

OGGETTO:		INDAGINI SISMICHE PER IL CALCOLO DEL PARAMETRO VS30	
TIPOLOGIA:	INDAGINE MASW INDAGINE HVSR	DATA INDAGINE:	
		Gennaio 2013	
LOCALITA':		COMUNE DI POMARANCE (PI) – LOCALITA' MONTEGEMOLI	
RICHIEDENTE:		GEOPROGETTI STUDIO ASSOCIATO	

codice documento:	j13.004.01.08_mgm.doc
versione /revisione:	01
stato documento:	definitivo
autore:	a.benvenuti
revisione:	v.carnicelli
approvazione:	v.carnicelli
data:	10 Gennaio 2013

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	2
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	2
2.2	INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE	3
2.3	INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE	4
3	ANALISI DEI RISULTATI	6

1 PREMESSA

Su richiesta di Geoprogetti Studio Associato è stata eseguita un'indagine geofisica nel Comune di Pomarance (PI), in località Montegemoli, finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S) ed al calcolo del parametro Vs30.

L'indagine, svolta in data 08 Gennaio 2013, è stata condotta conformemente alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2 TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro Vs30 si è deciso di eseguire n. 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves").

Per verificare i risultati ottenuti dal MASW è stato eseguito n. 1 sondaggio in sismica passiva a stazione singola lungo lo stendimento stesso.

In particolare l'elaborazione della prova HVSr ha consentito, unitamente ai risultati ottenuti dall'indagine MASW, di investigare il sottosuolo fino a profondità superiore rispetto a quella richiesta dalla normativa.

2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l'indagine MASW sono costituite da:

un sistema di energizzazione ad impatto verticale per le onde di Rayleigh costituito da una mazza del peso di 10 kg battente verticalmente su piastra quadrata in alluminio di dimensioni di 20 x 20 x 5 cm posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde Rayleigh;

un sistema di ricezione costituito da 24 geofoni verticali monocomponente con frequenza propria di 4.5 Hz;

un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo P.A.S.I. modello 16S24U; due cavi sismici telemetrici di 55 m ciascuno; un notebook PC Windows XP con software di acquisizione P.A.S.I. a 24 canali;

un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati

La strumentazione utilizzata per le misure dei microtremori ambientali, elaborati attraverso la tecnica HVSr, è costituita da un tromografo digitale (Tromino della Micromed) dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e UP-DOWN.

2.2 INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

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

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

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

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

La metodologia utilizzata consiste in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il picking o la modellazione diretta;
- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s e il parametro V_{s30} .

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software winMASW 5.0 Academy (della eliosoft).

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

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW	
Coordinate GB centro stendimento	1645370; 4799108
Orientazione	NW-SE (N 165)
Dislivello altimetrico tra gli end-shots	0 cm
Lunghezza stendimento	34.5 m
Numero Geofoni	24
Distanza intergeofonica	1.5 m
Numero punti di energizzazione per estremo	2
Off-sets sorgenti (da ciascun estremo)	G1: 0.75 m, 1 m; G24: 0.75 m, 1.5 m
Durata acquisizione	1024 ms
Intervallo di campionamento	250 μ s

Per valutare la validità delle ipotesi di monodimensionalità (strati piani e paralleli) sono state eseguite acquisizioni coniugate: 2 acquisizioni con sorgenti a distanze crescenti (0.75 m e 1.5 m) dal primo geofono (G1) dello stendimento e 2 acquisizioni, con offsets minimi pari a 0.75 e 1.5 m dall'ultimo geofono dello stendimento (G24).

Durante il processo di elaborazione, al fine di minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra lo spettro di velocità sperimentale e le curve di dispersione teoriche che possono generare tale spettro, ci si è avvalsi dei dati acquisiti con il sondaggio in sismica passiva.

2.3 INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

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

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

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

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

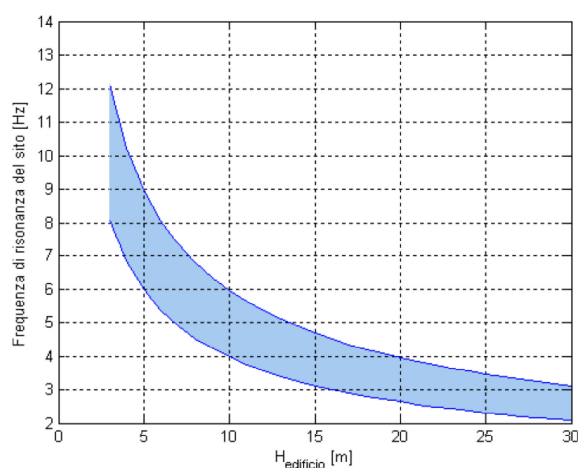
I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità equivalente delle onde di taglio V_s ;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Per quanto concerne il fenomeno della "doppia risonanza" (cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico, così come trasmesso in superficie, e quelle dei manufatti ivi edificati) è noto che, dal punto di vista empirico, la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza.

Nella figura seguente (tratta da Masi et al., 2007) si riporta, a titolo esemplificativo, una possibile relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza di sito. La fascia azzurra indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.



La quantificazione della frequenza caratteristica di sito attraverso misure dirette di microtremore sismico può quindi essere di estremo aiuto nella fase di progettazione.

Durante questa campagna geofisica è stata eseguita una misura di microtremore ambientale (sondaggio in sismica passiva a stazione singola) secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE HVSR				
Denominazione	Coordinate Gauss Boaga		Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
TR2	1645373	4799099	14 min	128 Hz

La misura dei microtremori ambientali, orientata secondo il Nord e della durata di 14 minuti, è stata effettuata con il tromografo digitale Tromino.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

3 ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo dell'analisi della prova MASW e della prova H/V, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro Vs30: il modello di sottosuolo in termini di Vs è stato ottenuto dal fit congiunto delle curve H/V e delle curve di dispersione ricavate dall'indagine MASW.

Il profilo verticale delle Onde S, in corrispondenza della prova MASW, ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna è risultato il seguente:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.60	1.60	145
7.30	5.70	290
19.50	12.20	450
35.00	15.50	520
inf.	inf.	725

$$Vs(0.0-30.0)=385\text{m/s}$$

$$Vs(1.0-31.0)=411\text{m/s}; Vs(2.0-32.0)=432\text{m/s}; Vs(3.0-33.0)=442\text{m/s}; Vs(5.0-34.0)=452\text{m/s}$$

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

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

Il profilo MASW indica una **Vs30, riferita al piano di campagna**, pari a **385 m/s**.

Nell'ipotesi di piano di fondazione posto a -1 m, -2 m, -3 m e -4 m dal p.d.c. i corrispondenti valori del parametro Vs30 risultano essere, rispettivamente, 411 m/s, 432 m/s, 442 m/s e 452 m/s.

Pisa, 10 Gennaio 2013

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

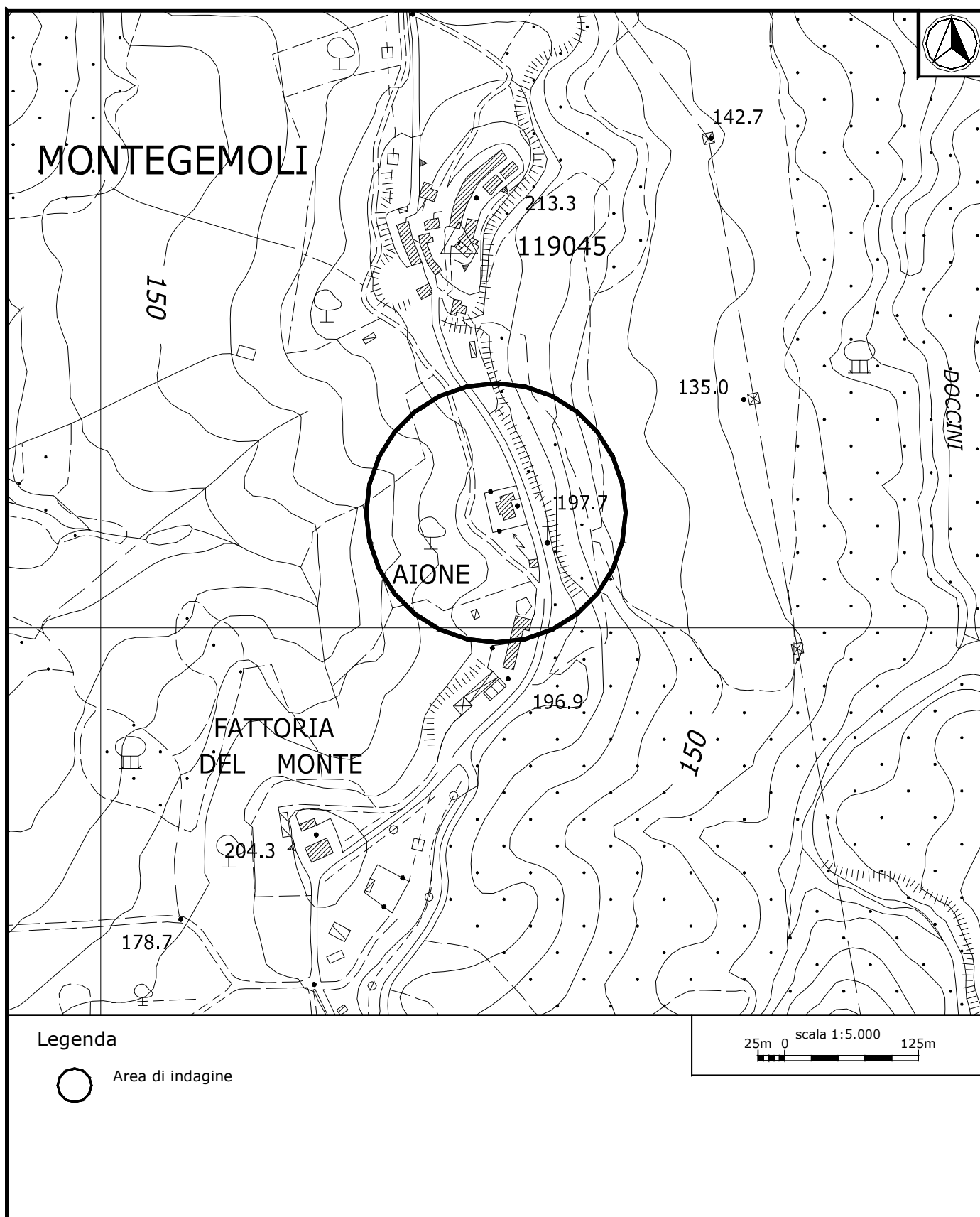


Figura1. Ubicazione indagini.

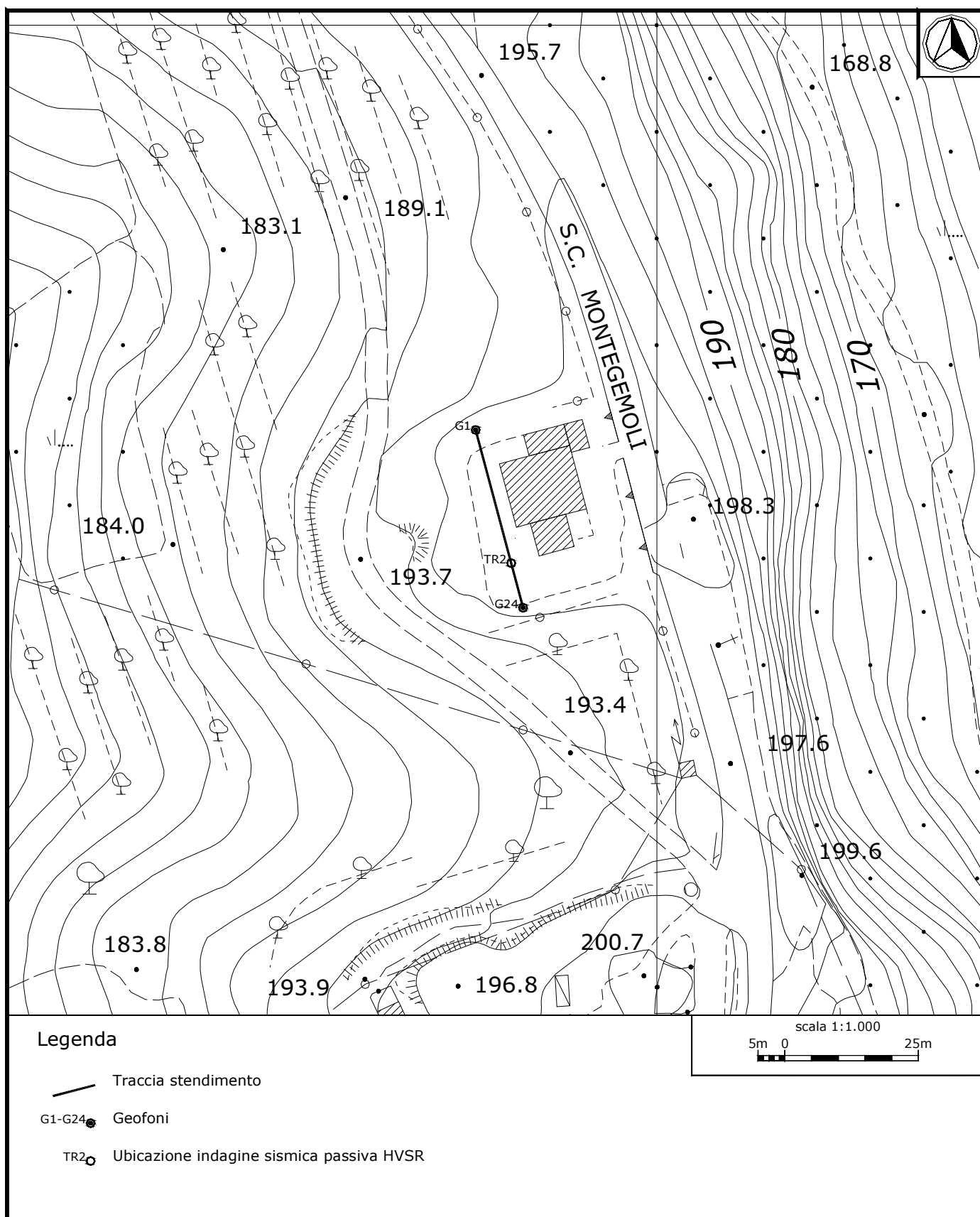
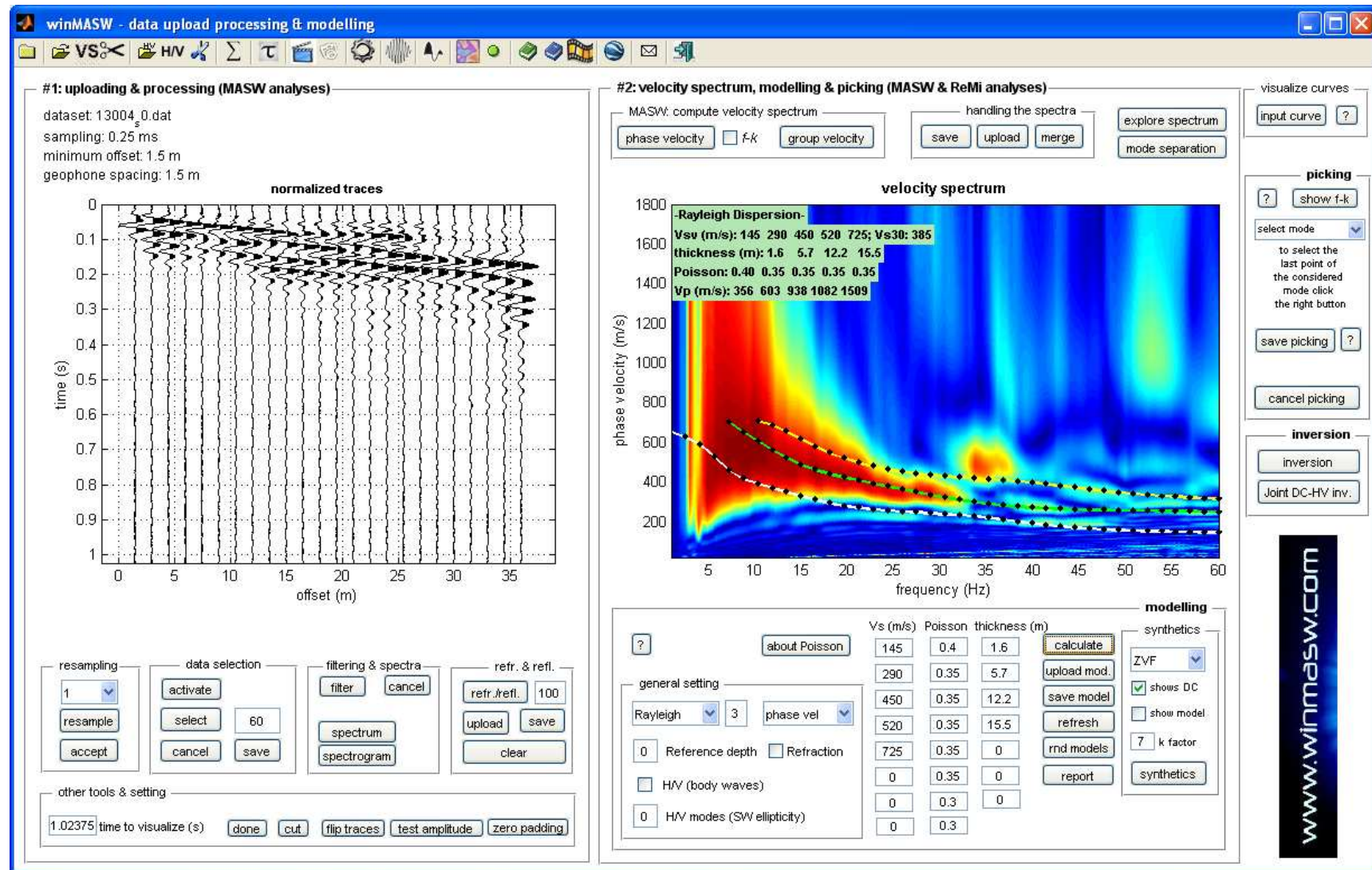
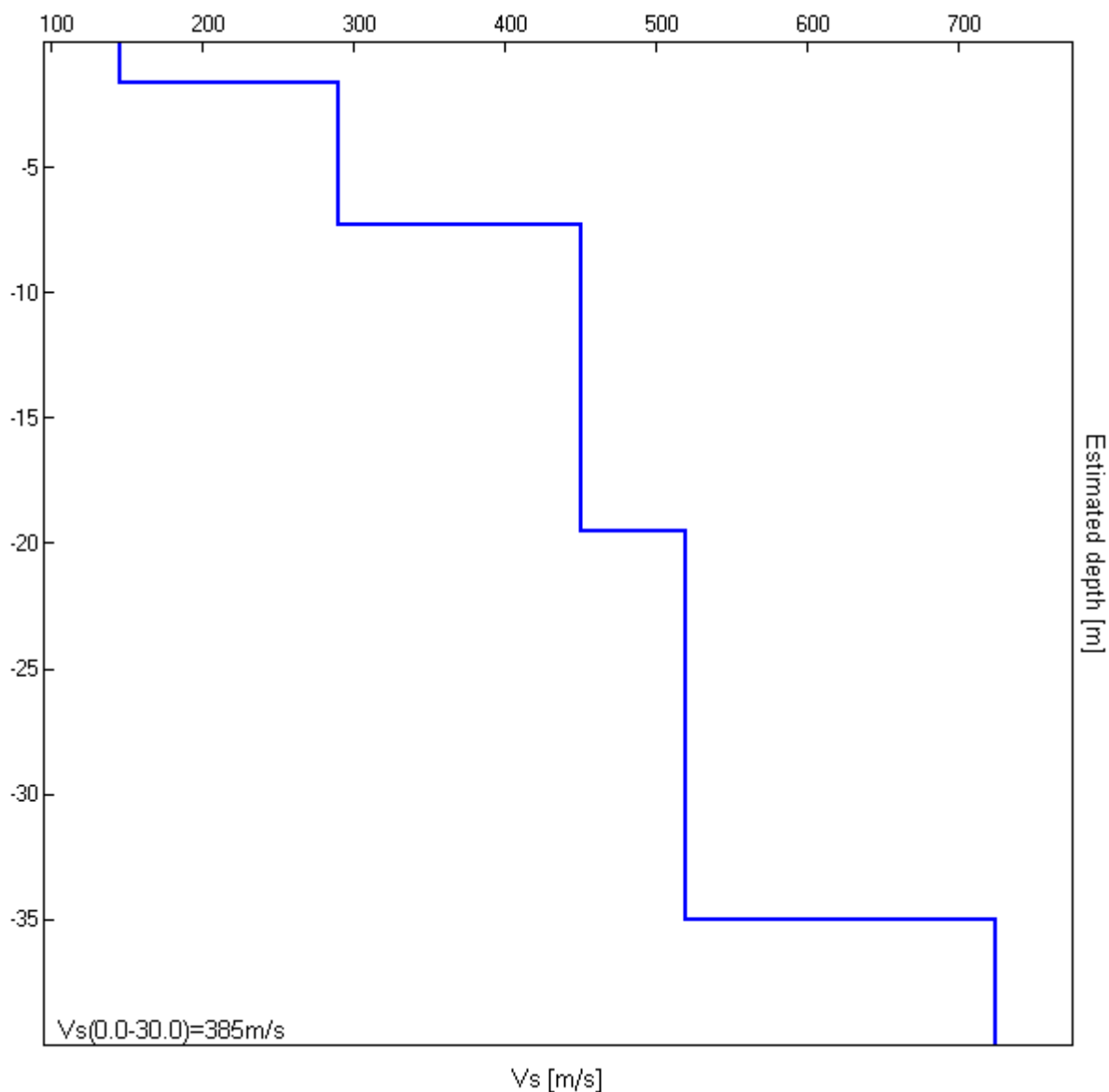


Figura 2. Dettaglio indagine MASW e ubicazione indagine in sismica passiva HVSR.



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



Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.60	1.60	145
7.30	5.70	290
19.50	12.20	450
35.00	15.50	520
inf.	inf.	725

Vs(0.0-30.0)=385m/s
 Vs(1.0-31.0)=411m/s; Vs(2.0-32.0)=432m/s; Vs(3.0-33.0)=442m/s; Vs(5.0-34.0)=452m/s

Seguono: schede indagine HVSR – Oltre al grafico della curva sperimentale H/V e agli spettri delle tre componenti del moto in velocità, si riportano, per la verticale di misura, a titolo esplicativo, il confronto fra curva sperimentale H/V e curva teorica relative al modello di sottosuolo proposto (e, conseguentemente, il profilo delle Vs calcolato sulla verticale).

J13_004_01_08_POMARENCE_TR, MONTEGEMOLI TR2

Strumento: TEP-0085/01-10

Inizio registrazione: 08/01/13 16:30:13 Fine registrazione: 08/01/13 16:44:14

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".

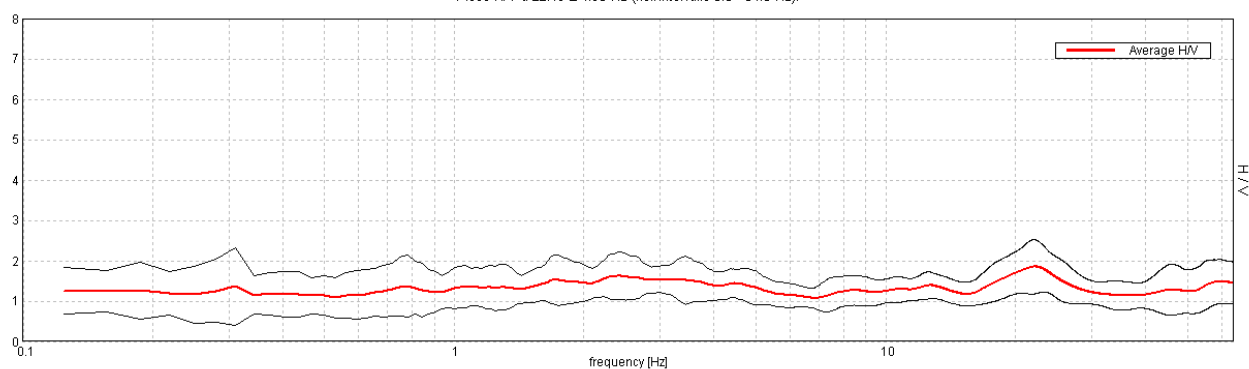
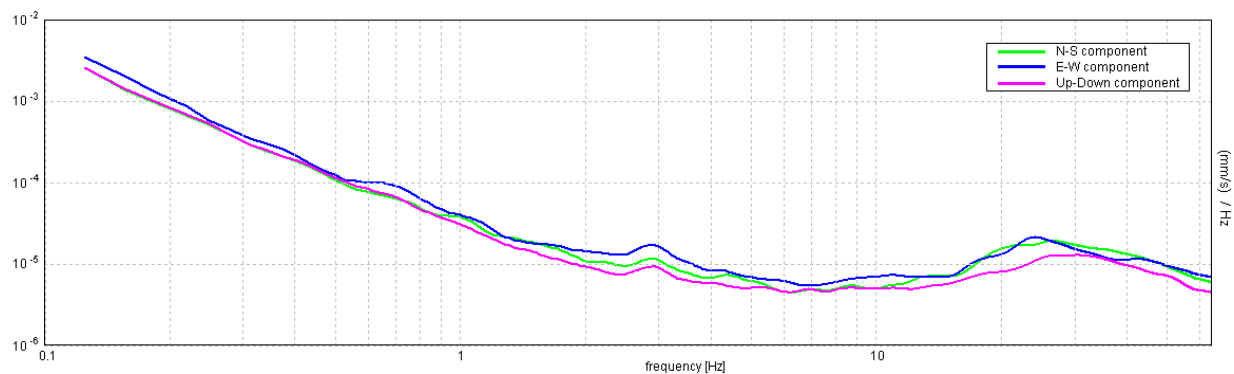
Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

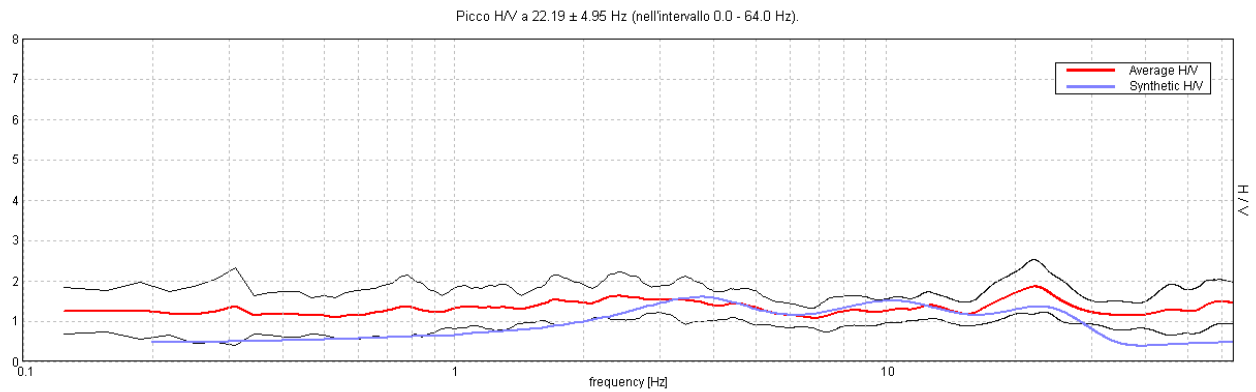
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALEPicco H/V a 22.19 ± 4.95 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



**Profondità alla base dello strato
[m]**

1.60
7.30
19.50
35.00
inf.

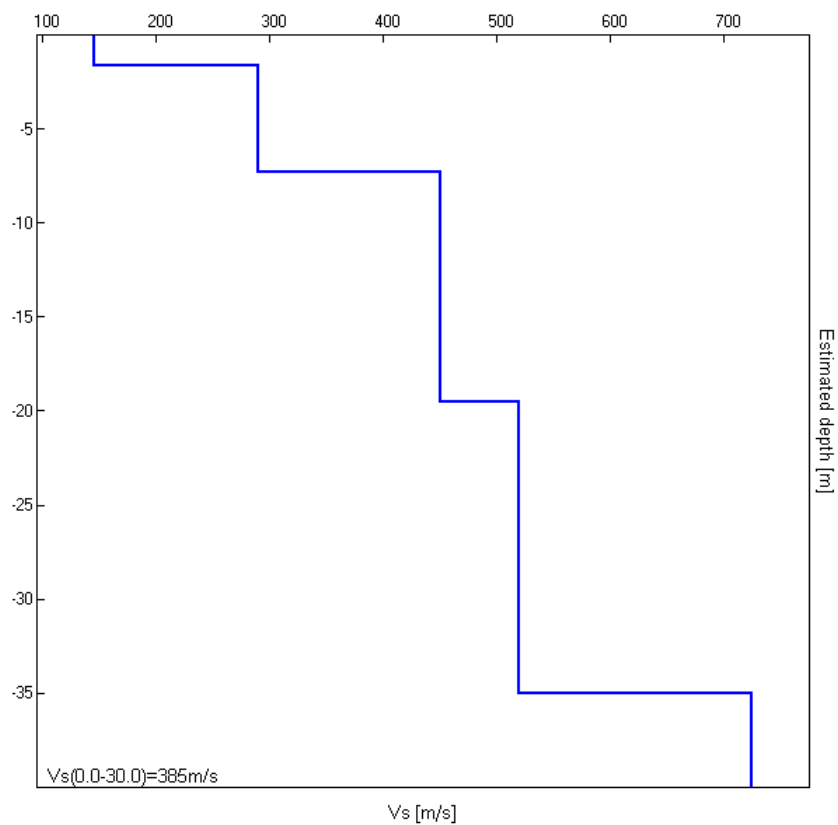
Spessore [m]

1.60
5.70
12.20
15.50
inf.

Vs [m/s]

145
290
450
520
725

$V_s(0.0-30.0)=385\text{m/s}$





Indagine MASW Documentazione fotografica