



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE
TOSCANA



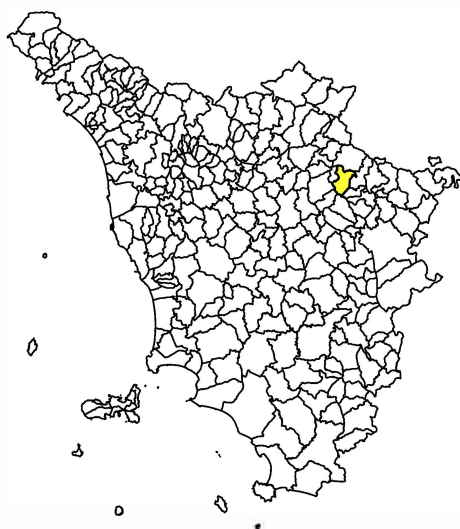
CONFERENZA DELLE REGIONI
E DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica sulle indagini (MS2 / MS3)

Regione Toscana
Comune di Castel San Niccolò



Regione Toscana	Soggetto realizzatore Progeo Engineering S.r.l. Referente e coordinatore attività: Geol. Massimiliano Rossi Geol. Fabio Poggi Collaboratori: Geol. Gabriele Menchetti Geol. Andrea Martini	Data Febbraio 2025
--------------------	---	-----------------------

INTRODUZIONE

La presente relazione sulle indagini, redatta ad integrazione della relazione illustrativa, contiene in dettaglio i risultati di tutte le indagini geofisiche per il presente studio di MS2 e MS3.

Nel dettaglio il presente documento contiene i report di:

- n°2 indagini MASW integrate da n°2 HVSR effettuate nell'area di Rifulgio;
- n°2 sismiche a rifrazione in onde P ed SH effettuate nell'area di Strada in Casentino



Indagini geofisiche di supporto allo studio di MS3 del Comune di Castel San Niccolò (AR)

- **SISMICA A RIFRAZIONE**
- **Indagine sismica tipo “MASW”**
- **HVSR**

L119SR - (loc. Campo Sportivo)

L120SR - (loc. Strada in Casentino - Zona Industriale)

L117MASW - (loc. Rifiglio)

HVSR418 - (loc. Rifiglio)

L118MASW - (loc. Rifiglio)

HVSR419 - (loc. Rifiglio)



Dott. G
SECCI SIMC



Dott. Geologo *Giovanni*
- (Ord. Geologi Toscar

CAMPAGNA DI ACQUISIZIONE DEI DATI

Per implementare i dati già esistenti abbiamo effettuato un'ampia campagna di indagine, dove sono stati eseguiti

2 profili a rifrazione in onde P ed SH
2 masw ed h/v

Le zone indagate sono state essenzialmente quelle di frana, con le rifrazioni atte alla ricostruzione delle sequenze stratigrafiche in zone collinari, le riflessioni e le tomografie elettriche usate per ricercare discontinuità sismostratigrafiche, gli esac validi per la caratterizzazione dei terreni al fondovalle, nella parte terminale delle zone in frana. I masw usati principalmente in collina in luoghi con mancanza di spazio.

Segue una tabella con tutte le prove svolte.

SISMICA A RIFRAZIONE

L119 e L120

MASW 117 e 118

TROMOMETRIE 418e 419

STRUMENTAZIONE USATA PER I RILIEVI

MASW-ESAC-RIFRAZIONE-RIFLESSIONE

Sismografo AMBROGEO ECHO24-2010

Sismografo AMBROGEO ECHO 48 2014

Computer mediacom smartbook 145

Geofoni verticali da 4,5 hz (masw- esac)

Geofoni verticali da 14 hz (rifrazione in p)

Geofoni verticali da 60 hz (riflessione)

Geofoni orizzontali da 10 hz (rifrazione in sh)

Massa battente (mazza) (rifrazione in P, riflessione, masw)

Traversina caricata dal peso di una persona o di un autoveicolo e percossa nei due lati per energizzazione in sh



Number of channels	24+1 with differential input
AD conversion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	0,6,12,18,24,30,36,42,48,54,60,66,72
Frequency response	0 to 6kHz (30KSPS) 0 to 4,8kHz (15KSPS) 0 to 3kHz (7,5KSPS) 0 to 1,5kHz (3,5KSPS) 0 to 800Hz (2KSPS) 0 to 400Hz (1KSPS)
Acquisition and display filter	Low Cut Out 10-15-25-35-50-70-100-140-200-250 Hz High Cut Out 32-64-125-250 Hz Notch 50-60-150-180 Hz
Sampling Interval	32,64,128,256,478,956us
Record Length	16000 samples
Stacking trigger accuracy	1/32 of sample interval
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	5Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kHz)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB

RILIEVI TROMOMETRICI

Tromino Micromed



Number of channels	3+1 analog
Amplifiers	all channels with differential inputs
Noise	< 0.5 μ V r.m.s. @128 Hz sampling
Input impedance	10^6 Ohm
Frequency range	DC - 360 Hz
Sampling frequency	16384 Hz per channel
Oversampling frequency	32x, 64x, 128x
A/D conversion	≥ 24 bit equivalent
Max analog input	51.2 mV (781 nV/digit)

**SOFTWARE USATO PER LA VISUALIZZAZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E
L'ELABORAZIONE DEI DATI**

Acquisizione dei dati

AMROGEO-Echo XE6-24 (gestione 24 canali)

AMROGEO-Echo XE6-48 (gestione 24 canali)

AMROGEO-Echo XE7-serializzazione dei 2 sismografi-gestione 72 canali.

Elaborazione e filtraggio

Geogiga -Front End pro- Reflector

VWgeosoft Visual Sunt - WinMasw Pro

Eliosoft-Win masw accademy elaborazione Masw-Remi-H/V-Attenuazione

Grilla-Tromino-H/

Intelligent re source-Rayfract -Tomografia sismica a rifrazione

**TUTTI I SOFTWARE COMMERCIALI IN NOSTRO POSSESSO SONO ORIGINALI E
DOTATI DI ORIGINALE LICENZA**

SISMICA A RIFRAZIONE

CENNI TEORICI

La metodologia della sismica a rifrazione consiste nel produrre delle onde sismiche nel terreno tramite una energizzazione (scoppio), tale energia può essere generata tramite un grave che percuote il terreno (martello o peso), oppure tramite lo scoppio di una carica esplosiva.

In particolare la sismica a rifrazione studia il comportamento dell'onda rifratta.

Tale onda, viaggiando all'interfaccia fra due mezzi a differente velocità, manda in superficie una serie di segnali (vibrazioni) che vengono registrati da degli accelerometri (geofoni).

Tali geofoni, posti ad un'equidistanza nota l'uno dall'altro vanno a formare la stesa sismica. L'indagine procede energizzando in posizioni note.

Il segnale così registrato viene convogliato ad una scheda di conversione A/D, e quindi registrato e conservato in memoria.

L'acquisizione dei dati da parte del sismografo parte quando un particolare circuito ("trigger") viene attivato dall'energizzazione nel terreno.

Per ogni registrazione viene registrato un segnale, costituito da una traccia per ciascun geofono, riconoscendo su ciascuna traccia il primo arrivo dell'onda rifratta si genera una retta, detta dromocrona, dall'inclinazione della quale si può risalire alla velocità ed alla geometria (interpolando più dromocrone) dei rifrattori.

Le metodologie di interpretazioni dei dati vanno dalle più semplici (metodo delle intercette) che richiedono solo 2 scoppi per profilo, al metodo del reciproco (Hokins 1957) e del reciproco generalizzato (G.R.M. Palmer 1980) che richiedono 5-7 scoppi per profilo, fino alle tecniche tomografiche, che richiedono almeno 7 scoppi per stendimento.

Le basi su cui si fonda ogni tecnica sono differenti, così come è crescente la complessità dell'elaborazione, tant'è che i G.R.M e soprattutto le tecniche tomografiche sarebbero improponibili senza l'ausilio di computer.

L'elaborazione che restituisce ogni tecnica risulta via via più completa e dettagliata, fino ad arrivare a una mappatura di discontinuità molto articolate ottenibile con le più moderne tecniche tomografiche.

PRINCIPALI LIMITI DELLA TECNICA SISMICA RIFRAZIONE

Il limite principale della sismica a rifrazione sta nel fatto che tale tecnica presuppone un incremento costante della velocità andando in profondità.

Se, ad esempio, abbiamo un modello in cui sotto uno strato continuo di argilla dura abbiamo della sabbia molle, ed al disotto di questa roccia, il passaggio fra argilla e sabbia non produce rifrazione, ed il modello che ricostruirò sarà un modello di terreno errato.

Per questo le indagini sismiche andranno sempre accoppiate, soprattutto in situazioni dove inversioni di velocità sono frequenti (ad esempio i depositi quaternari) ad indagini geotecniche dirette.

Tali inconvenienti sono stati parzialmente risolti dalle tecniche tomografiche, dove tramite il "ray tracing" è possibile stabilire il percorso del raggio sismico ed individuare zone (sempre che siano limitate ad una parte interna allo stendimento) dove è avvenuta un inversione di velocità, caratterizzate da un'assenza di copertura dei medesimi.

MISURAZIONI TROMOMETRICHE

Per eseguire uno studio di micro zonazione sismica di primo livello si necessita di avere conoscenze su porzioni di territorio molto estese , di una metodologia che permetta di raggiungere profondità ragguardevoli e , infine che sia di facile esecuzione ed economicamente non impegnativa.

Si ricorda inoltre che il target degli studi di primo livello risulta essenzialmente nel definire la profondità della roccia sotto la copertura sedimentaria.

La tecnica da noi utilizzata per l'acquisizione delle misure, peraltro fortemente raccomandata dalle *linee guida per la micro zonazione sismica* è quella tromometrica.

BASI TEORICHE

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica. La prova, comunemente nota con il termine H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali, H, e verticale, V) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989). In un sistema costituito da uno strato tenero (es. coperture) ed un semispazio rigido (es. bedrock), un'onda tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti]. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla legge:

$$1) T^{\circ} = 4h/V_s$$

dove T° indica il periodo , V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato che risona e H è lo spessore di detto strato.

Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti.

L'Equazione 1 permette di comprendere come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura di microtremore che fornisce f , nota la V_s delle coperture, si può infatti stimare la profondità dei riflettori sismici principali o viceversa.

Misure H/V effettuate su roccia sana che non amplifica daranno invece curve piatte .

RILIEVI EFFETTUATI

CENNI TEORICI

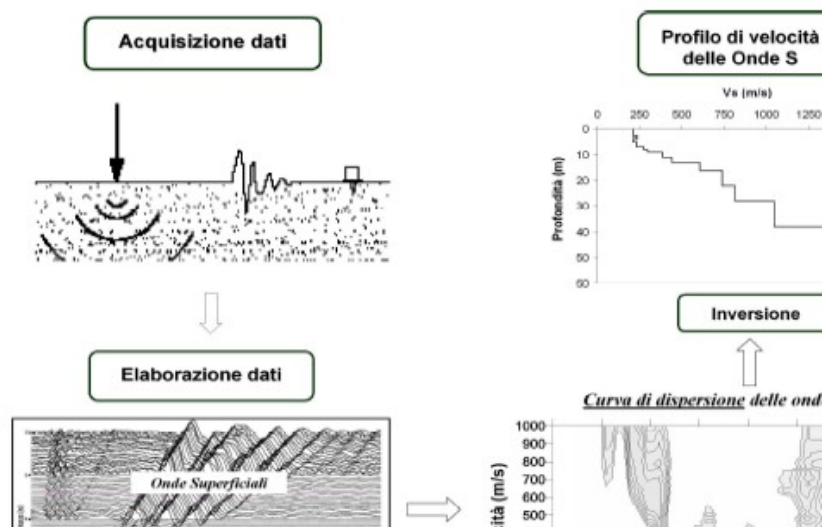
MASW

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto.

Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999).

Nel metodo di indagine passivo si registra il rumore di fondo.



La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S. Pertanto, utilizzando appositi formalismi è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curva di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S - profondità".

ESAC

Il metodo ESAC è una estensione del metodo SAC (Spatial Auto-Correlation) proposto da AKI nel 1957. Nel metodo SAC i sensori sono disposti in circolo, nel metodo ESAC la configurazione può essere qualunque, anche se nella pratica si usano le seguenti forme: L, T, +, X, triangolo, rettangolo.

Il metodo ESAC può essere utilizzato per determinare la velocità di fase apparente o effettiva delle onde di Rayleigh a partire dalla misura del rumore ambientale. Dato che il rumore ambientale è in genere caratterizzato da onde a basse frequenze (<10-15Hz), la velocità di fase apparente fornita dal metodo riguarda le basse frequenze e quindi gli strati di terreno o roccia più profondi. In tal senso il metodo ESAC, così come il metodo ReMi, è complementare al metodo MASW attivo eseguito con sorgenti attive comuni (mazza o tripiede con grave). Occorre però evidenziare che il metodo ESAC è da preferire rispetto al metodo ReMi perché offre una curva di dispersione sperimentale ottenuta in maniera oggettiva, contrariamente a quanto avviene nel metodo ReMi, che prevede un picking soggettivo del Professionista della curva di dispersione a partire dallo spettro ReMi nel dominio f-k (frequenza-numero d'onda) oppure f-p (frequenza-lentezza).

RISULTATI OTTENUTI

Sismica a rifrazione.

I profili sono stati trattati con software geogiga,Frontend , refractos e dwtomo.

In particolare si è ricostruito un modello 2d basandosi sul G.R.M., quindi tale modello lo abbiamo rifinito con la tomografia sismica.

Tale iter è stato possibile perché i contrasti erano netti, visto che il bedrock era presente e facilmente accessibile nella sezione sismica.

In questo modo avremo sia la definizione della linea di discontinuità delle velocità determinata dal G.R.M., sia il gradiente di velocità delle coperture superficiali.

L119SR

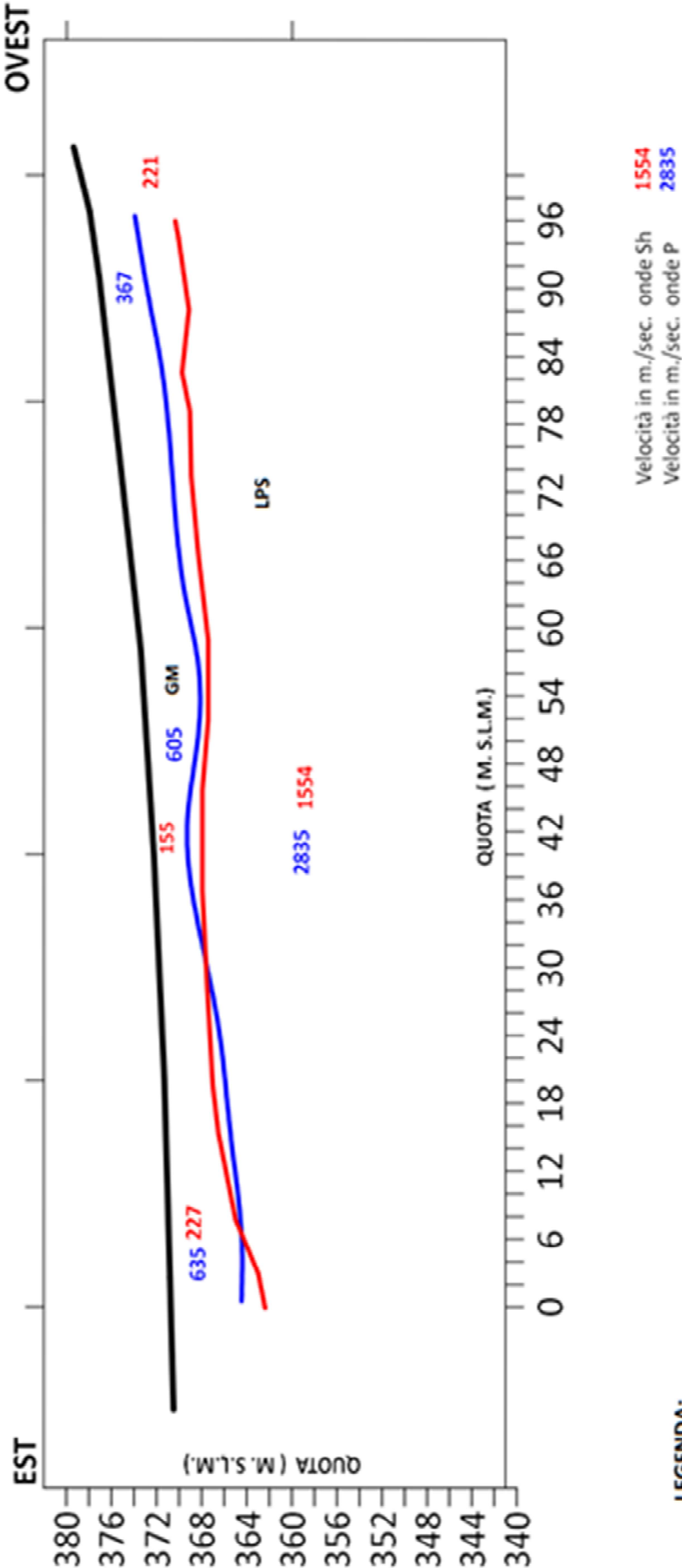
L120SR

Loc. Campo Sportivo

Strada in Casentino Castel San Niccolò (AR)

L119SR (sismica a Rifrazione onde P e Sh)

SEZIONE L119SR



Sezione L119SR - Sh

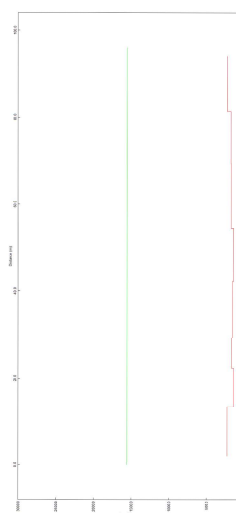
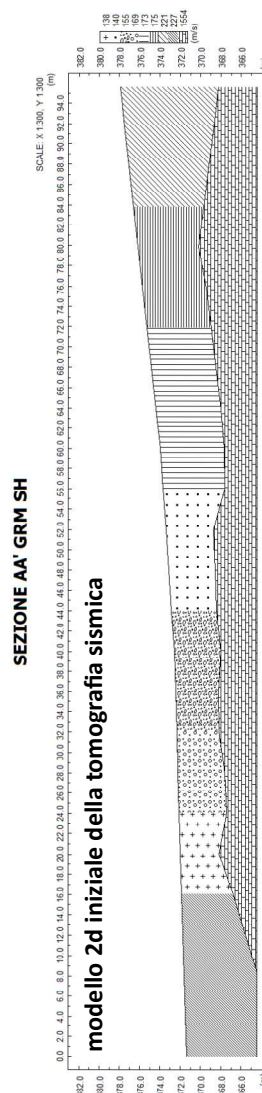
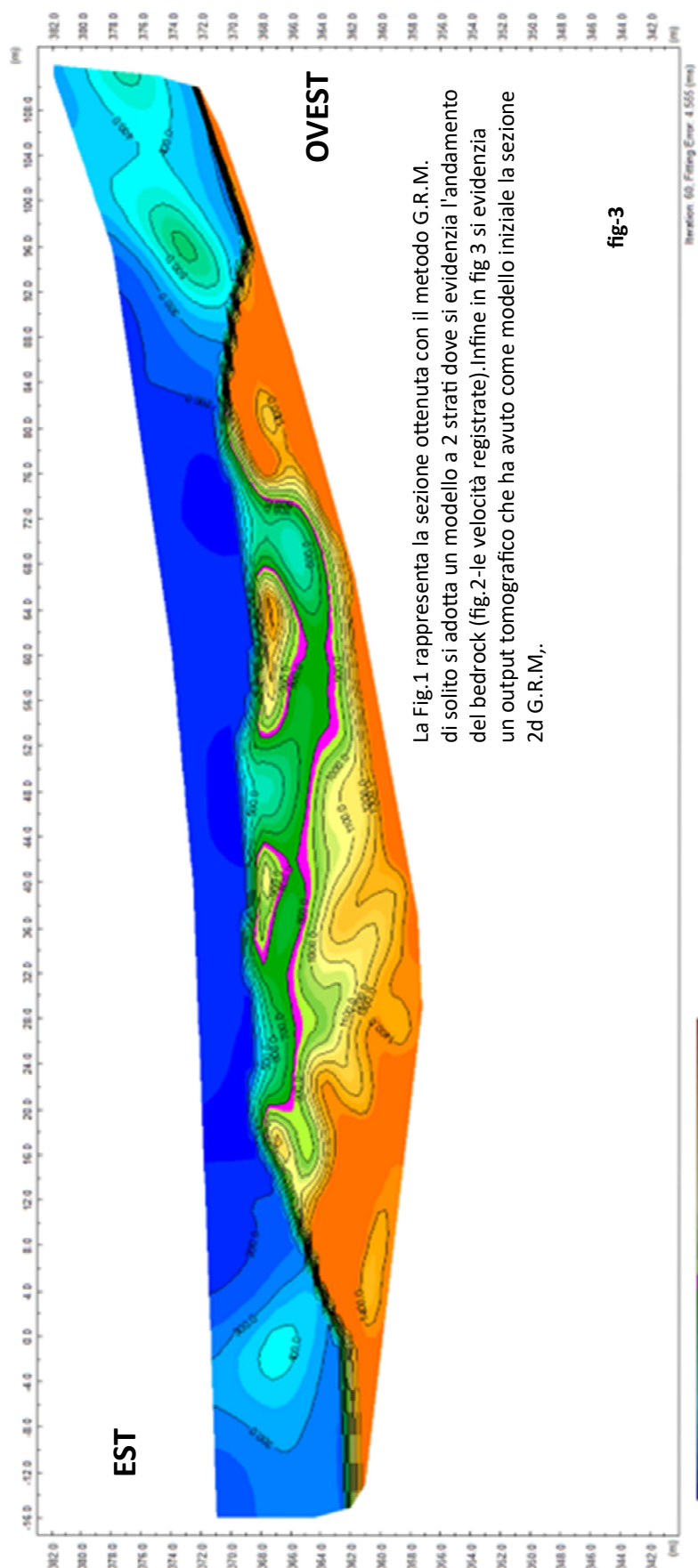
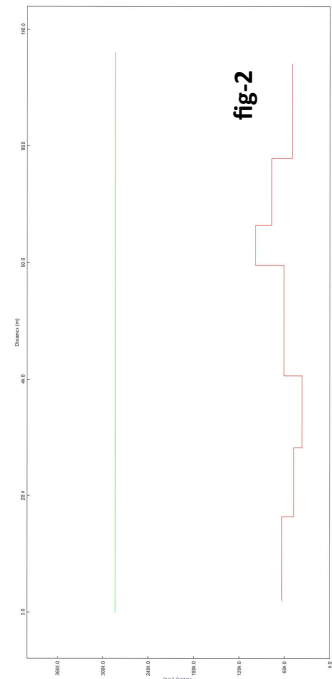
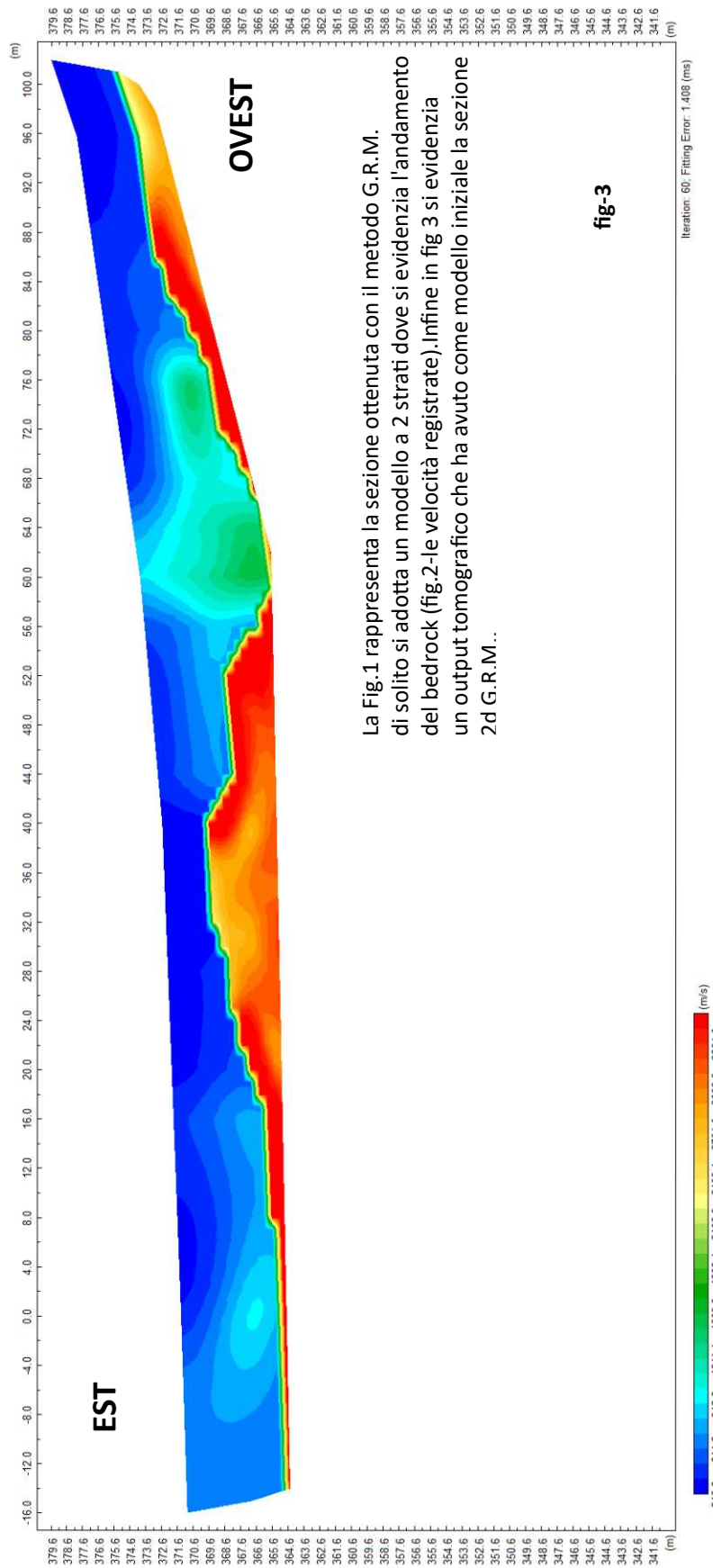


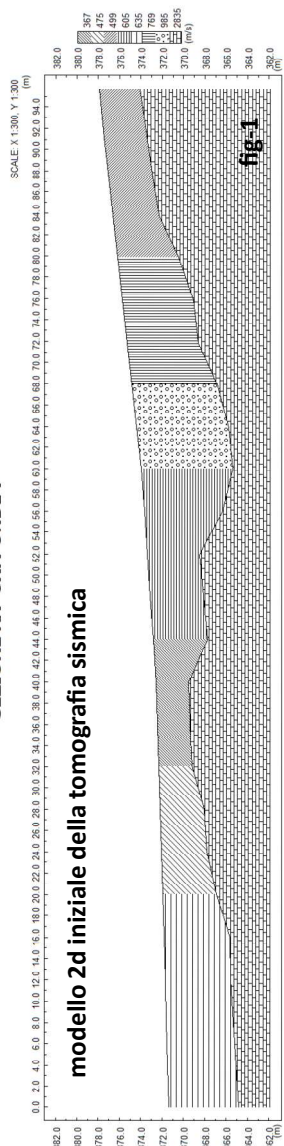
fig-1

fig-2

Sezione L119SR - P



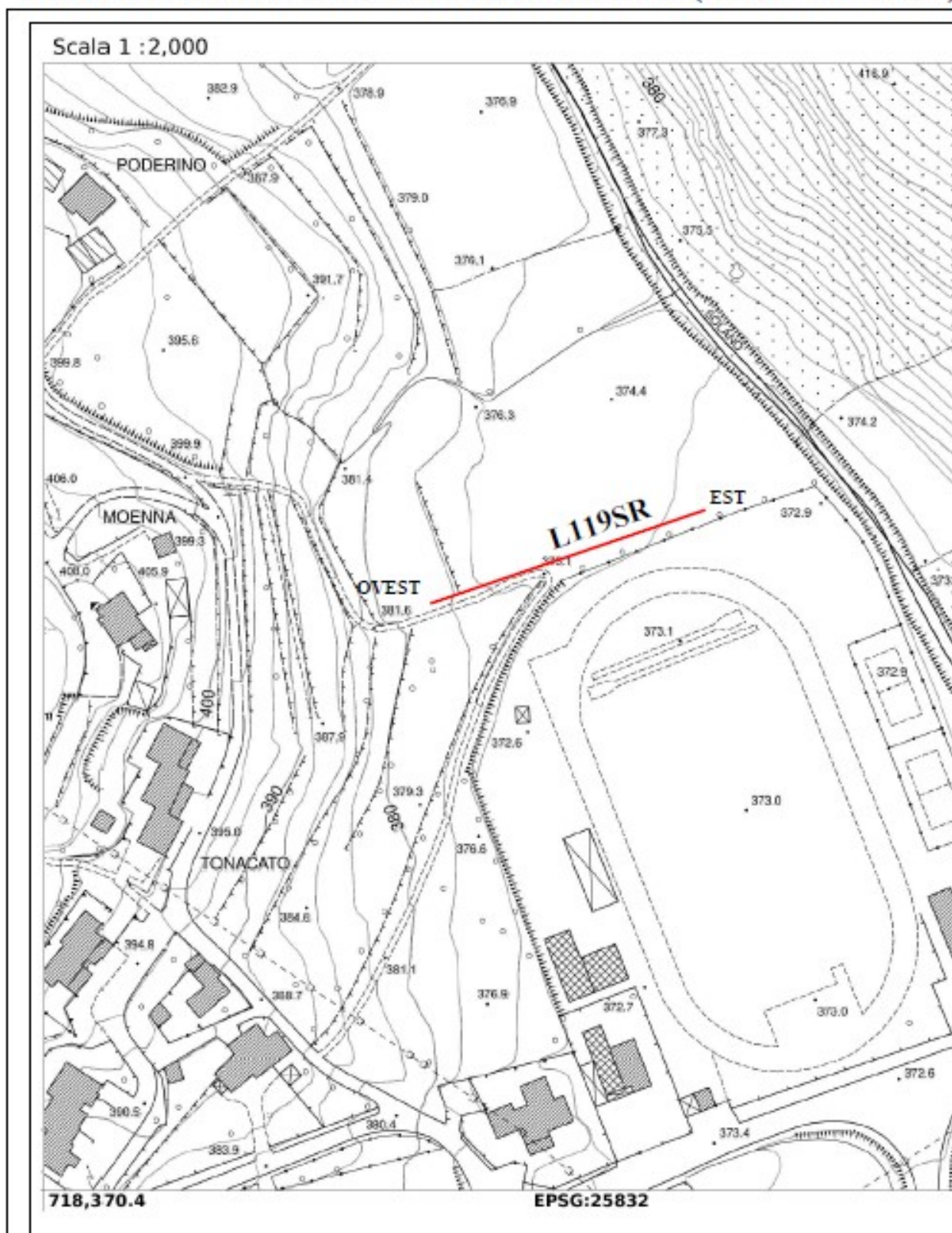
SEZIONE AA' GRM ONDE P



Ubicazione Stesa sismica a rifrazione L119SR (onde P e onde SH)



Ubicazione Stesa sismica a rifrazione L119SR (onde P e onde Sh)



GALILEO GEOFISICA-PIAZZA GIOTTO 8-52100-Arezzo
www.Galileogeofisica.it

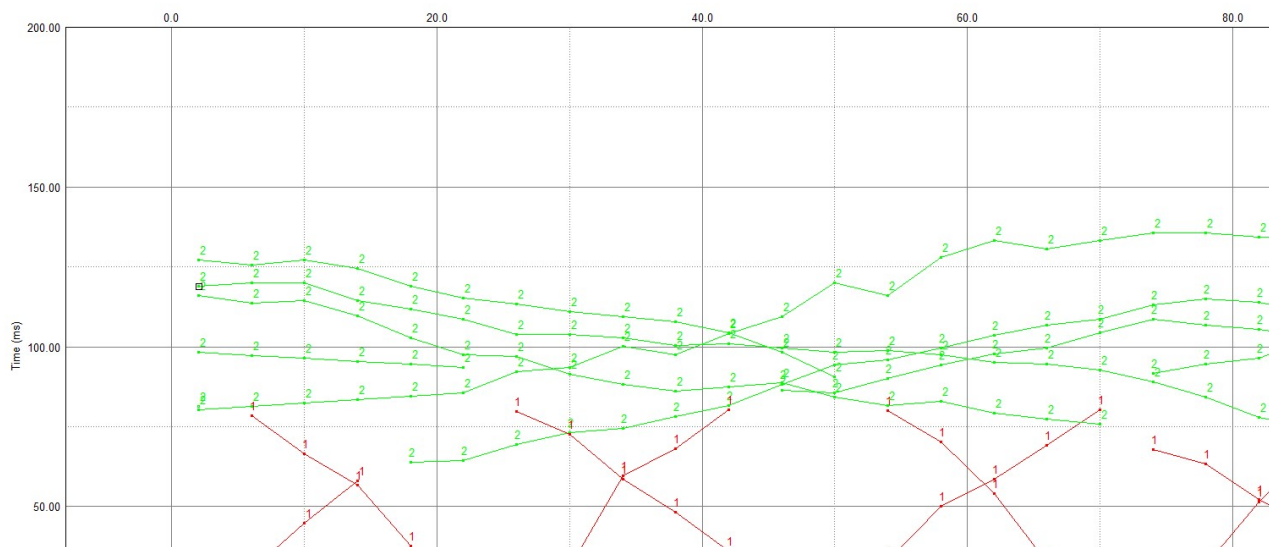
L119Sr
Geofoni

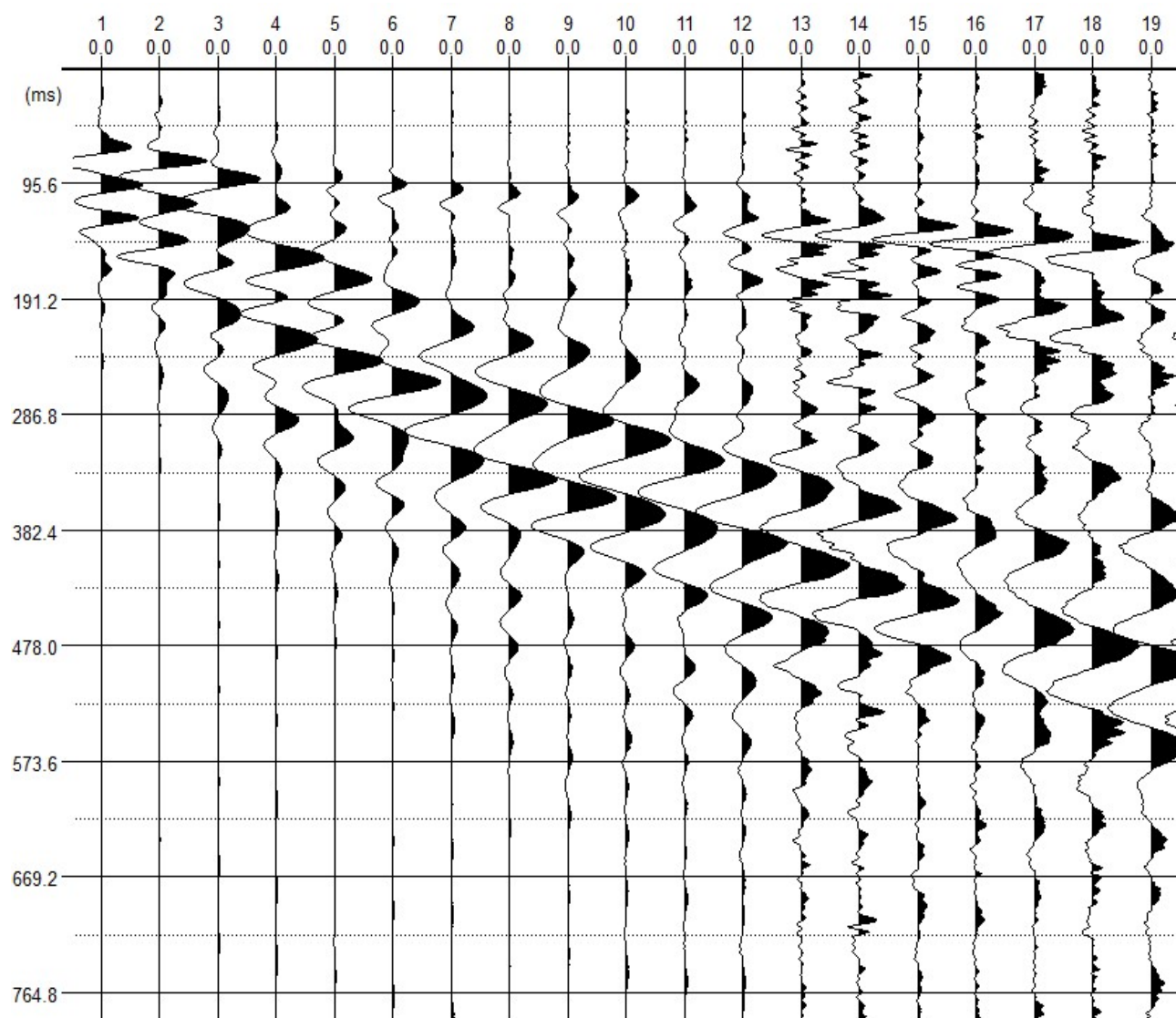
Strada BB

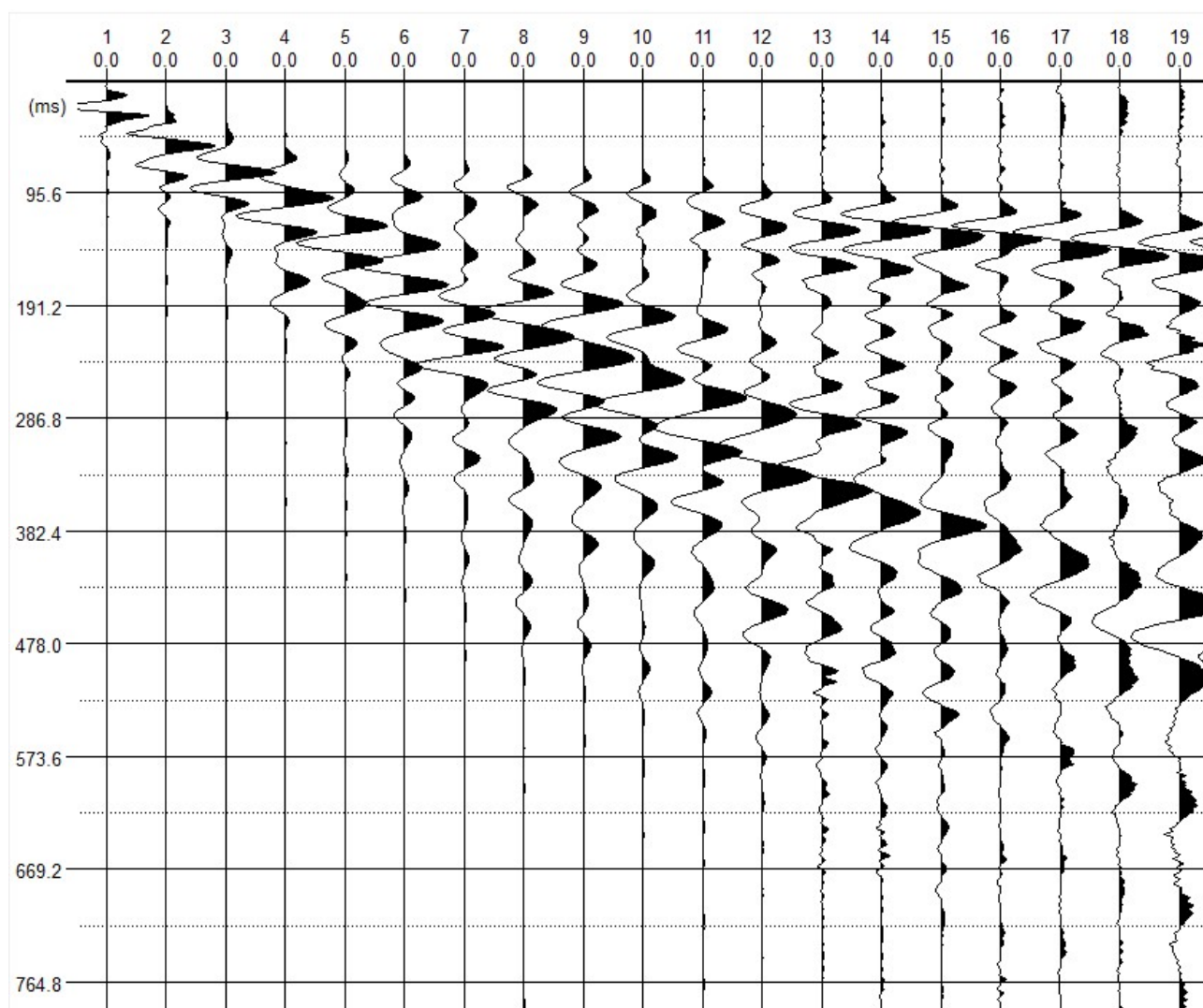
Name	Latitude	Longitude	Altitude	East (m)	North (m)	Height (m)
g1	43°44'59.14629"N	11°42'53.29163"E	418.264	1718603.890	4847674.750	371.813
g2	43°44'59.11089"N	11°42'53.12362"E	418.302	1718600.168	4847673.535	371.850
g3	43°44'59.10168"N	11°42'52.96910"E	418.644	1718596.722	4847673.137	372.192
g4	43°44'59.07099"N	11°42'52.78788"E	418.745	1718592.700	4847672.057	372.293
g5	43°44'59.06960"N	11°42'52.67239"E	418.984	1718590.118	4847671.930	372.531
g6	43°44'59.01037"N	11°42'52.46339"E	418.408	1718585.504	4847669.949	371.955
g7	43°44'59.00362"N	11°42'52.28570"E	420.440	1718581.536	4847669.610	373.988
g8	43°44'58.92664"N	11°42'52.13864"E	419.662	1718578.325	4847667.128	373.209
g9	43°44'58.89943"N	11°42'51.95310"E	419.333	1718574.203	4847666.152	372.880
g10	43°44'58.84788"N	11°42'51.75351"E	419.017	1718569.791	4847664.415	372.563
g11	43°44'58.79325"N	11°42'51.64151"E	420.349	1718567.342	4847662.648	373.895
g12	43°44'58.76786"N	11°42'51.44989"E	421.150	1718563.082	4847661.724	374.696
g13	43°44'58.75822"N	11°42'51.27451"E	420.298	1718559.169	4847661.298	373.844
g14	43°44'58.69436"N	11°42'51.12244"E	420.786	1718555.833	4847659.216	374.331
g15	43°44'58.63886"N	11°42'50.91061"E	420.081	1718551.151	4847657.348	373.626
g16	43°44'58.58330"N	11°42'50.76262"E	420.741	1718547.897	4847655.526	374.286
g17	43°44'58.54041"N	11°42'50.58669"E	421.579	1718544.006	4847654.074	375.124
g18	43°44'58.50238"N	11°42'50.42496"E	420.685	1718540.428	4847652.782	374.229
g19	43°44'58.48918"N	11°42'50.27820"E	423.920	1718537.158	4847652.267	377.465
g20	43°44'58.44418"N	11°42'50.07603"E	424.648	1718532.682	4847650.730	378.193
g21	43°44'58.40501"N	11°42'49.90561"E	423.844	1718528.910	4847649.397	377.388
g22	43°44'58.35820"N	11°42'49.73341"E	424.339	1718525.107	4847647.826	377.883
g23	43°44'58.34515"N	11°42'49.58030"E	424.553	1718521.695	4847647.312	378.097
g24	43°44'58.29327"N	11°42'49.39062"E	425.220	1718517.505	4847645.572	378.763
Scoppi						
e1	43°44'58.22766"N	11°42'48.79292"E	428.214	1718504.204	4847643.109	381.757
e2	43°44'58.28595"N	11°42'49.31767"E	425.835	1718515.881	4847645.293	379.379
e3	43°44'58.47064"N	11°42'50.30343"E	422.293	1718537.742	4847651.713	375.837
e4	43°44'58.73049"N	11°42'51.34888"E	420.119	1718560.861	4847660.497	373.665
e5	43°44'58.97336"N	11°42'52.34230"E	419.708	1718582.833	4847668.719	373.256
e6	43°44'59.21735"N	11°42'53.38541"E	419.075	1718605.916	4847677.011	372.624
e7	43°44'59.29293"N	11°42'53.85465"E	416.093	1718616.334	4847679.687	369.642

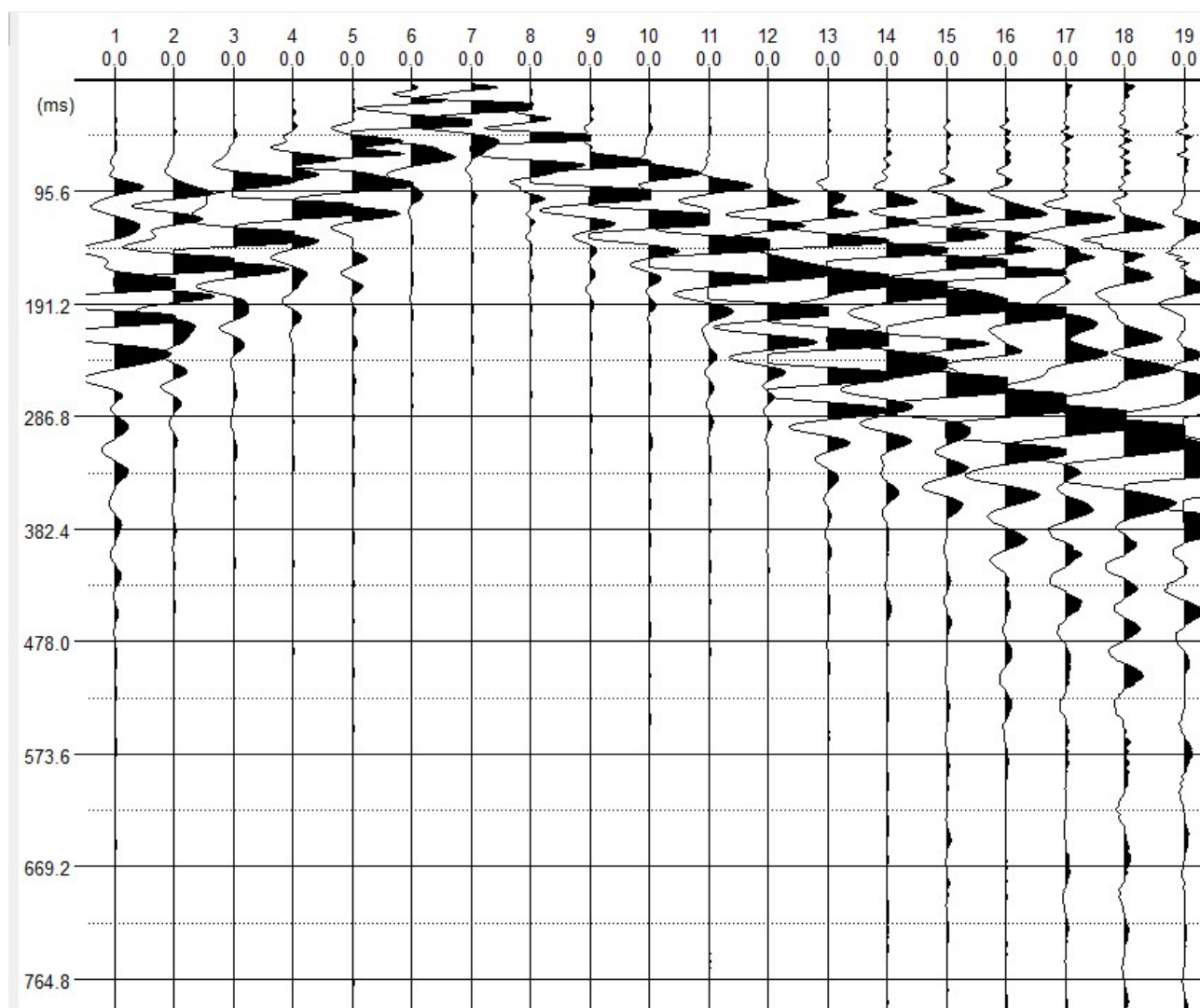
L119SR -Sh

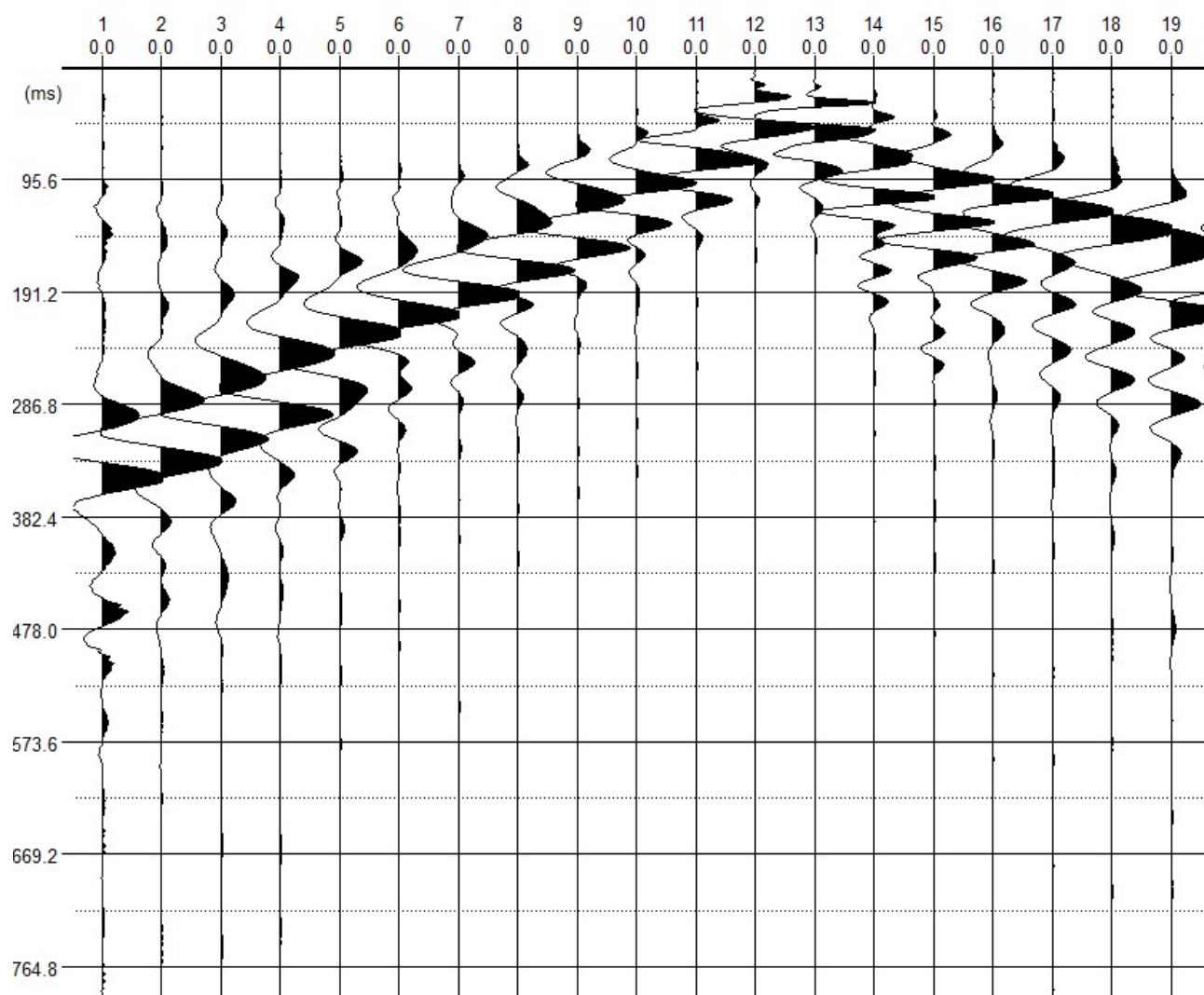
TD Curve

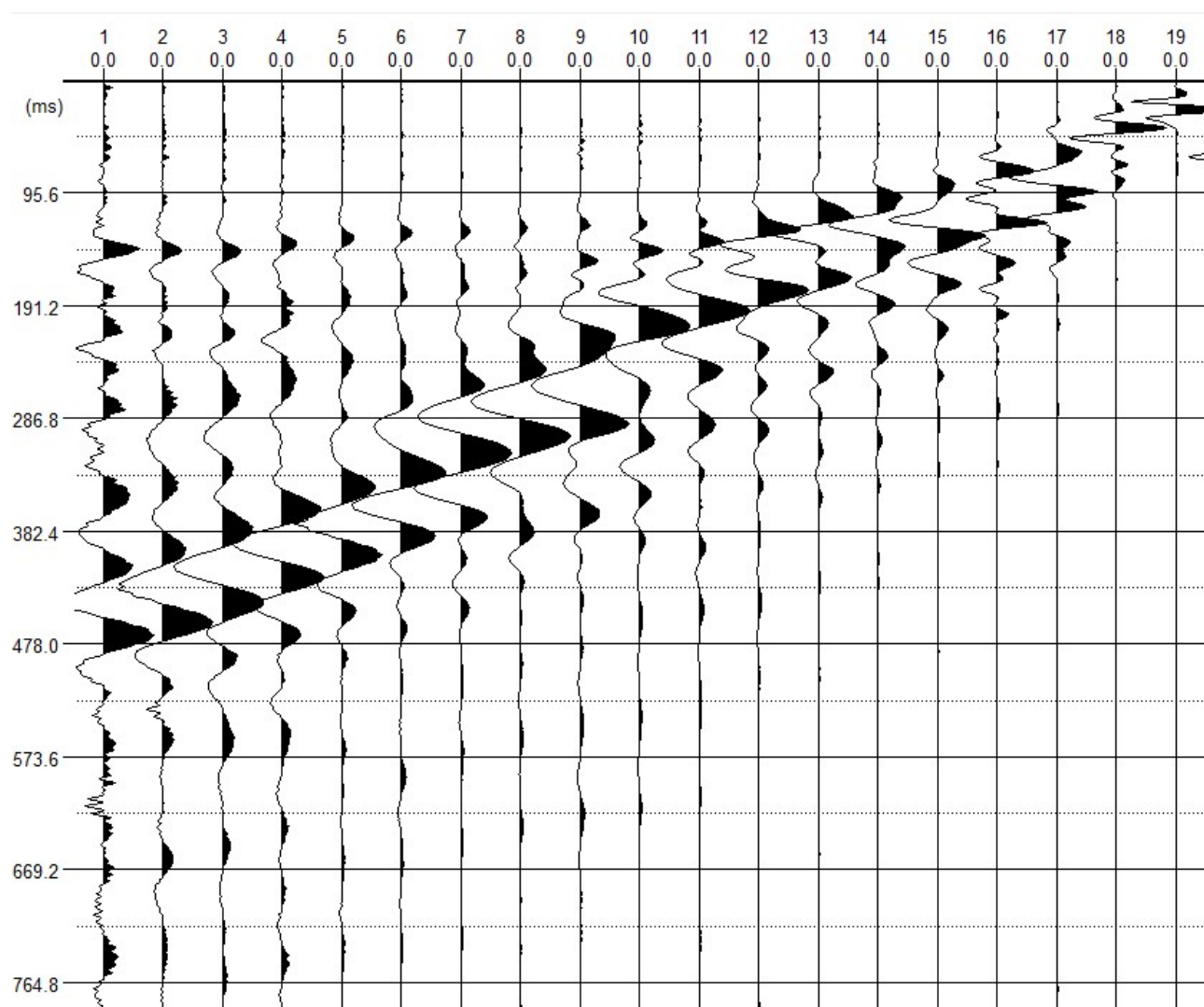


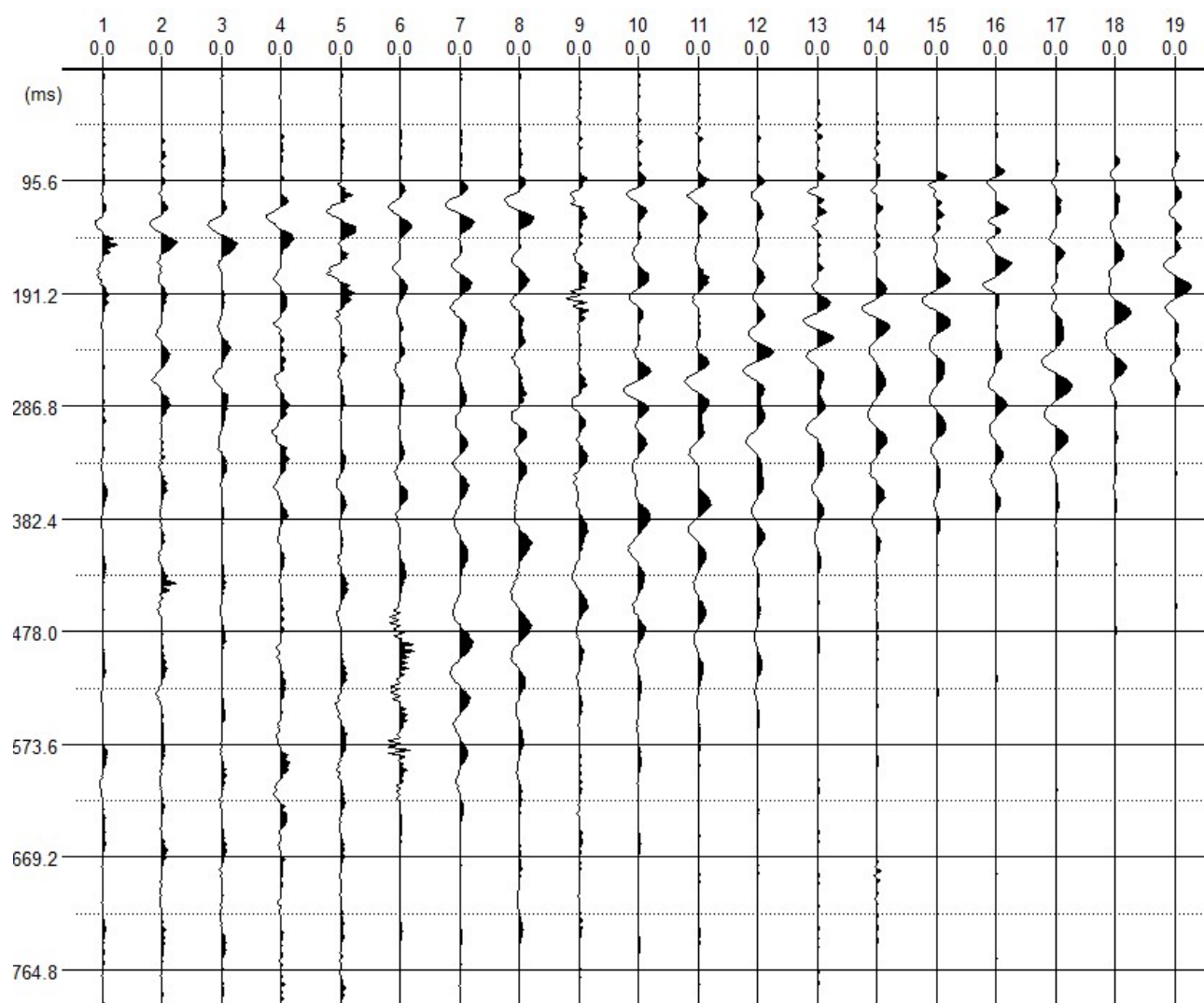




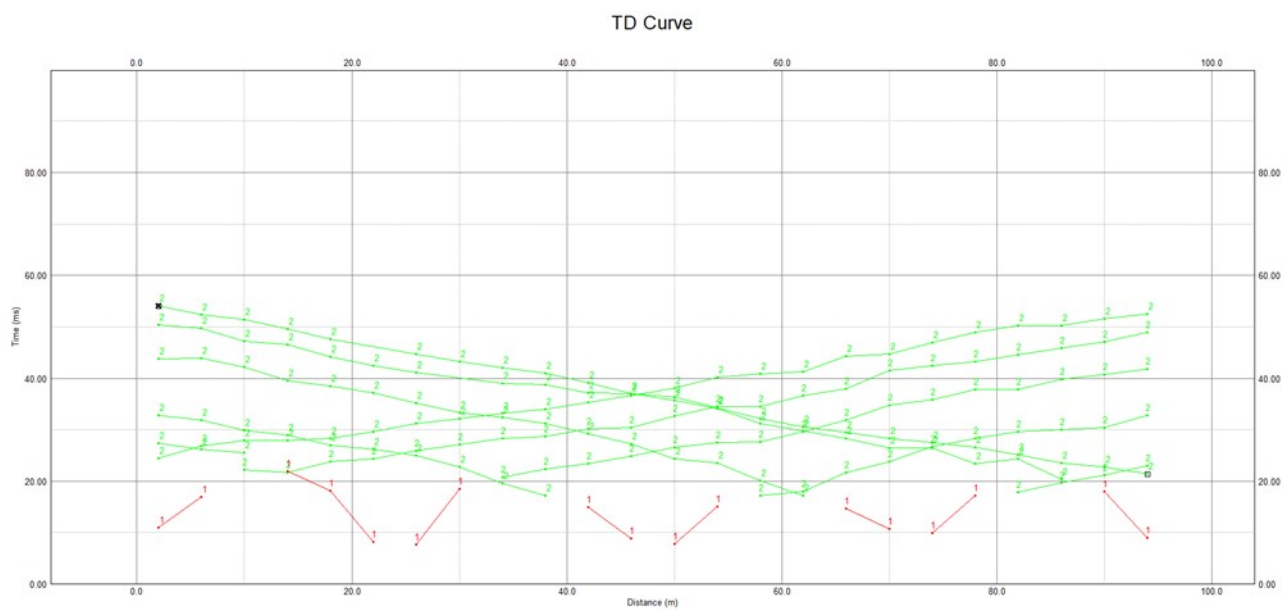


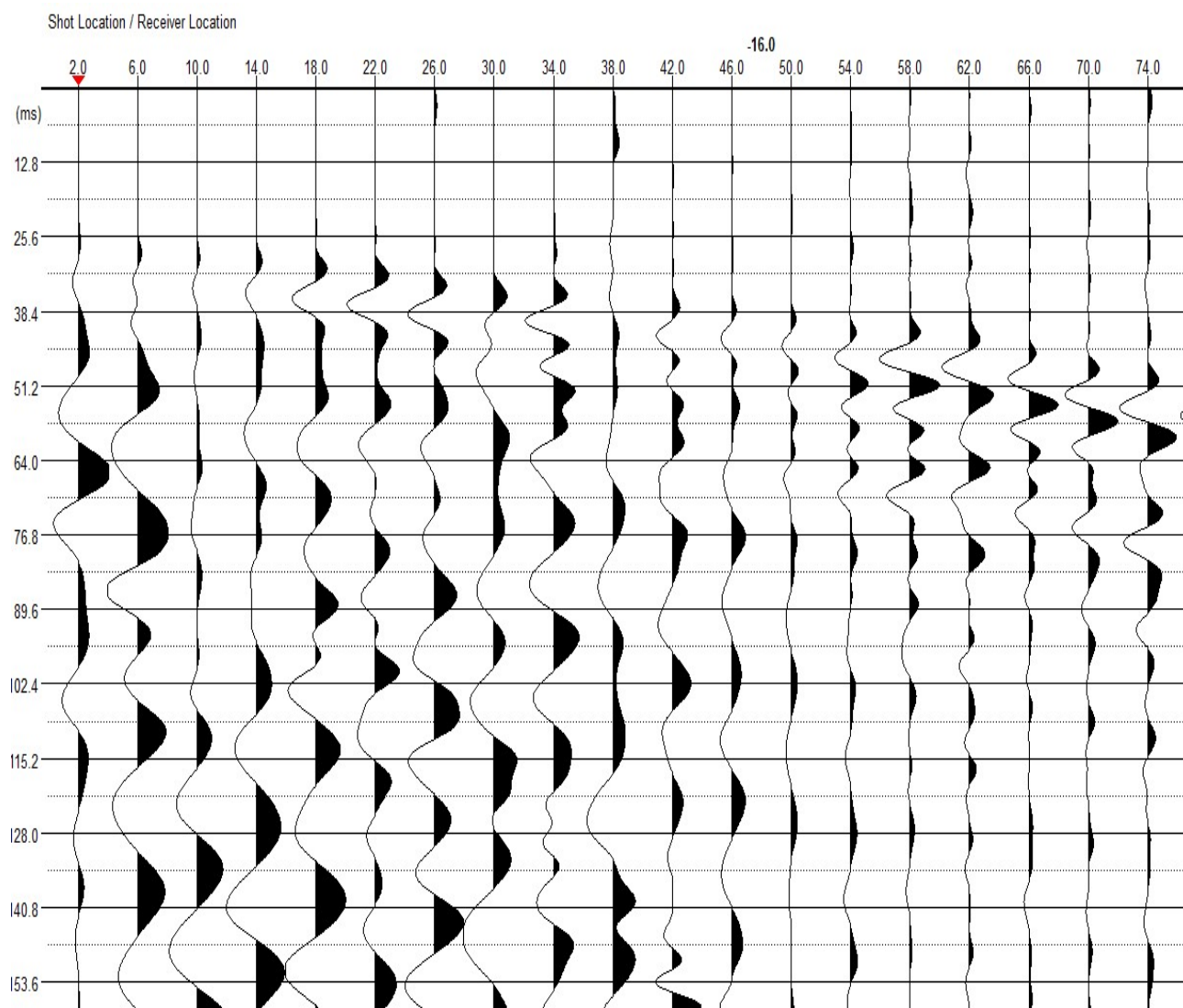


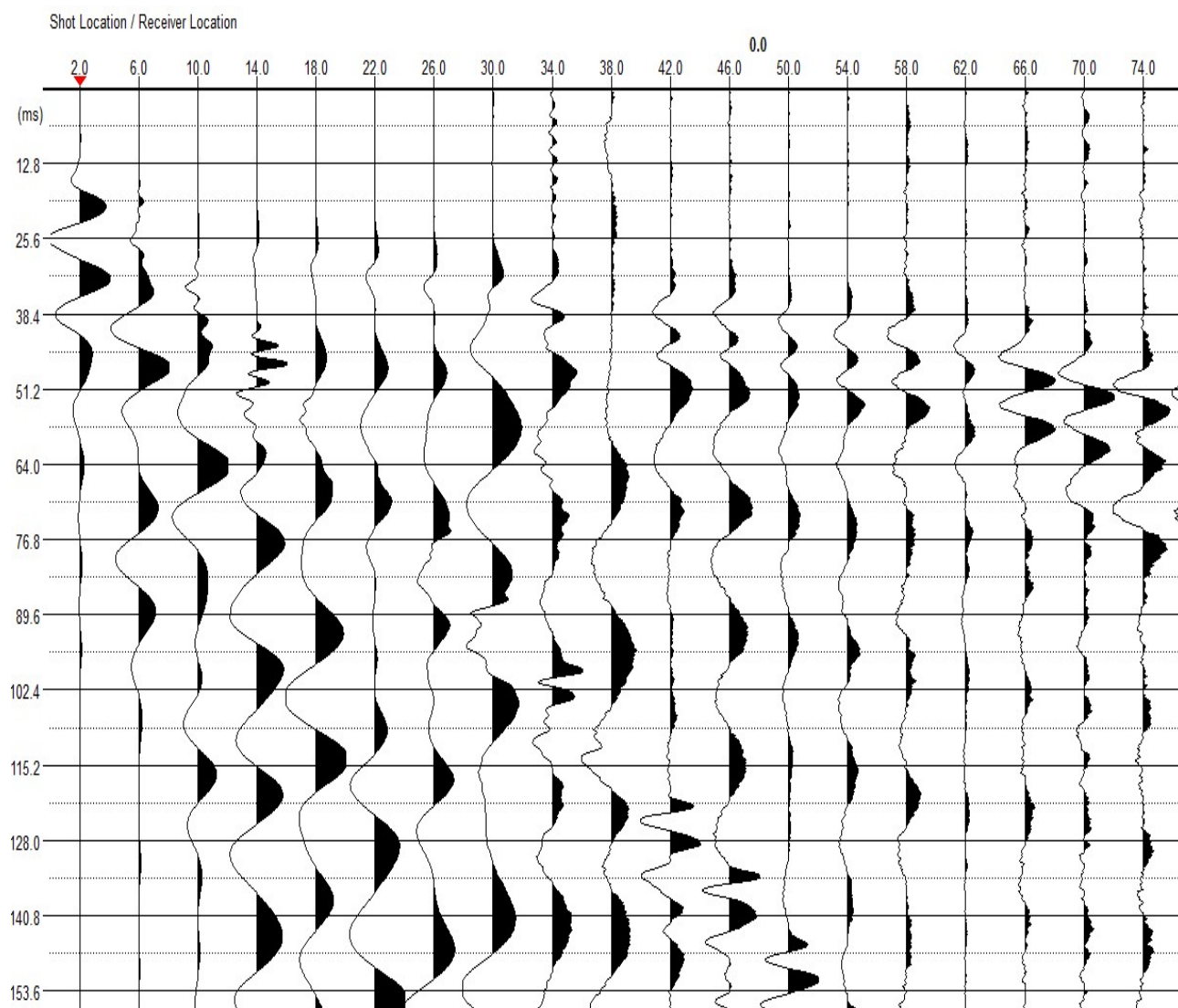




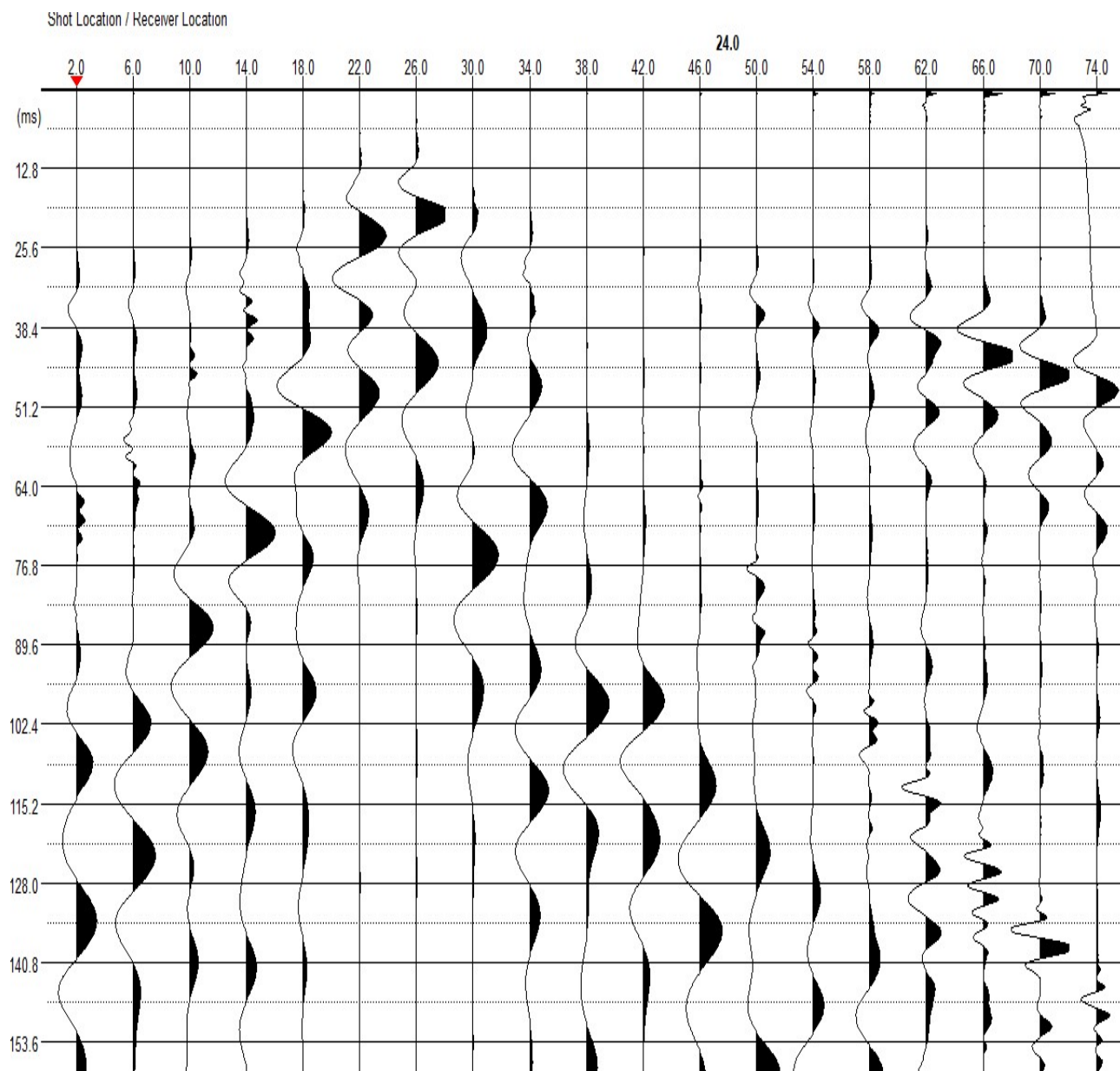
L119SR -ONDE P

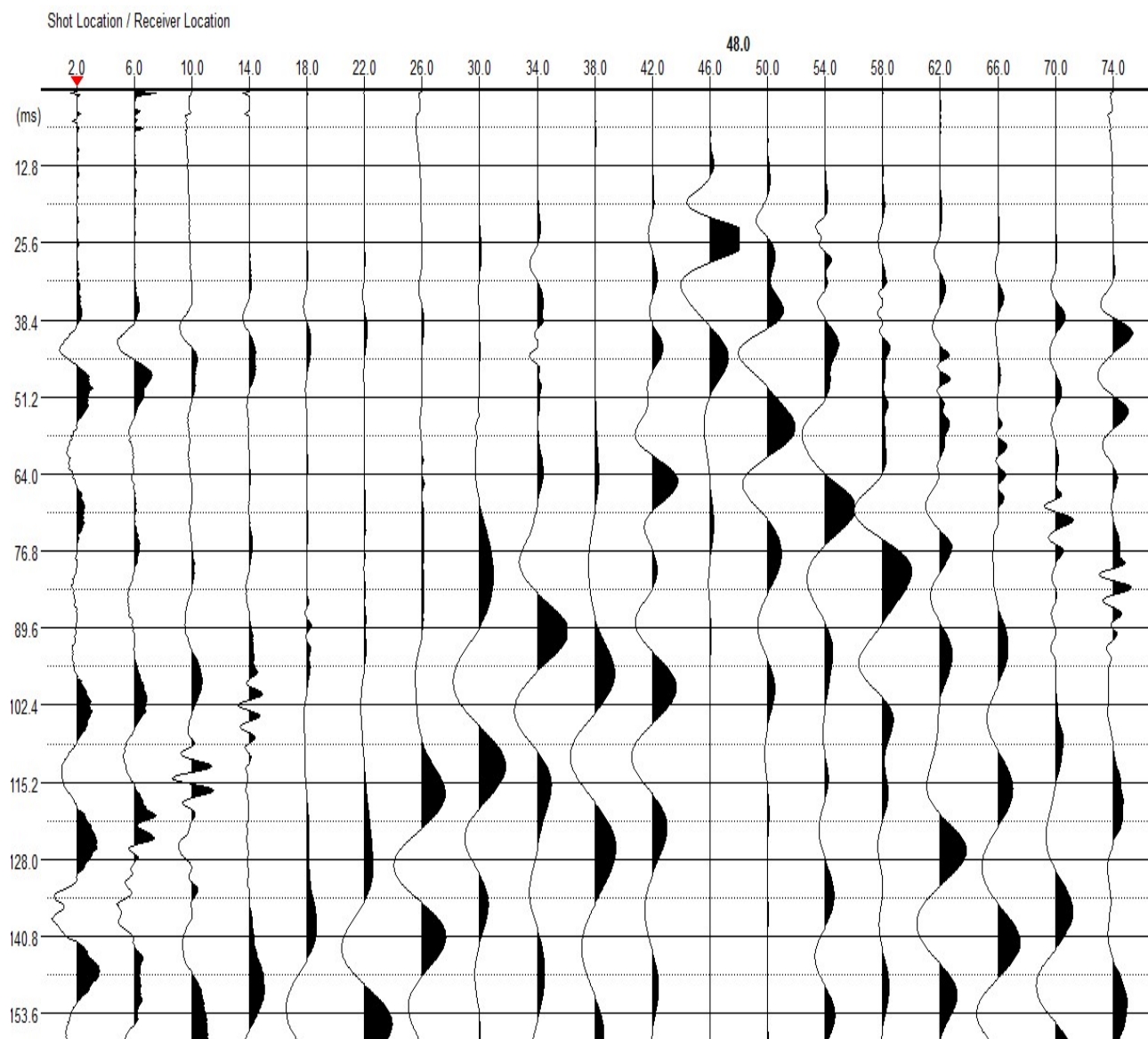




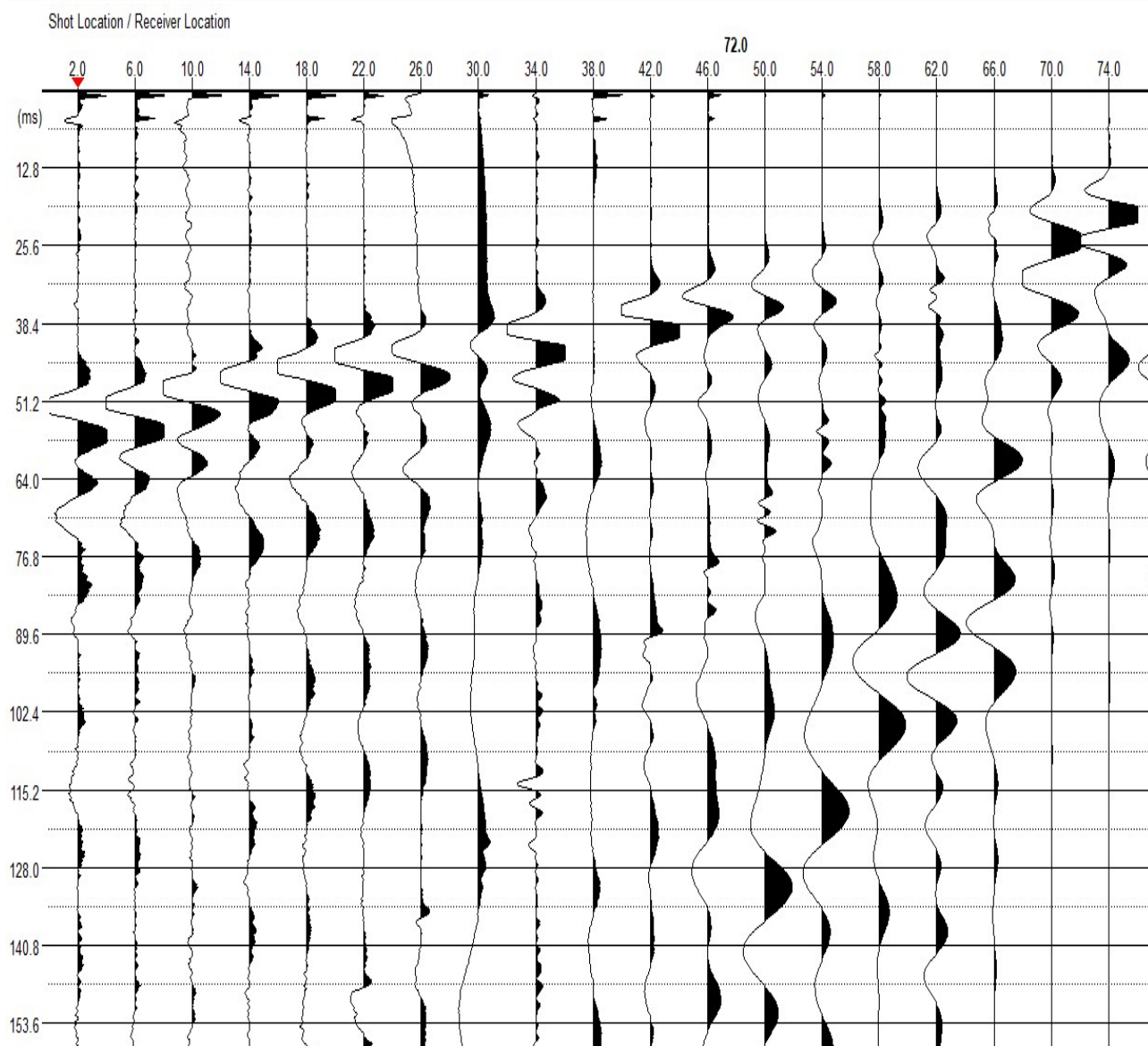


GALILEO GEOFISICA-PIAZZA GIOTTO 8-52100-Arezzo
www.Galileogeofisica.it



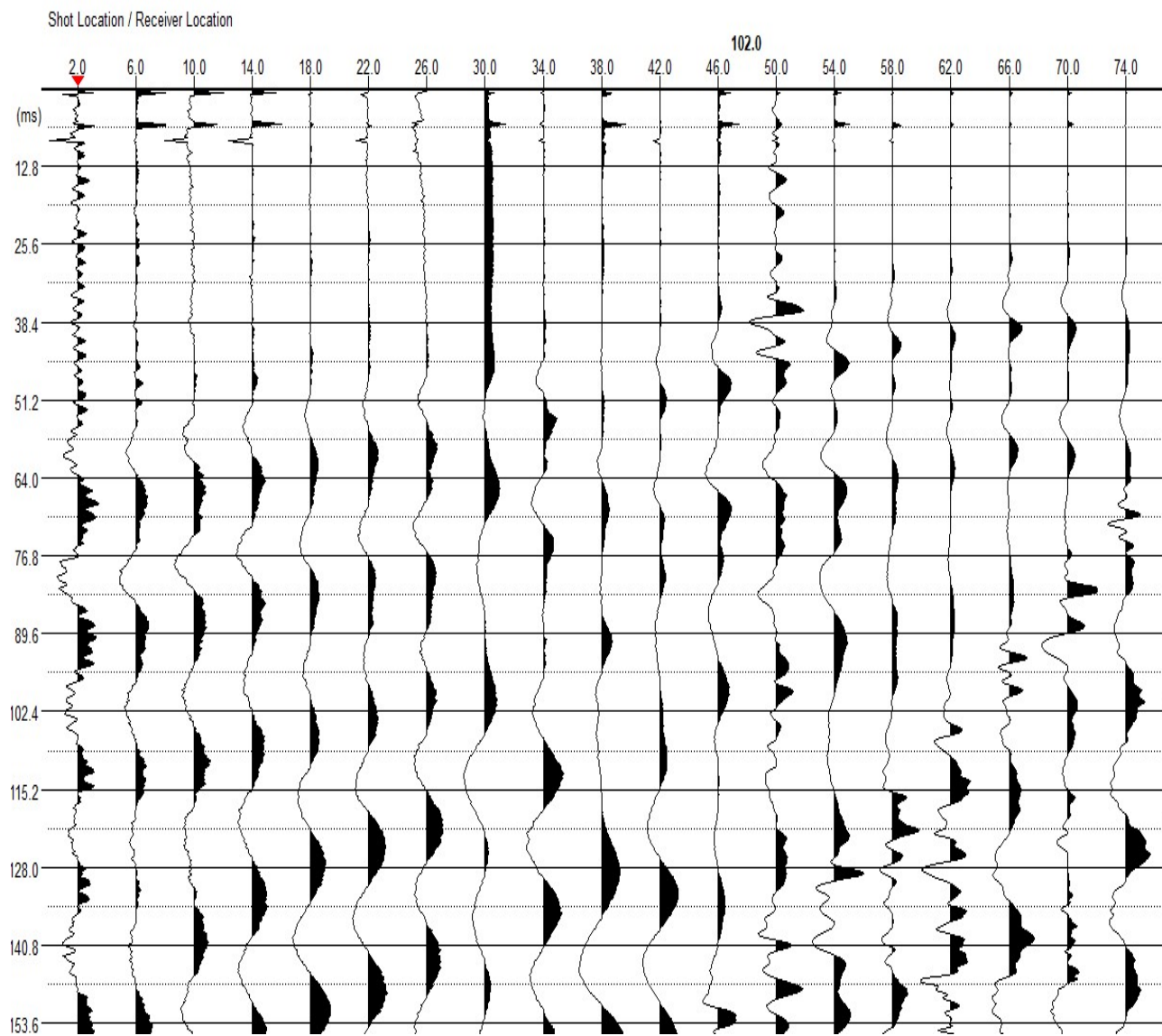


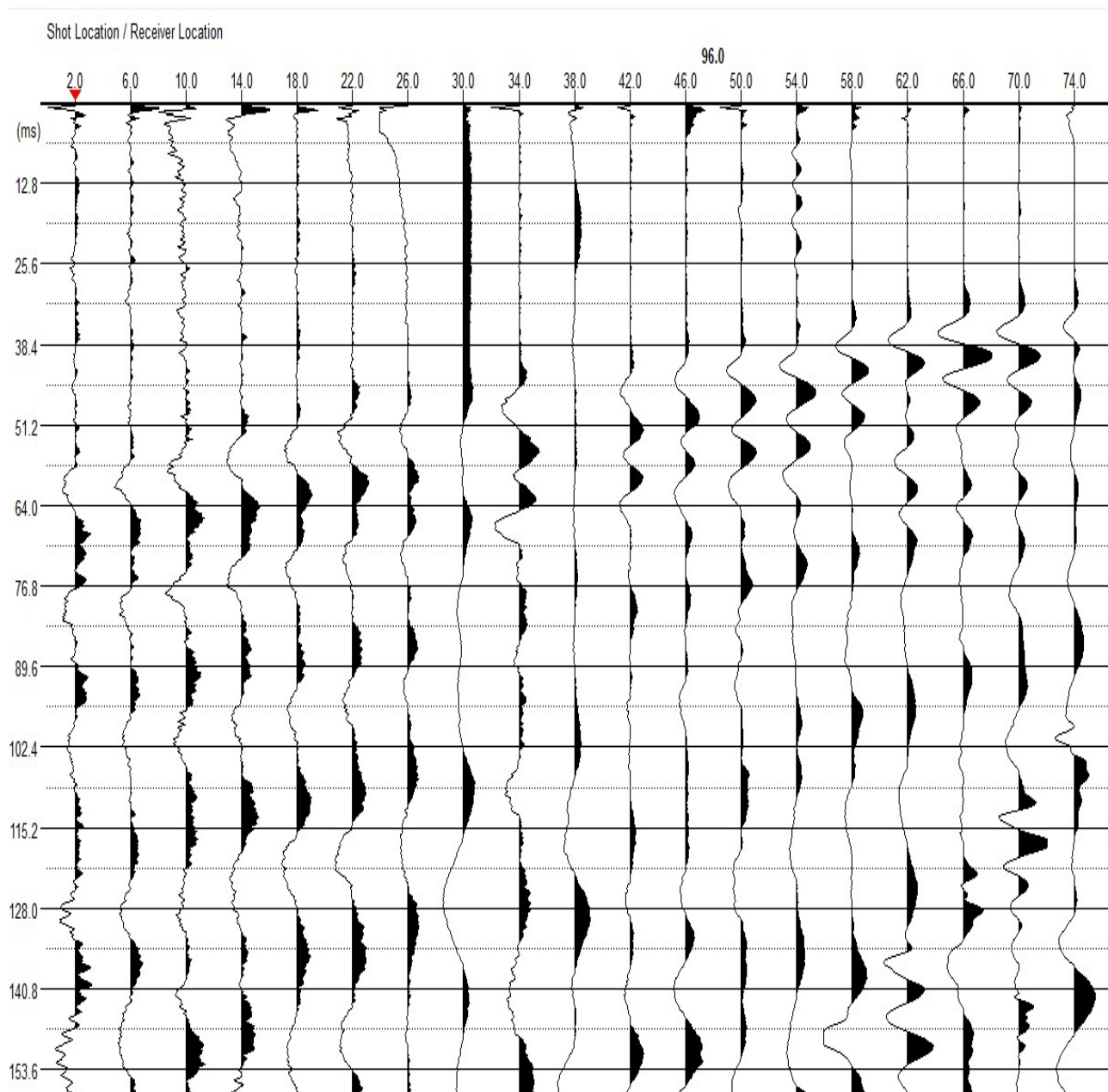
Trace View



GALILEO GEOFISICA-PIAZZA GIOTTO 8-52100-Arezzo
www.Galileogeofisica.it

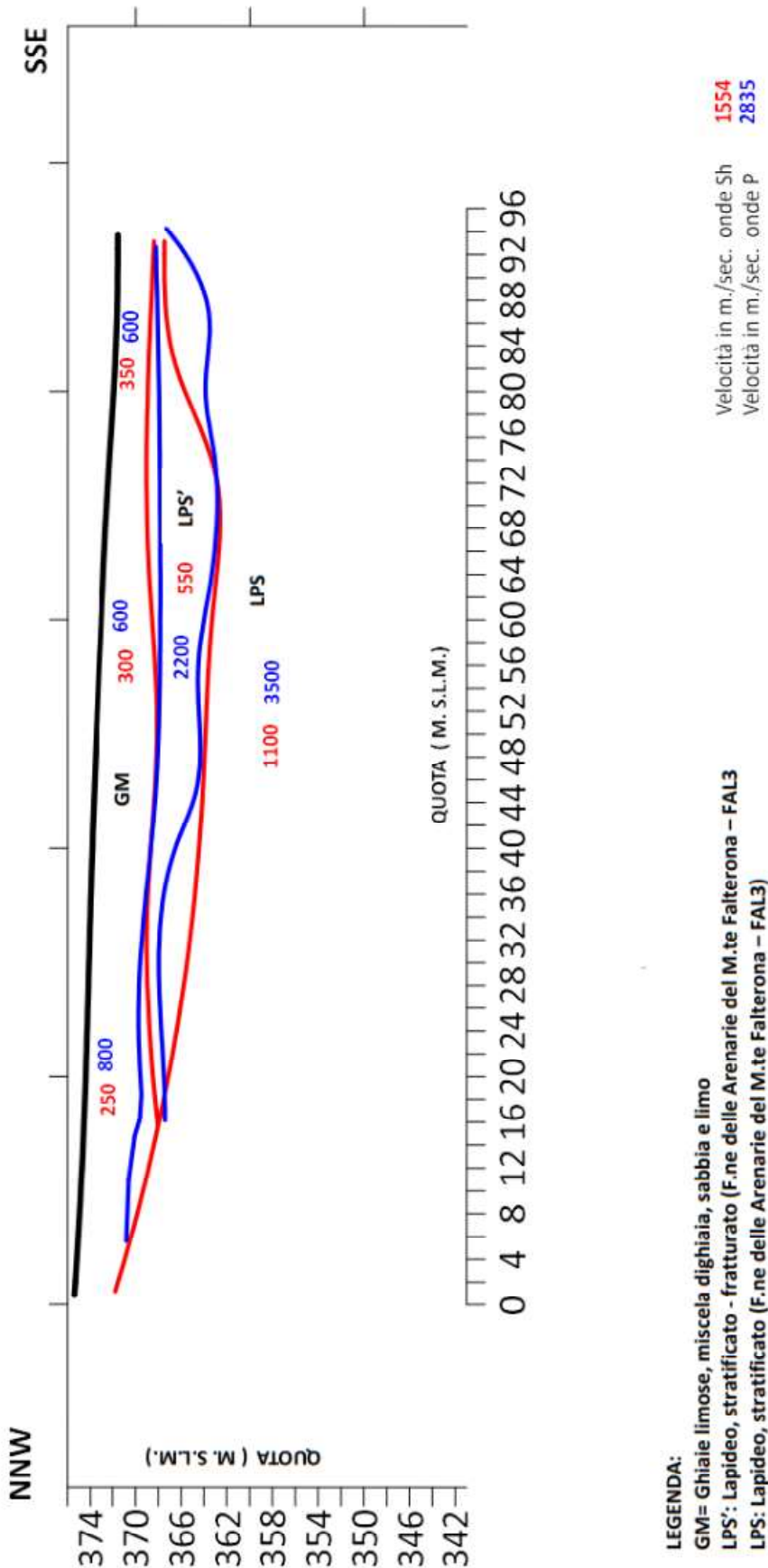
Trace View





Loc. Zona industriale
Strada in Casentino Castel San Niccolò (AR)
L120SR (sismica a Rifrazione onde P e Sh)

SEZIONE L120SR



Sezione L120SR - Sh

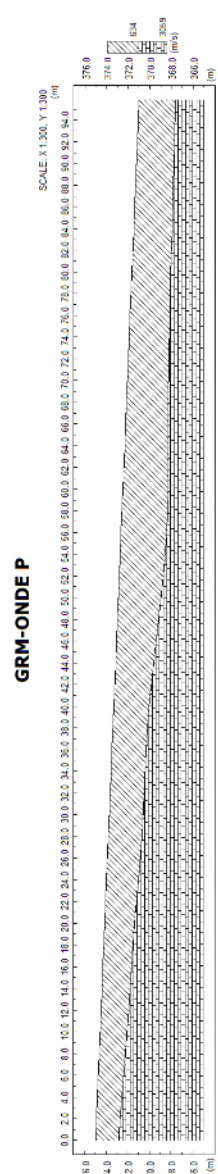
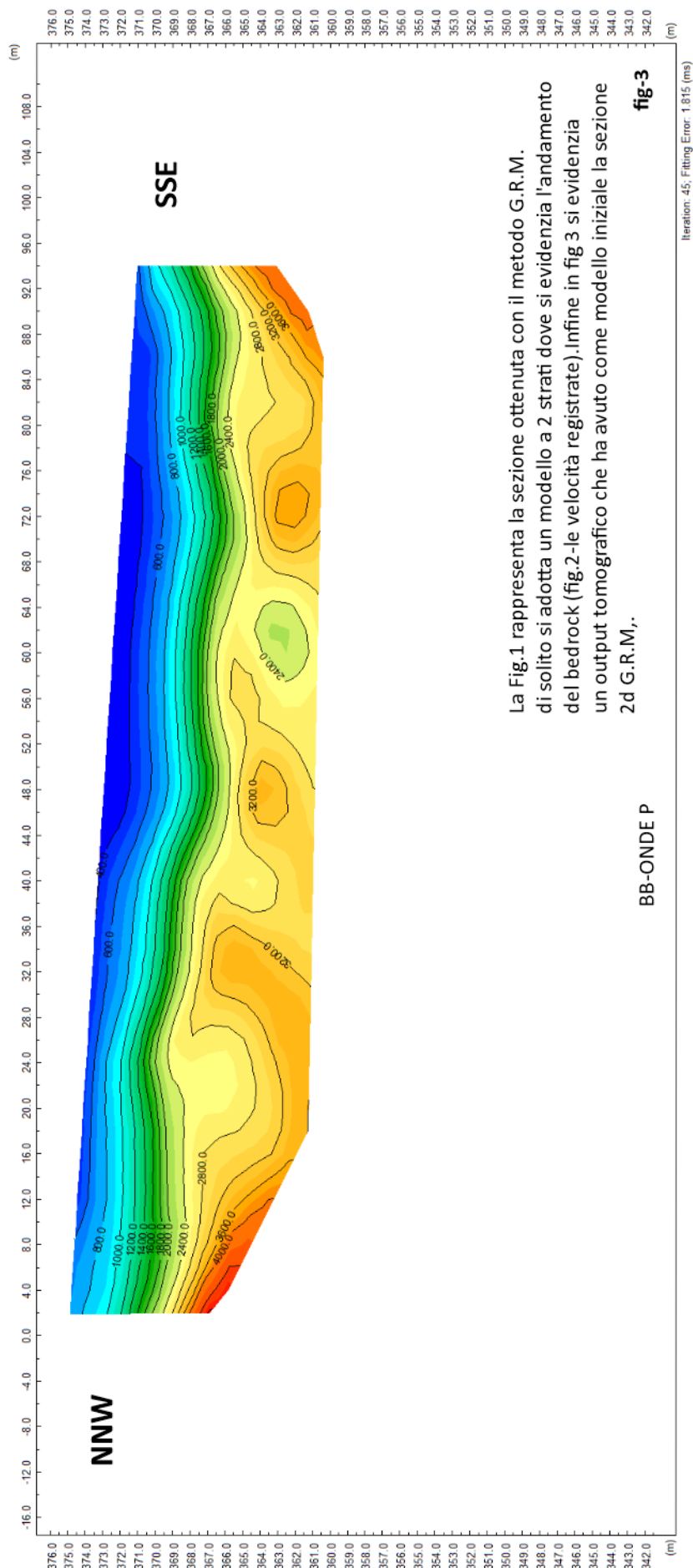
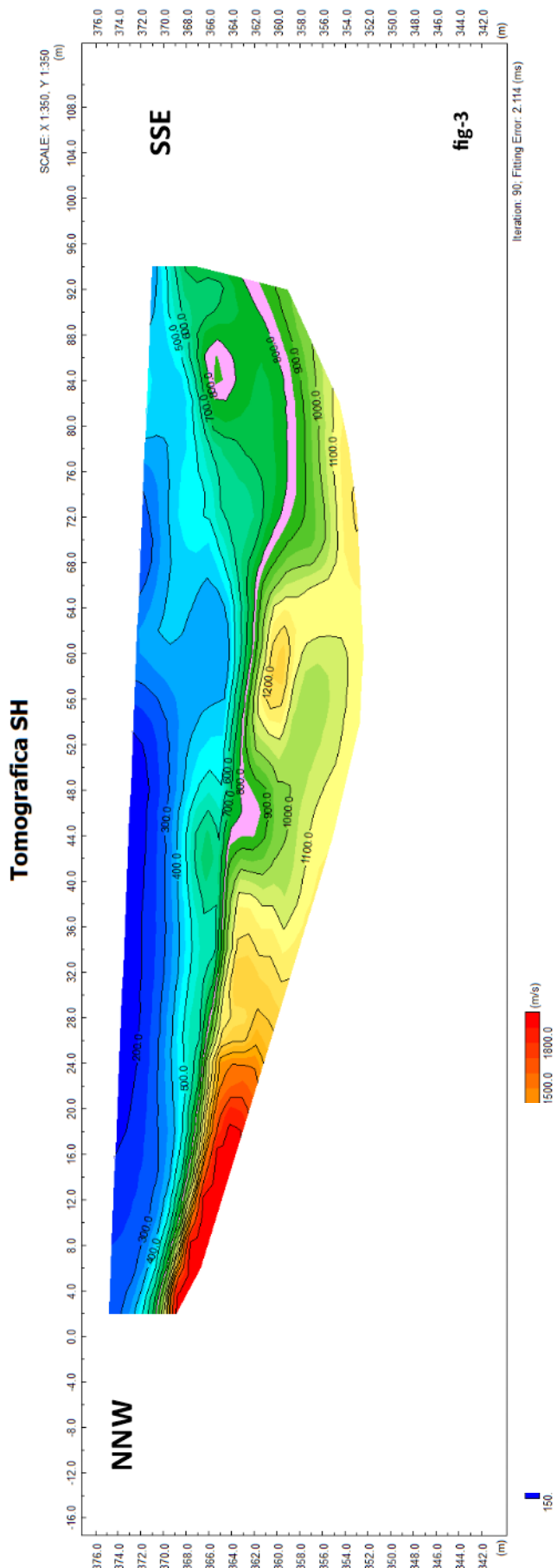
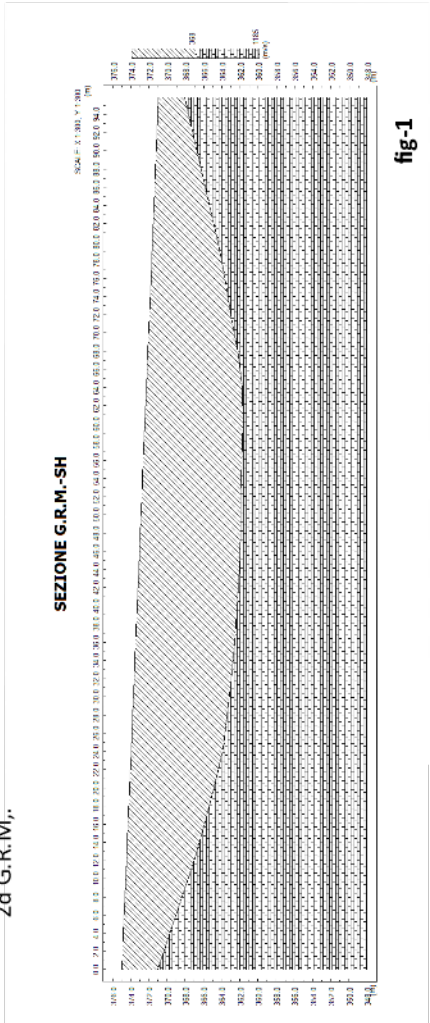
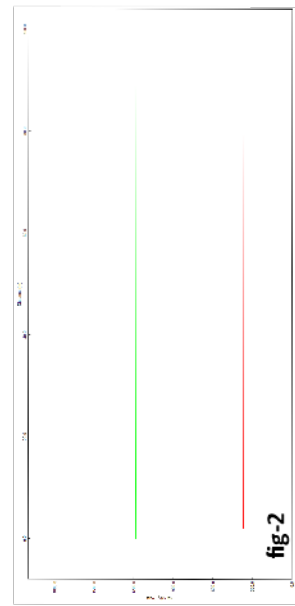


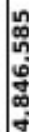
fig-1

Sezione L120SR - P



La Fig.1 rappresenta la sezione ottenuta con il metodo G.R.M. di solito si adotta un modello a 2 strati dove si evidenzia l'andamento del bedrock (fig.2-le velocità registrate). Infine in fig 3 si evidenzia un output tomografico che ha avuto come modello iniziale la sezione 2d G.R.M.,



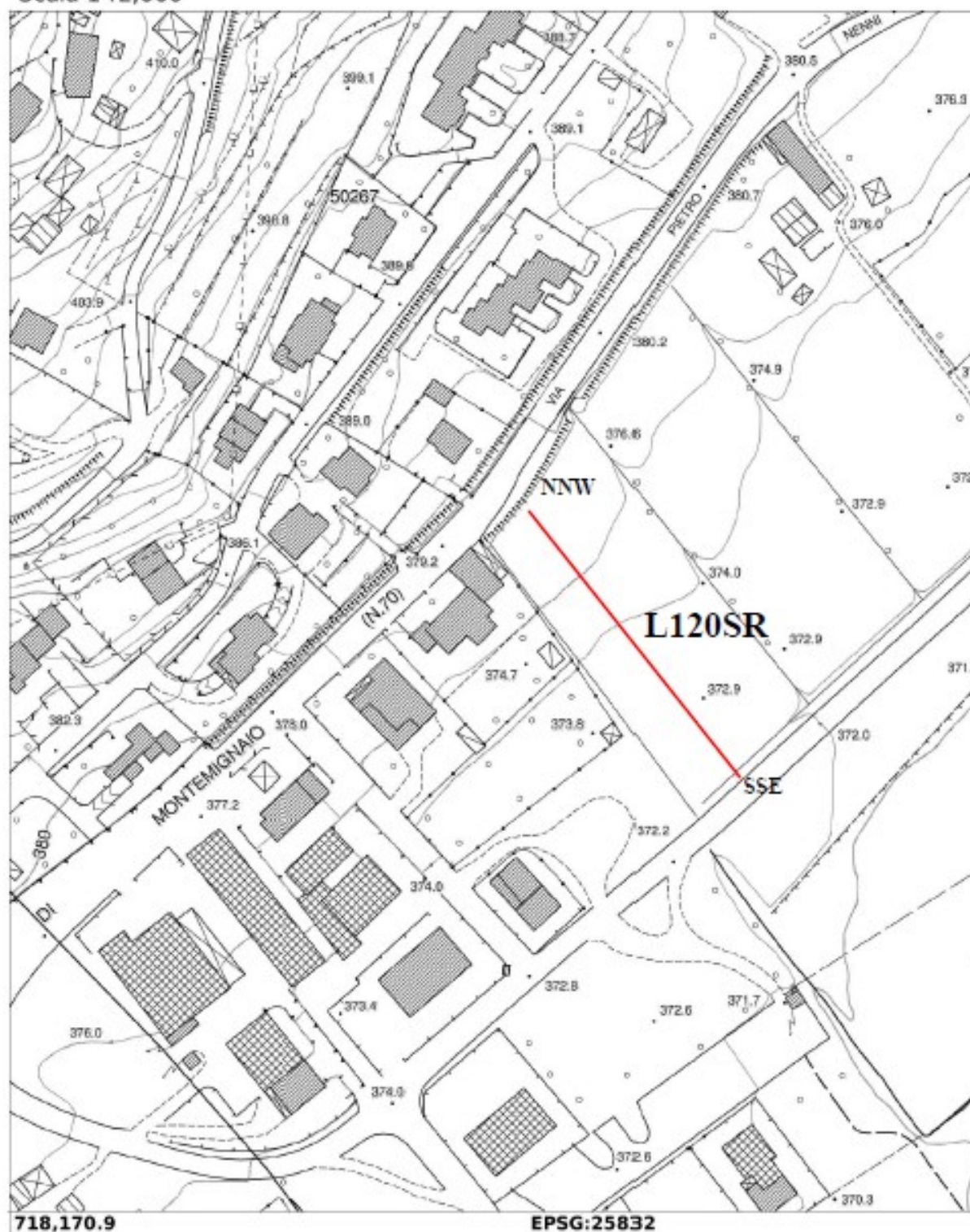


1,717,590

EPSG:3003

Ubicazione Stesa sismica a rifrazione L120SR (onde P e onde S)

Scala 1 : 2,000

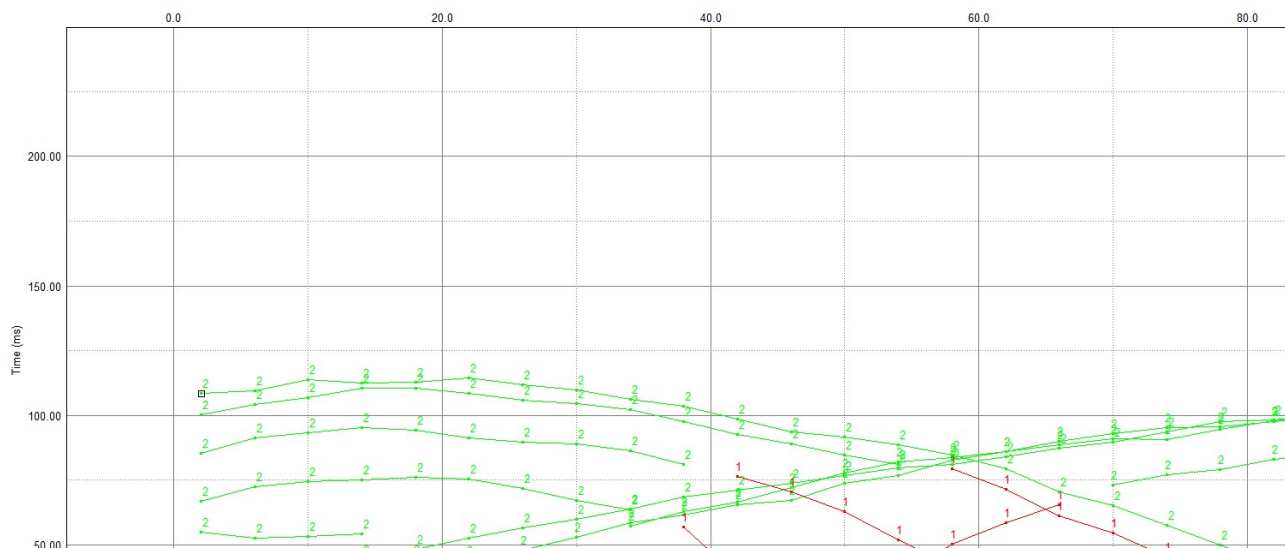


GALILEO GEOFISICA-PIAZZA GIOTTO 8-52100-Arezzo
www.Galileogeofisica.it

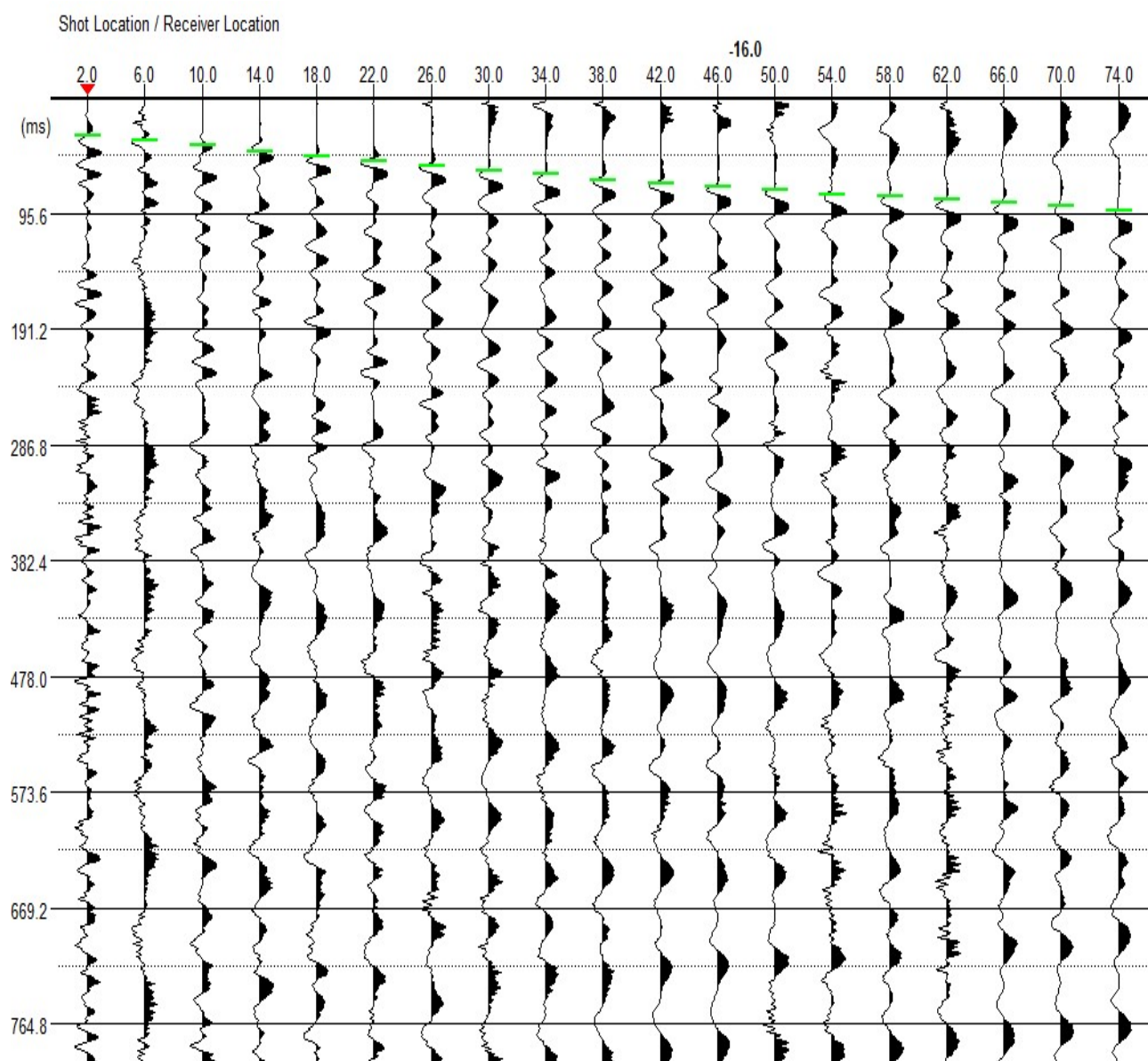
	I120SR Geofoni	Strada BB					
Name	Latitude	Longitude	Altitude	East (m)	North (m)	Height (m)	
g1	43°44'59.14629"N	11°42'53.29163"E	418.264	1718603.890	4847674.750	371.813	
g2	43°44'59.11089"N	11°42'53.12362"E	418.302	1718600.168	4847673.535	371.850	
g3	43°44'59.10168"N	11°42'52.96910"E	418.644	1718596.722	4847673.137	372.192	
g4	43°44'59.07099"N	11°42'52.78788"E	418.745	1718592.700	4847672.057	372.293	
g5	43°44'59.06960"N	11°42'52.67239"E	418.984	1718590.118	4847671.930	372.531	
g6	43°44'59.01037"N	11°42'52.46339"E	418.408	1718585.504	4847669.949	371.955	
g7	43°44'59.00362"N	11°42'52.28570"E	420.440	1718581.536	4847669.610	373.988	
g8	43°44'58.92664"N	11°42'52.13864"E	419.662	1718578.325	4847667.128	373.209	
g9	43°44'58.89943"N	11°42'51.95310"E	419.333	1718574.203	4847666.152	372.880	
g10	43°44'58.84788"N	11°42'51.75351"E	419.017	1718569.791	4847664.415	372.563	
g11	43°44'58.79325"N	11°42'51.64151"E	420.349	1718567.342	4847662.648	373.895	
g12	43°44'58.76786"N	11°42'51.44989"E	421.150	1718563.082	4847661.724	374.696	
g13	43°44'58.75822"N	11°42'51.27451"E	420.298	1718559.169	4847661.298	373.844	
g14	43°44'58.69436"N	11°42'51.12244"E	420.786	1718555.833	4847659.216	374.331	
g15	43°44'58.63886"N	11°42'50.91061"E	420.081	1718551.151	4847657.348	373.626	
g16	43°44'58.58330"N	11°42'50.76262"E	420.741	1718547.897	4847655.526	374.286	
g17	43°44'58.54041"N	11°42'50.58669"E	421.579	1718544.006	4847654.074	375.124	
g18	43°44'58.50238"N	11°42'50.42496"E	420.685	1718540.428	4847652.782	374.229	
g19	43°44'58.48918"N	11°42'50.27820"E	423.920	1718537.158	4847652.267	377.465	
g20	43°44'58.44418"N	11°42'50.07603"E	424.648	1718532.682	4847650.730	378.193	
g21	43°44'58.40501"N	11°42'49.90561"E	423.844	1718528.910	4847649.397	377.388	
g22	43°44'58.35820"N	11°42'49.73341"E	424.339	1718525.107	4847647.826	377.883	
g23	43°44'58.34515"N	11°42'49.58030"E	424.553	1718521.695	4847647.312	378.097	
g24	43°44'58.29327"N	11°42'49.39062"E	425.220	1718517.505	4847645.572	378.763	
Scoppi							
e1	43°44'58.22766"N	11°42'48.79292"E	428.214	1718504.204	4847643.109	381.757	
e2	43°44'58.28595"N	11°42'49.31767"E	425.835	1718515.881	4847645.293	379.379	
e3	43°44'58.47064"N	11°42'50.30343"E	422.293	1718537.742	4847651.713	375.837	
e4	43°44'58.73049"N	11°42'51.34888"E	420.119	1718560.861	4847660.497	373.665	
e5	43°44'58.97336"N	11°42'52.34230"E	419.708	1718582.833	4847668.719	373.256	
e6	43°44'59.21735"N	11°42'53.38541"E	419.075	1718605.916	4847677.011	372.624	
e7	43°44'59.29293"N	11°42'53.85465"E	416.093	1718616.334	4847679.687	369.642	

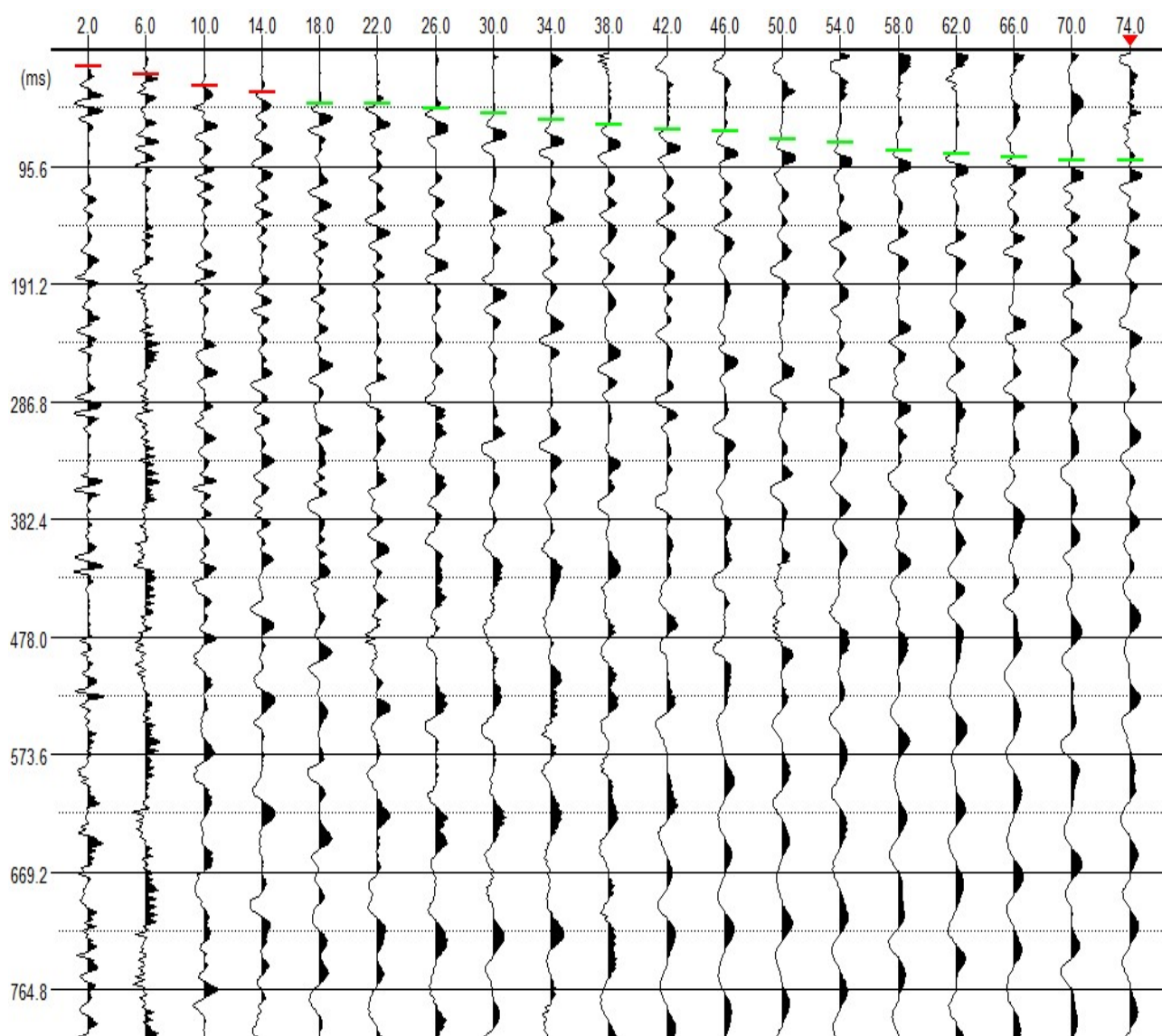
L120SR -Sh

TD Curve

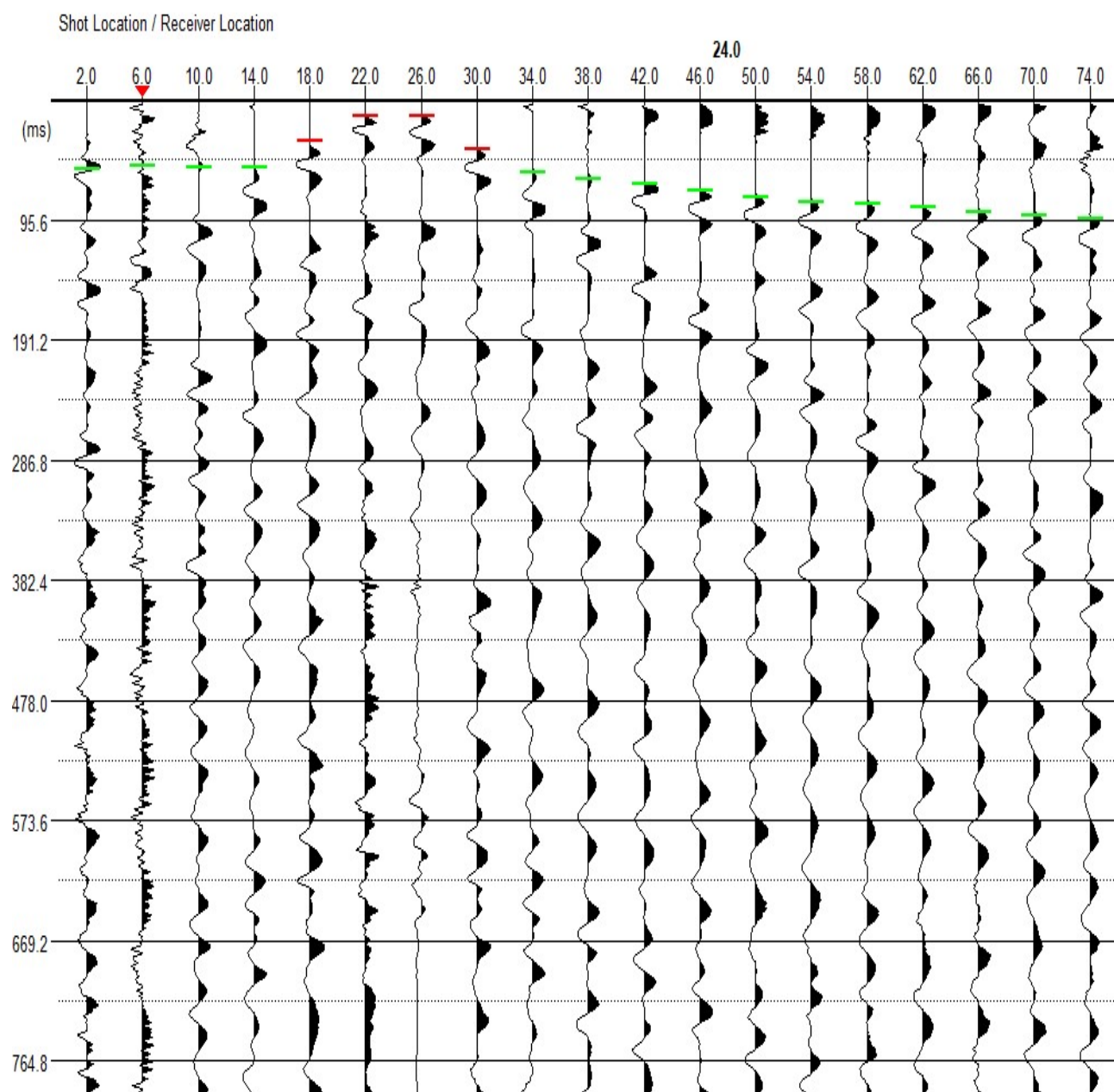


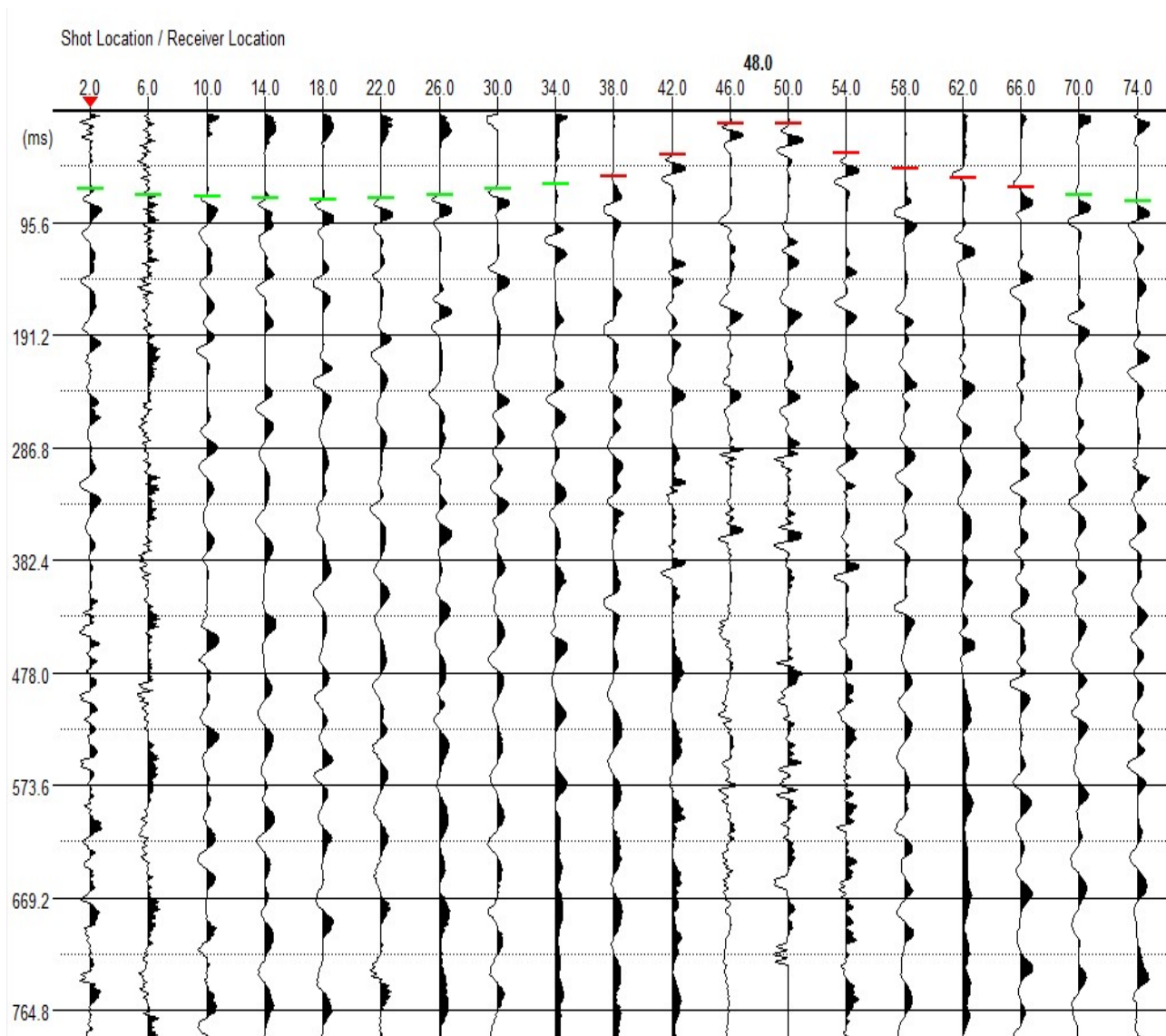
GALILEO GEOFISICA-PIAZZA GIOTTO 8-52100-Arezzo
www.Galileogeofisica.it

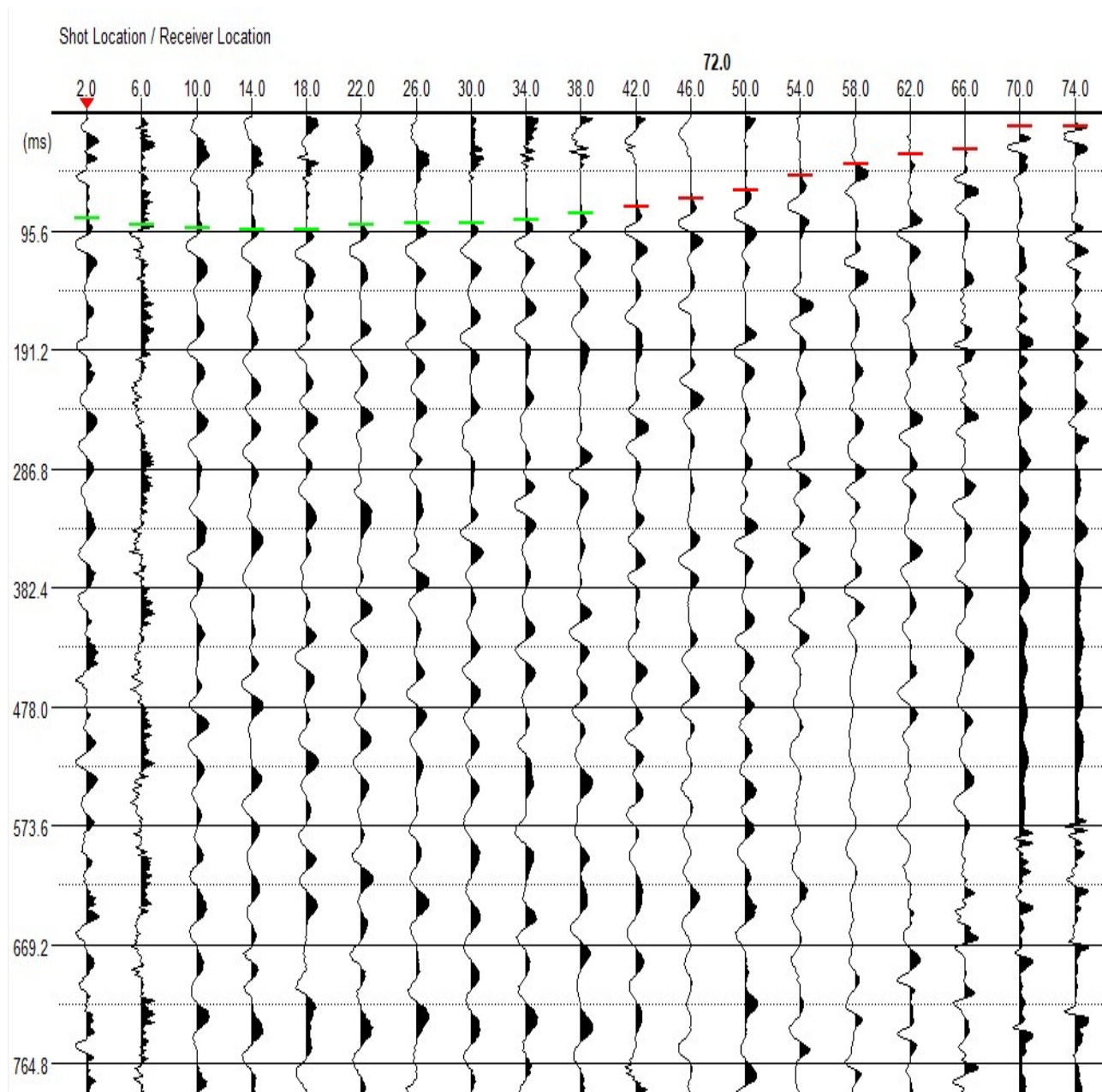


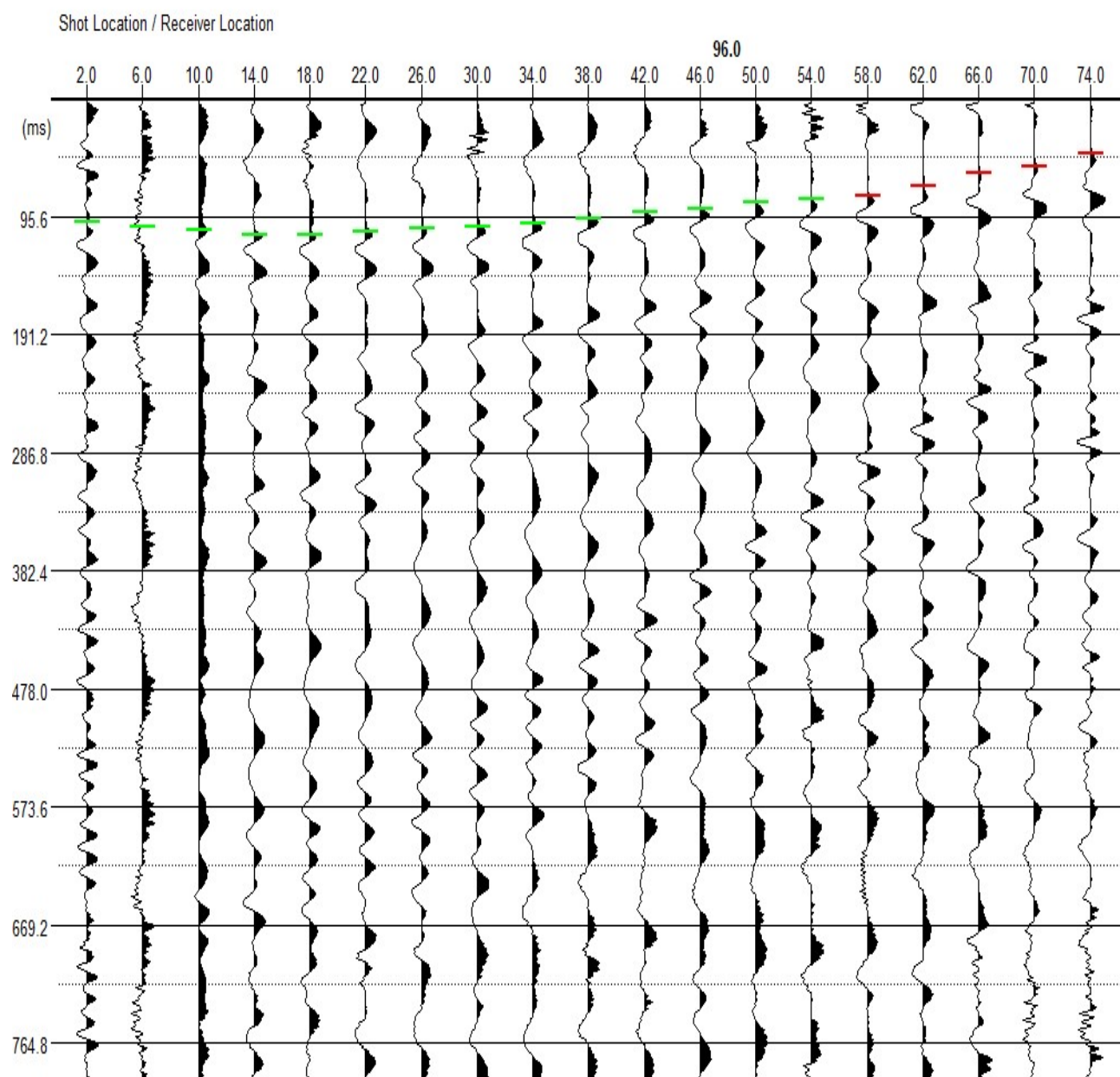


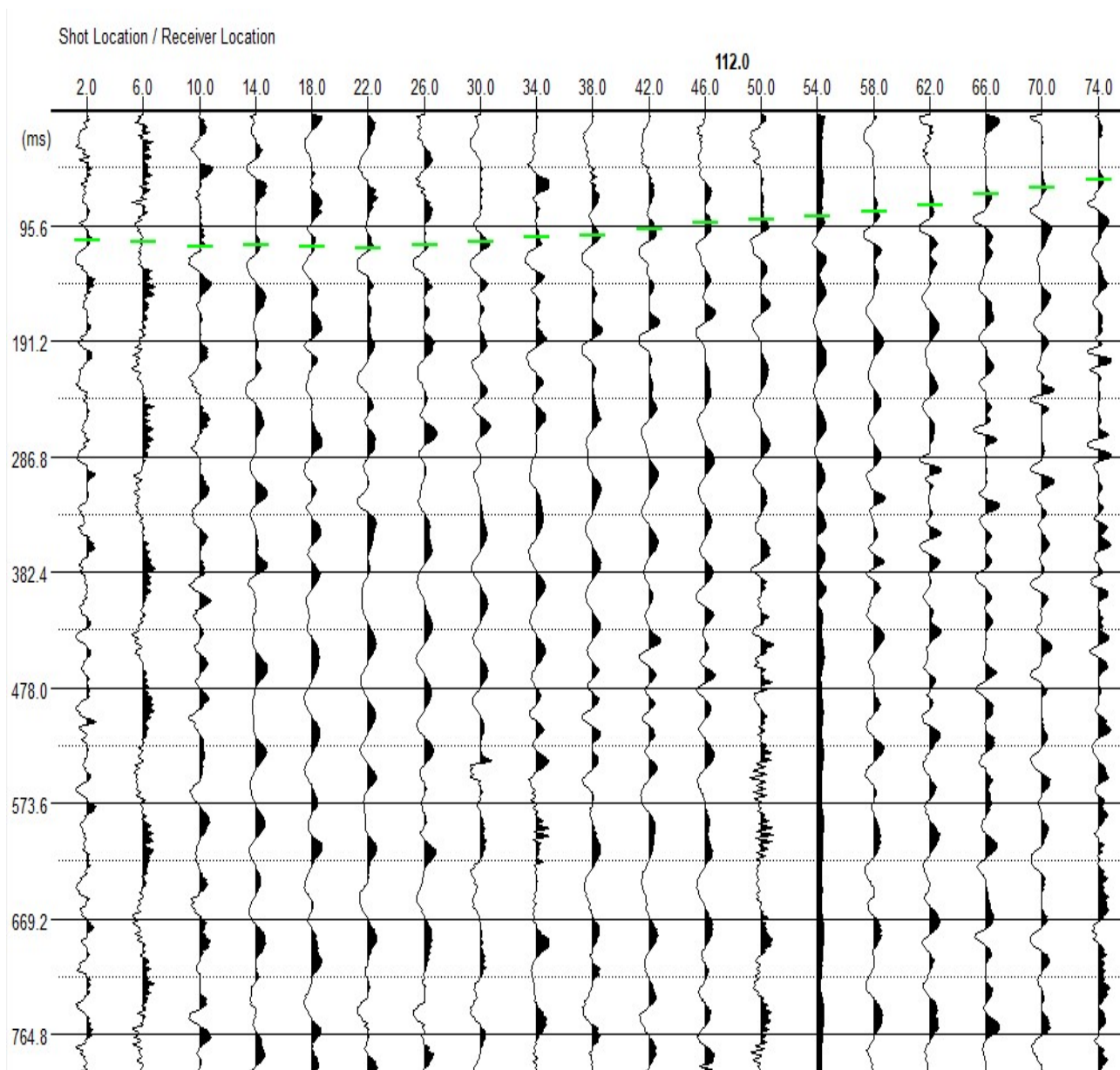
GALILEO GEOFISICA-PIAZZA GIOTTO 8-52100-Arezzo
www.Galileogeofisica.it





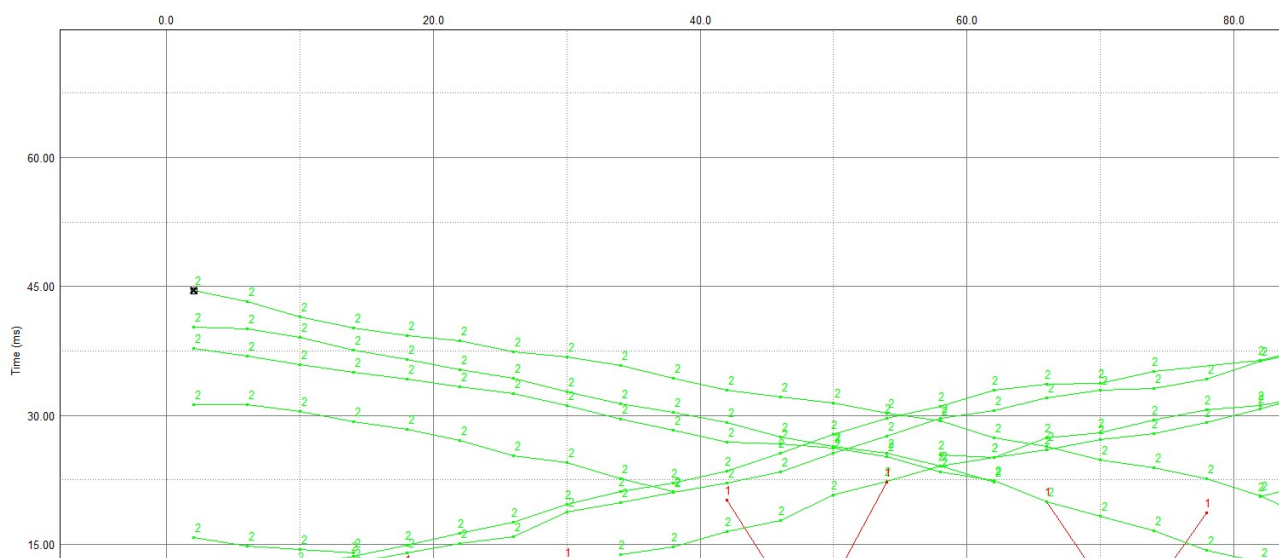


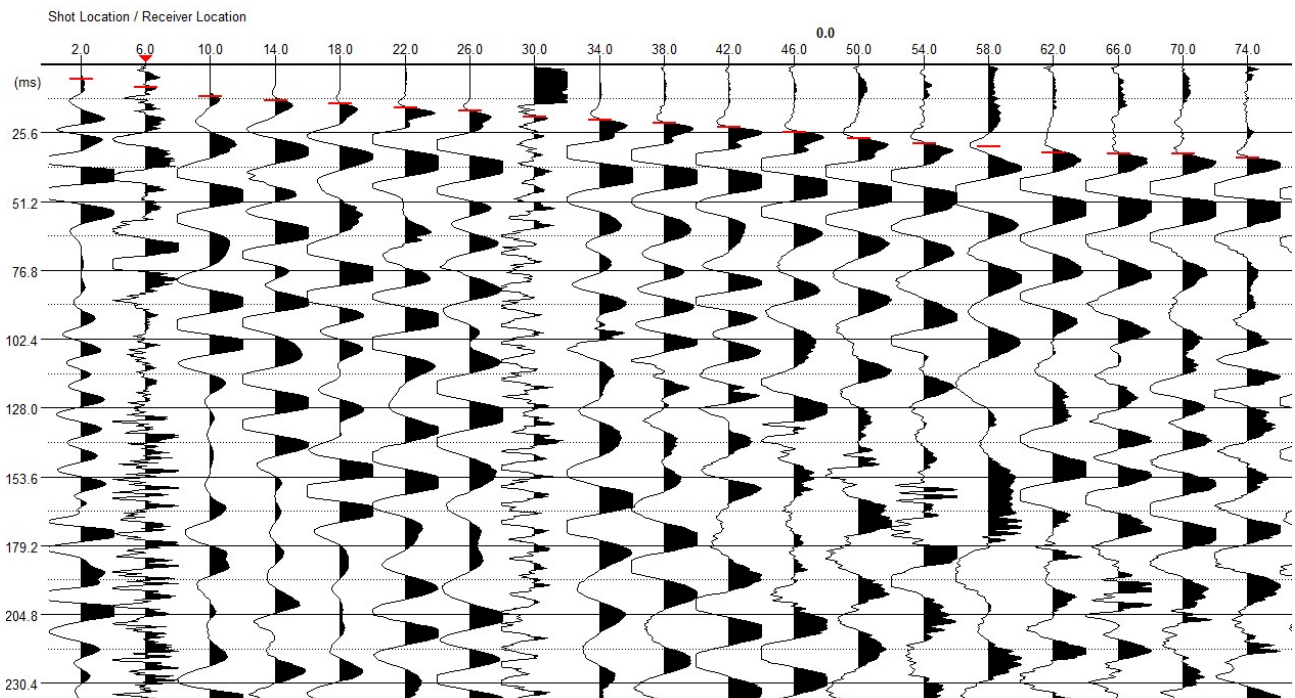
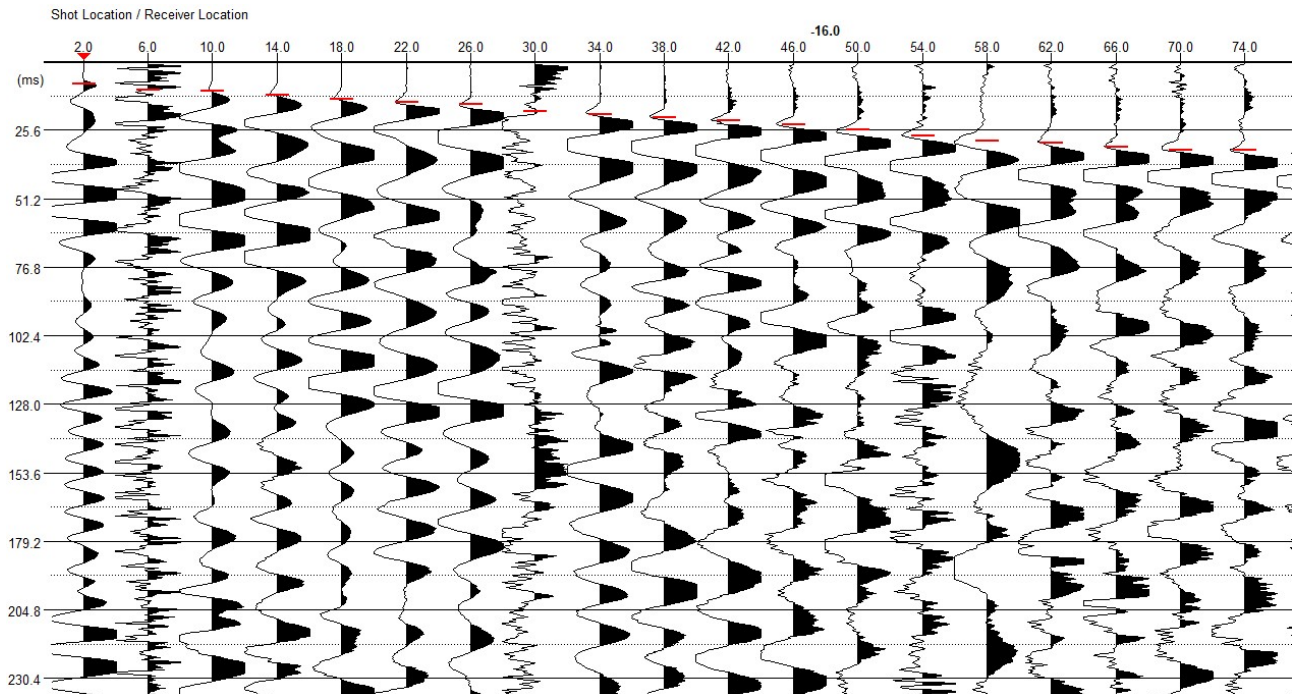


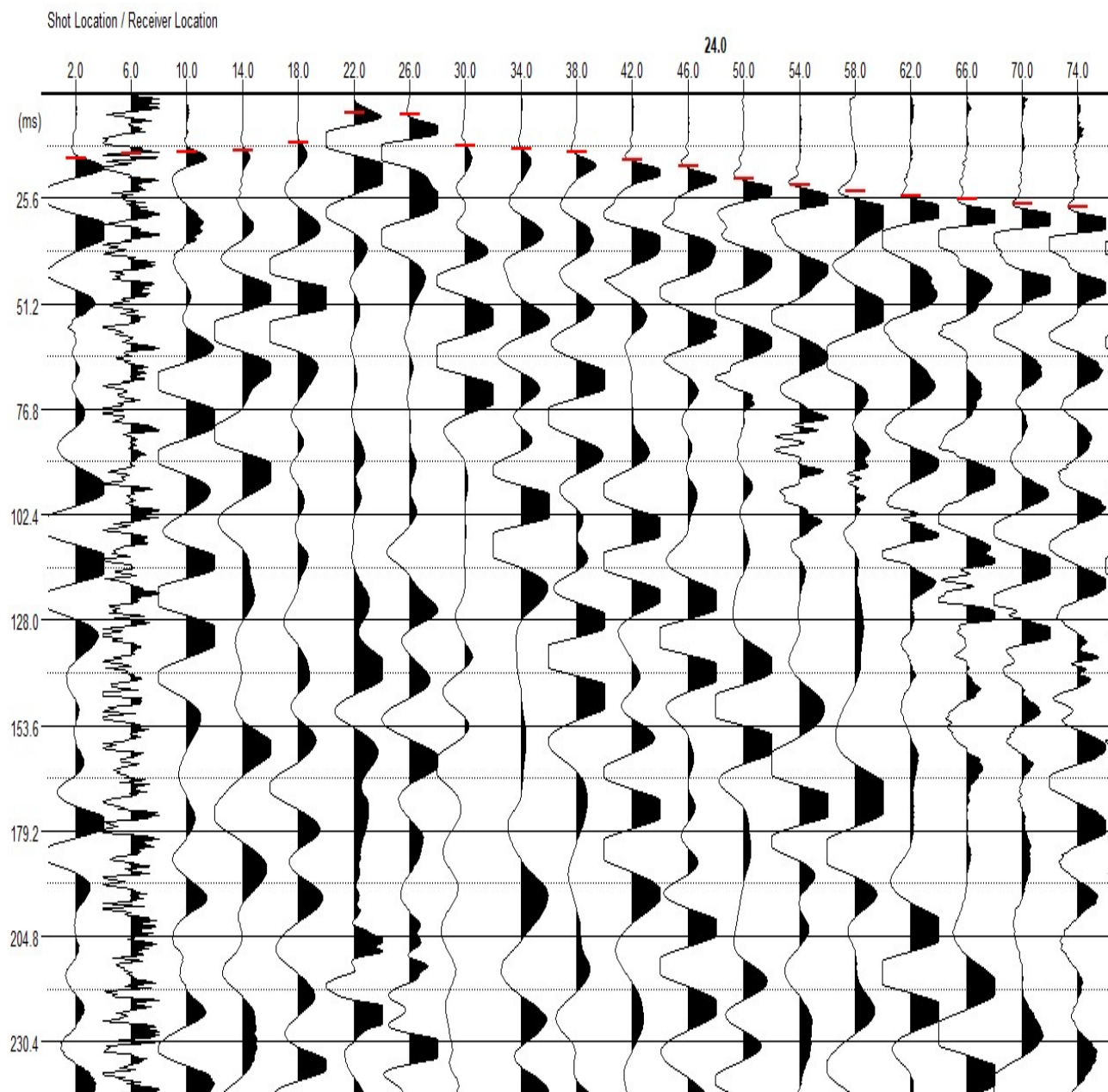


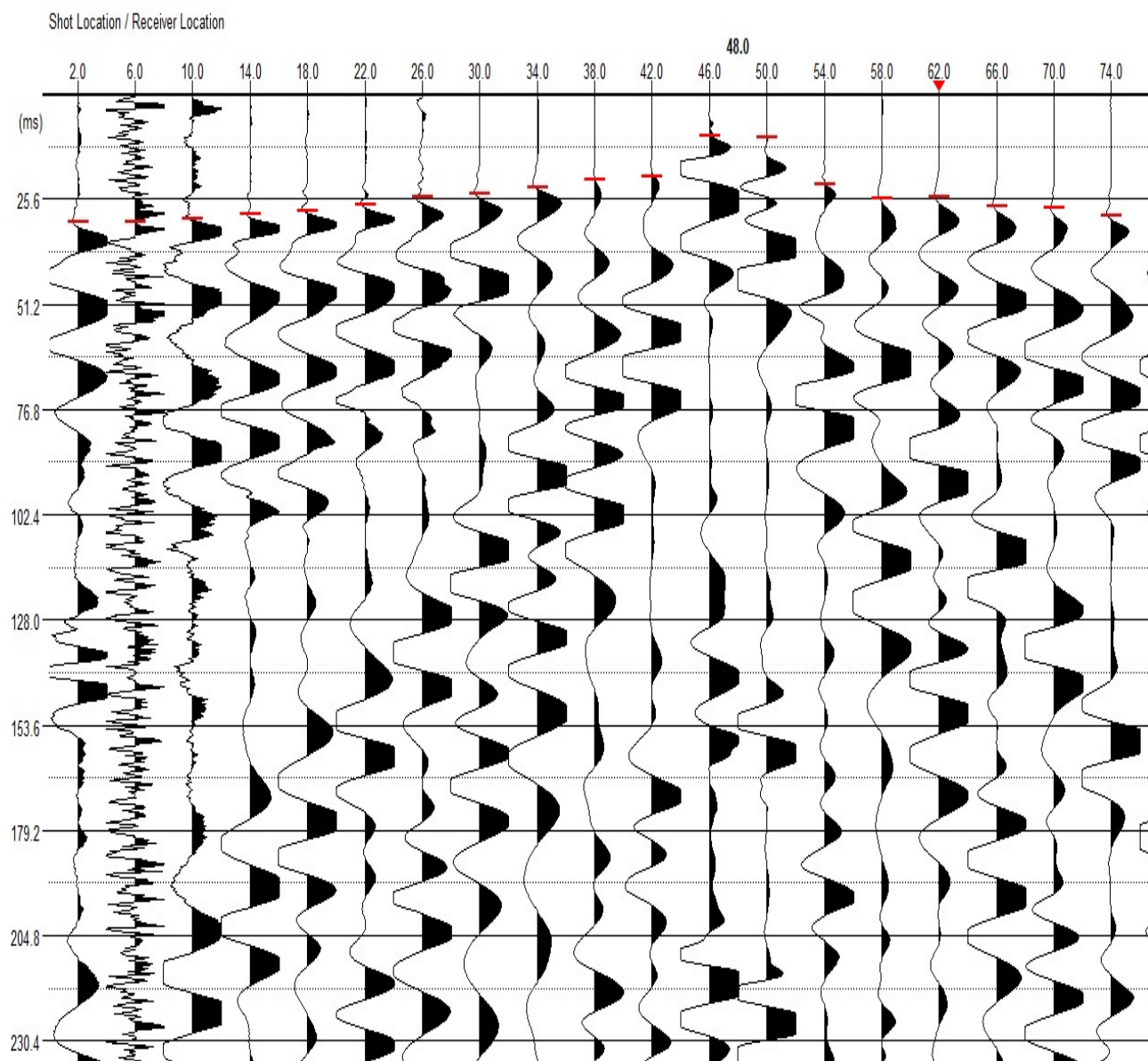
L120SR -P

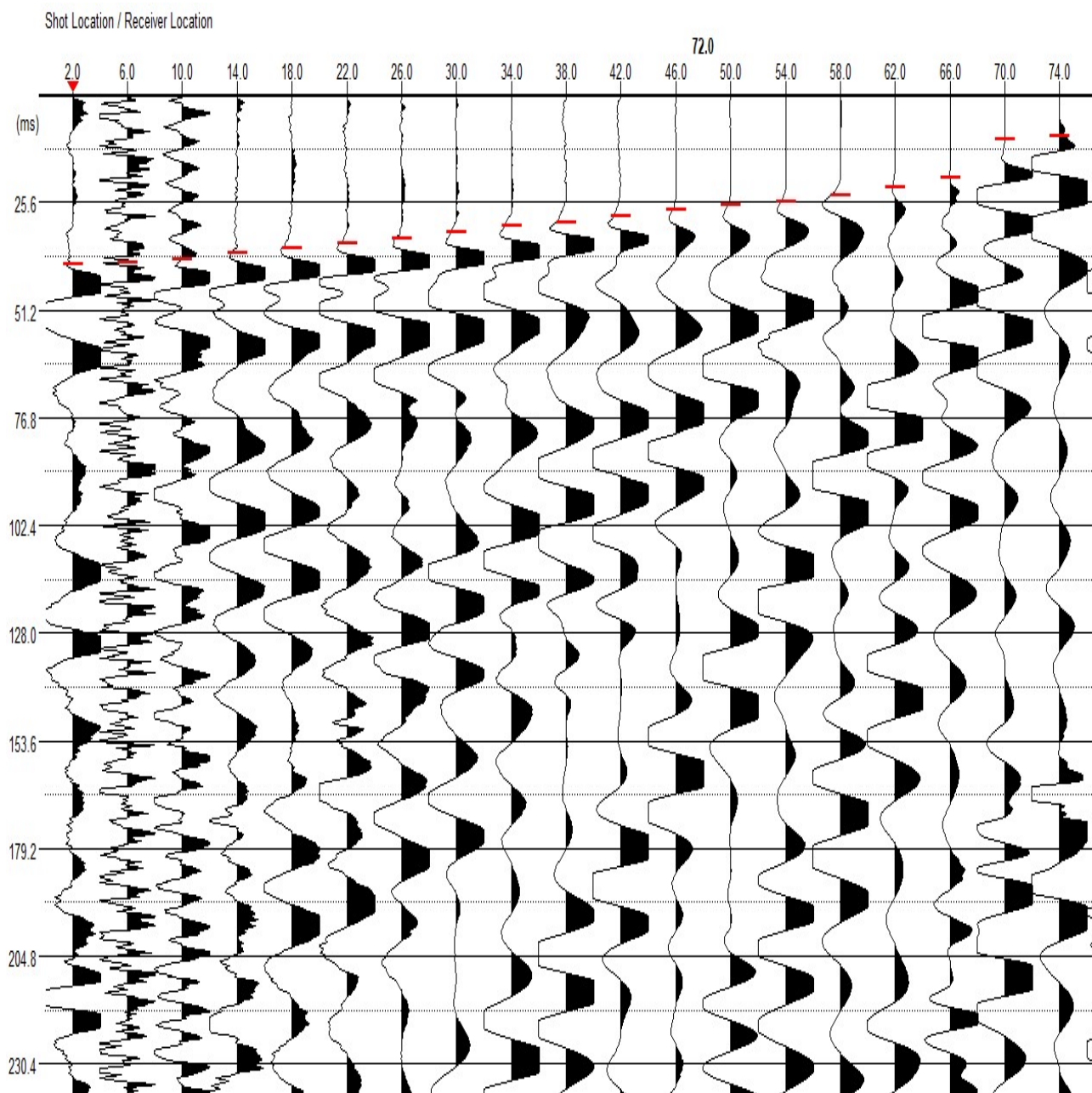
TD Curve

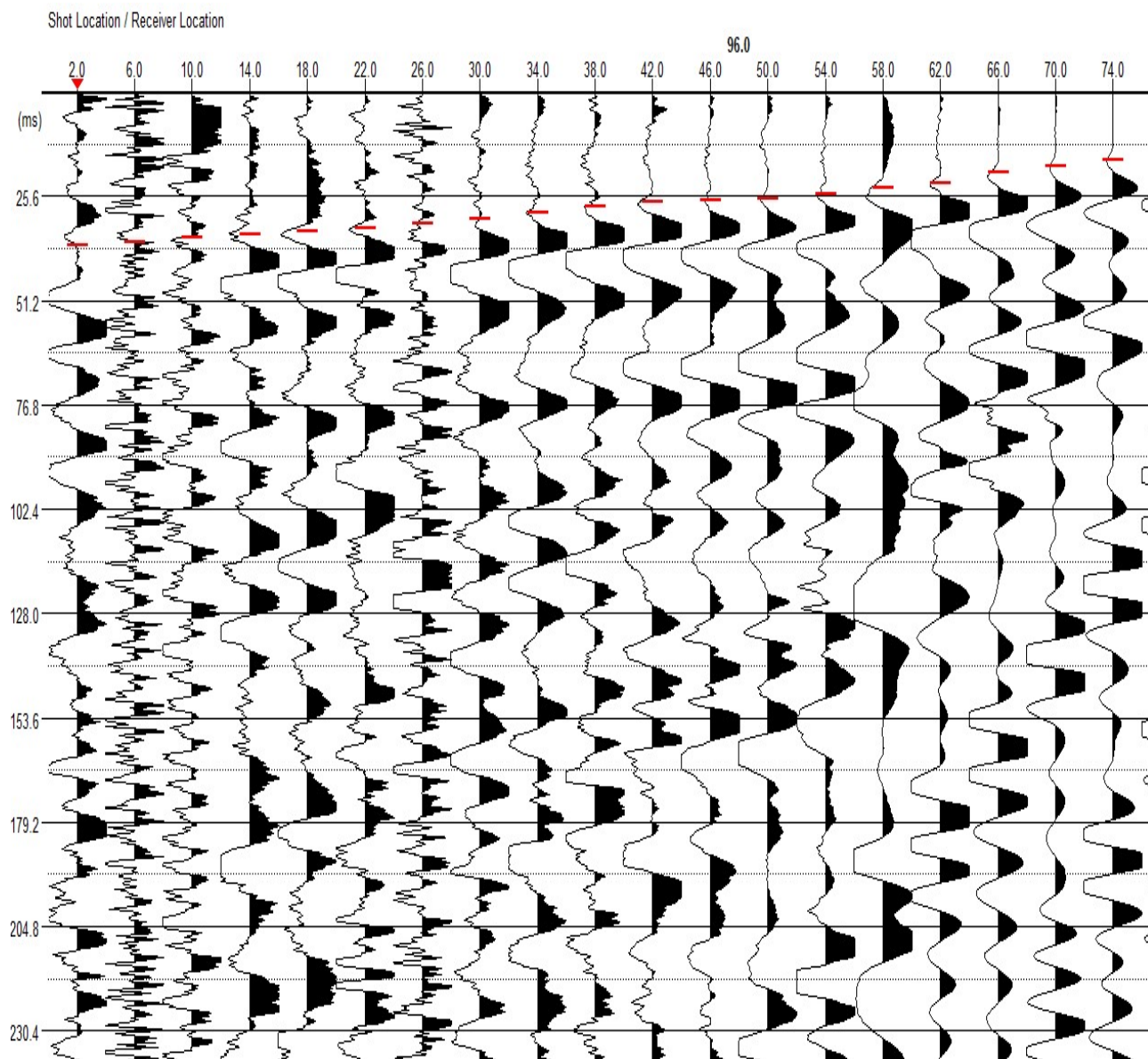


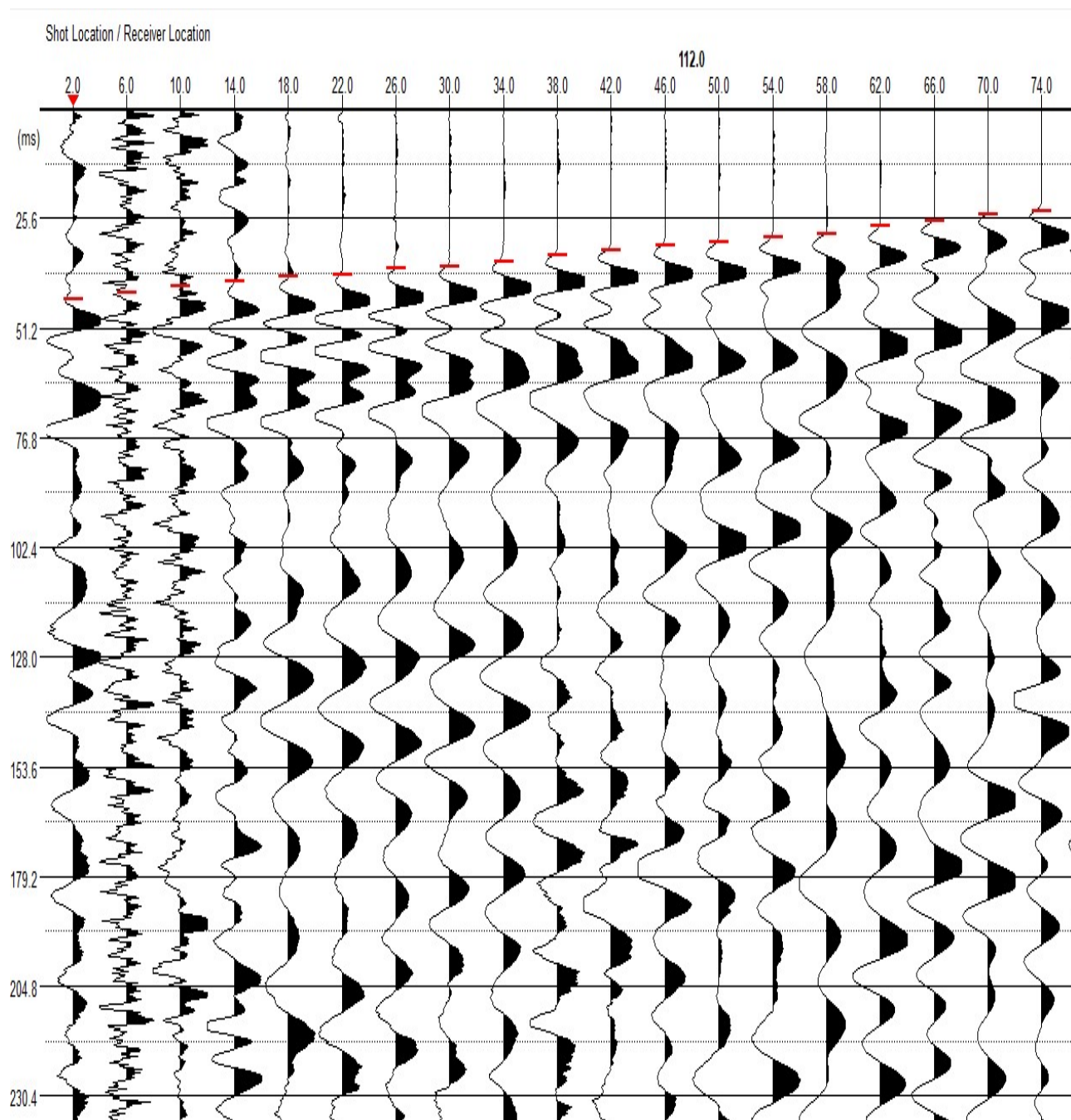












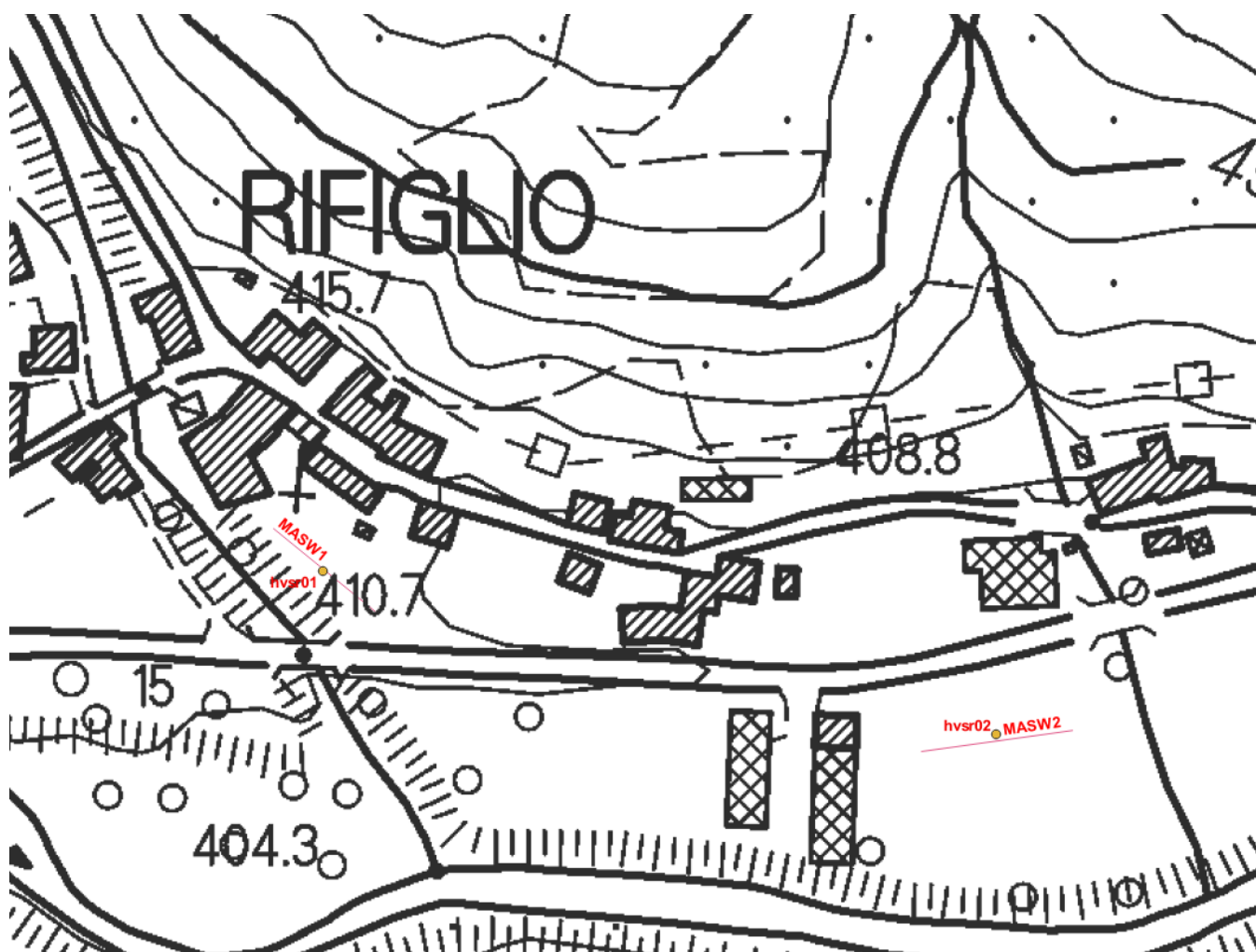
REPORT INDAGINI MASW + HVSR

(Geol N.Giovannini e S.Secci)



ProGeo *Engineering S.r.l.*

via Don Luigi Sturzo, 43/A - 52100 Arezzo
tel 0575 324114 fax 0575 406473 email info@progeo.arezzo.it



RIFIGLIO 1 (Comune di Castel San Niccolò – AR)
L117- MASW
P418 - HVSR

Strumento: TRZ-0135/01-11

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 17/06/02 12:14:08 Fine registrazione: 17/06/02 12:34:08

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 512 Hz

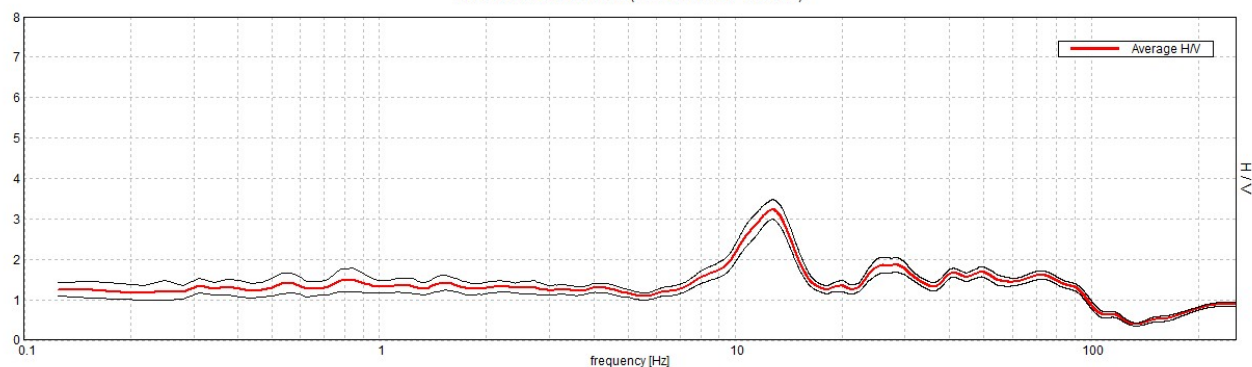
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

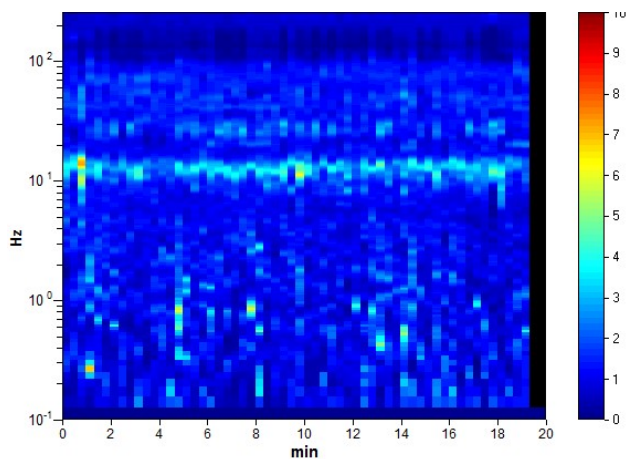
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

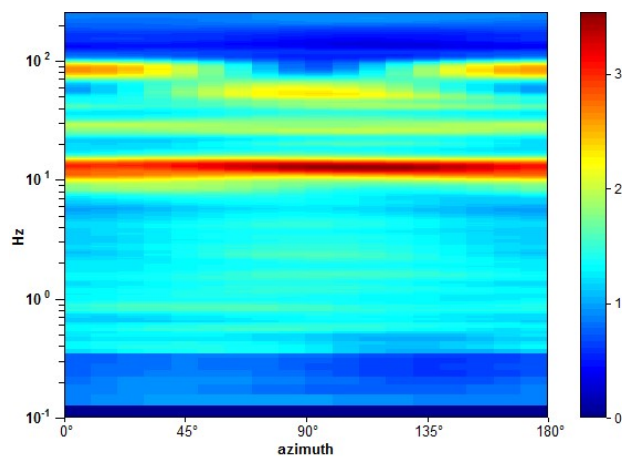
Picco H/V a 12.75 ± 2.34 Hz (nell'intervallo 0.0 - 256.0 Hz).



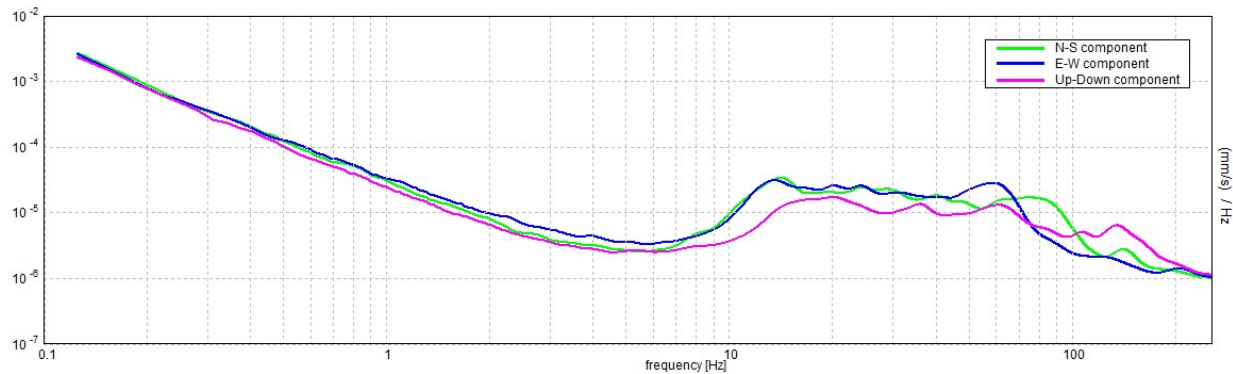
SERIE TEMPORALE H/V



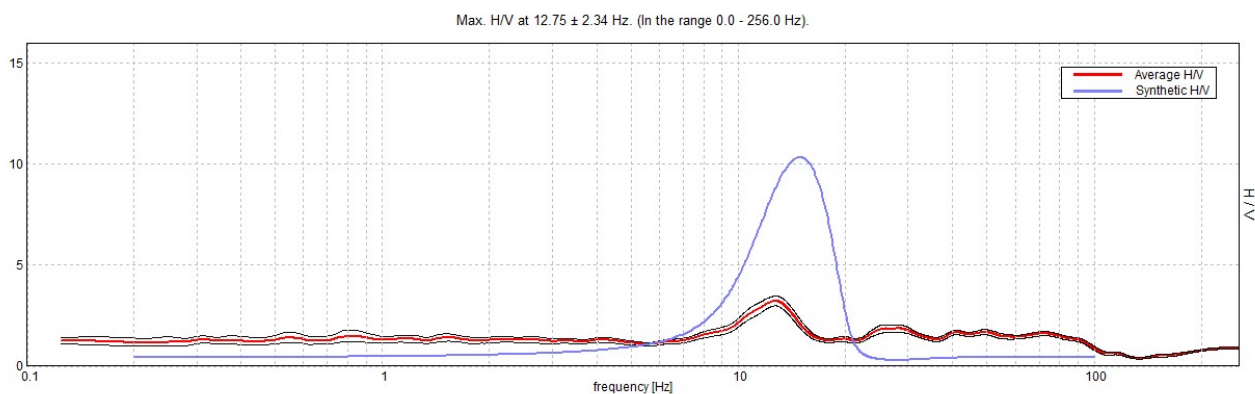
DIREZIONALITA' H/V



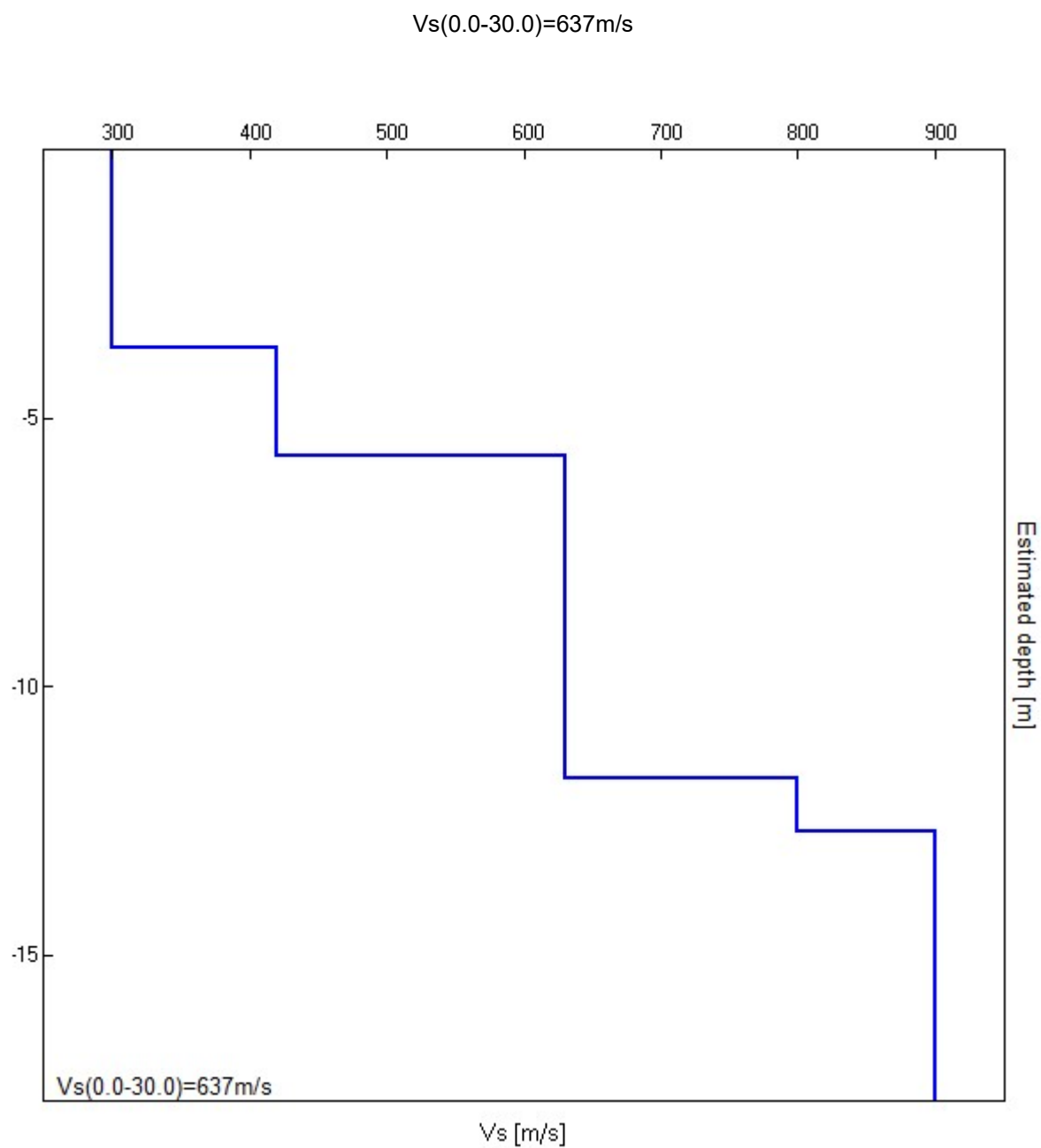
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
3.70	3.70	300	0.42
5.70	2.00	420	0.42
11.70	6.00	630	0.42
12.70	1.00	800	0.42
inf.	inf.	900	0.42



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Griffa* prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 12.75 ± 2.34 Hz (nell'intervallo 0.0 - 256.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$12.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$15300.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 613	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

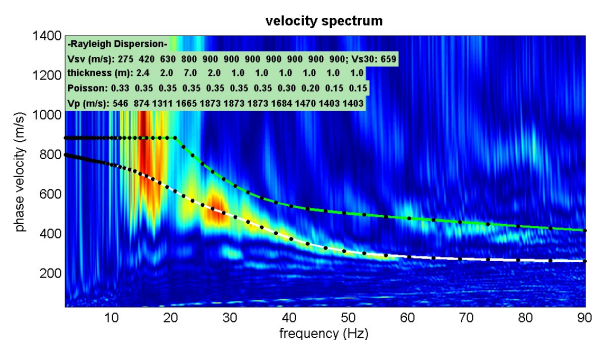
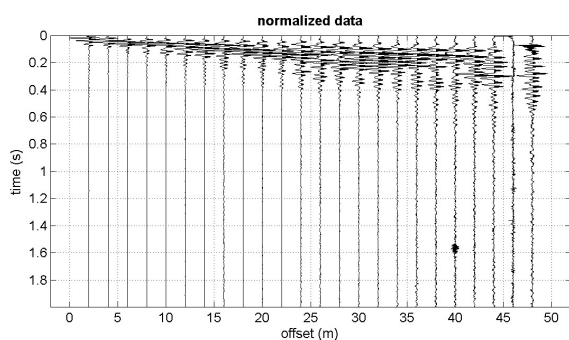
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	8.281 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	15.844 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.24 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.18342 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.33857 < 0.6375$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2446 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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



Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 144 357 841 1394 1787
1787 1787 1766 1739 1730 1730

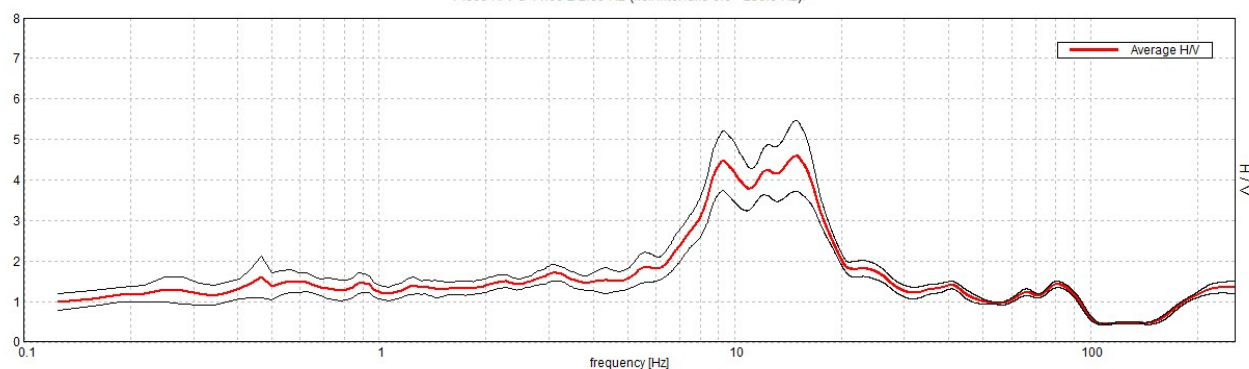
RIFIGLIO 2 (Comune di Castel San Niccolò – AR)
L118 - MASW
P418 - HVSR

Strumento: TRZ-0135/01-11
Formato dati: 16 byte
Fondo scala [mV]: n.a.
Inizio registrazione: 17/06/02 12:46:52 Fine registrazione: 17/06/02 13:06:52
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

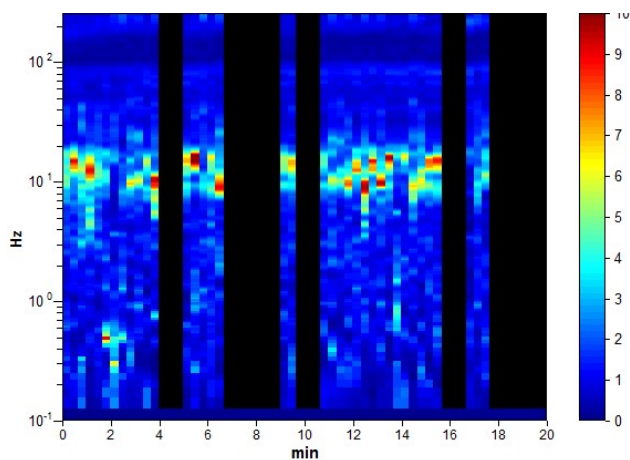
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 62% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 512 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

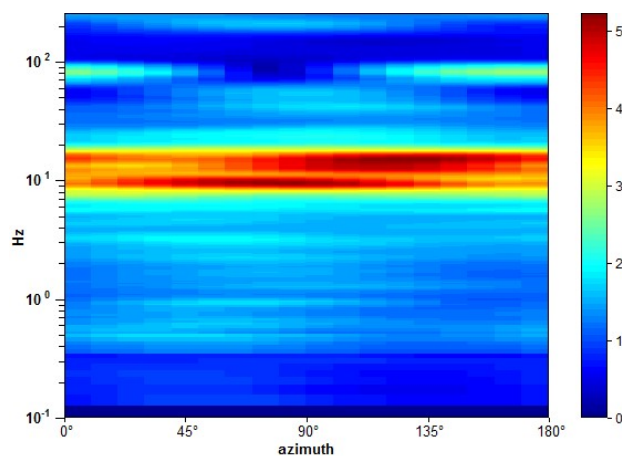
Picco H/V a 14.88 ± 2.89 Hz (nell'intervallo 0.0 - 256.0 Hz).



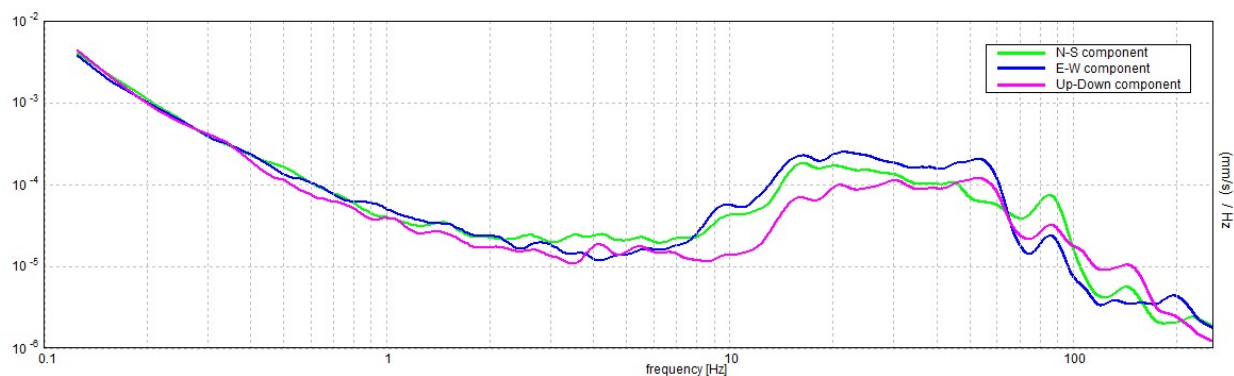
SERIE TEMPORALE H/V



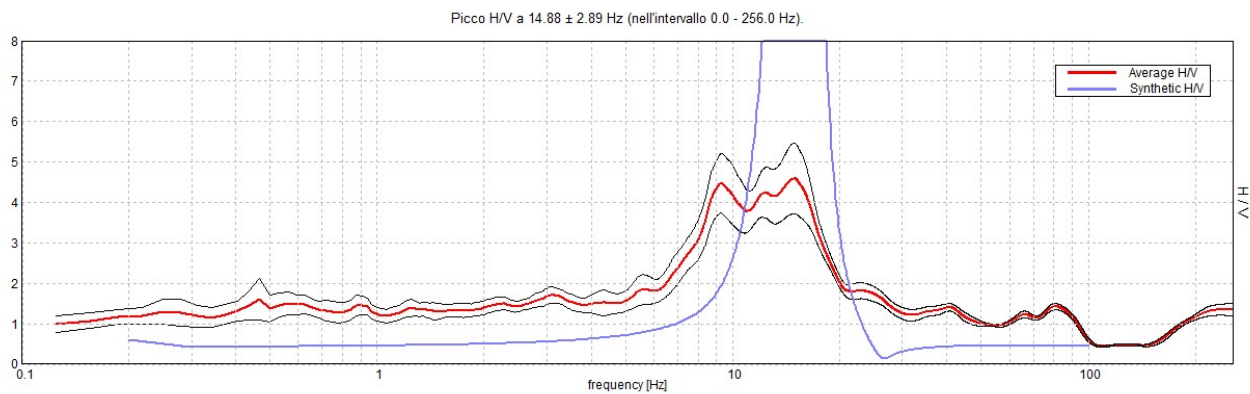
DIREZIONALITA' H/V



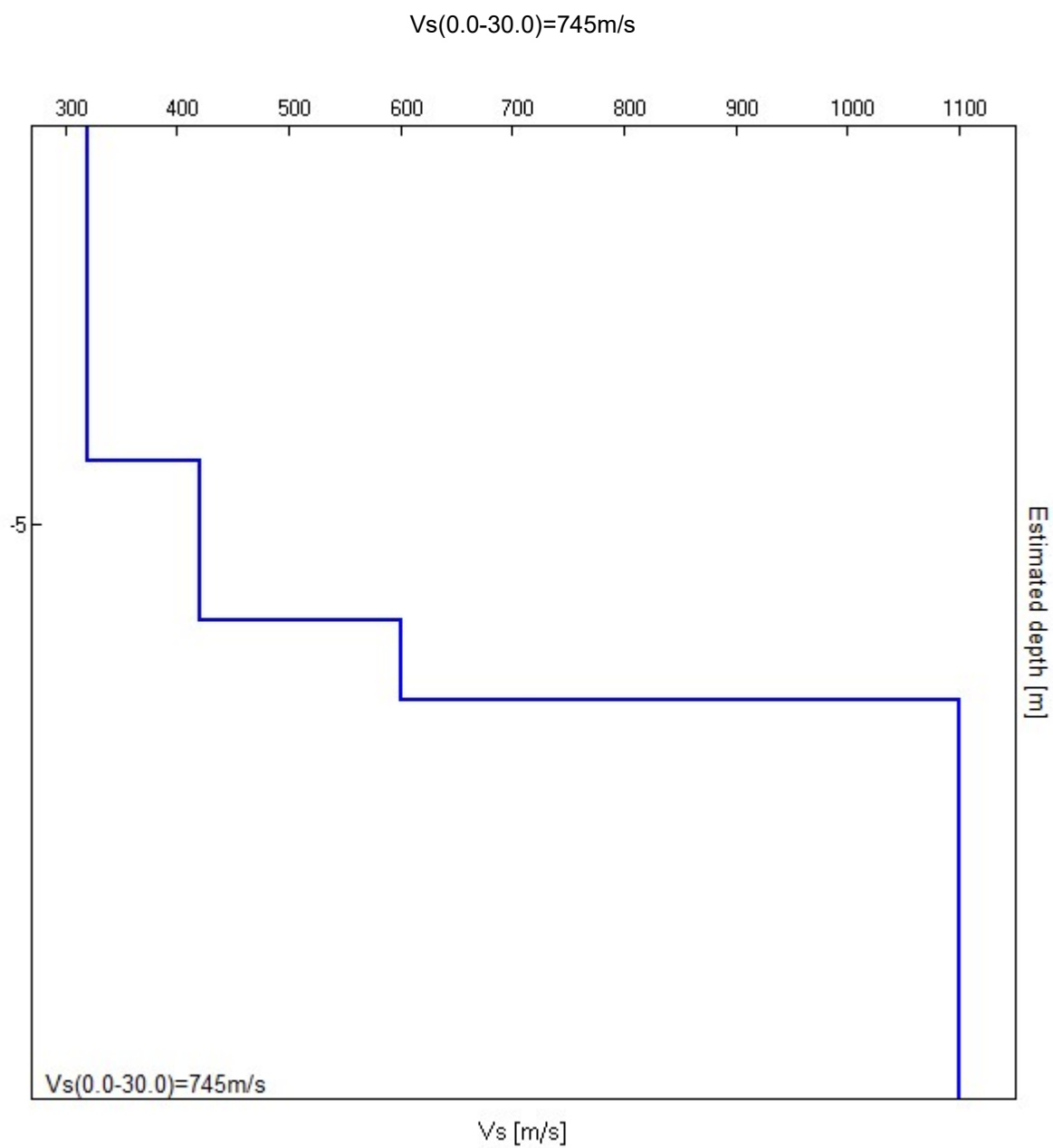
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.20	4.20	320	0.40
6.20	2.00	420	0.40
7.20	1.00	600	0.42
inf.	inf.	1100	0.42



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Griffa* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 14.88 ± 2.89 Hz (nell'intervallo 0.0 - 256.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$14.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$11007.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 715	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

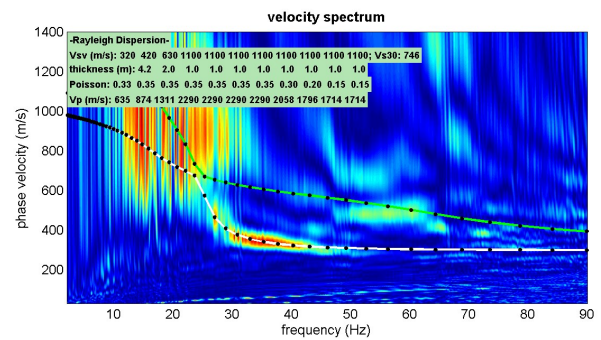
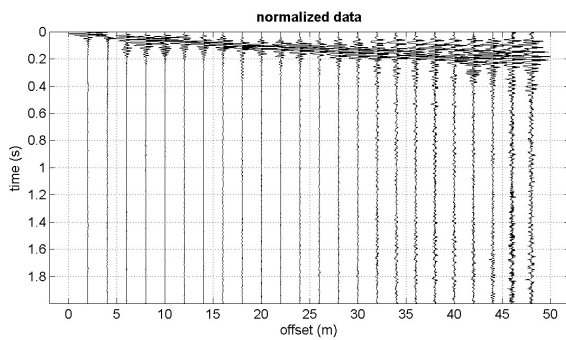
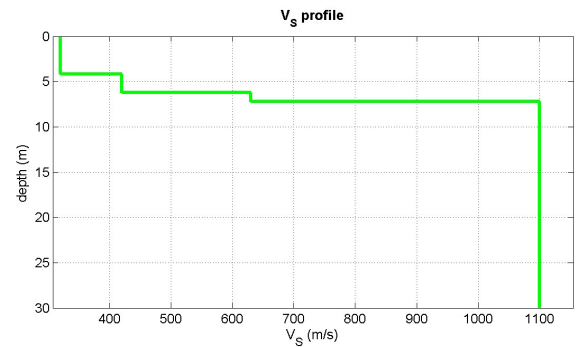
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.875 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	19.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.60 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.19411 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$2.88734 < 0.74375$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8761 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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



Mean model

V_s (m/s): 320, 420, 630, 1100, 1100, 1100, 1100, 1100, 1100, 1100, 1100

Thickness (m): 4.2, 2.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.94 2.02 2.12 2.26 2.26 2.26 2.26 2.23 2.20 2.18 2.18

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 199 357 841 2729 2729 2729 2729 2698 2658 2644 2644