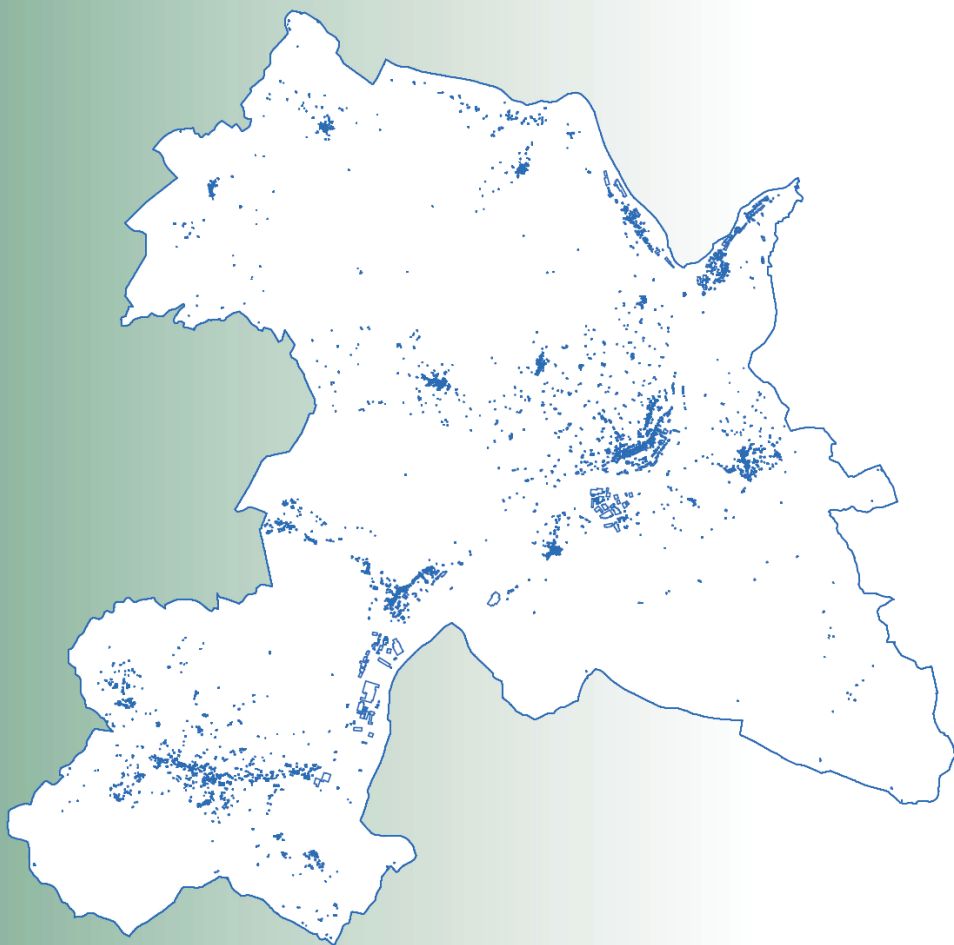




**Comune di
Borgo a Mozzano**

Provincia di Lucca



Sindaco:
Patrizio Andreuccetti

Responsabile del procedimento:
Geom. Alessandro Brunini

Garante della comunicazione:
Geom. Massimo Vergamini

Redazione Variante a cura di:
Dott. Ing. Angela Piano

Gruppo di lavoro:
Dott. Ing. Paolo Amadio
Arch. Giuseppe Lazzari

Consulenza geologica:
Dott. Geol. Florindo Granucci

Borgo a Mozzano, Ottobre 2019

Variantе al Regolamento Urbanistico **Allegato 2 Indagini sismiche**



dott. geol. Florindo Granucci

- Geologia
- Idrogeologia
- Geologia ambientale

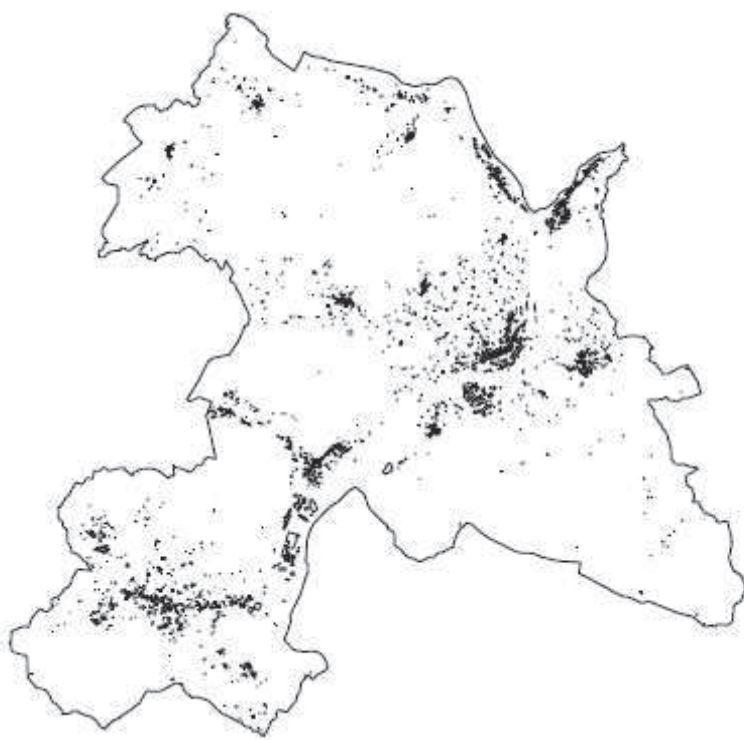
Corso Nazionale, 53

55025 Calavorno - Lucca

tel. 0583/739407

COMUNE DI BORGO A MOZZANO
Provincia di Lucca

**REPORT INDAGINI SISMICHE EFFETTUATE DI SUPPORTO ALLE INDAGINI
PER ALCUNE ZONE DELLA VARIANTE AL RU
PROSPEZIONI MASW – PROSPEZIONI A RIFRAZIONE ONDE P**



Committente: Comune Borgo a Mozzano

Febbraio 2018

Dott. Geol. Florindo Granucci

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INDAGINI MASW.....	3
2.1	ACQUISIZIONE	5
2.2	ATTREZZATURE E METODOLOGIE IMPIEGATE	5
2.3	MASW STESA GIOVIANO	6
2.3.1	Configurazione della linea sismica	7
2.3.2	Elaborazione	8
2.3.3	Conclusioni	9
2.4	MASW STESA ONETA.....	10
2.4.1	Configurazione della linea sismica	10
2.4.2	Elaborazione	11
2.4.3	Conclusioni	12
2.5	MASW STESA ROCCA	13
2.5.1	Configurazione della linea sismica	13
2.5.2	Elaborazione	14
2.5.3	Conclusioni	15
3	INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE P.....	16
3.1	ATTREZZATURE E METODOLOGIE IMPIEGATE	18
3.2	RIFRAZIONE ONDE P STESA ONETA.....	18
3.2.1	Configurazione della linea sismica	18
3.2.2	Interpretazione dei dati	19
3.3	RIFRAZIONE ONDE P STESA ROCCA	21
3.3.1	Configurazione della linea sismica	21
3.3.2	Interpretazione dei dati	22
3.4	RIFRAZIONE ONDE P STESA GIOVIANO	24
4	ALLEGATI	27
4.1	GRAFICI MASW	28
4.2	GRAFICI RIFRAZIONE ONDE P	29
4.2.1	Stesa 1.....	30
4.2.2	Stesa 2.....	31
4.2.3	Stesa 3.....	32

1 PREMESSA

La presente relazione sintetizza e illustra i risultati delle indagini sismiche, effettuate nell'ambito della Variante al RU del Comune di Borgo a Mozzano su alcune aree di interesse; le aree prese in considerazione sono state la ER1-2 di Gioviano, la ER2-2 di Rocca e la ER2-1 di Oneta.

Nel complesso sono state realizzate tre indagini MASW, una per ciascun sito e due indagini sismiche a rifrazione onde P su Oneta e Rocca, in quanto a Gioviano erano già presenti delle indagini sismiche VEL; in base alle risultanze e al confronto delle indagini è stato possibile ricostruire sezioni sismostratigrafiche utili alla comprensione dell'assetto litostratigrafico della zona e il profilo delle V_{s30} .

2 INDAGINI MASW

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*), analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva (e.g. *Park et al., 1999*) utili a definire il profilo verticale della V_s (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle *Norme tecniche per le costruzioni* del DM 17 Gennaio 2018, che, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s).

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

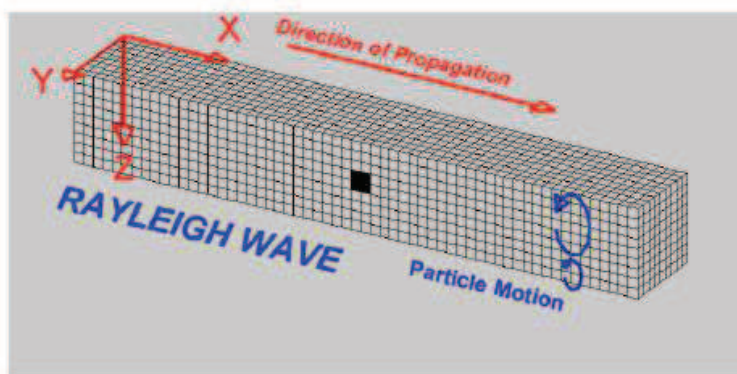
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

GENERALITÀ SUL METODO MASW

Le onde sismiche che si propagano in un mezzo si dividono, principalmente, in onde di corpo e onde di superficie, fra queste ultime si hanno le onde di Rayleigh, le onde di Love e le onde di Lamb.

Le onde di Rayleigh, in particolare, sono originate dall'interazione fra le onde di pressione e le onde di taglio verticali quando esista una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo.

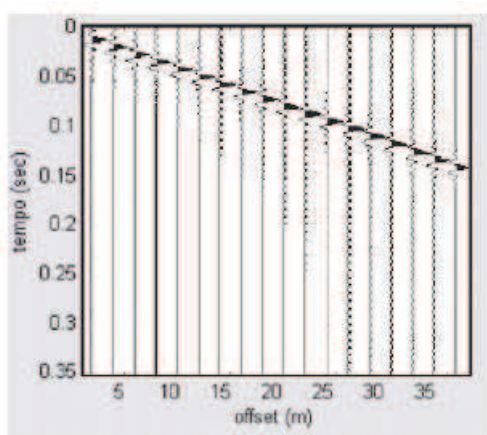


Il moto delle particelle è di tipo ellittico retrogrado, il quale si inverte a una profondità di $\lambda/2\pi$, l'ampiezza dello spostamento decresce secondo una legge esponenziale.

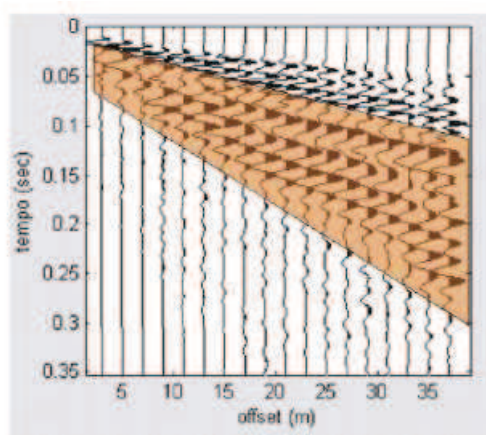
L'energia convertita in onde di Rayleigh è, in percentuale, molto maggiore rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P ed S, inoltre l'ampiezza delle onde di superficie varia con la radice quadrata di r , e non con r come avviene per le onde di corpo.

Le onde di Rayleigh presentano una velocità del 90% circa rispetto a quella delle onde di taglio; in presenza di un semispazio omogeneo, la velocità di tali onde non varia in funzione della frequenza, non si ha cioè dispersione, la deformazione di un treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione della frequenza.

Questa deformazione si manifesta invece quando il terreno presenta una stratificazione; la velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda viene influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino a una profondità dell'ordine di $\lambda/2$ circa.



mezzo non stratificato



mezzo stratificato = dispersione

Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale.

Quindi una metodologia che utilizzi le onde superficiali è in grado di rilevare variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

Nel caso che l'obiettivo sia di verificare le caratteristiche delle velocità delle onde S nel terreno, questo tipo di indagine è molto utile, in quanto la V_s è il fattore che governa le caratteristiche della dispersione; inoltre il metodo non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità, e presenta una buona risoluzione.

L'indagine secondo la tecnica MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) prevede l'energizzazione mediante sorgente attiva, con registrazione simultanea su 12 o più canali; vengono utilizzati geofoni a componente verticale sensibili alle basse frequenze (un valore tipico sono 4,5 Hz).

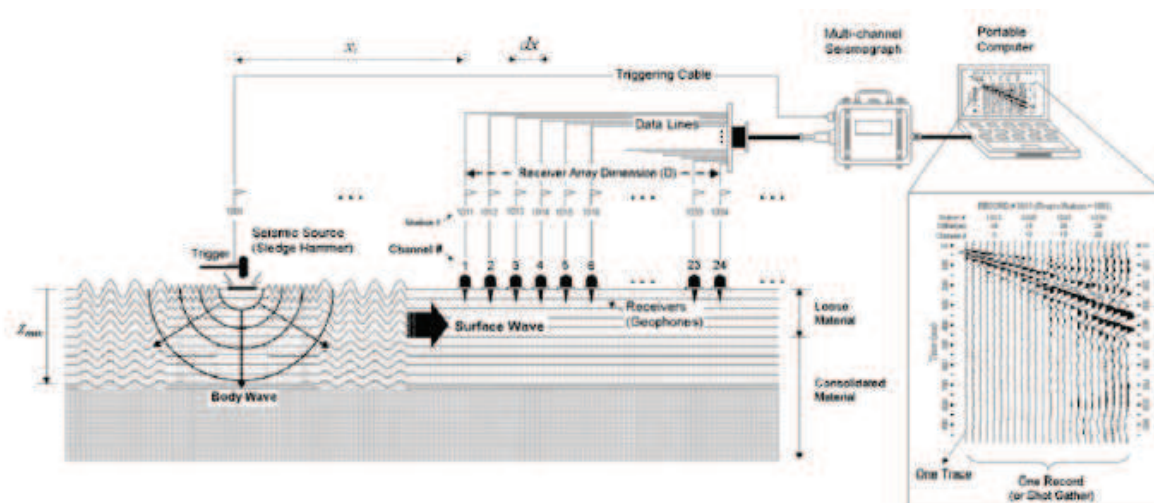


Figura 1. Illustrazione della tecnica di indagine eseguita (SurfSeis – Active Masw, 2006)

La distanza dalla sorgente di energizzazione e il primo ricevitore condiziona l_{max} e quindi la profondità di indagine; anche la lunghezza dello stendimento geofonico è in relazione alla profondità di indagine, mentre la distanza intergeofonica condiziona lo spessore dello strato più sottile rilevabile.

E' importante osservare che nel sismogramma possono comparire diversi tipi di onde: onde di corpo, onde superficiali non piane, onde riverberate dalle disomogeneità superficiali, oltre al rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Questo comporta una difficoltà aggiuntiva nella "lettura" dello spettro di velocità e quindi nella successiva individuazione della curva di dispersione.

Le onde di corpo sono di solito riconoscibili; le onde superficiali riverberate (back scattered) possono risultare prevalenti in un sismogramma quando siano presenti discontinuità orizzontali; 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.

In sintesi l'indagine comporta:

- l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- la determinazione di uno spettro di velocità, con velocità di fase in funzione della frequenza;
- l'identificazione della curva di dispersione, cioè la determinazione dei punti che, sullo spettro di velocità, appartengono a un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh;
- l'inversione della curva di dispersione, al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta; per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione è necessaria l'assunzione di valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità. La procedura di inversione utilizzata dal software *winMASW* è legata agli "algoritmi genetici", il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana.

E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una "modellazione diretta" di ausilio a un corretto "picking" della curva di dispersione.

2.1 Acquisizione

2.2 Attrezzature e metodologie impiegate

Per l'acquisizione è stato impiegato un sismografo digitale *DoReMi* della *Sara Instruments*, collegato ad un computer portatile su cui è installato il programma di acquisizione *DoReMi*, avente le seguenti caratteristiche:

Classe strumentale: sismografo multicanale per geofisica
 Topologia: rete differenziale RS485 half-duplex multipunto
 Lunghezza max rete: virtualmente illimitata con l'uso di ripetitori
 N. max canali per tratta: 255
 Dimensioni elemento: 80x55x18 mm
 Peso: 250 g (per elemento con cavo di 5 metri)
 Cavo: per geofisica 1x2x0.5 + 1x2x0.25 schermato
 Memoria: 60 kBytes (30000 campioni)
 Frequenze selezionabili: da 500 a 20000 Hz (da 2 to 0.05 ms)
 Convertitore: tipo SAR a 16 bit (96 dB)
 Amplificatore: ultra-low noise con ingresso differenziale
 Banda passante: 2Hz - 200Hz
 Reiezione modo comune: >80dB
 Diafonia (crosstalk): zero, la trasmissione è digitale
 Dinamica del sistema
 Risoluzione: 7.6 μ V @ 27dB; 0.076 μ V @ 60dB
 Dinamica di base: 96dB (16 bit)
 S/N ratio fra 0.5 e 30Hz: >94dB (> 150dB con l'uso del PGA)
 Alimentazione: batteria ricaricabile interna operativa 10-15Vdc
 Consumo di energia: Interfaccia 80 mA, canale 30mA per una stringa da 12 canali: < 500mA

Inoltre, l'attrezzatura è completata da 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz per la ricezione delle onde R (Rayleigh) e come sorgente energizzante delle onde R (Rayleigh) e stata utilizzata una mazza da 10 kg battente su piastra in PVC e geofono starter.

2.3 Masw Stesa Gioviano

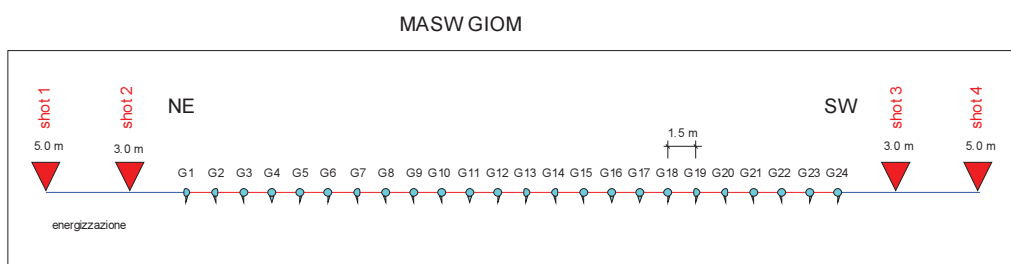
L'indagine è stata effettuata sul sito ER1-1 nel tratto pianeggiante posto alla base, dove c'era uno spazio sufficiente per poter avere una stesa significativa.

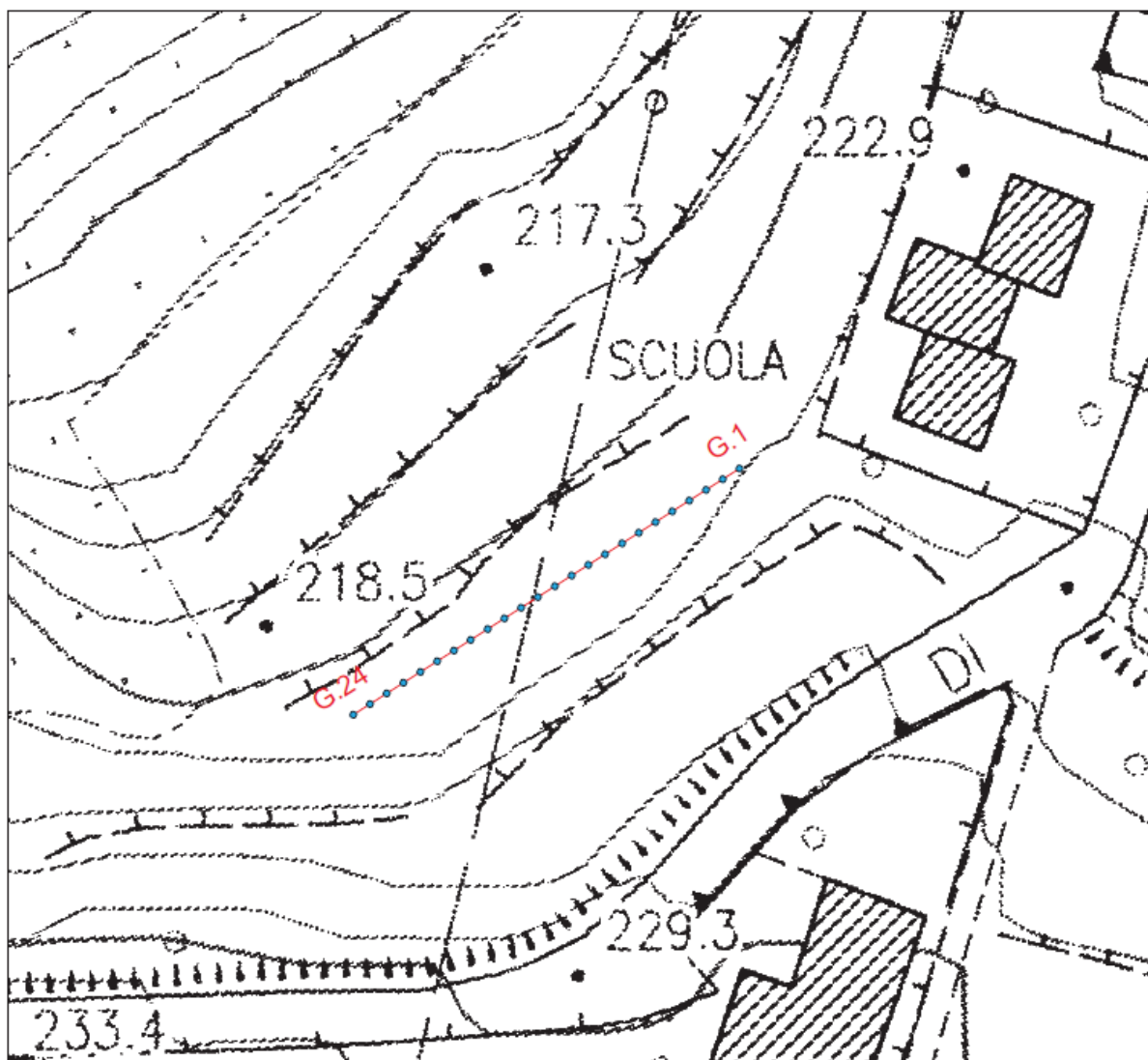
Per l'indagine sono stati effettuati 4 shot, con offset minimo dalla linea geofonica rispettivamente di 3.0 m e di 5.0 m, con tempo di acquisizione di 1 s e intervallo di campionamento di 0.200 ms.



2.3.1 Configurazione della linea sismica

Nell'area oggetto di studio, considerando la logistica del sito, è stata eseguita n°1 prospezione sismica MASW utilizzando una configurazione a 24 geofoni interspaziati di 1.50 metri (lunghezza stesa 34.5 metri con direzione N - S; la configurazione della stesa è riportata nello schema che segue:





Le registrazioni avvenute in campagna sono state ottenute, in fase di acquisizione, utilizzando la medesima sensibilità per ciascun geofono e senza l'utilizzo di filtraggio delle frequenze.

2.3.2 Elaborazione

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *winMASW 4.6 lite*, che consente la determinazione di profili della velocità delle onde di taglio V_s tramite modello diretto e tramite inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici".

Tale programma è in grado di operare sui records in formato .SGY prodotti dalla strumentazione *DoReMi - Sara* e di effettuare l'analisi delle curve di dispersione sia in onde di Rayleigh.

Si sono dapprima confrontati gli spettri di dispersione ottenuti dai vari shots e il pre-trattamento e l'elaborazione sono stati poi effettuati sullo shot 4 avente offset minimo dalla linea geofonica pari a 5,0 m, che dava risultati confrontabili con gli altri shots con offset minimo 3.0 m e 5.0 m, ma più chiari.

Si è proceduto dapprima da modello diretto, considerando anche gli spessori dei sismostrati derivanti dall'indagine geognostica e geologica.

Alla presente relazione è allegato il grafico del common-shot gather dopo una prima "selezione" del dato e lo spettro di velocità di fase risultante; nel grafico finale sono riportate, sullo spettro di velocità di fase stesso, le curve di dispersione (3 modi) relative al modello adottato.

Il modello contempla 4 strati a diversa velocità Vs, e precisamente:

Shot offset min 5.00 m	Strato	1	2	3	4
	Vsv da Rayleigh (m s^{-1})	210	380	410	800
	Spessore (m)	4.0	6.0	12.0	

Con i dati ottenuti si ha per la zona di indagine, a partire da piano campagna, una $V_{s,eq} = 344 \text{ m s}^{-1}$.

In una seconda fase si è poi effettuata una interpretazione mediante picking e successiva inversione, prendendo come modello di partenza il modello diretto derivante dalla precedente interpretazione.

Di seguito si riporta il modello geofisico che sembra meglio adeguarsi a tutti gli spettri di dispersione:

MASW GIOM

<i>Litologie probabili</i>	<i>Velocità Vs (m s^{-1})</i>		<i>Spessore (m)</i>	
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Sismostrato 1 - Detrito</i>	147.0	273.0	2.80	5.20
<i>Sismostrato 2 - Detrito addensato</i>	266.0	494.0	4.20	7.80
<i>Sismostrato 3 - Detrito molto addensato</i>	287.0	533.0	8.40	15.60
<i>Sismostrato 4 - Bedrock</i>	560.0	1040.0		

Il modello di suolo sopra riportato rappresenta il modello di partenza (input) per l'analisi di ricerca del modello medio e migliore della prospezione sismica MASW. Infatti, l'analisi MASW fornisce vari modelli (profili di velocità Vs monodimensionale) ottenuti mediante processo di inversione, tra i quali viene adottato quello relativo al modello stratigrafico medio.

Come si osserva nei grafici relativi, il risultato è in linea con la precedente interpretazione, e si ha (a partire da piano campagna) una $V_{s,eq}$ da calcolare con $H=30 \text{ m}$ in quanto il bedrock sismico è a profondità maggiore di 30 m, per cui $V_{s,eq}$ pari a 417 m s^{-1} .

2.3.3 Conclusioni

Sulla base dei dati raccolti in campagna e delle elaborazioni prodotte è stato possibile evidenziare che nella zona di studio si trova una copertura consistente costituita da detrito di alterazione della roccia in posto, che tende ad addensarsi scendendo in profondità dalla quota di 5.00 m circa; al di sotto dei 10.00 m circa si trova un livello di detrito molto addensato/roccia alterata che a partire dai 21.00 m circa diventa ancora più addensato, tanto che con molta probabilità è rappresentato dalla formazione del Macigno alterata, ma senza che questo vada a costituire il bedrock sismico.

Infatti non viene raggiunta la Vs di 800 m s^{-1} e questo risultato è in accordo anche con le Vs riscontrate nelle indagini sismiche a rifrazione del VEL eseguite in quest'area lungo la viabilità e trasversalmente ad essa.

Il detrito è costituito da sabbie limose e limoso argillose con clasti di dimensioni variabili per lo più da centimetriche a decimetriche; lo spessore del detrito è dell'ordine di circa 10.00 m, in accordo anche con la prova penetrometrica.

Con i risultati ottenuti dall'indagine sismica MASW si ottiene per il sito indagato, una $V_{s,eq}$ pari a **417 m s^{-1}** , con la velocità che incrementa in maniera abbastanza progressiva con la profondità e con il livello più veloce che non raggiunge la velocità del bedrock sismico, che comunque sarebbe posto a profondità $>30 \text{ m}$.

In base in base a quanto esposto e alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) il suolo di fondazione viene inserito nella **categoria B**: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto*

addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

La misura delle $V_{s,eq}$ è stata eseguita in al piano di campagna e le NTC 2018 al punto 3.2.2 riportano che la profondità di riferimento per il calcolo delle V_{s30} deve essere la seguente: *“Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.”*

2.4 Masw Stesa Oneta

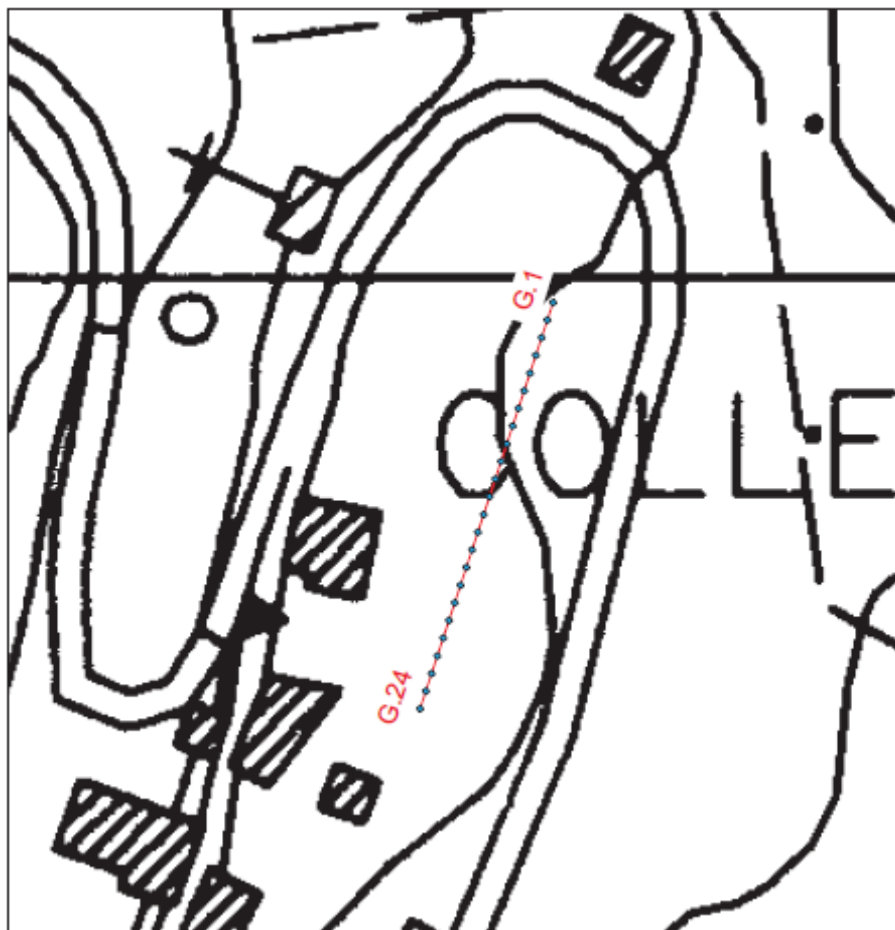
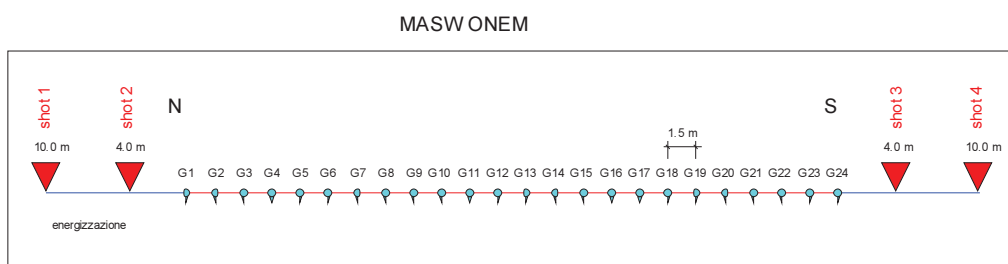
L’indagine è stata effettuata sul sito ER2-1 nel tratto pianeggiante mediano, dove c’era uno spazio sufficiente per poter avere una stesa significativa.

Per l’indagine sono stati effettuati 4 shot, con offset minimo dalla linea geofonica rispettivamente di 4.0 m e di 10.0 m, con tempo di acquisizione di 1 s e intervallo di campionamento di 0.200 ms.



2.4.1 Configurazione della linea sismica

Nell’area oggetto di studio, considerando la logistica del sito, è stata eseguita n°1 prospezione sismica MASW utilizzando una configurazione a 24 geofoni interspaziati di 1.50 metri (lunghezza stesa 34.5 metri con direzione N - S; la configurazione della stesa è riportata nello schema che segue:



Le registrazioni avvenute in campagna sono state ottenute, in fase di acquisizione, utilizzando la medesima sensibilità per ciascun geofono e senza l'utilizzo di filtraggio delle frequenze.

2.4.2 Elaborazione

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *winMASW 4.6 lite*, che consente la determinazione di profili della velocità delle onde di taglio V_s tramite modello diretto e tramite inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici".

Tale programma è in grado di operare sui records in formato .SGY prodotti dalla strumentazione *DoReMi - Sara* e di effettuare l'analisi delle curve di dispersione sia in onde di Rayleigh.

Si sono dapprima confrontati gli spettri di dispersione ottenuti dai vari shots e il pre-trattamento e l'elaborazione sono stati poi effettuati sullo shot 3 avente offset minimo dalla linea geofonica pari a 4,0 m, che dava risultati confrontabili con gli altri shots con offset minimo 4.0 m e 10.0 m, ma più chiari.

Si è proceduto dapprima da modello diretto, considerando anche gli spessori dei sismostrati derivanti dall'indagine geognostica e geologica.

Alla presente relazione è allegato il grafico del common-shot gather dopo una prima “selezione” del dato e lo spettro di velocità di fase risultante; nel grafico finale sono riportate, sullo spettro di velocità di fase stesso, le curve di dispersione (3 modi) relative al modello adottato.

Il modello contempla 4 strati a diversa velocità V_s , e precisamente:

Shot offset min 4.00 m	Strato	1	2	3	4	5
	Vsv da Rayleigh ($m s^{-1}$)	245	360	410	580	1000
	Spessore (m)	4.5	6.0	9.0	10.0	

Con i dati ottenuti si ha per la zona di indagine, a partire da piano campagna, una $V_{s,eq} = 399 m s^{-1}$.

In una seconda fase si è poi effettuata una interpretazione mediante picking e successiva inversione, prendendo come modello di partenza il modello diretto derivante dalla precedente interpretazione.

Di seguito si riporta il modello geofisico che sembra meglio adeguarsi a tutti gli spettri di dispersione:

MASW ONEM

<i>Litologie probabili</i>	<i>Velocità V_s ($m s^{-1}$)</i>		<i>Spessore (m)</i>	
	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>
<i>Sismostrato 1 - Detrito</i>	171.5	318.5	3.15	5.85
<i>Sismostrato 2 - Detrito addensato</i>	252.0	468.0	4.20	7.80
<i>Sismostrato 3 - Detrito molto addensato</i>	287.0	533.0	6.30	11.70
<i>Sismostrato 4 - Detrito molto addensato</i>	406.0	754.0	7.00	13.00
<i>Sismostrato 5 - Bedrock</i>	700.0	1300.0		

Il modello di suolo sopra riportato rappresenta il modello di partenza (input) per l'analisi di ricerca del modello medio e migliore della prospezione sismica MASW. Infatti, l'analisi MASW fornisce vari modelli (profili di velocità V_s monodimensionale) ottenuti mediante processo di inversione, tra i quali viene adottato quello relativo al modello stratigrafico medio.

Come si osserva nei grafici relativi, il risultato è in linea con la precedente interpretazione, e si ha (a partire da piano campagna) una $V_{s,eq}$ di $390 m s^{-1}$.

2.4.3 Conclusioni

Sulla base dei dati raccolti in campagna e delle elaborazioni prodotte è stato possibile evidenziare che nella zona di studio si trova una copertura molto consistente costituita da detrito di alterazione della roccia in posto, che tende ad addensarsi scendendo in profondità dalla quota di 10.00 m circa; al di sotto dei 10.00 m circa si trova un livello di detrito molto addensato/roccia alterata che a partire dai 18.70 m circa diventa ancora più addensato, tanto che con molta probabilità è rappresentato dalla formazione del Macigno alterata che raggiunge i 27.50 m circa e al di sotto del quale si trova il bedrock sismico.

Il detrito è costituito da sabbie limose e limoso argillose con clasti di dimensioni variabili per lo più da centimetriche a decimetriche; lo spessore del detrito è dell'ordine di circa 10.00 m, in accordo anche con la prova penetrometrica.

Con i risultati ottenuti dall'indagine sismica MASW si ottiene per il sito indagato, una $V_{s,eq}$ pari a **390 $m s^{-1}$** , con la velocità che incrementa in maniera abbastanza progressiva con la profondità e con il bedrock sismico posto a profondità <30 m.

In base in base a quanto esposto e alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) il suolo di fondazione viene inserito nella **categoria B**: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

La misura delle $V_{s,eq}$ è stata eseguita in al piano di campagna e le NTC 2018 al punto 3.2.2 riportano che la profondità di riferimento per il calcolo delle V_{s30} deve essere la seguente: *“Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell’opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.”*

2.5 Masw Stesa Rocca

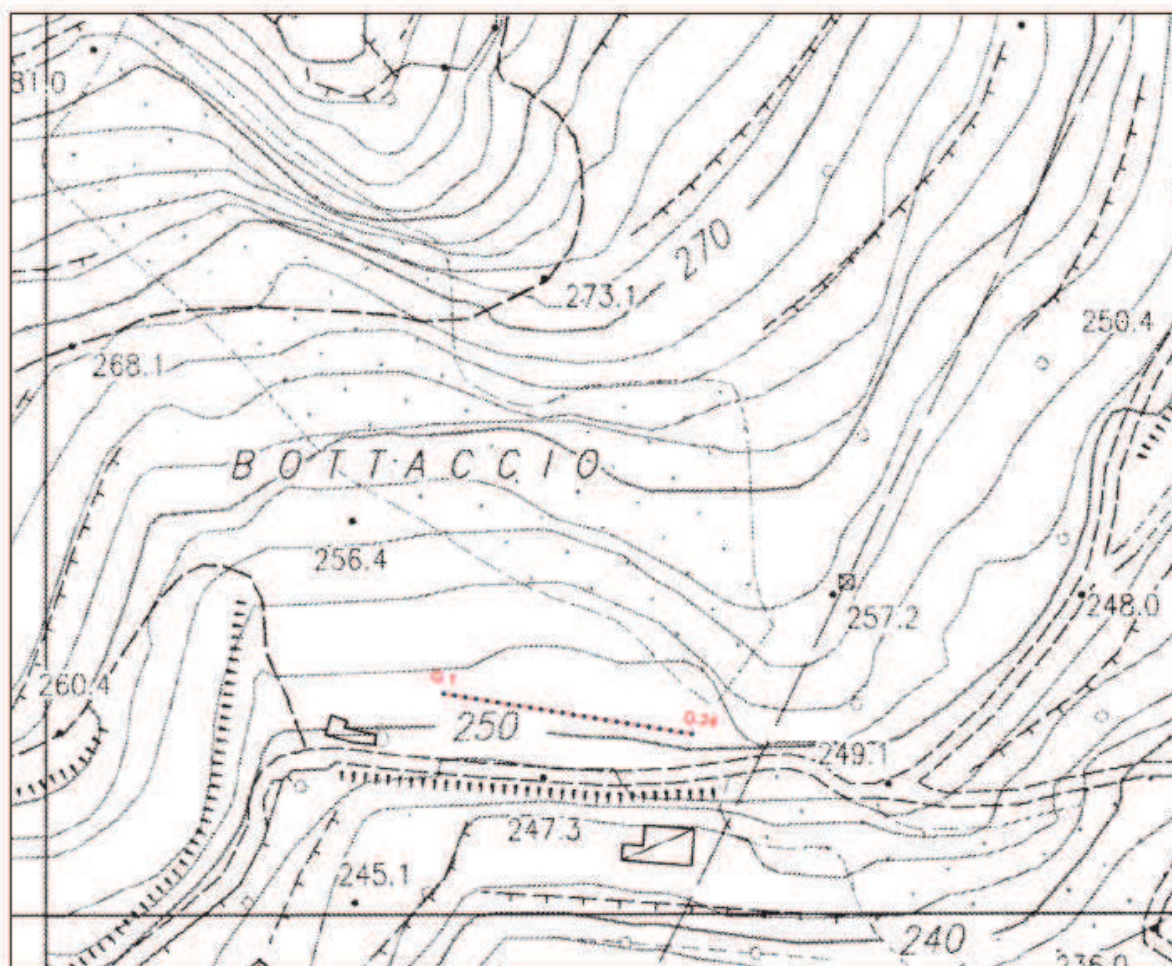
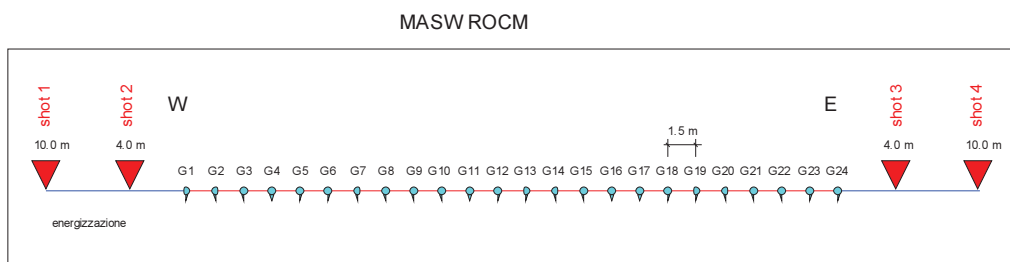
L’indagine è stata effettuata sul sito ER2-1 nel tratto pianeggiante, dove c’era uno spazio sufficiente per poter avere una stesa significativa.

Per l’indagine sono stati effettuati 4 shot, con offset minimo dalla linea geofonica rispettivamente di 4.0 m e di 10.0 m, con tempo di acquisizione di 1 s e intervallo di campionamento di 0.200 ms.



2.5.1 Configurazione della linea sismica

Nell’area oggetto di studio, considerando la logistica del sito, è stata eseguita n°1 prospezione sismica MASW utilizzando una configurazione a 24 geofoni interspaziati di 1.50 metri (lunghezza stesa 34.5 metri con direzione W - E; la configurazione della stesa è riportata nello schema che segue:



Le registrazioni avvenute in campagna sono state ottenute, in fase di acquisizione, utilizzando la medesima sensibilità per ciascun geofono e senza l'utilizzo di filtraggio delle frequenze.

2.5.2 Elaborazione

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software *winMASW 4.6 lite*, che consente la determinazione di profili della velocità delle onde di taglio V_s tramite modello diretto e tramite inversione delle curve di dispersione ottenute, effettuata con algoritmi "genetici".

Tale programma è in grado di operare sui records in formato *.SGY* prodotti dalla strumentazione *DoReMi - Sara* e di effettuare l'analisi delle curve di dispersione sia in onde di Rayleigh.

Si sono dapprima confrontati gli spettri di dispersione ottenuti dai vari shots e il pre-trattamento e l'elaborazione sono stati poi effettuati sullo shot 3 avente offset minimo dalla linea geofonica pari a 4,0 m, che dava risultati confrontabili con gli altri shots con offset minimo 4.0 m e 10.0 m, ma più chiari.

Si è proceduto dapprima da modello diretto, considerando anche gli spessori dei sismostrati derivanti dall'indagine geognostica e geologica.

Alla presente relazione è allegato il grafico del common-shot gather dopo una prima "selezione" del dato e lo spettro di velocità di fase risultante; nel grafico finale sono riportate, sullo spettro di velocità di fase stesso, le curve di dispersione (3 modi) relative al modello adottato.

Il modello contempla 4 strati a diversa velocità V_s , e precisamente:

Shot offset min 10.00 m	Strato	1	2	3	4	5
	Vsv da Rayleigh ($m\ s^{-1}$)	300	430	600	700	850
	Spessore (m)	2.0	3.5	7.0	12.0	

Con i dati ottenuti si ha per la zona di indagine, a partire da piano campagna, una $V_{s,eq} = 557\ m\ s^{-1}$.

In una seconda fase si è poi effettuata una interpretazione mediante picking e successiva inversione, prendendo come modello di partenza il modello diretto derivante dalla precedente interpretazione.

Di seguito si riporta il modello geofisico che sembra meglio adeguarsi a tutti gli spettri di dispersione:

MASW ROCM

Litologie probabili	Velocità V_s ($m\ s^{-1}$)		Spessore (m)	
	min	max	min	max
<i>Sismostrato 1 - Detrito</i>	210.0	390.0	1.40	2.60
<i>Sismostrato 2 - Detrito addensato</i>	301.0	559.0	2.45	4.55
<i>Sismostrato 3 - Detrito molto addensato</i>	420.0	780.0	4.90	9.10
<i>Sismostrato 4 - Detrito molto addensato</i>	490.0	910.0	8.40	15.60
<i>Sismostrato 5 - Bedrock</i>	595.0	1105.0		

Il modello di suolo sopra riportato rappresenta il modello di partenza (input) per l'analisi di ricerca del modello medio e migliore della prospezione sismica MASW. Infatti, l'analisi MASW fornisce vari modelli (profili di velocità V_s monodimensionale) ottenuti mediante processo di inversione, tra i quali viene adottato quello relativo al modello stratigrafico medio.

Come si osserva nei grafici relativi, il risultato è in linea con la precedente interpretazione, e si ha (a partire da piano campagna) una $V_{s,eq}$ di $522\ m\ s^{-1}$.

2.5.3 Conclusioni

Sulla base dei dati raccolti in campagna e delle elaborazioni prodotte è stato possibile evidenziare che nella zona di studio si trova una copertura apprezzabile costituita da detrito di alterazione della roccia in posto, che si presenta alterata e mostra un'inversione di velocità prima di arrivare al bedrock sismico.

Il detrito ha uno spessore di circa 5.50 m, al di sotto si trova un orizzonte che per la sua velocità può essere attribuito già alla roccia alterata che in quest'area è costituita dalla formazione della Scaglia, per altro prossima al contatto con le Calcareni nummulitiche.

Questo orizzonte arriva fino a 15.00 m circa dopo di che si ha un livello con velocità inferiore, ma sempre attribuibile ai litotipi alterati, fino a 29.00 m circa e al di sotto del quale si trova il bedrock sismico.

Il detrito è costituito da sabbie limose e limoso argillose con uno scheletro litico diffuso argillitico e calcareo di dimensioni variabili per lo più da centimetriche a decimetriche; lo spessore del detrito è dell'ordine di circa 5.50 m, in accordo anche con la prova penetrometrica.

Con i risultati ottenuti dall'indagine sismica MASW si ottiene per il sito indagato, una $V_{s,eq}$ pari a **522 m s⁻¹**, con la velocità che incrementa in maniera abbastanza progressiva con la profondità e con il bedrock sismico posto a profondità <30 m.

In base in base a quanto esposto e alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018) il suolo di fondazione viene inserito nella **categoria B**: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

La misura delle $V_{s,eq}$ è stata eseguita in al piano di campagna e le NTC 2018 al punto 3.2.2 riportano che la profondità di riferimento per il calcolo delle V_{s30} deve essere la seguente: *“Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.”*

3 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE P

Le prospezioni sismiche a rifrazione in onde P sono state eseguite lungo stendimenti ottimizzati in base allo spazio disponibile e alla morfologia del sito, in modo da poter effettuare 5 shots, di cui 2 off simmetrici.

Gli stendimenti utilizzati sono gli stessi delle MASW; per Gioviano non è stata eseguita la stesa a rifrazione in quanto nell'area di interesse era già presente un'indagine a rifrazione del VEL.

GENERALITÀ SULLE PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE

Le indagini sismiche a rifrazione si basano sulla misurazione del tempo necessario perché la perturbazione elastica causata nel terreno da una sorgente di energia pervenga a una serie di strumentazioni di ricezione (geofoni) dopo aver percorso uno strato superficiale di terreno (onde dirette) e superfici di separazione fra strati a velocità crescente verso il basso (mediante onde rifratte). Le apparecchiature di misurazione (geofoni) sono spaziate regolarmente lungo un allineamento; viene registrato il tempo di arrivo delle onde ad ogni geofono, a costituire un diagramma, detto sismogramma.

Il sismogramma registra:

- le onde dirette: che rappresentano la perturbazione che attraversando il solo primo strato va al geofono dalla sorgente di energia;
- le onde riflesse: che vengono riflesse dalle superfici di discontinuità;
- le onde rifratte: date dal raggio che subisce la rifrazione totale e percorre la superficie di discontinuità a velocità pari a quella dello strato più veloce; l'angolo critico di incidenza dipende dal rapporto delle velocità di propagazione delle onde sismiche nei due materiali, secondo la legge di *Snell*:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{V_1}{V_2}$$

Si ha l'angolo critico quando $\sin \alpha = V_1/V_2$, cioè $\alpha = 90^\circ$.

Le spezzate diagrammate in un sistema di riferimento tempi/distanze relativamente ai tempi di primo arrivo sono le *dromocrone* (*travel-time curves*). In ogni dromocrona si hanno punti che possono essere relativi alle onde dirette e alle onde rifratte.

I primi tempi di arrivo sono quelli relativi ai raggi diretti attraverso il primo strato, e la pendenza della linea che passa per tali punti è il reciproco della velocità di questo strato.

A partire da una certa distanza dal punto di energizzazione (detta distanza critica) il tempo impiegato per arrivare al geofono dai raggi che percorrono il tetto dello strato sottostante (più veloce) risulta inferiore a quello degli arrivi diretti. I punti relativi a questi arrivi si allineeranno secondo una retta avente la pendenza di $1/V_2$, e così via per gli strati inferiori.

Il tempo che corrisponde all'intersezione di ciascun segmento di retta con l'asse dei tempi è detto *intercept time*. Questi valori, come quelli della distanza critica, dipendono direttamente dalla velocità dei materiali e dallo spessore degli strati, e possono quindi essere utilizzati per determinare le profondità dei tetti degli strati stessi.

In sostanza, una volta determinate le varie velocità, vi sono infatti due metodi per determinare le profondità dei vari strati sotto i punti di energizzazione: il metodo dell'intercetta e quello della distanza critica.

Una volta note queste entità è poi possibile calcolare la profondità dei vari strati in corrispondenza di ogni geofono, con il metodo ABC (*delay times*) o con il GRM (*Generalized Reciprocal Method*).

La sismica a rifrazione di superficie può essere realizzata sia utilizzando onde compressionali, sia trasversali, ma la scelta di una tecnica piuttosto dell'altra è in primis da ricollegare alla finalità dell'indagine. In campo ingegneristico si fa principalmente uso delle onde di taglio, che meglio definiscono le proprietà legate alla risposta sismica di un sito, mentre per le ricostruzioni geometriche di sezioni di terreno si può in alcuni casi far anche uso delle sole onde compressionali.

Nel caso vengano richiesti i parametri elastici del terreno per applicazioni specifiche, come pure per applicazioni idrogeologiche o di particolare complessità del sistema indagato dovranno essere utilizzate entrambe le metodologie.

POSSIBILITÀ E LIMITI DEL METODO SISMICO A RIFRAZIONE

Come è noto, le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo; nella prospezione sismica a rifrazione si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), che sono le più veloci fra le diverse onde elastiche, o trasversali (onde S o "di taglio") per determinare spessori e andamenti dei livelli presenti.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso litotipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione.

Aumenta di solito, per contro, con la profondità e l'età geologica; sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi.

La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità V_p dell'ordine di 1400-1700 m s⁻¹), per cui non necessariamente l'interpretazione sismo-stratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico - stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dello strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione ma può ovviamente ridursi la precisione della determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza fino anche a 1/3 del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;

- analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

Per contro i moderni metodi di elaborazione del dato sismico consentono di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti, variamente accidentati e con velocità variabili lungo il profilo, anche in presenza di morfologie di superficie non piane: la buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di sondaggi di taratura, consente talora di elevare la prospezione sismica da semplice valutazione qualitativa a valido supporto quantitativo dell'indagine geognostica.

3.1 Attrezzature e metodologie impiegate

Per l'acquisizione è stata impiegata la stessa attrezzatura utilizzata per la prospezione MASW sopra descritta a cui si rimanda.

Sono stati utilizzati 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz per la ricezione delle onde P (compressionali) e come sorgente energizzante è stata utilizzata una mazza da 10 kg battente su piastra in PVC e geofono starter.

Per l'indagine sono stati effettuati 5 shot, di cui 2 offset esterni, due endshot ed uno shot centrale; per avere migliore qualità del segnale i tiri sono stati ripetuti e sommati con modalità stacking.

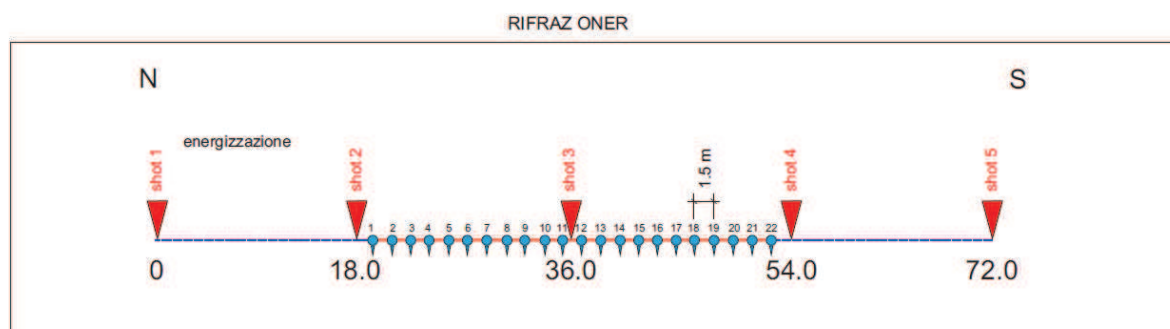
3.2 Rifrazione onde P Stesa Oneta

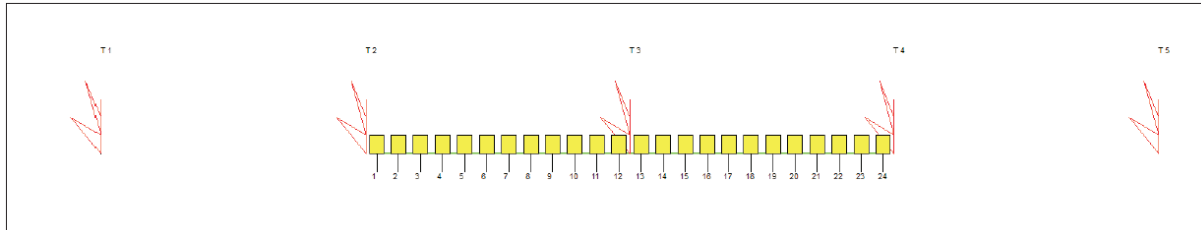
L'indagine è stata effettuata sul sito ER2-1 nel tratto pianeggiante, dove c'era uno spazio sufficiente per poter avere una stesa significativa compresi gli shots esterni.

Per l'indagine sono stati effettuati 5 shot, con tempo di acquisizione di 1.0 s e intervallo di campionamento di 0.200 ms.

3.2.1 Configurazione della linea sismica

Nell'area oggetto di studio, considerando la logistica del sito, è stata eseguita n°1 prospezione sismica onde P utilizzando una configurazione a 24 geofoni interspaziati di 1.50 metri (lunghezza stesa 36.0 metri con direzione N - S); la configurazione della stesa è riportata nello schema che segue:





Le registrazioni avvenute in campagna sono state ottenute, in fase di acquisizione, calibrando la sensibilità per ciascun geofono secondo la distanza dallo shot.

- n. geofoni: 24 - spaziatura fra i geofoni: 1.5 m - n. shots: 5

shot 1 (off 1):	a 18.00 m da shot 2	coord. = -18,0 m
shot 2 (end 1)	a 0.75 m da geofono 1	coord. = 0,0 m
shot 3 (central)	centrale, fra geofoni 12 e 13	coord. = 18,0 m
shot 4 (end 24)	a 0.75 m da geofono 24	coord. = 36,0 m
shot 5 (off 24)	a 18,00 m da shot 4	coord. = 54,0 m

3.2.2 Interpretazione dei dati

L'acquisizione e l'interpretazione dei dati di campagna con il software *Geosoft Winsism 14.0* ha permesso di ricostruire:

- il sismogramma ;
- le dromocrone relative ai primi arrivi ai 5 shots ;
- il profilo ricostruito con il metodo ABC (*delay method*);

Sismostratigrafia Onde P con metodo ABC (delay time)

L'indagine sismica ha permesso di registrare i seguenti tempi di arrivo per ciascun geofono:

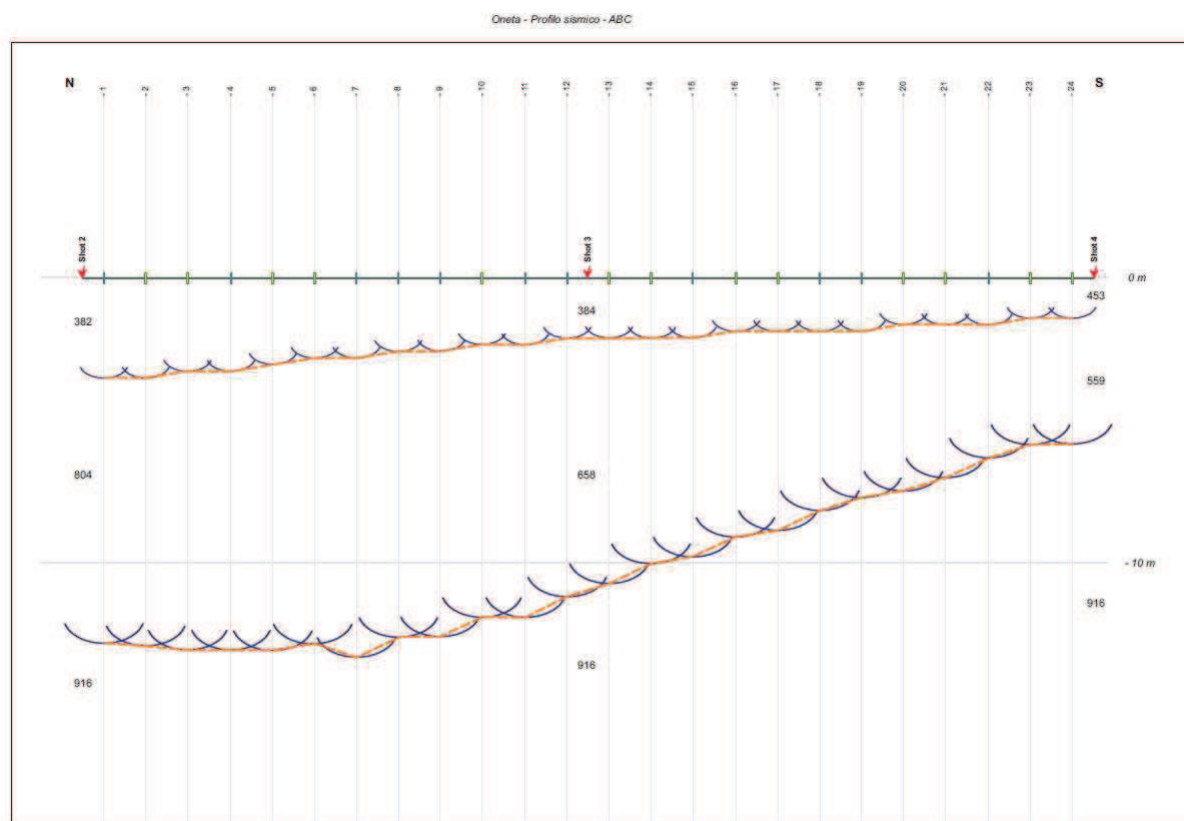
	Shot 1 (ms)	Shot 2 (ms)	Shot 3 (ms)	Shot 4 (ms)	Shot 5 (ms)	Distance (m)	Elevation (m)	Intercept (ms)
Geo. 1	38.49	4.21	37.08	61.49	69.95	00.75	00.00	28.9
Geo. 2	39.89	7.50	36.14	59.15	68.54	02.25	00.00	28.9
Geo. 3	41.30	11.25	33.32	56.80	67.60	03.75	00.00	29.3
Geo. 4	42.24	15.48	31.44	56.80	66.19	05.25	00.00	28.9
Geo. 5	44.12	21.58	30.03	53.98	65.25	06.75	00.00	29.8
Geo. 6	46.47	24.40	25.81	52.57	62.90	08.25	00.00	29.8
Geo. 7	48.35	26.75	24.87	50.69	61.99	09.75	00.00	30.8
Geo. 8	49.29	30.97	22.05	48.82	60.32	11.25	00.00	30.1
Geo. 9	52.10	32.85	18.30	45.53	58.65	12.75	00.00	31.2
Geo. 10	52.57	36.14	12.19	43.65	56.52	14.25	00.00	29.5
Geo. 11	53.98	37.55	8.43	41.77	55.15	15.75	00.00	29.6
Geo. 12	55.39	39.43	4.21	39.43	52.72	17.25	00.00	28.6
Geo. 13	56.80	41.30	4.21	35.20	50.90	18.75	00.00	28.2
Geo. 14	58.21	42.71	9.37	32.85	48.17	20.25	00.00	26.8
Geo. 15	59.62	45.06	11.25	28.63	46.04	21.75	00.00	26.1
Geo. 16	60.56	46.47	15.48	26.28	44.07	23.25	00.00	25.1
Geo. 17	61.49	47.88	18.30	23.93	42.40	24.75	00.00	24.3
Geo. 18	61.96	50.22	19.70	21.58	40.12	26.25	00.00	22.5
Geo. 19	62.90	52.10	22.99	18.76	38.49	27.75	00.00	21.8
Geo. 20	64.78	53.98	24.87	15.48	36.02	29.25	00.00	21.2

Geo. 21	65.72	54.92	27.69	12.48	33.74	30.75	00.00	19.9
Geo. 22	67.13	56.80	29.10	9.31	30.86	32.25	00.00	18.4
Geo. 23	68.54	58.21	31.44	4.97	28.13	33.75	00.00	17.1
Geo. 24	69.95	60.09	32.38	1.86	26.76	35.25	00.00	17.2
Distance	-18.00	00.00	18.00	36.00	54.00			
Elevation	00.00	00.00	00.00	00.00	00.00			

La ricostruzione dell'andamento del passaggio al substrato più veloce, con gli spessori dei vari sismostrati sotto ogni geofono con il *delay method* (ABC), fornisce il seguente risultato:

Geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Quote	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Distanze	0.75	2.25	3.75	5.25	6.75	8.25	9.75	11.25	12.75	14.25	15.75	17.25
Prof. Substrato	13.3	13.1	13.2	12.8	13.2	13.0	13.4	12.8	13.2	12.1	12.0	11.3

Geofono	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Quote	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Distanze	18.75	20.25	21.75	23.25	24.75	26.25	27.75	29.25	30.75	32.25	33.75	35.25
Prof. Substrato	10.9	10.2	9.9	9.4	9.0	8.3	8.0	7.7	7.2	6.6	6.1	6.1



Rifrazione Onde P Stesa 1

La porzione di terreno indagato risulta essere complessivamente caratterizzata da una situazione multistrato; in dettaglio sono stati individuati tre strati come segue:

- strato superficiale con velocità variabile fra 382 m s^{-1} e 453 m s^{-1} , con spessore consistente e variabile compreso fra 3.70 m circa dell'estremo N, geofono G.1 e 1.60 m dell'estremo S,

Geofono G.24, con aumento leggero e graduale dello spessore fra lo shot 4 e lo shot 3 e più marcato fra lo shot 3 e lo shot 2; il livello può essere attribuito al detrito più superficiale allentato e parzialmente rimaneggiato ed aerato.

- strato intermedio, con velocità compresa fra 559 m s^{-1} e 804 m s^{-1} ; lo spessore piuttosto consistente è variabile e compreso fra 4.50 m dell'estremo S e i 10.00 m circa dell'estremo N e mette in luce un andamento simile al sismostrato superiore e un aumento dello spessore continuo fra lo shot 4 e il geofono G.8, dopo di che mostra uno spessore pressoché costante; il livello può essere ricollegato ancora al detrito con maggiore grado di addensamento.
- strato profondo con velocità intorno a 916 m s^{-1} che si rinviene ad una profondità compresa fra 6.10 m e 13.30 m circa; livello attribuibile a detrito molto addensato e/o roccia alterata probabilmente Macigno.

Non è stato individuato un quarto sismostrato più profondo.

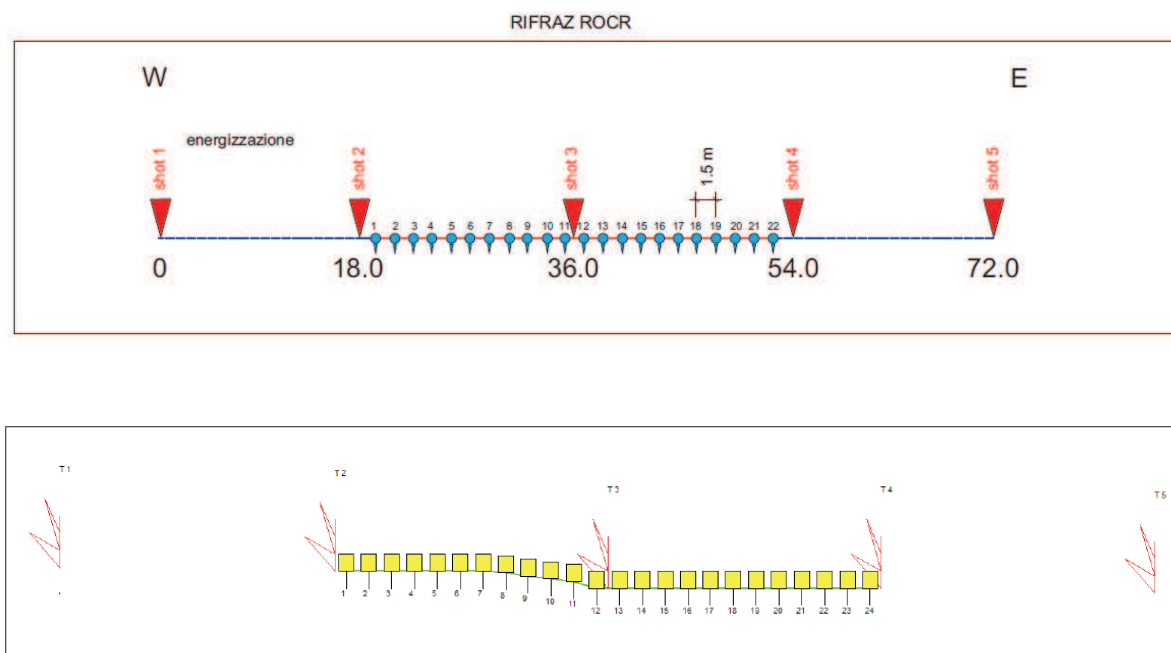
3.3 Rifrazione onde P Stesa Rocca

L'indagine è stata effettuata sul sito ER2-1 nel tratto pianeggiante, dove c'era uno spazio sufficiente per poter avere una stesa significativa compresi gli shots esterni.

Per l'indagine sono stati effettuati 5 shot, con tempo di acquisizione di 1.0 s e intervallo di campionamento di 0.200 ms.

3.3.1 Configurazione della linea sismica

Nell'area oggetto di studio, considerando la logistica del sito, è stata eseguita n°1 prospezione sismica onde P utilizzando una configurazione a 24 geofoni interspaziati di 1.50 metri (lunghezza stesa 36.0 metri con direzione W - E); la configurazione della stesa è riportata nello schema che segue:



Le registrazioni avvenute in campagna sono state ottenute, in fase di acquisizione, calibrando la sensibilità per ciascun geofono secondo la distanza dallo shot.

- n. geofoni: 24 - spaziatura fra i geofoni: 1.5 m - n. shots: 5

shot 1 (off 1):	a 18,00 m da shot 2	coord. = -18,0 m
shot 2 (end 1)	a 0.75 m da geofono 1	coord. = 0,0 m
shot 3 (central)	centrale, fra geofoni 12 e 13	coord. = 18,0 m
shot 4 (end 24)	a 0.75 m da geofono 24	coord. = 36,0 m
shot 5 (off 24)	a 18,00 m da shot 4	coord. = 54,0 m

3.3.2 Interpretazione dei dati

L'acquisizione e l'interpretazione dei dati di campagna con il software *Geosoft Winsism 14.0* ha permesso di ricostruire:

- il sismogramma ;
- le dromocrone relative ai primi arrivi ai 5 shots ;
- il profilo ricostruito con il metodo ABC (*delay method*);

Sismostratigrafia Onde P con metodo ABC (delay time)

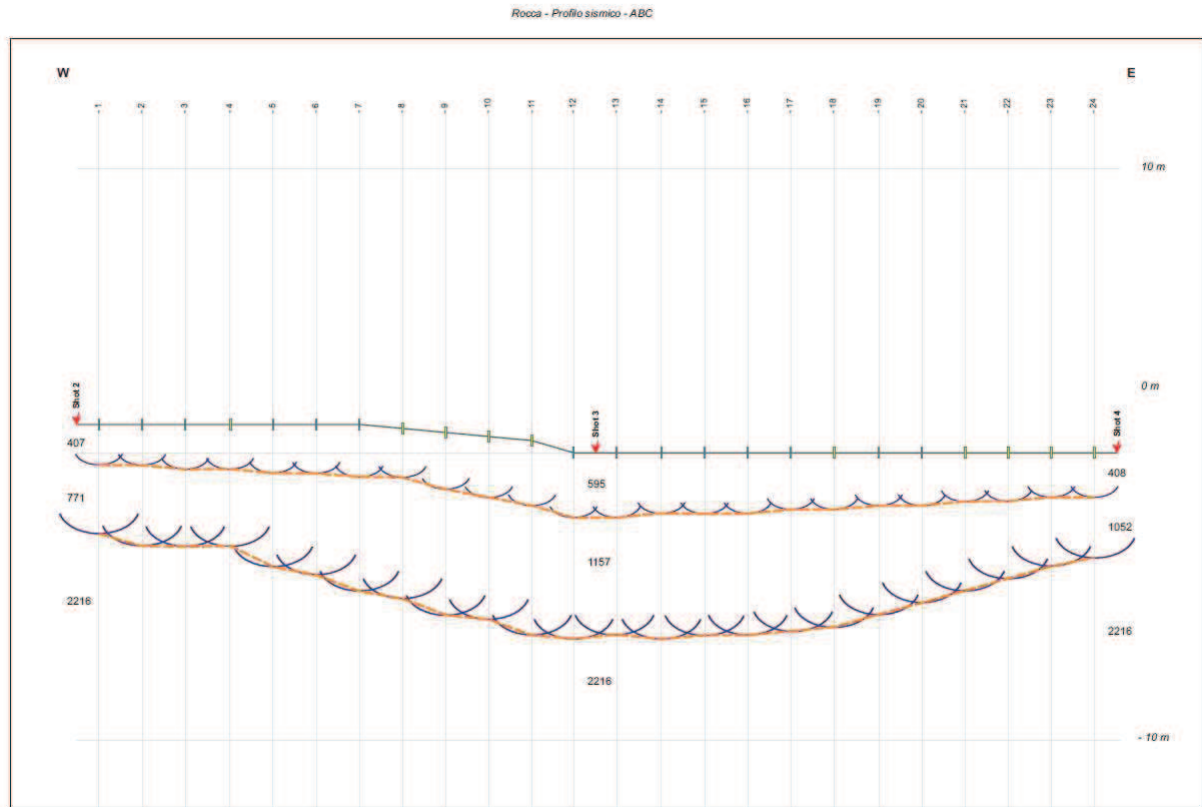
L'indagine sismica ha permesso di registrare i seguenti tempi di arrivo per ciascun geofono:

	Shot 1 (ms)	Shot 2 (ms)	Shot 3 (ms)	Shot 4 (ms)	Shot 5 (ms)	Distance (m)	Elevation (m)	Intercept (ms)
Geo. 1	15.77	3.23	17.51	27.45	31.04	00.75	01.30	10.70
Geo. 2	16.62	6.69	16.62	27.03	30.71	02.25	01.30	11.20
Geo. 3	17.51	10.59	15.77	26.59	30.38	03.75	01.30	11.70
Geo. 4	17.94	12.75	15.35	26.14	29.71	05.25	01.30	11.50
Geo. 5	19.22	14.47	15.77	25.71	29.38	06.75	01.30	12.50
Geo. 6	20.10	15.35	15.35	25.29	29.05	08.25	01.30	13.00
Geo. 7	20.95	15.77	14.05	24.43	28.71	09.75	01.30	13.50
Geo. 8	21.38	16.20	12.31	23.12	28.38	11.25	01.20	13.60
Geo. 9	21.81	17.06	11.43	22.70	28.05	12.75	01.00	13.70
Geo. 10	22.27	17.94	8.85	21.81	27.38	14.25	00.85	13.50
Geo. 11	23.12	18.37	6.69	20.95	26.05	15.75	00.70	13.00
Geo. 12	23.55	18.79	3.23	19.67	25.72	17.25	00.30	13.10
Geo. 13	24.43	19.22	3.23	19.22	24.72	18.75	00.30	13.00
Geo. 14	24.86	20.10	5.40	18.79	24.06	20.25	00.30	12.80
Geo. 15	25.71	20.54	7.98	18.37	23.39	21.75	00.30	13.00
Geo. 16	26.59	20.95	10.14	17.51	23.06	23.25	00.30	13.50
Geo. 17	27.03	21.81	12.75	17.06	22.42	24.75	00.30	13.30
Geo. 18	27.87	22.70	14.05	16.20	21.75	26.25	00.30	13.50
Geo. 19	28.76	23.55	14.89	14.89	20.42	27.75	00.30	13.00
Geo. 20	29.19	24.00	16.62	13.60	19.42	29.25	00.30	12.40
Geo. 21	29.62	24.43	17.06	11.88	18.43	30.75	00.30	11.90
Geo. 22	30.47	25.29	17.51	10.59	17.10	32.25	00.30	11.40
Geo. 23	30.92	26.14	17.94	6.69	16.10	33.75	00.30	10.80
Geo. 24	31.35	27.03	18.37	3.23	15.43	35.25	00.30	10.60
Distance	-18.00	00.00	18.00	36.00	54.00			
Elevation	01.50	01.30	00.30	00.30	00.00			

La ricostruzione dell'andamento del passaggio al substrato più veloce, con gli spessori dei vari sismostrati sotto ogni geofono con il *delay method* (ABC), fornisce il seguente risultato:

Geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Quote	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.00	0.85	0.70	0.30	0.30
Distanze	0.75	2.25	3.75	5.25	6.75	8.25	9.75	11.25	12.75	14.25	15.75	17.25
Prof. Substrato	3.4	38	4.2	4.2	4.9	5.3	5.8	6.0	6.3	6.4	6.2	6.5

Geofono	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Quote	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Distanze	18.75	20.25	21.75	23.25	24.75	26.25	27.75	29.25	30.75	32.25	33.75	35.25
Prof. Substrato	6.4	6.2	6.2	6.4	6.1	6.1	5.7	5.2	4.8	4.4	3.9	3.7



Rifrazione Onde P Stesa 1

La porzione di terreno indagato risulta essere complessivamente caratterizzata da una situazione multistrato; in dettaglio sono stati individuati tre strati come segue:

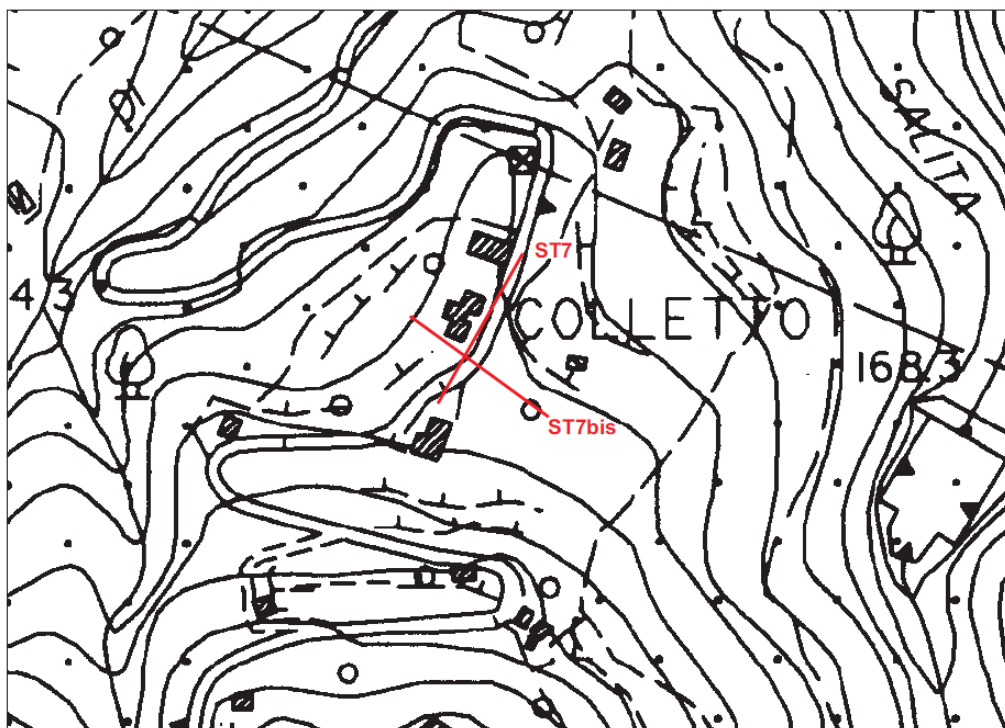
- strato superficiale con velocità variabile fra 407 m s^{-1} e 595 m s^{-1} , con spessore apprezzabile e variabile compreso fra 1.40 -1.50 m circa degli estremi W e E e 2.30 m circa della parte centrale; il livello può essere attribuito al detrito superficiale allentato e parzialmente rimaneggiato ed aerato.
- strato intermedio, con velocità compresa fra 771 m s^{-1} e 1157 m s^{-1} ; lo spessore abbastanza consistente è variabile e anche in questo caso mostra un certo ispessimento nella parte centrale, con spessori di circa 2.00 – 2.20 m agli estremi W e E e di circa 4.20 m nella parte centrale; il livello può essere ricondotto a detrito molto addensato e/o roccia molto alterata.
- strato profondo con velocità intorno a 2216 m s^{-1} che si rinviene ad una profondità compresa fra 3.40 m e 3.70 m circa degli estremi, in corrispondenza dei geofono G.1 e G.24 e i 6.20 m - 6.40 m della parte centrale; livello attribuibile a roccia alterata probabilmente Scaglia rossa.

Non è stato individuato un quarto sismostrato più profondo.

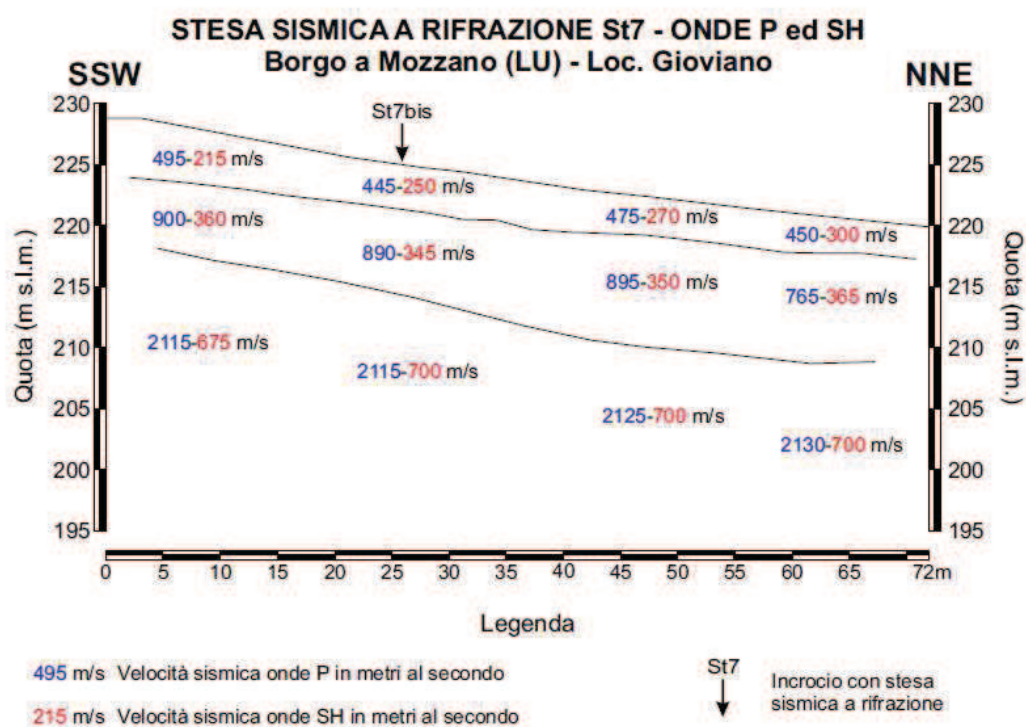
3.4 Rifrazione onde P Stesa Gioviano

Di seguito si riportano anche i risultati delle indagini sismiche eseguite a Gioviano nell'ambito del progetto VEL, al quale si rimanda per i dettagli.

Nelle aree adiacenti il sito di interesse sono state realizzate due stese sismiche a rifrazione in Onde P e in Onde SH e precisamente la ST7, longitudinale al pendio e la ST7 bis circa ortogonale alla precedente; l'ubicazione è riportata sotto.



Gioviano Stesa ST7

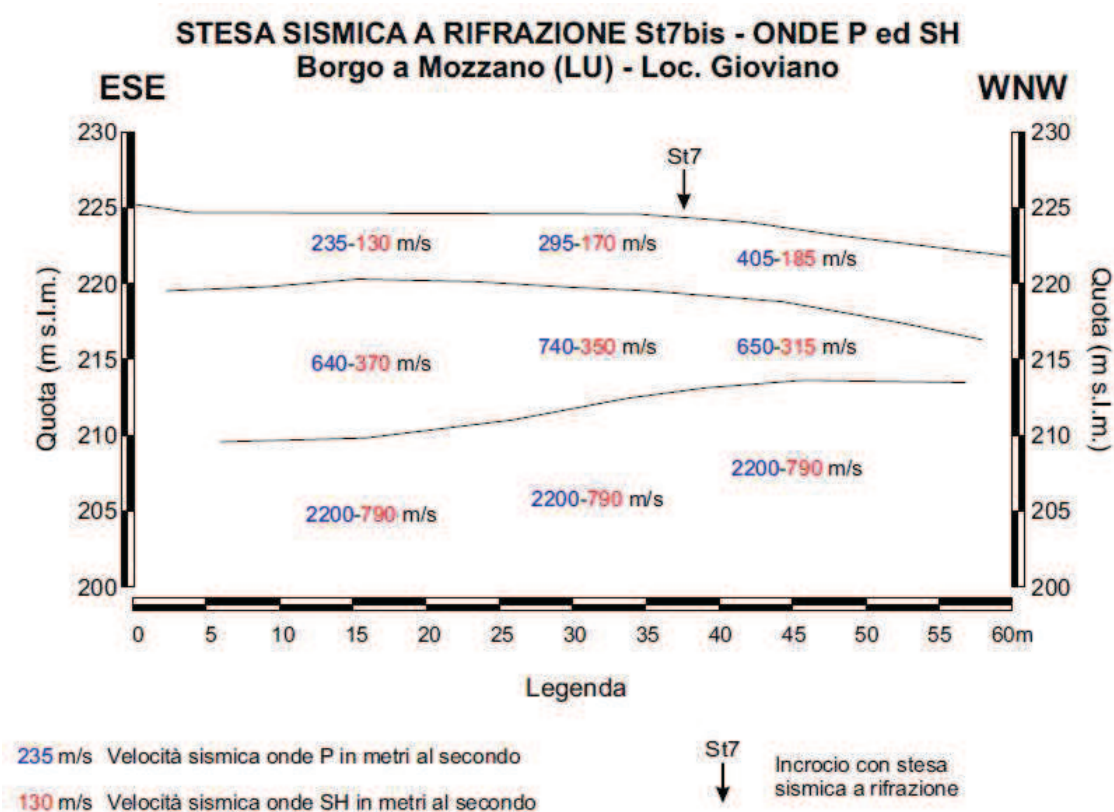


La porzione di terreno indagato risulta essere complessivamente caratterizzata da una situazione multistrato; in dettaglio sono stati individuati tre strati come segue:

- strato superficiale con velocità V_p variabile fra 445 m s^{-1} e 495 m s^{-1} e velocità V_{sh} variabile fra 215 m s^{-1} e 300 m s^{-1} con spessore apprezzabile, compreso fra 5.00 m circa dell'estremo SSW e 3.00 m circa dell'estremo NNE e che tende a diminuire regolarmente; il livello può essere attribuito al detrito superficiale allentato e parzialmente rimaneggiato ed aerato.
- strato intermedio, con velocità V_p variabile fra 765 m s^{-1} e 900 m s^{-1} e velocità V_{sh} variabile fra 345 m s^{-1} e 365 m s^{-1} ; lo spessore abbastanza consistente è variabile e mostra un certo ispessimento verso l'estremo NNE, con spessori di circa 5.00 m all'estremo SSW e di circa 7.50 – 8.00 m all'estremo NNE; il livello può essere ricondotto a detrito addensato e/o roccia molto alterata.
- strato profondo con velocità V_p variabile fra 2115 m s^{-1} e 2130 m s^{-1} e velocità V_{sh} variabile fra 675 m s^{-1} e 700 m s^{-1} ; livello attribuibile a roccia alterata probabilmente Macigno.

Non è stato individuato un quarto sismostrato più profondo.

Gioviano Stesa ST7 bis



La porzione di terreno indagato risulta essere complessivamente caratterizzata da una situazione multistrato; in dettaglio sono stati individuati tre strati come segue:

- strato superficiale con velocità V_p variabile fra 235 m s^{-1} e 405 m s^{-1} e velocità V_{sh} variabile fra 130 m s^{-1} e 185 m s^{-1} con spessore apprezzabile e abbastanza costante intorno a 5.00 m; il livello può essere attribuito al detrito superficiale allentato e parzialmente rimaneggiato ed aerato.

- strato intermedio, con velocità V_p intorno a 2200 m s^{-1} e velocità V_{sh} intorno a 790 m s^{-1} ; lo spessore abbastanza consistente è molto variabile e mostra un sensibile ispessimento verso l'estremo ESE, con spessori di circa 9.00 - 10.00 m, mentre all'estremo WNW si assottiglia fino a circa 2.00 m; il livello può essere ricondotto a detrito addensato e/o roccia molto alterata.
- strato profondo con velocità V_p intorno a 2200 m s^{-1} e velocità V_{sh} intorno a 790 m s^{-1} ; livello attribuibile a roccia alterata probabilmente Macigno.

Non è stato individuato un quarto sismostrato più profondo.

Calavorno, 14 Febbraio 2018

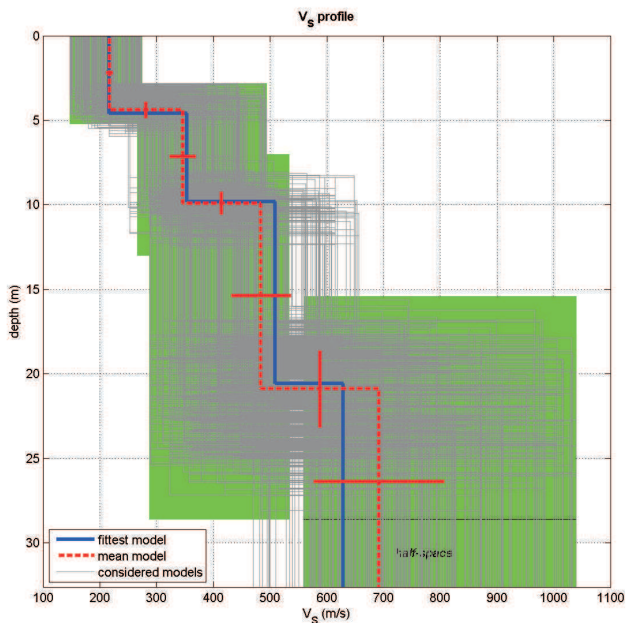
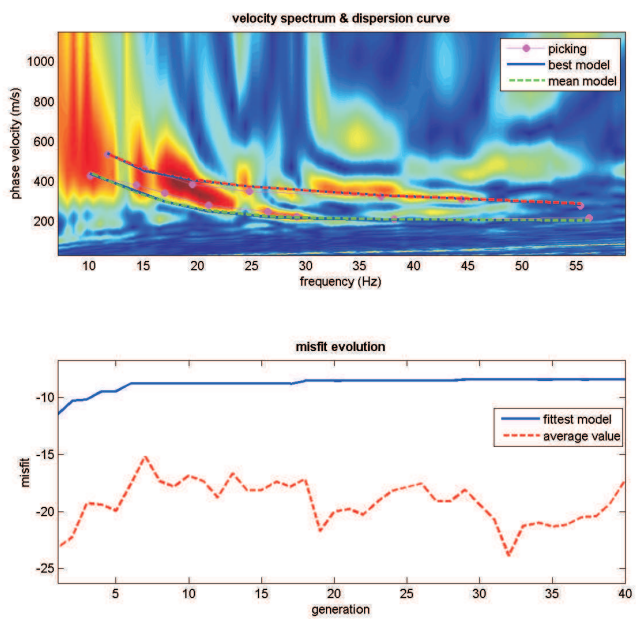
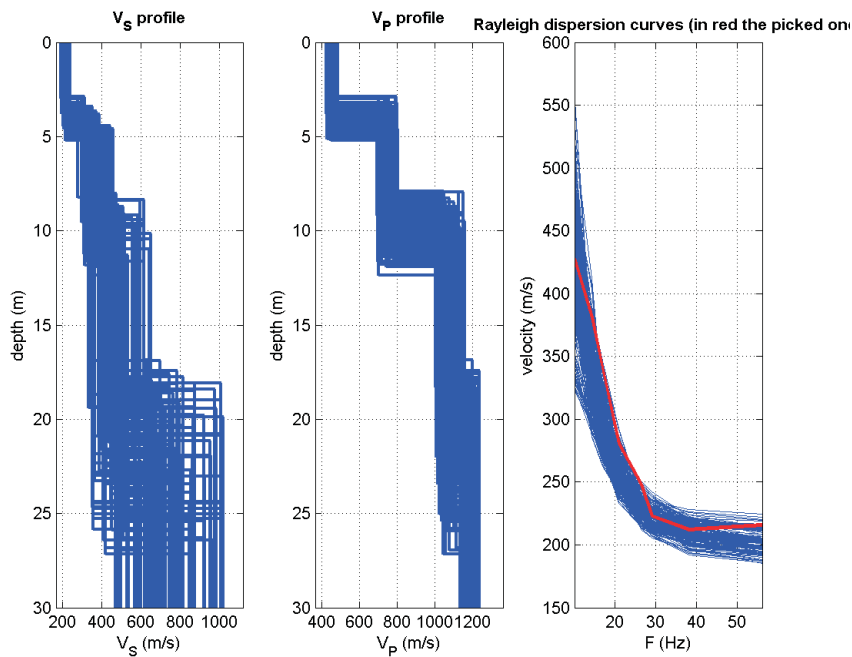
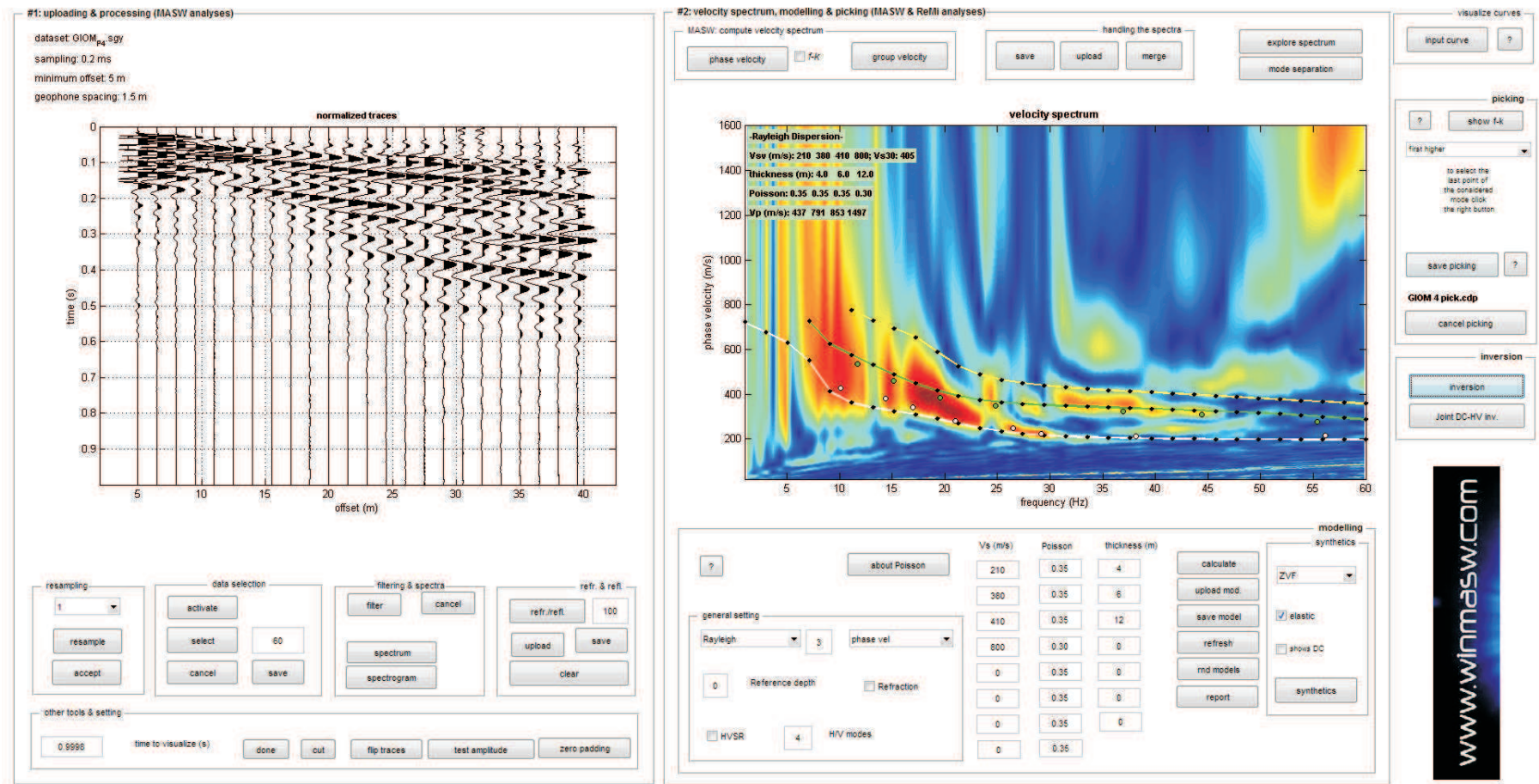
dott. geol. Florindo Granucci

4 ALLEGATI

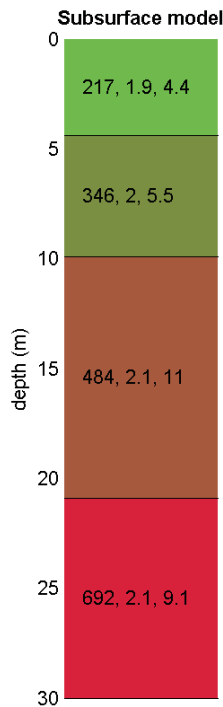
4.1 Grafici MASW

Gioviano Stesa 1 Grafici MASW

Onde R Componente verticale



dataset: G10M₄.sgy
dispersion curve: G10M 4 pick.cdp
V_{s30} (best model): 416 m/s
V_{s30} (mean model): 417 m/s

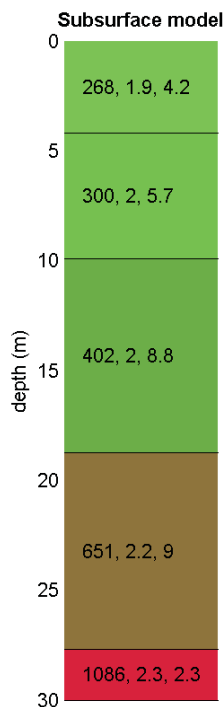
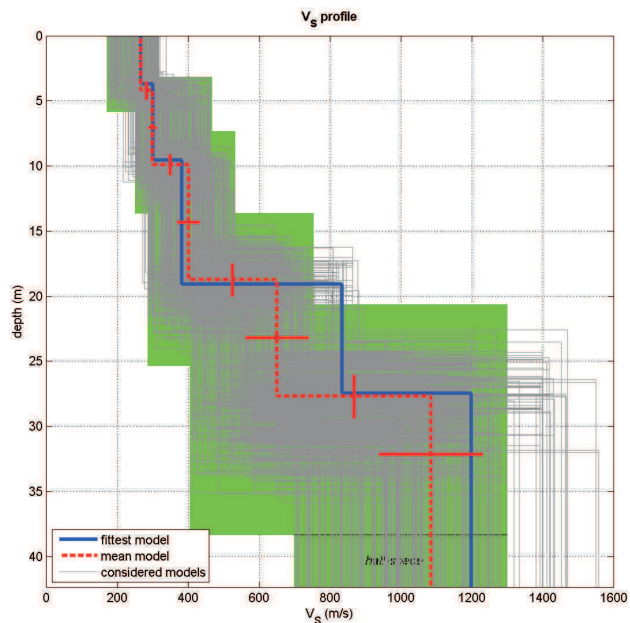
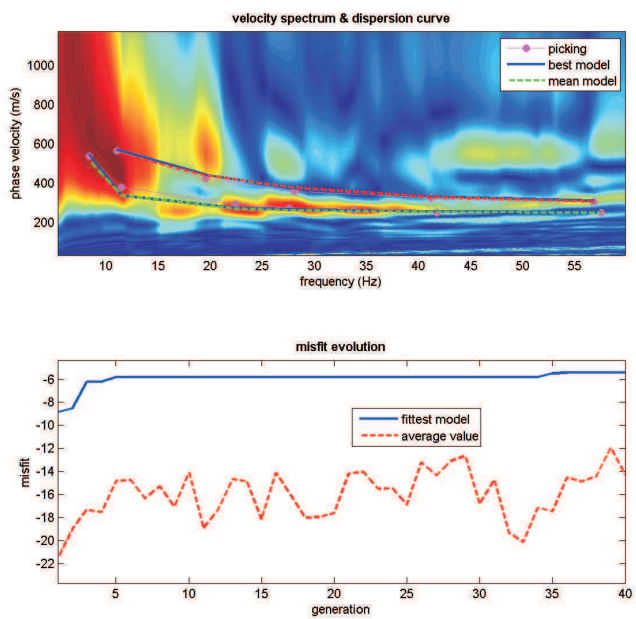
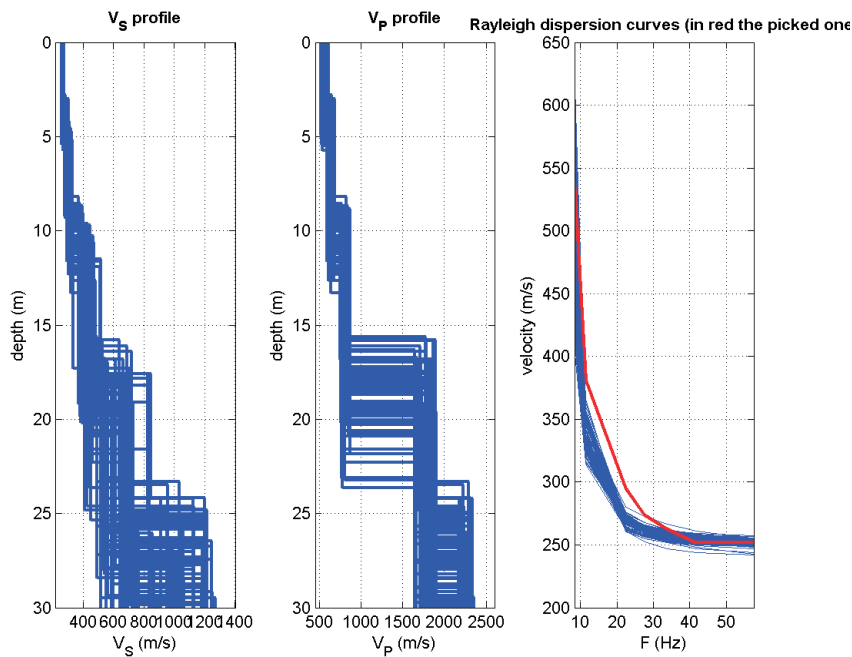
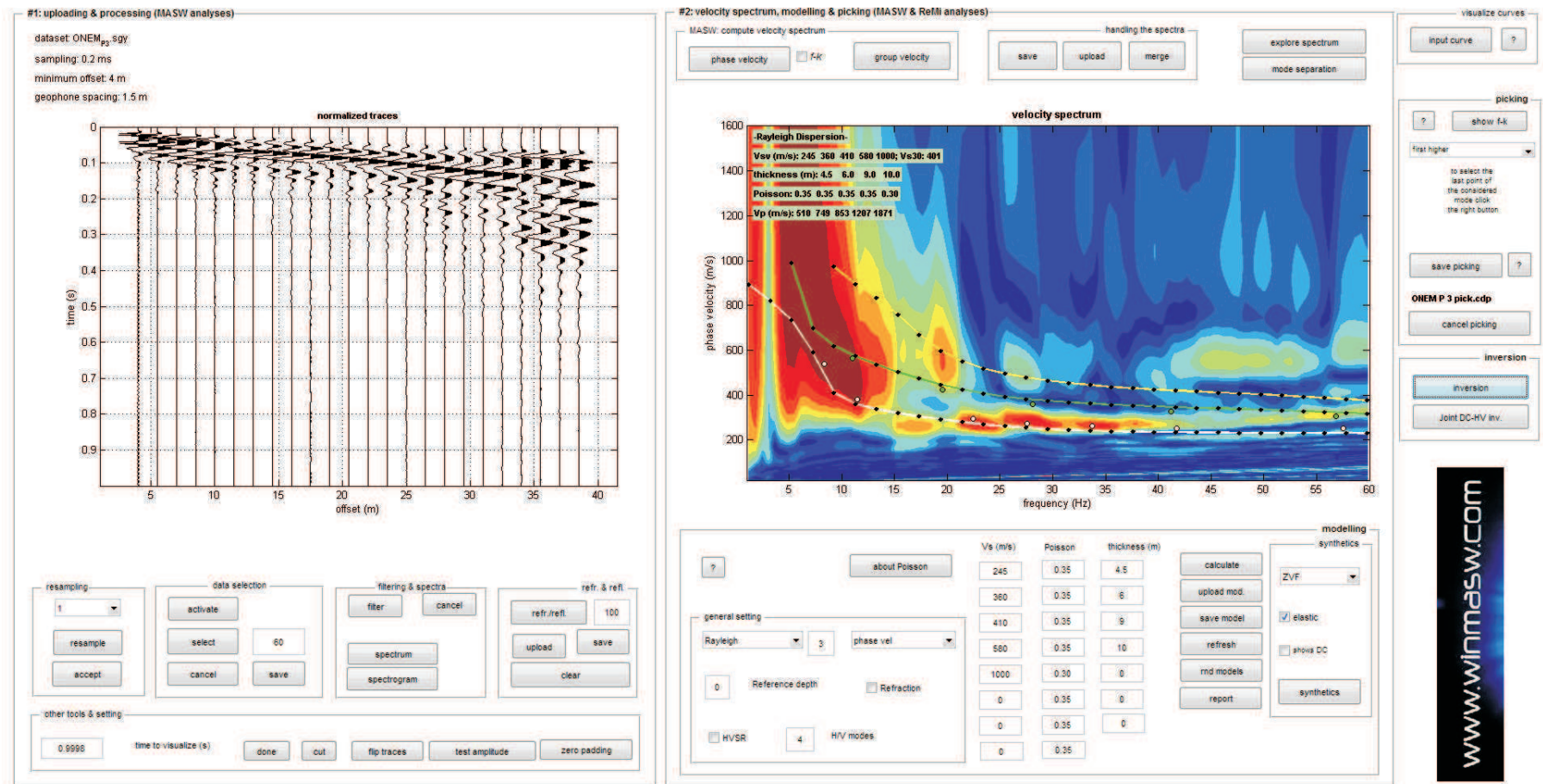


V_s density thickness
(m/s) (gr/cm³) (m)

www.winmasw.com

Oneta Stesa 1 Grafici MASW

Onde R Componente verticale



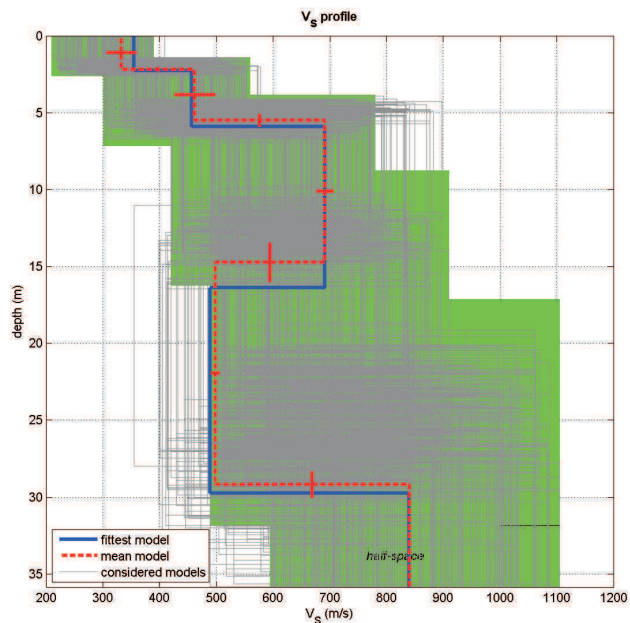
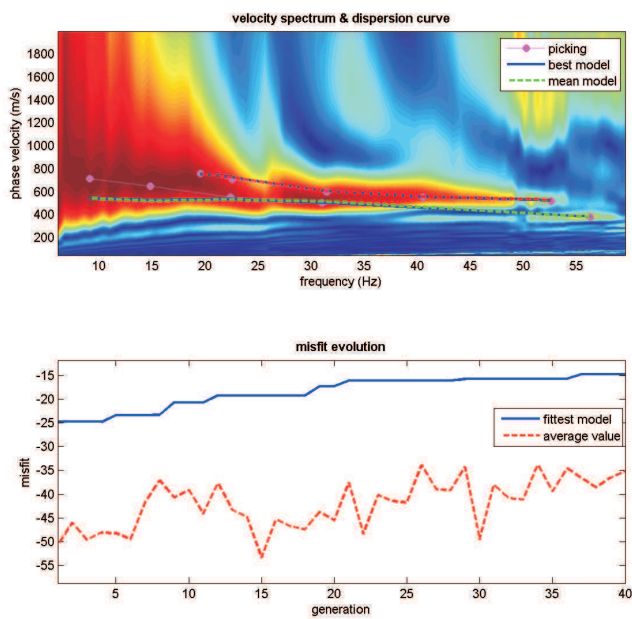
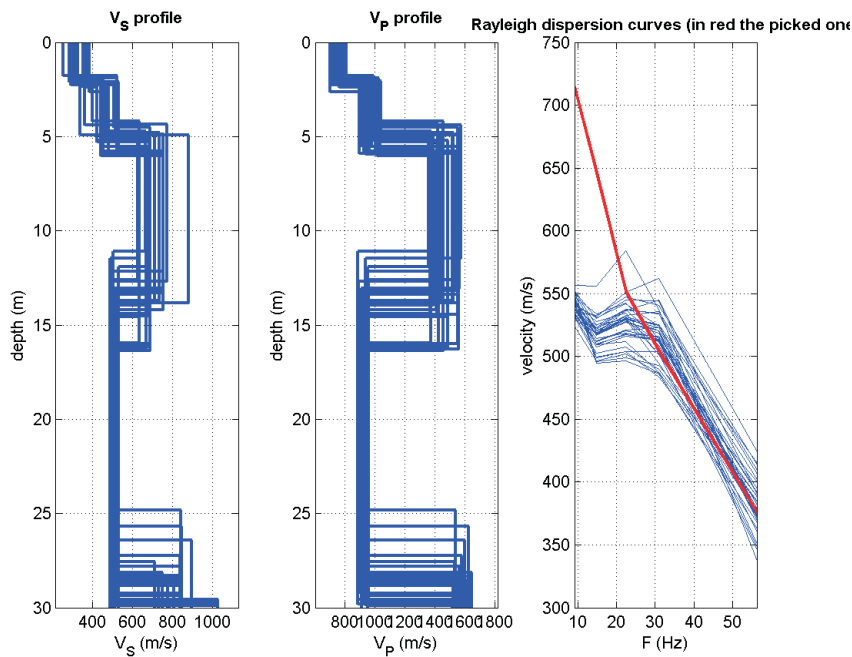
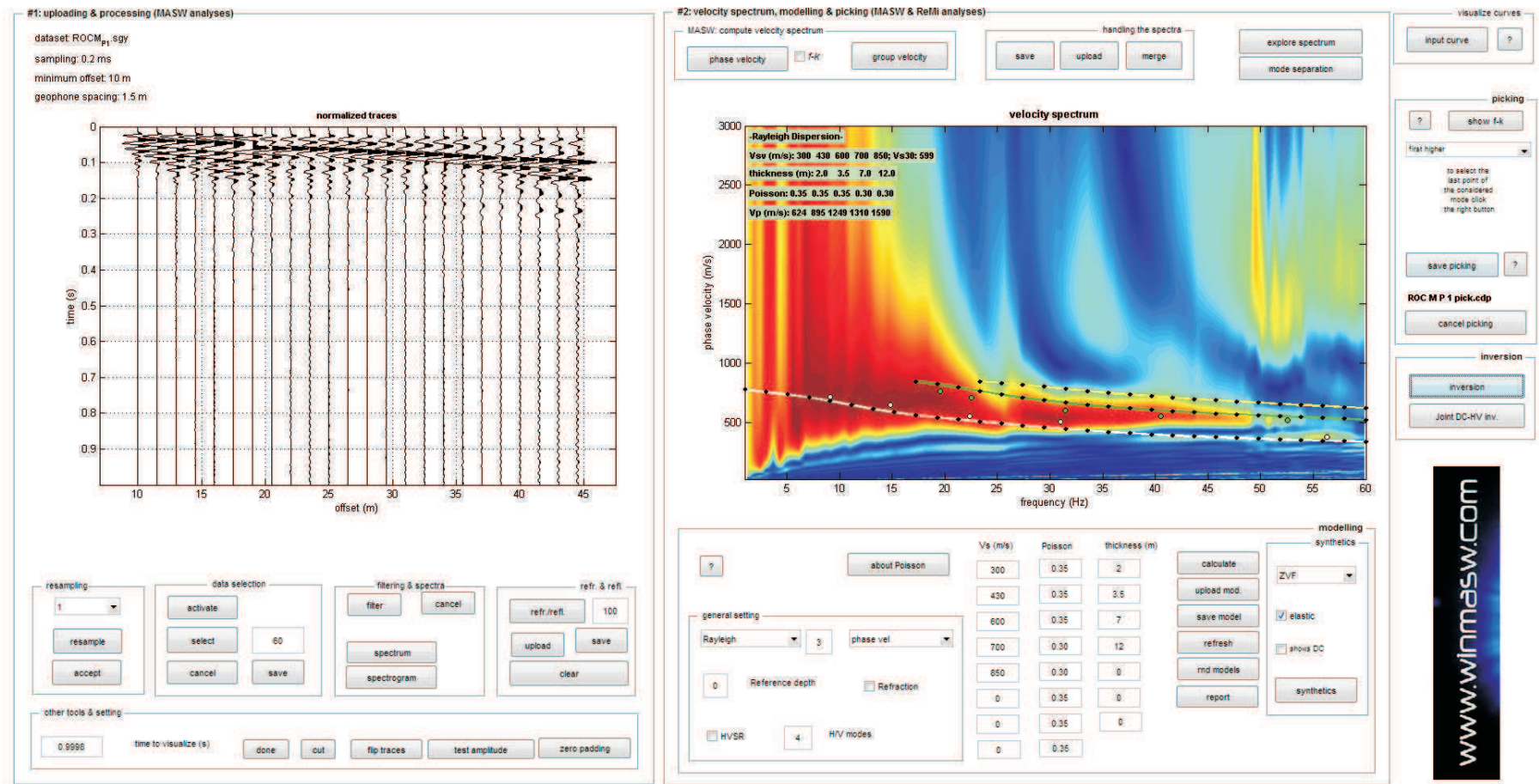
V_s density thickness
(m/s) (gr/cm³) (m)

dataset: ONEM_P3.sgy
dispersion curve: ONEM_P3_pick.cdp
Vs30 (best model): 427 m/s
Vs30 (mean model): 413 m/s

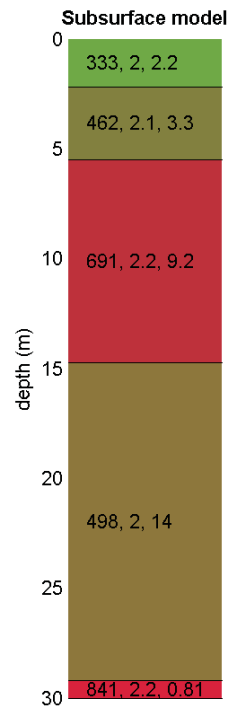
www.winmasw.com

Rocca Stesa 1 Grafici MASW

Onde R Componente verticale



dataset: ROC M P 1 .sgy
dispersion curve: ROC M P 1 pick.cdp
Vs30 (best model): 525 m/s
Vs30 (mean model): 525 m/s



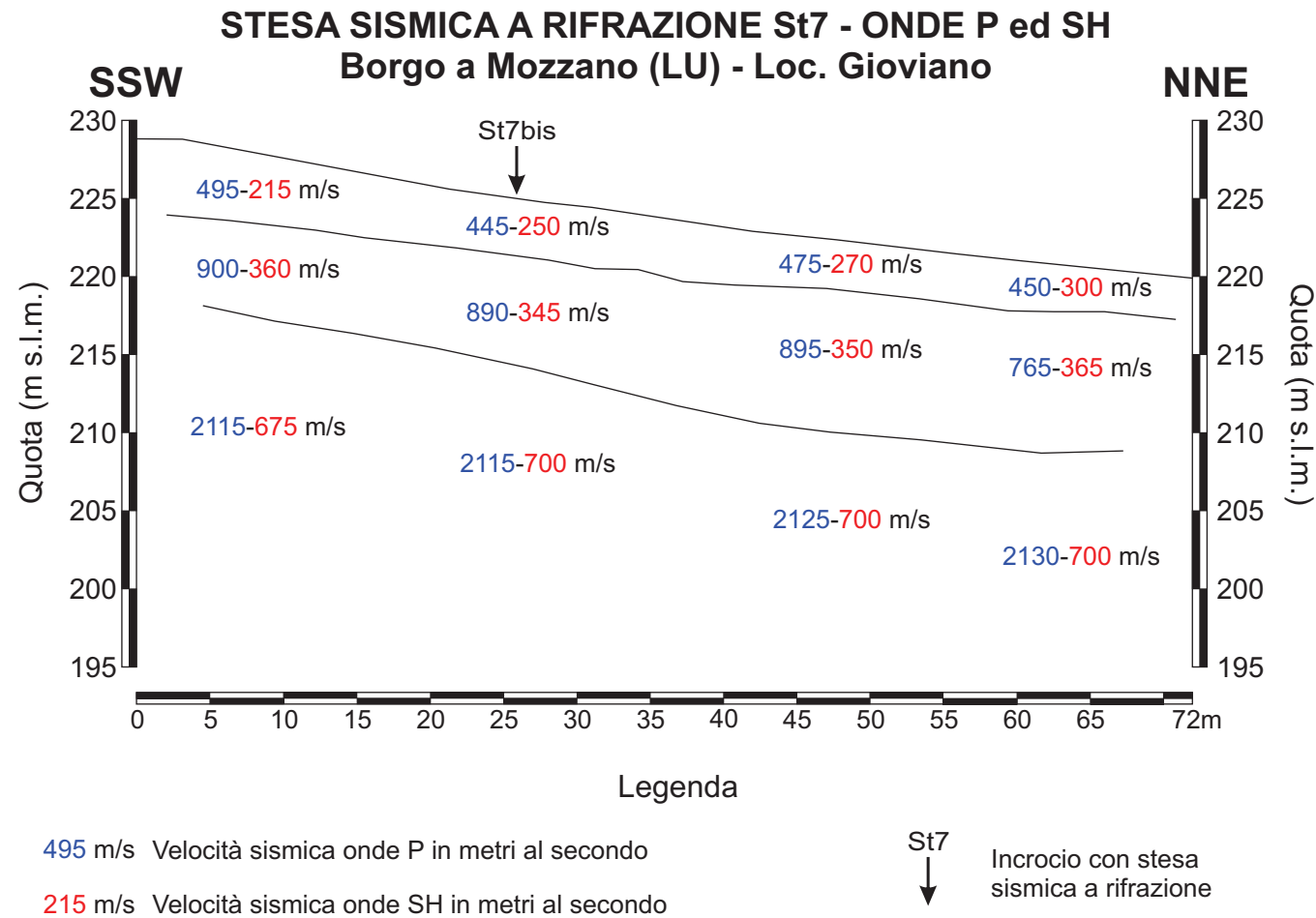
V_s density thickness
(m/s) (gr/cm³) (m)

www.winmasw.com

4.2 Grafici Rifrazione Onde P

4.2.1 Stesa 1 Gioviano

	Dir. Gen. delle Politiche Territoriali e Ambientali	COMMITTENTE: Comune di Borgo a Mozzano (LU)	DATA CONSEGNA: gennaio 2008	RIELABORAZIONE E REVISIONE DATI: Vittorio D'Intinosante (04/2011)
	Coordinamento regionale Prevenzione sismica	Ente Finanziatore: Regione Toscana	PROGRAMMA: VEL	REVISIONE ESEGUITA: conferma della versione fornita dalla Ditta
		DITTA ESECUTRICE: Geoprove s.a.s.		

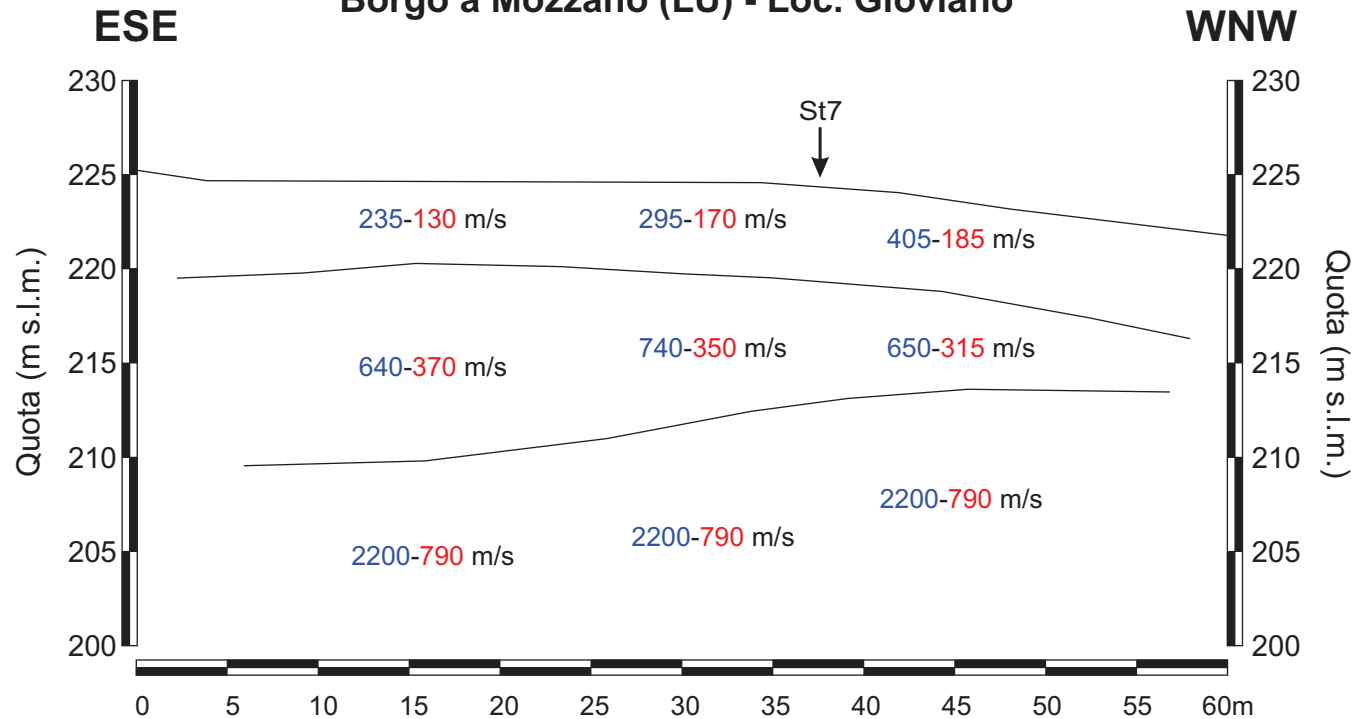


NOTE: L'elaborazione delle dromocrone porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicando le rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso). Buona la correlazione in termini sismostratigrafici con la stesa sismica St7bis, realizzata in direzione circa perpendicolare all'indagine in oggetto.

VALIDAZIONE DATI: La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all' omogeneizzazione del formato grafico della sezione.

	Dir. Gen. delle Politiche Territoriali e Ambientali	COMMITTENTE: Comune di Borgo a Mozzano (LU)	DATA CONSEGNA: novembre 2010	RIELABORAZIONE E REVISIONE DATI: Vittorio D'Intinosante (04/2011)
	Coordinamento regionale Prevenzione sismica	Ente Finanziatore: Regione Toscana	PROGRAMMA: VEL	REVISIONE ESEGUITA: conferma della versione fornita dalla Ditta
		DITTA ESECUTRICE: GeoLUK s.r.l.		

STESA SISMICA A RIFRAZIONE St7bis - ONDE P ed SH Borgo a Mozzano (LU) - Loc. Gioviano



Legenda

235 m/s Velocità sismica onde P in metri al secondo
130 m/s Velocità sismica onde SH in metri al secondo

St7
↓
Incrocio con stesa
sismica a rifrazione

NOTE: L'elaborazione delle dromocrone porta a due sezioni sismostratigrafiche, in onde P ed in onde SH, congruenti. Pertanto viene utilizzata un'unica sezione grafica, valida per entrambe le energizzazioni. Nella sezione vengono rappresentati i sismostrati individuati, indicando le rispettive velocità di propagazione delle onde P (in blu) e delle onde SH (in rosso). Buona la correlazione in termini sismostratigrafici con la stesa sismica St7 realizzata in direzione circa perpendicolare all'indagine in oggetto.

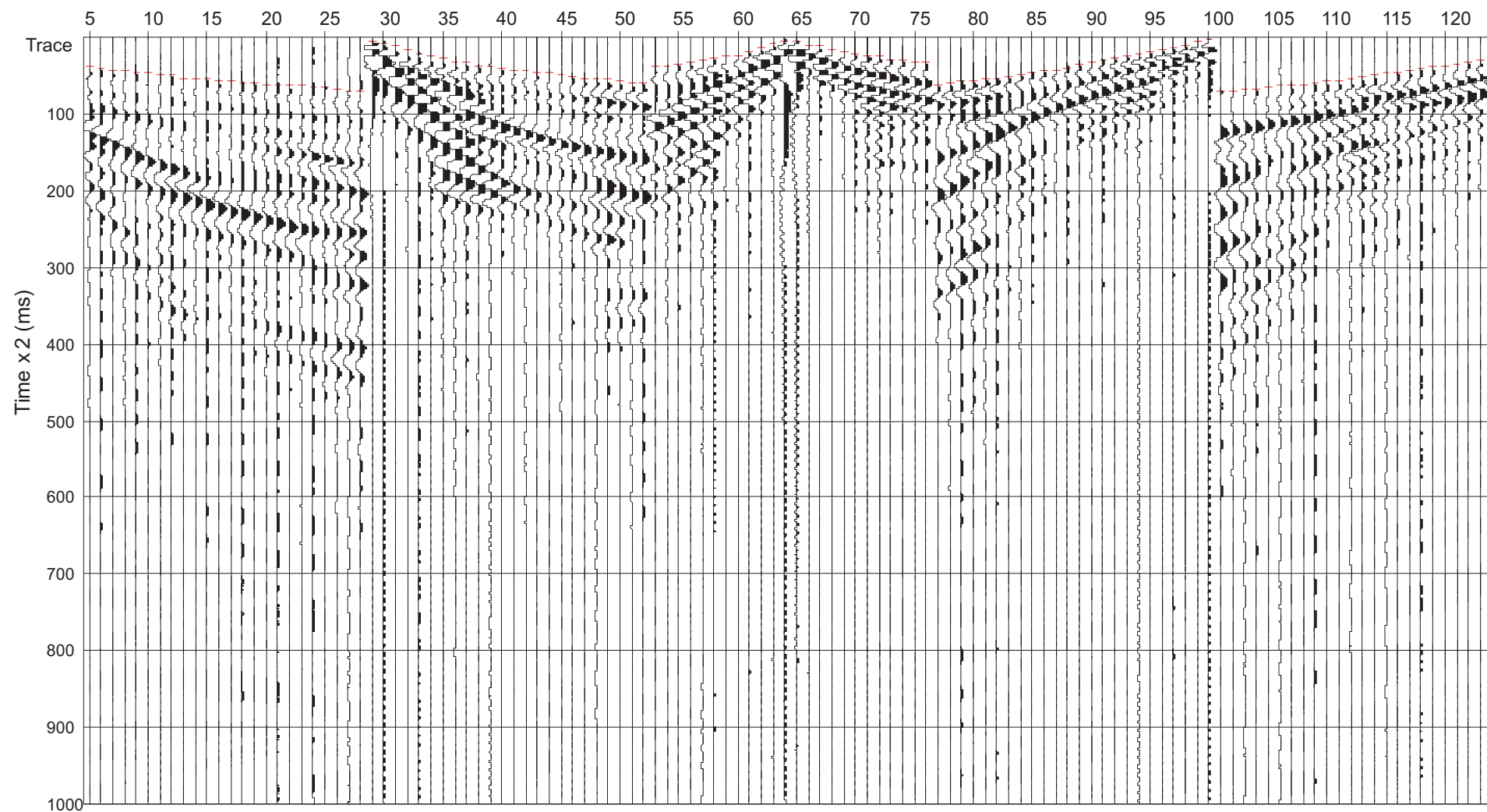
VALIDAZIONE DATI: La ricostruzione della sezione, elaborata nella fase di omogeneizzazione, considerando il quadro geologico di riferimento, ha confermato, per quanto attiene alla sezione sismostratigrafica, la versione fornita dalla Ditta esecutrice dell'indagine. Pertanto, in questo caso si è provveduto soltanto all'omogeneizzazione del formato grafico della sezione.

4.2.2 *Stesa 2 Oneta*

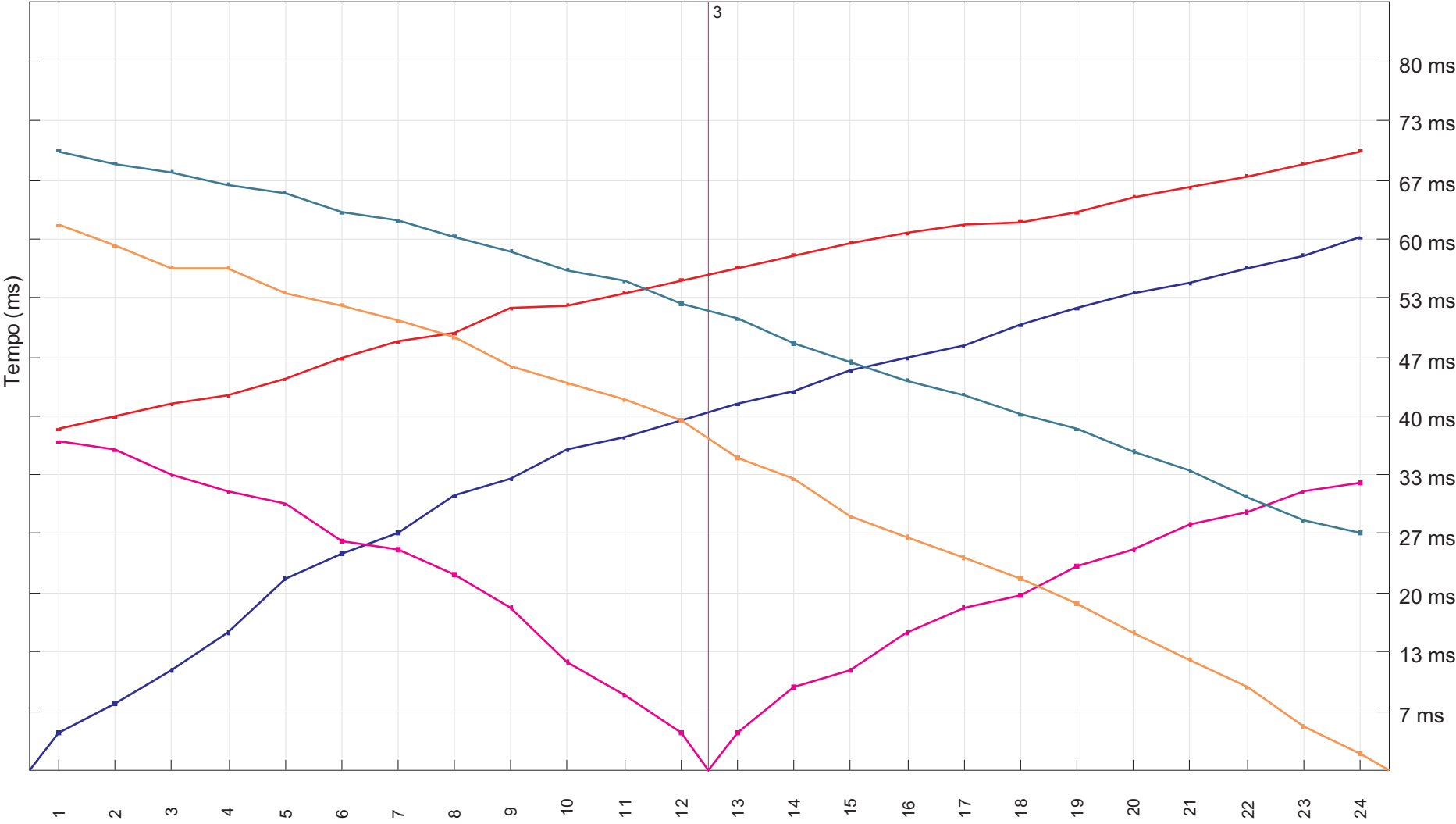
Oneta Sismogrammi

West

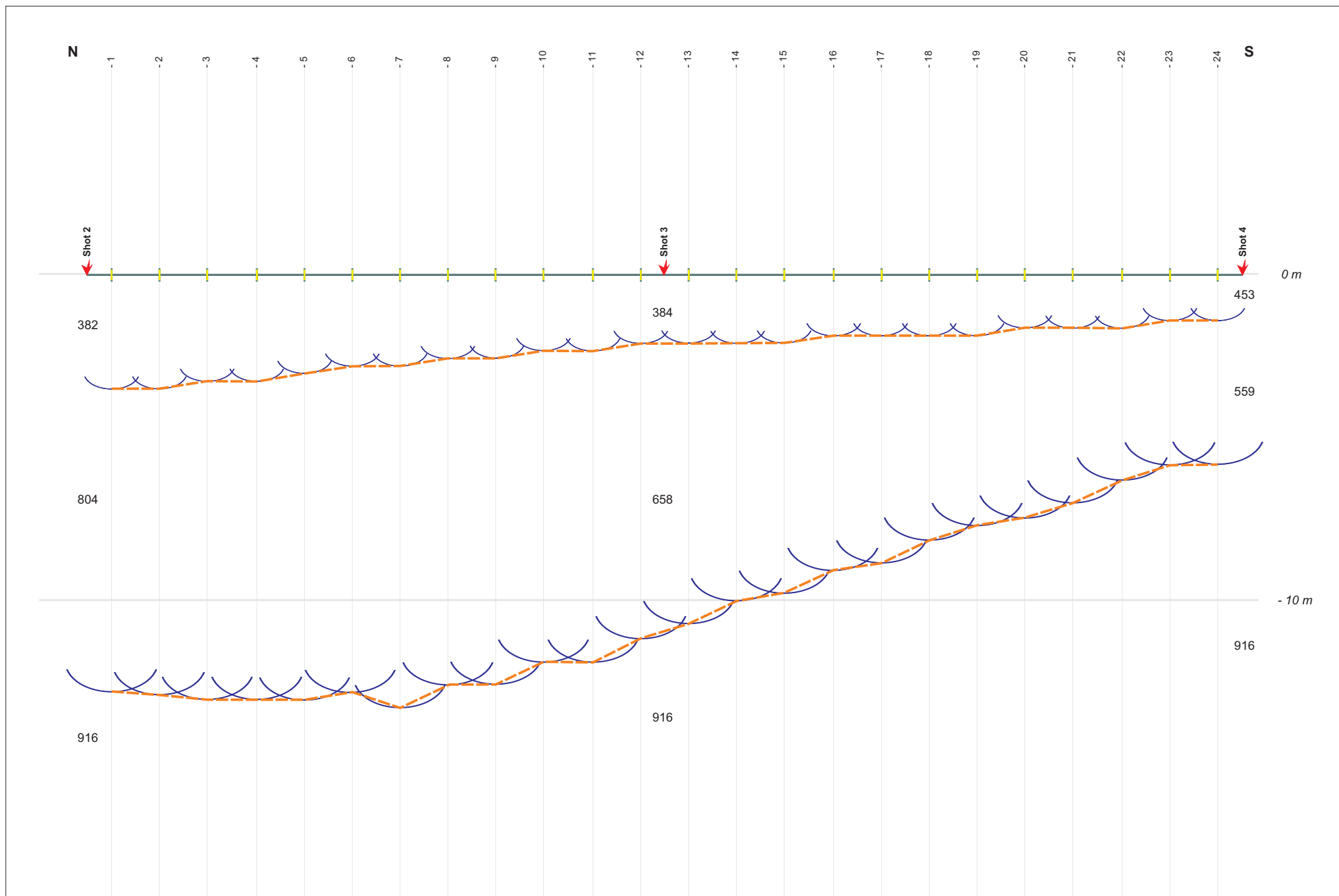
East



ONETA DROMOCRONE



Oneta - Perfil sismico - ABC

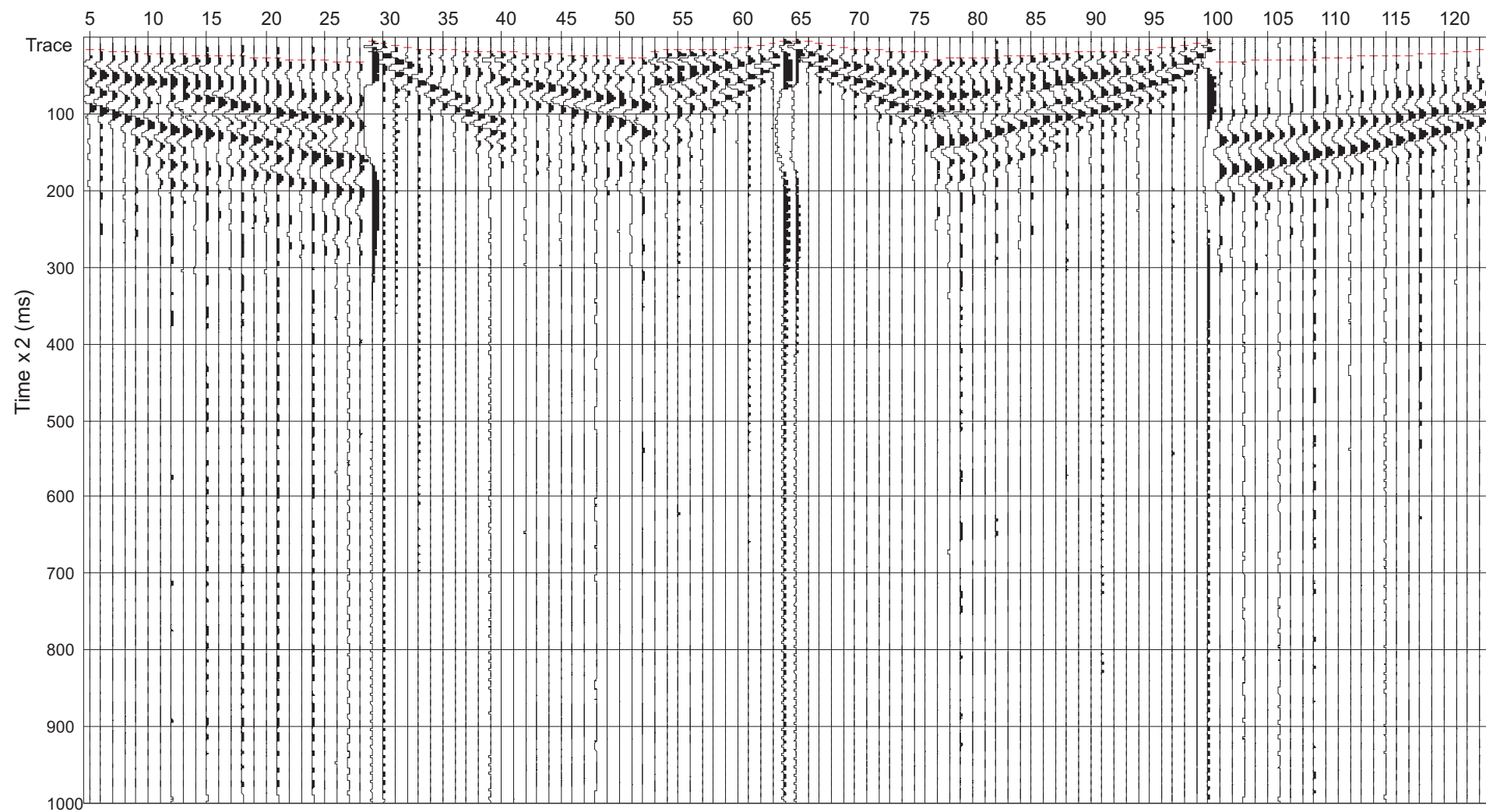


4.2.3 *Stesa 3 Rocca*

ROCCA SISMOGRAMMI

West

East



ROCCA DROMOCRONE

