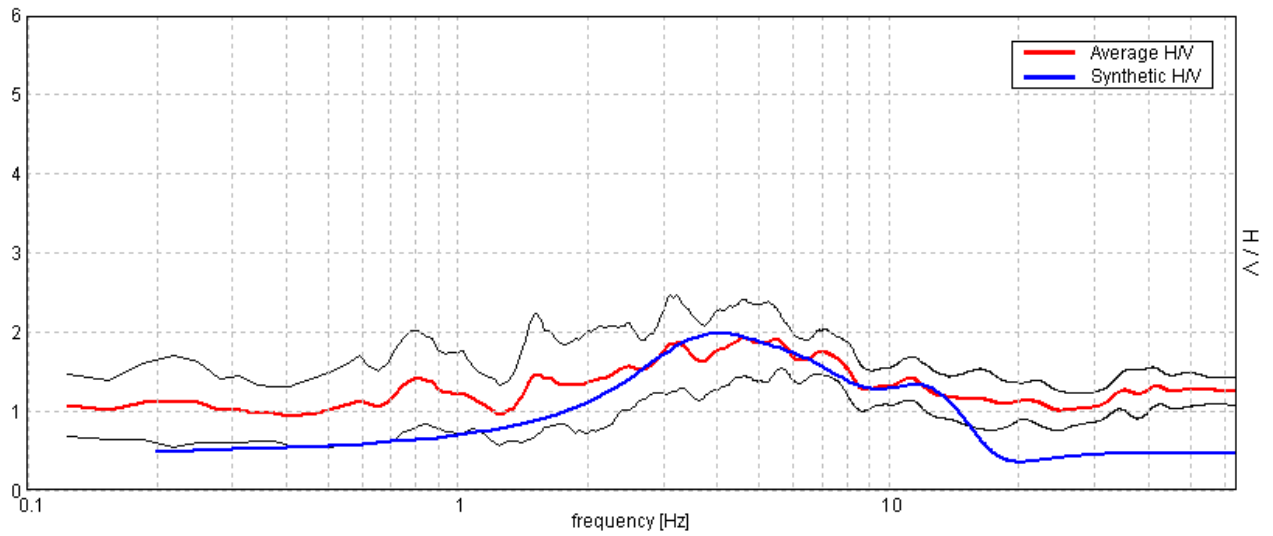


SINGLE COMPONENT SPECTRA



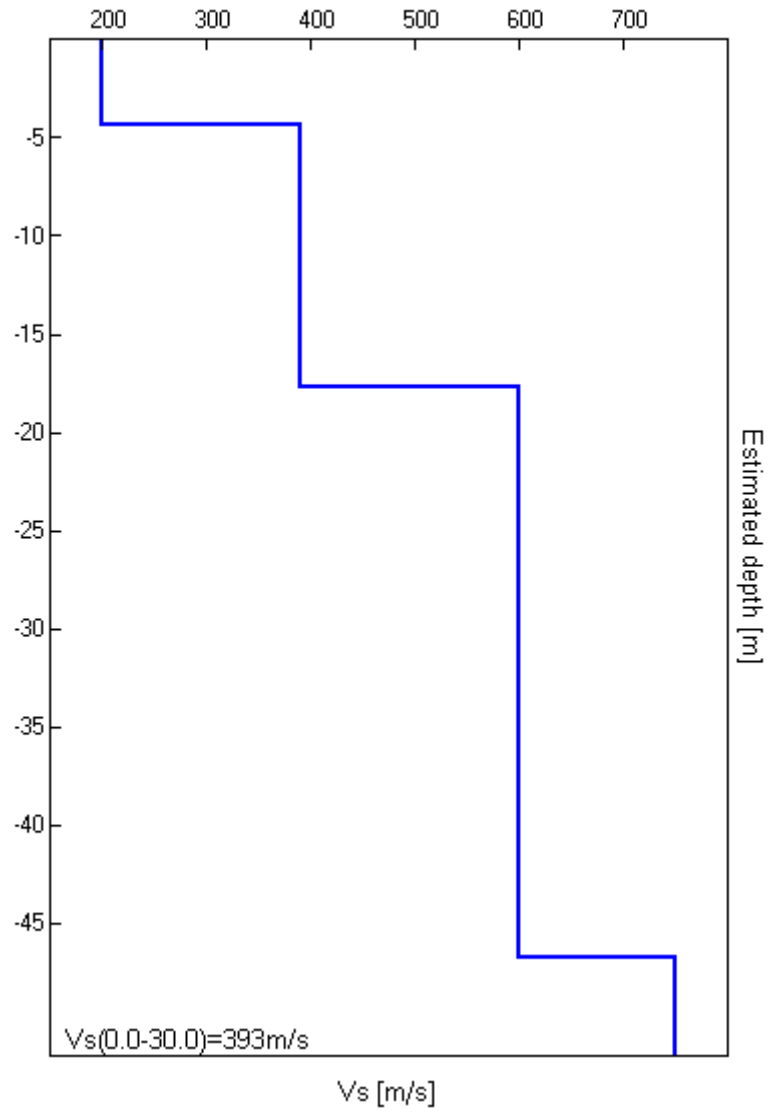
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $4.59 \pm 0.26$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
4.30	4.30	200	0.39
17.70	13.40	390	0.38
46.70	29.00	600	0.36
inf.	inf.	750	0.35

Vs(0.0-30.0)=393m/s





[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $4.59 \pm 0.26$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.59 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3123.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 222 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.25 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.93 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02757  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12665 < 0.22969$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2357 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE24

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 10:16:27      End recording: 07/09/10 10:36:28

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 75% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

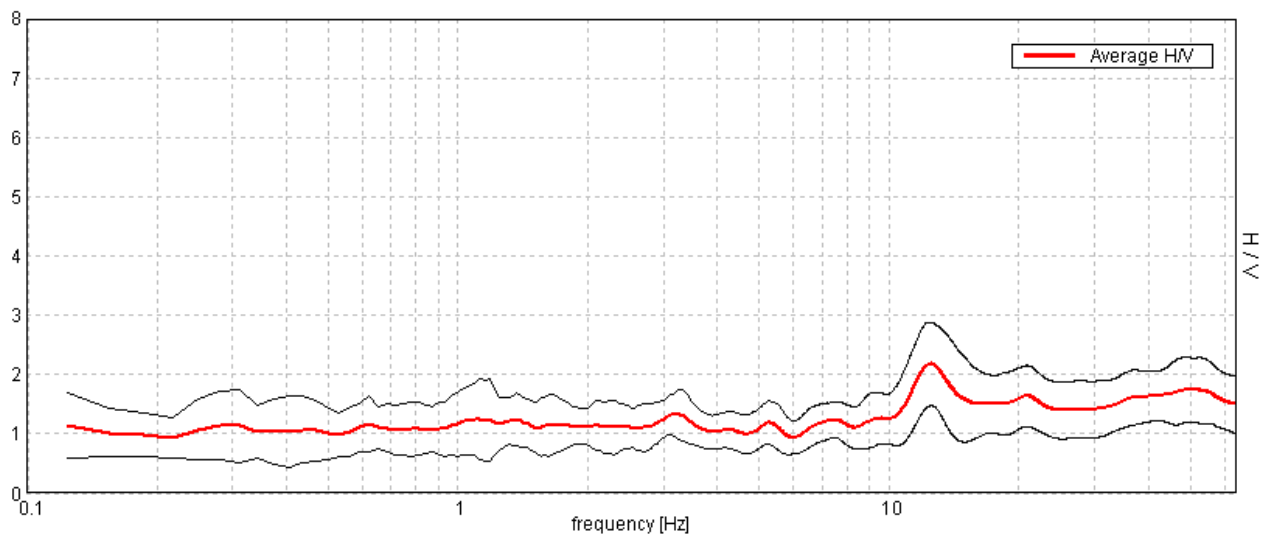
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

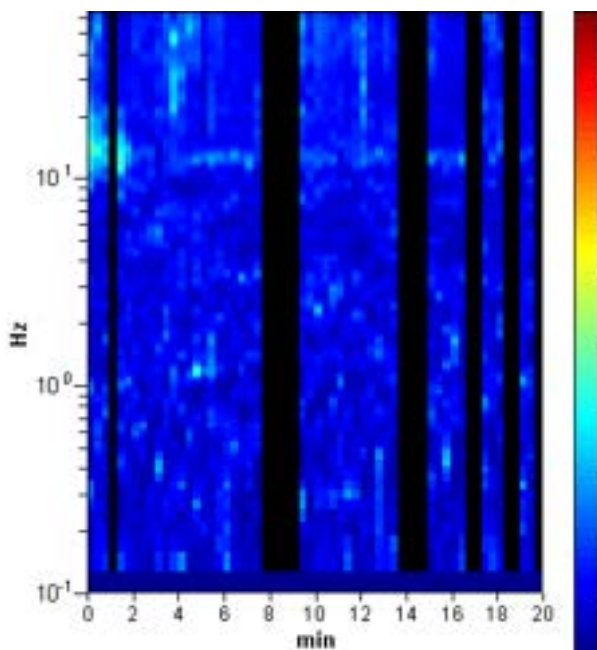
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

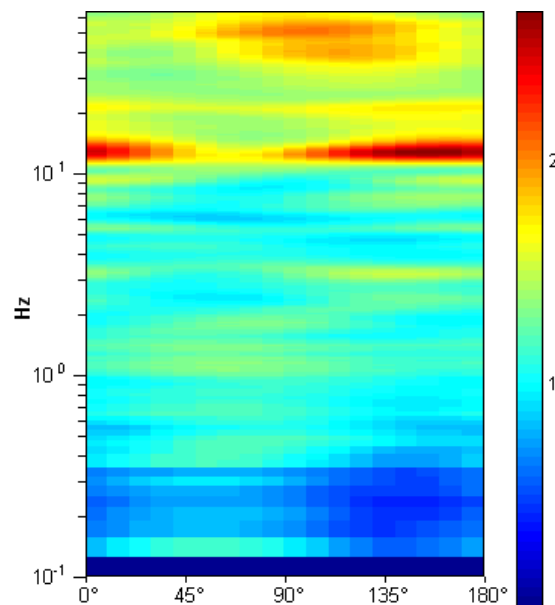
Max. H/V at  $12.47 \pm 0.17$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



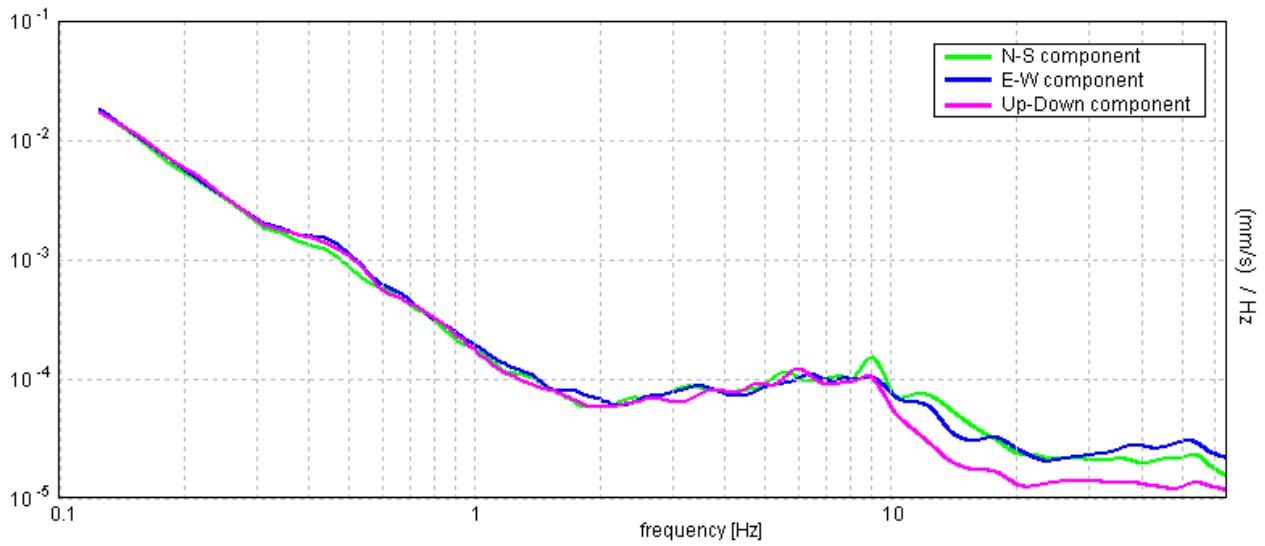
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

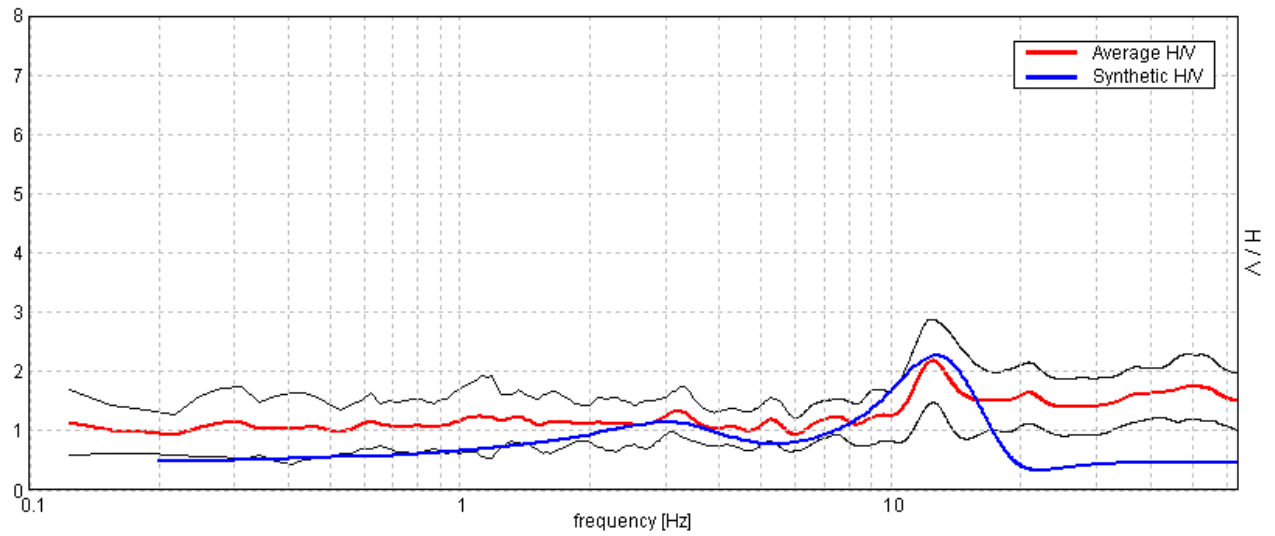


SINGLE COMPONENT SPECTRA



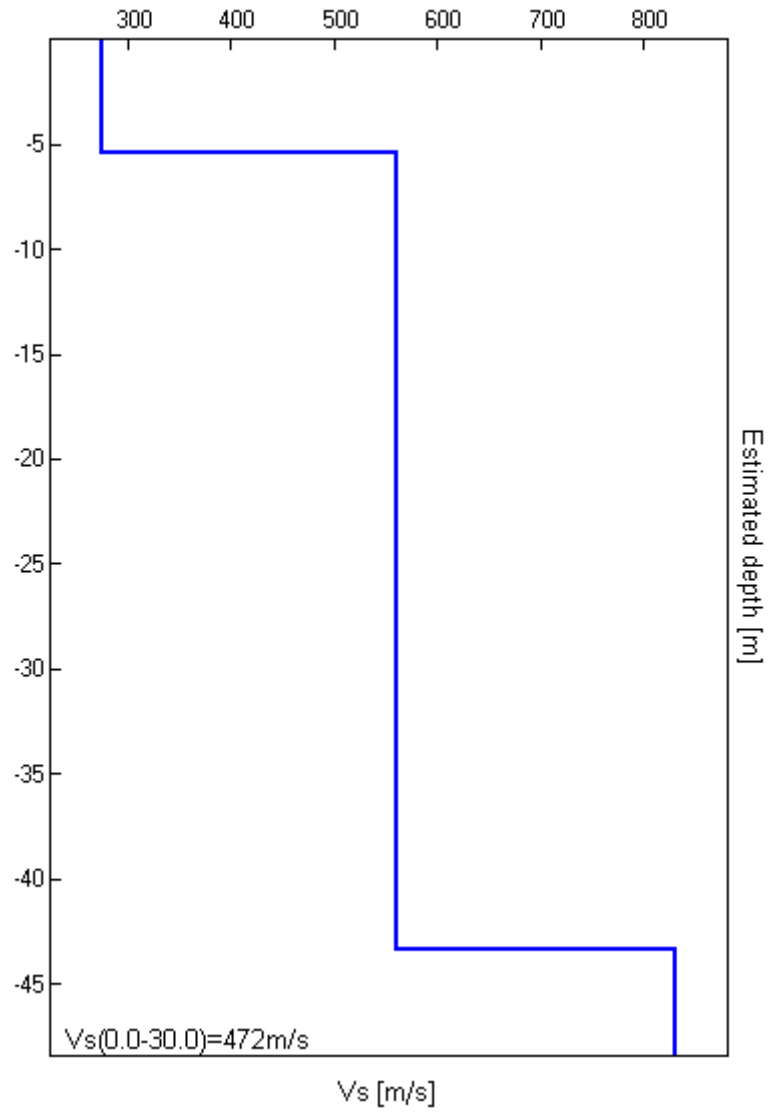
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $12.47 \pm 0.17$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
5.40	5.40	275	0.39
43.40	38.00	560	0.37
inf.	inf.	830	0.35

Vs(0.0-30.0)=472m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the Grilla manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 12.47 ± 0.17 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	12.47 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	11221.9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 600 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.5 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.18 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00674  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.08398 < 0.62344$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.345 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE25

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 11:01:36      End recording: 07/09/10 11:21:37

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 70% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

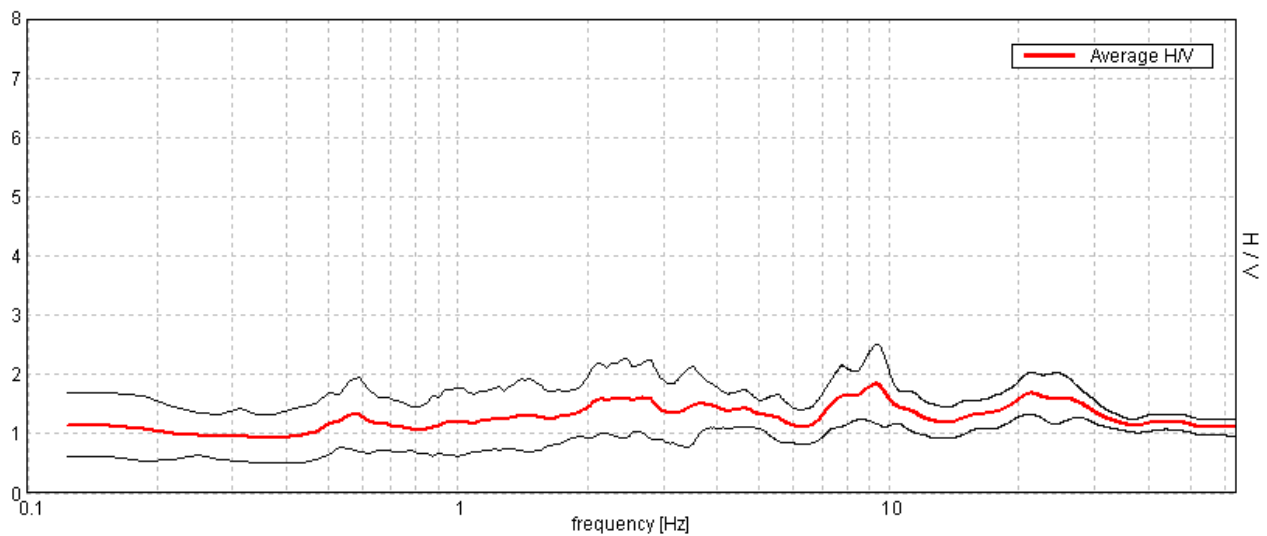
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

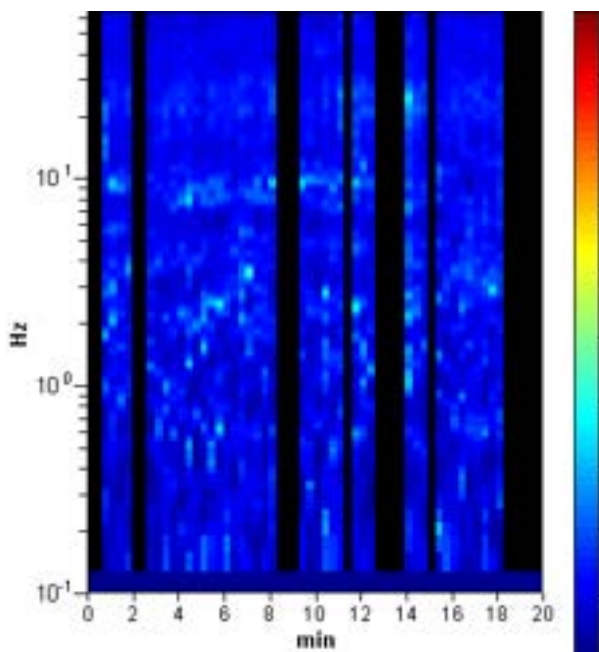
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

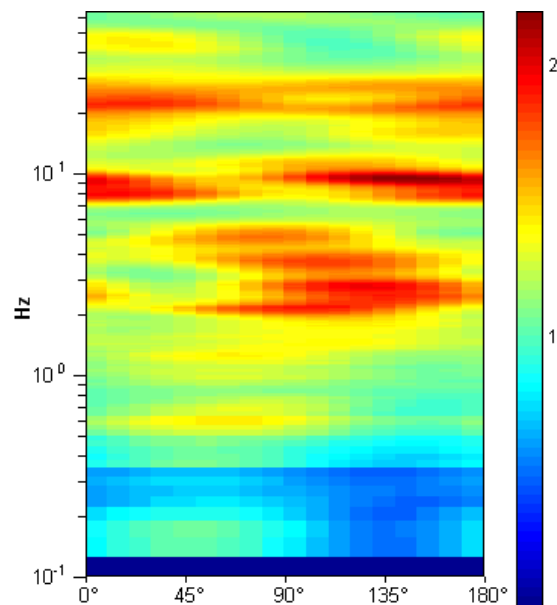
Max. H/V at  $9.31 \pm 0.38$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



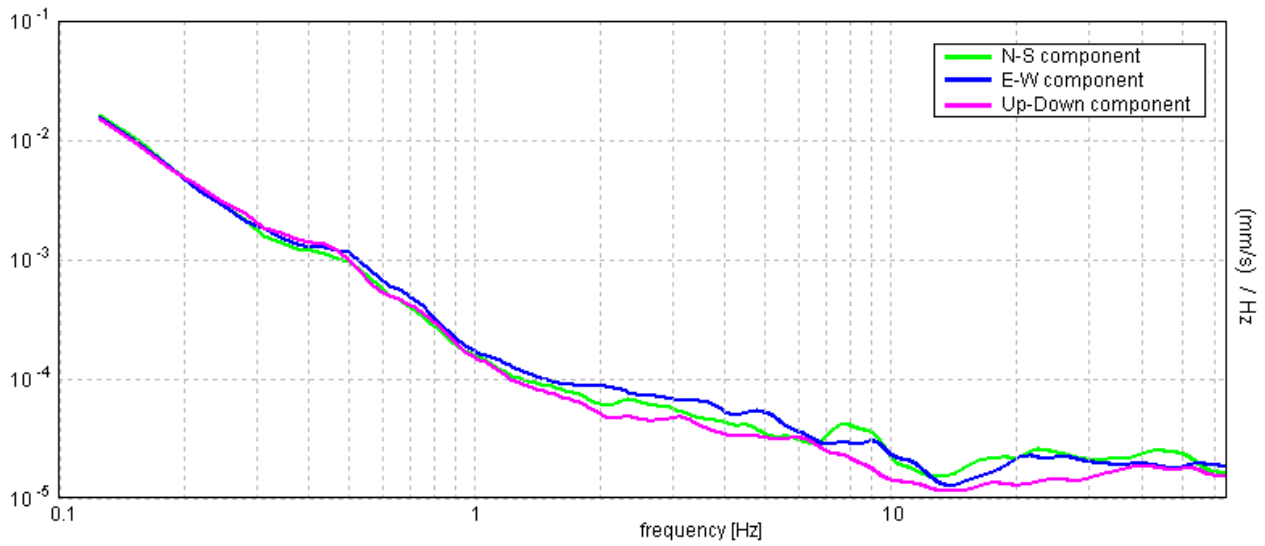
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

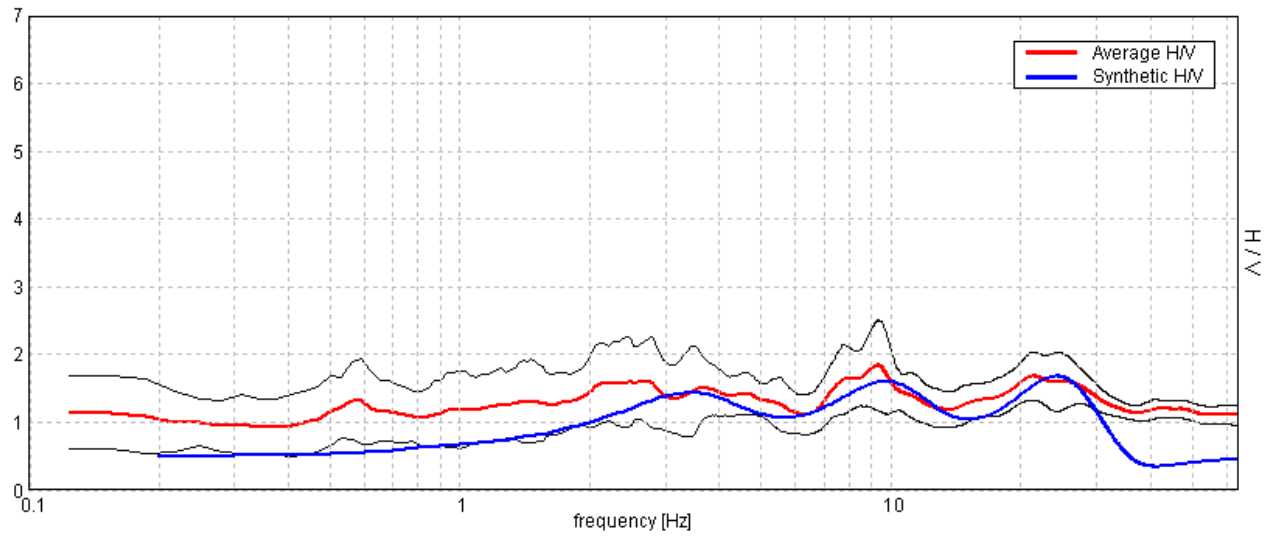


SINGLE COMPONENT SPECTRA



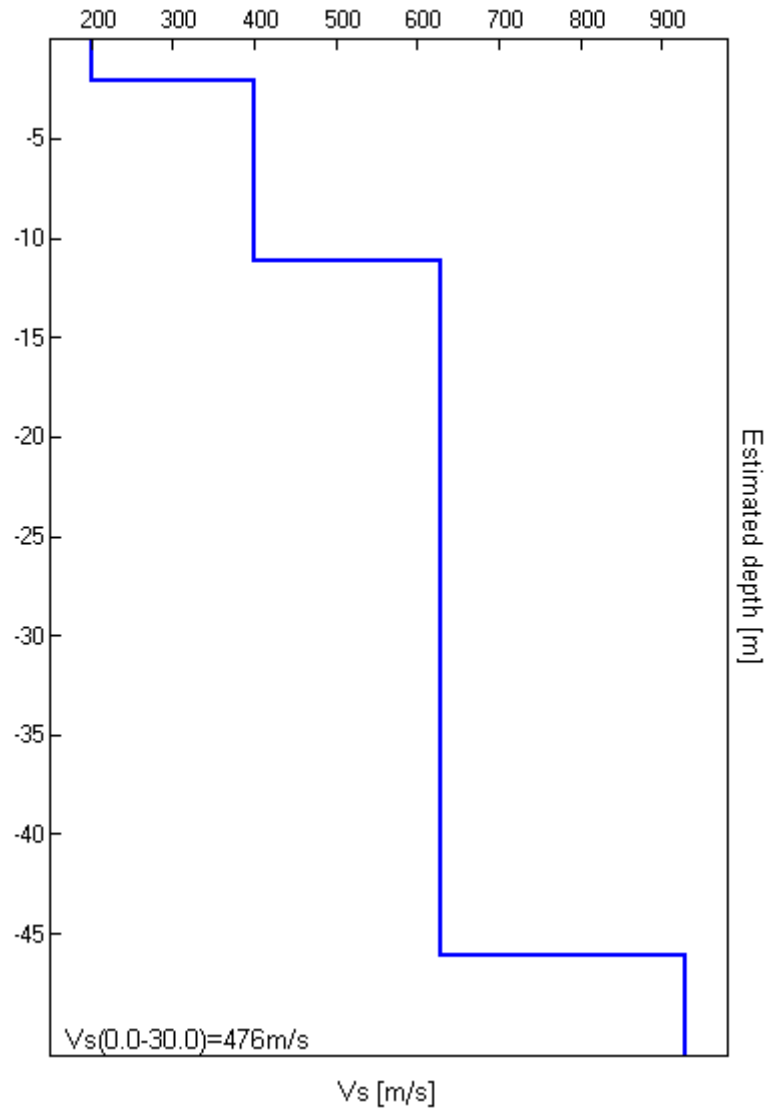
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 9.31 ± 0.38 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.10	2.10	200	0.39
11.10	9.00	400	0.37
46.10	35.00	630	0.36
inf.	inf.	930	0.35

Vs(0.0-30.0)=476m/s





[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 9.31 ± 0.38 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable HVSR curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	9.31 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	7822.5 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 448 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear HVSR peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
$A_0 > 2$	1.84 > 2		<b>NO</b>
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01981  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1845 < 0.46563	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3265 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE26

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 11:44:23      End recording: 07/09/10 12:04:24

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analysis performed on the entire trace.

Sampling frequency: 128 Hz

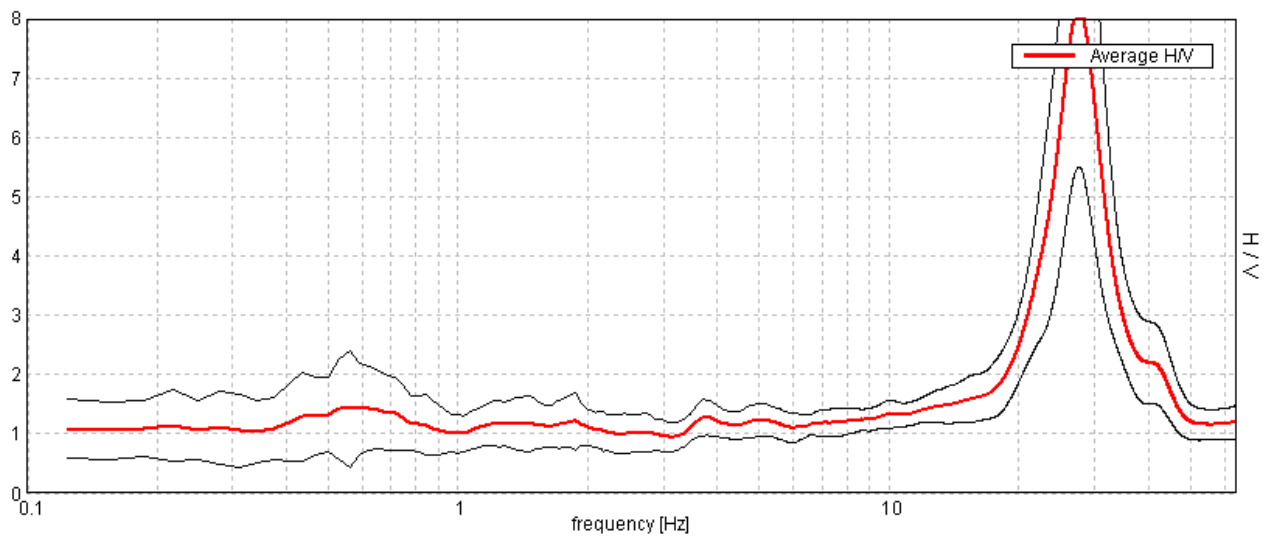
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

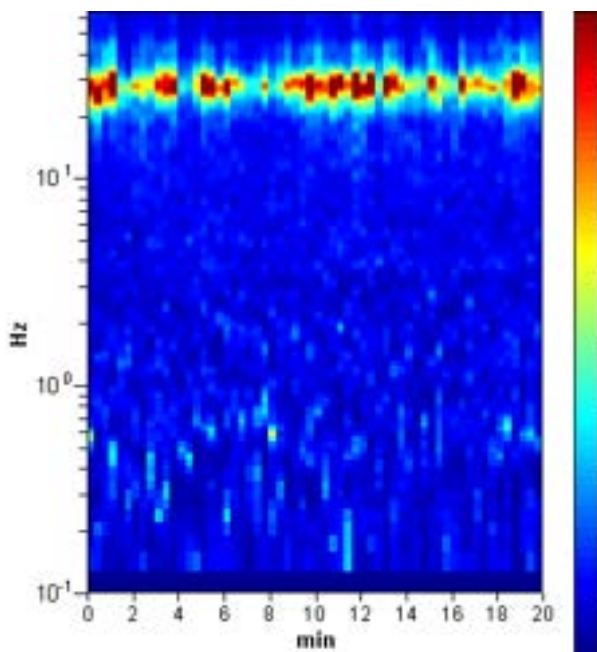
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

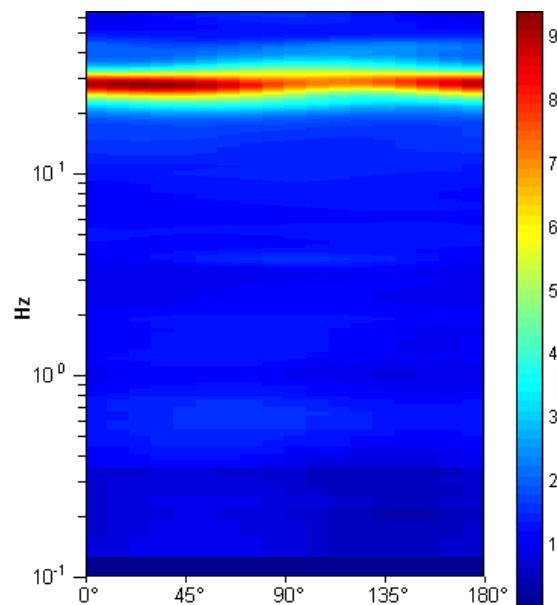
Max. H/V at  $27.5 \pm 0.11$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



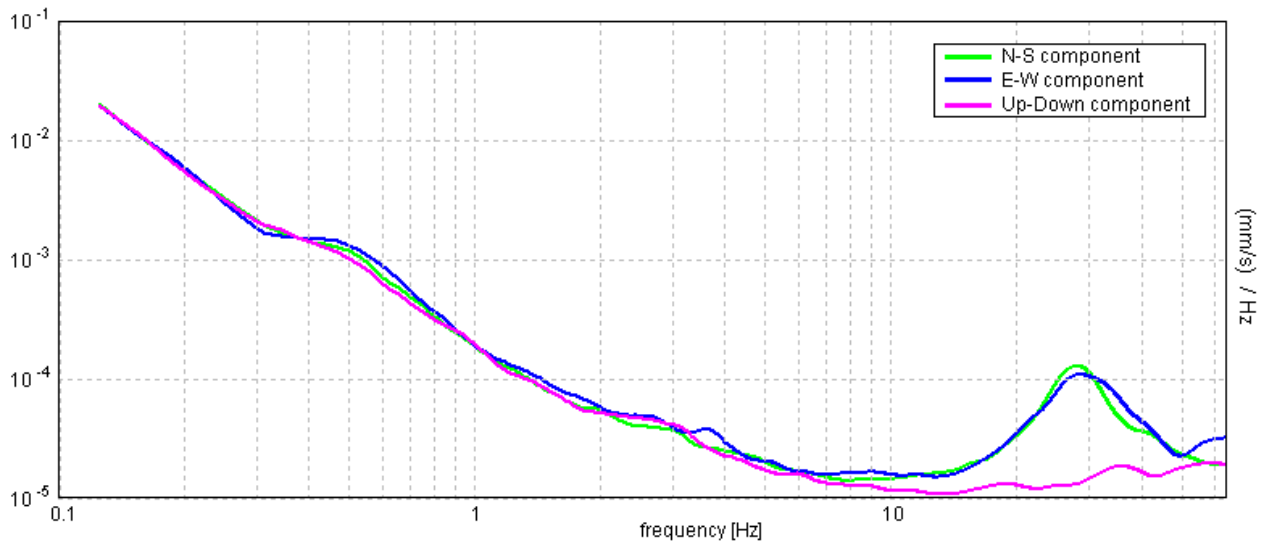
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

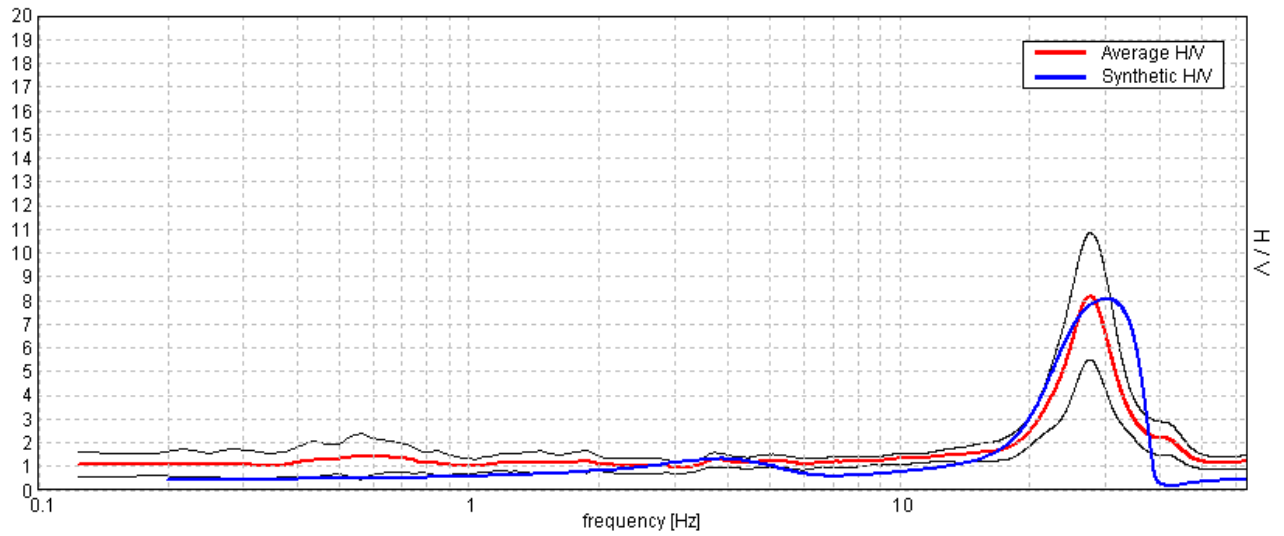


SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

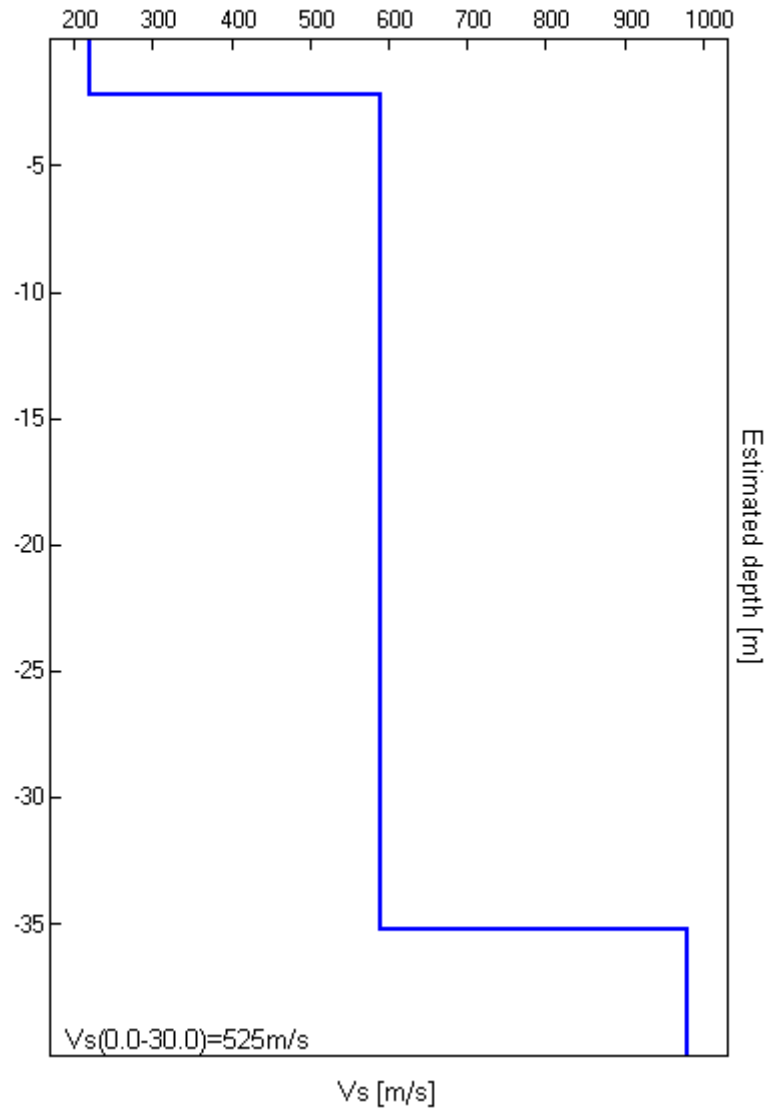
Max. H/V at 27.5 ± 0.11 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.20	2.20	220	0.38
35.20	33.00	590	0.35
inf.	inf.	980	0.45

Vs(0.0-30.0)=525m/s





[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $27.5 \pm 0.11$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$27.50 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$33000.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 224 out of 1321 times		NO

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	22.688 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	32.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$8.17 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0019  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05217 < 1.375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.3222 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE30

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 15:03:47      End recording: 07/09/10 15:23:48

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 35% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

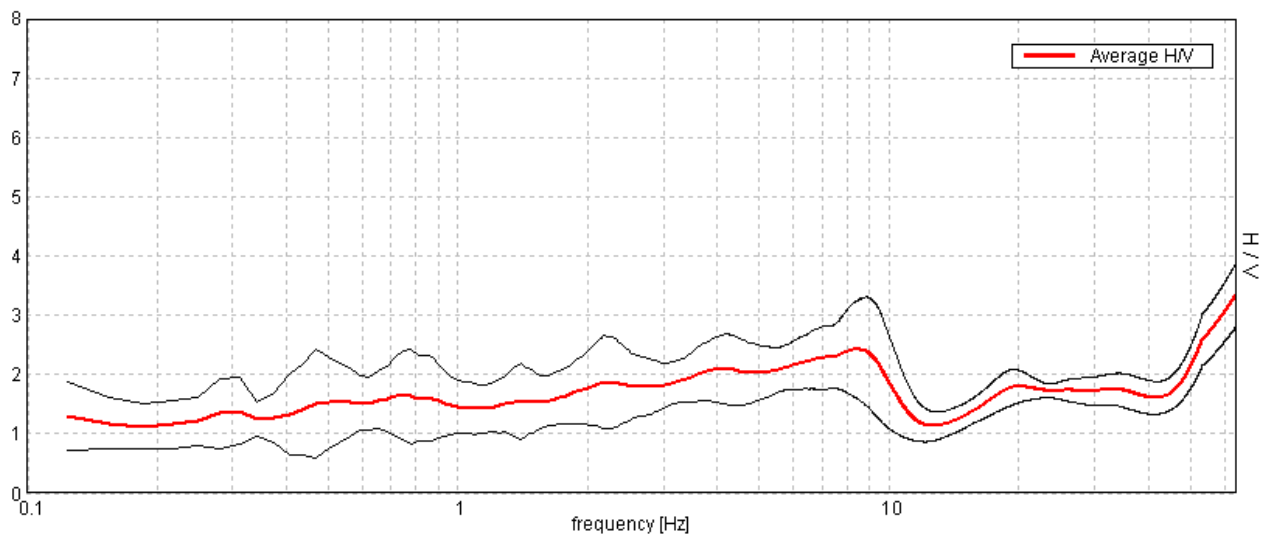
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

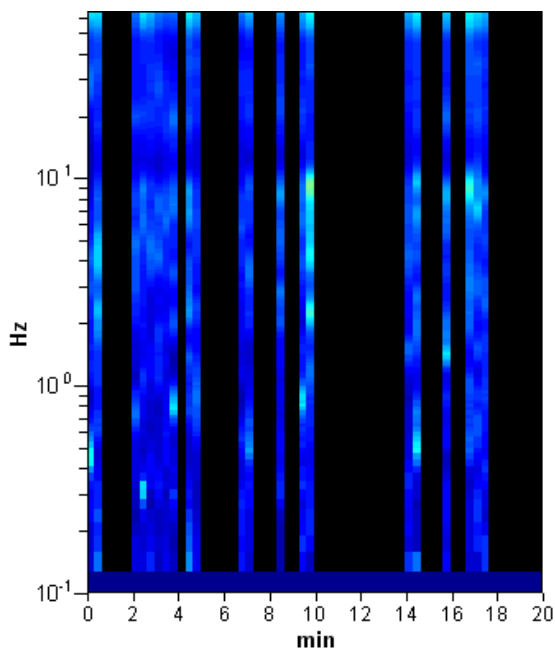
Smoothing: 20%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

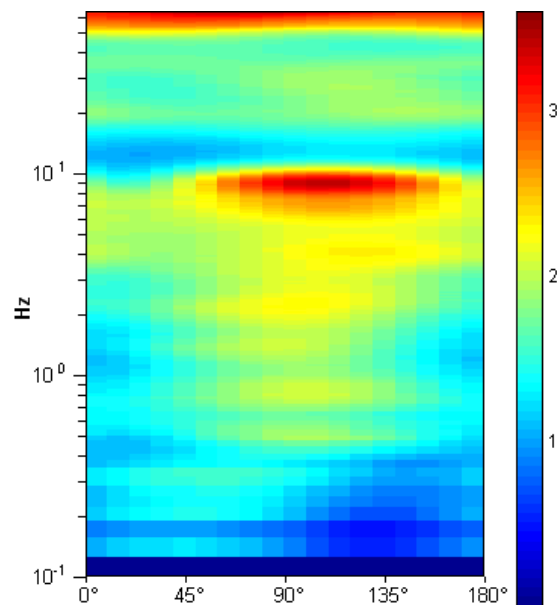
Max. H/V at  $63.97 \pm 0.0$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



### H/V TIME HISTORY

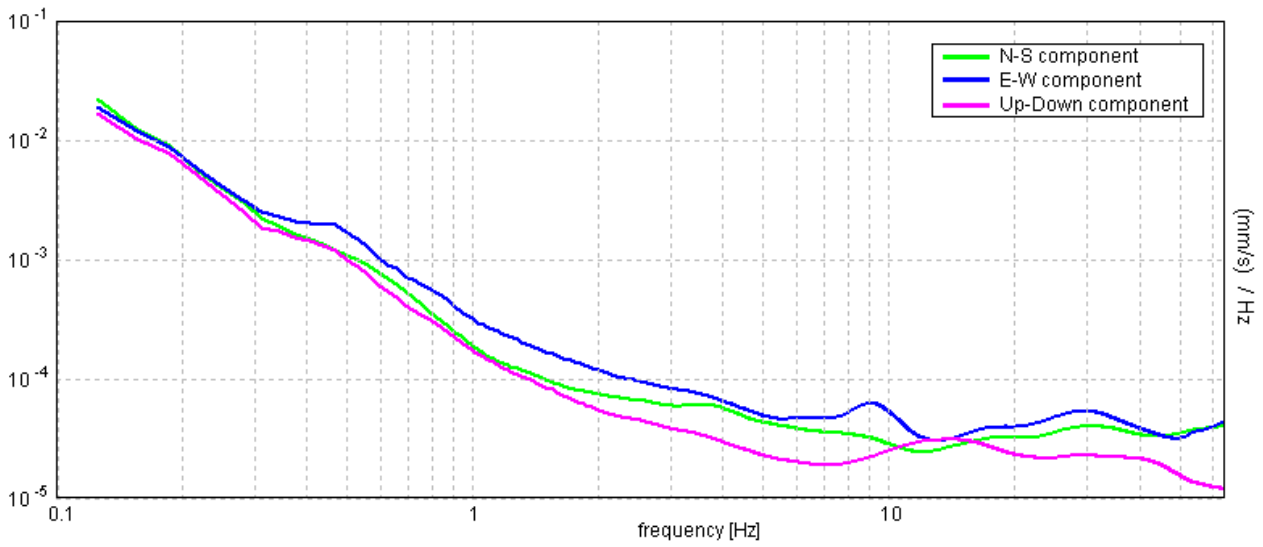


### DIRECTIONAL H/V



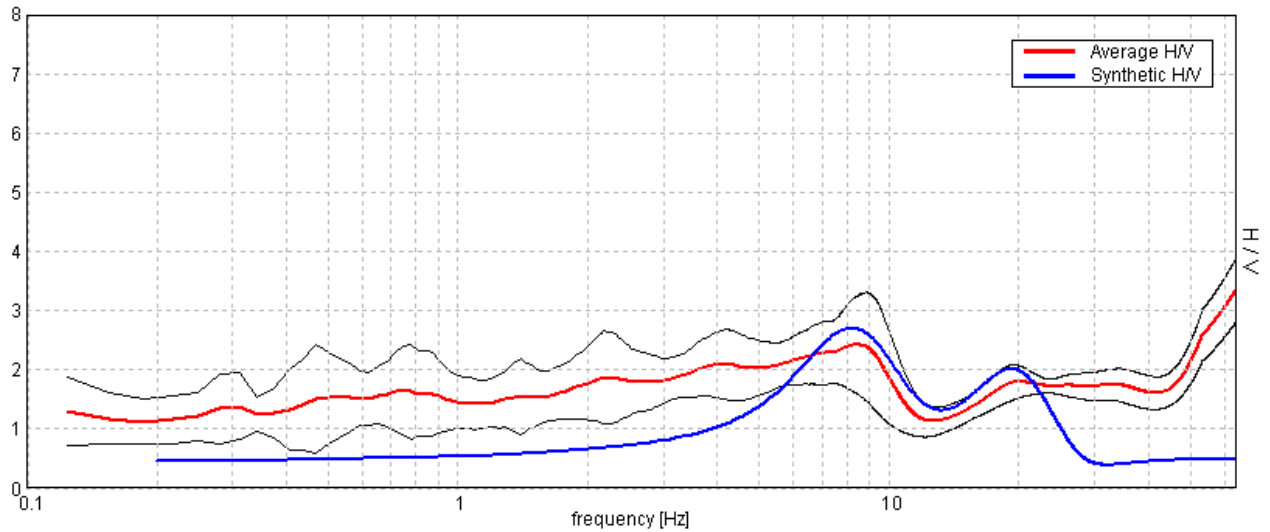


SINGLE COMPONENT SPECTRA



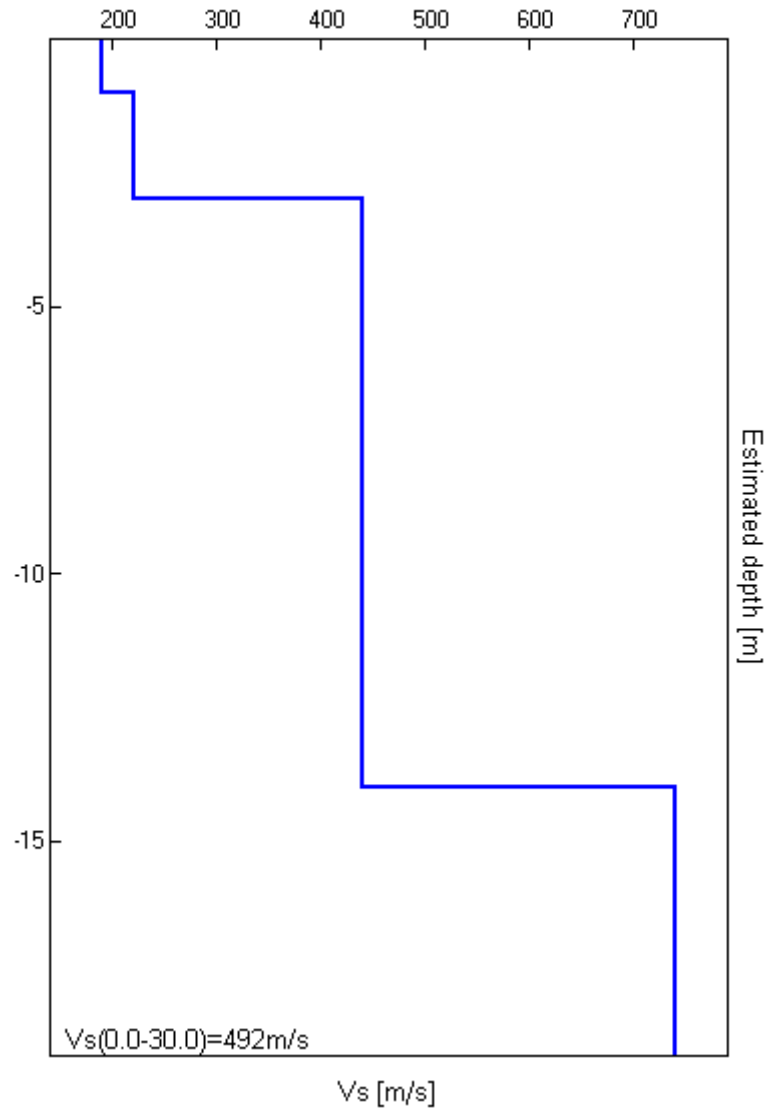
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $63.97 \pm 0.0$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	190	0.39
3.00	2.00	220	0.38
14.00	11.00	440	0.37
inf.	inf.	740	0.35

Vs(0.0-30.0)=492m/s



[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 63.97 ± 0.0 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	63.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	26866.9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1026 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	44.844 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.35 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.0  < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.0 < 3.19844	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.252 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20



## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE33

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 07/09/10 15:35:23      End recording: 07/09/10 15:55:24

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y- ; X+ X- ; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 73% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

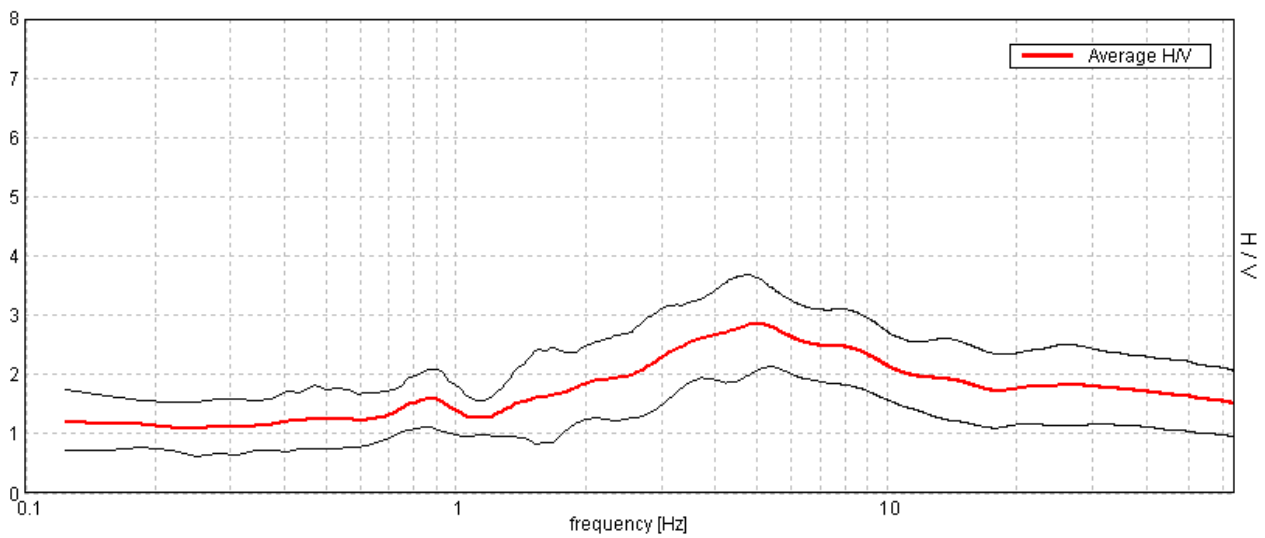
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

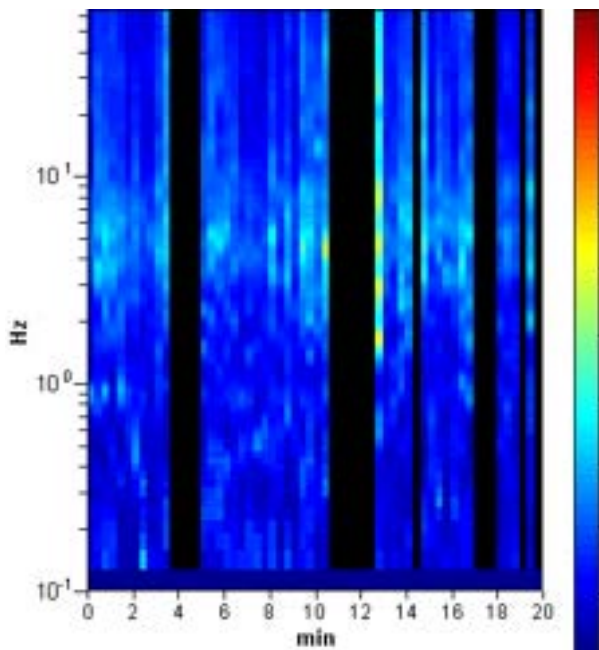
Smoothing: 20%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

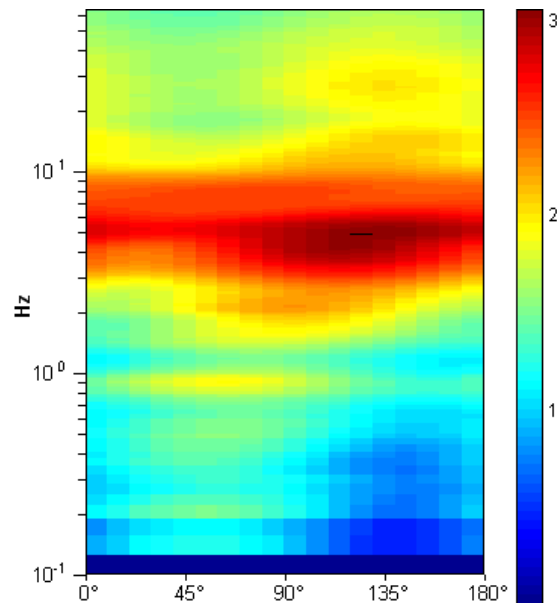
Max. H/V at  $5.0 \pm 0.21$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



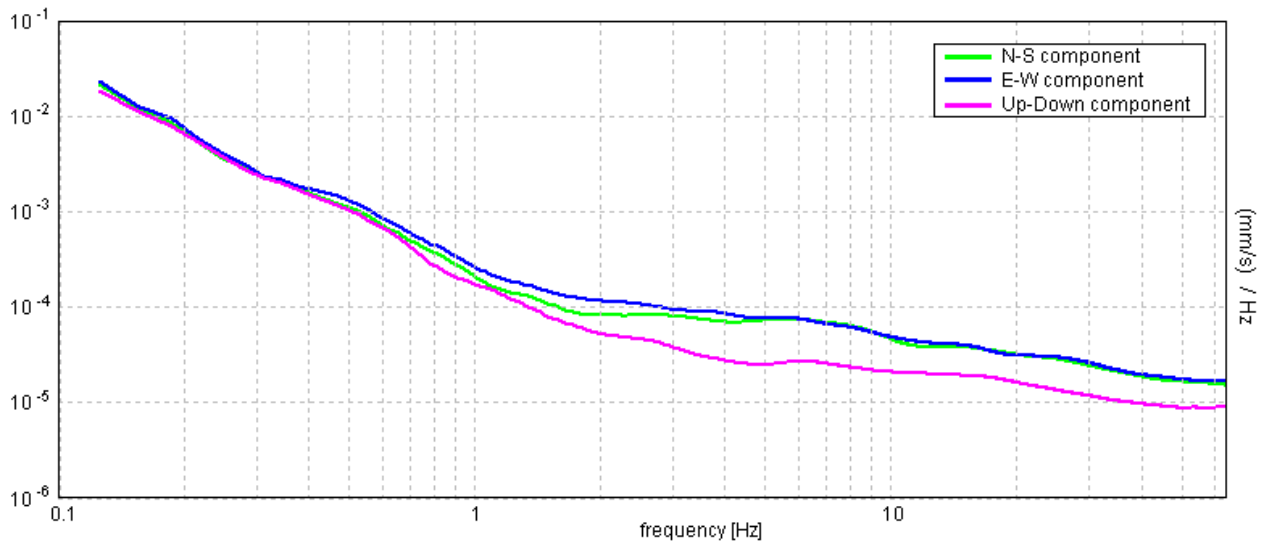
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

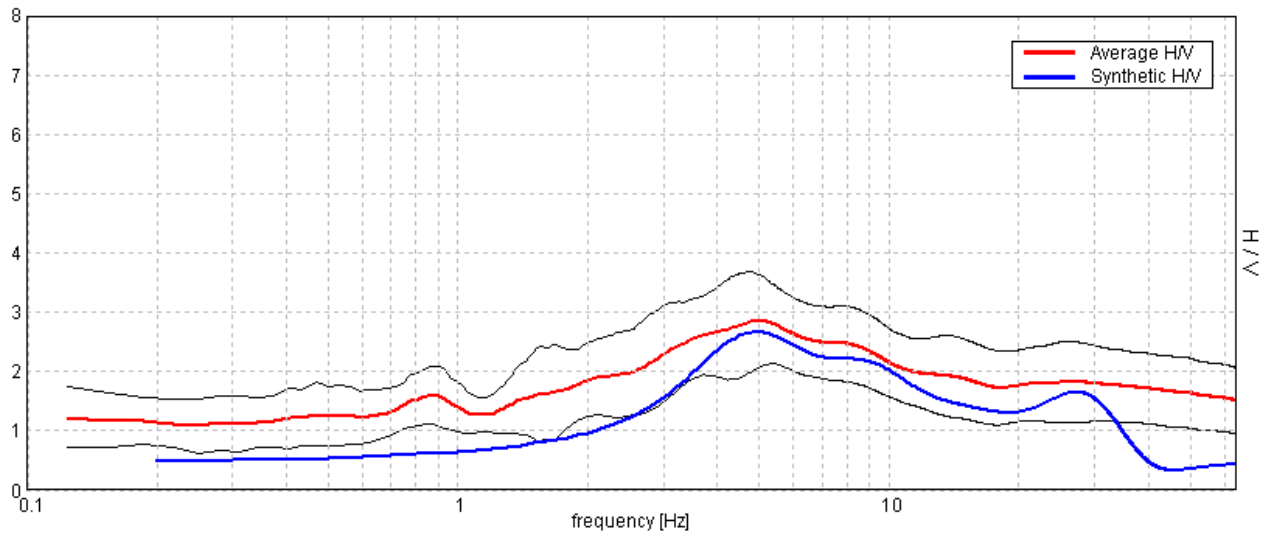


SINGLE COMPONENT SPECTRA



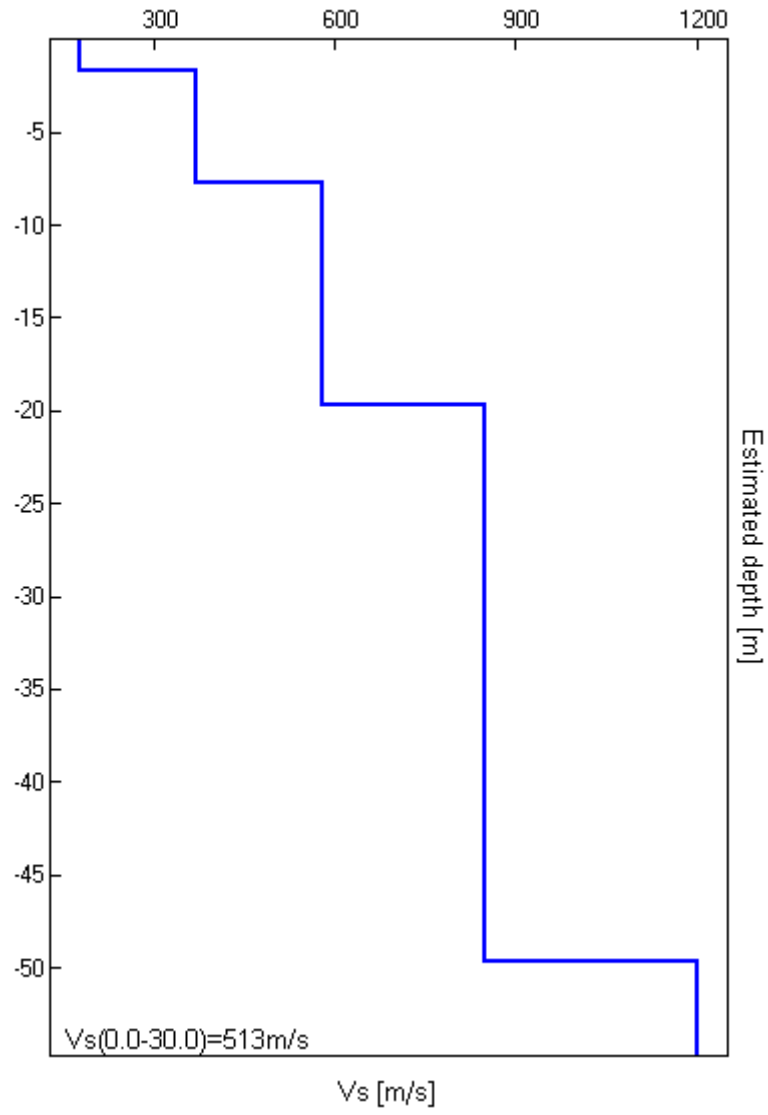
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 5.0 ± 0.21 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.70	1.70	180	0.39
7.70	6.00	370	0.37
19.70	12.00	580	0.37
49.70	30.00	850	0.36
inf.	inf.	1200	0.33

Vs(0.0-30.0)=513m/s





[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 5.0 ± 0.21 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable HVSR curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	5.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4400.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 241 times	OK	

**Criteria for a clear HVSR peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.313 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.85 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02072  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.10362 < 0.25	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3839 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

## PARCO EOLICO LOC. TRE VESCOVI, AE03

Instrument: TEP-0039/01-09

Start recording: 10/08/10 14:37:53      End recording: 10/08/10 14:57:54

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; Y+ Y-; X+ X-; Z+ Z-  
GPS data not available

Trace length: 0h20'00".      Analyzed 77% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

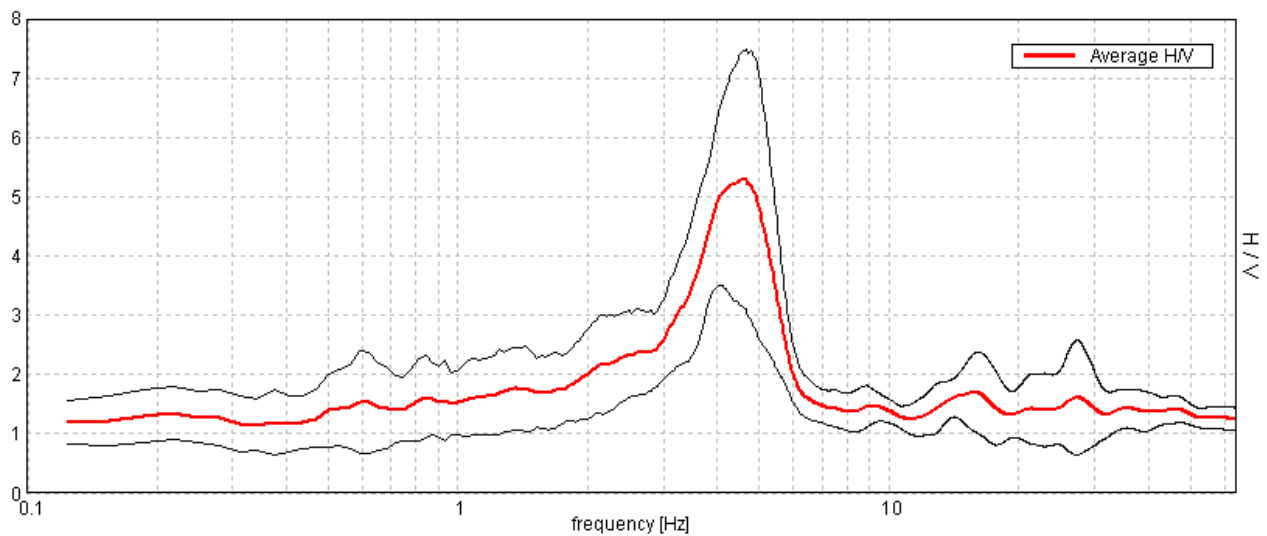
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

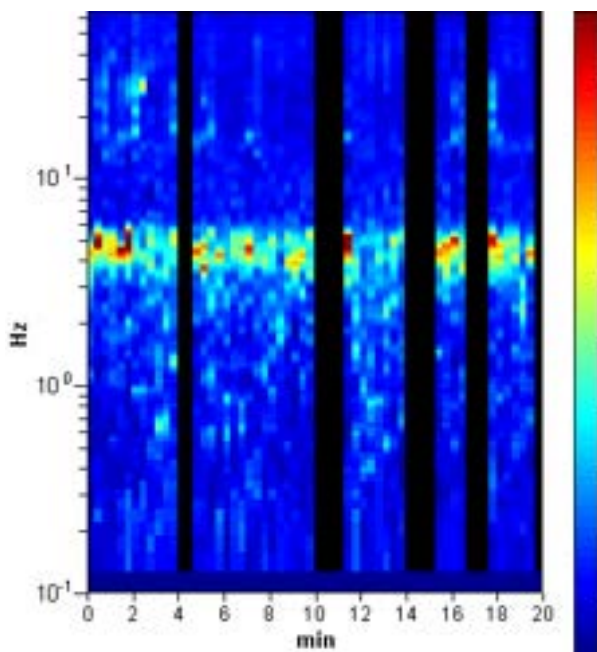
Smoothing: 10%

### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

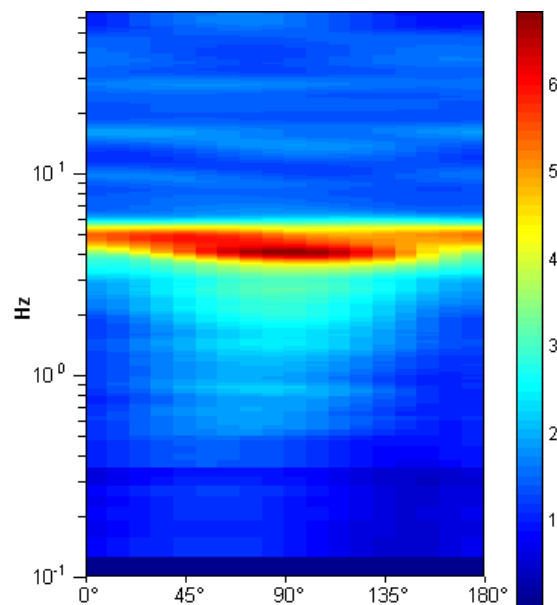
Max. H/V at  $4.56 \pm 0.02$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



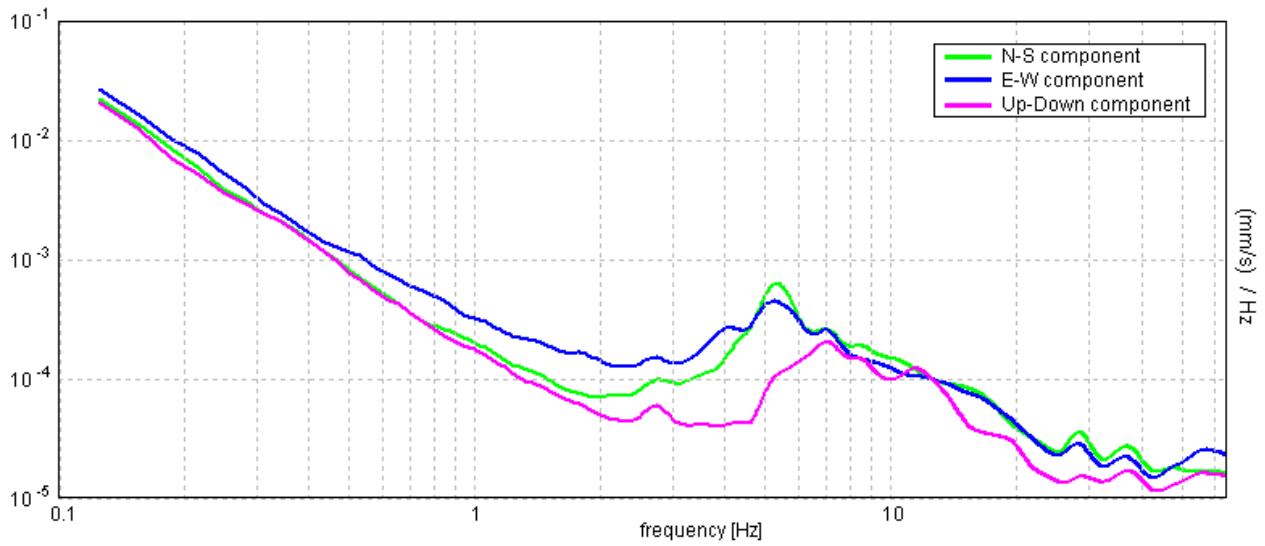
### H/V TIME HISTORY



### DIRECTIONAL H/V

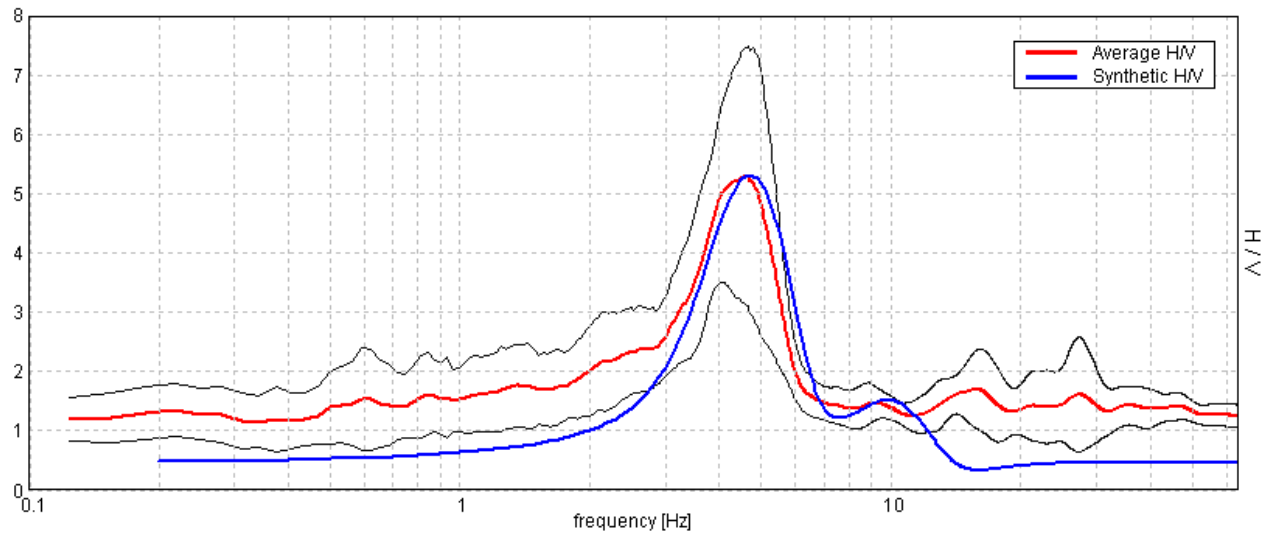


SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

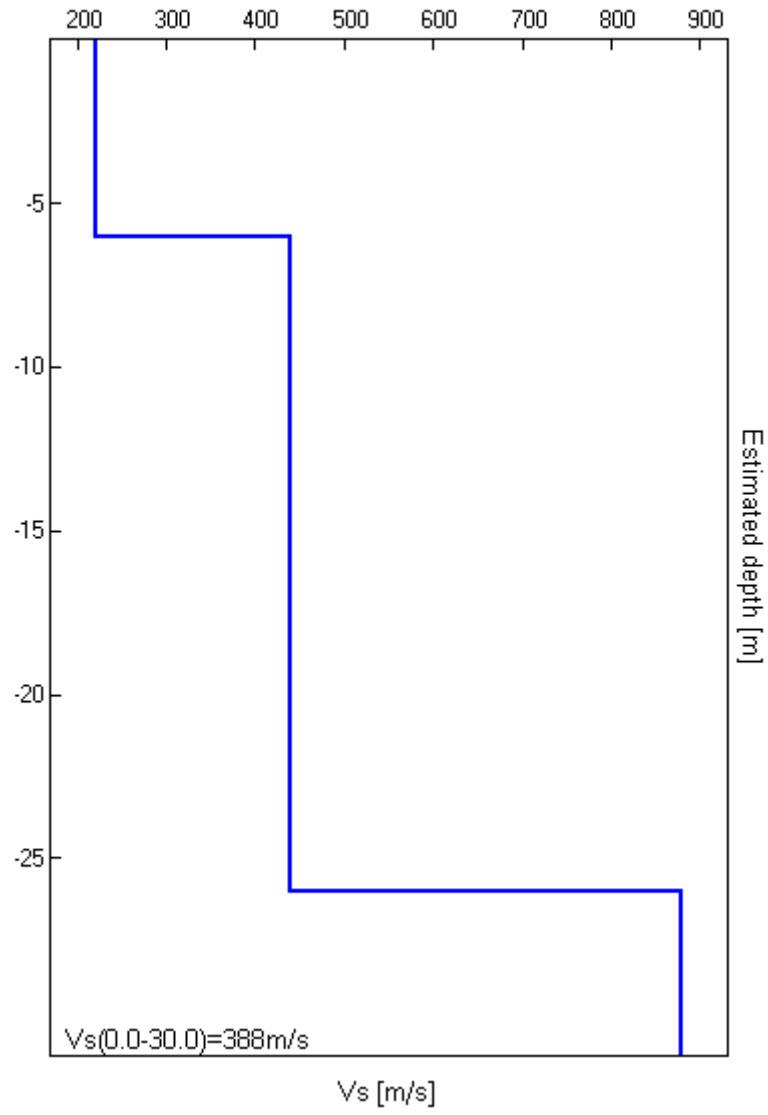
Max. H/V at 4.56 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
6.00	6.00	220	0.39
26.00	20.00	440	0.37
inf.	inf.	880	0.35

Vs(0.0-30.0)=388m/s





[According to the Sesame, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 4.56 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable HVSR curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	4.56 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4197.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 23 out of 220 times		NO
<b>Criteria for a clear HVSR peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	3.031 Hz	OK	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	5.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.30 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.0019  < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.00867 < 0.22813	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.0529 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.2 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# **RELAZIONE SPECIALISTICA PROSPEZIONI SISMICHE**

**2016**



# GEOITALIA S.R.L.

Via F. Tamagno, 7  
20124 Milano (MI)

## INDAGINI DI FATTIBILITA' PER CAMPO EOLICO IN LOCALITA' POGGIO TRE VESCOVI



## INDAGINI GEOFISICHE RELAZIONE TECNICA

Data: Settembre 2016

Archivio 1737/2016

1737 - Relazione tecnica.doc

Impresa esecutrice:



**PROGEO S.r.l.**

Via Talete 10/8  
47100 Forlì  
tel. +39 0543 723580  
fax. +39 0543 721486  
mail. [progeo@gmail.com](mailto:progeo@gmail.com)  
[www.progeo.info](http://www.progeo.info)



Il Direttore Tecnico per l'impresa:



Società certificata con sistema di Qualità UNI EN ISO 9001 - 2008 n° 2619-A

## INDICE

<b>1.</b>	<b><u>INDICAZIONI GENERALI</u></b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b><u>PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA</u></b>	<b>8</b>
<b>2.1.</b>	<b>MODALITA' OPERATIVE</b>	<b>8</b>
<b>2.2.</b>	<b>ELABORAZIONE DATI</b>	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b><u>PROVE GEOFISICHE SUPERFICIALI ATTIVE DI TIPO M.A.S.W.</u></b>	<b>16</b>
<b>4.</b>	<b><u>RISULTANZE</u></b>	<b>21</b>
<b>4.1.</b>	<b>ANALISI DEI DATI</b>	<b>21</b>



# **GEOITALIA S.R.L.**

**Via F.Tamagno, 7  
20124 Milano (MI)**

## **INDAGINI GEOFISICHE DI FATTIBILITA' PER CAMPO EOLICO**

### **INDAGINI GEOFISICHE**

#### **1. INDICAZIONI GENERALI**

Su incarico del committente, GEOITALIA S.R.L., è stata eseguita, in data 13-14-15 Settembre 2016, una campagna di indagini geofisiche nell'area interessata da studio di fattibilità per un impianto eolico in località Poggio tre Vescovi.

Lo studio geofisico commissionato ha utilizzato una tecnologia la geosismica con lo scopo di fornire indicazioni relativamente alle caratteristiche deformative ed alle geometrie degli orizzonti litologici del sottosuolo.

L'indagine geosismica si è sviluppata effettuando n° 15 sezioni sismiche tomografiche ad onde di compressione (P) e su ognuna di queste è stata realizzata una sezione M.A.S.W per ottenere le Vs dei suoli indagati.

Le sezioni sismiche realizzate sono le seguenti:

Sezione L1, 72 stazioni, lunghezza dello stendimento	182.50 m.
Sezione L2, 48 stazioni, lunghezza dello stendimento	120.00 m.
Sezione L3, 24 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.
Sezione L4, 24 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.
Sezione L5, 72 stazioni, lunghezza dello stendimento	180.00 m.
Sezione L6, 60 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.
Sezione L7, 72 stazioni, lunghezza dello stendimento	180.00 m.
Sezione L8, 72 stazioni, lunghezza dello stendimento	182.50 m.
Sezione L9, 24 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.
Sezione L10, 24 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.
Sezione L11, 24 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.
Sezione L12, 24 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.
Sezione L13, 24 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.
Sezione L14, 24 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.
Sezione L15, 24 stazioni, lunghezza dello stendimento	57.50 m.



Il totale delle indagini sismiche eseguite nel sito sono di 1420.00 m di sezioni ad onde di compressione (P) con spaziatura intergeofonica di 2,5 m e shot ogni 3 stazioni e 15 sezioni M.A.S.W. realizzate sovrapposte alle 15 sezioni realizzato a tomografia ad onde di compressione.

Tutte le indagini eseguite nel sito d'indagine sono state rilevate topograficamente con un GPS differenziale Trimble.

In coda alla relazione in fig. 1, 2 e 3 sono riportate le planimetrie delle indagini, nelle figure da 4 a 48 le varie sezioni sismiche elaborate in velocità delle onde di compressione espresse in km/sec e delle indagini MASW.

### **Immagine dei alcuni siti indagati e dell'attività di acquisizione dati geosismici.**



Particolare dello stendimento sismico L 2



Particolare dello stendimento sismico L 5 con acquisizione passiva H/V



Particolare dello stendimento sismico L 7





Particolare dello stendimento sismico L 8 con particolare della stazione fissa GPS Trimble



Particolare dello stendimento M.A.S.W. L 10 con particolare della stazione mobile GPS Trimble





Particolare dello stendimento M.A.S.W. L 15



Particolare della stazione fissa GPS Trimble

## 2. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA

### 2.1. MODALITA' OPERATIVE

#### 2.1.1. Generalità

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) e vari punti di ricezione (geofoni) disposti sulla superficie topografica.

L'analisi della velocità di propagazione delle onde elastiche longitudinali ( $V_p$ ) nel sottosuolo, ottenuta conoscendo la distanza shot-ricevitore ed il relativo tempo di arrivo dell'impulso sismico (velocità=spazio/tempo), consente di rilevare in sintesi le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, poiché i valori di  $V_p$  sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi percorsi.

L'elaborazione dei dati e le relative rappresentazioni cartografiche sono state effettuate secondo le disposizioni della Committenza, tramite tecnica analitica tomografica.

L'analisi tomografica, nella quale cioè il sottosuolo della sezione sismica viene suddiviso in minime celle analitiche, ha consentito rispetto ad analisi standard per rifrattori (ad esempio G.R.M., Generalized Reciprocal Method -Palmer 1980-) un'elaborazione più di dettaglio in termini di velocità dell'intero ammasso, permettendo di distinguere mediante rappresentazioni a countour line di isovelocità anche intorno minimi con caratteristiche differenziate per variazioni di consistenza, grado di alterazione, petrografia, granulometria o addensamento.

Quindi, le prospezioni geosismiche a rifrazione, specialmente quelle con tecnica tomografica, mediante la delineazione particolareggiata di aree di discontinuità fisica possono validamente contribuire alla definizione dello stato di resistenza del materiale, ad ampie correlazioni stratigrafico-geomeccaniche ed a significative ricostruzioni geomorfologiche.

Riguardo inoltre alla correlazione con i contatti litostratigrafici individuati nei sondaggi geomeccanici, nel caso questi siano presenti, l'identificazione dei livelli o settori rilevati dalla prospezione geosismica con tecnica tomografica dipende dal grado di effettiva omogeneità dello spessore litostratigrafico.

Cioè molto spesso interferiscono, con effetti opposti, fenomeni di cementazione o di disaddensamento al tetto e/o al letto dello strato geologico, i quali causano rispettivamente un innalzamento e un abbassamento dei valori particellari di velocità sismica per cui non necessariamente devono coincidere livelli di discontinuità fisica e semplici delimitazioni geologiche.

Anzi la prospezione geosismica a rifrazione, specialmente quella con tecnica tomografica grazie al suo estremo dettaglio analitico, può mettere in luce importanti effetti di anisotropia laterale anche entro uno stesso livello litostratigrafico indicati da significative variazioni verticolaterali dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche che evidenziano stati particolari di degradazione non sempre individuabili direttamente dalle analisi litologiche e geotecniche relative ai limitati prelievi nei punti di perforazione.

Per l'insieme delle osservazioni sopra esposte, l'elaborazione dei diversi risultati ottenuti mediante un accurato rilievo di sismica a rifrazione, può rispondere validamente ad esigenze di sintesi analitica e geognostica secondo convenienti criteri di praticità.

### 2.1.2. Sorgente di energia

Per la generazione delle onde sismiche di compressione e taglio è stato utilizzato un sistema "leggero", che è rappresentato da un maglio da 8 Kg strumentato con sensori che impatta su una piastra in metallo per le onde di compressione.

### 2.1.3. Apparato di ricezione

Sono stati utilizzati geofoni da 40 Hz con asse strumentale verticale per ricezione onde P, posizionati sul terreno ad intervalli variabili in funzione del dettaglio richiesto (2.5 m) collegati tra loro da cavo elettrico e tramite questo al sistema di registrazione.

Inoltre è stato usato un geofono (geofono del time break o hammer switch) applicato nelle estreme vicinanze dell'apparato energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di trigger per l'inizio della registrazione; tale segnale viene trasmesso tramite impulsi radio al sismografo.

### 2.1.4. Operazioni di campagna

Le operazioni di campagna per consentire l'elaborazione tomografica sono analoghe a quelle di sismica standard con elaborazione per rifrattori anche se, per i rilievi di sismica tomografica, il numero di registrazioni che vengono realizzate è assai superiore (anche più del doppio) per consentire di avere a disposizione una quantità di dati tale da coprire con la giusta geometria dei raggi e in maniera omogenea l'intera sezione sismica in tutti i settori e fino alle profondità adeguate senza lasciare tratti scoperti o disomogenei.

Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno, collegati questi tramite morsetti bipolari al cavo elettrico e quest'ultimo al sistema di registrazione, verificati i segnali via radio tra apparato di energizzazione e di ricezione, sono stati realizzati alcuni shot di prova allo scopo di tarare i parametri di acquisizione dello strumento di registrazione dati.

Effettuata la taratura della strumentazione si è proceduto alla prospezione sismica a rifrazione in modo tale che dopo ogni energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto d'impatto prestabilito, si fosse acquisito e registrato il segnale sull'hard disk del p.c. collegato al sismografo per la successiva elaborazione da effettuarsi in sede.

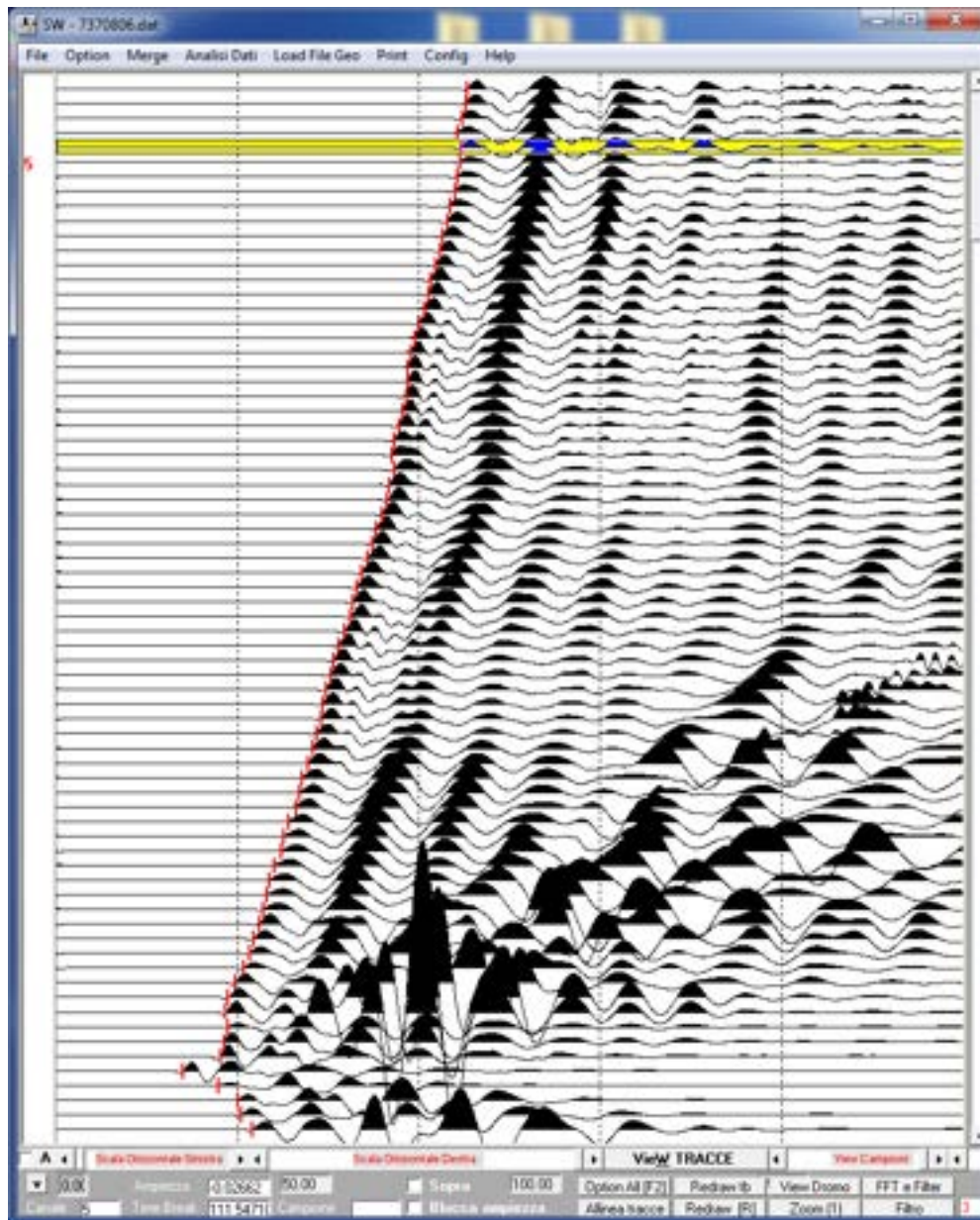
### 2.1.5. Acquisizione dati

Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti utilizzando vari sismografi EG&G Geometrics Geode a 24 canali di registrazione simultanea in modo che, avendo a disposizione un numero sufficiente di canali attivi per tutti i geofoni collegati, si procede con gli impatti lungo l'allineamento sismico senza dover effettuare altri collegamenti e registrazioni parziali durante la fase di acquisizione dati e quindi con notevole guadagno in tempi esecutivi di campagna.



SISMOMETRO PER ACQUISIZIONE DATI  
Modello: GEOMETRICS ES-3000 GEODE





Esempio di records acquisiti sezione L1 da 72 stazioni, con shot sul geofono 68.  
Onde di compressione P con tempo di acquisizione di 0-250 msec

## 2.2. ELABORAZIONE DATI

### 2.2.1. Elaborazione sismogrammi (preprocessing)

#### *Traduzione tracce sismiche*

La prima operazione che è stata eseguita in sede, una volta terminata la fase di acquisizione dati in campagna, è stata quella di tradurre i file di dati.

Questa fase di preprocessing permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo EG&G GEOMETRICS GEODE in quello del programma elaborativo (**SeisView**<sup>®</sup>).

#### *Analisi dei first break peak (F.B.P.)*

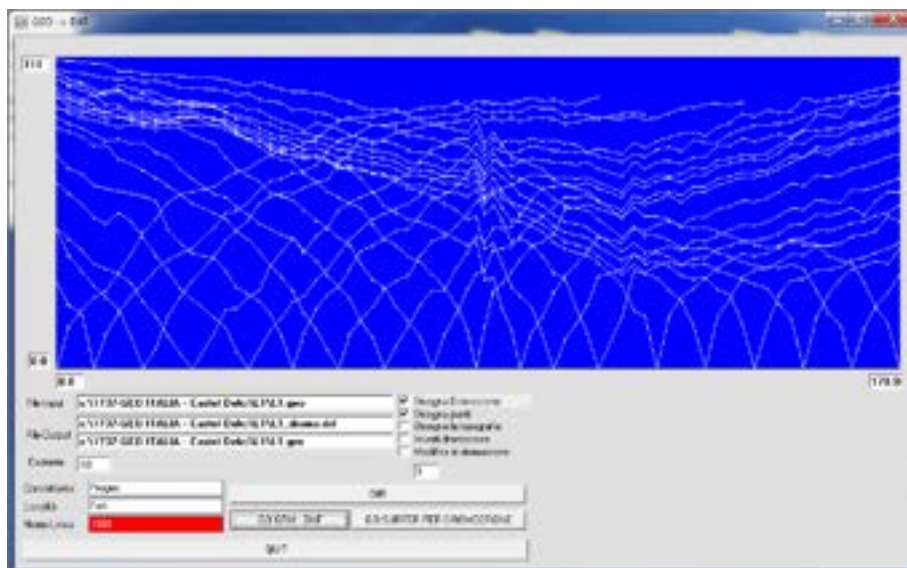
Di seguito è stata fatta all'elaboratore col programma **Seisview**<sup>®</sup> la ricerca su ciascuna traccia di ogni sismogramma del primo arrivo (F.B.P. first break peak) dell'onda di compressione (P).

Tali dati possono essere graficizzati per ottenere la rappresentazione delle Diagrafie Tempidistanze (Dromocrone) della sezione sismica.

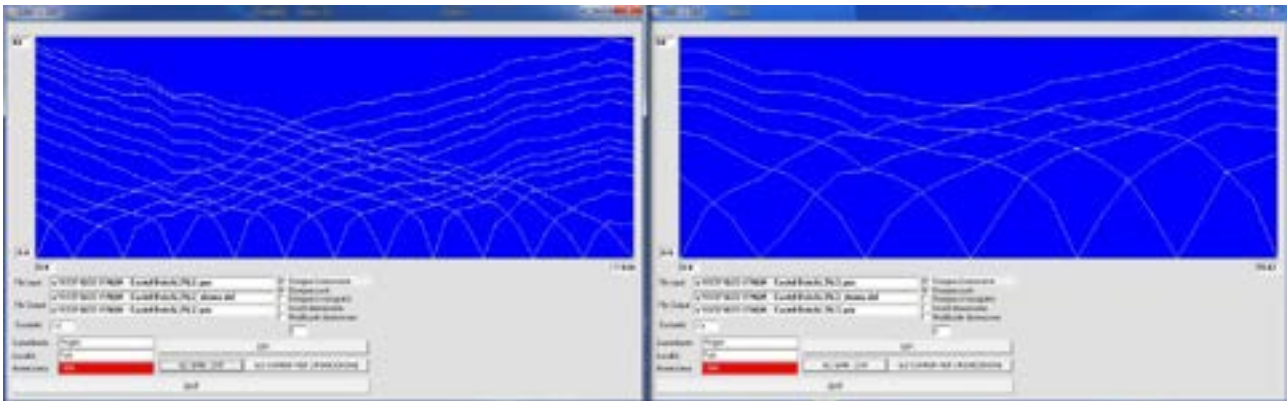
I dati in formato numerico sono invece stati inseriti (opportunamente tradotti per poter essere analizzati dagli specifici programmi elaborativi) nel programma originale **S.R.A.**<sup>®</sup> (Seismic Refraction Analysis) per l'elaborazione tomografica.

Alle figure successive sono riportate le dromocrone delle varie sezioni acquisite in onde di compressione.

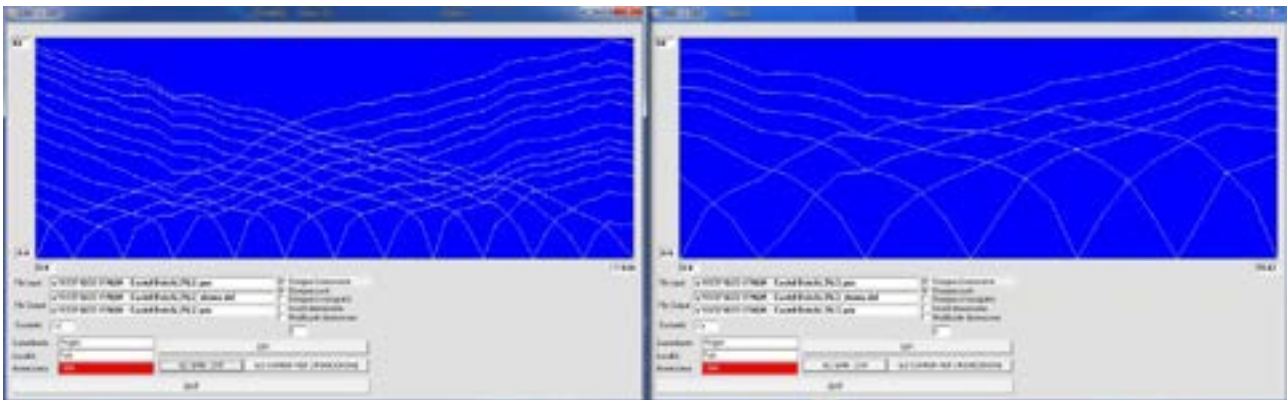
Questi sono i dati che vengono poi passati al programma di tomografia per effettuare l'inversione ed ottenere i valori in velocità di compressione e taglio.



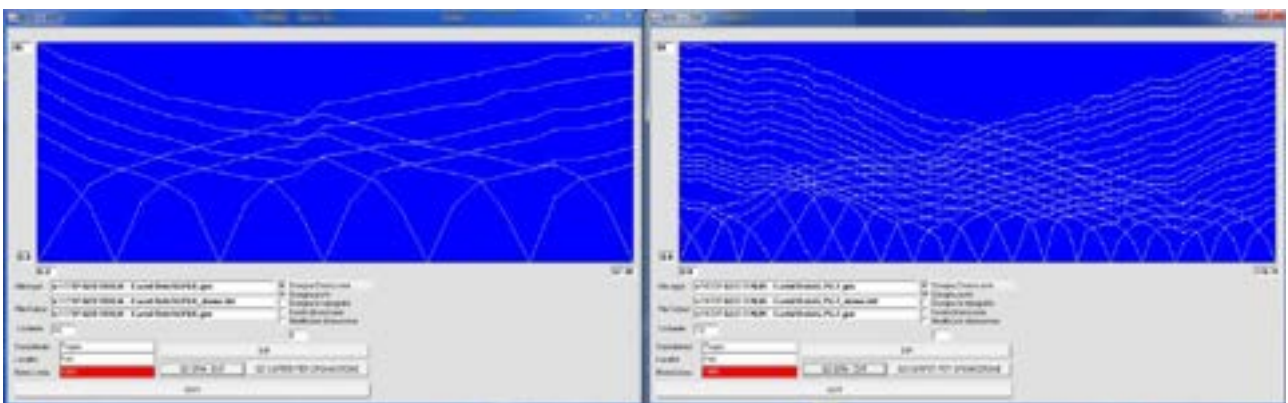
Dromocrone sezione L1



Dromocrone sezione L2 – L3

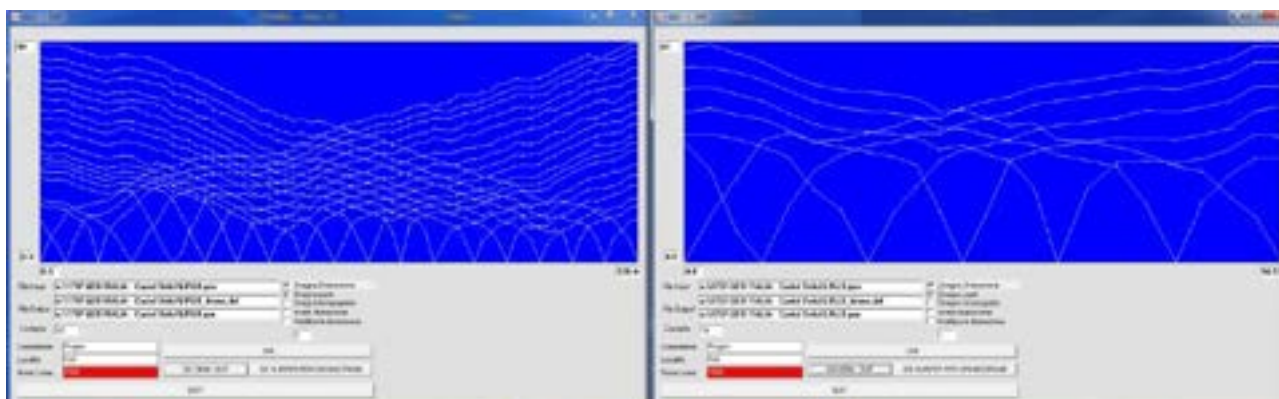


Dromocrone sezione L4 – L5

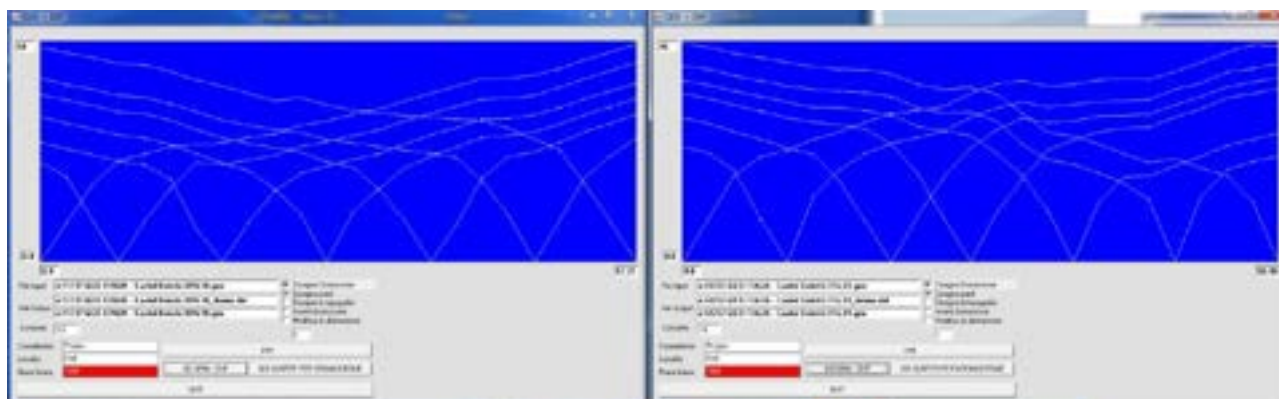


Dromocrone sezione L6 – L7

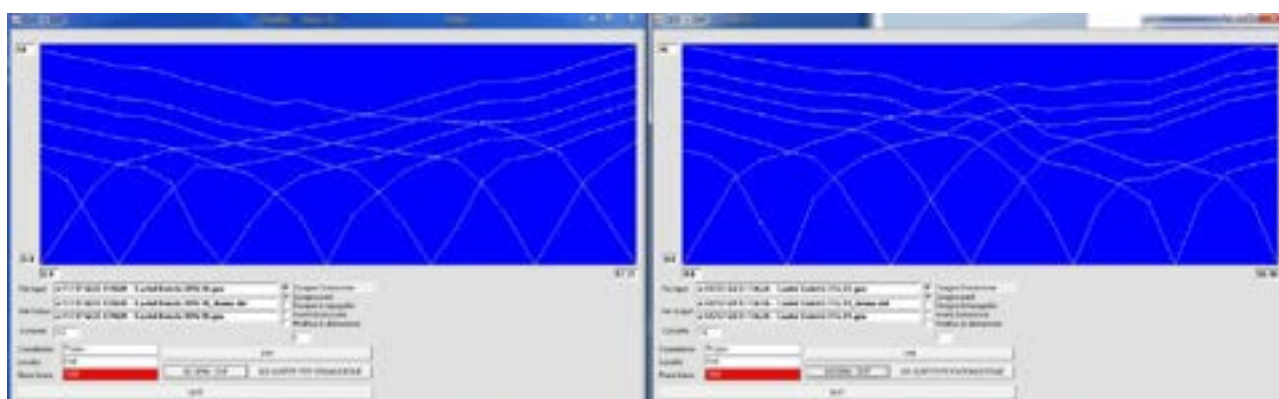




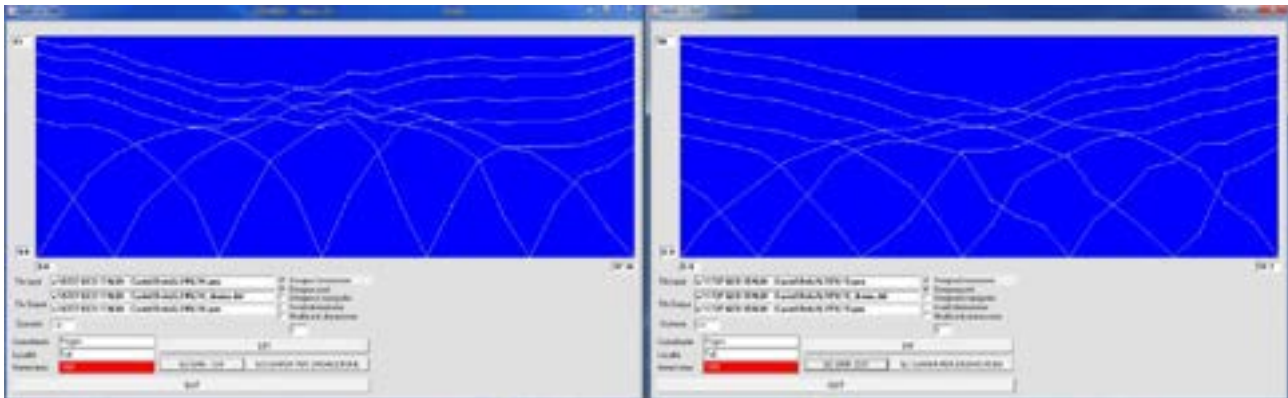
Dromocrone sezione L8 – L9



Dromocrone sezione L10 – L11



Dromocrone sezione L12 – L13



Dromocrone sezione L14 – L15

## 2.2.2. Elaborazione della sezione tomografica a countour line (processing in velocità)

L'elaborazione delle sezioni mediante analisi tomografica viene effettuata sia per avere un maggior dettaglio in termini di consistenza dell'ammasso sia per raggiungere maggiori profondità d'investigazione sopperendo quindi alla comune mancanza di rifrattori significativi procedendo in profondità specialmente in seguito alla presenza di materiale non sufficientemente differenziato nei termini dei parametri elastici.

### ***Definizione della geometria della ricerca***

La prima procedura di elaborazione tomografica consiste nella ricerca della geometria di percorso dei raggi sismici da ogni punto di energizzazione a ciascun geofono collegato che ha registrato l'impulso proveniente da quello stesso punto.

Tale operazione preliminare viene effettuata mediante tecniche di Ray Tracing Curvilineo.

### ***Ray tracing e definizione dei parametri di calcolo***

Il file di dati di ciascuna sezione sismica precedentemente ottenuto, è stato per questo inserito nel programma di calcolo **S.R.A.**<sup>®</sup> (Seismic Refraction Analysis, programma originale sviluppato dalla Progeo che utilizza la piattaforma di Windows); il quale traccia, sulla base di una prima modellazione in velocità del sottosuolo, i vari raggi sismici che coprono da un estremo all'altro dello stendimento sismico l'intera area investigata al di sotto della superficie topografica.

La profondità d'indagine è funzione della lunghezza dello stendimento, di quella dei "tiri" di registrazione degli impulsi sismici e della velocità del materiale investigato dai raggi sismici.

La geometria d'indagine dei raggi sismici mediante elaborazione tomografica consente infatti il raggiungimento di profondità massime al centro della sezione (la figura geometrica della sezione sismica è assimilabile a quella di un trapezio con la base maggiore in superficie) di circa 1/4-1/5 della lunghezza dell'allineamento in superficie considerando che questo sia stato interamente coperto da un estremo all'altro dal "tiro" sismico.

L'elaborazione tomografica è ottenuta utilizzando celle di analisi di larghezza coerente con la geometria d'indagine ed approssimativamente con larghezza pari alla metà della spaziatura dei sensori ed altezza pari ad un quarto di quest'ultima.

### **Analisi delle risultanze delle velocità**

Il passo successivo è stato l'applicazione sempre con lo stesso programma **S.R.A.**<sup>®</sup> di procedure tipo **S.I.R.T.** (Simultaneous Iterative Reconstruction Technique) le quali forniscono valori di velocità sismica per partizioni unitarie (celle di analisi di dimensione metrica), col quale l'operatore ha cercato, con successive iterazioni dalla prima modellazione del sottosuolo, di far convergere (dal punto di vista statistico fino a quando gli scarti quadratici e le varianze dei tempi calcolati sono minimi rispetto a quelli definiti in input) i dati modellati con quelli reali e corrispondenti ai tempi ottenuti dalle dromocrone originali.

In pratica le successive approssimazioni calcolate dall'elaboratore coi dati sempre più affinati e inseriti dall'operatore terminano quando le dromocrone, relative a quella data distribuzione di velocità particellari, sono coincidenti e con scarto minimo (mediamente inferiore a 0.5%) con quelle reali ottenute dalle letture degli F.B.P. sui sismogrammi.

Inoltre con tale tecnologia elaborativa si sopperisce alla mancanza di rifrattori significativi e alla presenza, assai comune col procedere in profondità, di materiale non sufficientemente differenziato nei termini fisici dei parametri elastici, per cui le tecniche tradizionali di sismica a rifrazione non riescono a discriminare il grado di consistenza, alterazione o disomogeneità dell'ammasso. La rappresentazione tomografica delle sezioni geofisiche avviene mediante software Surfer della Golden Software – Colorado, con il quale i valori dei parametri geofisici vengono espressi mediante contour line e campitura di colore.

#### **2.2.5. Analisi del gradiente geotomografico**

Per localizzare i principali livelli di consistenza si è sviluppata l'analisi del gradiente geosismico il quale consiste in un'analisi matematica (*processing di gradiente*) che ha lo scopo di rintracciare i luoghi ove il parametro elastico tomografico subisce significativi incrementi in brevi tratti.

E' in questi luoghi, i quali non necessariamente coincidono per un'area ad un unico valore, ove la probabilità di individuare una interfaccia significativa è maggiormente elevata.

Per la determinazione ed individuazione quindi di tali interfacce è stato applicato sui dati tomografici un algoritmo statistico il quale valuta la variazione del parametro tomografico (ad es. Velocità, Attenuazione) in termini di gradiente verticalaterale.

E' evidente che se i parametri geofisici non variano verticalmente in maniera significativa per la presenza di salti della rigidità il gradiente è pressoché nullo o molto basso, laddove invece si presentano variazioni importanti il gradiente si presenta con i massimi valori.

E' in tali tratti quindi che è possibile localizzare passaggi significativi e suddividere il sottosuolo in "unità geofisiche" di consistenza differenziata ed inoltre, nel caso in cui sia possibile una taratura mediante sondaggi geomeccanici, effettuare anche una correlazione litologica.



### **3. PROVE GEOFISICHE SUPERFICIALI ATTIVE DI TIPO M.A.S.W.**

#### **3.1. Multichannel Analysis Of Surface Waves (Masw)**

L'analisi della propagazione delle onde superficiali entro il sottosuolo con la metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) per la determinazione della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) è stata effettuata mediante l'utilizzo di uno stendimento sismico di superficie composti da 24 geofoni da 4.5 Hz interdistanti 2.5 m per una lunghezza complessiva di 57.5 m; l'elaborazione, mediante software d'inversione, della prova sismica ha fornito un log di  $V_s$  posizionato al centro della sezione il quale permette di individuare eventuali variazioni verticali dei valori cinematici corrispondenti a variazioni delle caratteristiche meccaniche dei terreni indagati.

#### **3.2. Metodologia di indagine per onde superficiali.**

Considerando un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, si dimostra che la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e che il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente con la profondità, sino ad estinguersi ad una profondità circa pari ad una lunghezza d'onda [Richart et al., 1970].

Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrisponde la stessa velocità di fase ( $V_R$ ).

In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche diverse, il comportamento delle onde superficiali è differente.

In particolare, la propagazione presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase).

Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associati proprietà meccaniche differenziate: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Quindi, nel caso di mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità.

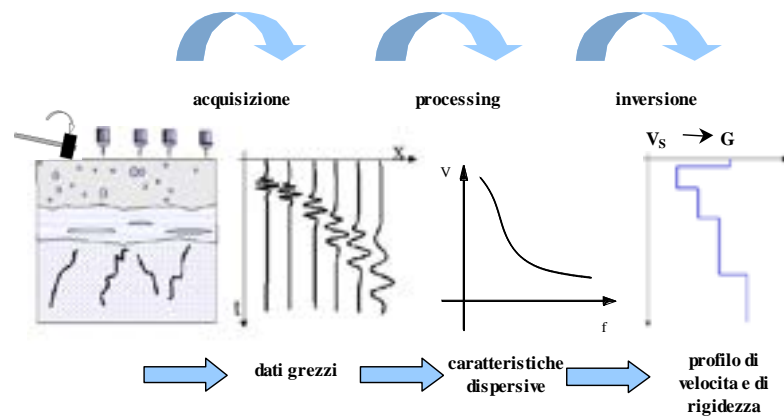
La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni; infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e, posto di riuscire a misurarla sperimentalmente, può essere utilizzata (come si vedrà più avanti) per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo, è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda.

Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato nella figura qui di seguito presentata, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione;
- 2) Processing;
- 3) Inversione.



I dati acquisiti, vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto

ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza.

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito.

La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio  $fk$  (frequenza-numero d'onda) [Strobbia, 2003].

La curva di dispersione ottenuta, viene successivamente utilizzata per un processo di inversione che fornisce come risultato finale il profilo verticale della velocità delle onde di taglio nel terreno e quindi una stima della rigidezza in funzione della profondità.

Quindi, le informazioni riguardanti la curva di dispersione sperimentale (associata a un mezzo le cui caratteristiche sono incognite) vengono sfruttate per affrontare il problema inverso della caratterizzazione: se le caratteristiche dispersive del sito possono essere valutate sperimentalmente, allora è possibile valutare le corrispondenti proprietà del terreno [Strobbia, 2002].

La risoluzione del problema inverso, deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Come già sottolineato in precedenza, l'utilizzo di un modello monodimensionale è un'ipotesi che deve essere in linea di massima soddisfatta dal deposito di terreno per garantire la validità del risultato finale.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente dalle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello.

Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione simulata).

Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura.

### 3.3. Modalità di acquisizione.

Le sezione realizzata è costituita da uno stendimento sismico di superficie composti da 24 geofoni da 4.5 Hz interdistanti 5 m per una lunghezza complessiva di 115 m.

Il sismografo utilizzato è un dispositivo modulare da 24 canali GEODE (Geometrics); l'intervallo di campionamento è stato selezionato a 0.5 millisecc e il tempo di registrazione è stato fissato in 3 secondi.

Il sistema di energizzazione utilizzato è stato un grosso martello strumentato lasciato cadere con forza al suolo. Sono state effettuate tre serie di energizzazioni esterne allo stendimento (con intervallo di 2, 3 e 5 volte l'interdistanza geofonica) sia dal lato del ricevitore 1 sia dal lato del ricevitore 24.

L'esecuzione di più registrazioni separate invece della tradizionale procedura di stacking dei dati in acquisizione consente, senza un sensibile incremento dei tempi di acquisizione, di effettuare una serie di controlli statistici sulla qualità dei dati. In particolare è possibile stimare l'incertezza sui punti della curva di dispersione e verificare che l'ipotesi di monodimensionalità sia rispettata dal sito.

### 3.4. Elaborazione dati e stima della curva di dispersione

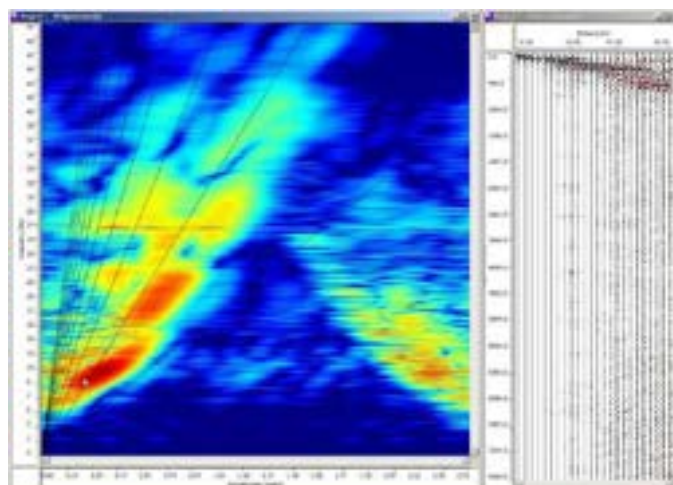
La fase di processing è quella che segue l'acquisizione dei dati grezzi e permette di stimare, a partire dai sismogrammi acquisiti, le caratteristiche dispersive del sito, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza del segnale sismico (curva di dispersione sperimentale).

Il software "SWAN" utilizzato per l'elaborazione dei dati grezzi è composto da una serie di codici originariamente scritti in Matlab™ ma poi compilati diversamente nella versione commerciale.

I dati vengono trasformati in dominio  $fk$  (frequenza-numero d'onda) tramite una doppia trasformata di Fourier e la curva di dispersione è ricavata con un algoritmo di ricerca dei massimi spettrali (ai quali è associata per l'appunto la propagazione delle onde di Rayleigh).

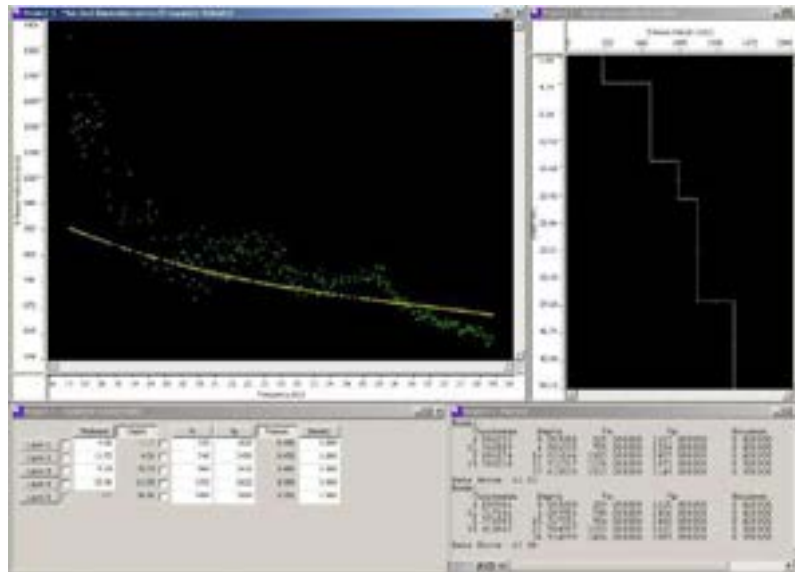
Qui di seguito si presenta un esempio dei vari step del processing dei dati acquisiti lungo i vari stendimenti: sono riportati il sismogramma sintetico acquisito, lo spettro  $fk$ , il log in  $V_s$  e la curva di dispersione.

Esempio dei vari step del processing:



Sismogramma, spettro  $fk$





Curva di dispersione e modello (Software "SWAN").

Un confronto tra varie curve di dispersione ottenute elaborando i singoli sismogrammi relativi al medesimo array di sensori e con diversa distanza e origine dello shot, può far emergere differenze tra le stesse.

Queste si possono imputare a varie cause quali eventuali variazioni di quota dei geofoni o a variazioni laterali, lungo lo stendimento, delle caratteristiche meccaniche del sottosuolo.

### 3.5. Interpretazione geofisica dei dati.

Come accennato in precedenza, l'inversione è l'ultima delle tre fasi che caratterizzano il metodo delle onde superficiali e consente di ottenere, a partire da un profilo di primo tentativo e da una curva di dispersione sperimentale ricavata in sito, un modello stratigrafico finale.

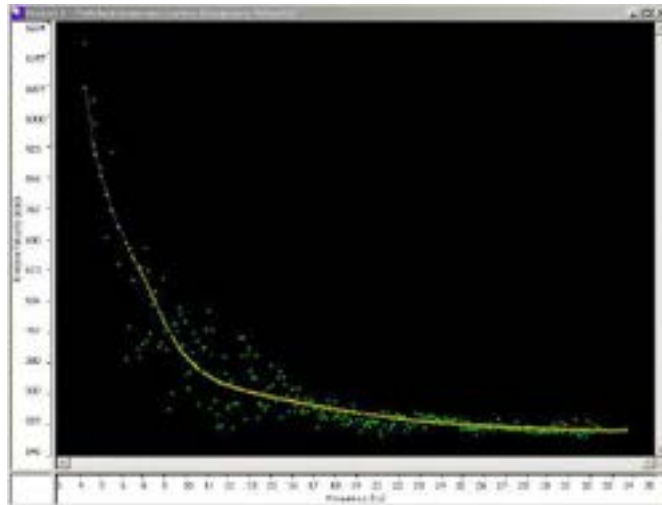
L'inversione viene effettuata mediante l'algoritmo Damped Least Squares, con inversione automatica del primo modo e discretizzazione fitta di profondità.

Il modello viene successivamente semplificato diminuendo la parametrizzazione e quindi riducendo il numero di strati.

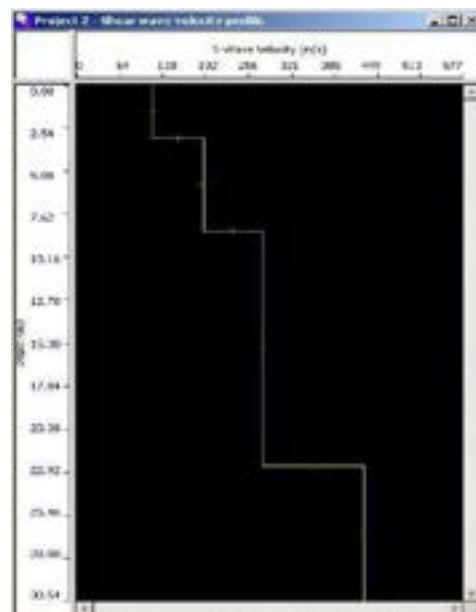
Le profondità vengono corrette infine secondo la modalità trial and error.

A titolo di esempio viene riportato qui a lato il confronto tra la curva di dispersione sperimentale (puntini verdi) e quella del modello calcolato per una sezione reale (curva gialla).

I risultati ottenuti dal processo di inversione riportano poi per ogni stendimento acquisito, il profilo di velocità delle onde S in funzione della profondità: un esempio di profili è riportato qui a lato.



Fitting della curva di dispersione tra modello finale e dati sperimentali



Esempio di profilo di velocità Vs in funzione della profondità

## 4. RISULTANZE

Come accennato al § 1 gli obiettivi dell'indagine geofisica era di valutare le consistenze dei terreni e dedurre indicazioni sulle geometrie sepolte al fine del corretto posizionamento di pale eoliche.

La tecnologia utilizzata è la tomografia sismica che permette di ottenere una caratterizzazione nei termini dei parametri elastici dei materiali del sito.

Allo scopo di caratterizzare i terreni sono state effettuate 15 sezioni sismiche ad onde di compressione e sulle stesse tracce di sezione si sono anche realizzate indagini MASW le cui risultanze sono riportate in allegato in coda alla relazione (fig. 3-48).

Ogni sezione è stata acquisita con l'array di sensori interamente posizionato sul terreno ed utilizzato per la registrazione dei dati cosicché si è potuto ottenere la massima copertura e profondità dalle sezioni d'indagine.

### 4.1. Analisi dei dati

L'analisi delle sezioni sismiche, tramite lo studio dei parametri di gradiente, ha permesso di risalire a due principali interfacce presenti in tutte le sezioni, una prima caratterizzata da materiali la cui velocità delle onde di compressione è inferiore 0.60 Km/sec.; tale superficie è chiaramente distinguibile in sezione essendo caratterizzata da una nera con tratto grassetto e una seconda isolina corrispondente ad una velocità pari a 1.2 Km/sec caratterizzata da un tratto in grassetto blu.

Queste interfacce separano corpi geologici che presentano caratteristiche differenziali di deformabilità tali da consentire una loro classificazione e semplificazione in Unità Geofisiche, ovvero:

- Unità geofisica 1 ( $V_p \sim < 0.60$  Km/sec)
- Unità geofisica 2 ( $0.60 \sim < V_p < \sim 1.2$  Km/sec)
- Unità geofisica 3 ( $V_p > \sim 1.2$  Km/sec)

La separazione in unità geofisiche non necessariamente corrisponde ad una distinzione litologica dei materiali indagati ovvero non necessariamente le singole unità geofisiche corrispondono a delle litologie univoche.

Al fine di esplicitare con maggior dettaglio le risultanze delle sezioni tomografiche si descrivono un paio di sezioni particolarmente significative ovvero la sezione 1 e la sezione 5

#### SEZIONE TOMOGRAFICA 1

Analizzando in dettaglio la sezione tomografica 1 si può notare quanto segue:

l'Unità geofisica 1, in questa sezione costituita in gran parte da materiali litologicamente riconducibili a detriti di alterazione di materiali lapidei di natura calcarenitica ed argillosa nonché costituiti altresì anche da materiali derivanti da spessori non trascurabili di terreno vegetale, presenta per il primo tratto di sezione ad andamento pianeggiante spessori variabili dai 3 ai 10 metri fino al geofono 12. Dal geofono 13 fino al geofono 36 lo spessore di tali materiali si mantiene uniforme con valori di circa 3-4 metri; dal geofono 37 fino al geofono 57 lo spessore si riduce ulteriormente fino a circa 1.5 metri. In questo tratto centrale di sezione la natura litologica dell'Unità geofisica 1 è costituita da materiale calcarenitico molto fratturato ed alterato anche se a tratti



appare affiorante (compreso fra i geofoni 38-44) nel tratto conclusivo della sezione lo spessore dell'Unità aumenta fino a valori di 4 metri.

L'Unità geofisica 2, che in questa sezione molto probabilmente corrisponde a materiali litologicamente costituiti da calcareniti da molto fratturate a fratturate, presentano spessori imponenti fino al geofono 36 (circa 15 metri sotto il geofono 7) per poi drasticamente diminuire fino a spessori di circa 1 metro fino al geofono 57 per poi aumentare significativamente nella parte finale della sezione

L'Unità geofisica 3, che in questa sezione corrisponde a materiali di natura calcarenitica da fratturati a poco fratturati (per velocità delle onde di compressione comprese fra 1.2 e 3.2 Km/sec) fino a materiali decisamente compatti (velocità delle onde di compressione maggiori di 3.2 Km/sec) è localizzata a profondità maggiore di 10 metri dal piano campagna fino al geofono 36 per poi avvicinarsi drasticamente alla superficie topografica nella zona centrale della sezione (geofoni dal 37 al 57) fino a circa 4 metri dal piano campagna, per poi gradualmente aumentare verso la porzione finale della sezione.

### **SEZIONE TOMOGRAFICA 5**

Analizzando in dettaglio la sezione tomografica 5 si può notare che gli spessori dei materiali delle singole unità hanno uno spessore uniforme.

L'Unità geofisica 1, in questa sezione costituita in gran parte da materiali litologicamente riconducibili a detriti di alterazione di materiali lapidei di natura calcarenitica ed argillosa, presenta uno spessore sempre inferiore a 5 metri

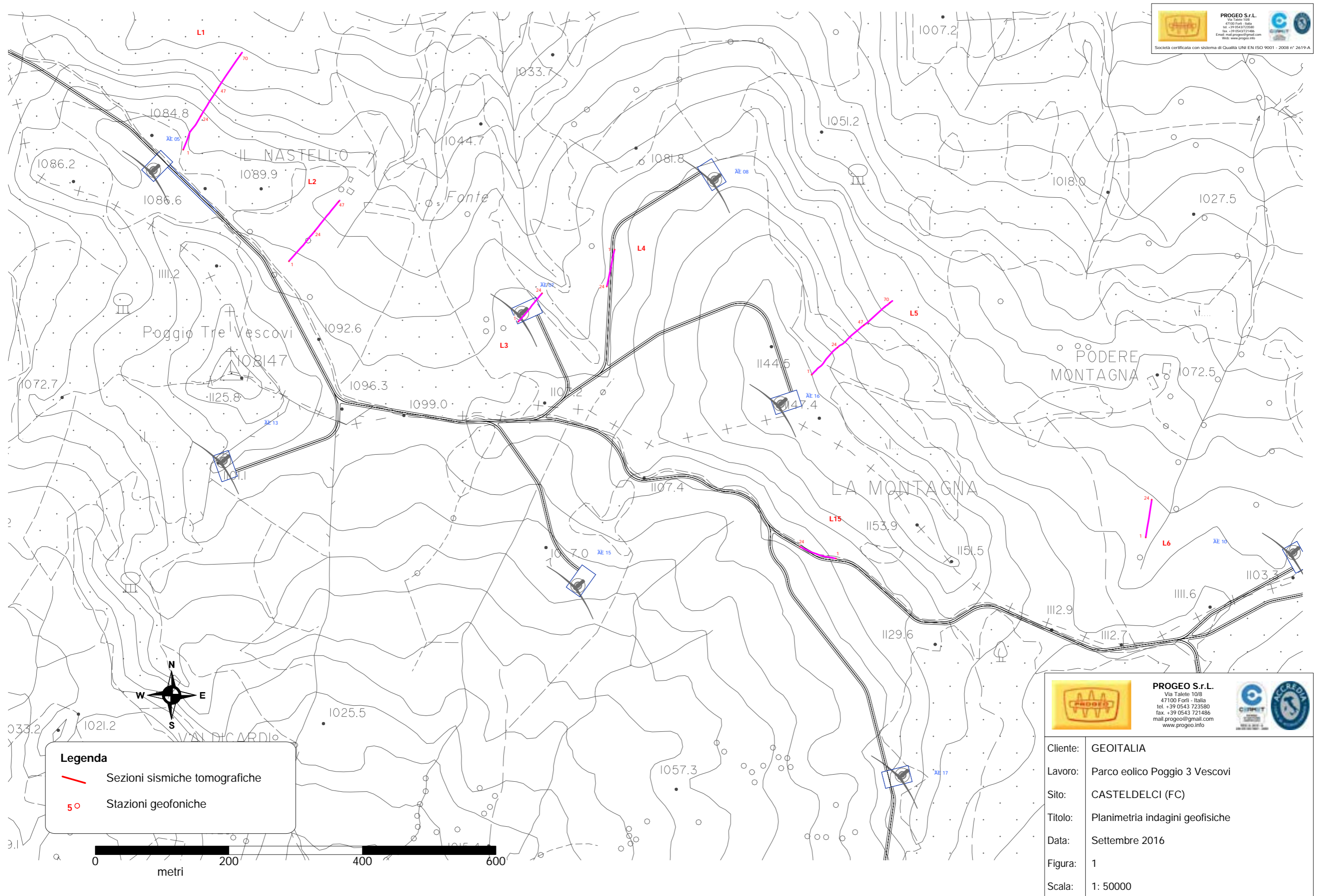
L'Unità geofisica 2, che in questa sezione molto probabilmente corrisponde a materiali litologicamente costituiti da calcareniti da molto fratturate a fratturate, presenta spessori variabili da 3 metri (in corrispondenza del geofono 11) a 8 metri (in corrispondenza del geofono 20) per la maggior parte della lunghezza della sezione comunque presenta spessori prossimi a 5 metri.

L'Unità geofisica 3, che in questa sezione corrisponde a materiali di natura calcarenitica da fratturati a poco fratturati presenta il suo "tetto" ad andamento parallelo alla superficie topografica. Ciò può indurre, senza grandi errori, che il versante si è modellato su una testa di strato, per cui il versante ha la stessa pendenza dell'inclinazione degli strati. Infatti in questo caso la profondità del tetto dell'Unità geofisica 3 varia attorno a 8 metri dal piano campagna su quasi tutta la lunghezza della sezione. In questo caso pur trattandosi delle stesse litologie della sezione 1 non siamo di fronte a valori della velocità delle onde di compressione così elevati anzi si nota aumento molto graduale dei parametri cinematici con la profondità.

Hanno collaborato:  
Dott. Maurizio Furani  
Dott. Andrea Fabbri  
Dott. Stefano Tomidei

**PROGEO**  
Dott. Gabriele Pulelli

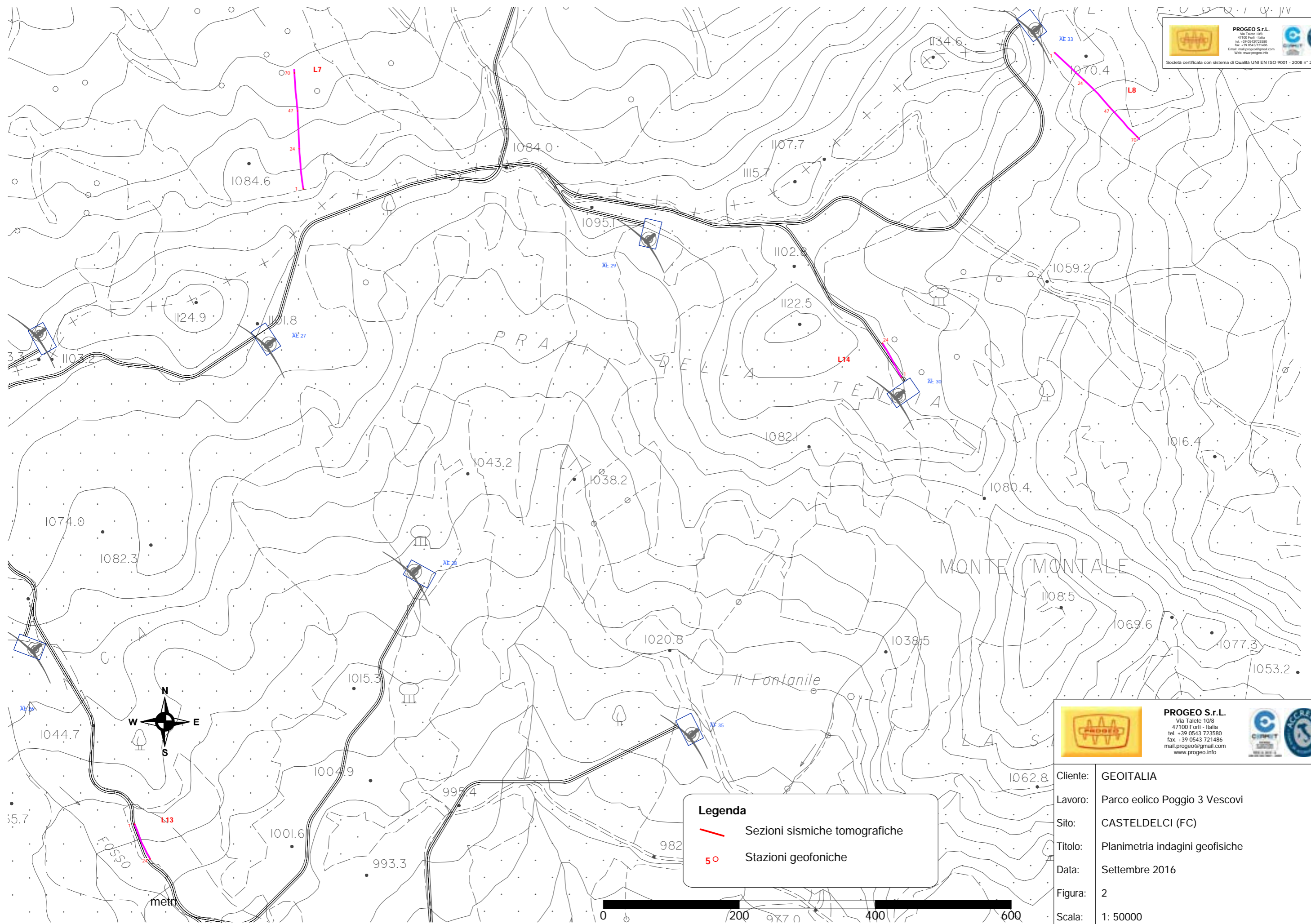






**Legenda**

- Sezioni sismiche tomografiche
- 5 ○ Stazioni geofoniche

Cliente:	GEOITALIA
Lavoro:	Parco eolico Poggio 3 Vescovi
Sito:	CASTELDELICI (FC)
Titolo:	Planimetria indagini geofisiche
Data:	Settembre 2016
Figura:	1
Scala:	1: 50000



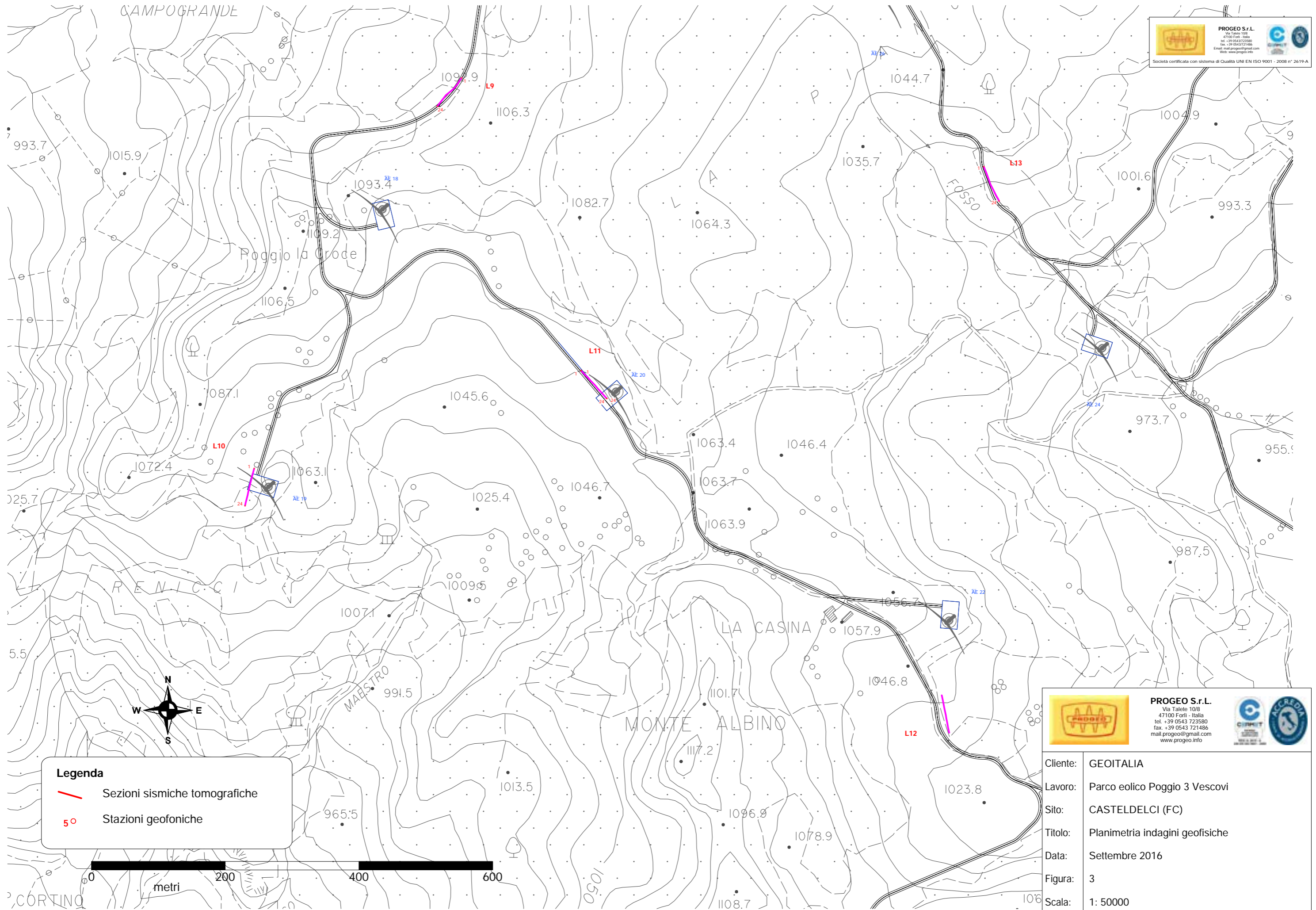
**Legenda**

-  Sezioni sismiche tomografiche
-  Stazioni geofoniche


**PRO GEO S.r.l.**  
 Via Talete 10/8  
 47100 Forlì - Italia  
 tel. +39 0543 723580  
 fax +39 0543 721486  
 mail.progeo@gmail.com  
 www.progeo.info

Cliente:	GEOITALIA
Lavoro:	Parco eolico Poggio 3 Vescovi
Sito:	CASTELDELICI (FC)
Titolo:	Planimetria indagini geofisiche
Data:	Settembre 2016
Figura:	2
Scala:	1: 50000



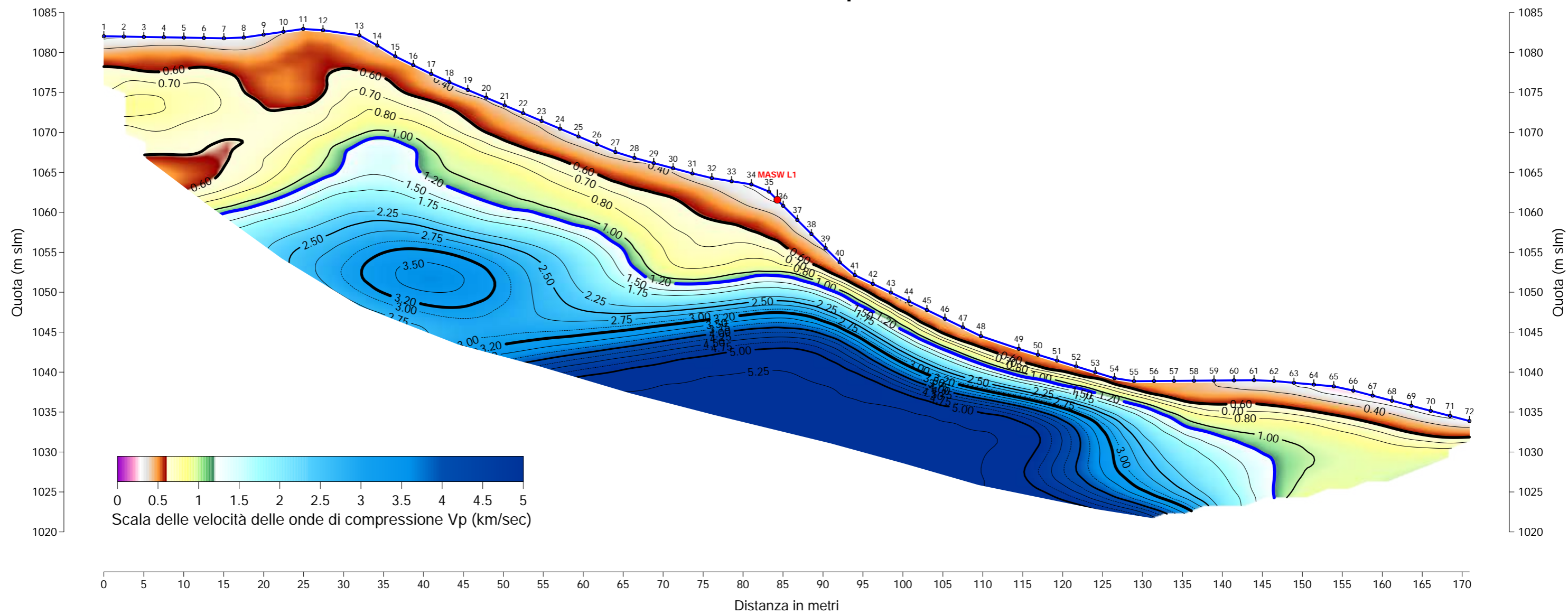


Cliente:	GEOITALIA
Lavoro:	Parco eolico Poggio 3 Vescovi
Sito:	CASTELDELICI (FC)
Titolo:	Planimetria indagini geofisiche
Data:	Settembre 2016
Figura:	3
Scala:	1: 50000

**Legenda**

- Sezioni sismiche tomografiche
- Stazioni geofisiche

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L1 [Velocità onde di compressione]



Scale 1:1000

Fig. 4



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L1

## SITE DATA

Latitude	43.757305°
Longitude	12.107660°
Height m. slm	1054 s.l.m.
Azimuth	30°

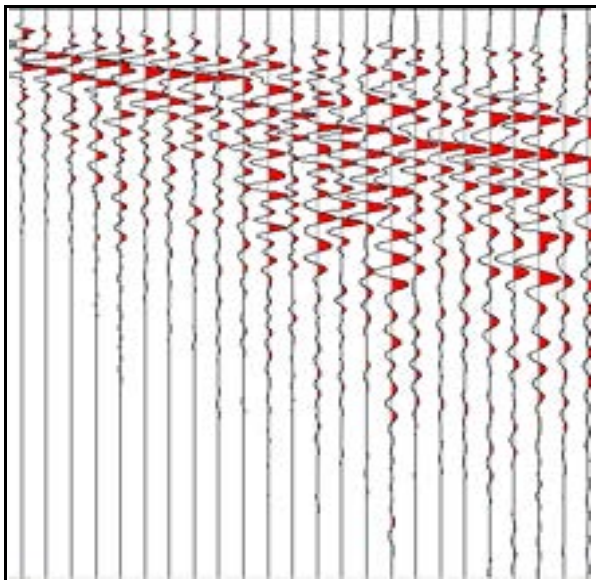
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

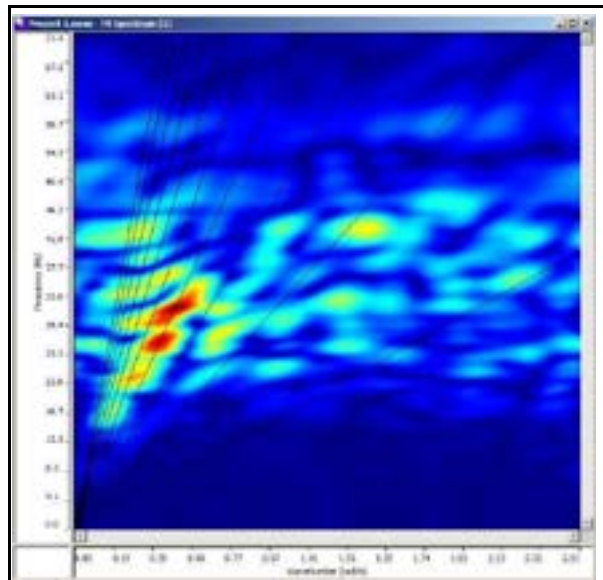


Fig - 5



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L1

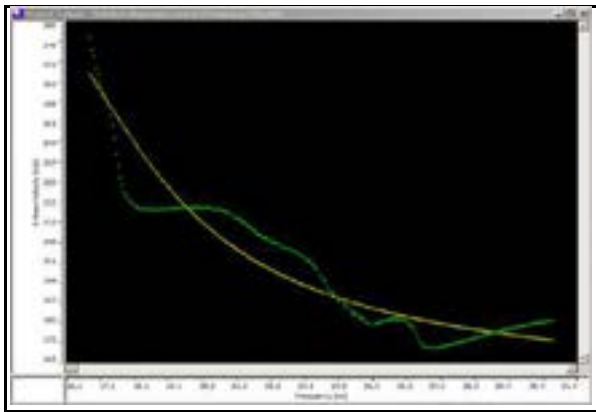
## SITE DATA

Latitude	43.757305°
Longitude	12.107660°
Height m. slm	1054 s.l.m.
Azimuth	30°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

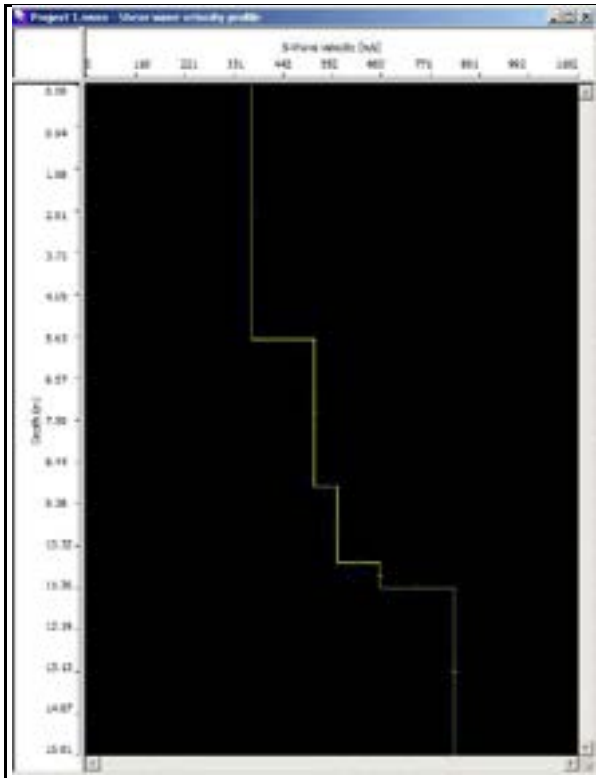
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	5.69	0.00	370
Layer 2	3.31	5.69	510
Layer 3	1.69	8.99	562
Layer 4	0.58	10.69	658
Layer 5	INF	11.27	825

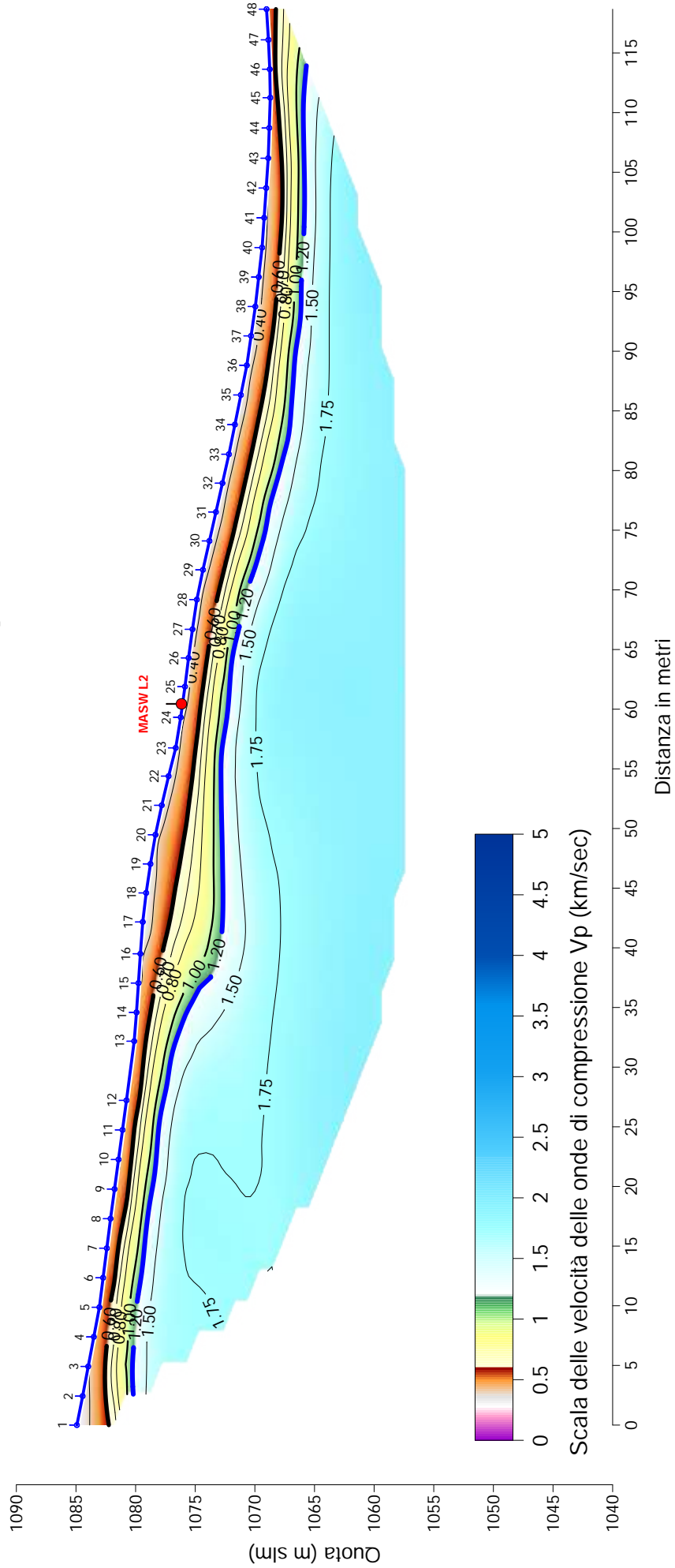
## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE



## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
5.69	0.00	370
3.31	5.69	510
1.69	8.99	562
0.58	10.69	658
INF	11.27	825

# SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L2 [Velocità onde di compressione]



File: 1737- Sezione sismica L2.srf

Scale 1:500

Fig. 7

# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

CLIENT: GEO ITALIA  
JOB NUMBER: 1737  
SITE: CASTELDELICI  
TEST NUMBER: Masw L2

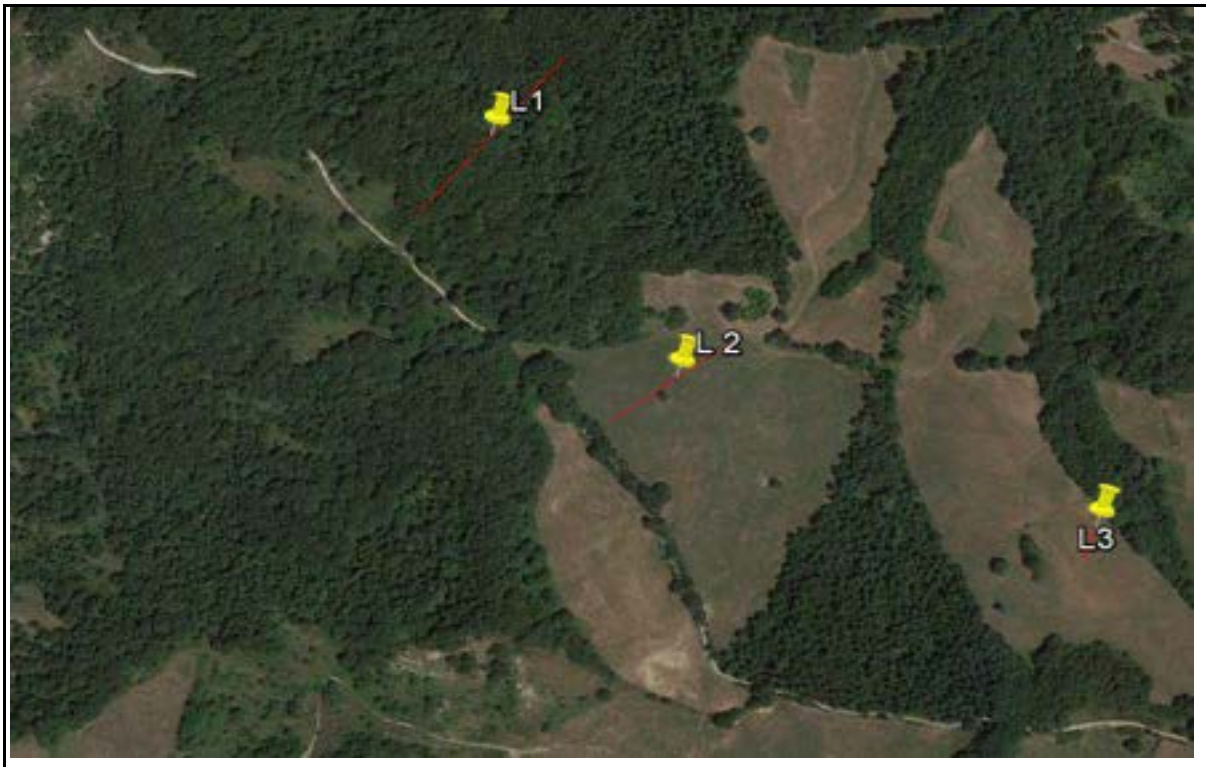
## SITE DATA

Latitude	43.755408°
Longitude	12.109459°
Height m. slm	1078 s.l.m.
Azimuth	45°

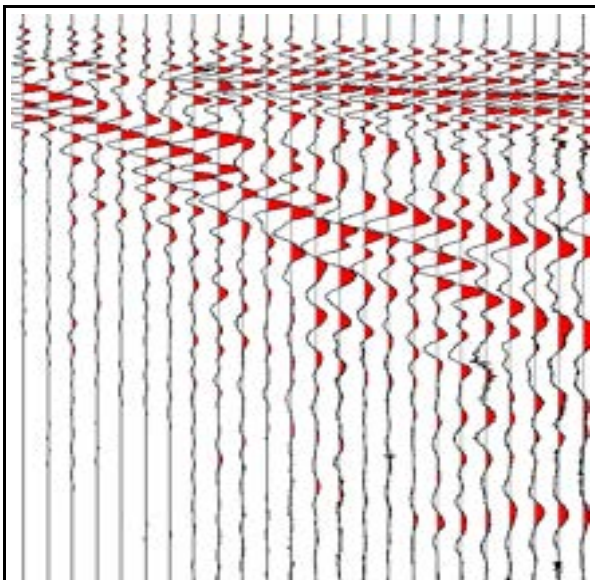
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

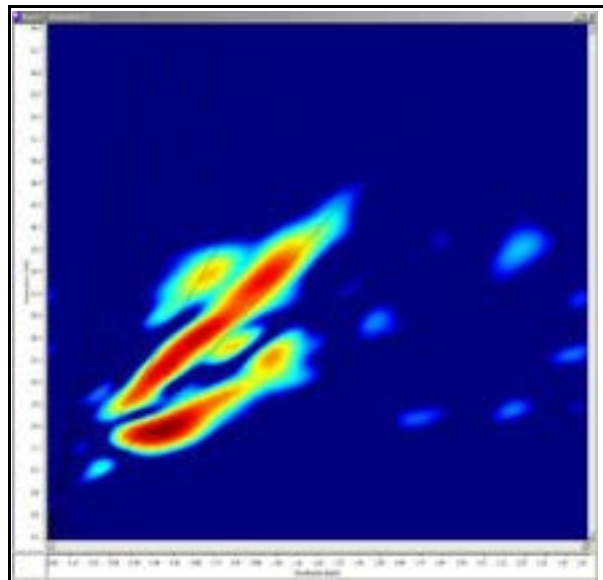


Fig - 8



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L2

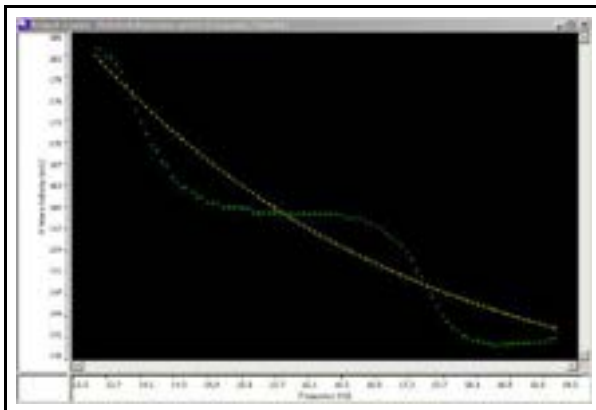
## SITE DATA

Latitude	43.755408°
Longitude	12.109459°
Height m. slm	1078 s.l.m.
Azimuth	45°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

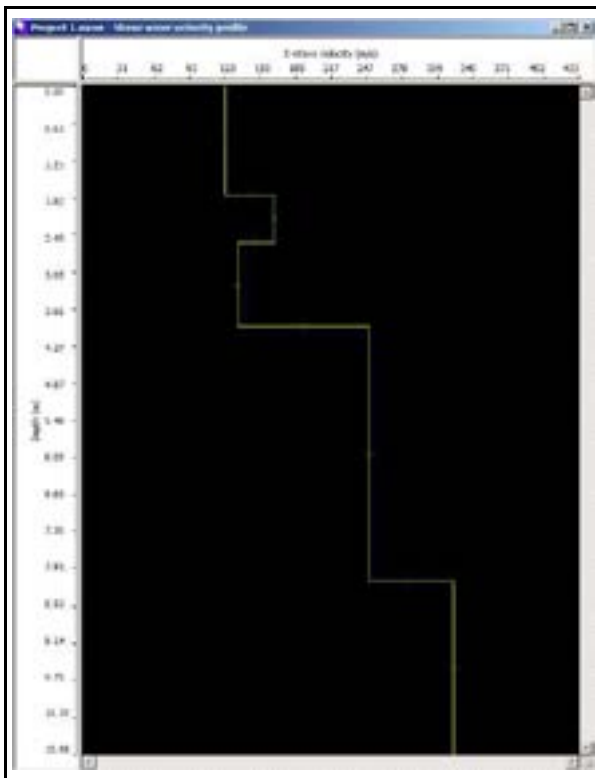
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	1.78	0.00	124
Layer 2	0.79	1.78	167
Layer 3	1.37	2.57	135
Layer 4	4.17	3.94	250
Layer 5	INF	8.11	323

## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE

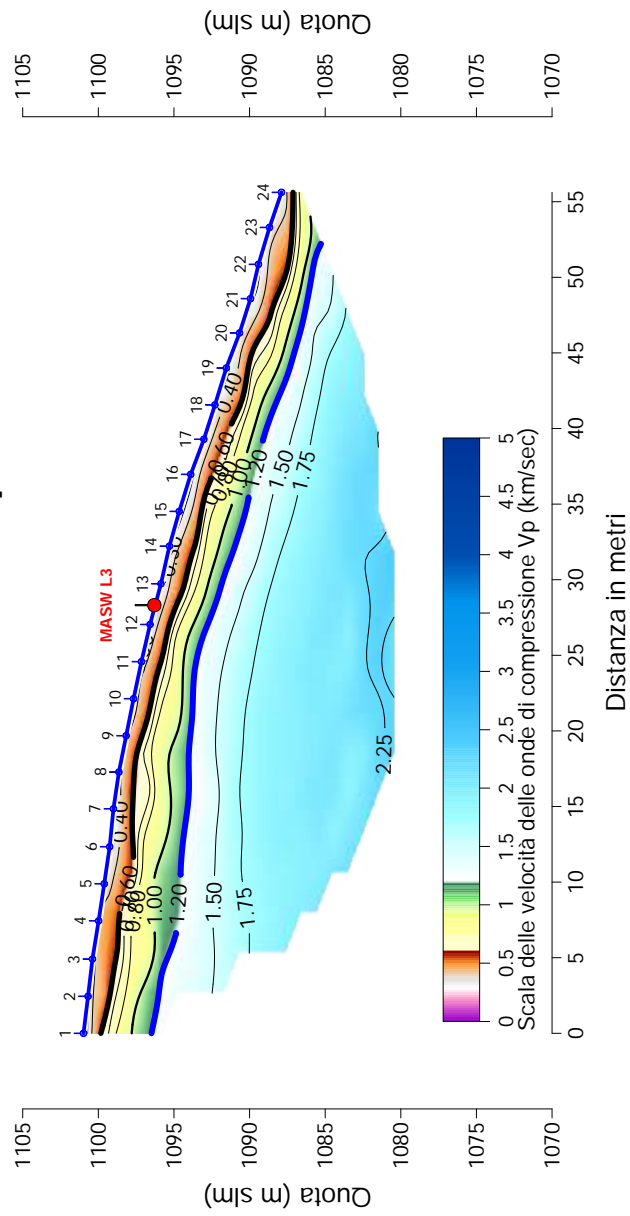


## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
1.773243	0.000000	124.
0.791270	1.773243	167.
1.371340	2.564513	135.
4.174571	3.936083	250.
	8.110254	323.

data source: 2.45

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L3 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L3

## SITE DATA

Latitude	43.754254°
Longitude	12.113453°
Height m. s.l.m	1089 s.l.m.
Azimuth	10°

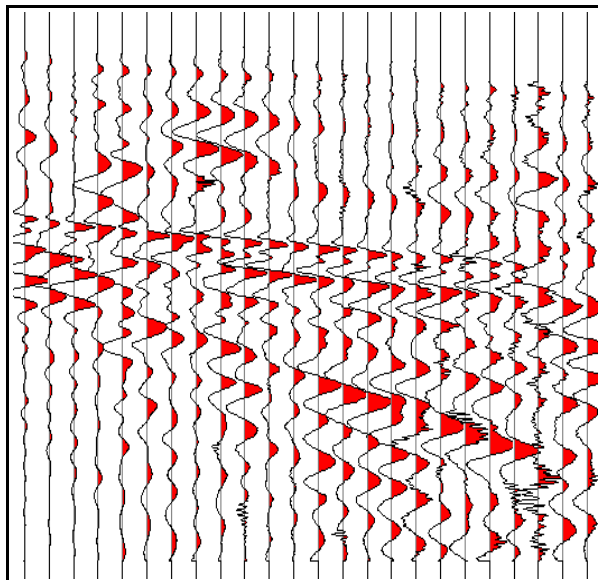
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

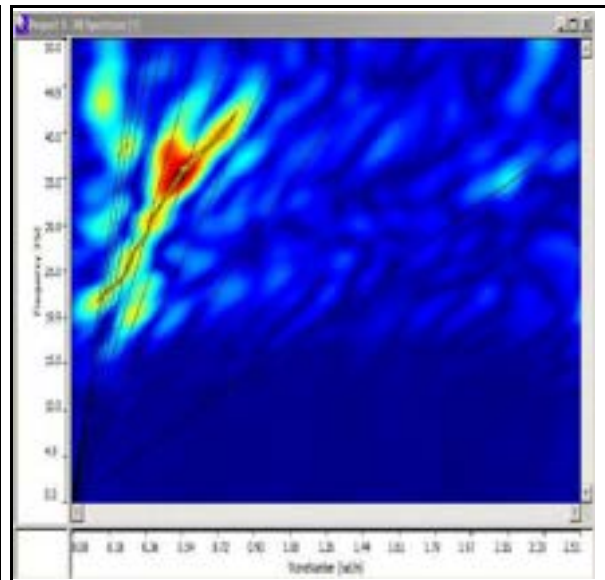


Fig - 11



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L3

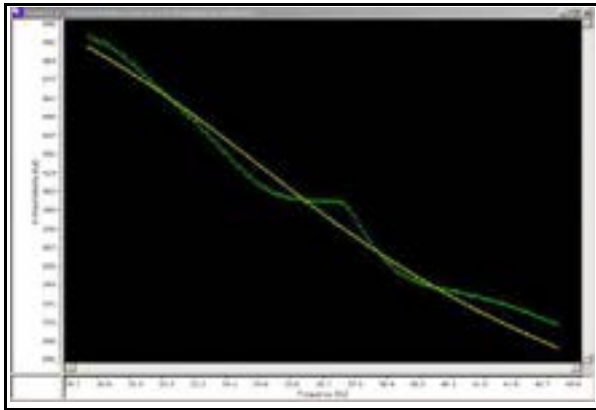
## SITE DATA

Latitude	43.754254°
Longitude	12.113453°
Height m. slm	1089 s.l.m.
Azimuth	10°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

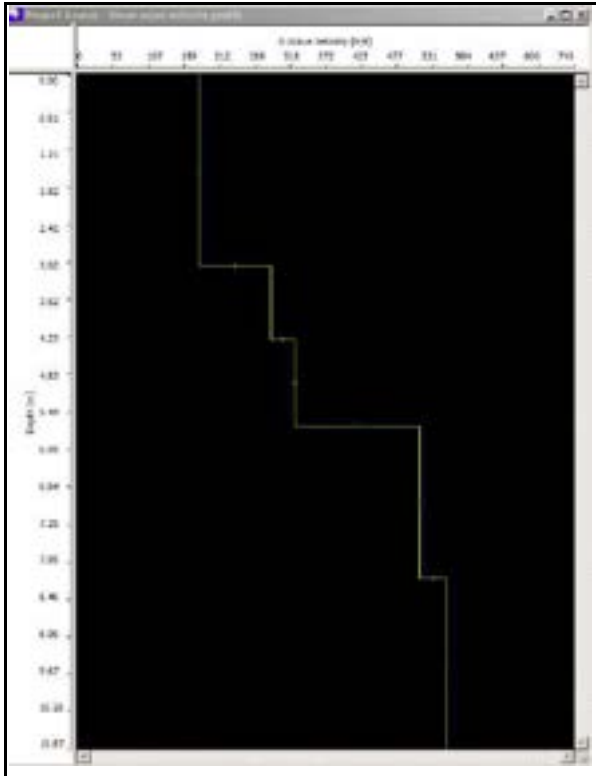
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	3.08	0.00	181
Layer 2	1.19	3.08	289
Layer 3	1.39	4.27	325
Layer 4	2.45	5.67	511
Layer 5	INF	8.11	553

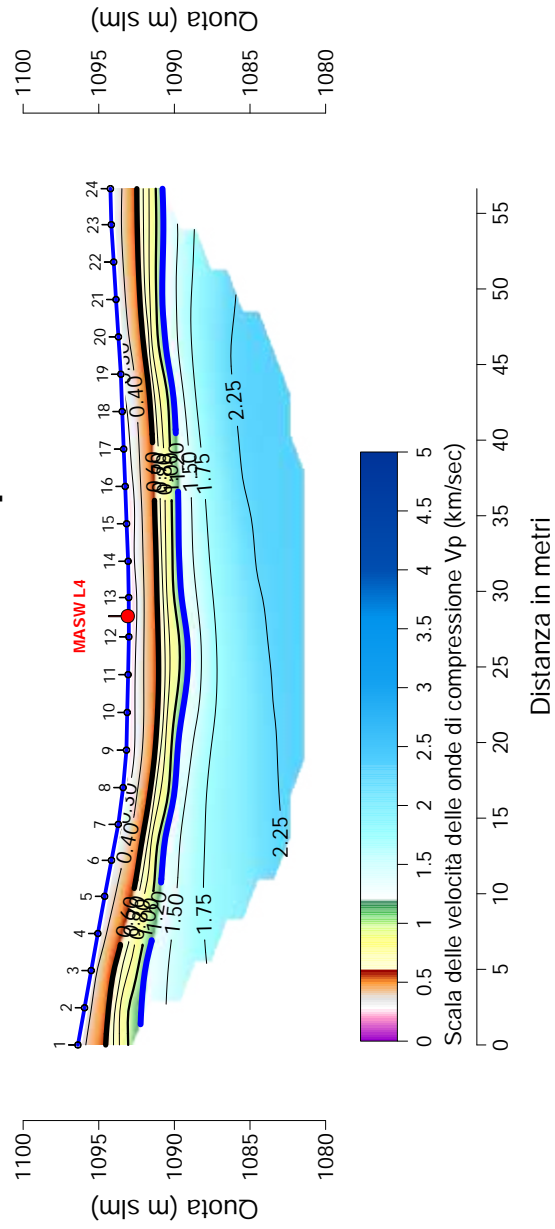
## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE



## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
3.080000	0.000000	181
1.190000	3.080000	289
1.390000	4.270000	325
2.450000	5.670000	511
8.110000	8.110000	553

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L4 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L4

## SITE DATA

Latitude	43.754718°
Longitude	12.114960°
Height m. slm	1093 s.l.m.
Azimuth	5°

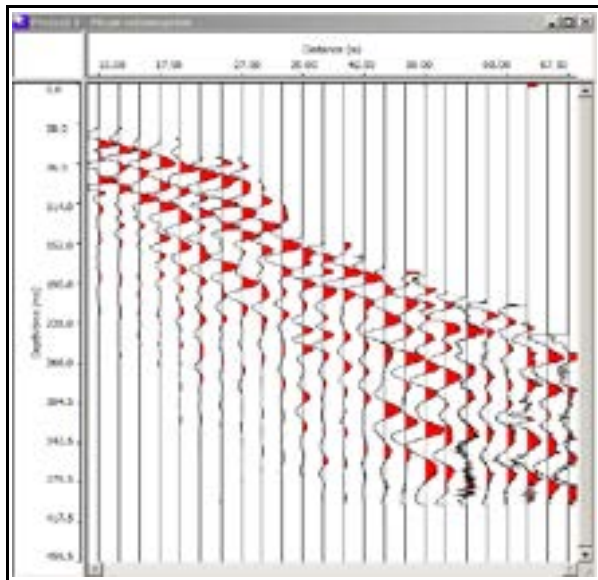
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

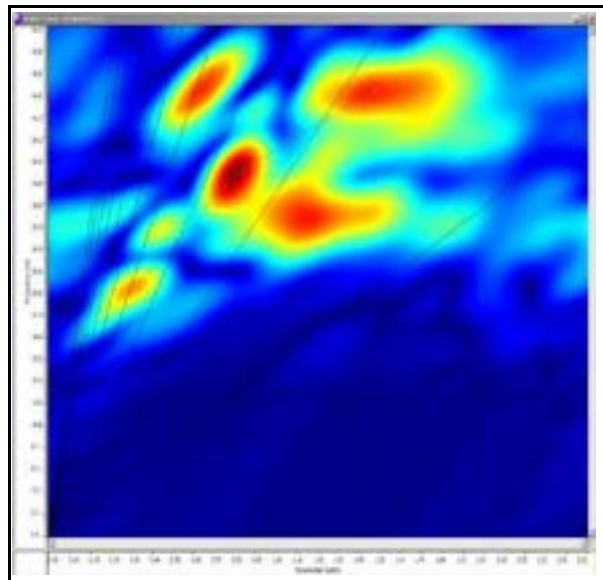


Fig - 14



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L4

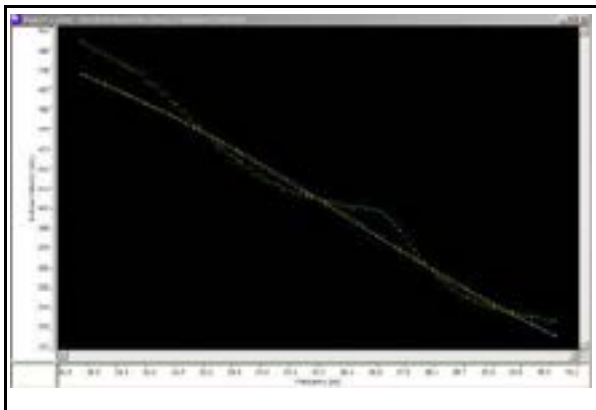
## SITE DATA

Latitude	43.754718°
Longitude	12.114960°
Height m. slm	1093 s.l.m.
Azimuth	5°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

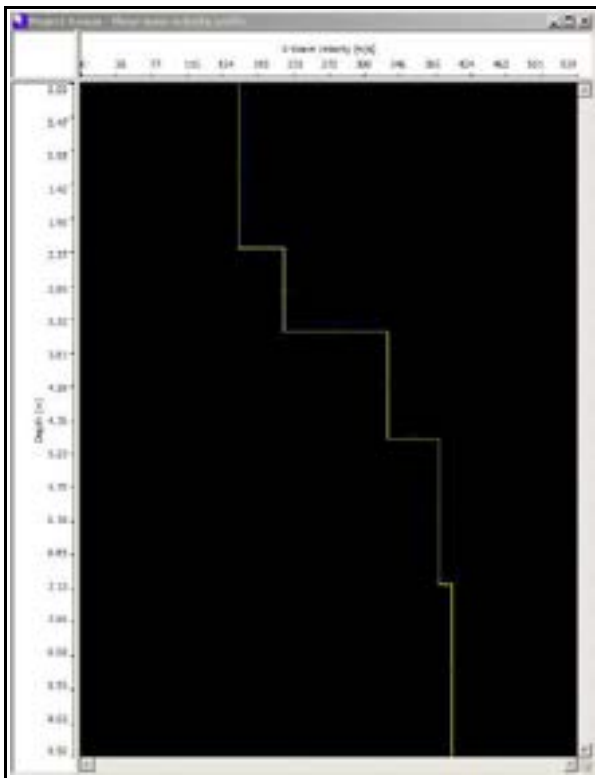
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	2.32	0.00	171
Layer 2	1.18	2.32	220
Layer 3	1.51	3.50	333
Layer 4	2.06	5.01	388
Layer 5	INF	7.07	403

## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE

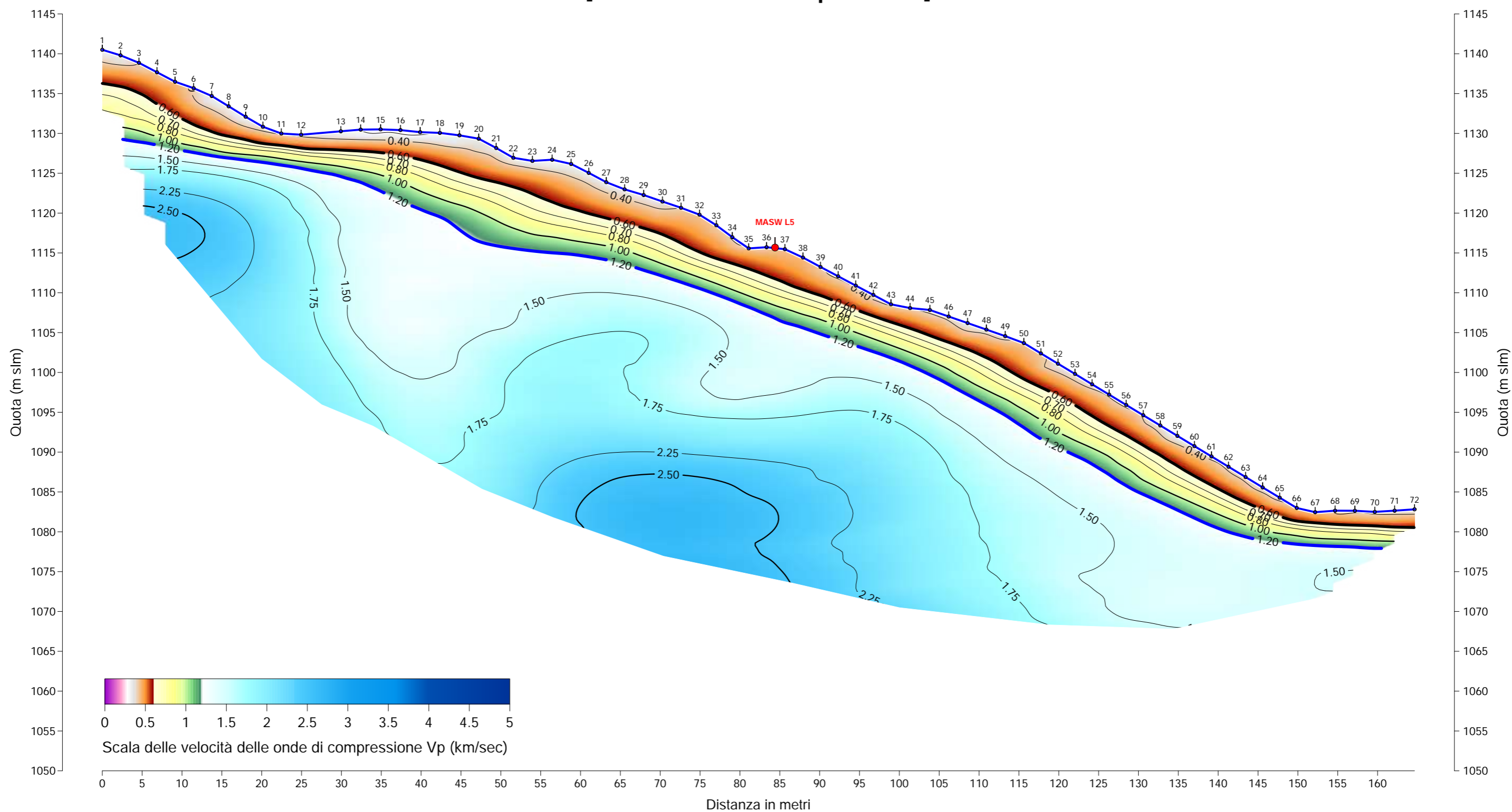


## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
2.322219	0.000000	171
1.182899	2.322219	220
1.507814	3.504929	333
2.059802	5.012743	388
	7.072545	403

Initial Velocity: 1.08

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L5 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L5

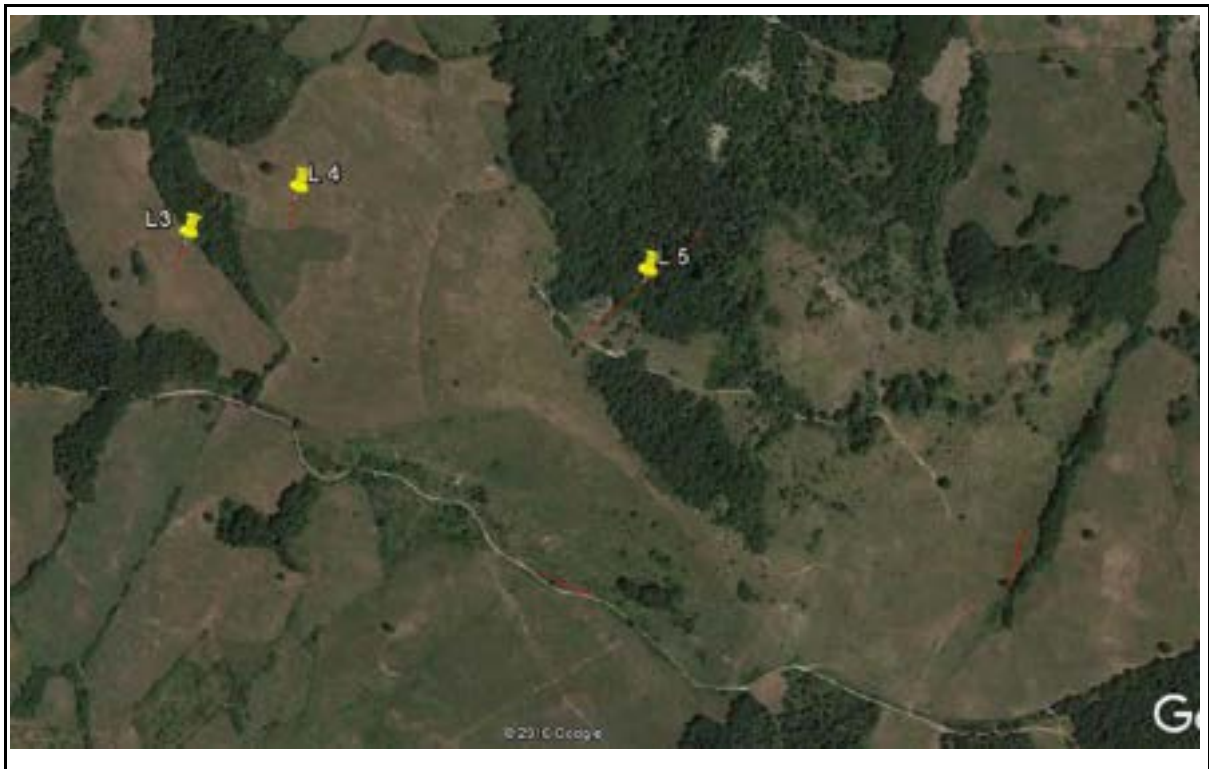
## SITE DATA

Latitude	43.753868°
Longitude	12.119679°
Height m. slm	1106 s.l.m.
Azimuth	35°

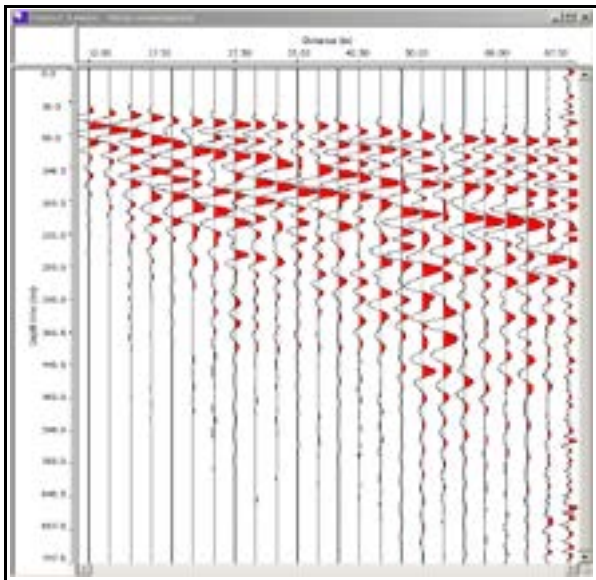
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

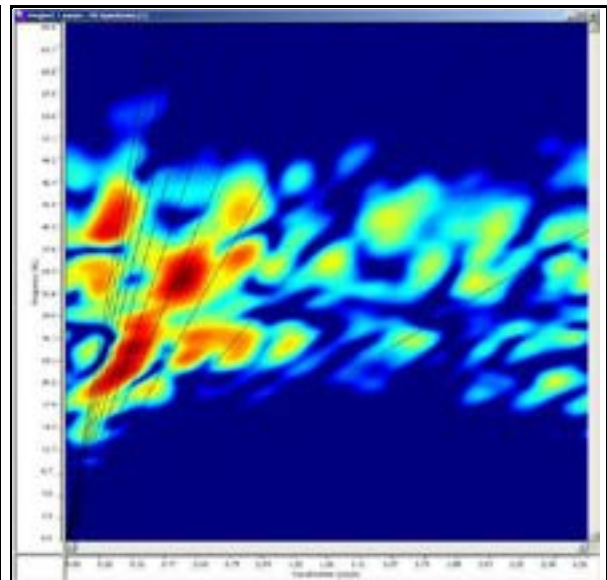


Fig - 17



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L5

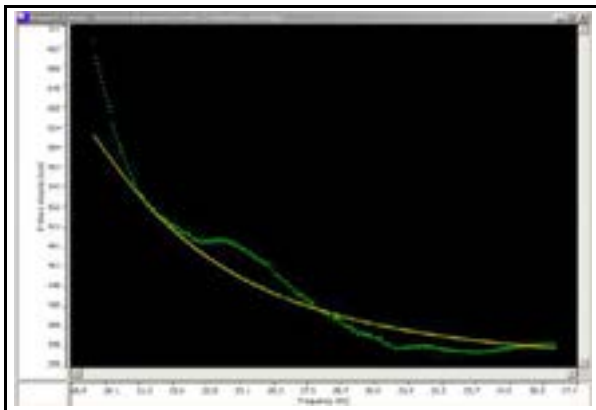
## SITE DATA

Latitude	43.753868°
Longitude	12.119679°
Height m. slm	1106 s.l.m.
Azimuth	35°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

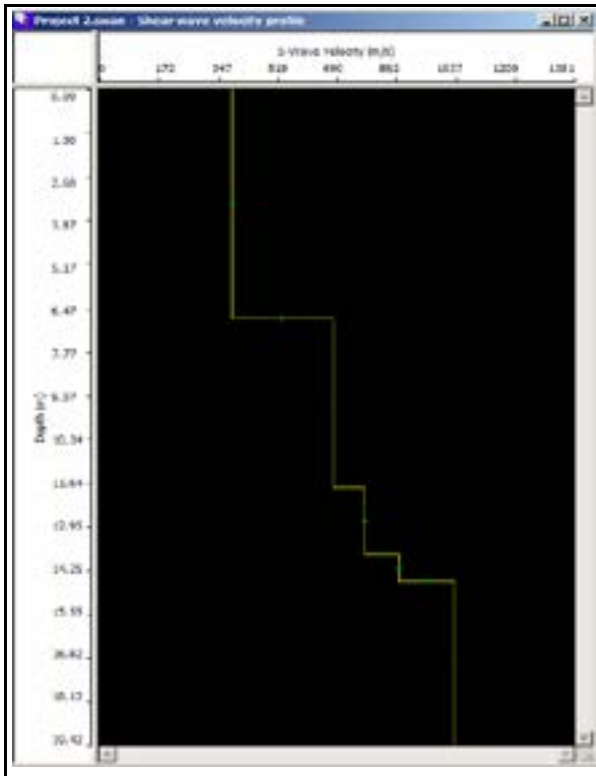
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1 <input type="checkbox"/>	3.65	0.00 <input type="checkbox"/>	201
Layer 2 <input type="checkbox"/>	3.23	3.65 <input type="checkbox"/>	386
Layer 3 <input type="checkbox"/>	3.33	6.88 <input type="checkbox"/>	422
Layer 4 <input type="checkbox"/>	1.74	10.20 <input type="checkbox"/>	388
Layer 5 <input type="checkbox"/>	INF	11.94 <input type="checkbox"/>	492

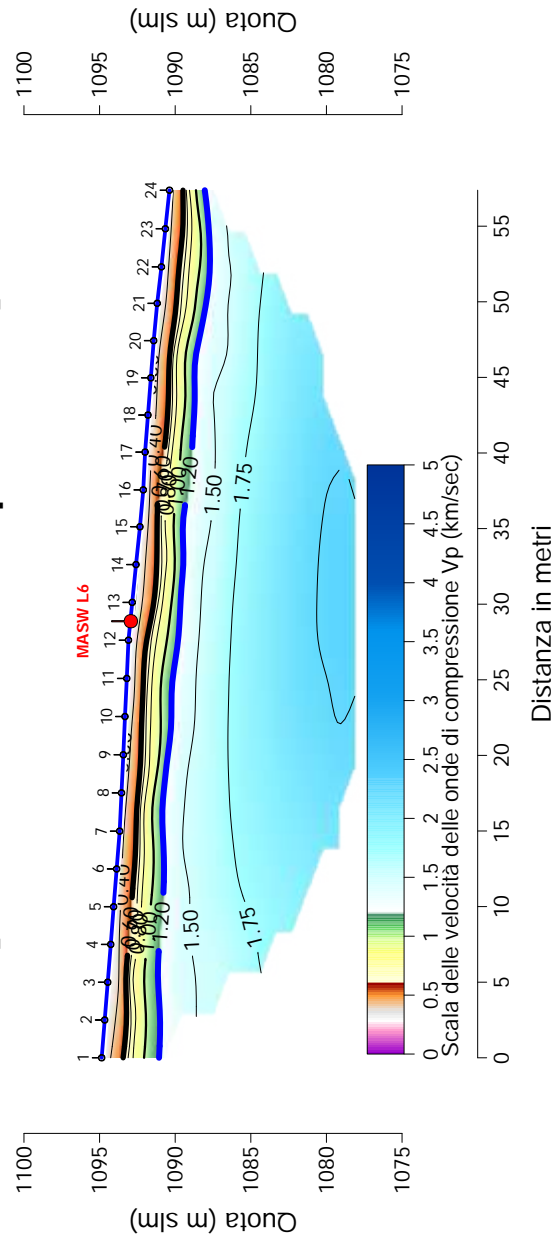
## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE



## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
3.650129	0.000000	201
3.234339	3.650129	386
3.327632	6.874368	422
1.734077	10.204200	388
	11.942287	492

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L6 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 6

## SITE DATA

Latitude	43.751067°
Longitude	12.124743°
Height m. slm	1096 s.l.m.
Azimuth	10°

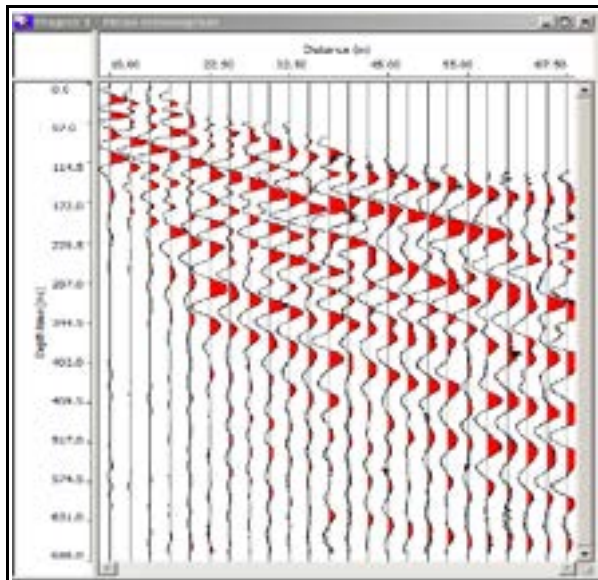
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

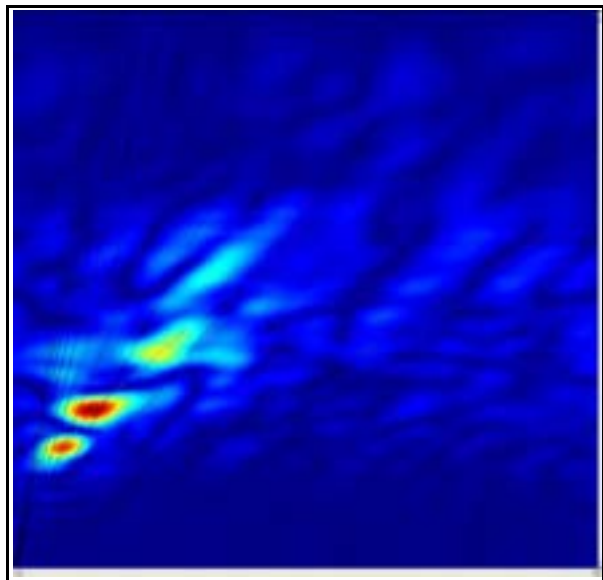


Fig - 20



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 6

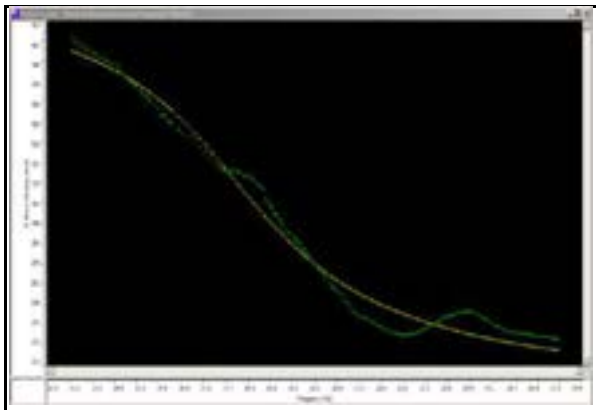
## SITE DATA

Latitude	43.751067°
Longitude	12.124743°
Height m. slm	1096 s.l.m.
Azimuth	10°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

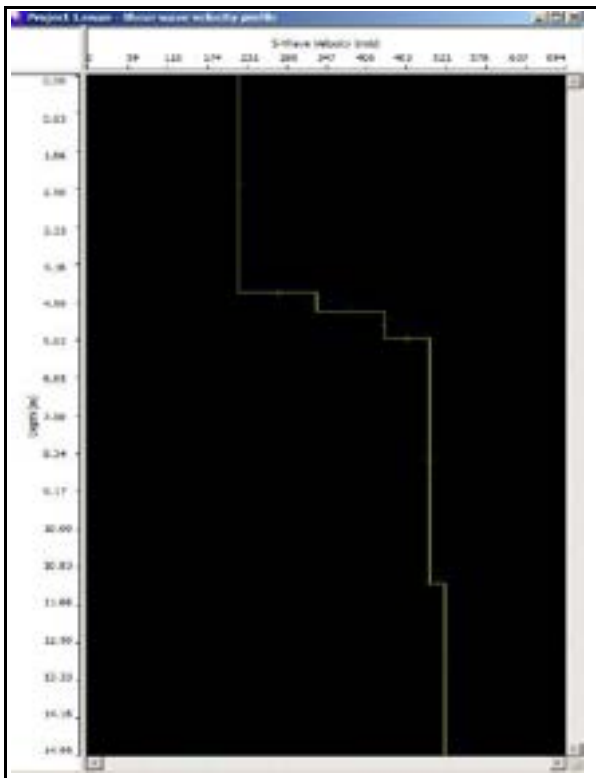
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	4.78	0.00	220
Layer 2	0.42	4.78	333
Layer 3	0.58	5.20	431
Layer 4	5.43	5.78	497
Layer 5	INF	11.21	519

## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE



## HISTORY

Model:	Thickness	Depth	Vs
	4.781574	0.000000	220.0
	0.417058	4.781574	333.0
	0.577194	5.198633	431.0
	5.433564	5.776727	497.0
		11.210290	519.0

Data Error: 18.37



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 6

## SITE DATA

Latitude	43.753247°
Longitude	12.132257°
Height m. slm	1069 s.l.m.
Azimuth	170°

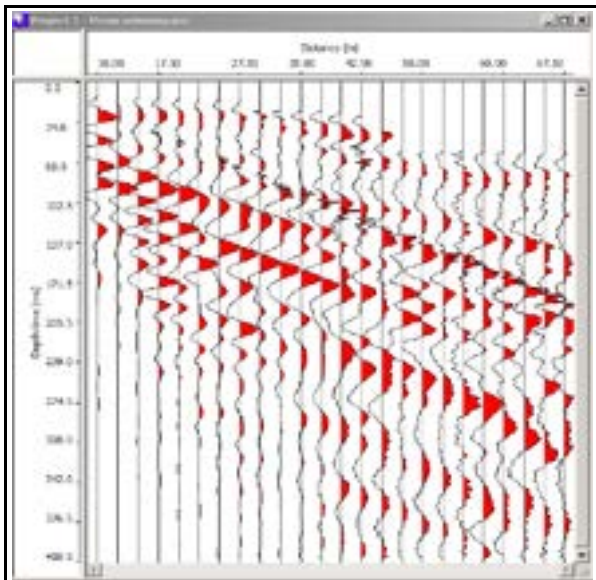
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

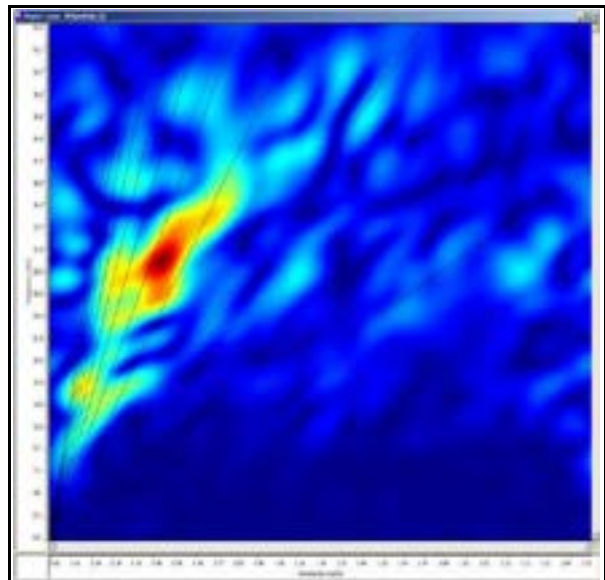


Fig - 23



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 7

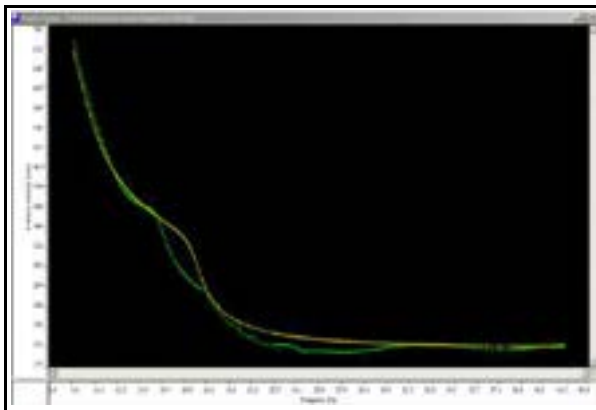
## SITE DATA

Latitude	43.753247°
Longitude	12.132257°
Height m. slm	1069 s.l.m.
Azimuth	170°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

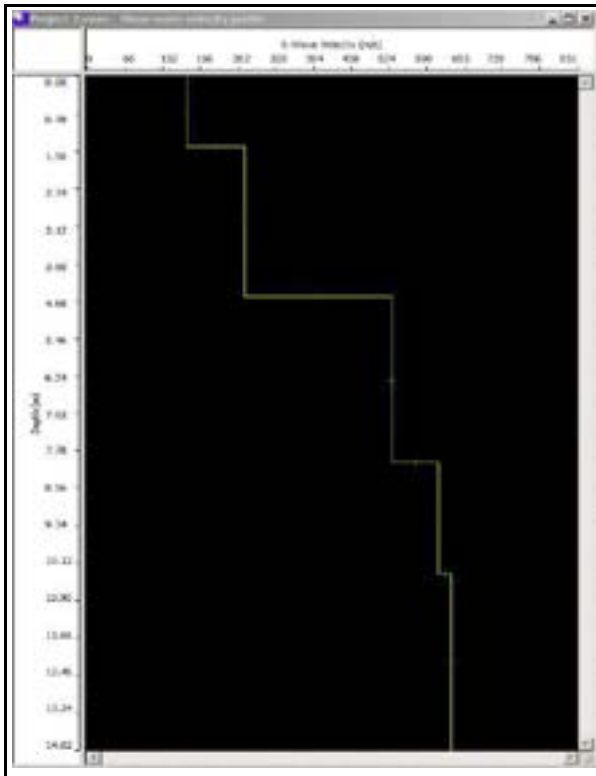
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	1.45	0.00	173
Layer 2	3.13	1.45	273
Layer 3	3.45	4.58	529
Layer 4	2.31	8.03	610
Layer 5	INF	10.34	632

## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE

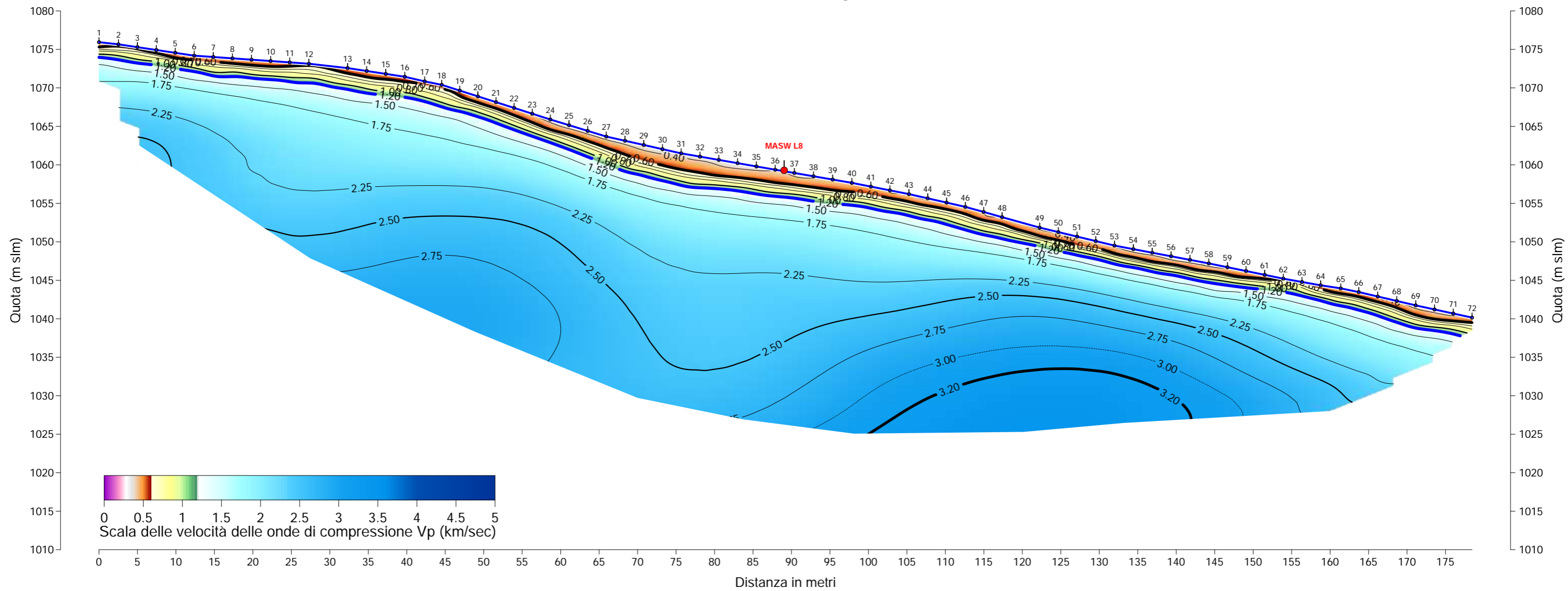


## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
1.453233	0.000000	173
4.606466	1.453233	273
8.012931	4.906466	529
11.419396	8.362931	610
14.825861	11.819396	632

DATA SERIES: 1.00

### SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L8 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

CLIENT: GEO ITALIA  
JOB NUMBER: 1737  
SITE: CASTELDELICI  
TEST NUMBER: Masw L 8

## SITE DATA

Latitude	43.753330°
Longitude	12.146811°
Height m. slm	1069 s.l.m.
Azimuth	5°

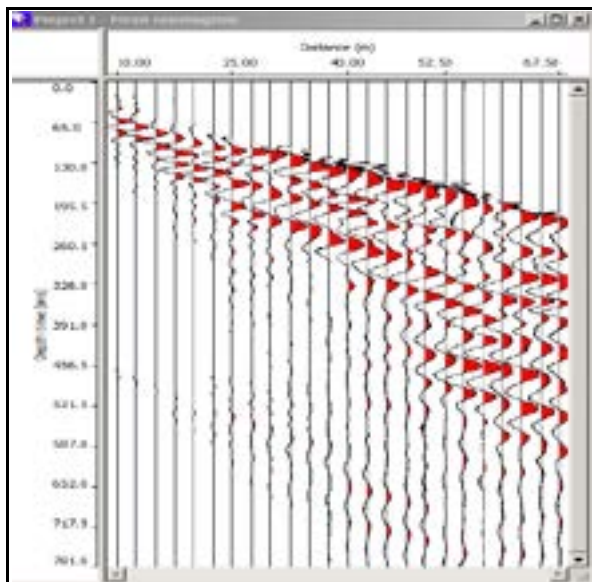
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

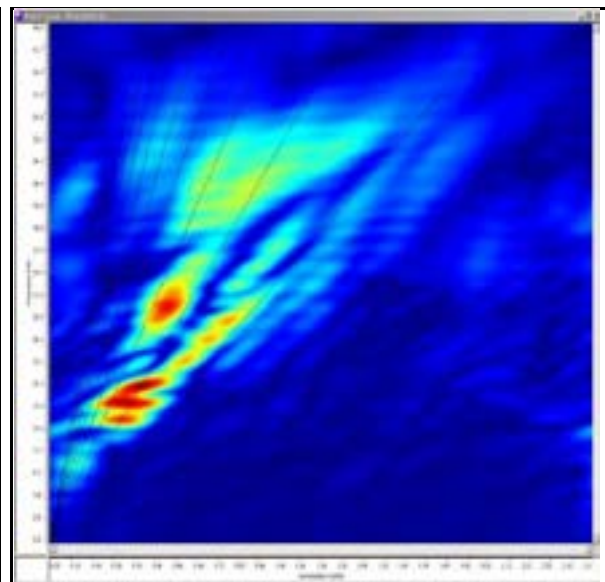


Fig - 26



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 8

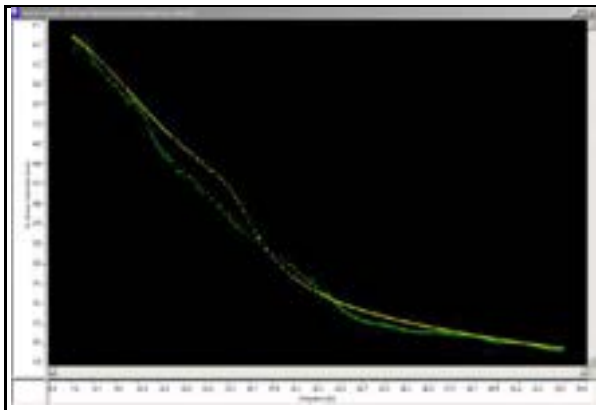
## SITE DATA

Latitude	43.753330°
Longitude	12.146811°
Height m. slm	1069 s.l.m.
Azimuth	5°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

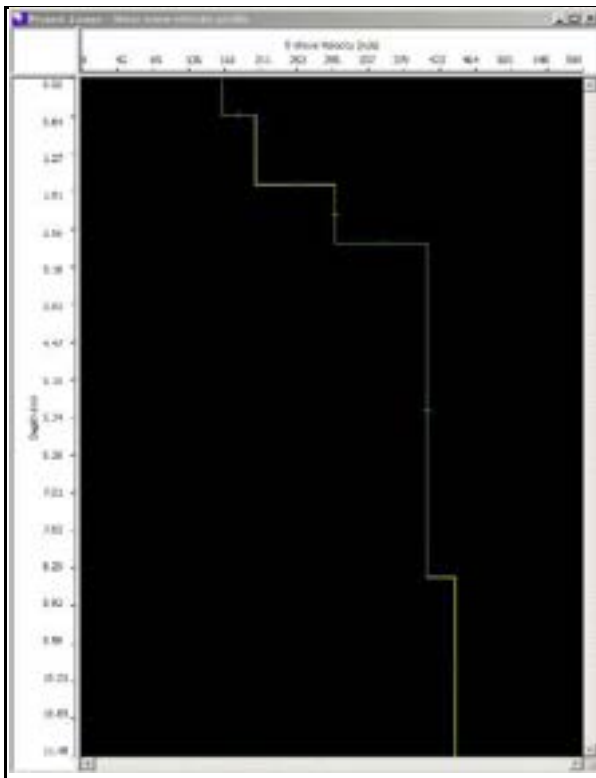
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	0.61	0.00	165
Layer 2	1.18	0.61	205
Layer 3	1.00	1.79	299
Layer 4	5.64	2.79	407
Layer 5	INF	8.44	440

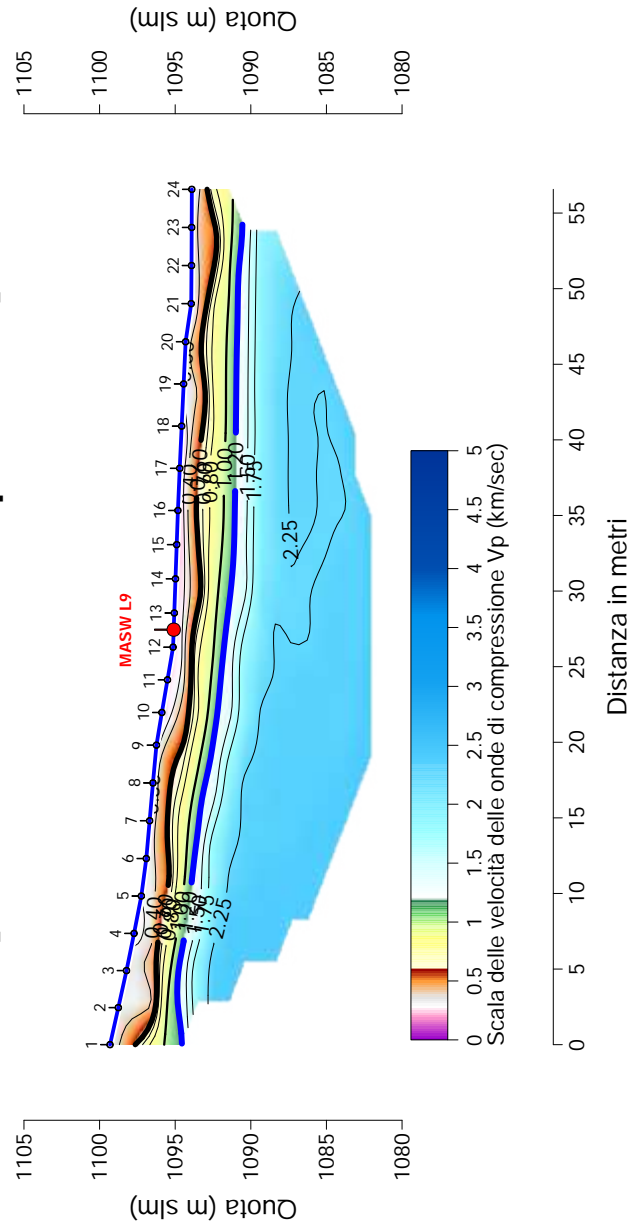
## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE



## HISTORY

Time	Depth	Vs
0.000000	0.000000	165
1.570165	0.611111	205
1.001994	1.792112	299
7.437334	2.790000	407
8.440000	8.440000	440

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L9 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 9

## SITE DATA

Latitude	43.745390°
Longitude	12.119040°
Height m. slm	1100 s.l.m.
Azimuth	35°

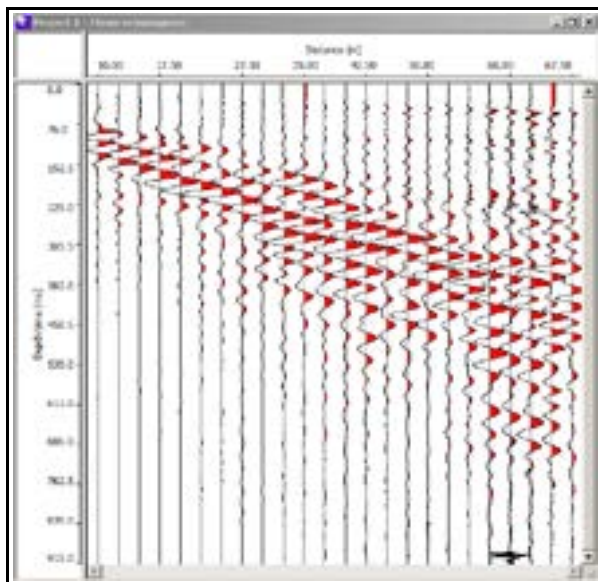
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

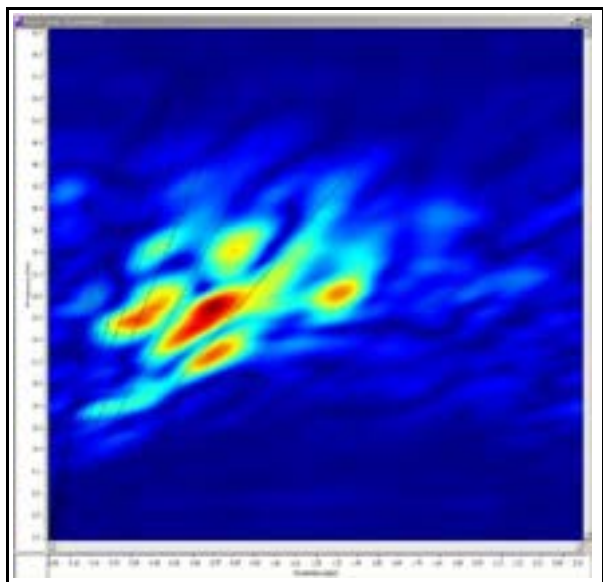
## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM





# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 9

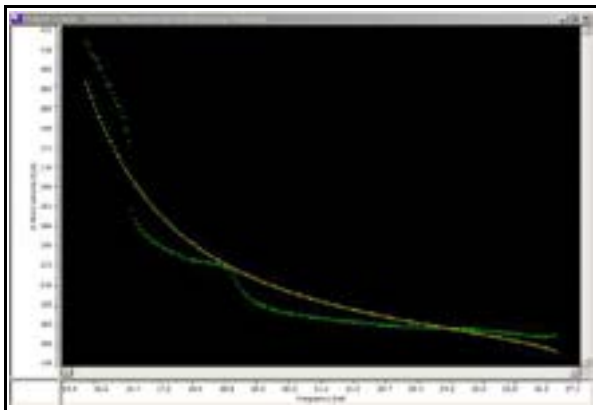
## SITE DATA

Latitude	43.745390°
Longitude	12.119040°
Height m. slm	1100 s.l.m.
Azimuth	35°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

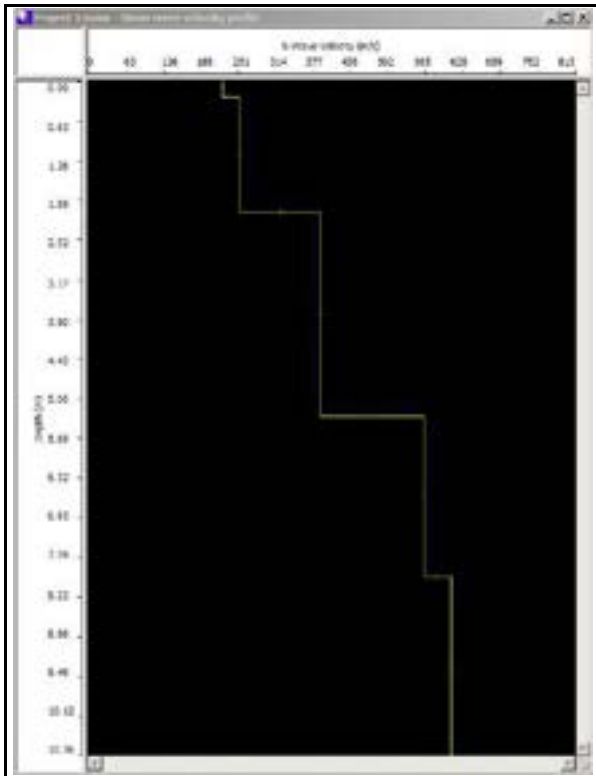
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	0.25	0.00	224
Layer 2	1.83	0.25	253
Layer 3	3.25	2.08	389
Layer 4	2.55	5.34	561
Layer 5	INF	7.89	608

## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE

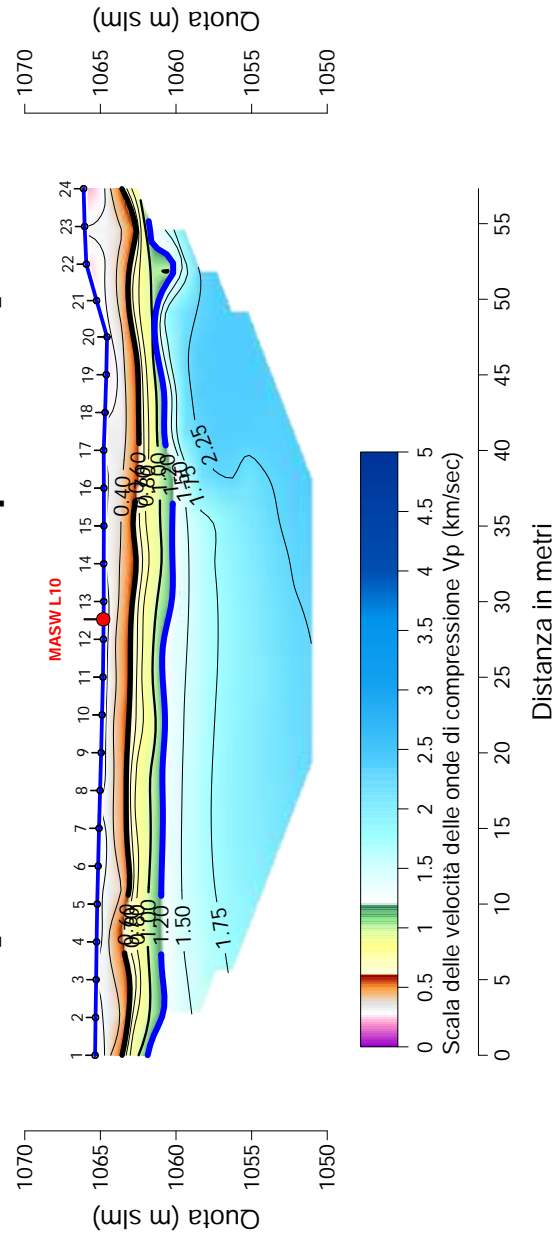


## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
0.250000	0.000000	224
1.830000	0.250000	253
3.250000	2.080000	389
2.550000	5.340000	561
7.890000	7.890000	608

Save Model: 1.00

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L10 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 10

## SITE DATA

Latitude	43.740033°
Longitude	12.115072°
Height m. slm	1061 s.l.m.
Azimuth	15°

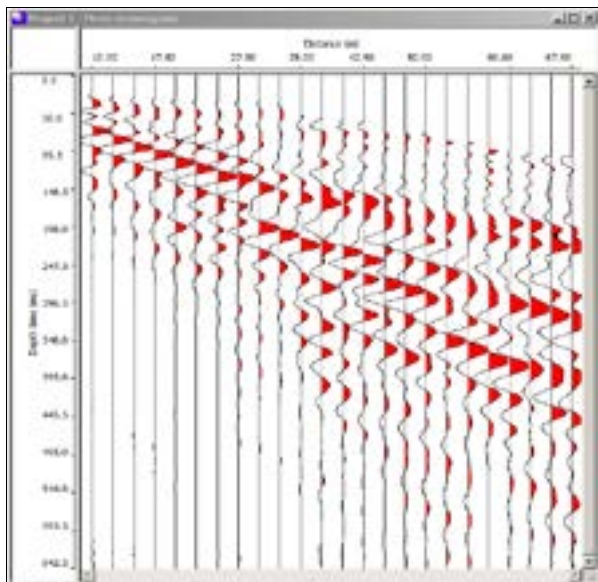
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

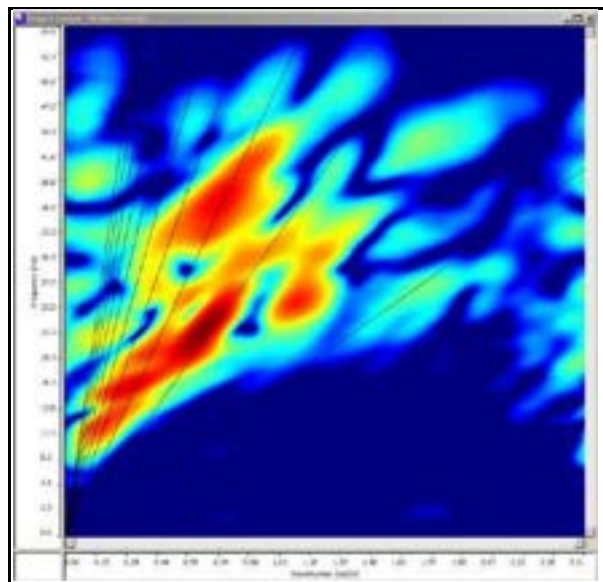


Fig - 32



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 10

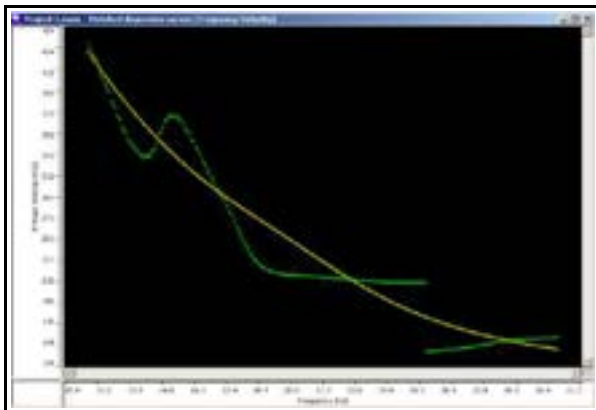
## SITE DATA

Latitude	43.740033°
Longitude	12.115072°
Height m. slm	1061 s.l.m.
Azimuth	15°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

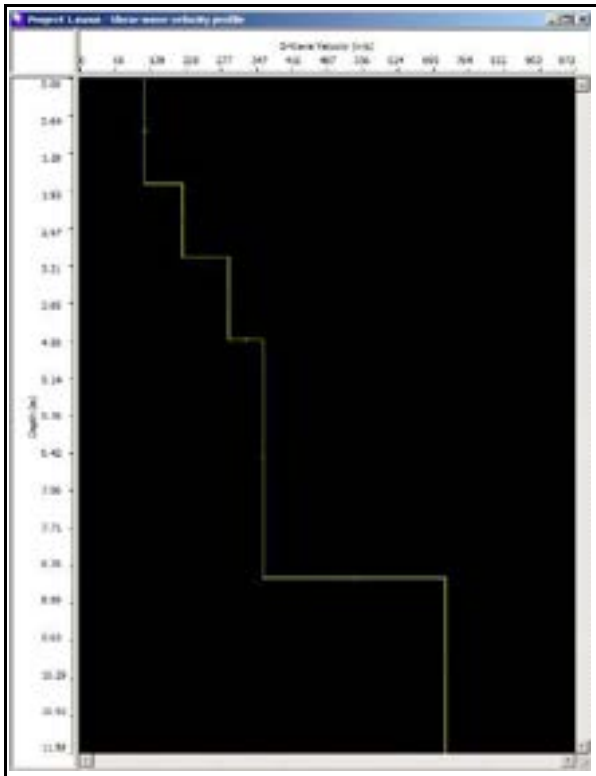
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	1.80	0.00	128
Layer 2	1.27	1.80	201
Layer 3	1.41	3.07	292
Layer 4	4.08	4.48	359
Layer 5	INF	8.56	718

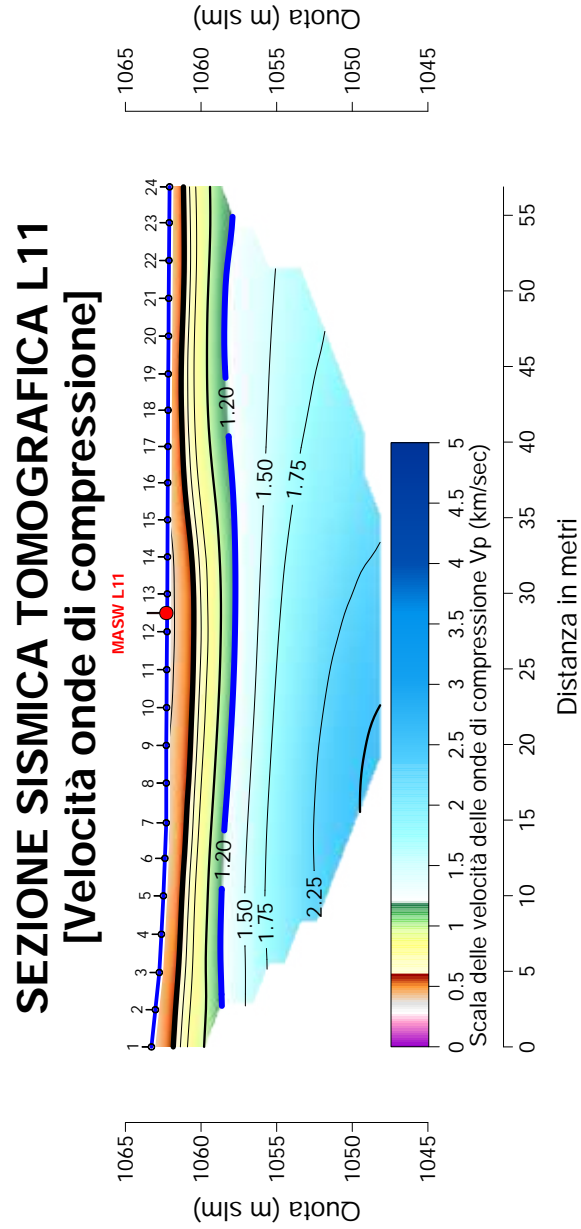
## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE



## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
1.800000	0.000000	128
1.267500	1.767500	201
1.410000	3.037500	292
4.072500	4.410000	359
4.072500	8.482500	718

DATA Version: 30.10



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 11

## SITE DATA

Latitude	43.741340°
Longitude	12.121441°
Height m. s.l.m	1065 s.l.m.
Azimuth	120°

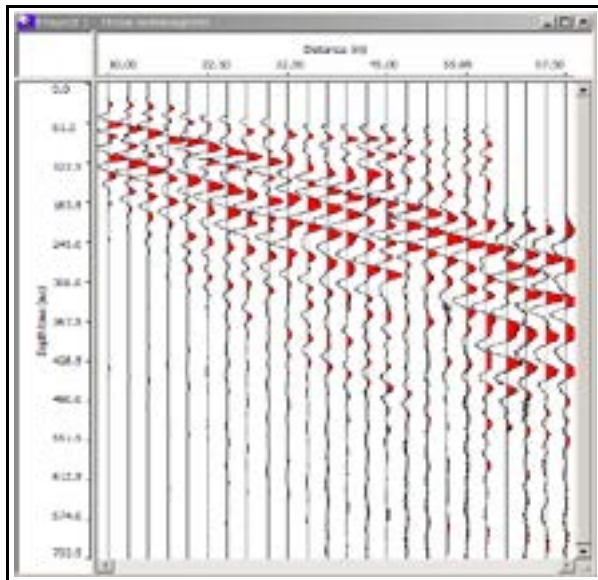
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

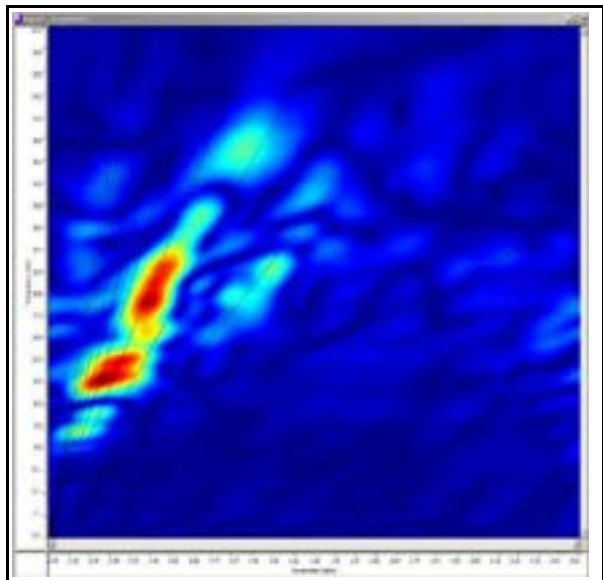


Fig - 35



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L 11

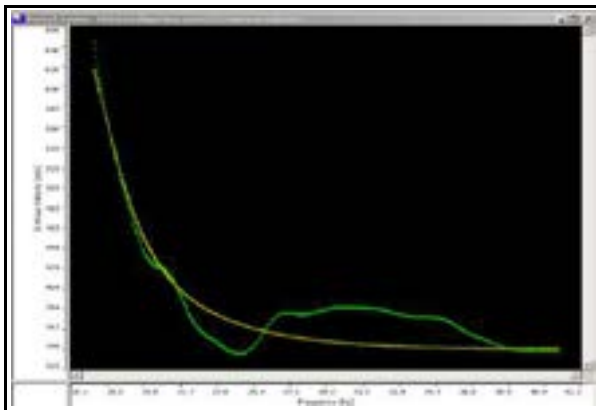
## SITE DATA

Latitude	43.741340°
Longitude	12.121441°
Height m. s.l.m.	1065 s.l.m.
Azimuth	120°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

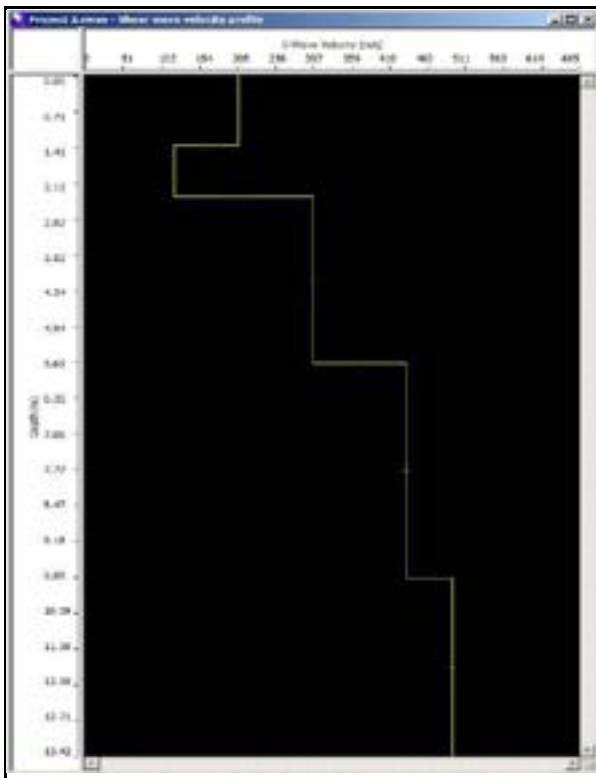
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1 <input type="checkbox"/>	1.37	0.00 <input type="checkbox"/>	206
Layer 2 <input type="checkbox"/>	1.01	1.37 <input type="checkbox"/>	119
Layer 3 <input type="checkbox"/>	3.29	2.37 <input type="checkbox"/>	306
Layer 4 <input type="checkbox"/>	4.23	5.67 <input type="checkbox"/>	431
Layer 5 <input type="checkbox"/>	INF	9.89 <input type="checkbox"/>	493

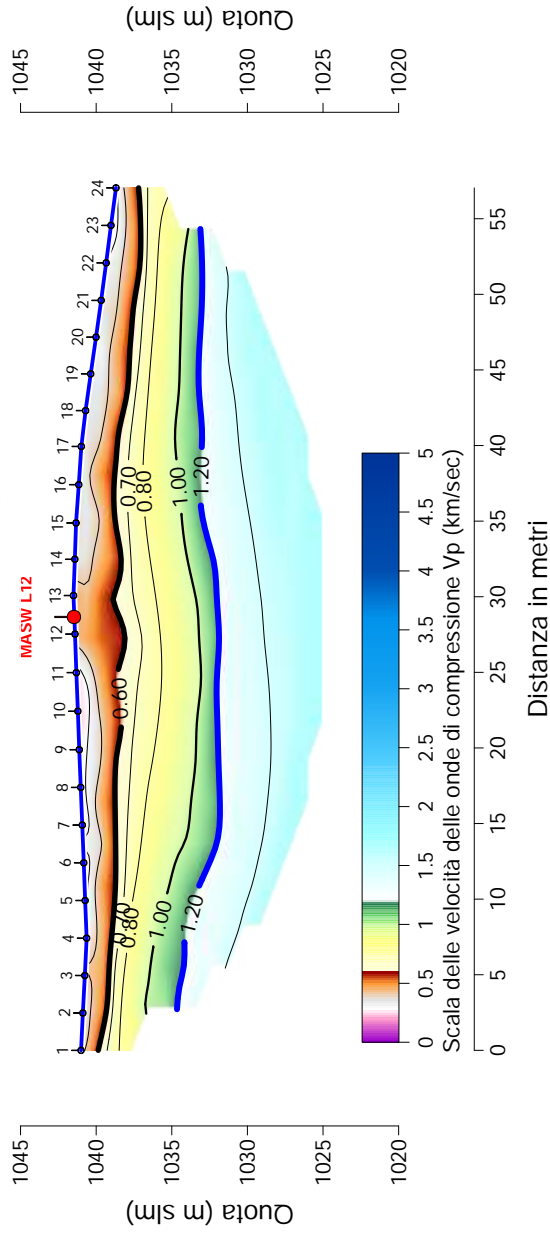
## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE



## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
1.37	0.000000	206
1.01	1.37272	119
3.29	2.37272	306
4.23	5.67272	431
INF	9.89272	493

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L12 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L12

## SITE DATA

Latitude	43.736591°
Longitude	12.127693°
Height m. slm	1038 s.l.m.
Azimuth	160°

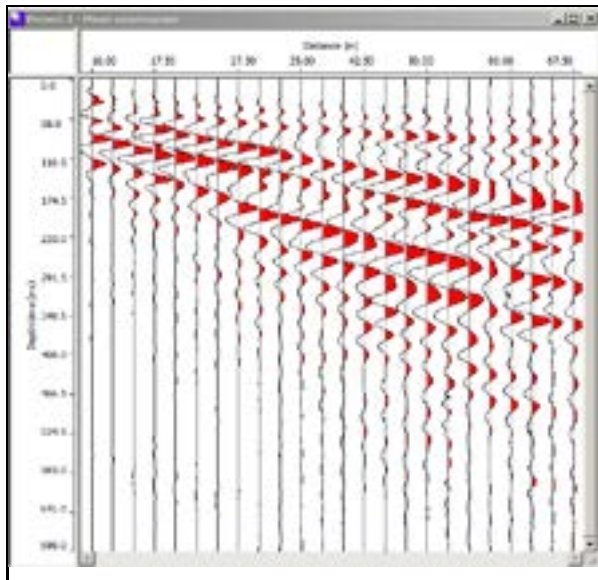
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

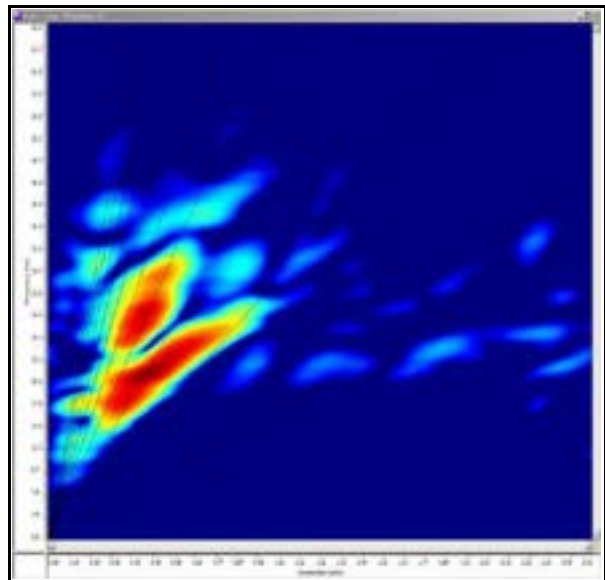
## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM





# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L12

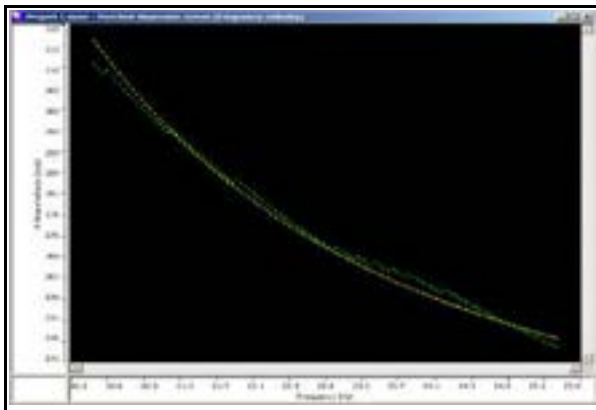
## SITE DATA

Latitude	43.736591°
Longitude	12.127693°
Height m. slm	1036 s.l.m.
Azimuth	160°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

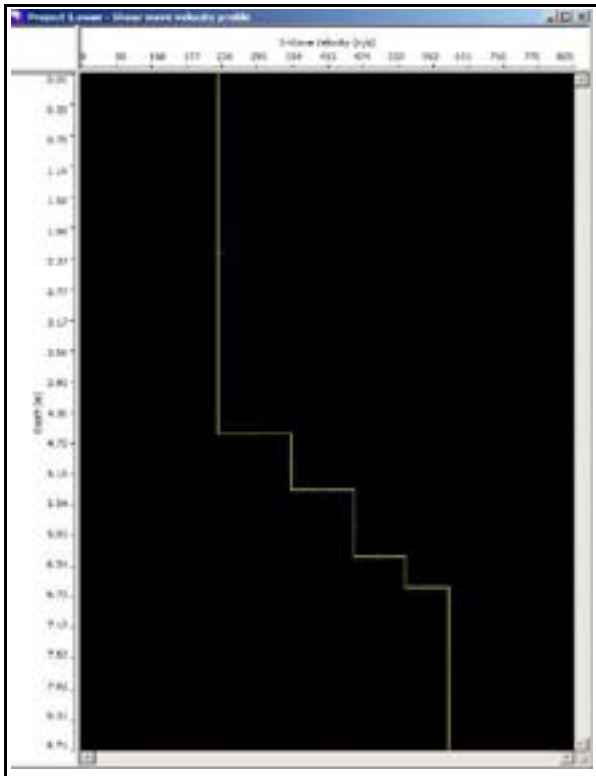
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	4.62	0.00	230
Layer 2	0.72	4.62	353
Layer 3	0.86	5.35	459
Layer 4	0.39	6.21	545
Layer 5	INF	6.60	618

## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE

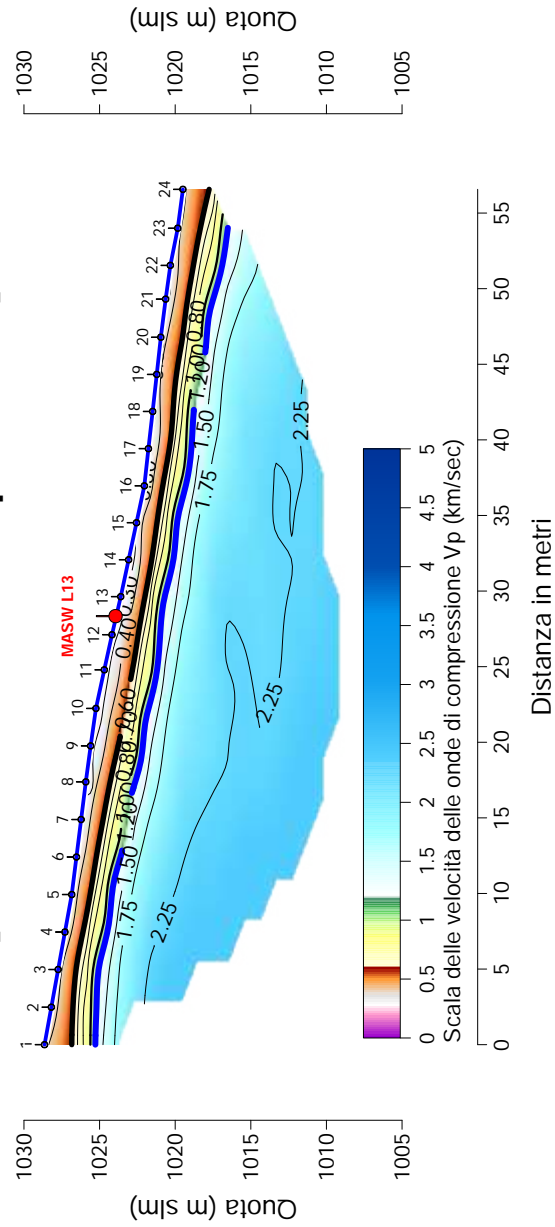


## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
4.620000	0.000000	230
0.720000	4.620000	353
0.860000	5.340000	459
0.390000	6.210000	545
INF	6.600000	618

Save History: 0.00

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L13 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L13

## SITE DATA

Latitude	43.743795°
Longitude	12.128984°
Height m. slm	1027 s.l.m.
Azimuth	160°

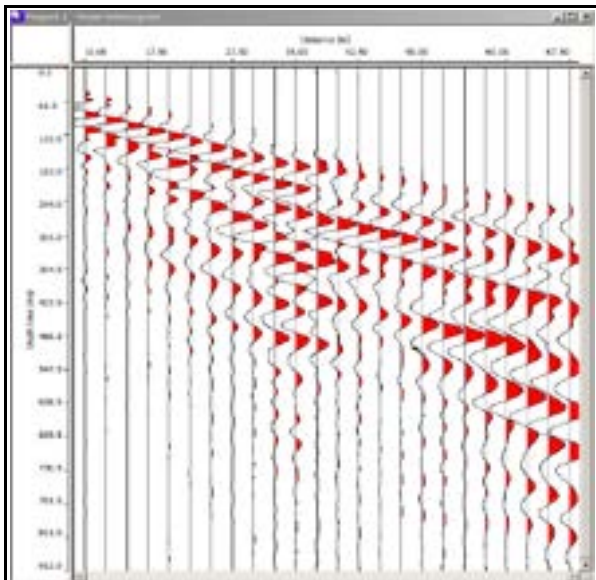
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

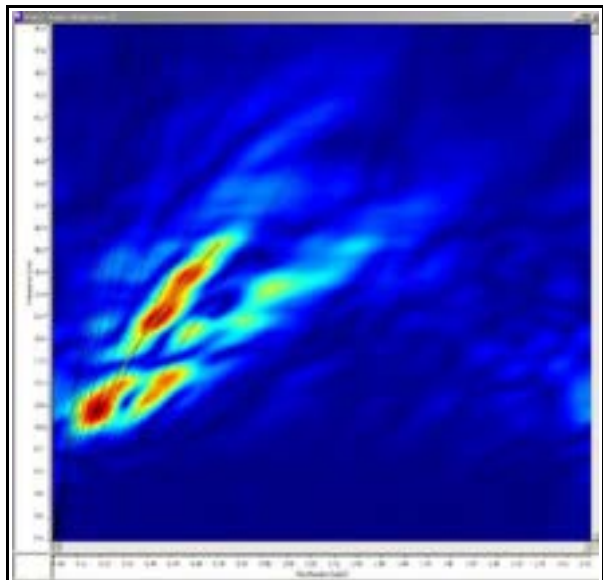


Fig - 41



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L13

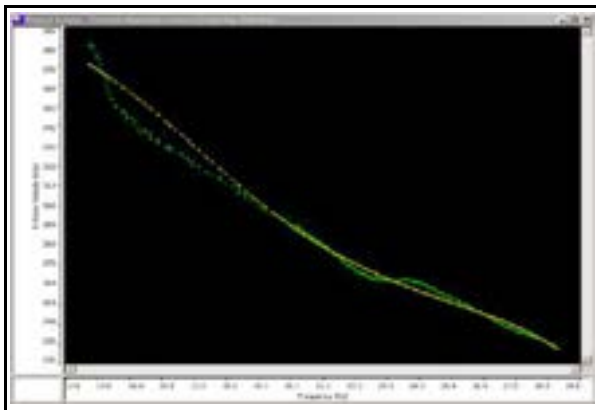
## SITE DATA

Latitude	43.743795°
Longitude	12.128984°
Height m. slm	1027 s.l.m.
Azimuth	160°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

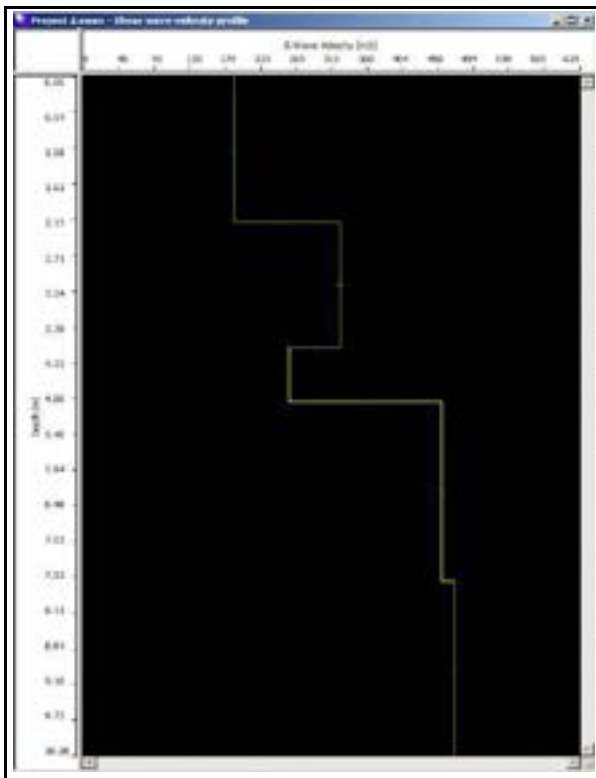
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	2.21	0.00	192
Layer 2	1.88	2.21	325
Layer 3	0.81	4.09	260
Layer 4	2.72	4.90	454
Layer 5	INF	7.62	470

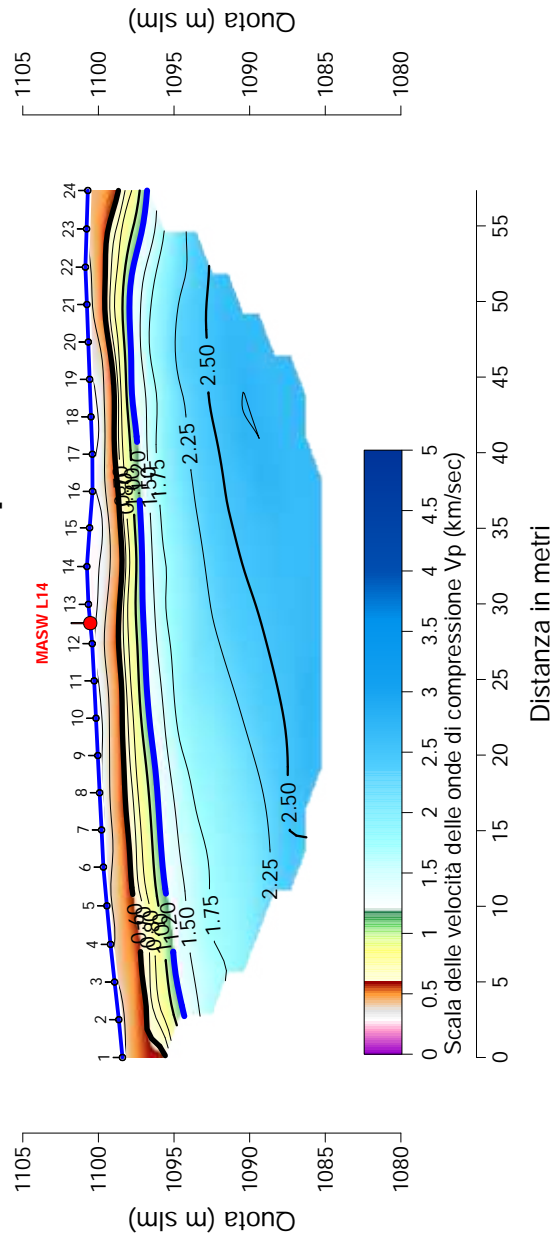
## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE



## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
2.210000	0.000000	192
1.880000	2.210000	325
0.810000	4.090000	260
2.720000	4.900000	454
1.822162	7.620000	470

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L14 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L14

## SITE DATA

Latitude	43.749782°
Longitude	12.142995°
Height m. slm	1103 s.l.m.
Azimuth	140°

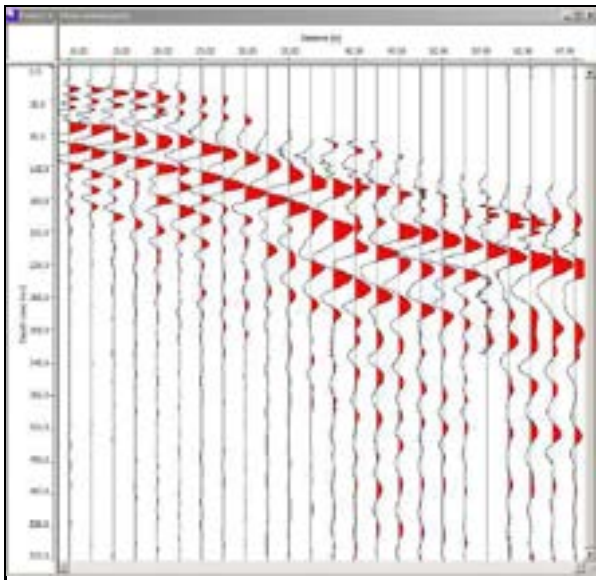
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

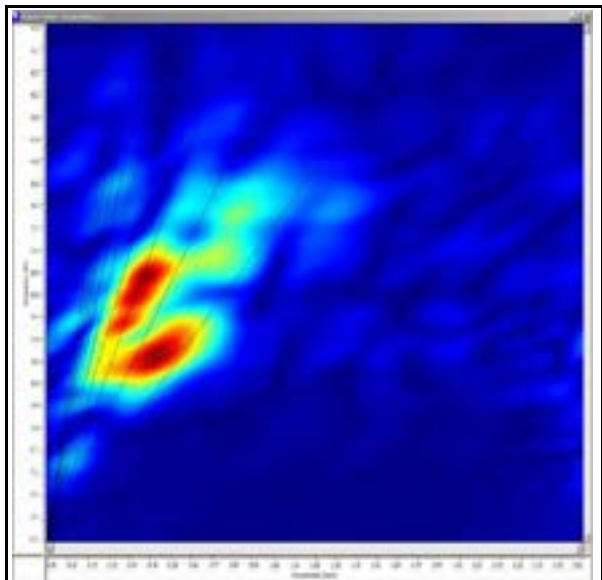


Fig - 44



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L14

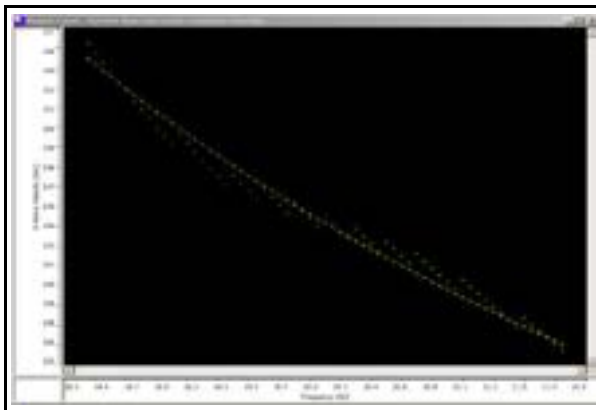
## SITE DATA

Latitude	43.749782°
Longitude	12.142995°
Height m. slm	1103 s.l.m.
Azimuth	140°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

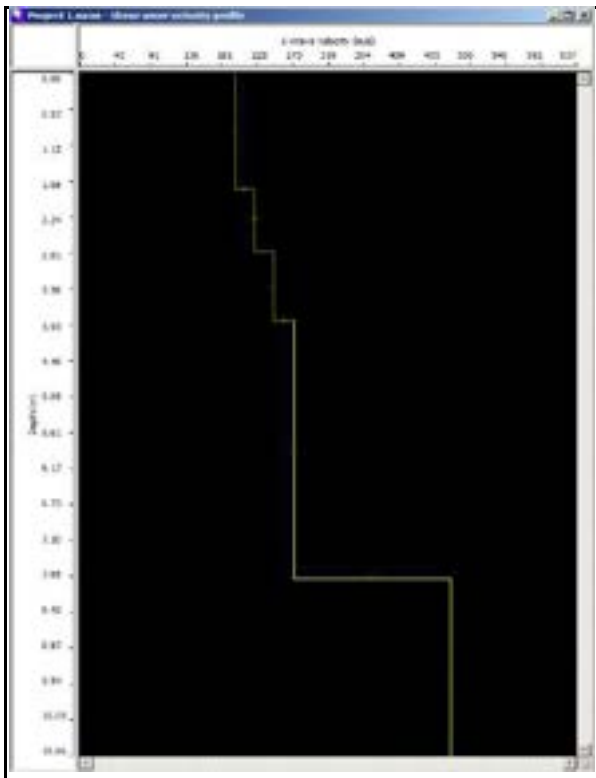
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	1.81	0.00	198
Layer 2	0.97	1.81	223
Layer 3	1.08	2.78	248
Layer 4	4.03	3.86	275
Layer 5	INF	7.89	476

## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE

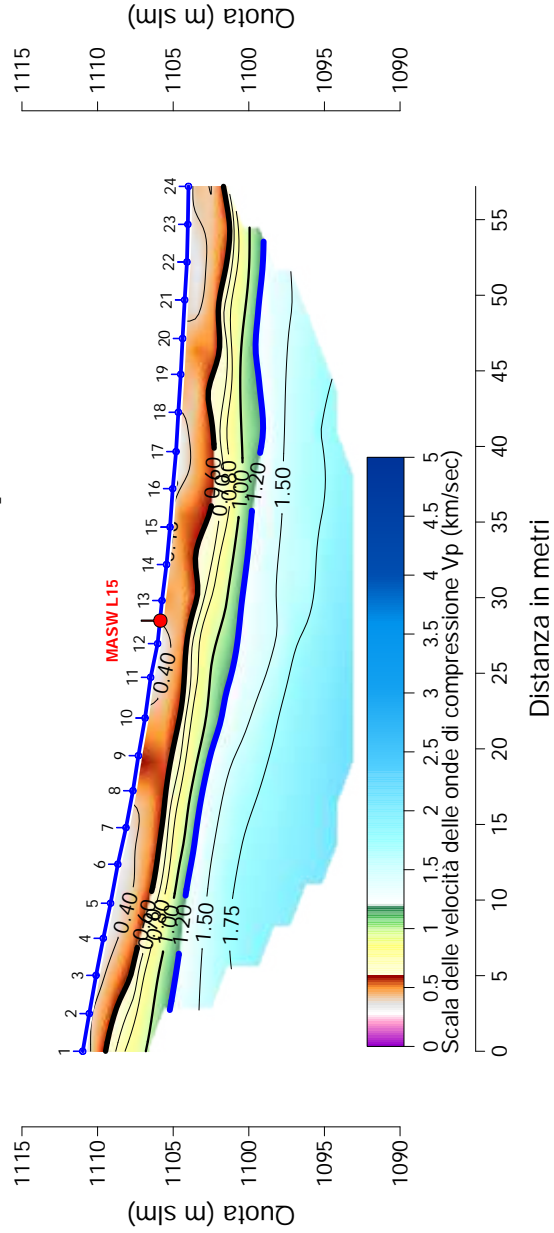


## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
1.812716	0.000000	198
0.968251	1.812976	223
1.083976	2.781233	248
4.030303	3.864311	275
	7.894614	476

data: 8/20/01 9:29

## SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA L15 [Velocità onde di compressione]



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L15

## SITE DATA

Latitude	43.750852°
Longitude	12.118632°
Height m. slm	1114 s.l.m.
Azimuth	110°

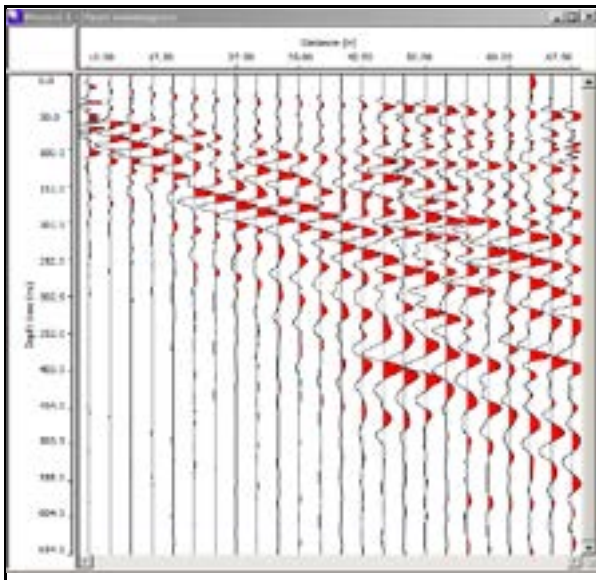
## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

## SITE



## RECORD



## F-K SPECTRUM

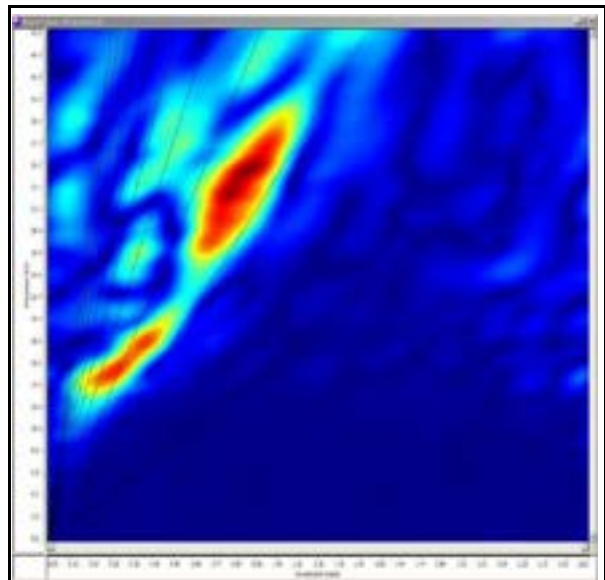


Fig - 47



# MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACES WAVES (MASW)

**CLIENT:** GEO ITALIA  
**JOB NUMBER:** 1737  
**SITE:** CASTELDELICI  
**TEST NUMBER:** Masw L15

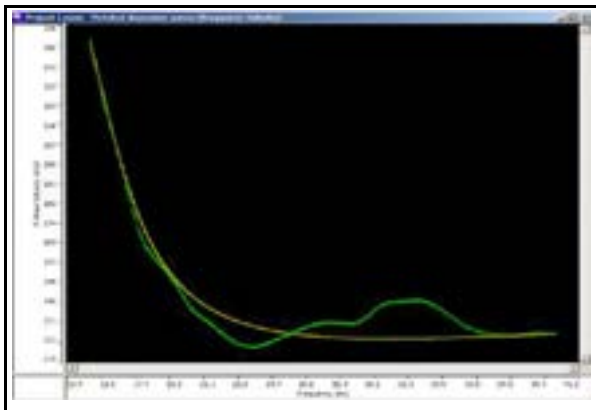
## SITE DATA

Latitude	43.750852°
Longitude	12.118632°
Height m. slm	1114 s.l.m.
Azimuth	110°

## ACQUISITION DATA

N° channels	24
Spacing (m)	2.5
Record time (sec)	5.0
Sampling (millisec)	0.5

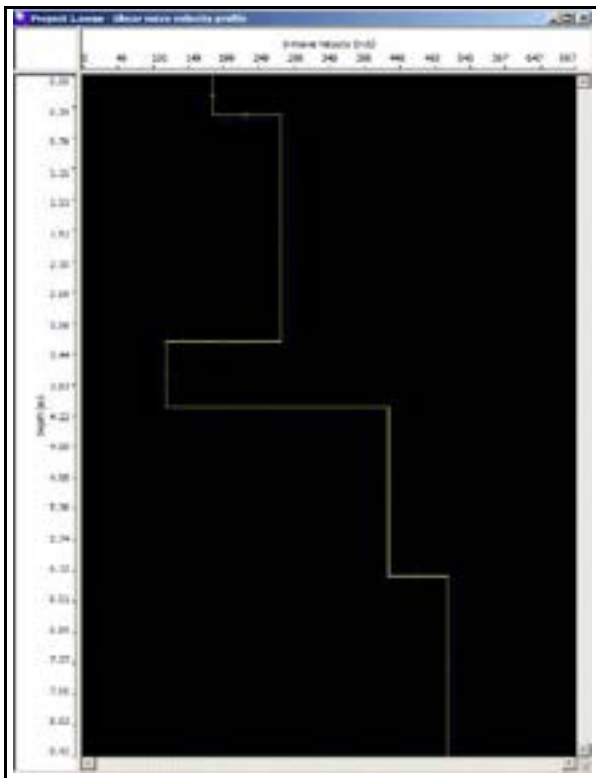
## MATCHED DISPERSION CURVES (f-v)



## SYNTHETIC MODEL TABLE

	Thickness	Depth	Vs
Layer 1	0.48	0.00	182
Layer 2	2.81	0.48	280
Layer 3	0.81	3.29	117
Layer 4	2.09	4.11	432
Layer 5	INF	6.19	516

## SHEAR WAVES VELOCITY PROFILE



## HISTORY

Thickness	Depth	Vs
0.479783	0.000000	182
3.312354	0.479783	280
0.812492	3.292108	117
2.088775	4.109603	432
	6.191378	516

Data Source: 3.1.0