

COMUNE DI MONTEFALCONE APPENNINO

(Provincia di Fermo)

REGIONE MARCHE

Programma di interventi di difesa del suolo - DGR n°549/2017

CONSOLIDAMENTO DELLA RUPE DEL CAPOLUOGO E PROTEZIONE STRUTTURE SOTTOSTANTI

PROGETTO DEFINITIVO

PROFESSIONISTA:

ALBERTO CONTI

Geologo



COMMITTENTE:

Amministrazione Comunale

INDAGINE SISMICA A RIFLESSIONE - RELAZIONE

Elab.:

A.4

DATA

Marzo 2018



COMMITTENTE: Comune di Montefalcone Appennino

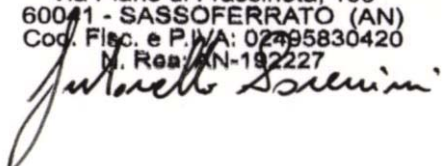


**INDAGINI DI SISMICA A RIFLESSIONE AD ALTA RISOLUZIONE
IN ONDE P ESEGUITE A CORREDO DEL PROGETTO DI
“CONSOLIDAMENTO VERSANTE SUD COMUNE DI
MONTEFALCONE APPENNINO (FM) LOCALITA' CAPOLUOGO”**

RELAZIONE SISMICA

15 marzo 2018

SERVIZI SISMICI S.n.c.
di Donnini A. & Mantoni F.
Via Piano di Frassineta, 109
60041 - SASSOFERRATO (AN)
Cod. Fisc. e P.I.A: 02495830420
M. Res. AN-192227



Collaboratore Geologo
DR. RAFFAELE MADONNA

INDICE DEGLI ARGOMENTI

1.	PREMESSA	3
2.	IL METODO SISMICO A RIFLESSIONE HR	3
2.1	Modalità d'acquisizione ed elaborazione dei dati	4
2.1.1	<u>Risultati della prospezione sismica a riflessione</u>	7
3.	CONCLUSIONI	8
	BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	9

ELENCO TAVOLE

TAV. 1:	Stacking chart MFA4P – MFA5P
TAV. 2:	Shots coordinates MFA4P – MFA5P
TAV. 3:	Geophones coordinates MFA4P – MFA5P
TAV. 4:	CDPs coordinates MFA4P – MFA5P
TAV. 5a:	Amplitude spectrum of raw data MFA4P – MFA5P
TAV. 5b:	Amplitude spectrum of raw data MFA4P – MFA5P
TAV. 6:	FK spectrum MFA4P – MFA5P
TAV. 7:	Sezione stack finale MFA4P
TAV. 8:	Sezione stack finale MFA5P

1. PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Comune di Montefalcone Appennino è stata eseguita, ad integrazione del precedente studio eseguito dagli scriventi nel 2013, una nuova campagna di indagini geofisiche consistente nella realizzazione di n° 2 stendimenti di Sismica a riflessione ad alta risoluzione in onde P, programmati nell'ambito del progetto di “Consolidamento versante Sud – Comune di Montefalcone Appennino (FM) - località Capoluogo” del Comune di Montefalcone Appennino.

Obiettivo principale dell'indagine eseguite è quello di fornire un dettagliato **quadro dell'assetto strutturale** della rupe rocciosa su cui insiste l'abitato di Montefalcone Appennino, cercando quindi di individuare arealmente la presenza o meno di discontinuità importanti nell'ammasso roccioso al fine di progettare al meglio la campagna di indagini geognostiche ed i futuri interventi di consolidamento. Per raggiungere tale obiettivo, è stata programmata ed eseguita una campagna di indagini geofisiche di sismica a riflessione ad alta risoluzione in onde di compressione P.

2. IL METODO SISMICO A RIFLESSIONE HR

La sismica a riflessione è una tecnica che si basa sulla registrazione dei tempi che intercorrono tra l'istante di generazione di un impulso elastico in superficie e l'istante di ricezione del relativo impulso generato da una o più riflessioni su altrettante superfici riflettenti poste al di sotto del piano di campagna.

Come è noto, nella prospezione sismica a riflessione si utilizza tutta la registrazione e, per quanto attiene la metodologia “multicanale”, l'elemento caratterizzante è rappresentato, in sintesi, dalla correzione e somma di tutte le tracce che convergono in un unico punto (CDP). Mediante un opportuno processing vengono raccolte le tracce dei sismogrammi che convergono sul medesimo CDP (famiglia).

Successivamente viene definita la velocità di propagazione delle onde nei singoli riflettori (sulla base anche di indagini sismiche precedentemente eseguite nella zona) e si apporta così una correzione temporale alle tracce di ogni singola famiglia (move-out).

Queste famiglie vengono poi sommate aumentando il rapporto segnale/rumore (stacking). In questo modo si crea una sezione “stack” in cui visualmente è possibile

riconoscere i singoli riflettori. Altre operazioni che si svolgono in fase di processing quali filtraggio in frequenza, filtraggio F–K, deconvoluzione, correzione statica, migrazione etc., consentono di ottenere la sezione stack finale.

Nell'ambito di questo studio, tale tecnica si è resa molto utile per la ricostruzione delle geometrie sepolte ed in particolar modo dell'assetto strutturale dei litotipi presenti. La sismica a riflessione, che restituisce una sorta di radiografia in profondità del terreno lungo una sezione, ha avuto quindi lo scopo di confermare o meno la presenza di famiglie di fratture che potrebbero sicuramente compromettere la stabilità della rupe rocciosa.

2.1 Modalità d'acquisizione ed elaborazione dei dati

Durante la campagna di indagine sismica, sulla base delle indicazioni fornite dalla committenza, sono state realizzate n° 2 linee sismiche che, seguendo la numerazione delle linee della precedente campagna geofisica del 2013, sono state denominate MFA4P e MFA5P, tutti in prossimità del bordo della rupe, la prima della lunghezza in superficie di 65 metri, la seconda della lunghezza in superficie di 39 metri (Fig. 1).

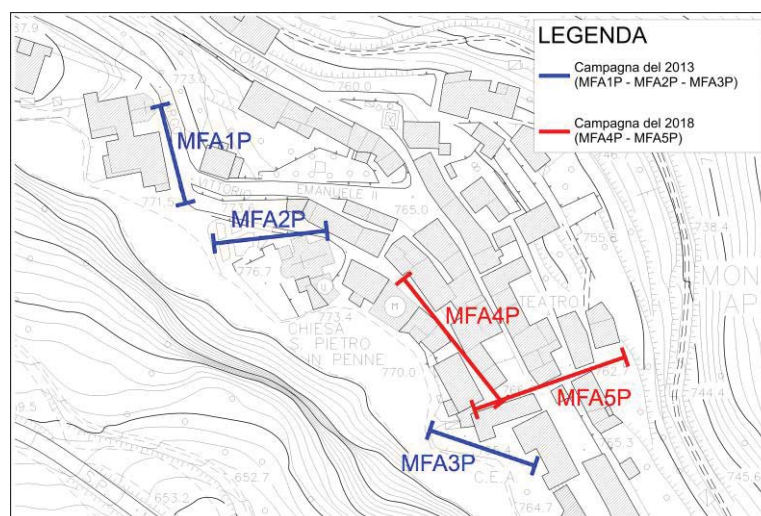


Figure 1 – Mappa della ubicazione delle indagini.

Per l'esecuzione delle linee sismiche a riflessione è stato utilizzato un sismografo AMBROGEO ECHO 24 SEISMIC UNIT a 24 canali. Come SORGENTE DI ENERGIA per le onde P è stata utilizzata, per entrambe le linee MFA4P ed MFA5P, una mazza del peso di 8 Kg battente direttamente su una piastra di alluminio il cui accoppiamento con il terreno è stato curato in maniera particolare asportando i san pietrini per tutta la parte di linea interessata dagli scoppi in modo che la piastra non poggiasse direttamente su di essi ma sul terreno in posto (Fig. 2).



Figura 2 – a sx. MFA4P a dx MFA5P.

Le energizzazioni erano in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia con forme d'onda ripetibili e direzionali, cioè con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione. Tale metodologia ha consentito di ottenere ovunque registrazioni di buona qualità (Fig. 3). Il TIGGER utilizzato consiste in un circuito elettrico che viene chiuso mediante un geofono starter nell'istante in cui il sistema energizzante (cannoncino, mazza etc.) colpisce la base di battuta determinando l'inizio della registrazione.

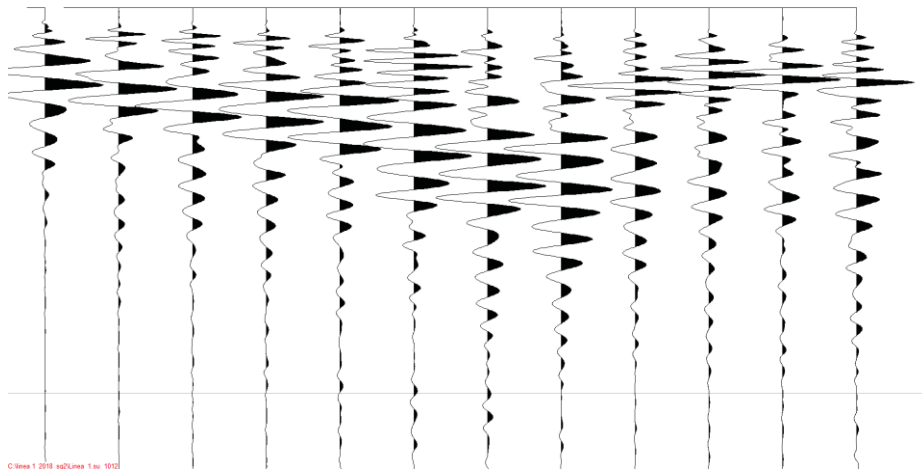


Figura 3 – Esempio di traccia sismica; Shot Gather 13 a 300 ms della MFA4P;

Come APPARECCHIATURA DI RICEZIONE per le onde P sono stati utilizzati 12 geofoni verticali con frequenza propria di 150 Hz. La GEOMETRIA DI ACQUISIZIONE utilizzata, in funzione dello spazio a disposizione, è descritta in tabella 1 e 2.

Tabella 1 – Geometria e parametri d'acquisizione della base sismica a riflessione MFA4P	
Spread	Off-end-pusch increase
Offset:	3,00 m
Distanza intergeofonica:	1,00 m
Distanza degli shots	1,00 m
Numero di shots	52
Lunghezza totale:	65,00 m
Energizzazione:	P
Numero canali	12
Frequenza dei geofoni	14 Hz
Lunghezza registrazione	1 sec.
Filtro:	950 Hz

Tabella 2 – Geometria e parametri d'acquisizione della base sismica a riflessione MFA5P	
Spread	Off-end-pusch increase
Offset:	3,00 m
Distanza intergeofonica:	1,00 m
Distanza degli shots	1,00 m
Numero di shots	39
Lunghezza totale:	39,00 m
Energizzazione:	P
Numero canali	12
Frequenza dei geofoni	14 Hz
Lunghezza registrazione	1 sec.
Filtro:	950 Hz

Nella tabella seguente tabella 3 è riportata la sequenza di processing effettuata.

Tabella 3 – Sequenza di processing utilizzata nell'elaborazione.	
Processing Chart	
1-	data import, record conversion from SEG Y to SEG2 to SU processing format, pre-processing editing
2-	geometry input
3-	resampling: resampling rate=0.5 ms
4-	frequency filtering: bandpass f(Hz)=65,70,175,180
5-	gain: window (ms)=0.332
6-	CDP sort
7-	elevation static
8-	velocity analysis by stacking velocity semblance
9-	normal move out: stretch mute factor=1.5
10-	stack
11-	predictive deconvolution: wavelet interval=13 ms, initial gap=20 ms, iteration number=4
12-	frequency filtering: bandpass f(Hz)=65,70,175,180
13-	gain: window (ms)=0.332
14-	five traces mix: array of weights for weighted average=0.5,1,1,1,0.5
15-	editing

Di seguito (Tab. 4) sono indicate le velocità di stacking utilizzate nella correzione di normal move out per la successiva fase di stack.

Tabella 5 – Analisi di velocità.		
Tempi doppi (ms)	Velocità intervallari (m/s)	Profondità (m)
15	730	5.6
49	1266	27
83	1775	57

E' noto che tali velocità non sono quelle reali dei mezzi investigati, bensì velocità verticali mediate RMS (la velocità delle onde sismiche verticale è generalmente differente da quella orizzontale in mezzi anisotropi).

2.1.1 Risultati della prospezione sismica a riflessione

Il risultato finale della prospezione (Tavole 7, 8) mostra dall'alto verso il basso la variazione altimetrica (s.l.m.) dell'indagine, la sezione stack migrata finale in tempi doppi (millisecondi) e la variazione con la progressiva della copertura (Fold) della prospezione. L'indagine sismica, oltre ad una generale immersione appenninica dell'ammasso roccioso, ha confermato i risultati già ottenuti nella precedente campagna geofisica del 2013 evidenziando in tutte le due aree indagate, la presenza di numerose fratture entro i primi 30 – 40 metri di profondità; alcune fratture invece, partendo dagli strati più superficiali, si addentrando nell'ammasso roccioso fino a profondità notevoli che superano i 60 – 70 metri dal piano campagna. In entrambe le sezioni stack finale (TAVV. 7 e 8) le discontinuità hanno generalmente una giacitura subverticale e tutte interessano gli strati più superficiali almeno entro i 10 metri di profondità dal piano campagna. Nella MFA4P va segnalata senza dubbio una frattura molto superficiale in corrispondenza della progressiva 14.2 metri. Meno compromessa è la situazione mostrata dalla sezione stack finale relativa alla linea MFA5P (TAV. 8) dove la fratturazione, seppur superficiale, presenta un andamento generalmente contrario all'andamento del versante. A questo punto sarebbe opportuno sovrapporre una sezione geologico-stratigrafica sulla sezione sismica in modo tale da valutare se tali fratture hanno o meno la stessa giacitura degli strati dell'ammasso roccioso.

3. CONCLUSIONI

L'indagine geofisica di sismica a riflessione ha permesso di avere un quadro areale della situazione strutturale dell'ammasso roccioso su cui insiste l'abitato del Comune di Montefalcone Appennino. Tale ammasso roccioso, caratterizzato da arenarie cementate, in tutte e due le aree indagate, si presenta intensamente fratturato con numerose, importanti e profonde discontinuità che arrivano ad interessare anche gli strati più superficiali del terreno.

Sarebbe opportuno, nella futura campagna geognostica, ubicare dei sondaggi proprio in corrispondenza di tali discontinuità per valutarne il grado di cementificazione e quindi stabilire se possono o meno riattivarsi in corrispondenza per esempio di eventi sismici.

Si resta a disposizione per ogni eventuale chiarimento e intervento in corso d'opera.

Sassoferrato 15/03/2018

Il collaboratore Geologo

DR. RAFFAELE MADONNA

SERVIZI SISMICI S.n.c.

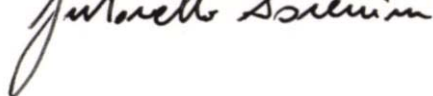
di Donnini A. & Mantoni F.

Via Piano di Frassineta, 109

60041 - SASSOFERRATO (AN)

Cod. Fisc. e P.I.A: 02495830420

U. Reg. AN-192227

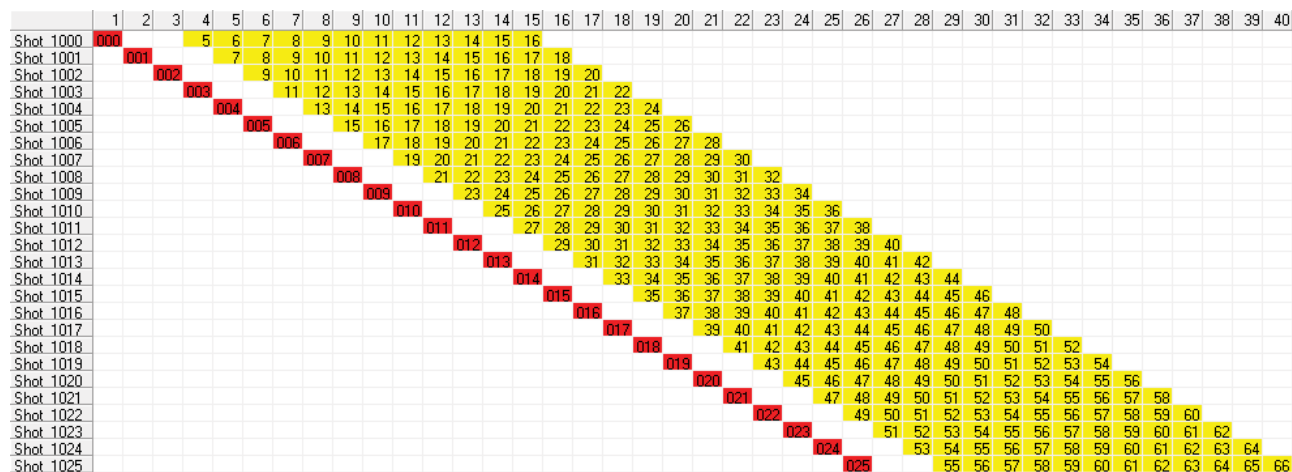
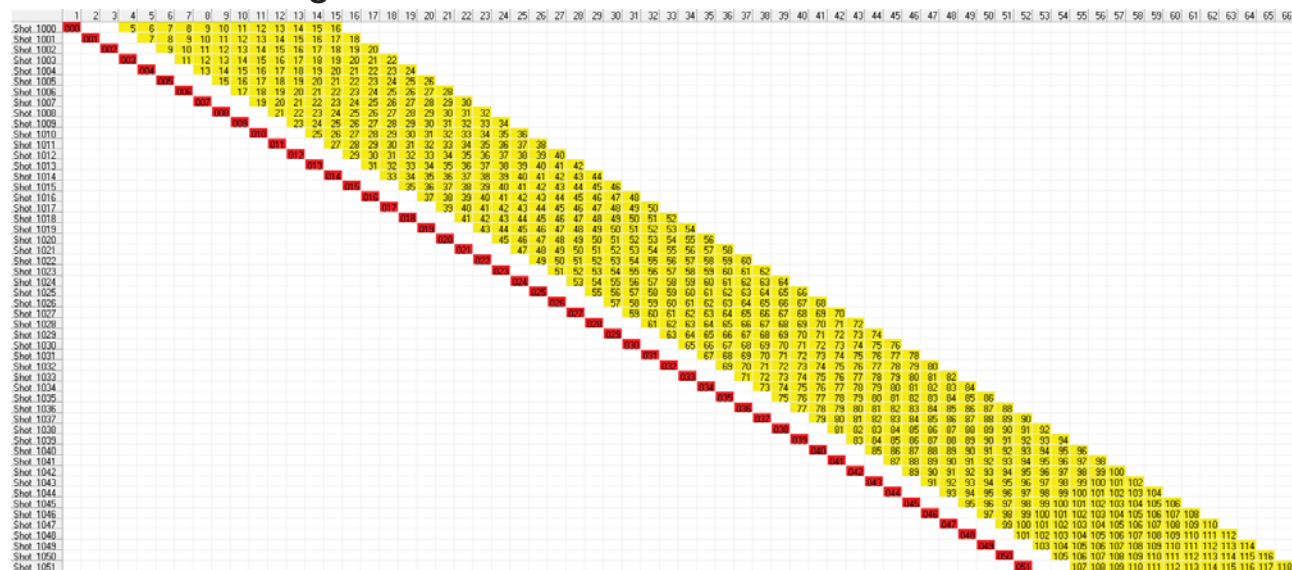


BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

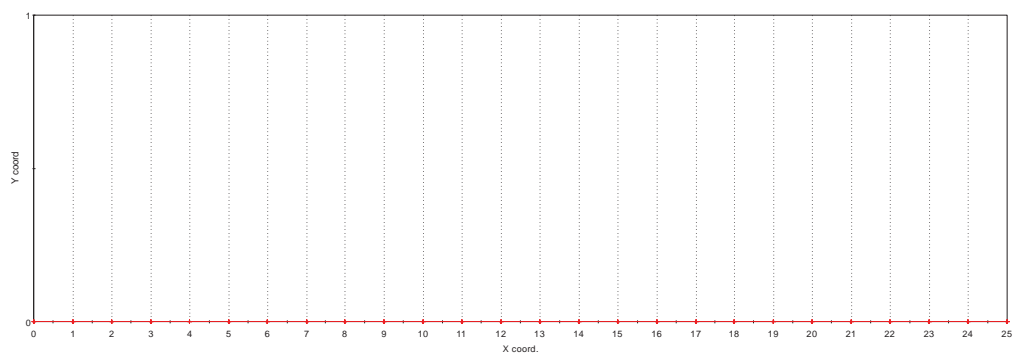
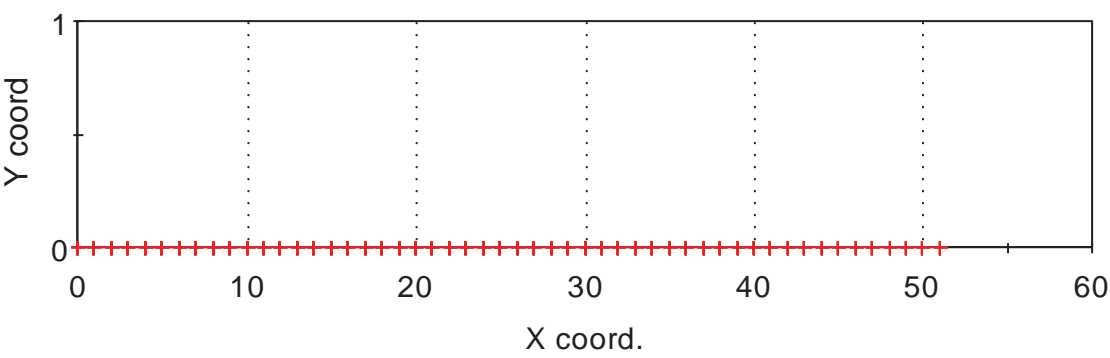
- Baker, J.W., Cornell, C.A. *Spectral shape, epsilon and record selection Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35: 1077-1095, 2006.
- Bardet J.P., Ichii K., Linn C.H. (2000). *EERA – A computer program for Equivalent Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits*. University of Southern California, dal sito internet: <http://gees.usc.edu/GEES/Software/EERA2000/Default.htm>
- Bommer, J.J., Acevedo, A.B. *The use of real earthquake accelerograms as input to dynamic analysis*", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol.8, Special Issue, 1, pp. 43-91, 2004.
- Carballo, J.E., Cornell, C.A. *Probabilistic seismic demand analysis: spectrum matching and design*, Report No. RMS- 41, Reliability of Marine Structures Program, Department of Civil and Environmental Engineering, Stanford University, 2000.
- CEN. Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance: – Part 2: Bridges*. EN 1998-2, Brussels: 2005.
- CEN. Eurocode 8: *Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*. Final Draft, prEN 1998-1, Brussels: 2003.
- Idriss J., Sun J.I., " SHAKE91 (1992). *A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soils deposits*. University of California, Davis
- Iervolino, I., Cornell, C.A. *Sulla Selezione degli Accelerogrammi nella Analisi Non-Lineare delle Strutture*. XI Convegno Nazionale L'Ingegneria Sismica in Italia, Genova, Palazzo Ducale, 2004.
- Iervolino, I., Manfredi, G., Cosenza, E. *Ground Motion Duration Effects in Nonlinear Seismic Structural Analysis*, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 35:21– 38, 2006a.
- Iervolino, I., Maddaloni, G., Cosenza, E. *Unscaled Real Record Sets Compliant With Eurocode 8*. Proc. of First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Switzerland, 2006b. Paper Number: 113.
- Iervolino, C. Galasso, E. Cosenza, *REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis*, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8(2):339-362, doi:10.1007/s10518-009-9146-1, Apr. 2010.
- Working Group ITACA, 2008. *Data Base of the Italian strong motion data*
- Lanzo G., Silvestri F. (1999). *Risposta Sismica Locale*. Ed. Hevelius .
- Schnabel P. B., Lysmer J., Seed H. B.. *SHAKE: a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites*. Report N° EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Center. University of California, Berkeley.
- Vucetic M., Dobry R., 1991. *Effect of soil plasticity on cyclic response*. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 117(1), 89-107.

TAVOLE

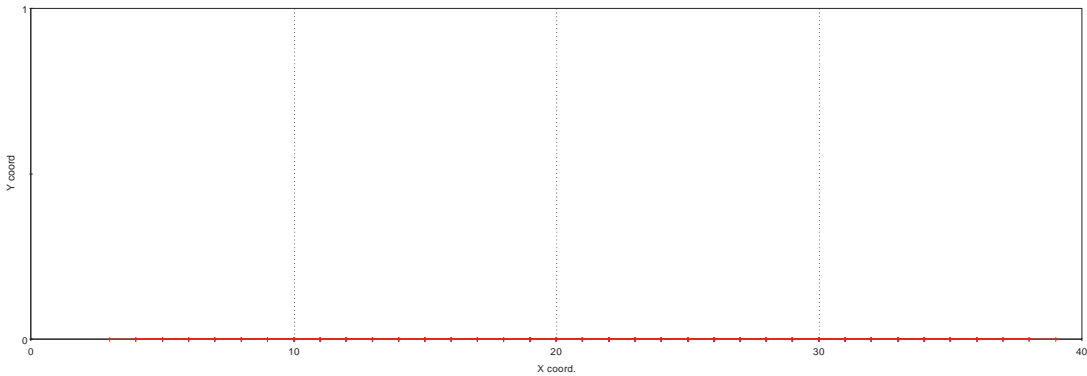
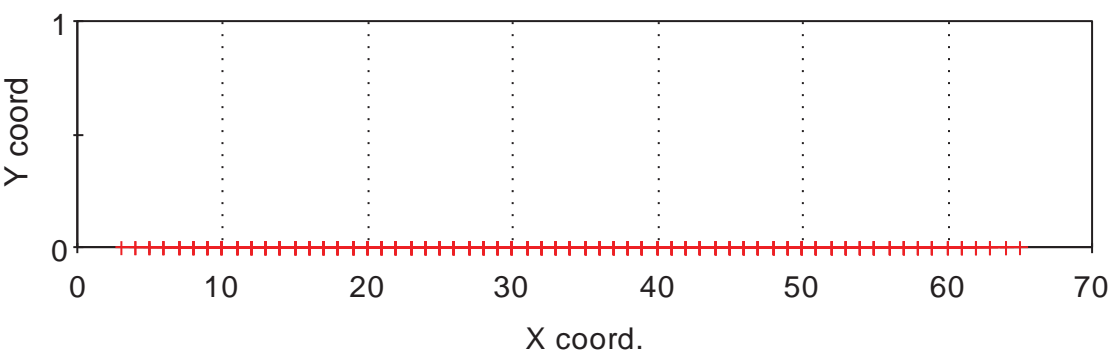
TAV. 1: Stacking chart MFA4P – MFA5P



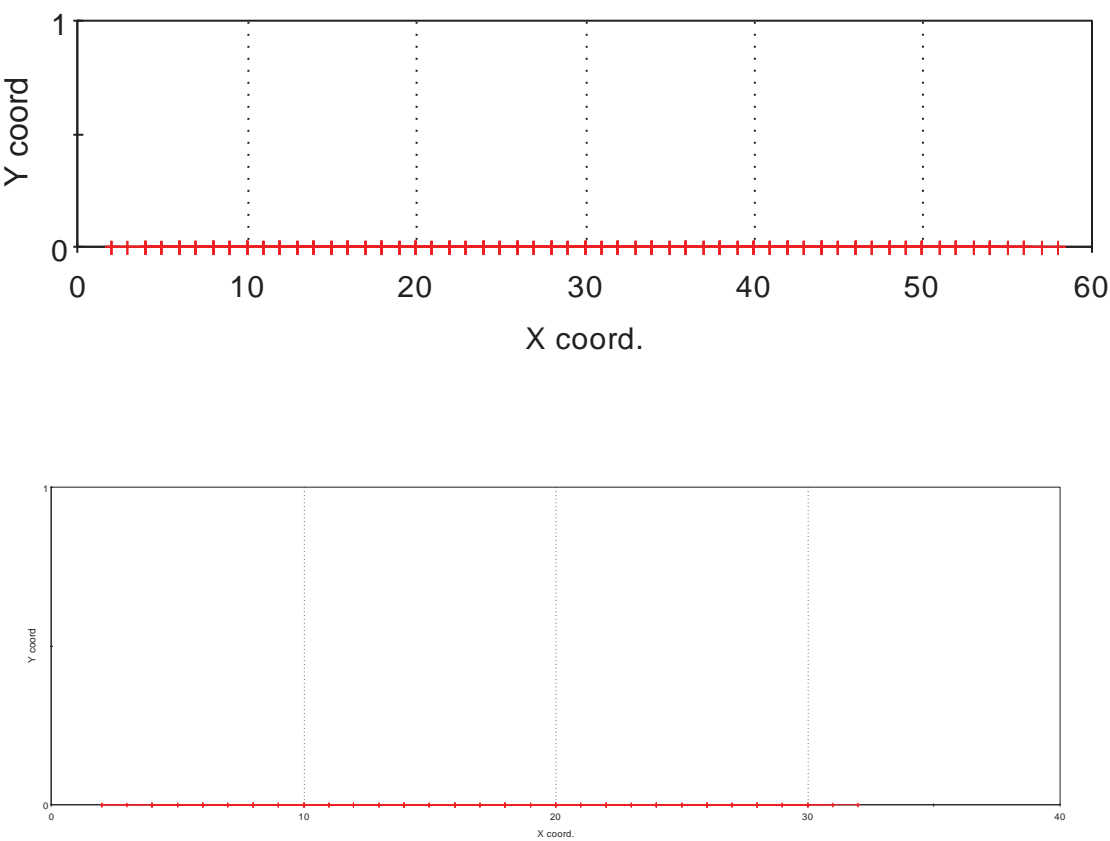
TAV. 2: Shots coordinates MFA4P – MFA5P



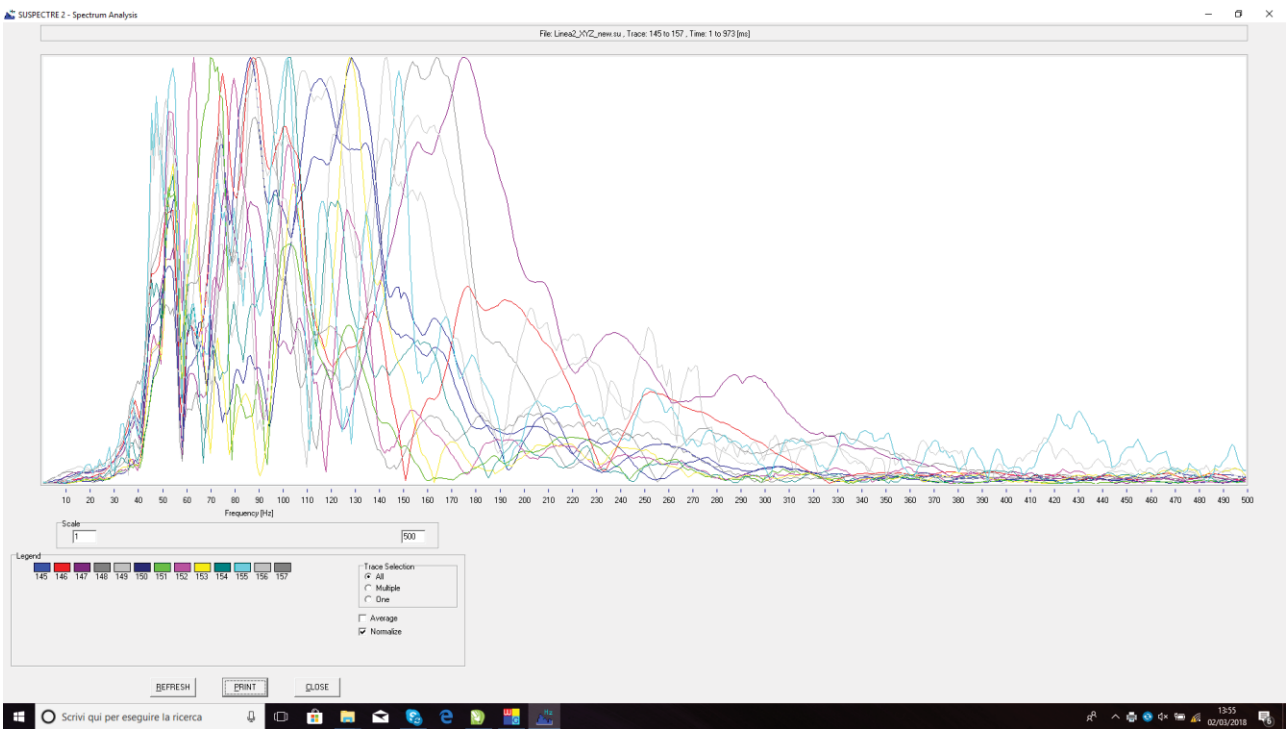
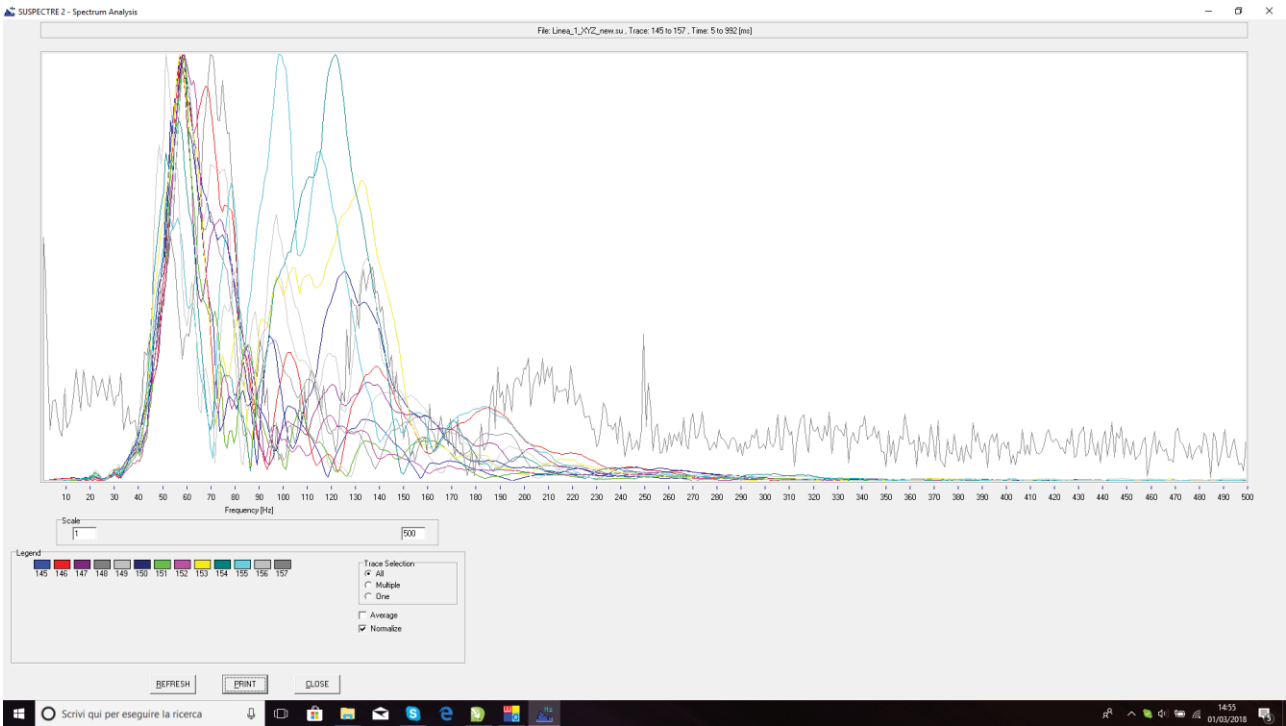
TAV. 3: Geophones coordinates MFA4P – MFA5P



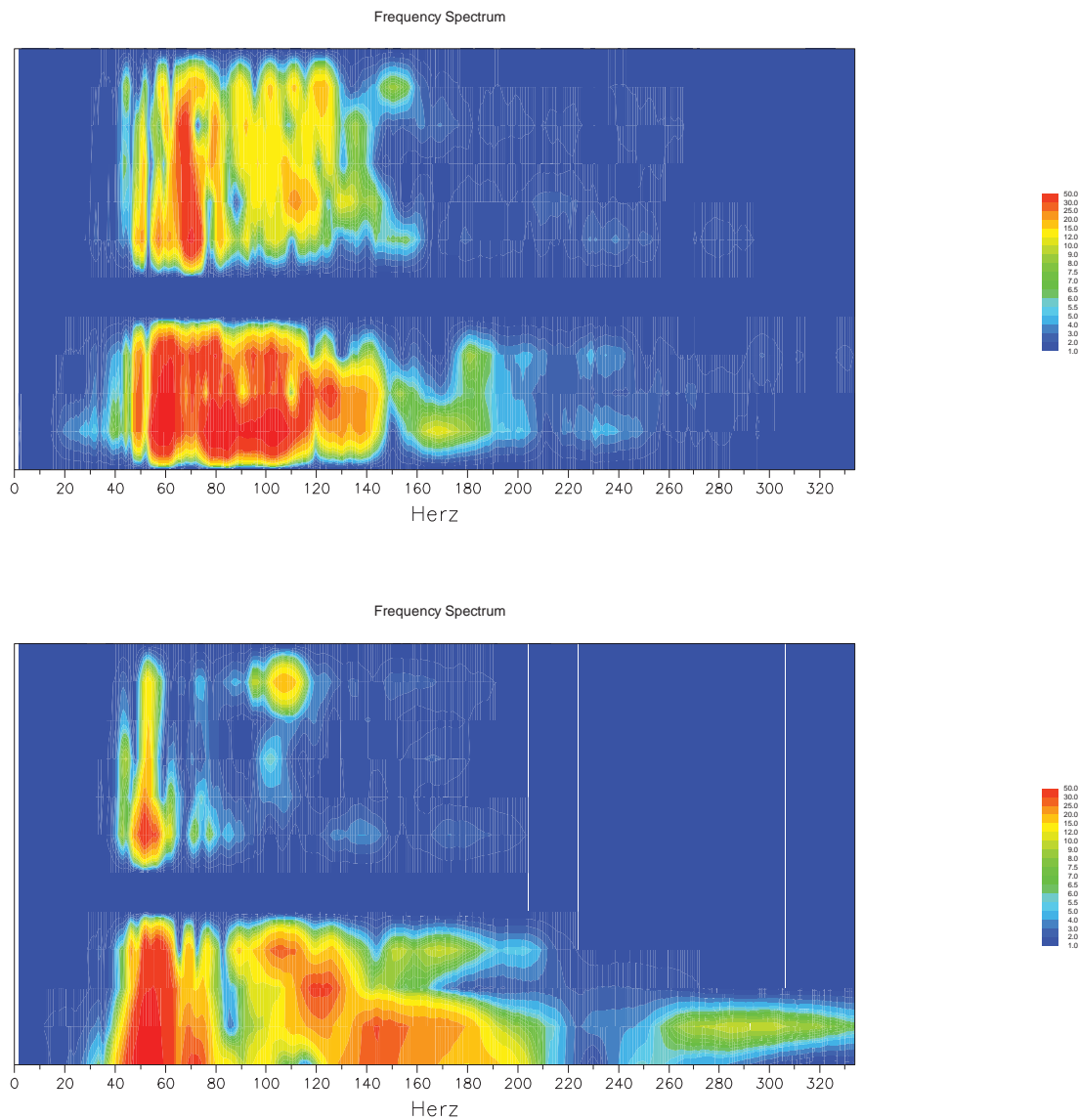
TAV. 4: CDPs coordinates MFA4P – MFA5P



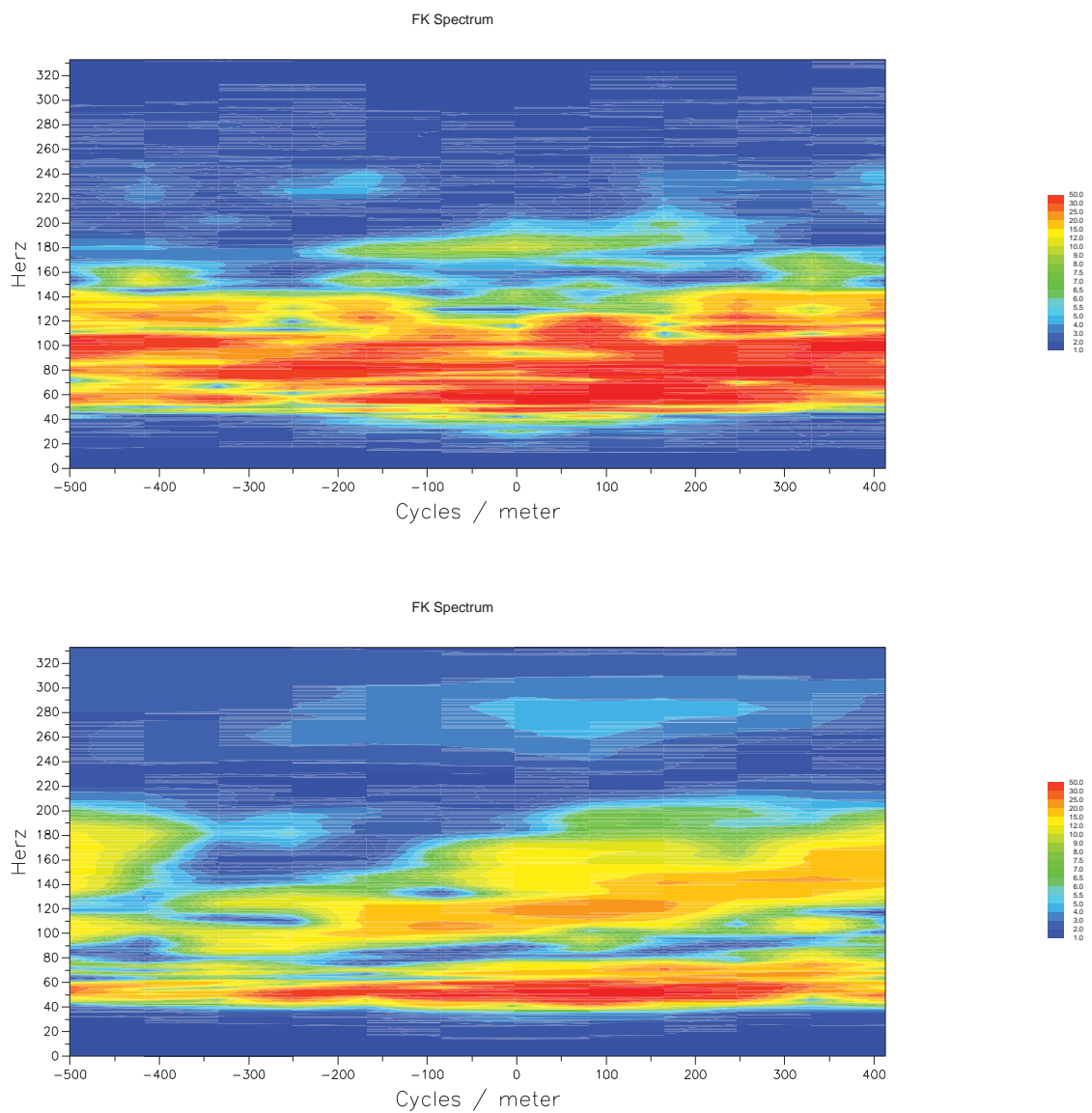
TAV. 5a: Amplitude spectrum of raw data MFA4P – MFA5P



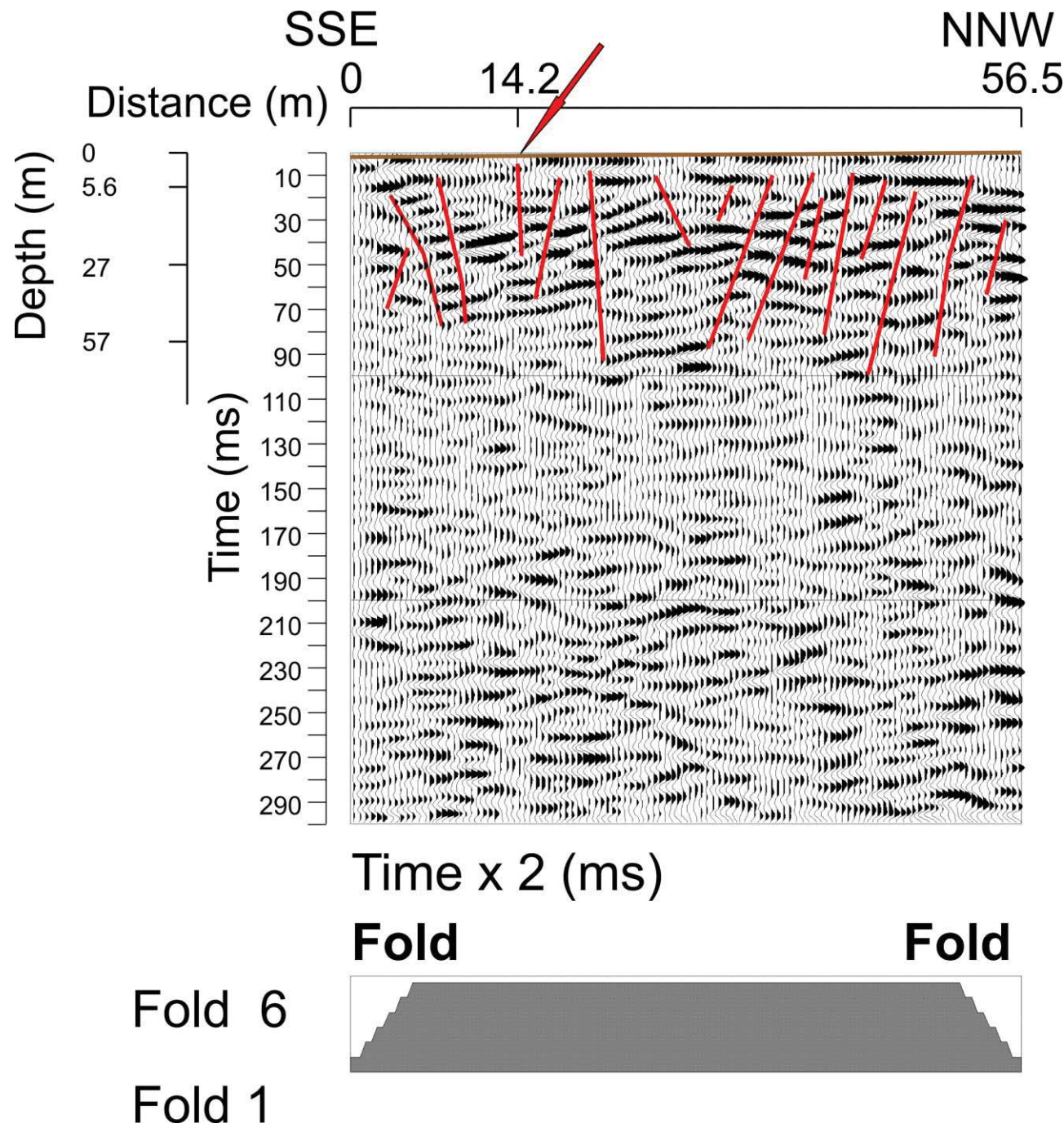
TAV. 5b: Amplitude spectrum of raw data MFA4P – MFA5P



TAV. 6: FK spectrum of raw data MFA4P – MFA5P



TAV. 7: Sezione stack finale MFA4P



TAV. 8: Sezione stack finale MFA5P

