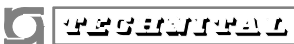


A	DICEMBRE 2011	EMISSIONE				P. LO CASCIO	L. BELLONI	F.BUSOLA													
REV.	DATA	DESCRIZIONE				ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO													
SOSTITUISCE L'ELABORATO N~						SOSTITUITO DALL'ELABORATO N~															
CONSORZIO PER LE AUTOSTRADE SICILIANE AUTOSTRADA SIRACUSA – GELA 2° TRONCO: ROSOLINI – RAGUSA LOTTO 10/11 PROGETTO ESECUTIVO																					
IDENTIFICAZIONE ELABORATO																					
E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	I	N	D	R	E	0	0	2	A
PROG.	STRADA	LOTTO	MACRO OPERA	OPERA		PARTE DI OPERA		TIPOLOGIA ELABORATO	N. ELABORATO	REV.											
LOTTO 11 "RAGUSA" INDAGINI GEOGNOSTICHE INDAGINI INDIRETTE (TRAVERSE SISMICHE E MASW)																					
DATA	DICEMBRE 2011					PROGETTAZIONE															
CODICE CAD-FILE	EA1811T00GG00INDRE002A.doc					IL RESPONSABILE : DOTT. ING. F. BUSOLA															
<small>OPERA PROTETTA AI SENSI DELLA LEGGE 22 APRILE 1941 N. 633 TUTTI I DIRITTI RISERVATI QUALSIASI RIPRODUZIONE ED UTILIZZAZIONE NON AUTORIZZATE SARANNO PERSEGUITE A RIGORE DI LEGGE</small>																					

	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	I	N	D	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 1
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

AUTOSTRADA SIRACUSA-GELA

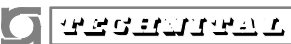
2° TRONCO ROSOLINI - RAGUSA

PROGETTO ESECUTIVO

LOTTO 11 "RAGUSA"

GEOTECNICA

INDAGINI INDIRETTE (TRAVERSE SISMICHE E MASW)

	E	A	1	8	1	1	T	0	0	G	G	0	0	I	N	D	R	E	0	0	2	A	Pag. n. 2
	Pr	Strada		Lotto		Macro opera		Opera		Parte di opera		Tipo elab		N. Elab.		Rev							

INTRODUZIONE

Nel presente documento sono raccolti i certificati di prova delle indagini indirette eseguite per il Lotto 11 “Ragusa”.

Le indagini comprendono:

- 28 traverse sismiche Ts59÷Ts77, Ts63b÷Ts67b, Ts69b, Ts73b, Ts77b effettuate dalla Ditta Lista Appalti – Valsinni (MT) nella campagna del 2003;
- 3 traverse sismiche TOMO S1÷S3 effettuate dalla Ditta Geo Check – Misterbianco (CT) nel 2011;
- 2 Prove sismiche MASW per la classificazione ai fini sismici dei terreni di fondazione delle opere effettuate dalla Ditta Geo Check – Misterbianco (CT) nel 2011.

I certificati di prova sono preceduti da una breve relazione introduttiva prodotta dall’esecutore delle indagini.

La loro contestualizzazione nell’ambito geologico, geomorfologico, sismico, geotecnico e



CONSORZIO PER LE
AUTOSTRAD E SICILIANE

Elaborato n° 8 _ _ _

AUTOSTRADA SIRACUSA-GELA

TECNITAL

S.p.A.
DIREZIONE LAVORI

AUTOSTRADA A18
SIRACUSA - GELA

2-3° TRONCO TRATTA MODICA-GELA

LOTTO 11 "Ragusa"

CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOTECNICHE

Contratto n° 366 del 09.12.2003 reg.to a Messina il 16.12.2003 al n° 6434 serie I

TRAVERSE SISMICHE

Rif. Progetto:

DATA: 15.01.2004

AGG. 23.06.2004

IL DIRETTORE DEI LAVORI
Dott. Geol. Emanuele Fresia



IL RESPONSABILE DEL
PROCEDIMENTO
Dott. Ing. Felice Siracusa

L'IMPRESA
LISTA APPALTI s.r.l.

IL DIRETTORE DI CANTIERE
Dott. Geol. Mario Rosone



Lista Appalti s.r.l.

75029 VALSINNI (MT)
VIA SS. 104 KM 143+200 Tel. (0835) 817079
E- Mail: listaappalti@tiscali.it

Reg. Soc. Trib. Di MT n° 7034
C.C.I.A.A. MT n° 63709
Attestazione SOA n° 1324/10/00
P.iva n° 00657300778



**CANTIERE COMISO – C.da Cascalanella, s.n.
97013 COMISO (RG)**

PROSPEZIONI GEOFISICHE (Sismica a Rifrazione)

Premessa

A completamento della campagna di indagini geognostiche di supporto alla progettazione del lotto n. 11 dell'Autostrada Siracusa – Gela per conto del Consorzio per le Autostrade Siciliane Messina, sono state realizzate n. 28 traverse sismiche ubicate in quei siti ove la Direzione dei Lavori ha ritenuto opportuno dettagliare le conoscenze geologiche dell'area.

Le traverse sismiche sono state realizzate mediante l'esecuzione di un minimo di cinque scoppi per sondaggio mentre l'orientazione e le caratteristiche geometriche degli stendimenti sono stati di volta in volta stabiliti per meglio adattare il tipo d'indagine alle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dello specifico sito tenendo conto degli scopi della singola indagine e delle situazioni tecniche – operative di volta in volta riscontrate.

Descrizione del metodo

La sismica a rifrazione analizza il sottosuolo mediante lo studio degli effetti che le onde di pressione, generate da una sorgente artificiale, producono attraversando rocce con caratteristiche elastiche differenti. Le onde elastiche, attraversando queste discontinuità, sono sottoposte al fenomeno della rifrazione e, secondo opportune geometrie, possono risalire in superficie, essere intercettate dai geofoni e registrate dal sismografo.

I dati così raccolti vengono, in fase di elaborazione, filtrati ed interpretati riportando nell'asse delle ordinate di un grafico (tempi – distanze) con scale lineari, i tempi di percorrenza impiegati dai fronti d'onda per giungere dal punto di energizzazione sino ai vari geofoni. Mentre, sull'asse delle ascisse vengono riportate le distanze dei singoli geofoni dai punti di energizzazione. Il diagramma così ottenuto, è chiamato dromocrona e fornisce informazioni sulla velocità delle onde elastiche nel sottosuolo e sull'orientazione degli

orizzonti rifrattori eventualmente presenti.

L'analisi delle spezzate costituenti la dromocrona permette di modellizzare l'andamento dei rifrattori e le velocità che le onde sismiche assumono percorrendoli, ottenendo un modello interpretativo delle velocità del sottosuolo.

Esecuzione delle indagini

I sondaggi sono stati eseguiti con un sismografo digitale, Dolang JEA telemetry a 24 bit, 12 canali, gestito da un computer portatile, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

Specifiche tecniche Dolang JEA Telemetry 24 bit	
Sampling intervals	13.8 microsec to 1 sec
Number of Samples per Trace	8 K per ch
TSA	0.005 %
Delay Time	0 - 8000 sec.
Pre-trigger	up to 8K
Input protection	Analog filter & diode
Input gain	0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB
Input impedance	matched to sensor
Gain Accuracy	+/- 0.2%
Maximum Input Signal	+/- 2 V at 0 dB gain
Frequency response	3 - 4000 Hz
Analog Anti Alias filter	4.7 kHz 6 dB / octave
Oversampling	x16 sampling rate
Digital filtering	Low-pass, High-pass Band-pass, Multiple notch
A/D Resolution	24 bit
Dynamic Resolution	117 dB
Crossfeed Isolation	100 dB
THD + noise	97 dB
Operating temperature	0°- 50°C
Geophones	14Hz vertical a.p.c.r. for 24 bit

Per la scelta ottimale del tipo di sorgente da utilizzare numerose sono state le prove tecniche eseguite sul campo, in funzione del tipo di litologia riscontrata, in particolare si è potuto sperimentare che l'utilizzo della mazza da 10 o 15 kg dotata di starter e piattello di battuta, è risultato essere il più indicato per il tipo di litologie e di copertura agraria presenti nei siti esaminati. Infatti, anche l'utilizzo del minibang caricato con cartucce a salve, non è risultato in grado di produrre un'onda elastica con energia tale da propagarsi nel sottosuolo ed energizzare stendimenti di lunghezza maggiore ai 50 m in presenza di terreni di copertura

soffici, in quanto gran parte dell'energia veniva dissipata generando una piccola cavità in prossimità del punto di scoppio. L'utilizzo del minibang è stato, per ovvi motivi, oggettivamente improponibile nelle zone con calcari affioranti o con ridotto spessore della copertura agraria.

La lunghezza degli stendimenti è stata adattata, di volta in volta, e col consenso della Direzione dei Lavori, alle condizioni ambientali riscontrate in modo tale da ottenere una sufficiente energizzazione del terreno e risultati congrui con gli scopi dell'indagine,

La procedura utilizzata ha previsto l'esecuzione in situ di un minimo di cinque punti di energizzazione per sondaggio, due esterni, agli estremi dello stendimento, per lo studio delle velocità degli strati più profondi, due in prossimità dei geofoni ed almeno uno nella zona centrale dello stendimento per individuare le variazioni laterali degli strati superficiali.

L'interpretazione è stata eseguita col metodo dei tempi intercetta ottenendo il modello delle profondità e delle velocità al di sotto dei punti di scoppio.

In ogni scheda relativa ad ogni stendimento eseguito è stata riportata una fotografia dello stendimento stesso, la curva tempi – distanze (dromocrona) con la relativa orientazione rispetto ai punti cardinali e la sezione sismostratigrafica interpretativa con i riferimenti numerici dei sondaggi meccanici eventualmente eseguiti nelle vicinanze. Sulla sezione sismostratigrafica interpretativa è possibile leggere le velocità calcolate per ogni singolo rifratore modellizzato e la sua disposizione spaziale ricavata con il metodo interpretativo dei tempi intercetta indicata con degli archetti rossi in corrispondenza dei punti di scoppio.

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche geometriche degli stendimenti. L'orientamento dello stendimento rispetto al Nord magnetico è stato misurato considerando come direzione dello stendimento quella che va dal primo scoppio verso l'ultimo scoppio.

Numero di riferimento	Distanza primo scoppio – secondo scoppio	Interdistanza geofonica (m)	Stesa geofonica (m)	Lunghezza stendimento (m)	Distanza geofono n.1 – secondo scoppio (m)	Numero di scoppi	Orientamento (Azimut)
Ts 59	12	2	24	48	1	5	232°
Ts 60	12	2	24	48	1	5	126°
Ts 61	12	2	24	48	1	5	236°
Ts 62	12	2	24	48	1	5	151°
Ts 63	12	2	24	48	1	5	238°
Ts 63b	12	2	24	48	1	5	74°
Ts 64	12	2	24	48	1	5	140°

Numero di riferimento	Distanza primo scoppio – secondo scoppio	Interdistanza geofonica (m)	Stesa geofonica (m)	Lunghezza stendimento (m)	Distanza geofono n.1 – secondo scoppio (m)	Numero di scoppi	Orientamento (Azimut)
✓ Ts 64b	12	2	24	48	1	5	236°
✓ Ts 65	12	2	24	48	1	5	41°
✓ Ts 65b	12	2	24	48	1	5	293°
Ts 65c	12	2	24	48	1	5	218°
Ts 66	6	2	24	36	1	5	126°
Ts 66b	12	2	24	48	1	5	62°
✓ Ts 67	12	2	24	48	1	5	247°
✓ Ts 67b	12	2	24	48	1	5	348°
✓ Ts 68	12	2	24	48	1	5	242°
✓ Ts 69	12	2	24	48	1	5	236°
✓ Ts 69b	12	2	24	48	1	5	51°
✓ Ts 70	12	2	24	48	1	5	72°
✓ Ts 71	12	2	24	48	1	5	142°
✓ Ts 72	12	2	24	48	1	5	6°
✓ Ts 73	12	2	24	48	1	5	160°
✓ Ts 73b	12	2	24	48	1	5	66°
✓ Ts 74	12	2	24	48	1	5	171°
✓ Ts 75	12	2	24	48	1	5	274°
✓ Ts 76	12	2	24	48	1	5	143°
✓ Ts 77	12	2	24	48	1	5	231°
✓ Ts 77b	12	2	24	48	1	5	324°

Comiso, li 22/02/2004

Il Responsabile del Servizio Geofisico

(dott. geol. Salvatore Carrubba)

Salvatore Carrubba



Il Direttore di Cantiere

(dott. geol. Mario Rosone)

Mario Rosone

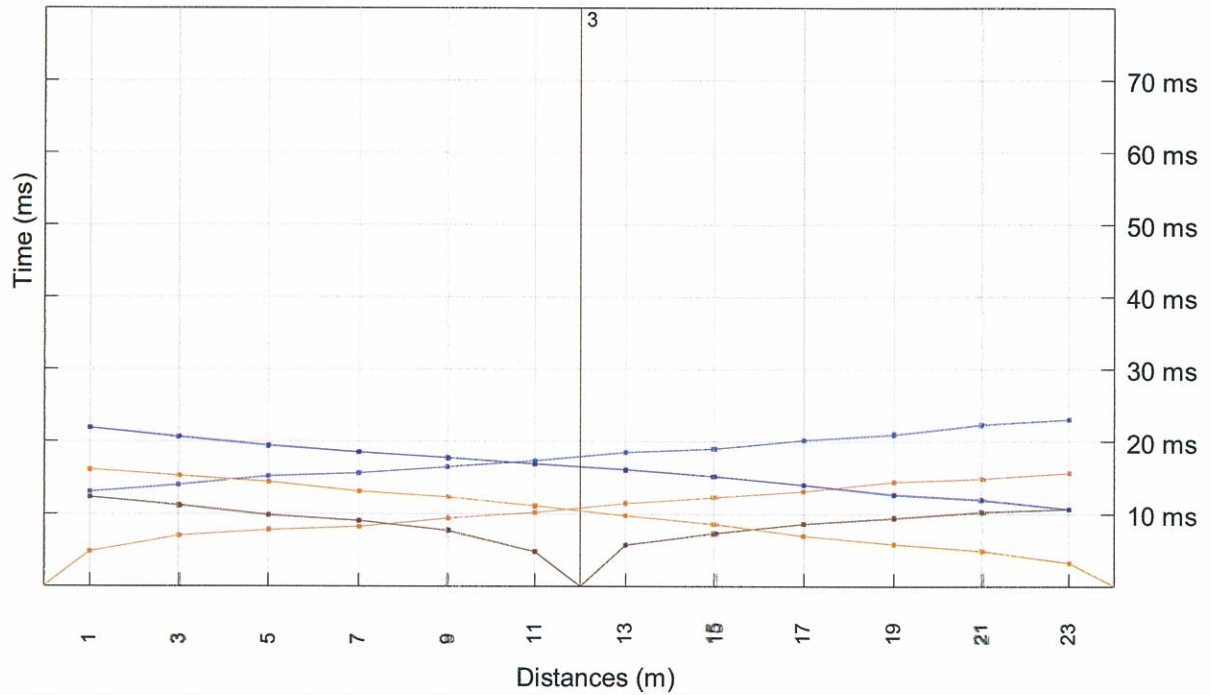
TRAVERSA SISMICA TS59



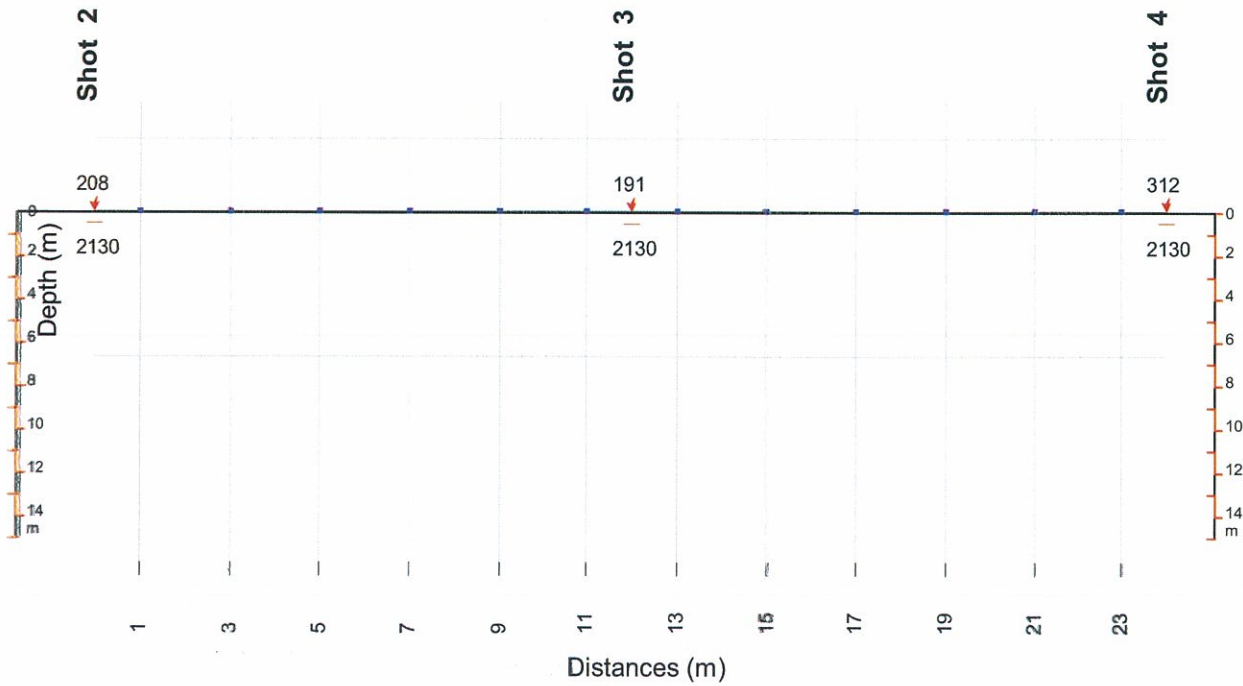
DROMOCRONA

Nord-Est

Sud-Ovest



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



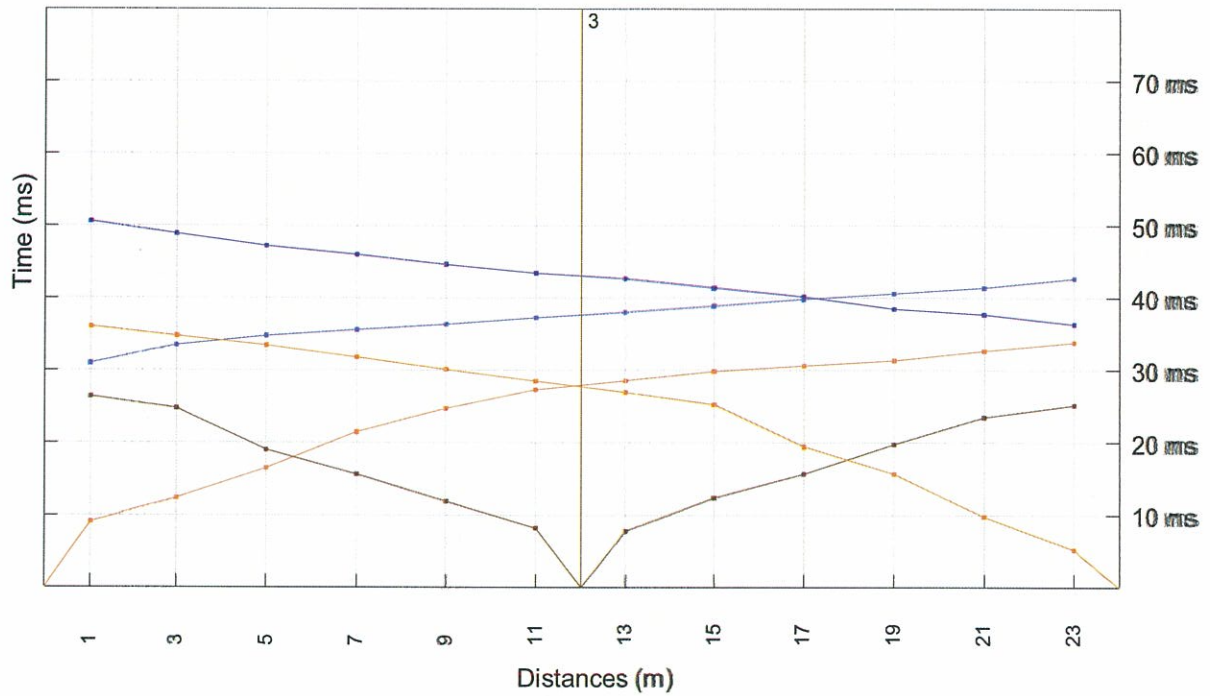
TRAVERSA SISMICA TS60



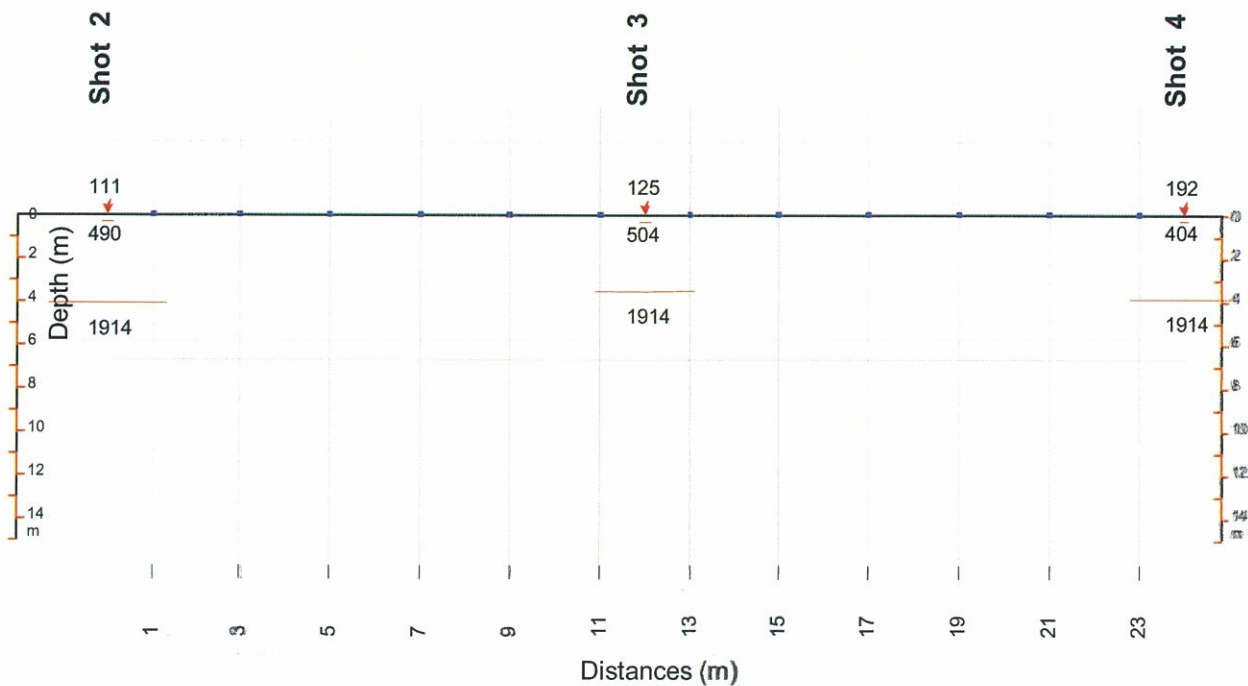
DROMOCRONA

Nord-Ovest

Sud-Est



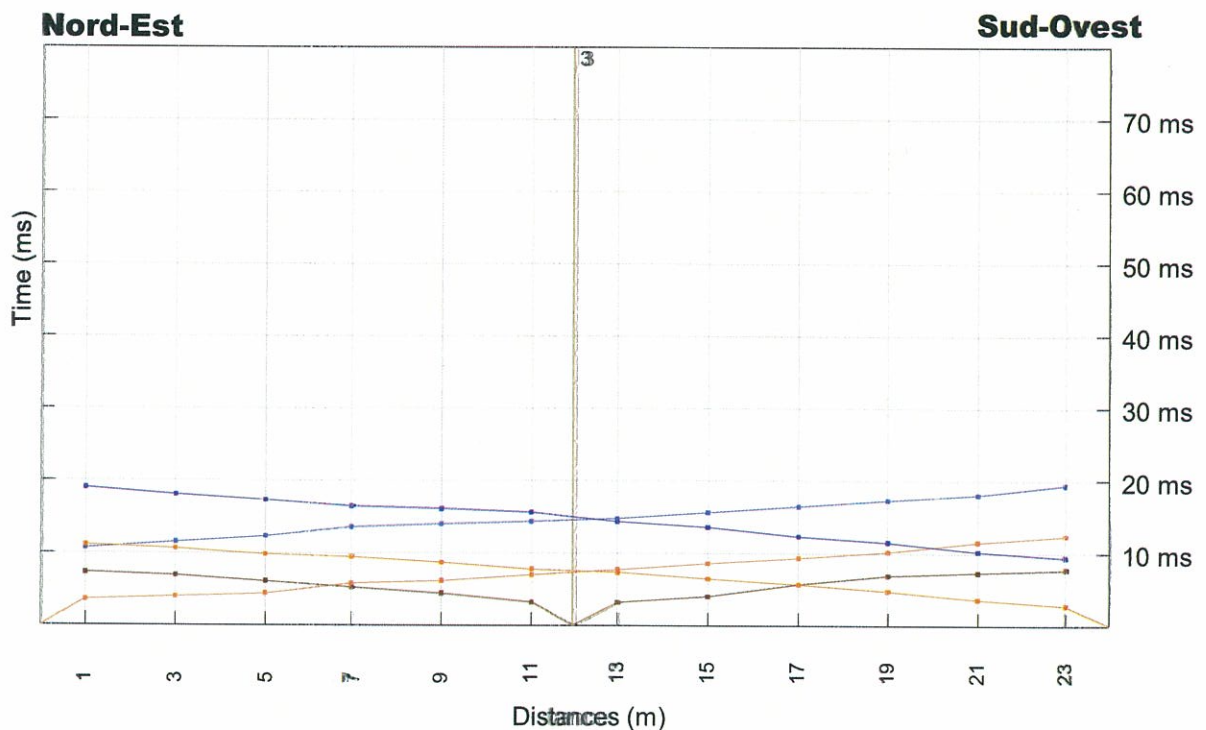
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



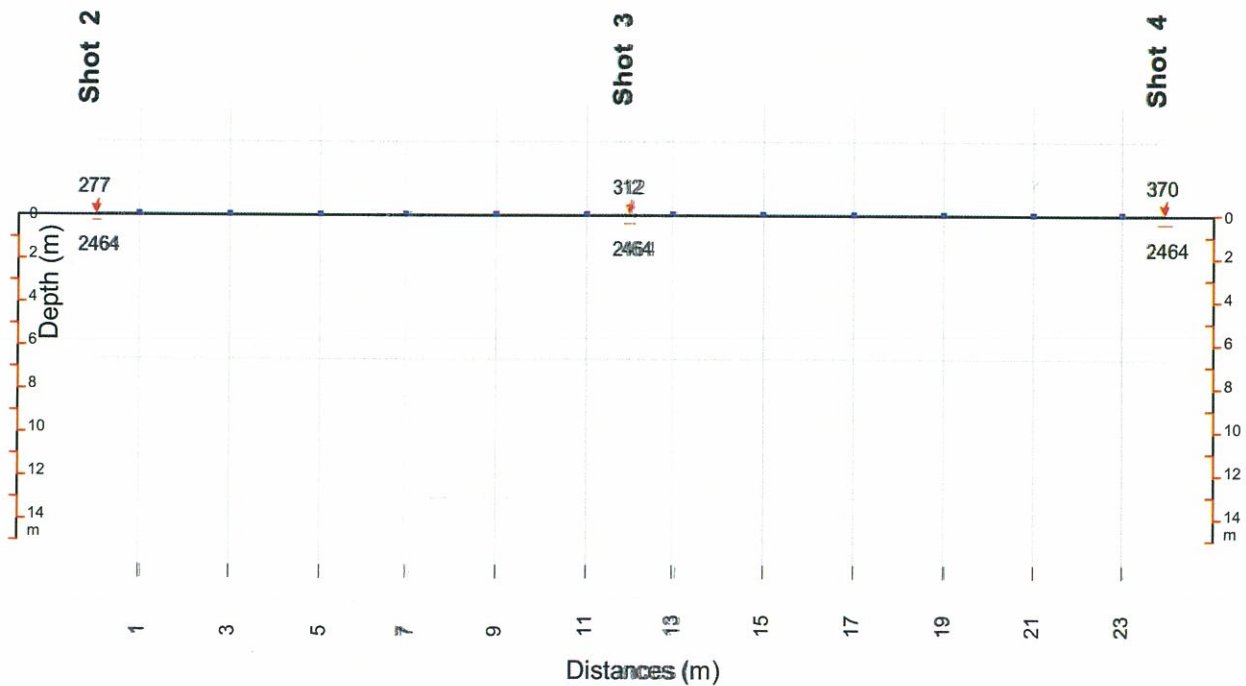
TRAVERSA SISMICA TS61



DROMOCRONA



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



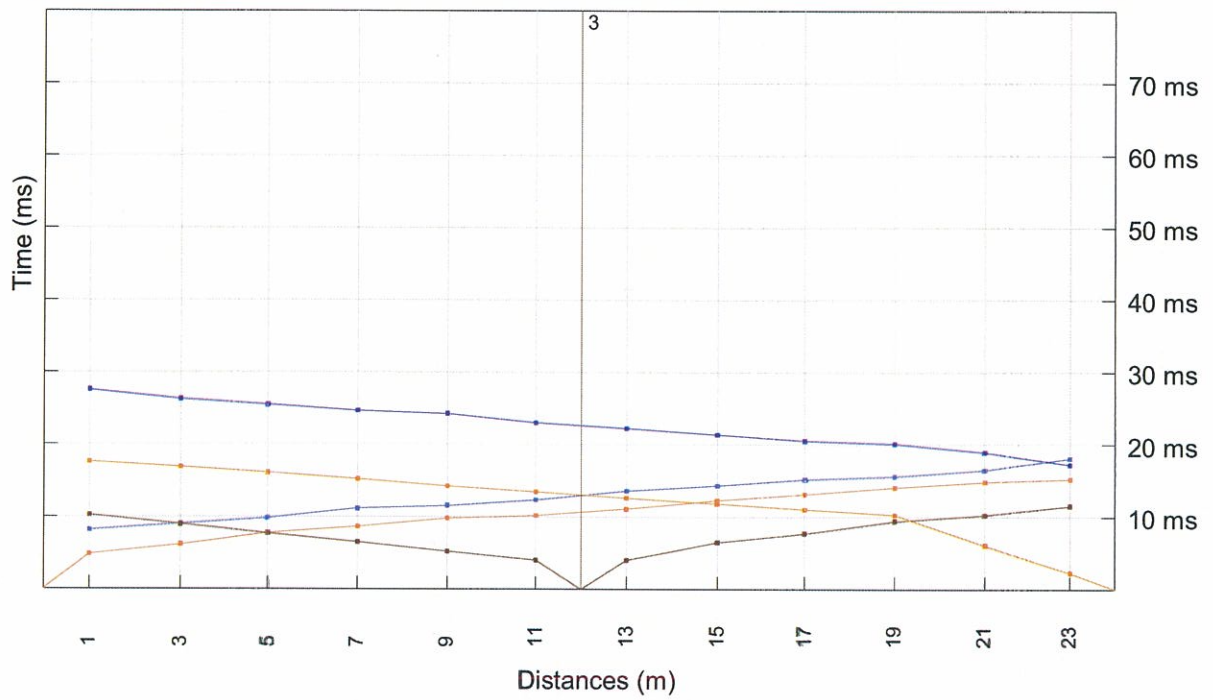
TRAVERSA SISMICA TS62



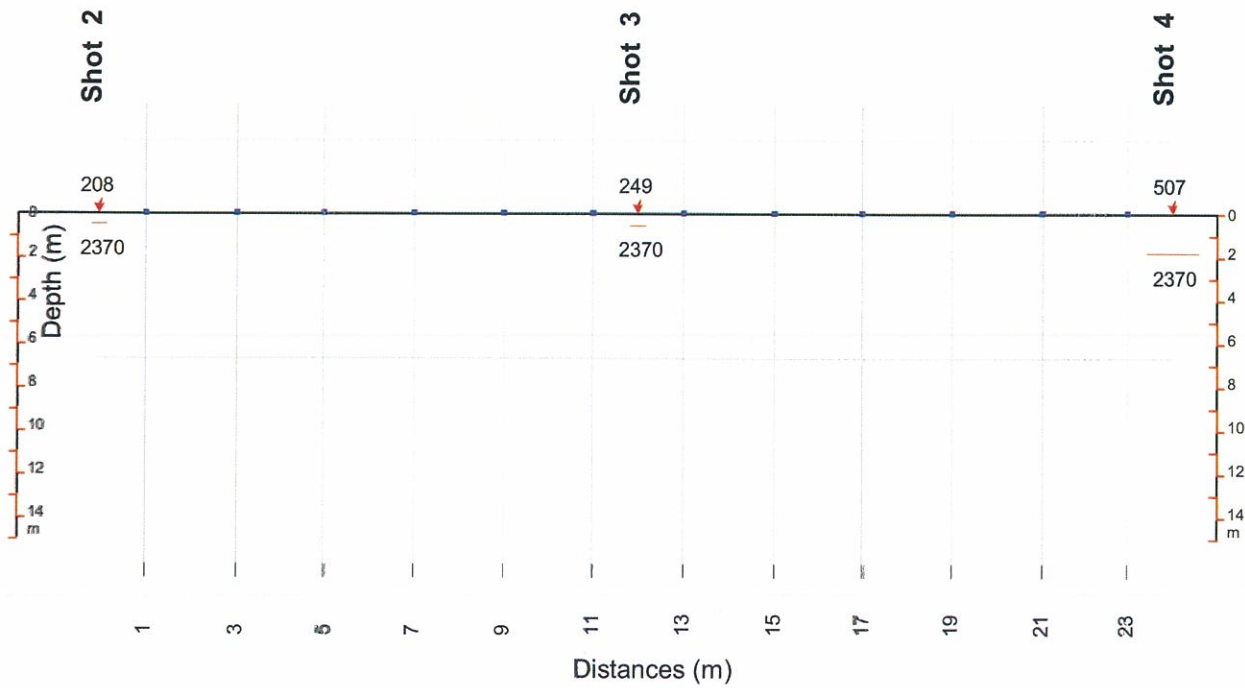
DROMOCRONA

Nord-Ovest

Sud-Est



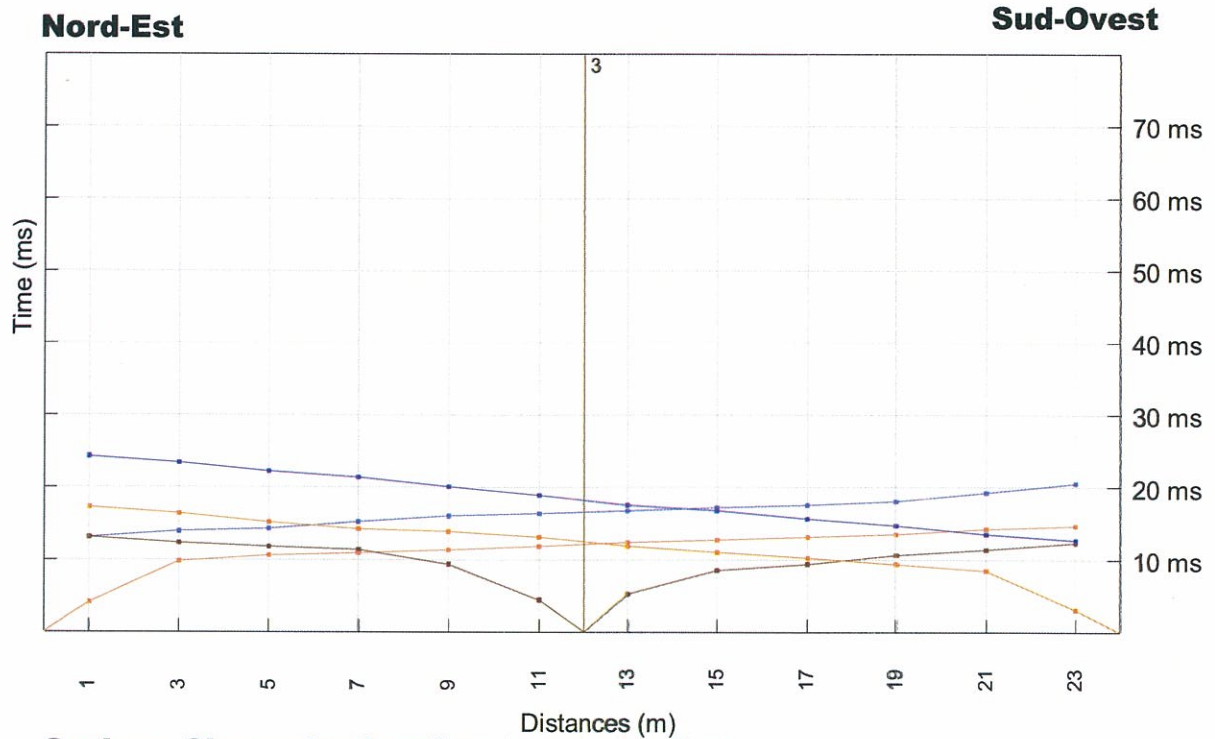
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



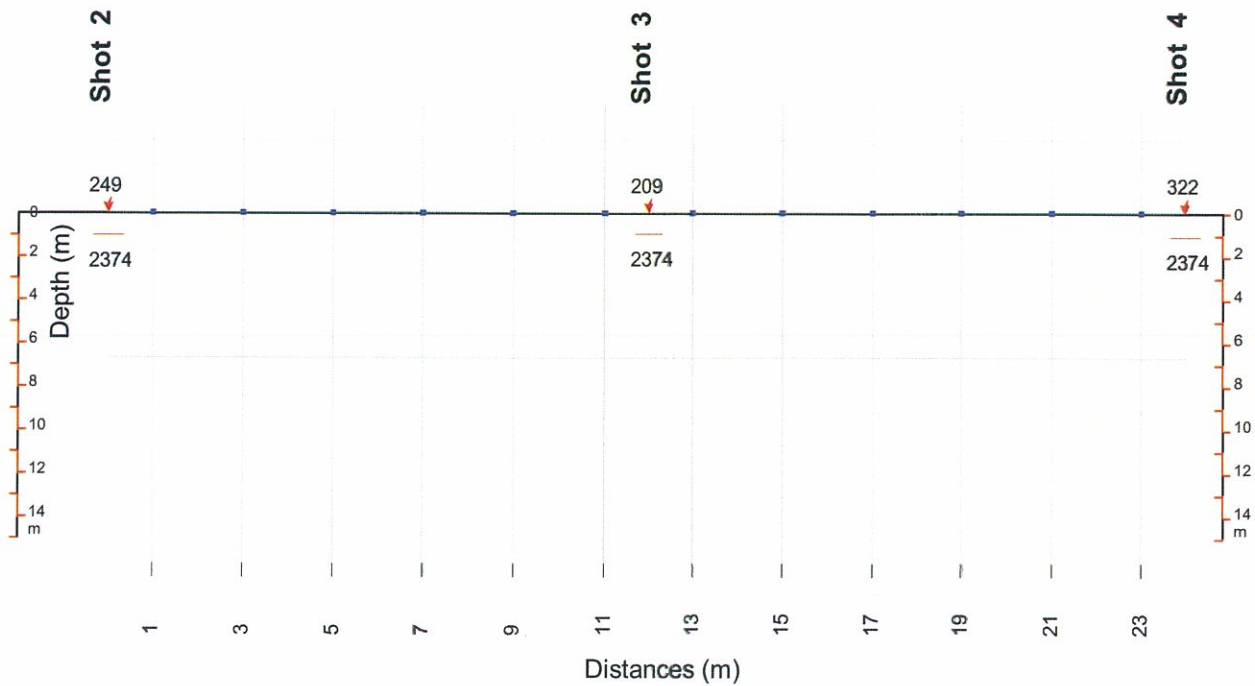
TRAVERSA SISMICA TS63



DROMOCRONA



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



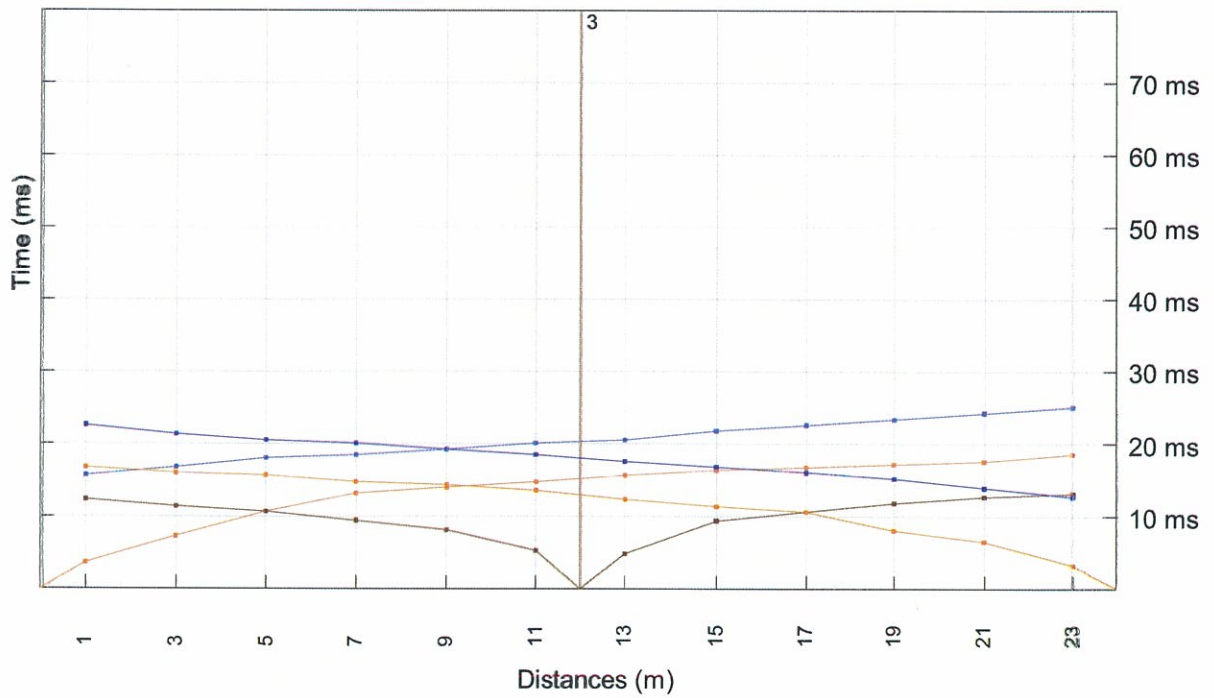
TRAVERSA SISMICA TS63b



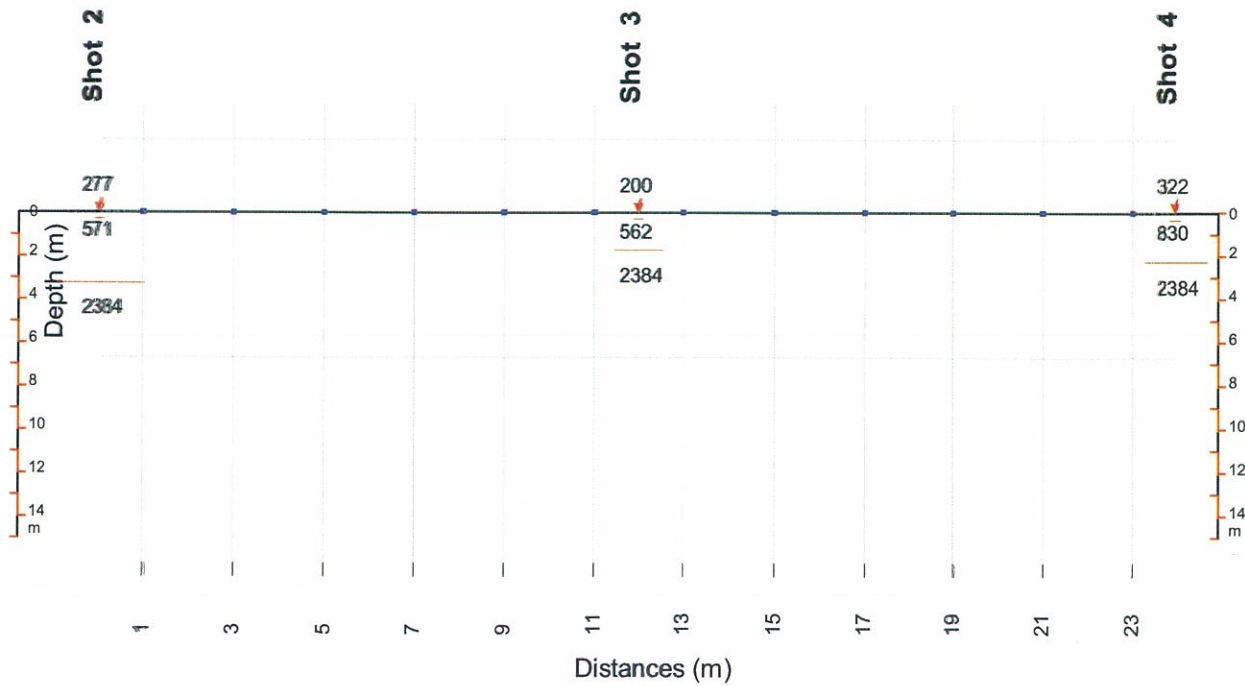
DROMOCRONA

Ovest

Est



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



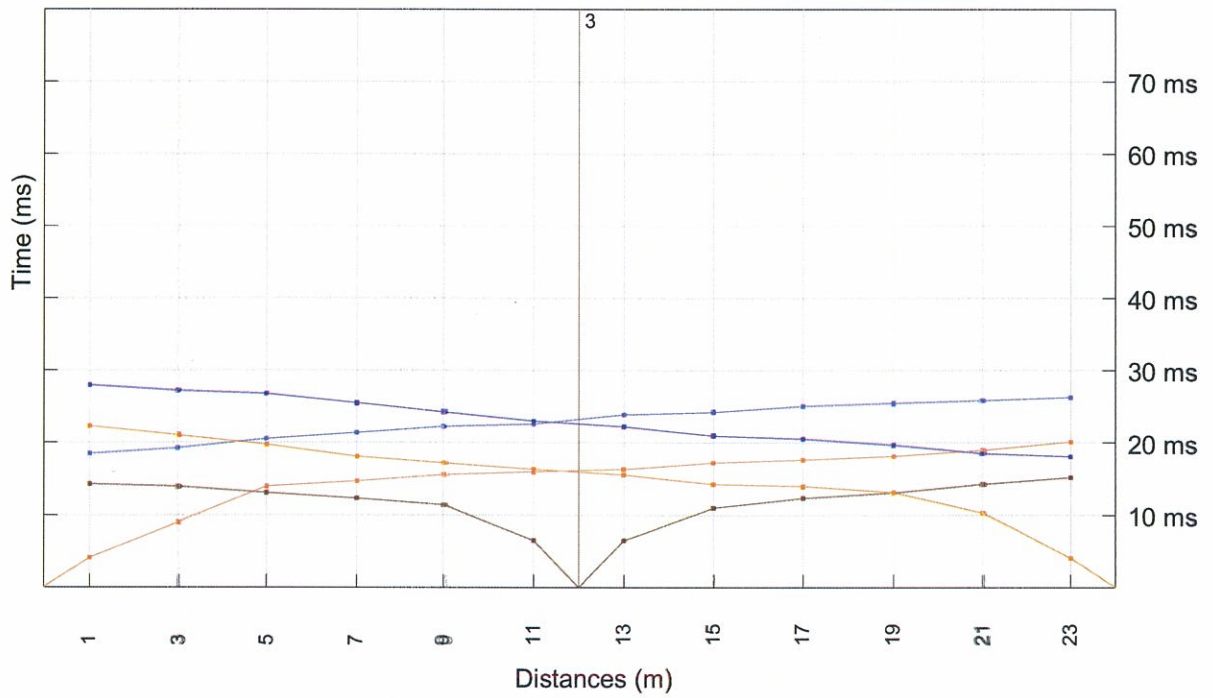
TRAVERSA SISMICA TS64



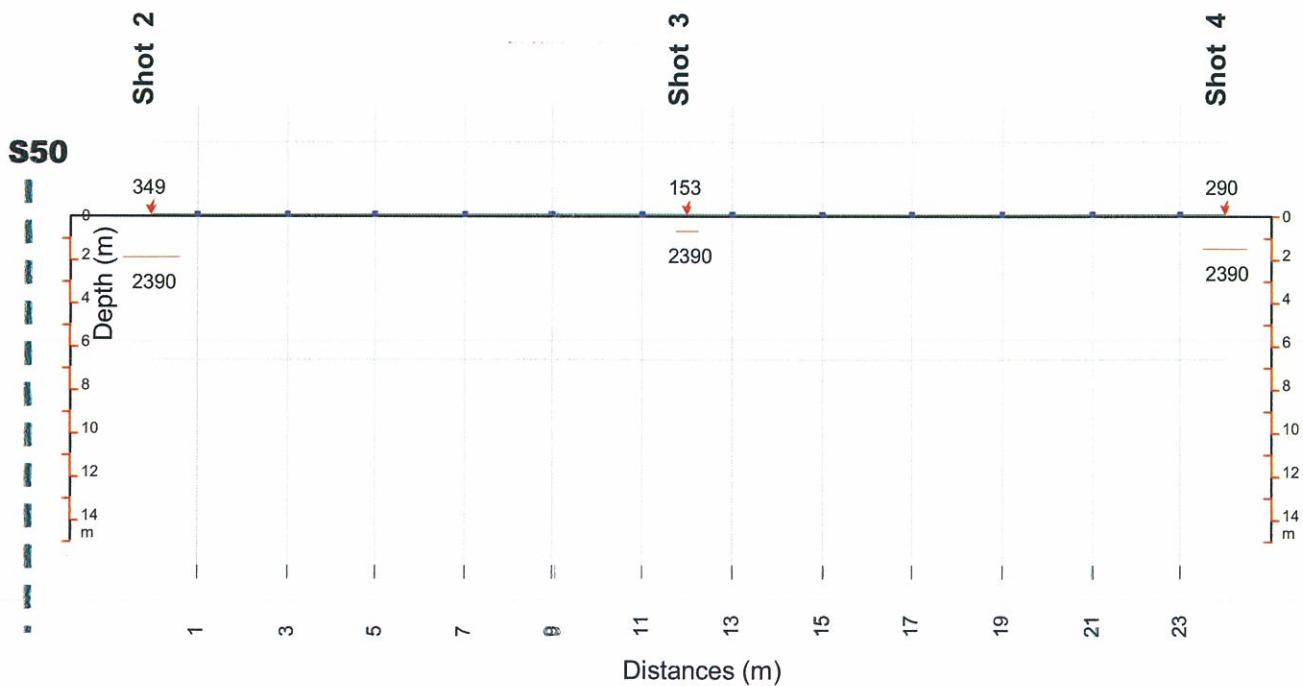
DROMOCRONA

Nord-Ovest

Sud-Est



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa

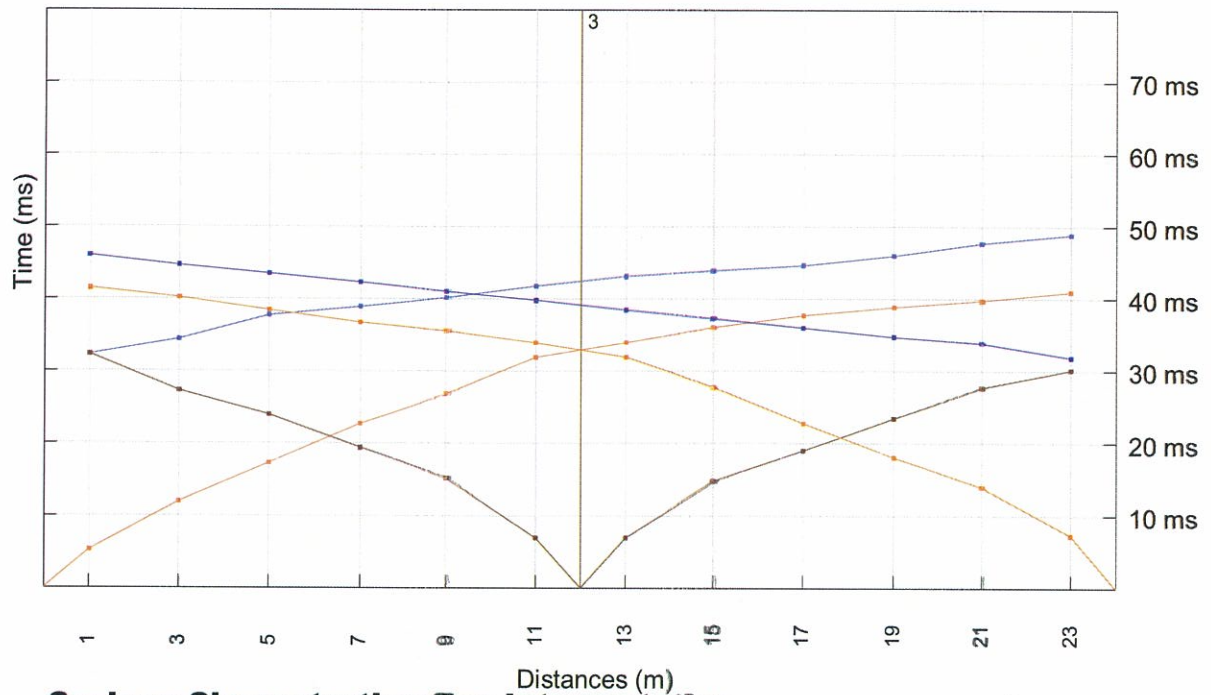


TRAVERSA SISMICA TS64b

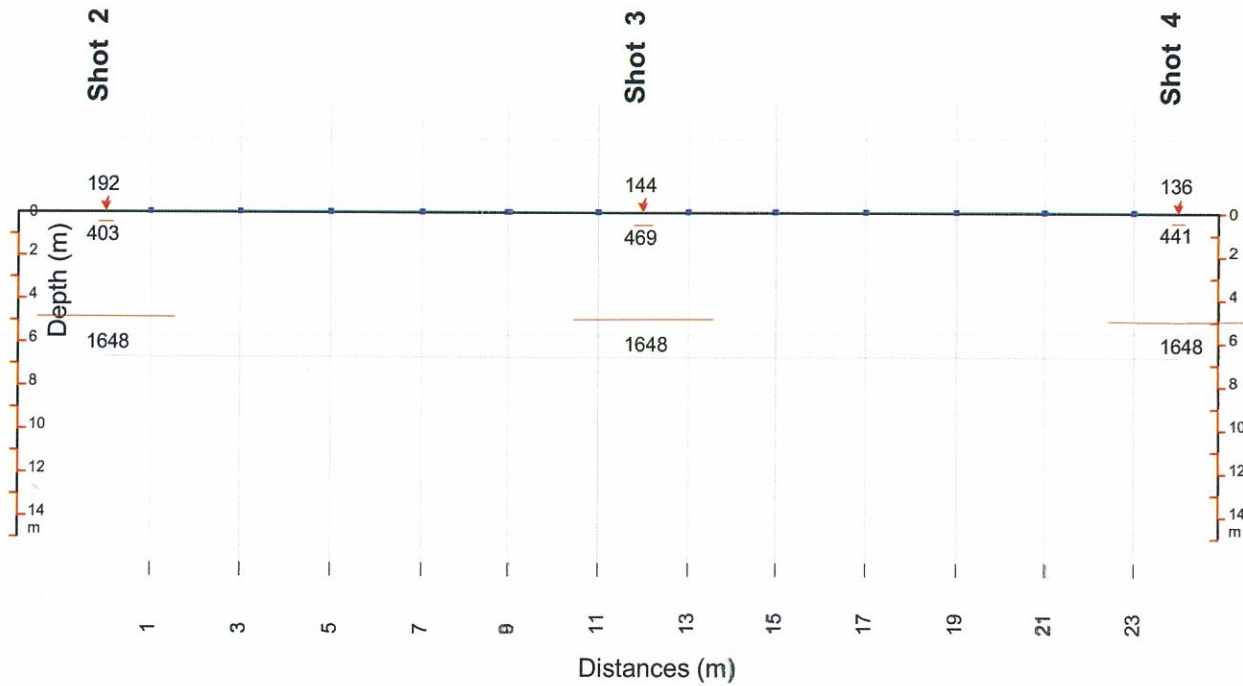
DROMOCRONA

Nord-Est

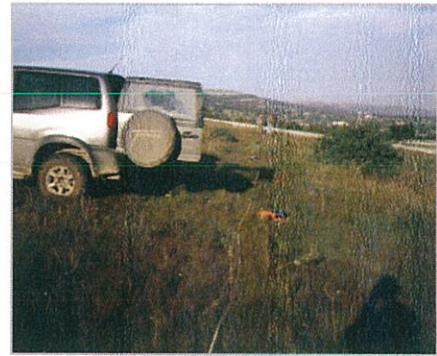
Sud-Ovest



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



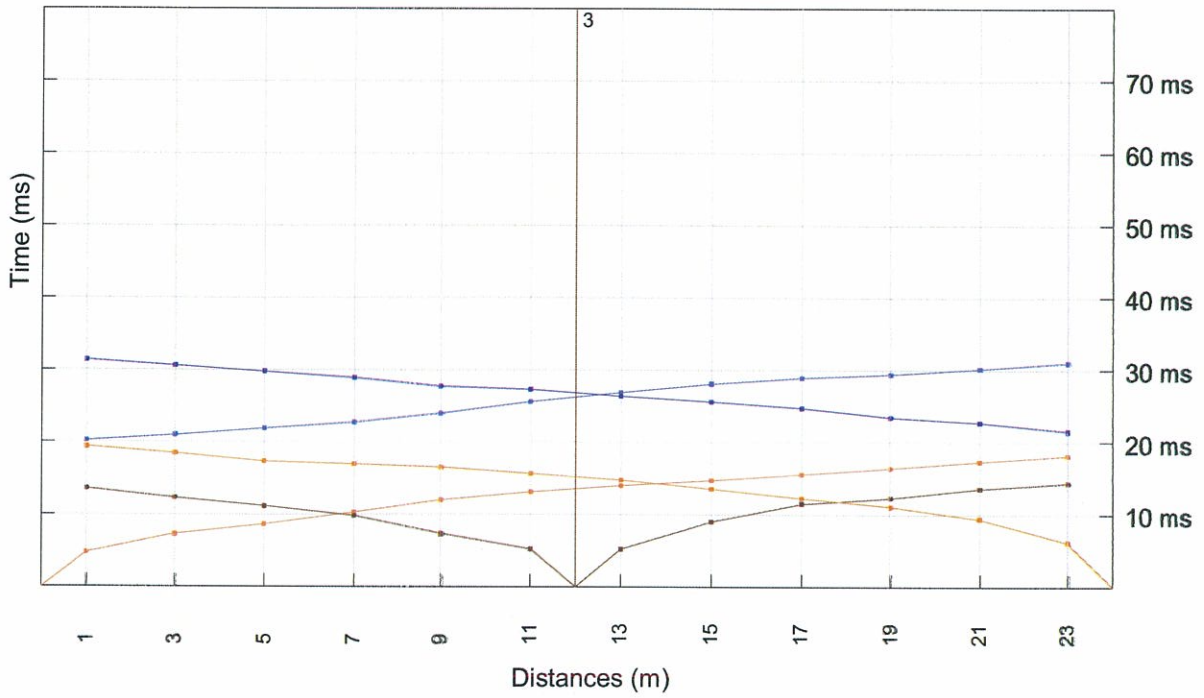
TRAVERSA SISMICA TS65



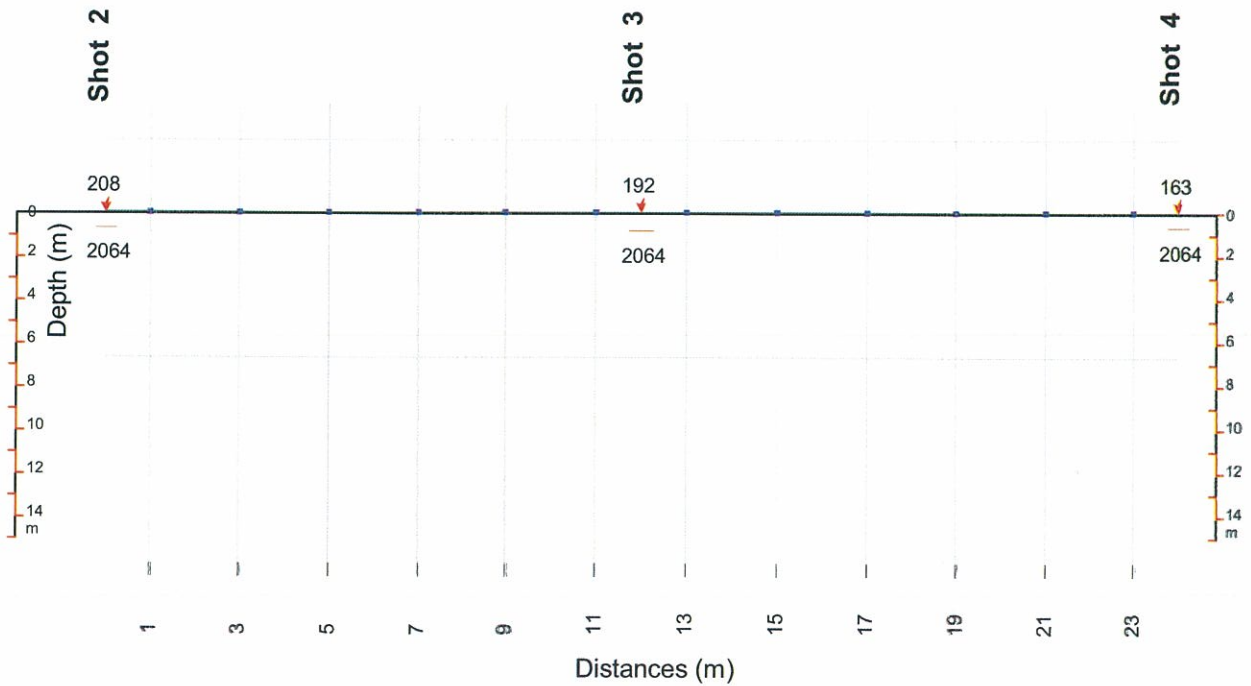
DROMOCRONA

Sud-Ovest

Nord-Est



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



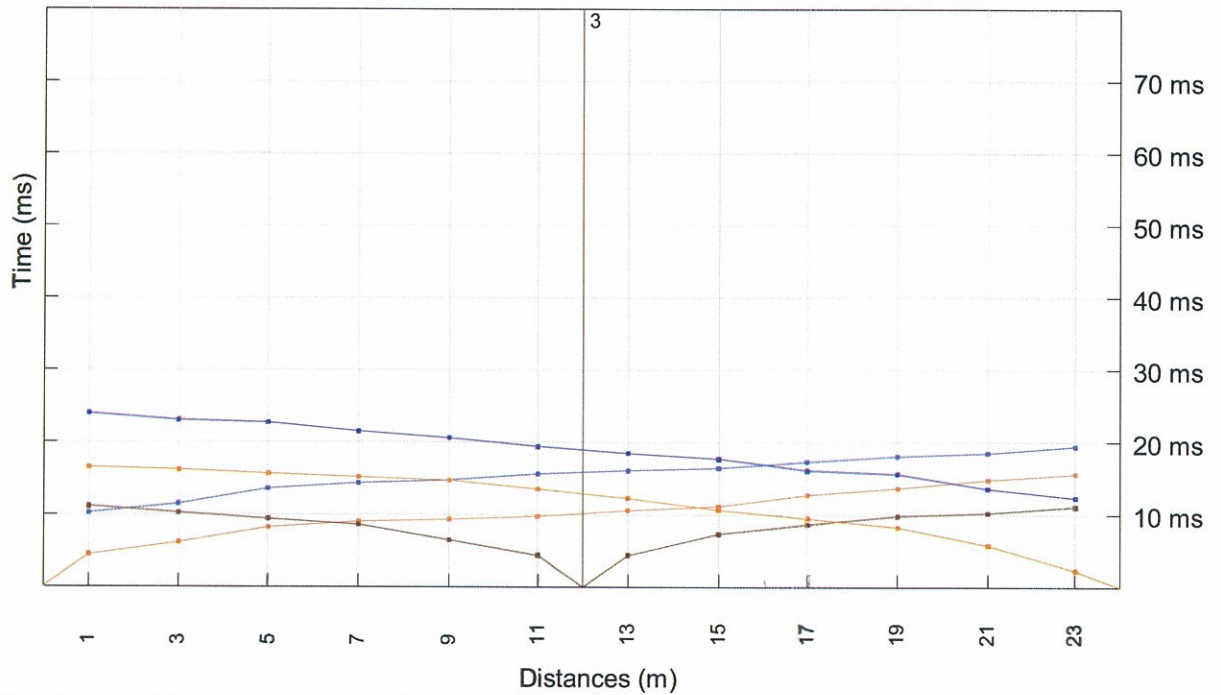
TRAVERSA SISMICA TS65b



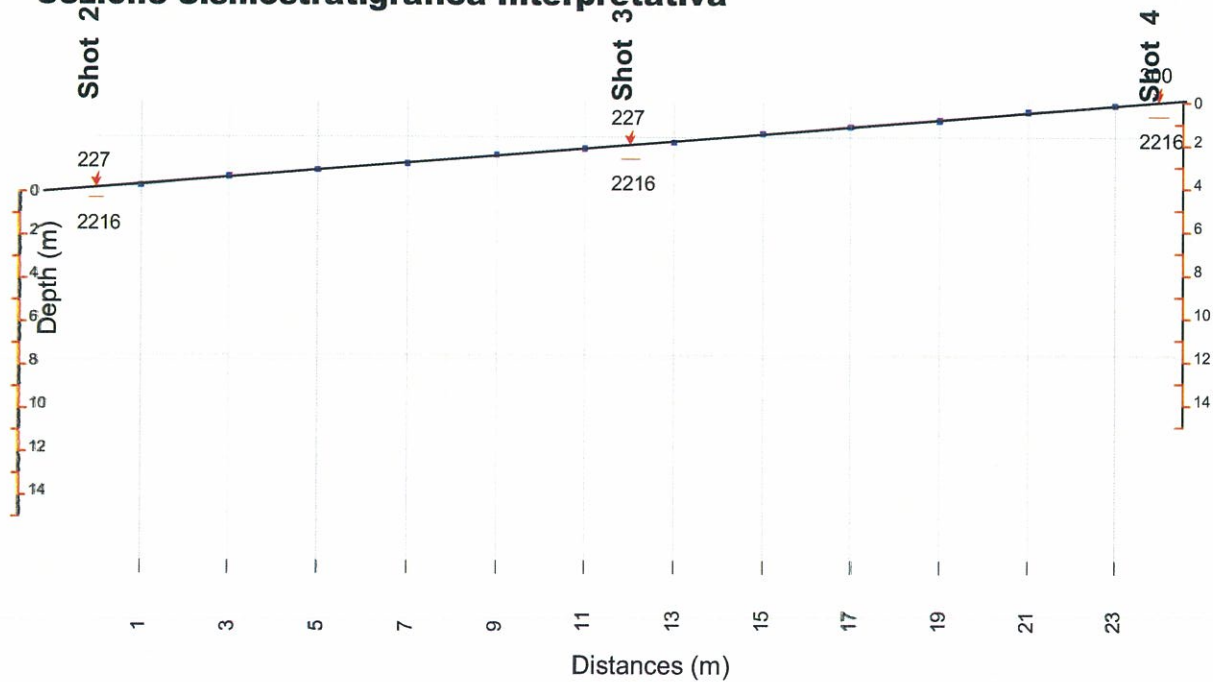
DROMOCRONA

Sud-Est

Nord-Ovest



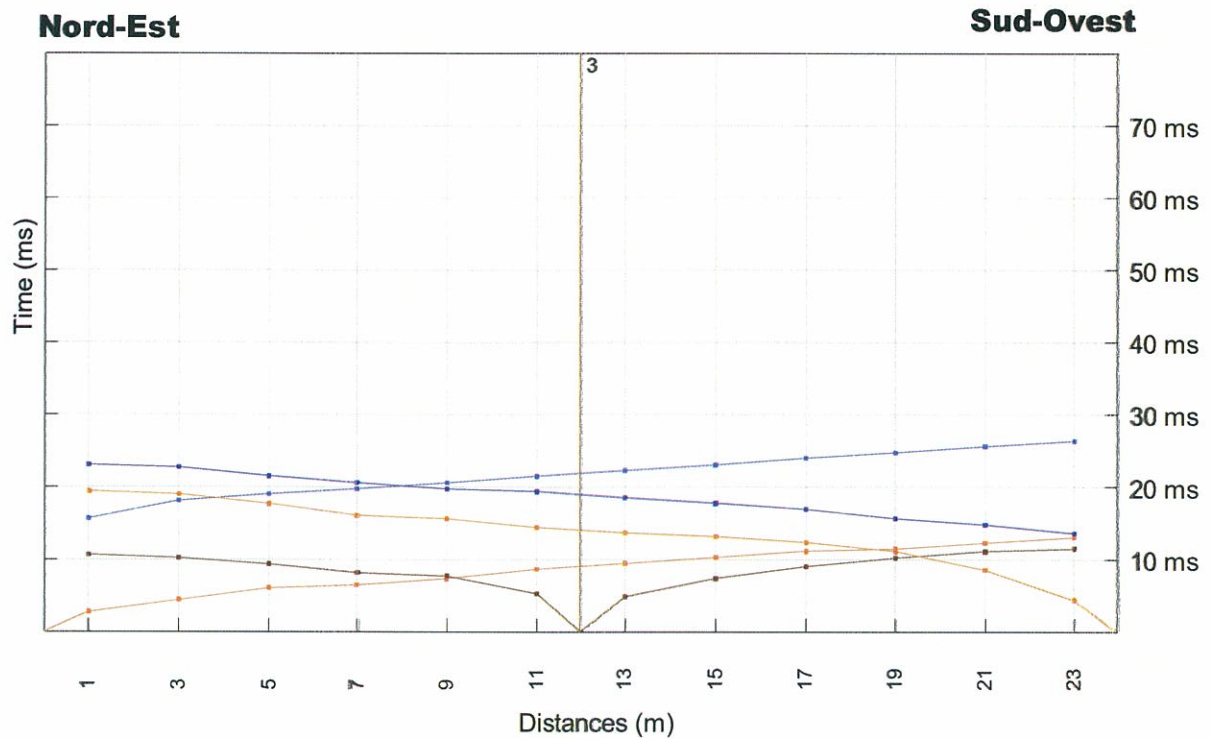
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



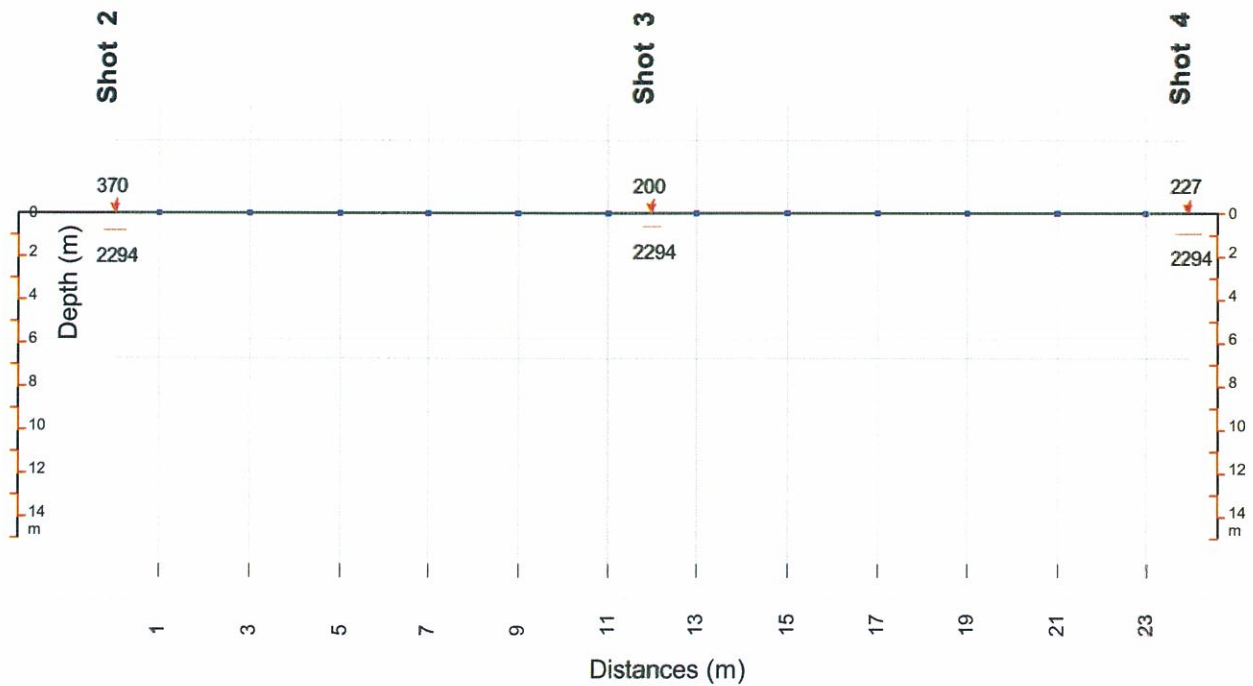
TRAVERSA SISMICA TS65c



DROMOCRONA



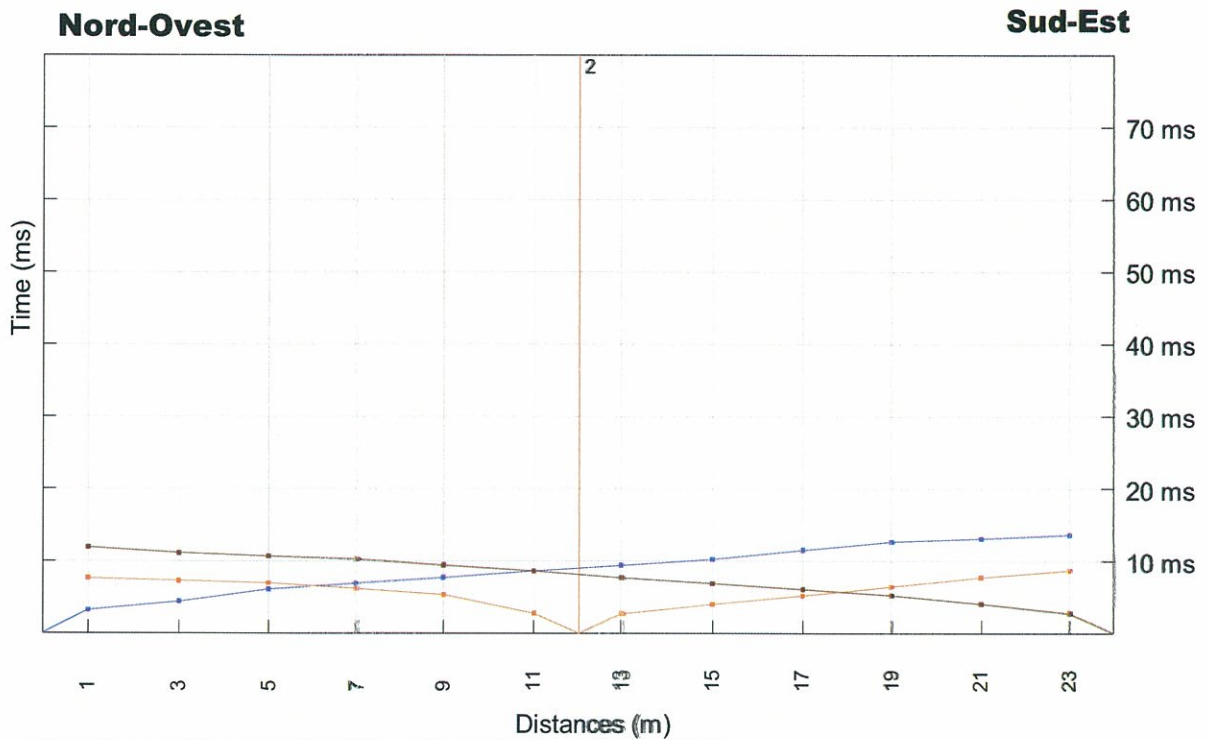
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



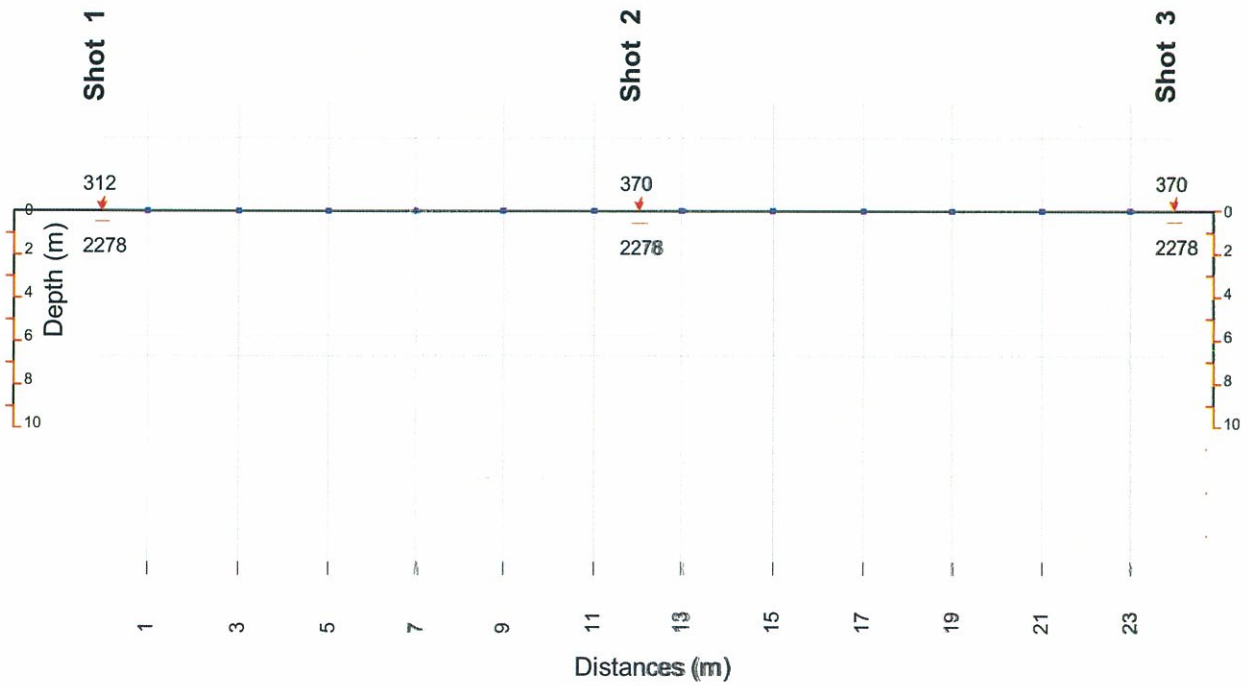
TRAVERSA SISMICA TS66



DROMOCRONA



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa

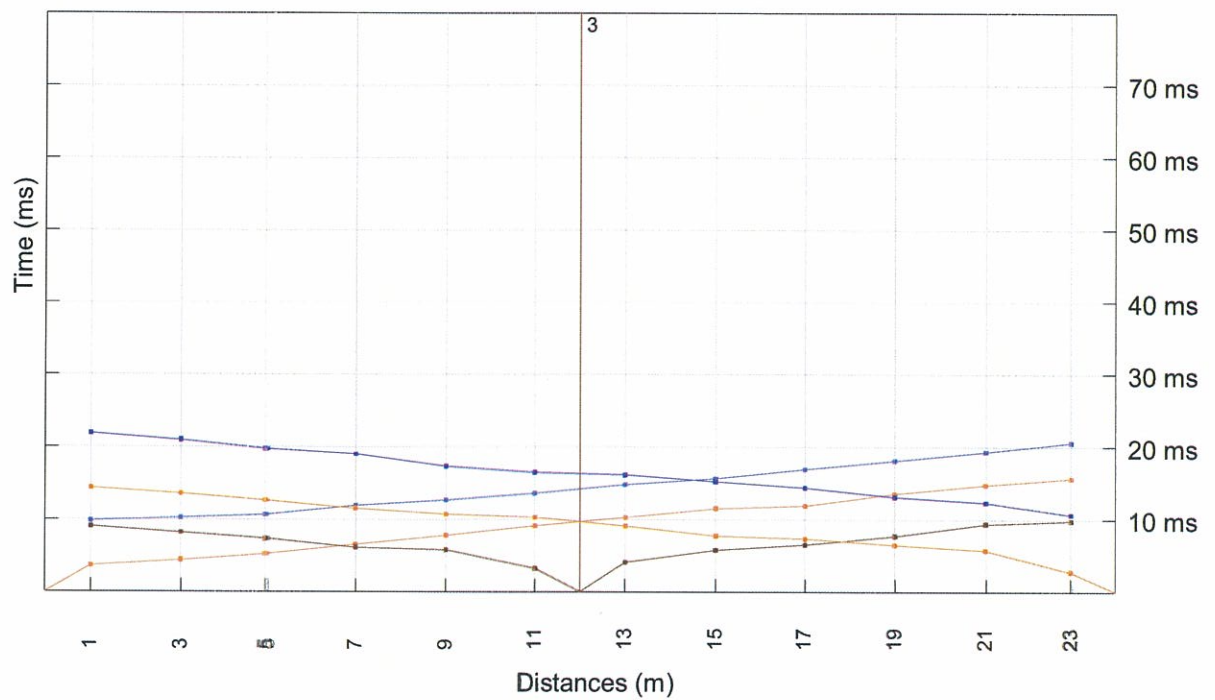


TRAVERSA SISMICA TS66b

DROMOCRONA

Sud-Ovest

Nord-Est

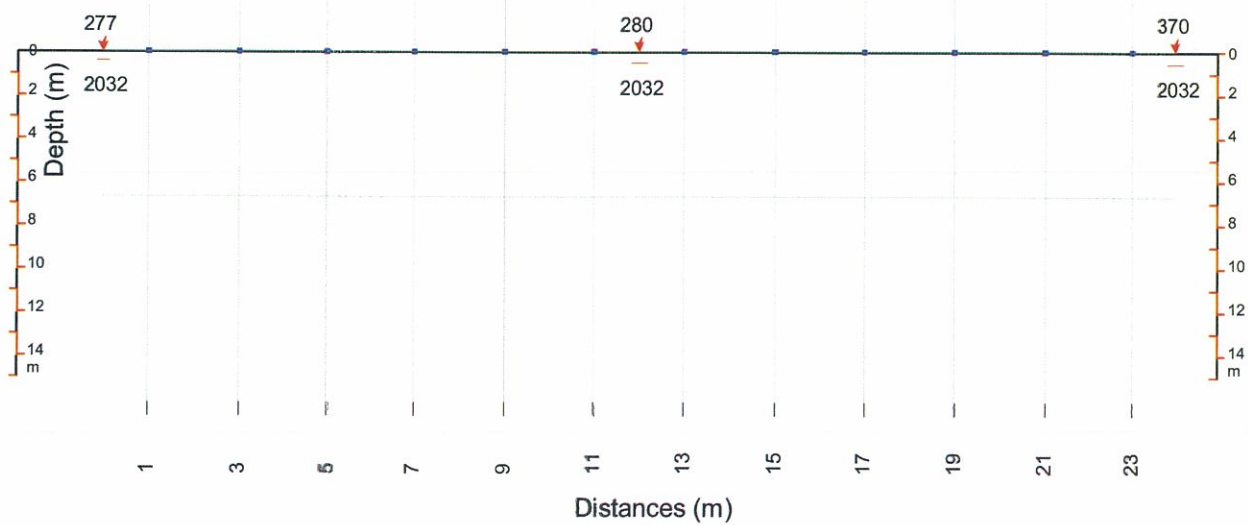


Sezione Sismostratigrafica Interpretativa

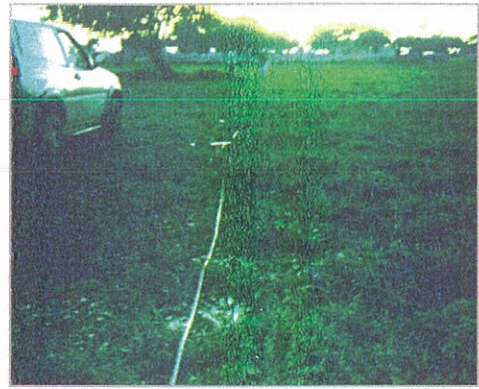
Shot 2

Shot 3

Shot 4



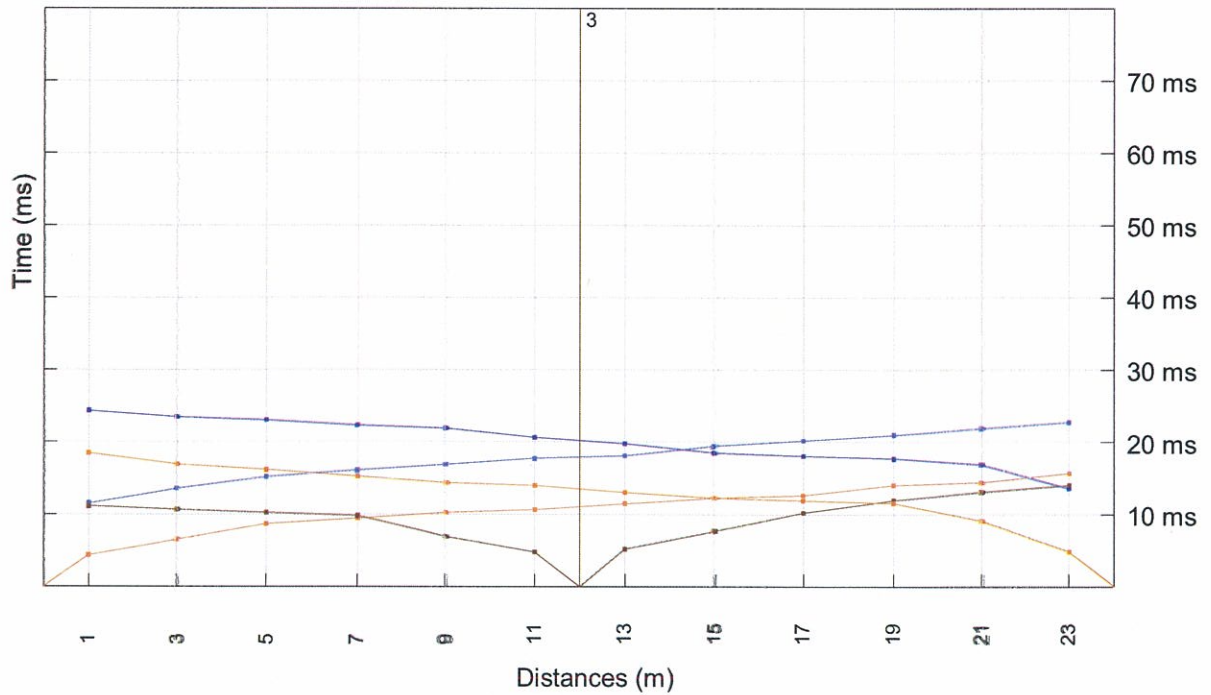
TRAVERSA SISMICA TS67



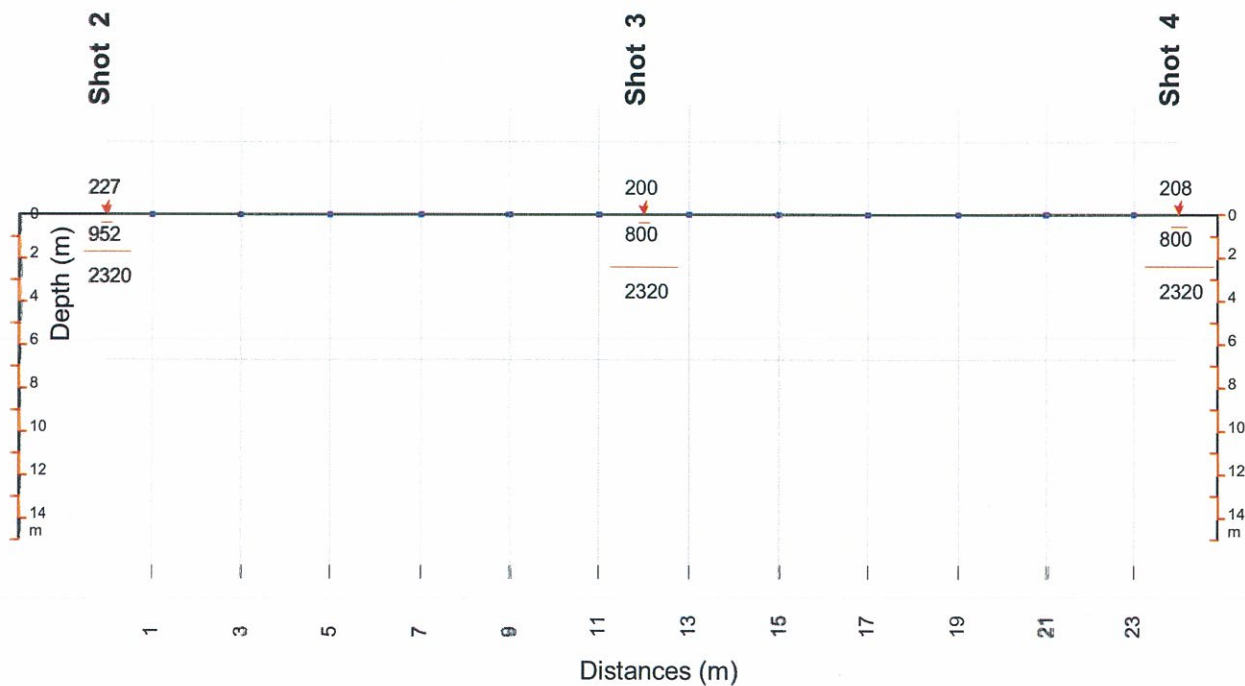
DROMOCRONA

Nord-Est

Sud-Ovest



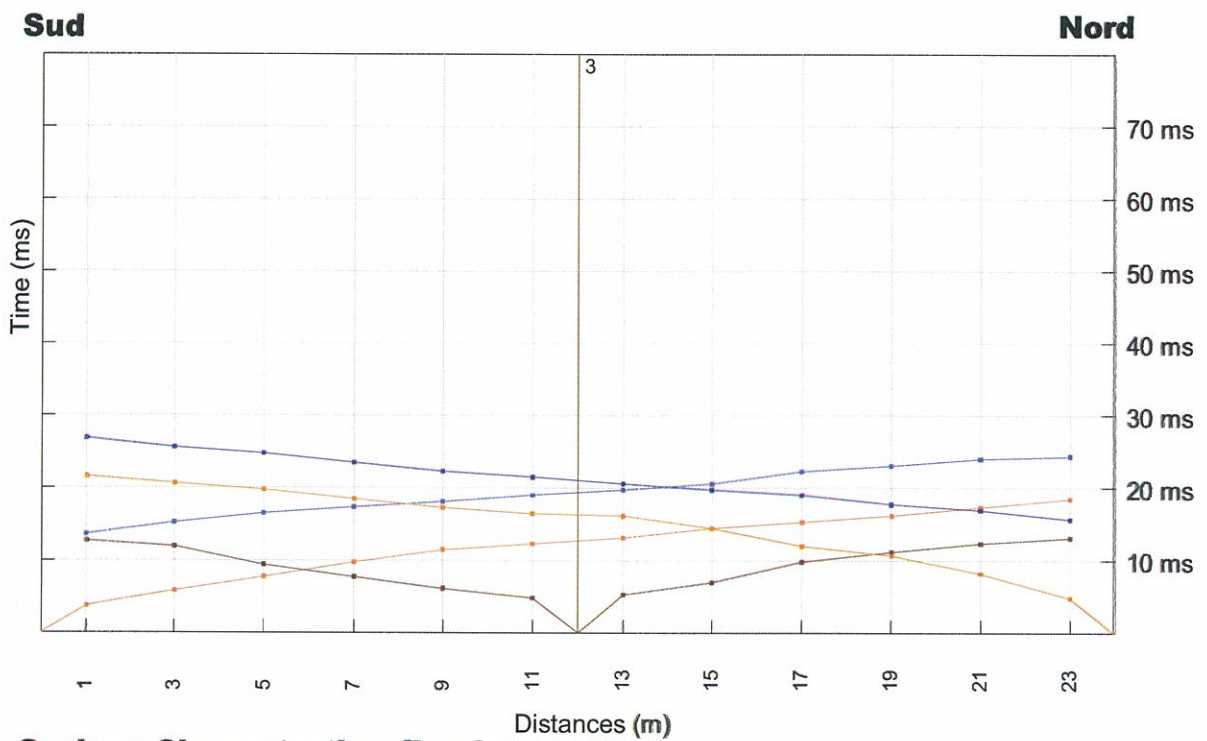
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



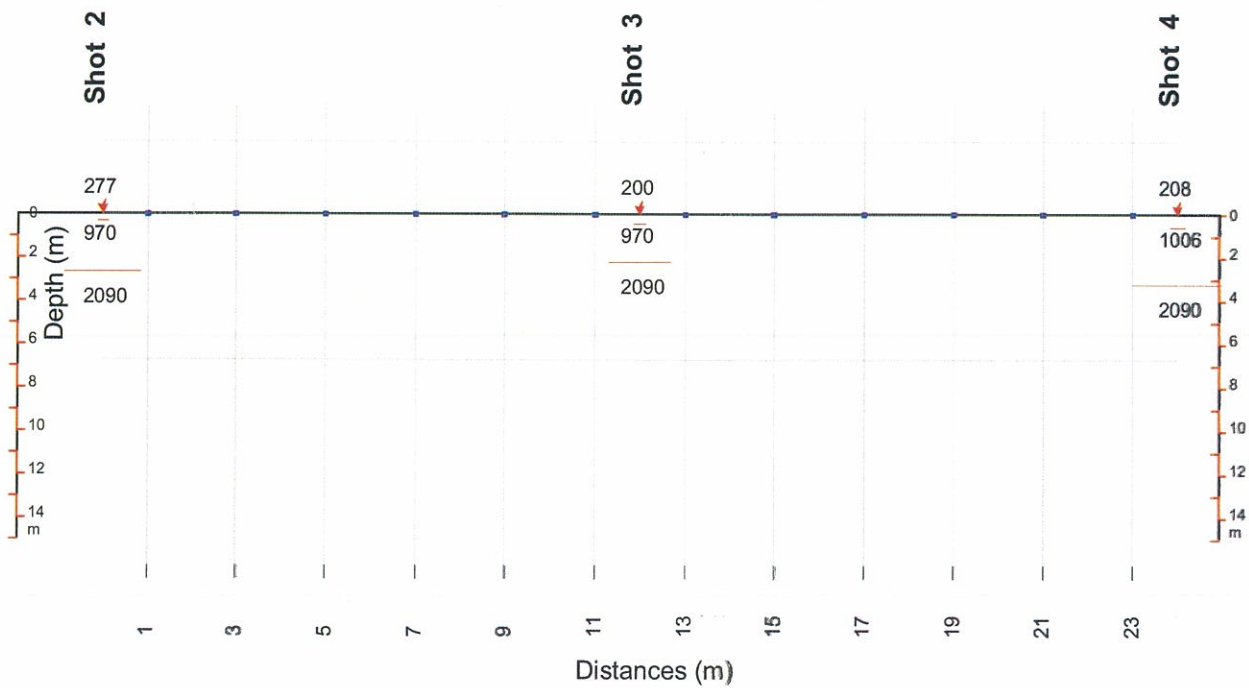
TRAVERSA SISMICA TS67b



DROMOCRONA



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



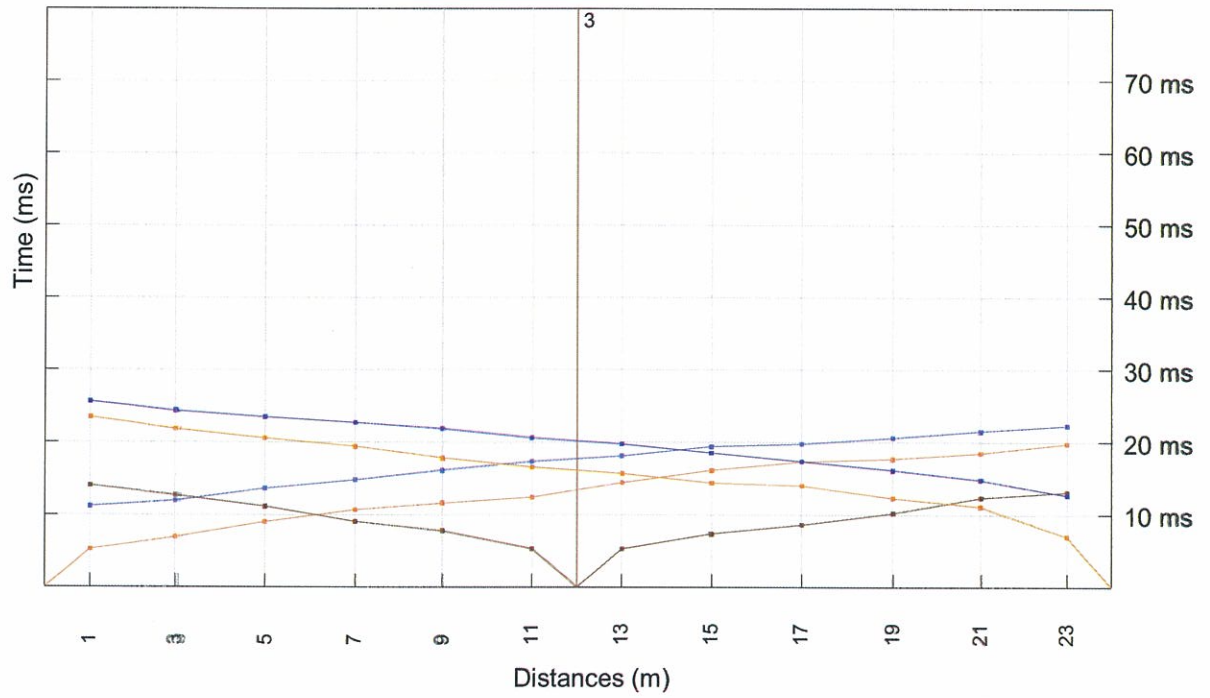
TRAVERSA SISMICA TS68



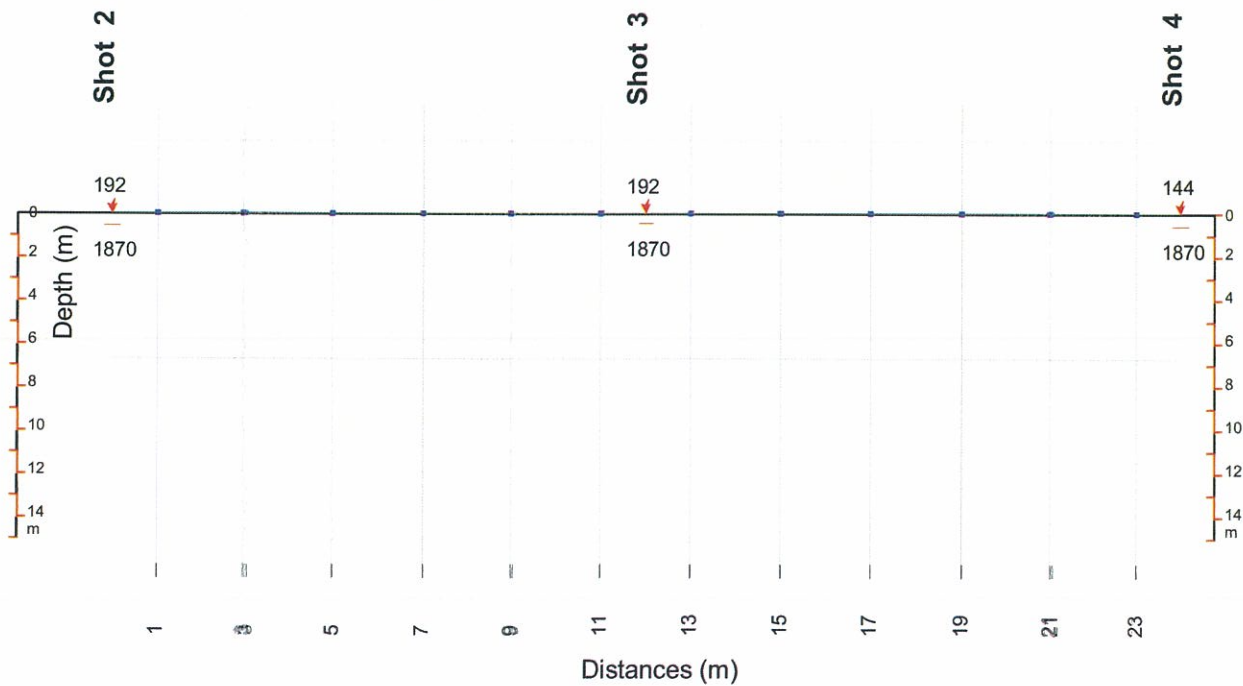
DROMOCRONA

Nord-Est

Sud-Ovest



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



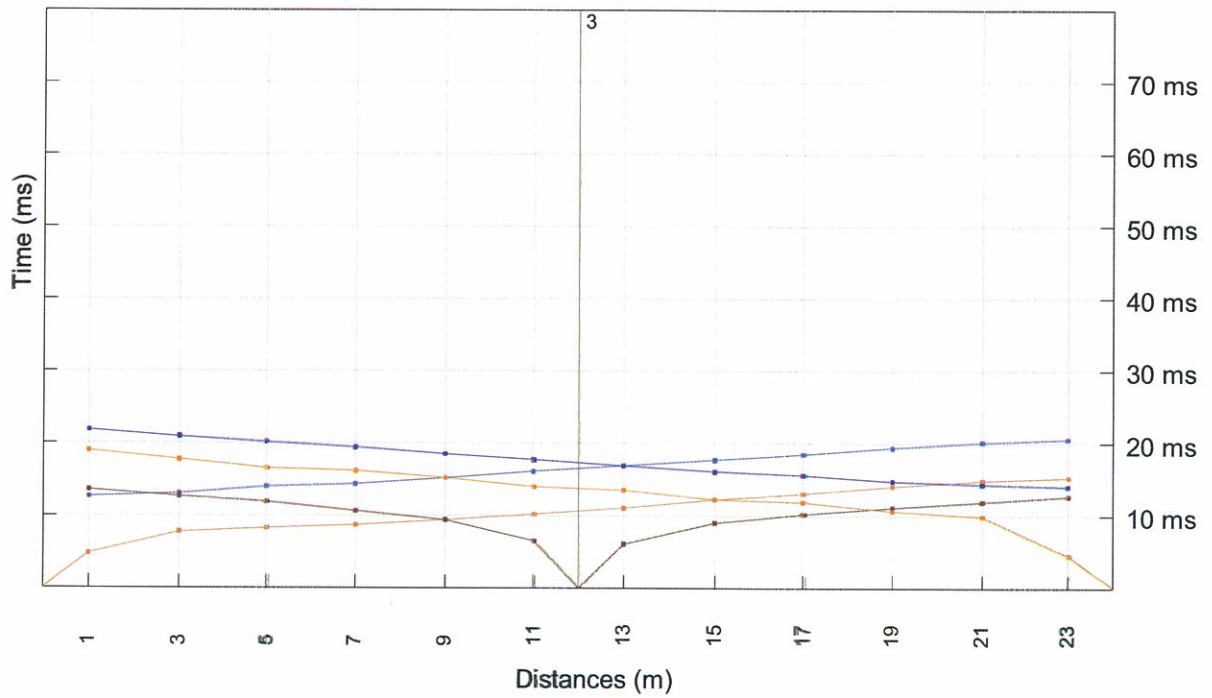
TRAVERSA SISMICA TS69



DROMOCRONA

Nord-Est

Sud-Ovest

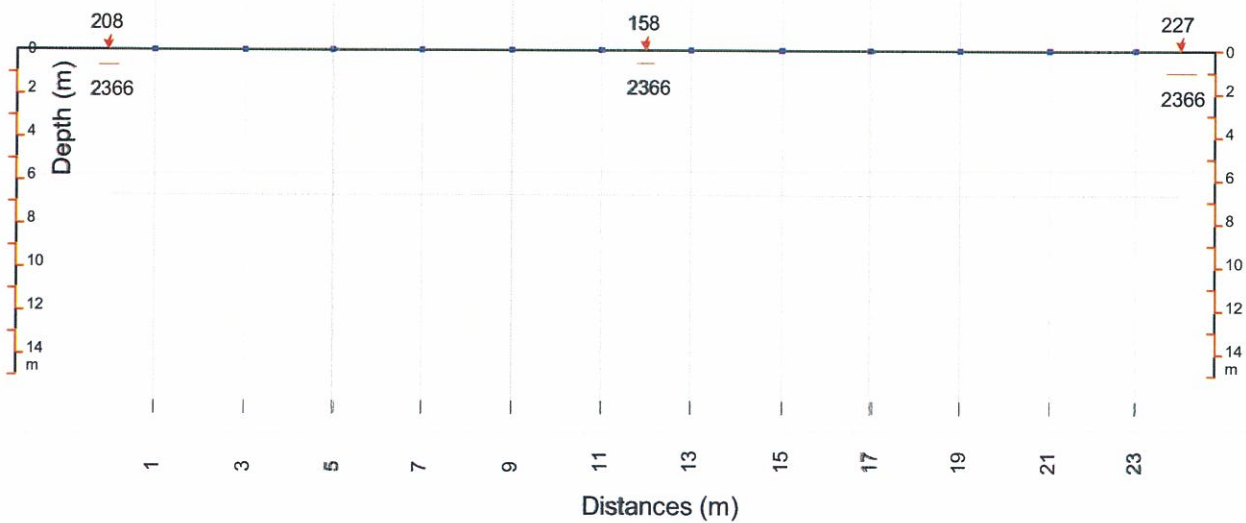


Sezione Sismostratigrafica Interpretativa

Shot 2

Shot 3

Shot 4



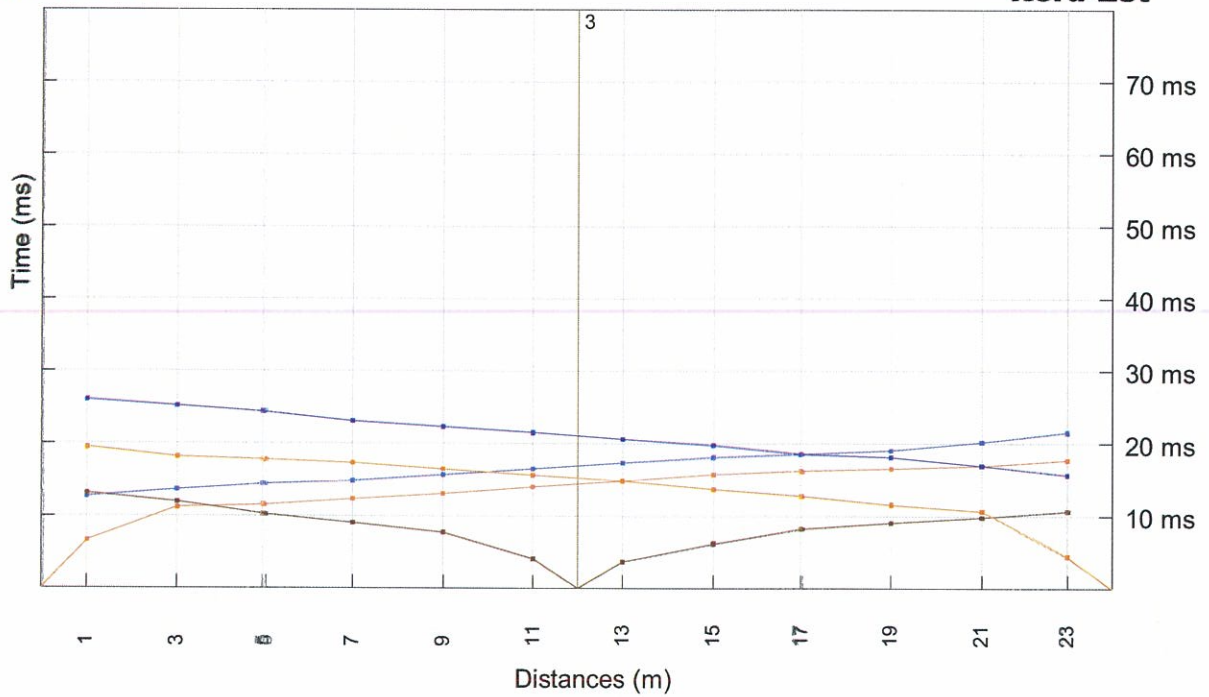
TRAVERSA SISMICA TS69b



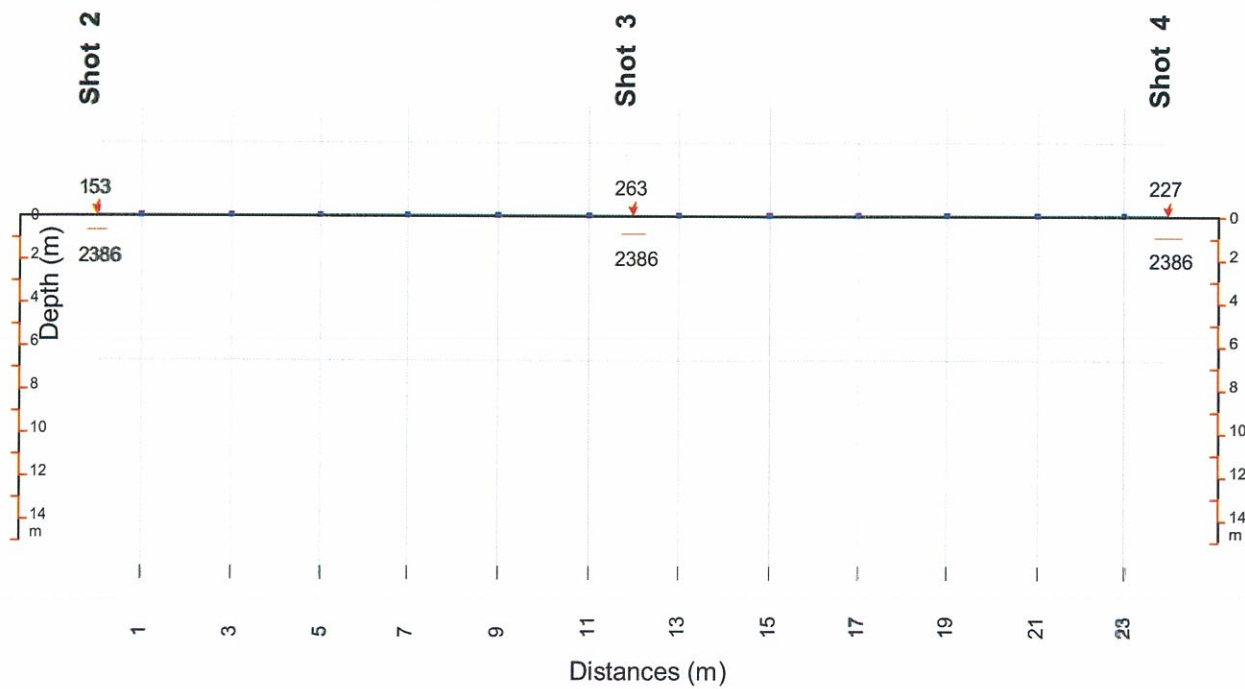
DROMOCRONA

Sud-Ovest

Nord-Est



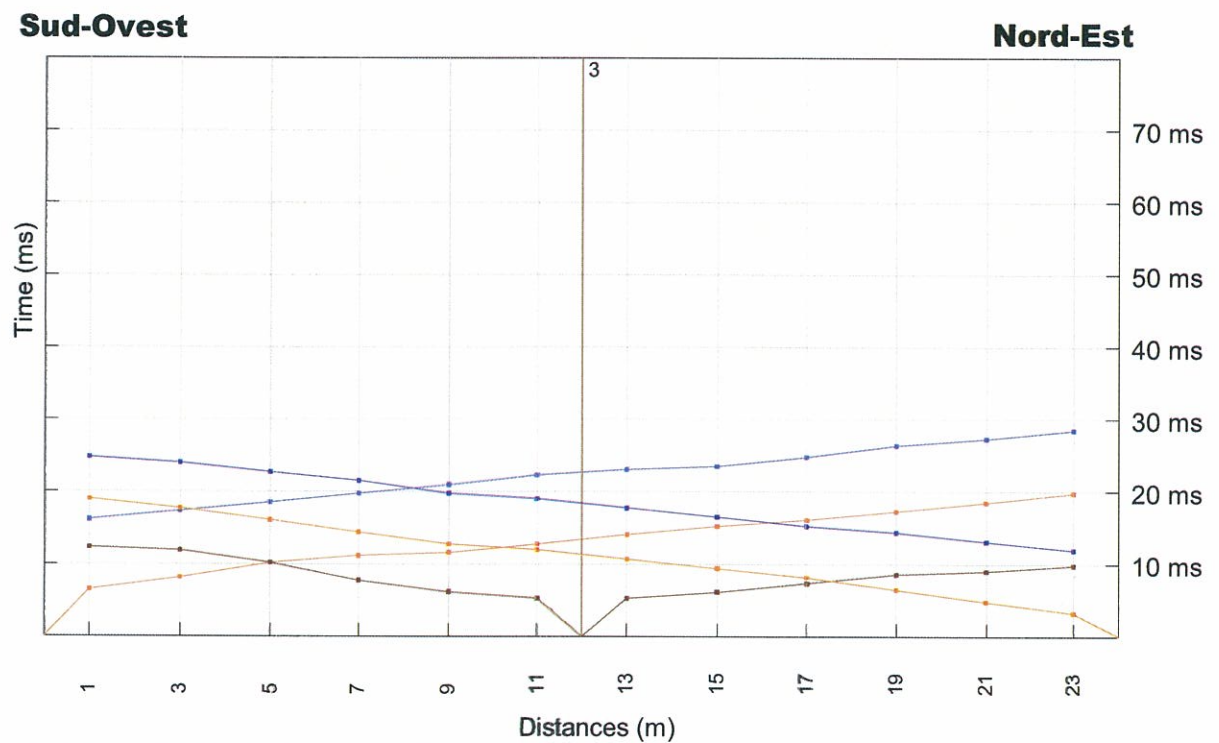
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



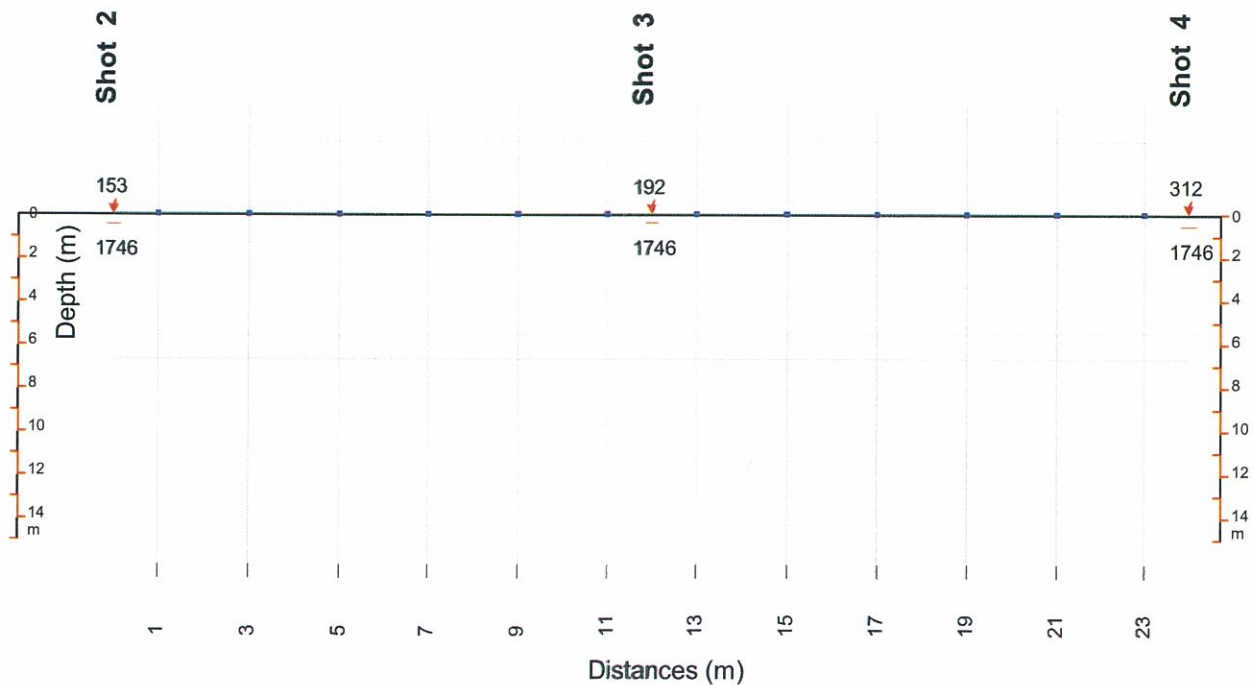
TRAVERSA SISMICA TS70



DROMOCRONA



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



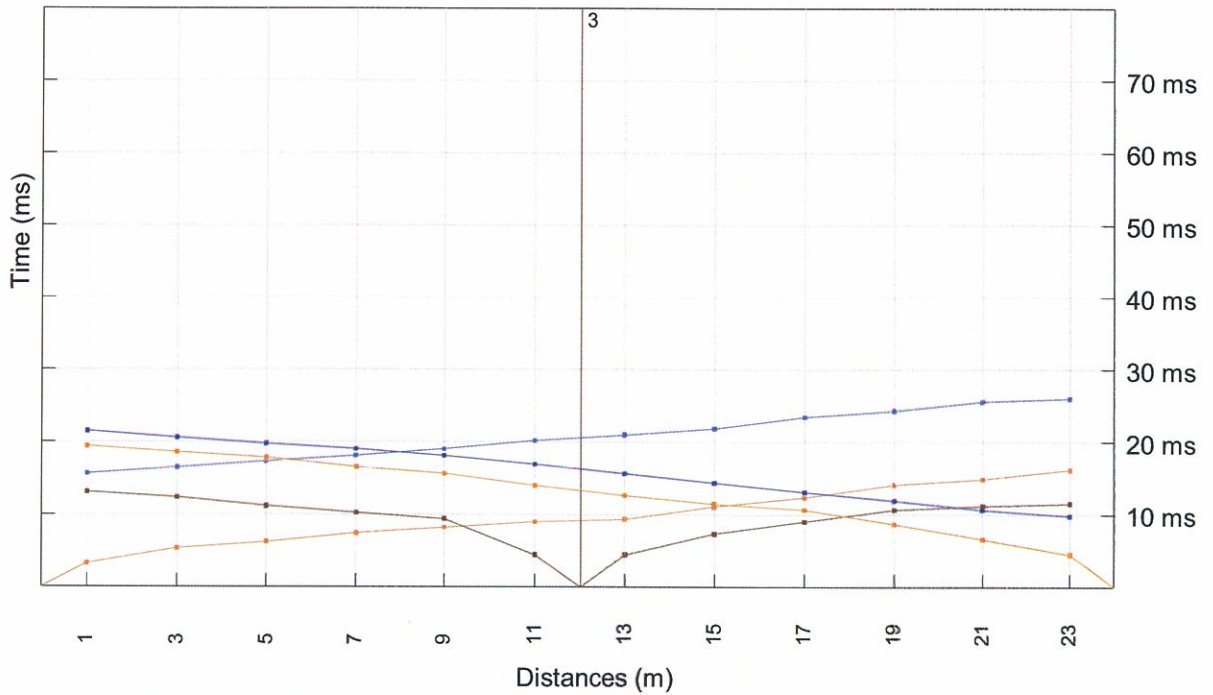
TRAVERSA SISMICA TS71



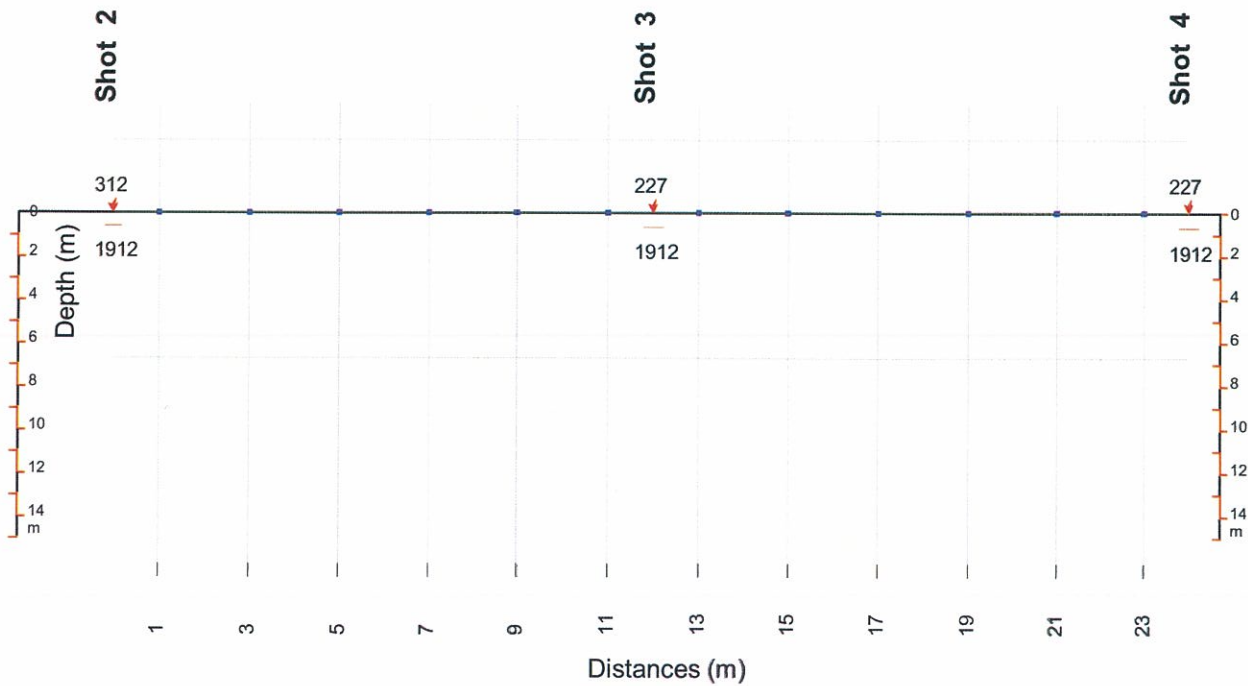
DROMOCRONA

Nord-Ovest

Sud-Est

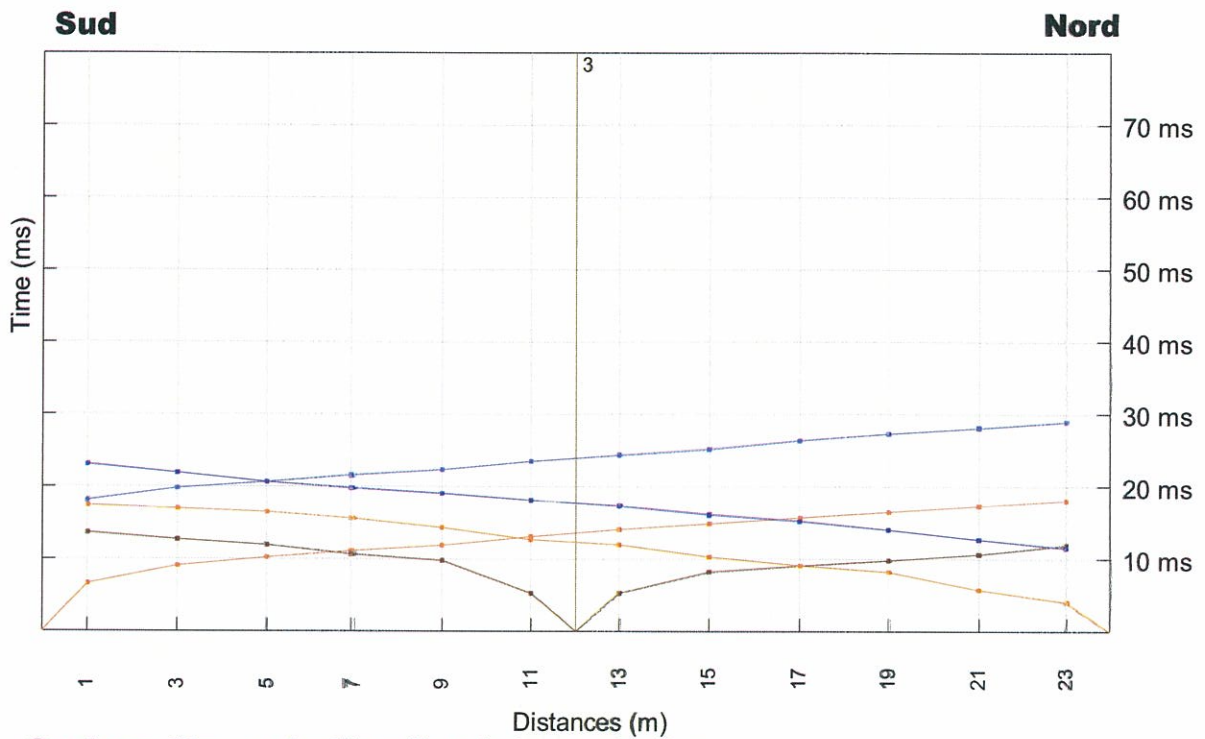


Sezione Sismostratigrafica Interpretativa

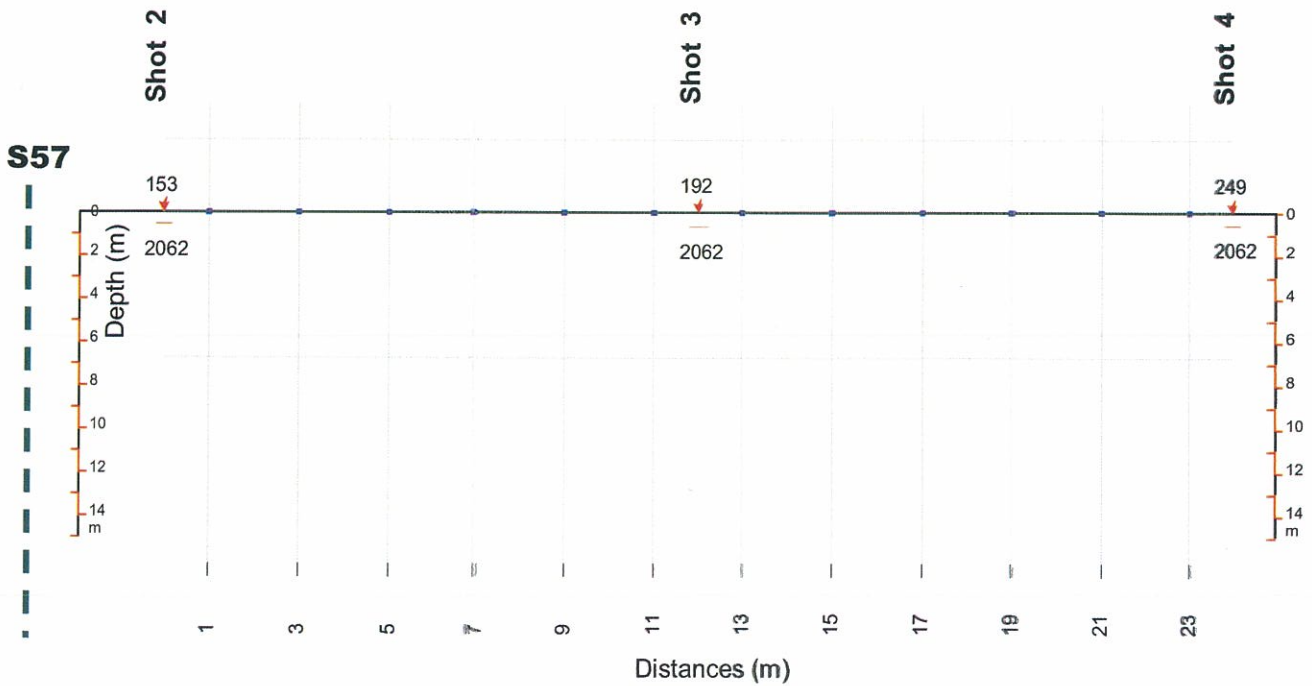


TRAVERSA SISMICA TS72

DROMOCRONA



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



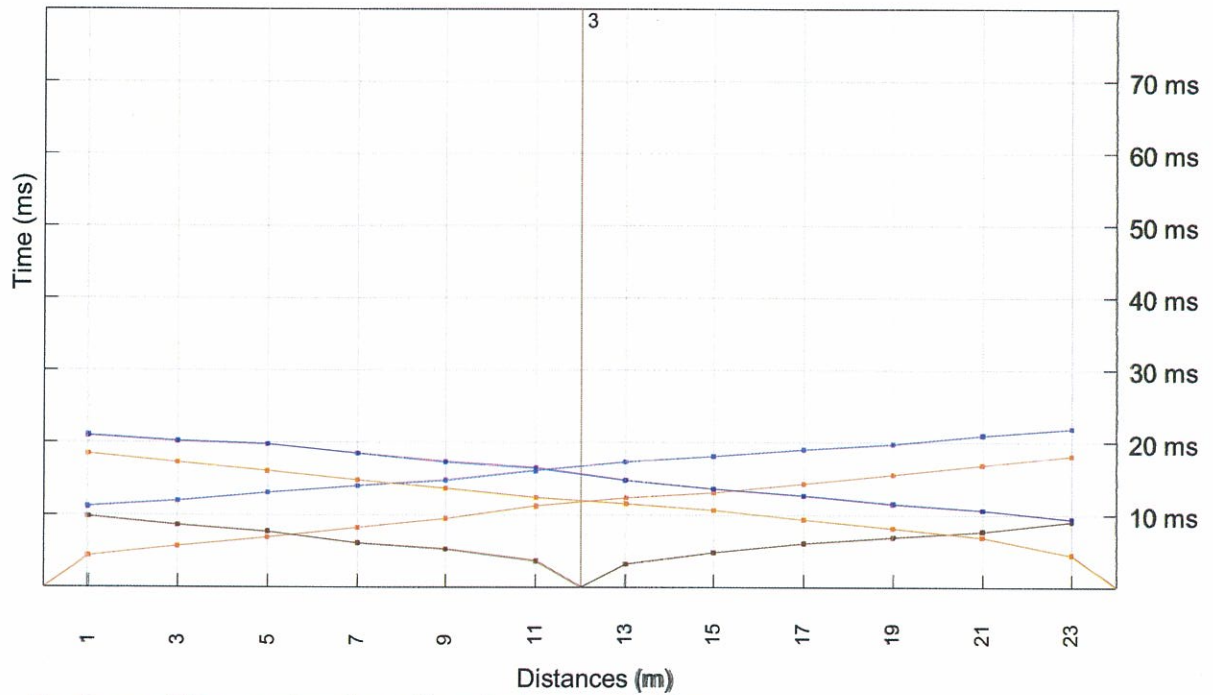
TRAVERSA SISMICA TS73



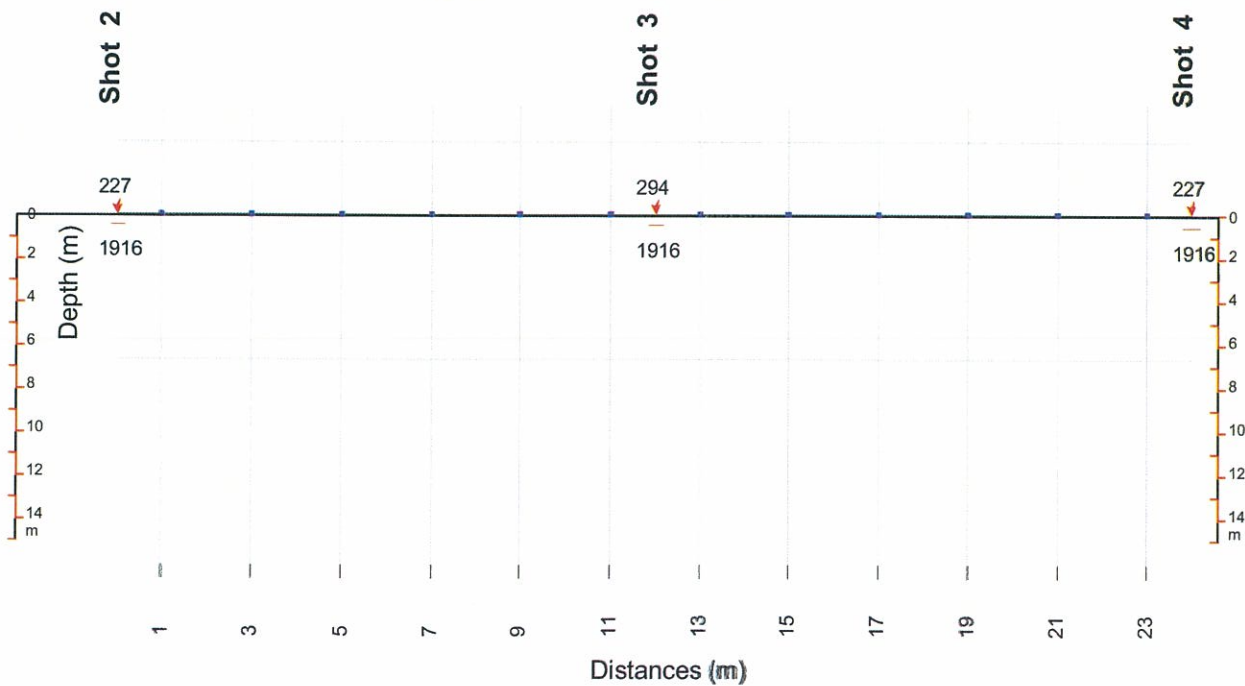
DROMOCRONA

Nord-Ovest

Sud-Est



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



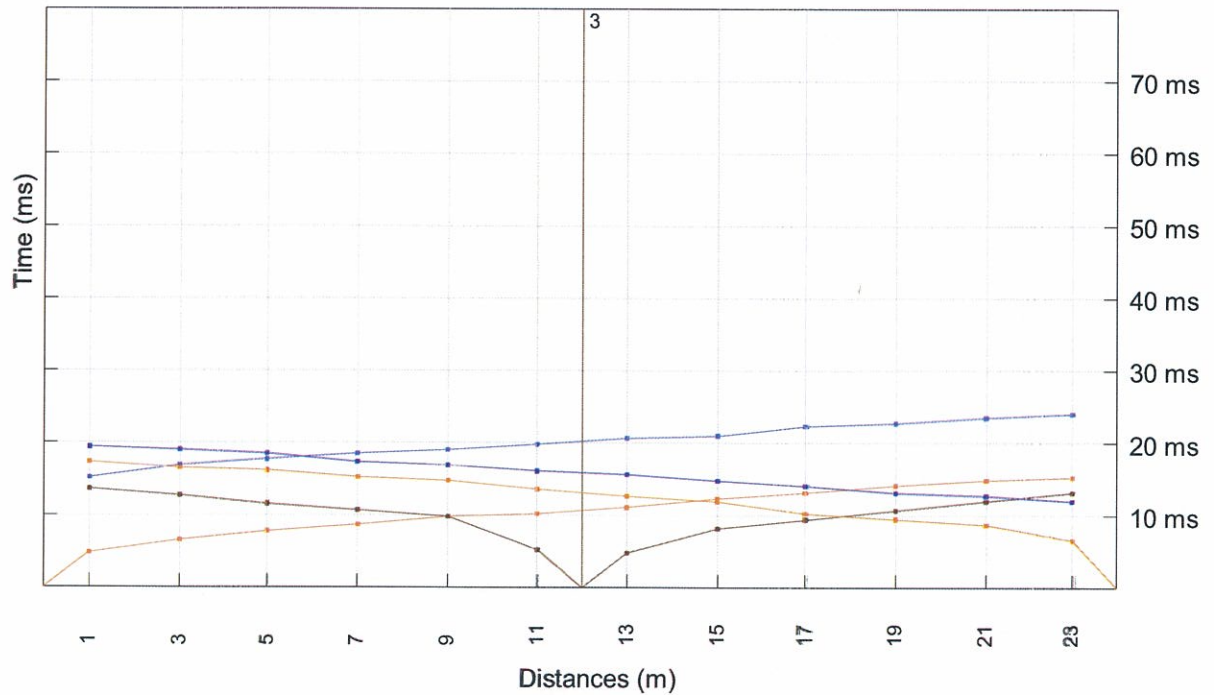
TRAVERSA SISMICA TS73b



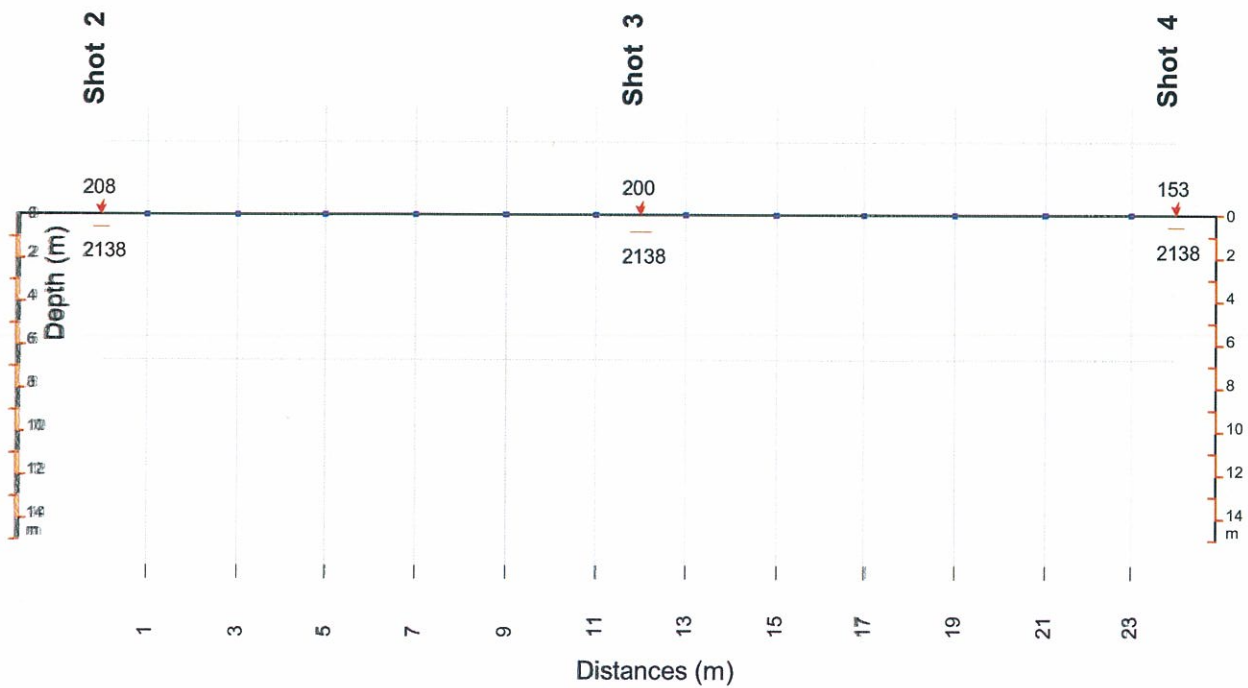
DROMOCRONA

Sud-Ovest

Nord-Est



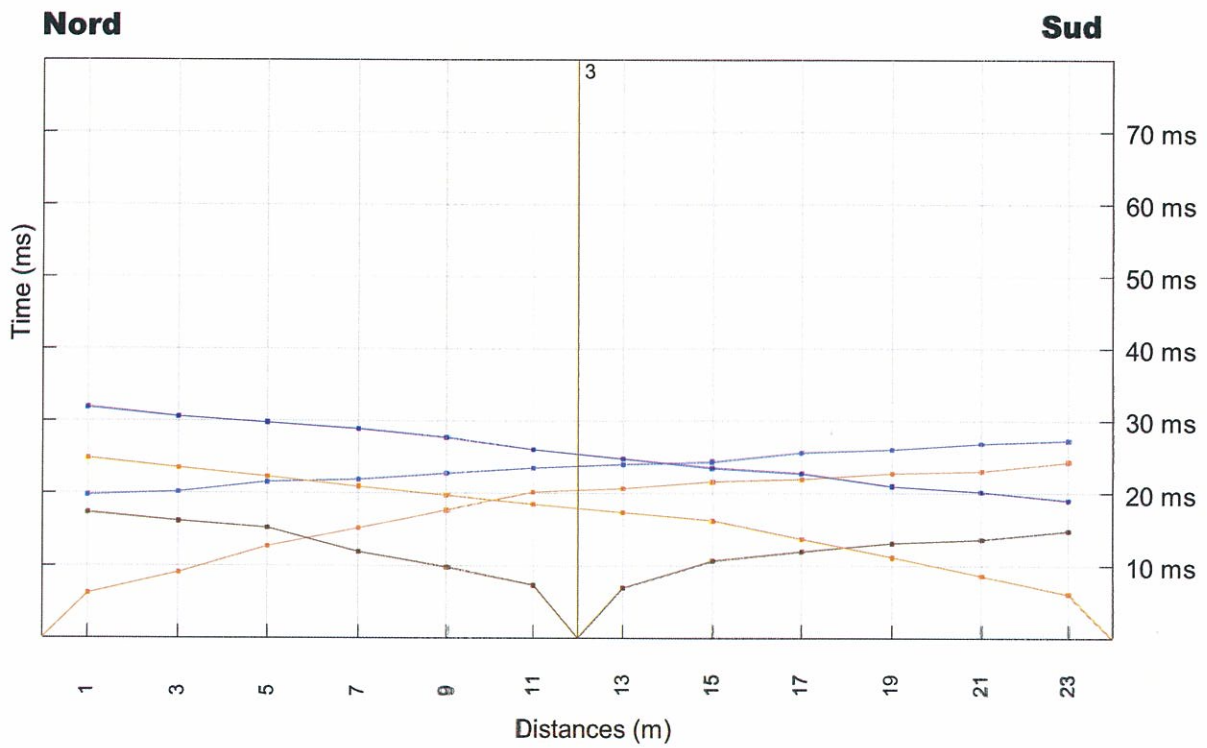
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



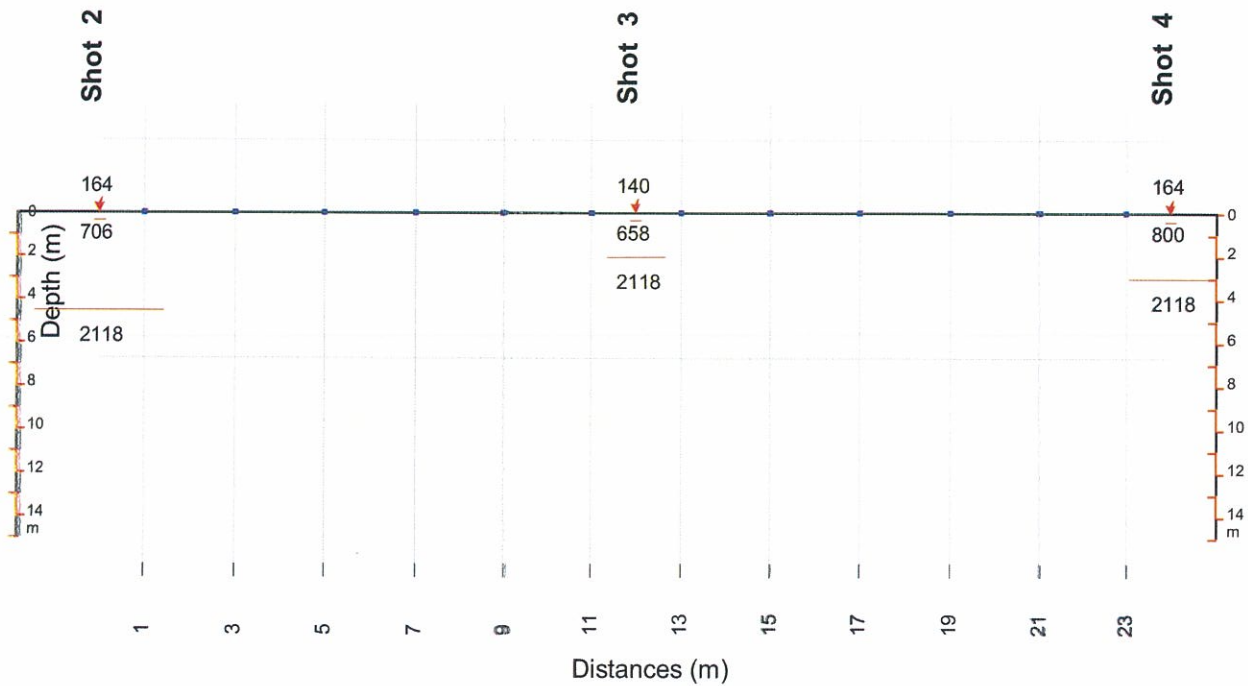
TRAVERSA SISMICA TS74



DROMOCRONA



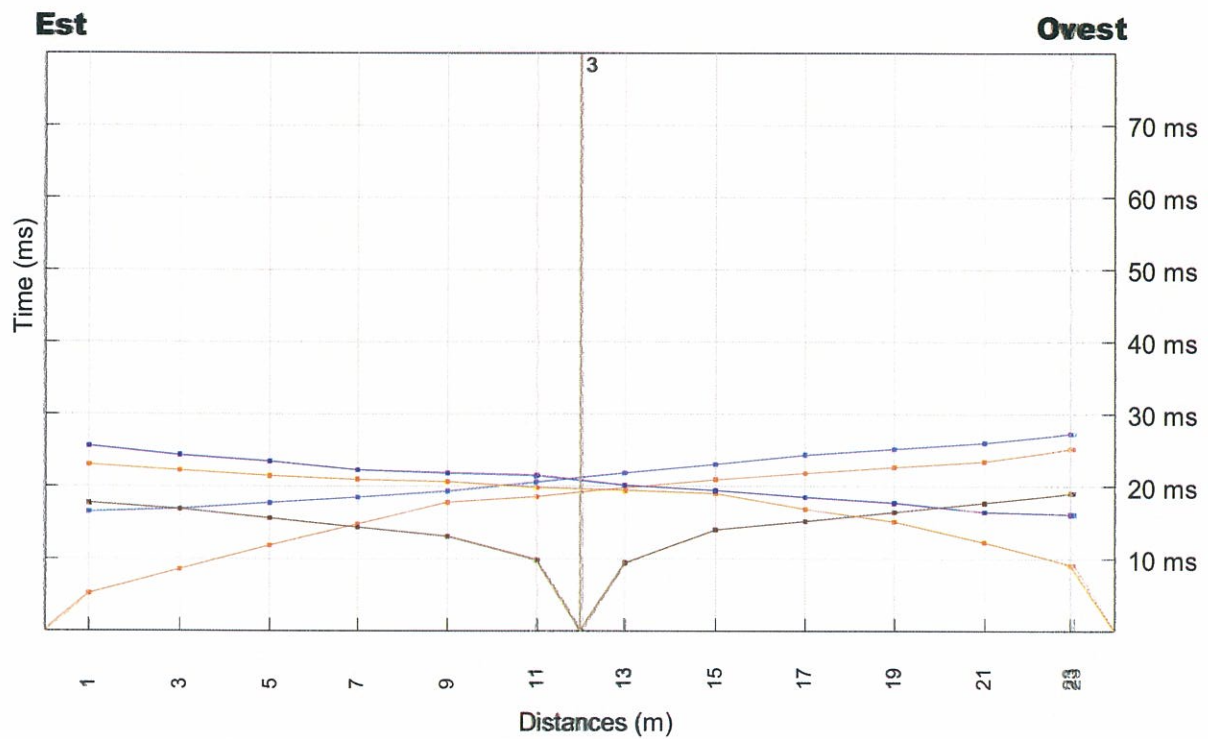
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



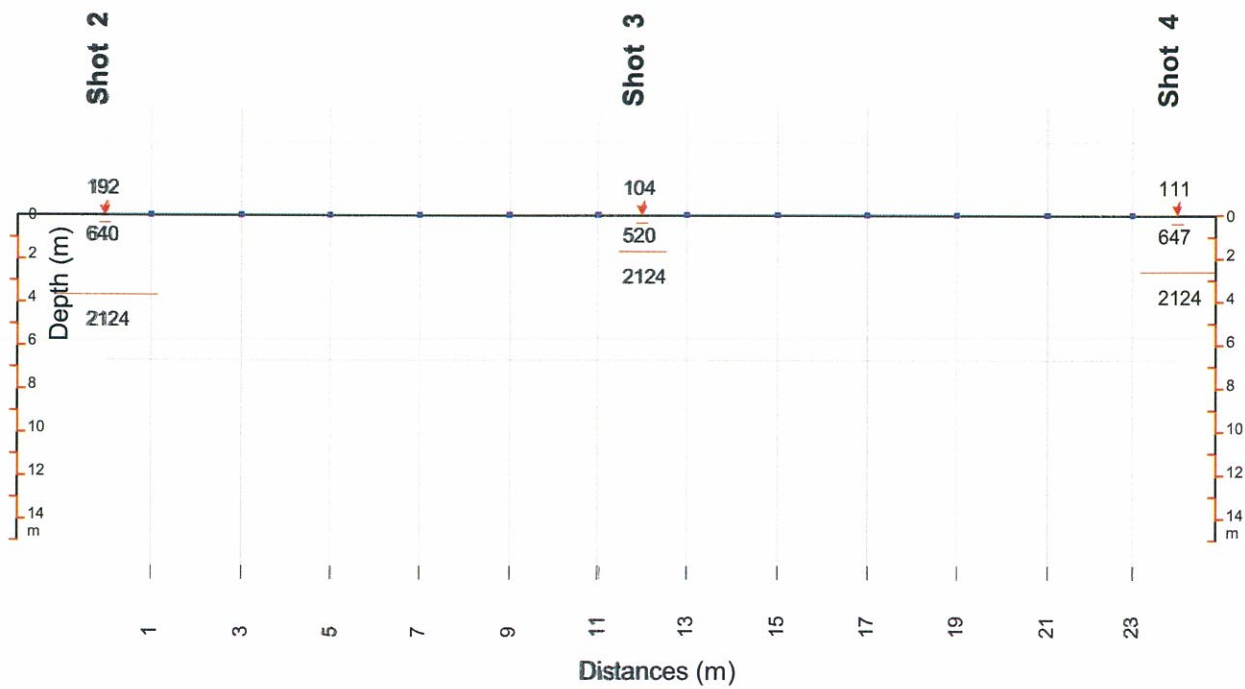
TRAVERSA SISMICA TS75



DROMOCRONA



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



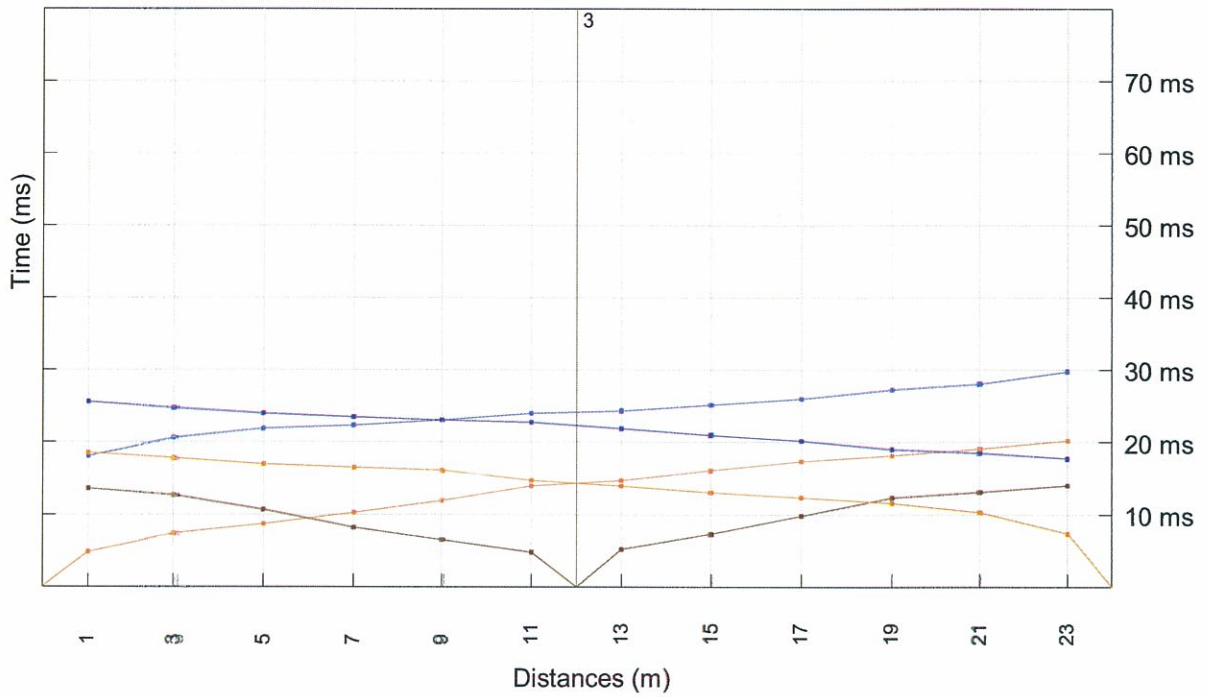
TRAVERSA SISMICA TS76



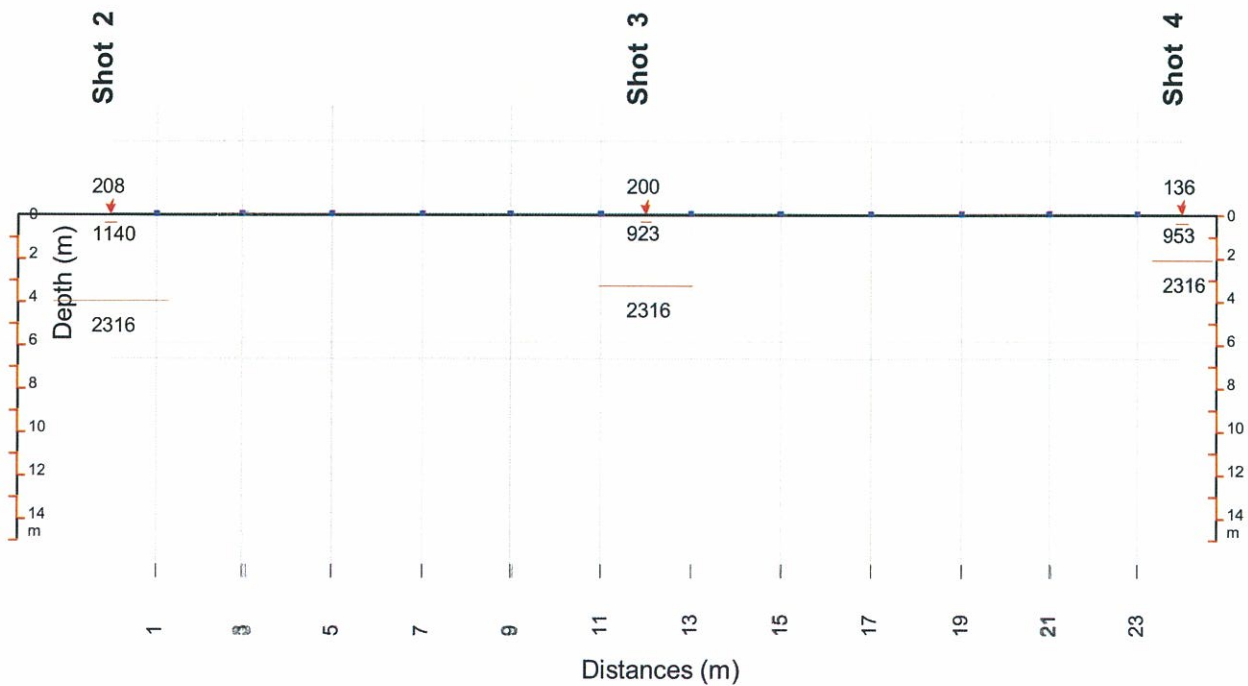
DROMOCRONA

Nord-Ovest

Sud-Est



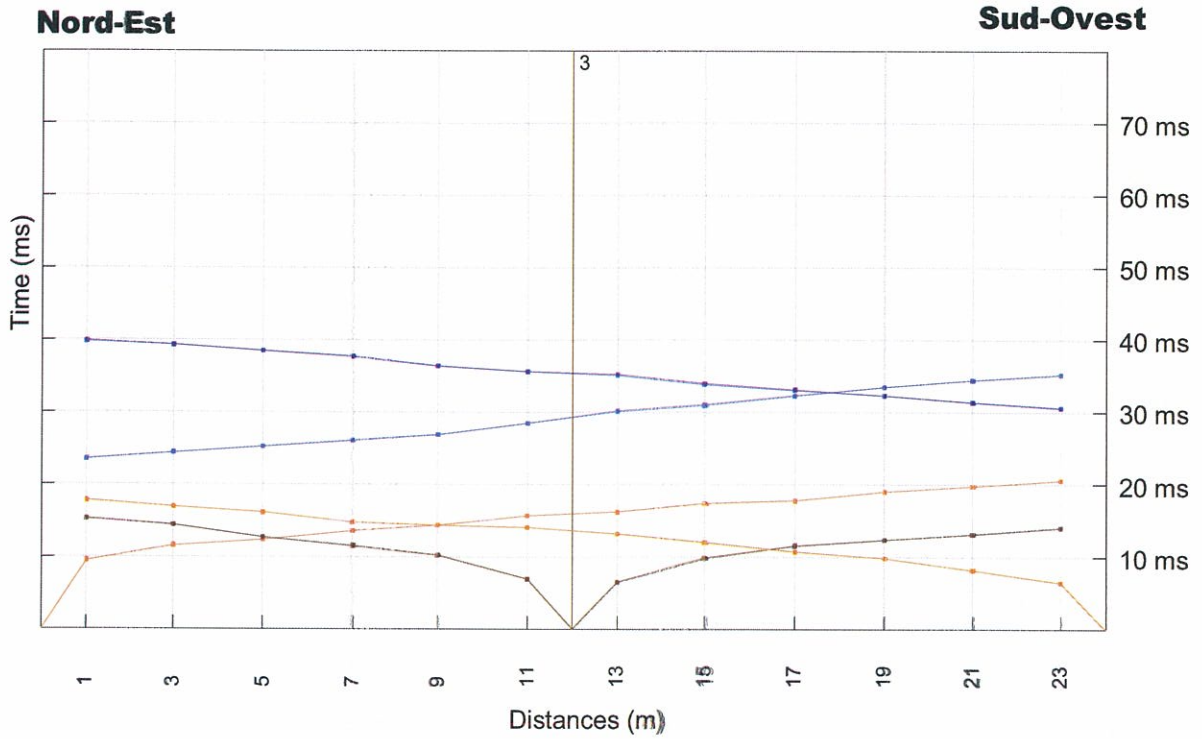
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



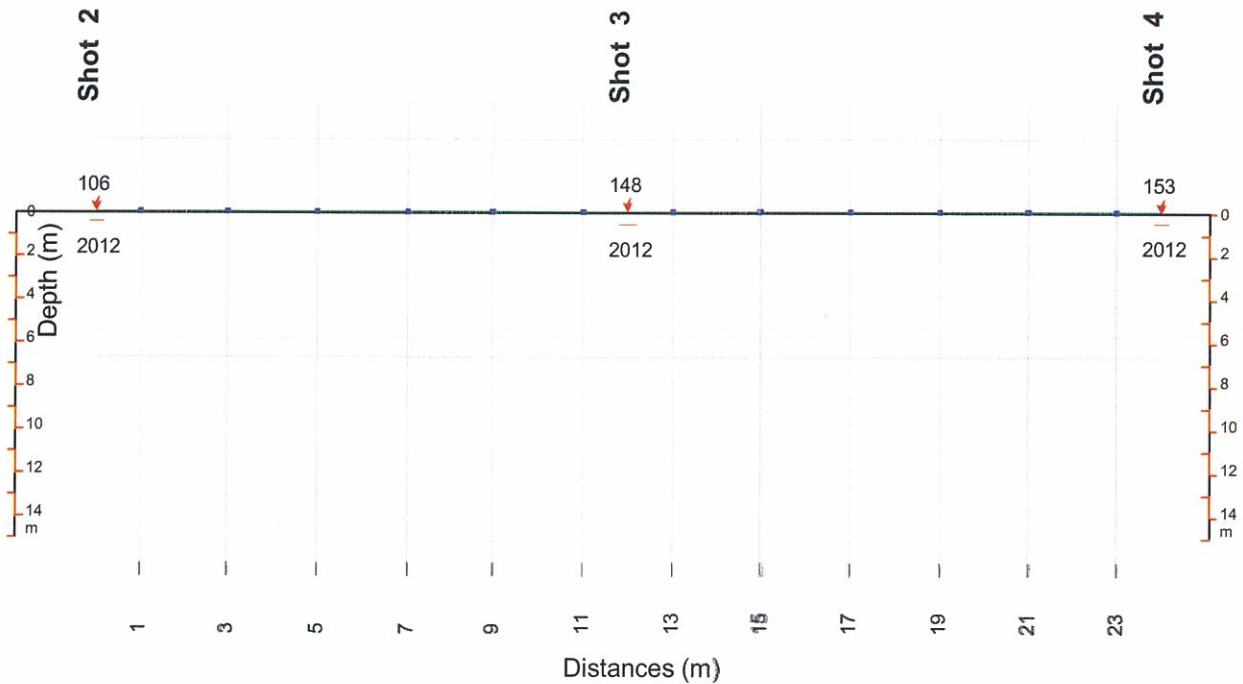
TRAVERSA SISMICA TS77



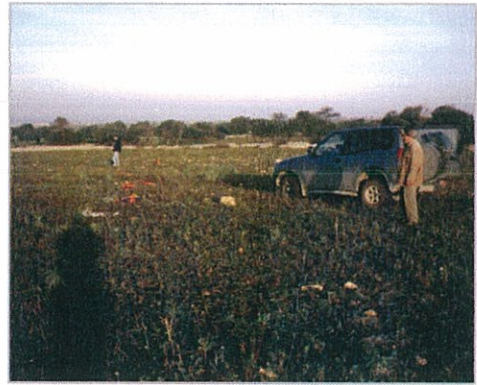
DROMOCRONA



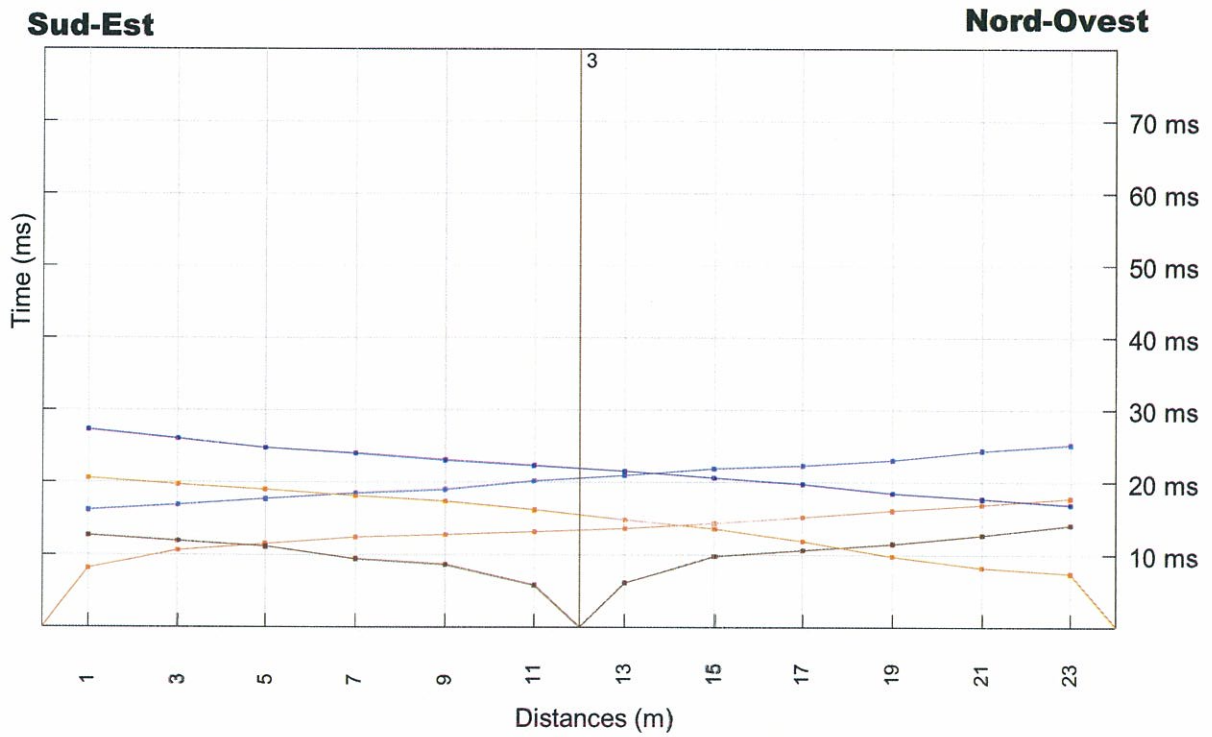
Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



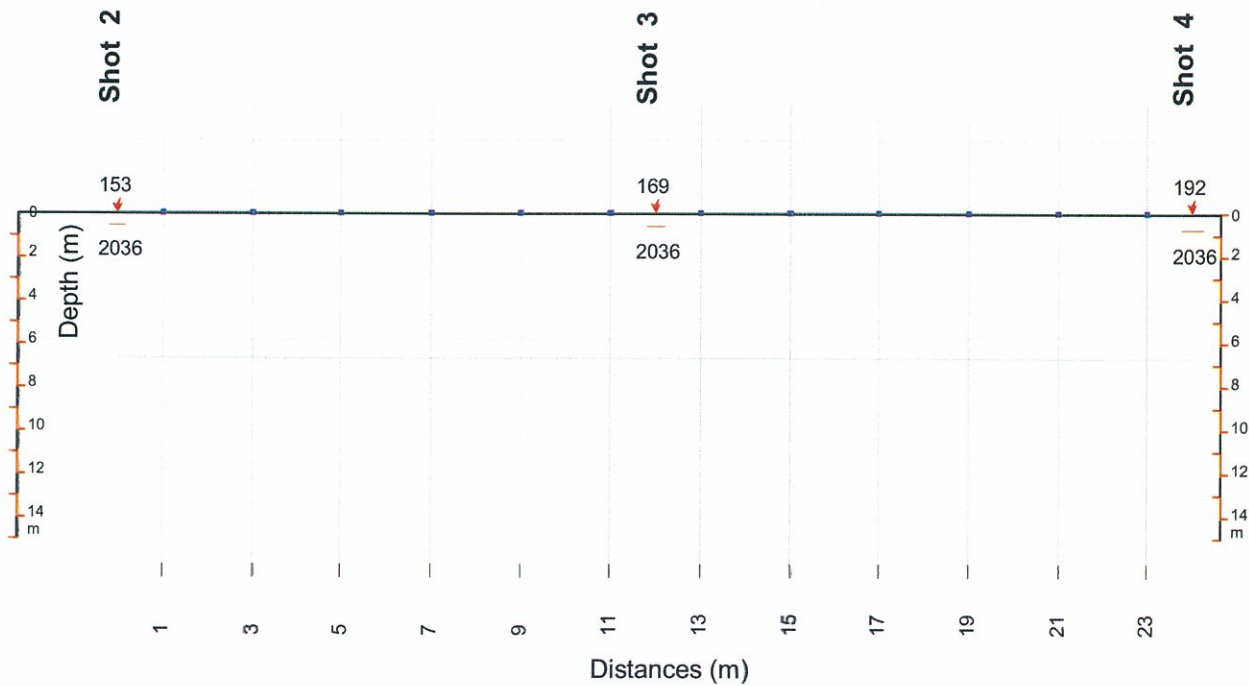
TRAVERSA SISMICA TS77b

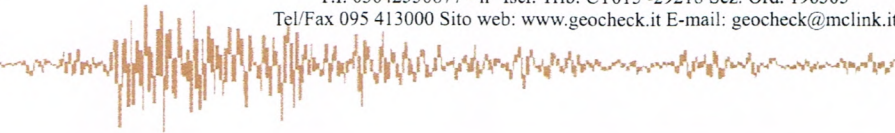


DROMOCRONA



Sezione Sismostratigrafica Interpretativa



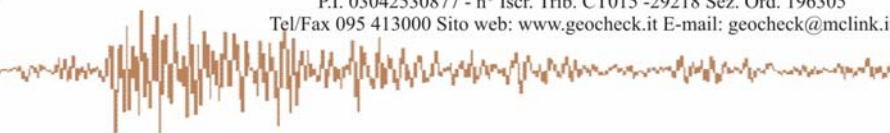


**PROVE GEOFISICHE ESEGUITE NEI LOTTI 10 ED 11
 DELL'AUTOSTRADA SIRACUSA-GELA**

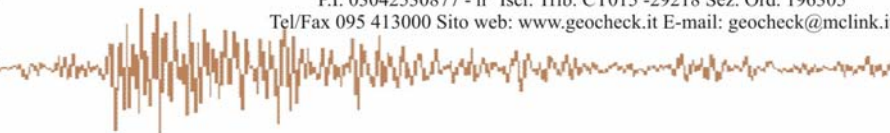


**RAPPORTO TECNICO DI PROVA
 - LOTTO 11 "RAGUSA" -**

REV.	Data e località	Committente	Redatto	Controllato	Approvato	COMM.-JOB:
0	Nov. 2011 – Scicli (RG)	TECHNITAL SPA	Dr. G. Coco	Dr. G. Caruso	Dr. M. Corrao	IG_180_11_LT11
IL PRESENTE DOCUMENTO E' PROPRIETA' GEOCHECK S.r.l. A TERMINE DI LEGGE OGNI DIRITTO E' RISERVATO						



INDICE	pag.
1.0 Introduzione	3
2.0 TOMOGRAFIA SISMICA	4
<i>Generalità</i>	4
<i>Metodologia e strumentazione utilizzata</i>	4
<i>Metodologia di calcolo - G. S. A. O. (Generalized Simulated-Annealing Optimization)</i>	5
3.0 - PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)	6
<i>Premessa</i>	6
<i>Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata</i>	6
<i>Elaborazione dati</i>	7
4.0 - DEFINIZIONE SUOLO TIPO	9
5.0 - RISULTATI	11
<i>TOMOGRAFIA SISMICA TS1</i>	12
<i>TOMOGRAFIA SISMICA TS2</i>	16
<i>TOMOGRAFIA SISMICA TS3</i>	20
M.A.S.W. 5- VS30	24 27
M.A.S.W. 6- VS30	28 31



1.0 INTRODUZIONE

Oggetto del presente Rapporto tecnico sono le “*prove geofisiche eseguite nell’area dei lotti 10 e 11 dell’Autostrada Siracusa – Gela*”. In particolare, in questo report sono state raggruppate quelle relative al Lotto11 “Ragusa”.

In particolare, sono state eseguite:

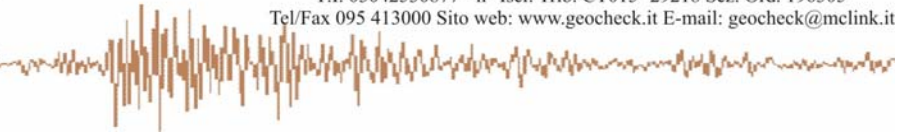
⇒ n° 3 Tomografie sismica avente la seguente configurazione geometrica:

Rif. Number	N° geofoni	Distanza intergeofonica (m)	Lunghezza complessiva(m)	Velocità onde misurate
TOMO S1	20	5	100	Vp
TOMO S2	24	5	120	Vp
TOMO S3	24	5	120	Vp

⇒ n° 2 prove sismiche di superficie di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Rif. Number	N° geofoni	Distanza intergeofonica (m)	Lunghezza complessiva(m)	Velocità onde calcolata
MASW_5	24	2	48	Vs
MASW_6	24	1.5	36	Vs

Le ubicazioni delle indagini si riportano unitamente ai risultati delle prove eseguite.



2.0 TOMOGRAFIA SISMICA

Generalità

La tomografia sismica assiale di superficie è una tecnica che consente la ricostruzione in immagini della struttura interna del terreno, mediante l'impiego dei travel-time delle onde sismiche che si propagano dalla superficie.

Lo scopo è di determinare un dettagliato andamento della distribuzione della velocità delle onde sismiche longitudinali nel sottosuolo.

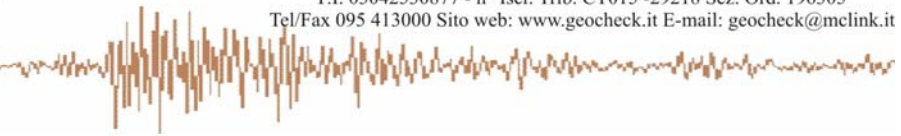
Metodologia e strumentazione utilizzata

La metodologia adottata si avvale di un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea".

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale MAE A6000S, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00003 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- "Automatic Gain Control"
- convertitore A/D a 24 bit

Le onde di compressione P sono state generate mediante esploditore sismico a cartucce industriali cal. 8.



Metodologia di calcolo - G. S. A. O. (Generalized Simulated-Annealing Optimization)

Il G.S.A.O. è un modello di calcolo che consente l'ottimizzazione non lineare dell'inversione dei tempi di primo arrivo delle fasi dirette e rifratte delle onde sismiche registrate durante una prospezione sismica superficiale a rifrazione.

Il vantaggio di tale tecnica è nell'assoluta indipendenza dal modello iniziale di velocità.

Le fasi di calcolo che sono eseguite nel processo d'elaborazione dei dati, possono essere così sintetizzate:

□ Calcolo dei travel - time attraverso un modello iniziale di velocità e determinazione dell'errore minimo quadrato ($E_0 = \text{least-square error}$), tra il travel - time calcolato e quello osservato.

Per ogni iterazione i è possibile definire il "least - square error" secondo la formula:

$$E_i = \frac{1}{N} \left[\sum_{j=1}^N (t_j^{obs} - t_j^{cal})^2 \right] \quad (1)$$

dove N è il numero di campioni, j denota ogni osservazione, e t^{obs} e t^{cal} sono rispettivamente il tempo osservato e calcolato.

□ Perturbazione del modello di velocità mediante l'inserimento di una costante di velocità casuale, mantenendo la non linearità del sistema, e calcolo del nuovo "least - square error" E_1 .

□ Determinazione della probabilità P di ammettere il nuovo modello (cioè che il modello sia accettabile):

$$\mathbf{P} = \mathbf{1}; \quad E_1 \leq E_0 \quad (2)$$

$$P = P_c = \exp \left[\frac{(E_{min} - E_1)^q \Delta E}{T} \right]; \quad E_1 > E_0 \quad (3)$$

dove P_c è la probabilità di accettare la condizione (è una costante d'integrazione che si determina empiricamente) ed E_{min} è il valore oggettivo della funzione dei minimi totali. Teoricamente si ha che $E_{min} = 0$. L'equazione (2), media tutti i valori accettati dal nuovo modello, laddove l'errore minimo quadrato (least - square error) è minore nell'iterazione prevista. Ciò consente, durante l'inversione dei dati, di sfuggire dall'intorno dei minimi, andando alla ricerca del minimo globale.

□ Ripetizione delle inversioni fino al raggiungimento della convergenza richiesta tra la differenza dell'errore minimo quadrato ed il successivo modello e la probabilità di accettare nuovi modelli di velocità a minimo errore.

3. 0 - PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

Premessa

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva che consente la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che si trasmettono con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione, cioè sono onde la cui velocità dipende dalla frequenza.

Strumentazione e configurazione geometrica utilizzata

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale MAE A6000S, avente le seguenti caratteristiche tecniche :

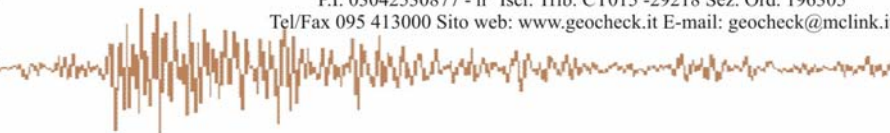
- capacità di campionamento dei segnali tra 0.002 e 0.00003 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);
- filtri High Pass e Band Reject;
- "Automatic Gain Control";
- convertitore A/D a 24 bit;

La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea". In particolare è stato utilizzato il seguente set-up:

- 12 geofoni (MASW_1) e 24 geofoni (MASW_TS2) ad asse di oscillazione verticale con interspazio (G_x) di 2 metri;
- n. 2 energizzazioni ad offset (S_x) 2 e 4 metri A/R;
- passo di campionatura pari a 1000 Hz;
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 4.096 sec;
- massa battente pesante di 10 Kg.

Tale configurazione ha consentito di mitigare gli effetti near-field dovuti alle onde di volume ed ha altresì consentito di avere le seguenti risoluzioni spazio-temporali:

MASW_6 k 0174 m^{-1} Freq. 0.244 Hz ; MASW_5 k 0.1308 m^{-1} Freq. 0.244 Hz.



Elaborazione dati

L'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali (fig. 1) nel dominio frequenza f – numero d'onda K (fig. 2;

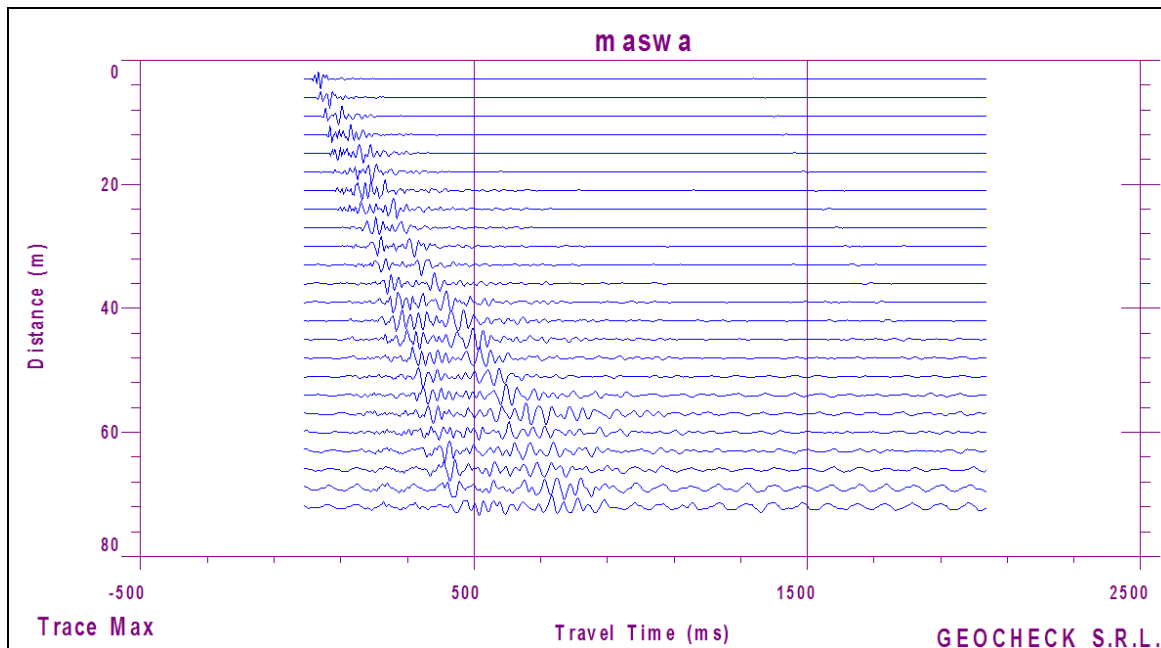


Figura 1. Serie temporali prova MASW_TS2 offset 3 metri.

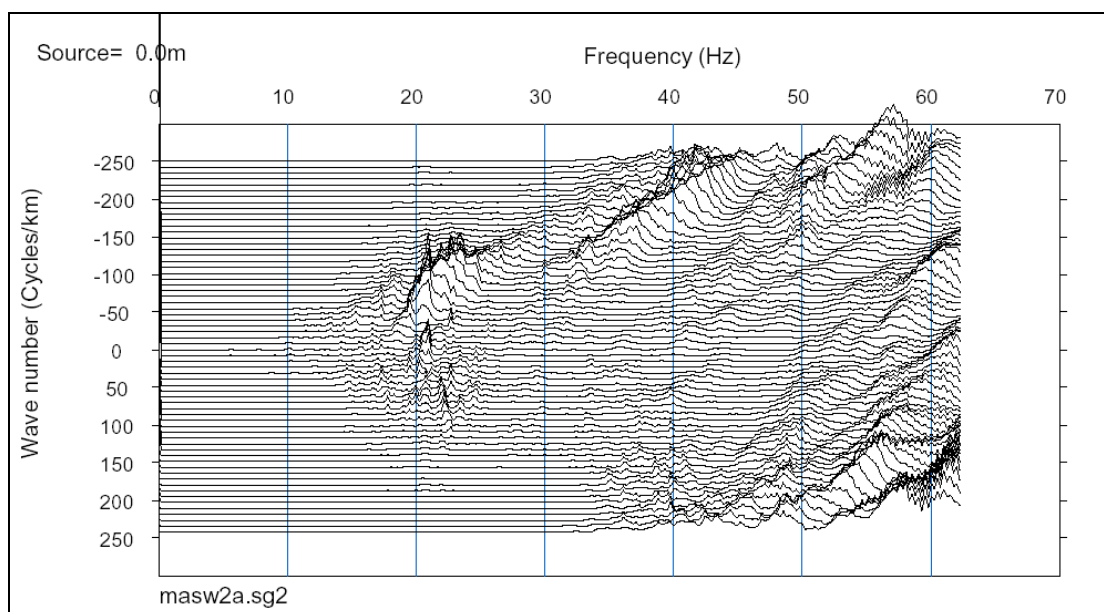
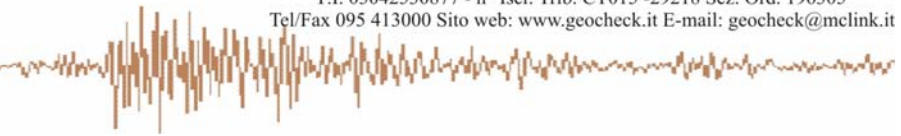


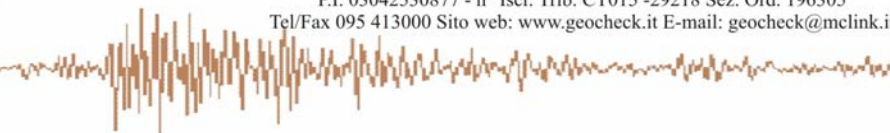
Figura 2. Analisi dominio f-k.



- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie f-k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale). Attraverso tali punti applicando la (1) si ottiene la curva di dispersione delle onde Rayleigh nel piano V_{fase} (m/s) – frequenza (Hz) (figure.13-17) .

$$V_R(\omega) = \frac{2\pi f}{k_{MAX}} \quad (1)$$

- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo (figure. 14-18);
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo (fig. 15-19).



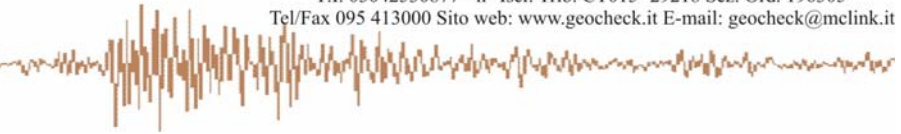
4.0 - DEFINIZIONE SUOLO TIPO

Il DM 14/01/2008 definisce l'azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. La norma suddivide il territorio nazionale in zone sismiche, contraddistinte dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori convenzionali di a_g assegnati alle aree sismiche fanno riferimento all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido (vedi **tabella 3.**), per il quale il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali.

CATEGORIA SOTTOSUOLO	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $cu_{,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).</i>
S1	<i>Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < cu_{,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.</i>
S2	<i>Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.</i>

Tabella 3. "Range" V_{s30} da normativa DM 14/01/2008.

In presenza di suoli di tipo B, C, D E, S1, S2 il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell'intensità e del contenuto in frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie.



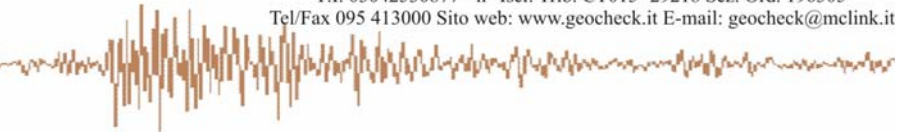
In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l'accelerazione sismica spettrale in presenza di suoli di tipo B, C, D E la normativa introduce un fattore di amplificazione S e i periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%. In presenza di suoli speciali di tipo S1 e S2 la normativa impone uno studio specifico per determinare gli effetti di amplificazione sismica locale.

La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30m di profondità:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove

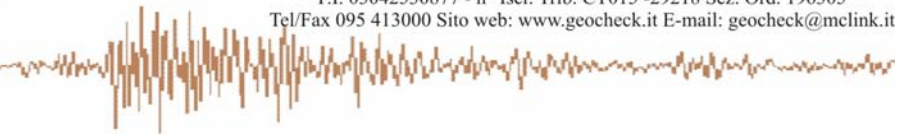
V_i e h_i sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato i-esimo.



5.0 - RISULTATI¹

Di seguito si riportano i risultati delle prove sismiche. Tali risultati constano nell'analisi tomografica dei dati sismici a rifrazione, nella definizione del profilo di velocità delle onde di taglio (prova MASW) e nel calcolo del parametro VS30². In particolare, per quel che concerne la tomografia sismica i risultati consistono nella restituzione dell'immagine sismica del sottosuolo espressa in termini di velocità di propagazione delle onde sismiche P (modello di velocità), di densità di raggi sismici (modello della densità dei raggi sismici) e della sezione sismica interpretata.

² Il valore del VS30 è stato calcolato dal piano campagna.



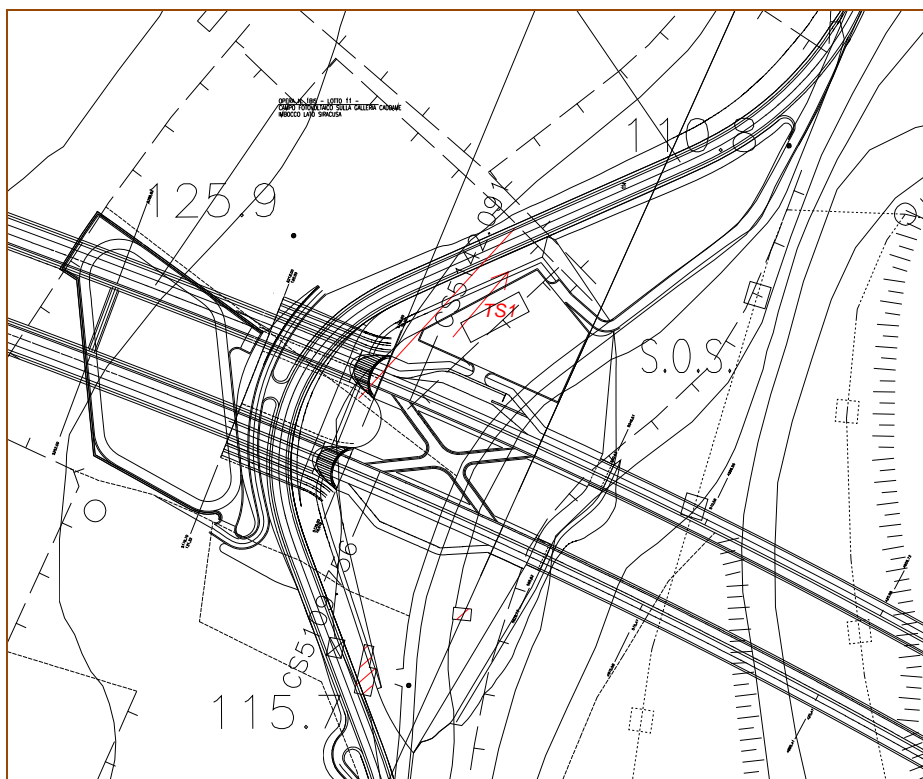
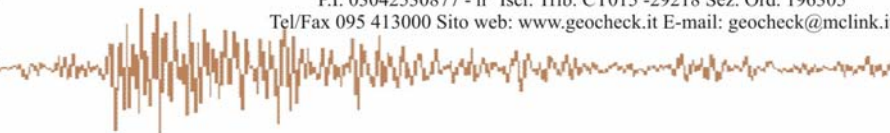
TOMOGRAFIA SISMICA TSI

Dalla prova è emerso che la velocità risulta compresa tra 215 m/s e 3098 m/s e che tale variazione, raggruppata in sismostrati e rappresentati con diverse gamme cromatiche, è prevalentemente verticale (sezione sismica interpretata) ed è attribuibile al passaggio tra la coltre detritica colluviale ed i sottostanti calcari diversamente fratturati ed alterati. L'andamento morfo-strutturale del substrato è sub-orizzontale. La velocità delle onde sismiche di compressione (V_p) è distribuita in un "range" compreso tra 215 m/s e 3098 m/s, mentre la profondità d'investigazione massima raggiunta è stata di circa 17 metri.

Le velocità delle onde sismiche sono state raggruppate in 4 sismostrati il cui andamento morfologico risulta regolare.

Nel dettaglio, i sismostrati possono essere così descritti:

- **$V_p < 1000$ m/s** \Rightarrow 1° sismostrato. Si presenta in maniera continua nella sezione tomografica con spessori variabili: è di circa 8 metri nella parte iniziale della sezione mentre diminuisce nella restante parte. La porzione di sottosuolo con velocità < 750 m/s è riferibile alla copertura detritica colluviale, mentre i termini a velocità compresa tra 750 e 1000 m/s possono essere attribuiti alla coltre detritica addensata.
- **$1001 < V_p < 1500$ m/s** \Rightarrow 2° sismostrato. È in continuità laterale con il primo sismostrato ed ha uno spessore variabile. Da 10 metri di distanza dall'origine fino a circa 40 metri di distanza lo spessore è di circa 12 metri, si riduce a 2 metri circa tra 45 metri e 65 metri di distanza, mentre aumenta fino a circa 5 metri da 65 metri di distanza in poi. Tale sismostrato potrebbe essere riferito a calcari fratturati e alterati.
- **$1501 < V_p < 2000$ m/s** \Rightarrow 3° sismostrato. Il suo spessore tende ad aumentare nella parte centrale della sezione, mentre si riduce procedendo verso le zone esterne. Nella stessa parte centrale della sezione il passaggio tra il secondo ed il terzo sismostrato è marcato da un netto gradiente morfologico laterale. Dal punto di vista litologico può essere riferito ai calcari relativamente fratturati.
- **$V_p > 2001$ m/s** \Rightarrow 4° sismostrato. Rappresenta i calcari compatti.
- La sezione densità raggi sismici mostra la presenza di due orizzonti sismici: il primo orizzonte si ha al passaggio tra il primo e secondo sismostrato, mentre il secondo segna il passaggio tra il terzo e quarto sismostrato.



**Coord.
Geografiche**

Inizio:
LAT 36.82030°
LONG 14.64674°

Fine:
LAT 36.82093°
LONG 14.64751°

Quota:
120m s.l.m.

**Lunghezza
stendimento:**
100ml

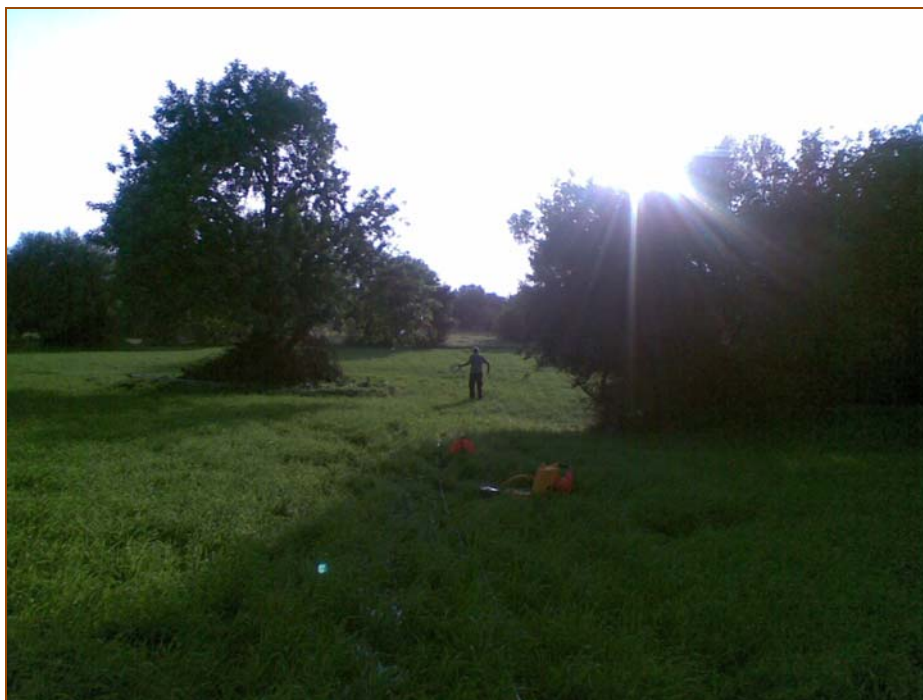


Figura 3. Ubicazione prova e documentazione fotografica – TS_1 -

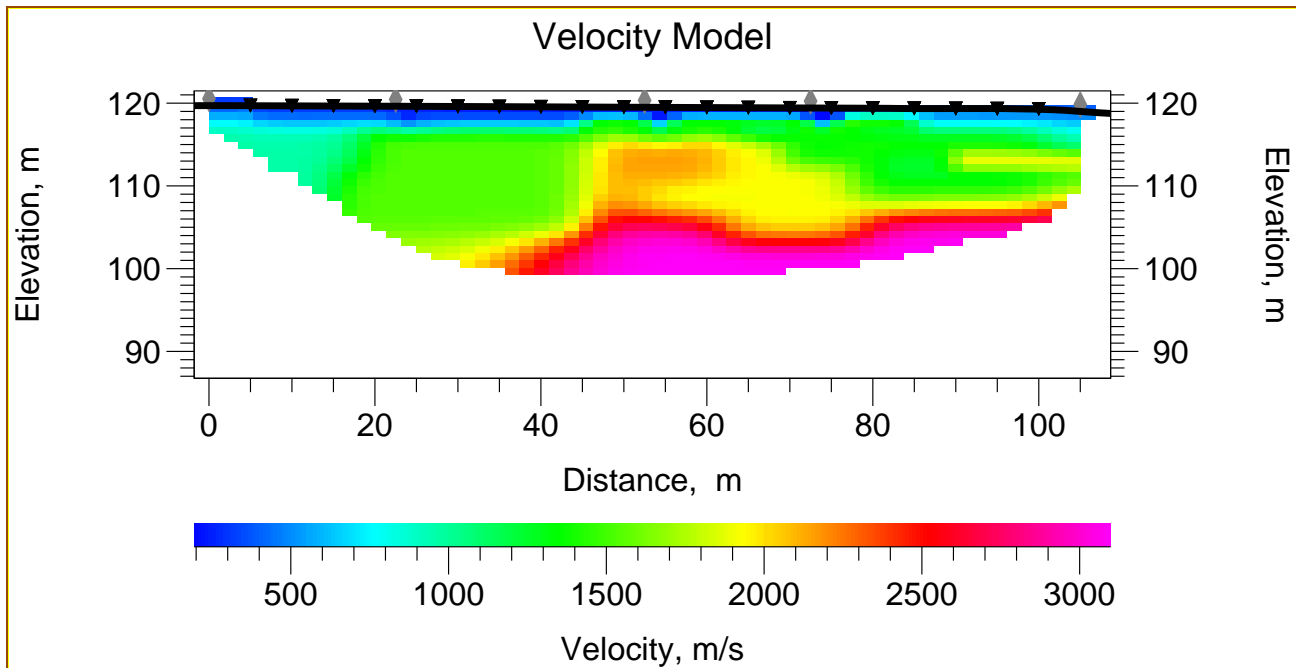
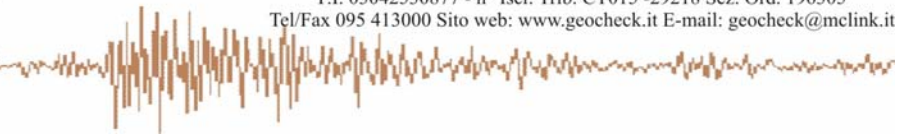


Figura 4. Modello di velocità onde P – rappresentazione a pixel– TOMO S1 -

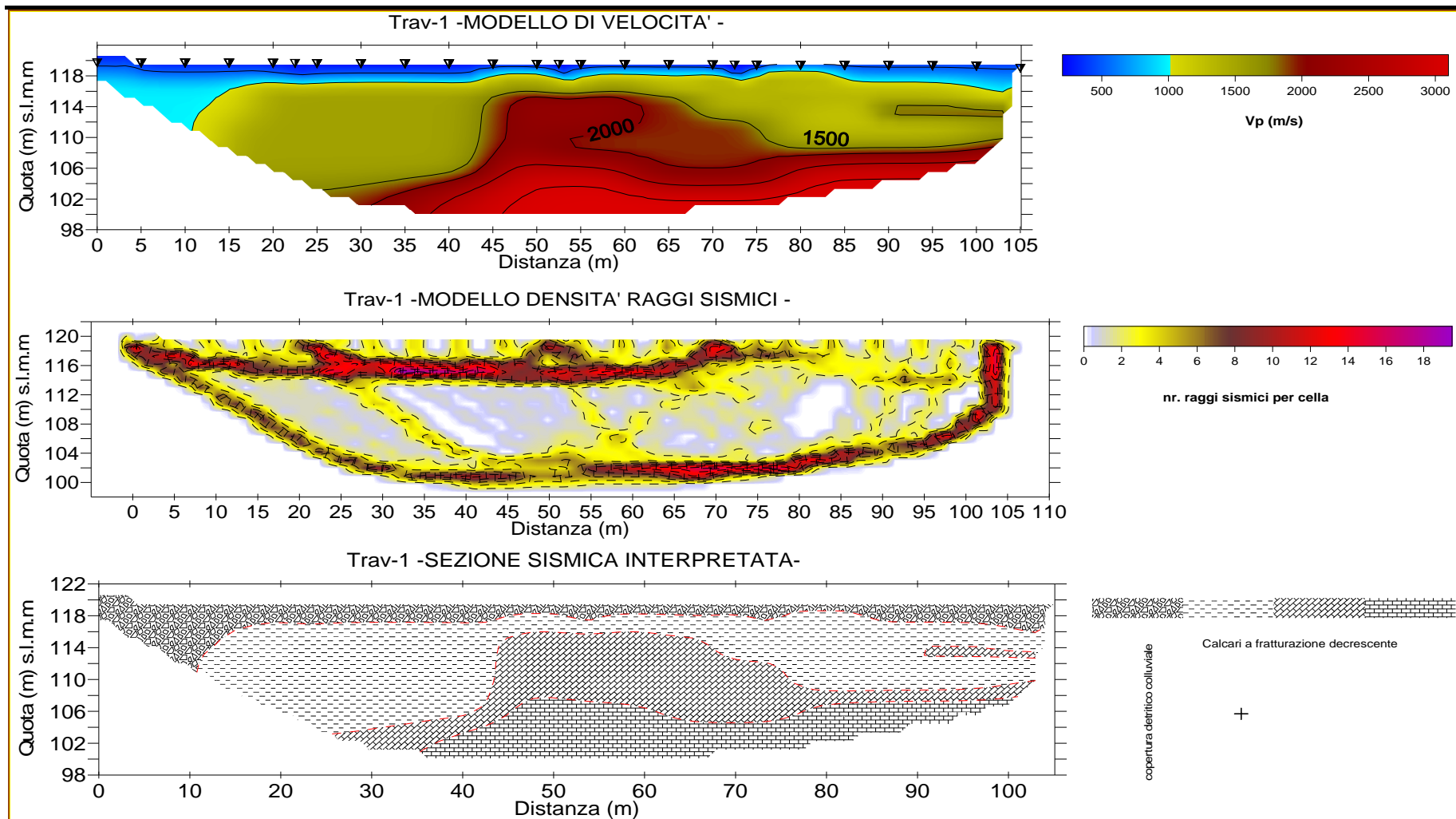
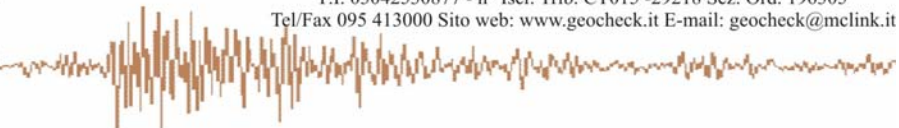


Figura 5. Modello di velocità onde P, densità dei raggi sismici e sezione sismica interpretata

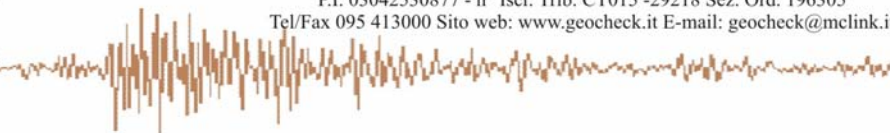
TOMOGRAFIA SISMICA TS2

Dalla prova è emerso che la velocità risulta compresa tra 271 m/s e 3096 m/s e che tale variazione, raggruppata in sismostrati e rappresentati con diverse gamme cromatiche, è prevalentemente verticale (sezione sismica interpretata) ed è attribuibile al passaggio tra la coltre detritica colluviale, le marne della formazione Tellaro ed i sottostanti calcari diversamente fratturati e alterati. L'andamento morfostrutturale del substrato è sub-orizzontale ma è anche interessato da diverse dislocazione sub-verticali. La velocità delle onde sismiche di compressione (V_p) calcolata è distribuita in un "range" compreso tra 271 m/s e 3096 m/s, mentre la profondità d'investigazione massima raggiunta è stata di circa 20 metri.

Le velocità delle onde sismiche sono state raggruppate in 4 sismostrati il cui andamento morfologico risulta regolare.

Nel dettaglio, i sismostrati possono essere così descritti:

- **$V_p < 1000$ m/s \Rightarrow 1° sismostrato.** Si presenta in maniera continua nella sezione tomografica con spessori variabili: è di circa 8 metri nella parte terminale della sezione mentre nella restante sezione tomografica lo spessore si riduce fino a 2 metri. La porzione con velocità < 750 m/s è riferibile alla copertura detritica colluviale, mentre i termini a velocità compresa tra 750 e 1000 m/s possono essere attribuiti alla coltre detritica addensata.
- **$1001 < V_p < 1500$ m/s \Rightarrow 2° sismostrato.** È in continuità verticale con il primo sismostrato con uno spessore che è pressoché costante (circa 4 m) dall'origine fino a circa 105 metri di distanza, mentre da tale distanza in poi si riduce a circa 2 metri. Tale sismostrato potrebbe essere riferito alle marne della Formazione Tellaro.
- **$1501 < V_p < 2000$ m/s \Rightarrow 3° sismostrato.** Costituisce la porzione fratturate dei sottostanti calcari fratturati. L'andamento morfologico di tale sismostrato è piuttosto articolato ed è condizionato da dislocazioni sub-verticali che interessano il sottostante sismostrato.
- **$V_p > 2001$ m/s \Rightarrow 4° sismostrato.** Rappresenta i calcari compatti. Anche tale sismostrato risulta interessato da dislocazioni sub-verticali.
- La sezione densità raggi mostra che il maggiore addensamento si ha al passaggio tra il secondo sismostrato e il terzo sismostrato.



**Coord.
Geografiche**

Inizio:
LAT 36.82088°
LONG 14.61718°

Fine:
LAT 36.82164°
LONG 14.61631°

Quota:
190m s.l.m.

**Lunghezza
stendimento:**
120ml

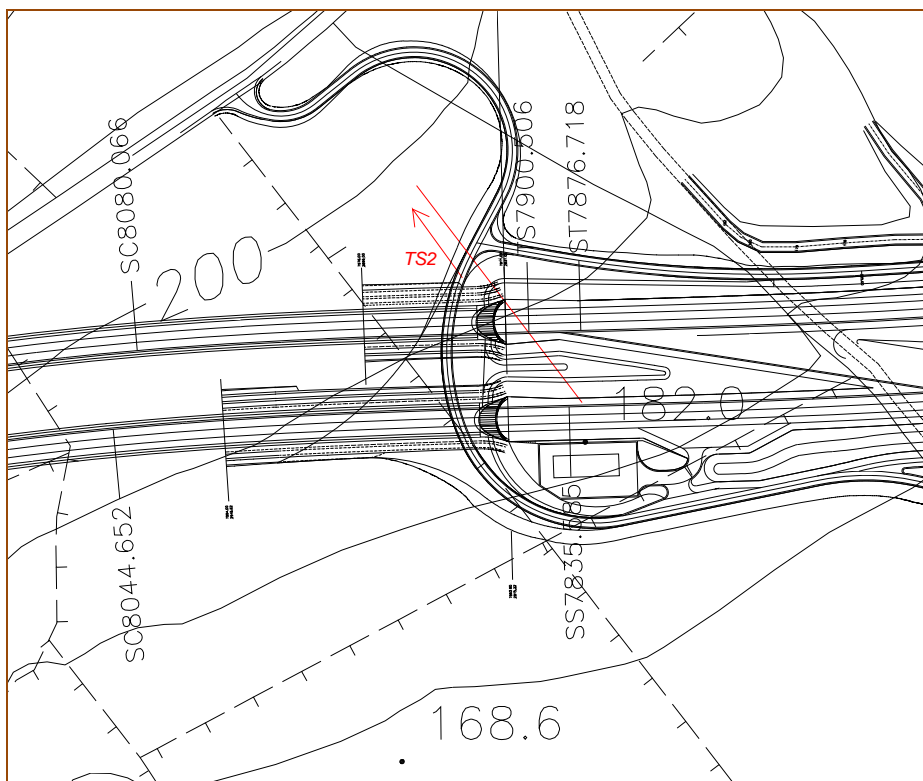


Figura 6. Ubicazione prova e documentazione fotografica – TS_2 -

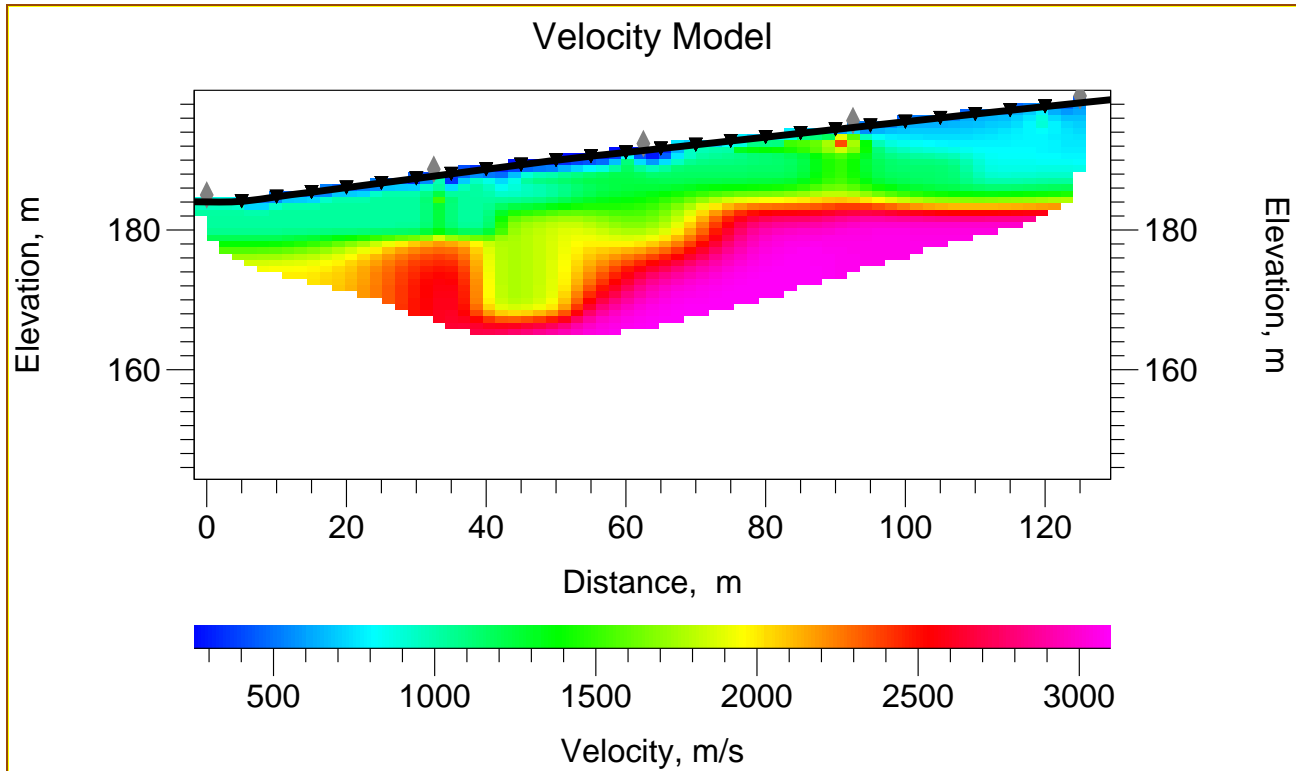
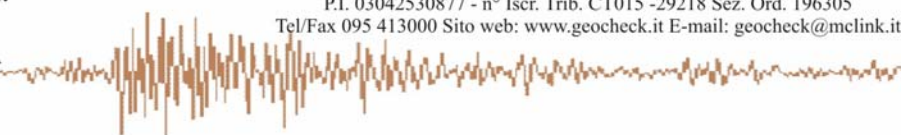


Figura 7. Modello di velocità onde P- rappresentazione a pixel- TOMO S2 -

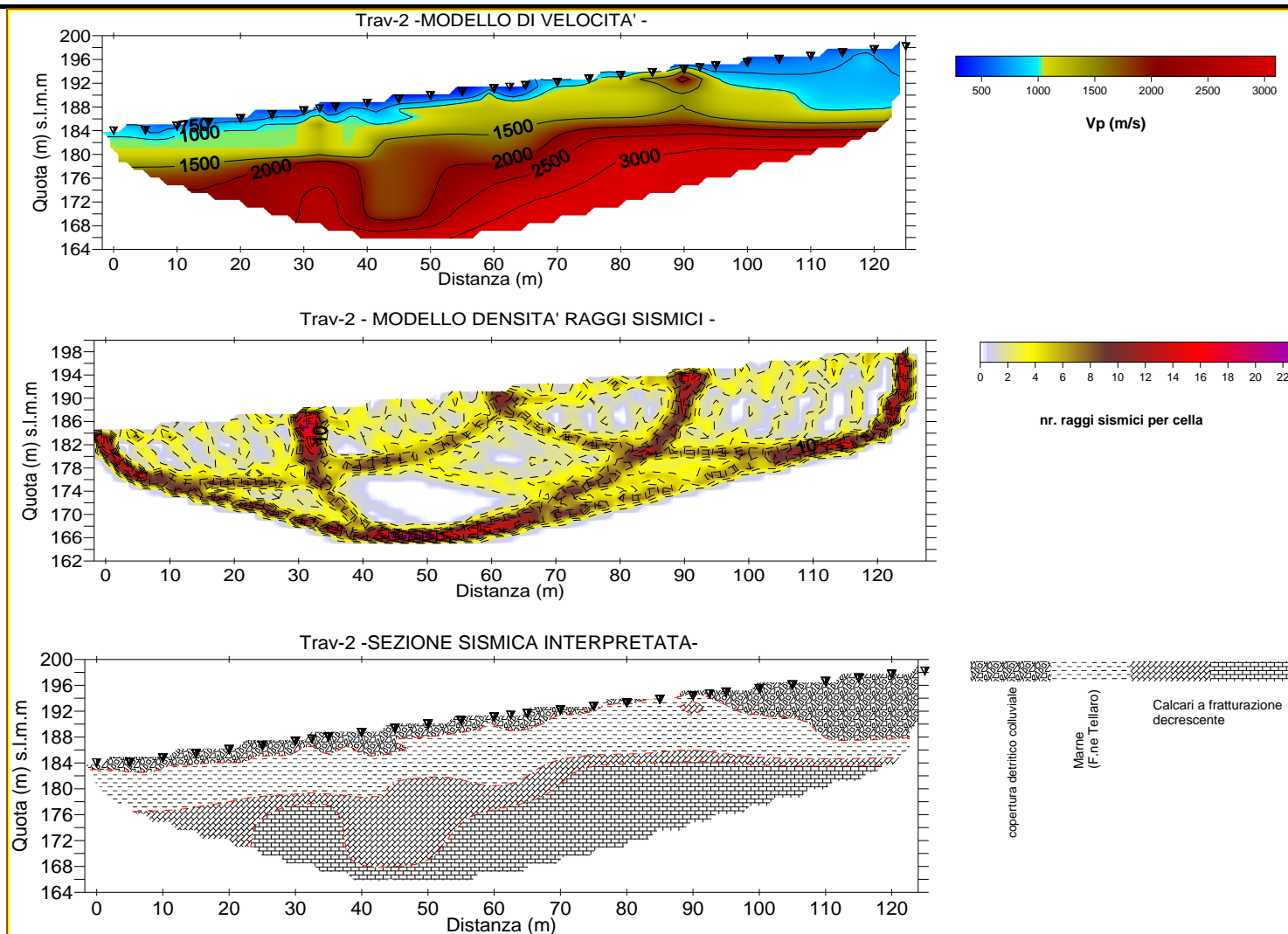
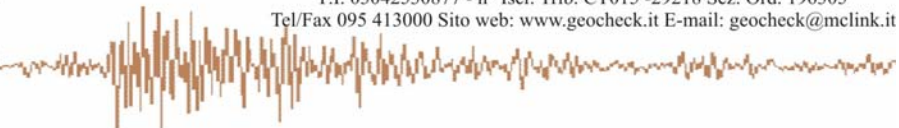


Figura 8. Modello di velocità onde P, densità dei raggi sismici e sezione sismica interpretata

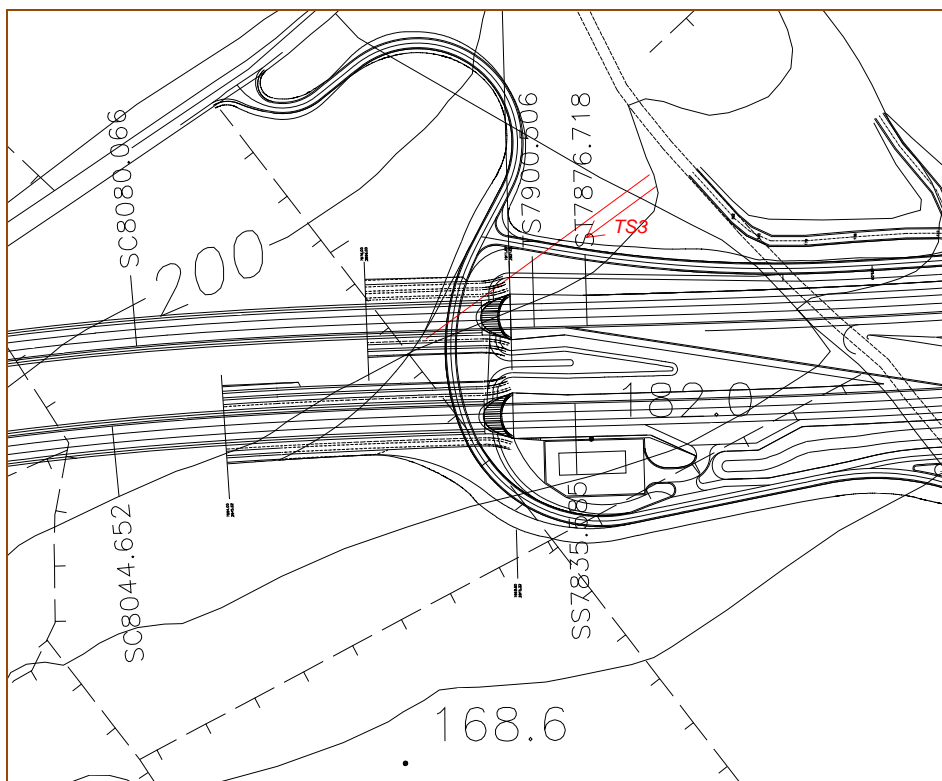
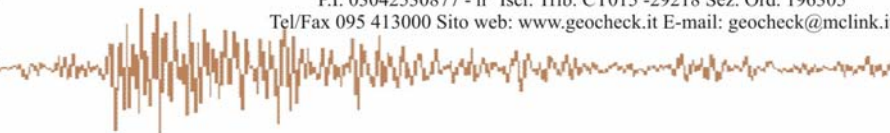
TOMOGRAFIA SISMICA TS3

Dalla prova è emerso che la velocità risulta compresa tra 359 m/s e 3698 m/s e che tale variazione, raggruppata in sismostrati e rappresentati con diverse gamme cromatiche, è prevalentemente verticale (sezione sismica interpretata) ed è attribuibile al passaggio tra la coltre detritica colluviale, le marne della formazione Tellaro e i sottostanti calcari diversamente fratturati e alterati. L'andamento morfologico del substrato è sub-orizzontale a meno di una dislocazione –sub-verticale riconoscibile a circa 70 metri di distanza dall'origine.

Le velocità delle onde sismiche sono state raggruppate in 4 sismostrati il cui andamento morfologico risulta regolare.

Nel dettaglio, i sismostrati possono essere così descritti:

- **$V_p < 1000$ m/se \Rightarrow 1° sismostrato.** Si presenta in maniera continua nella sezione tomografica con uno spessore di circa 2 metri. Verso la parte terminale della sezione tale spessore si riduce fino a meno di un metro. La porzione con velocità < 750 m/s è riferibile alla copertura detritica colluviale, mentre i termini a velocità compresa tra 750 e 1000 m/s possono essere attribuiti alla coltre detritica addensata.
- **$1001 < V_p < 1500$ m/s \Rightarrow 2° sismostrato.** Tale sismostrato, riferibile alle marne della Formazione Tellaro, è in continuità verticale con il primo sismostrato. Ha uno spessore che dall'origine fino a circa 80 metri di distanza è di circa 2 metri, mentre aumenta fino a 4 metri circa nella parte restante della sezione.
- **$1501 < V_p < 2000$ m/s \Rightarrow 3° sismostrato.** Ha un andamento sub-orizzontale ed uno spessore ridotto, quasi pellicolare. Dal punto di vista litologico può essere riferito ai calcari relativamente fratturati.
- **$V_p > 2001$ m/s \Rightarrow 4° sismostrato.** Rappresenta i calcari compatti. A circa 75 metri di distanza dall'origine tale sismostrato risulta interessato da una dislocazione sub-verticale.
- La sezione densità raggi sismici mostra la presenza di due orizzonti sismici: il primo orizzonte si ha al passaggio tra il secondo ed il terzo sismostrato, mentre il secondo segna il passaggio tra il terzo e quarto sismostrato.



**Coord.
Geografiche**

Inizio:
LAT 36.82173°
LONG 14.61755°

Fine:
LAT 36.82106°
LONG 14.61654°

Quota:
192m s.l.m.

**Lunghezza
stendimento:**
120ml

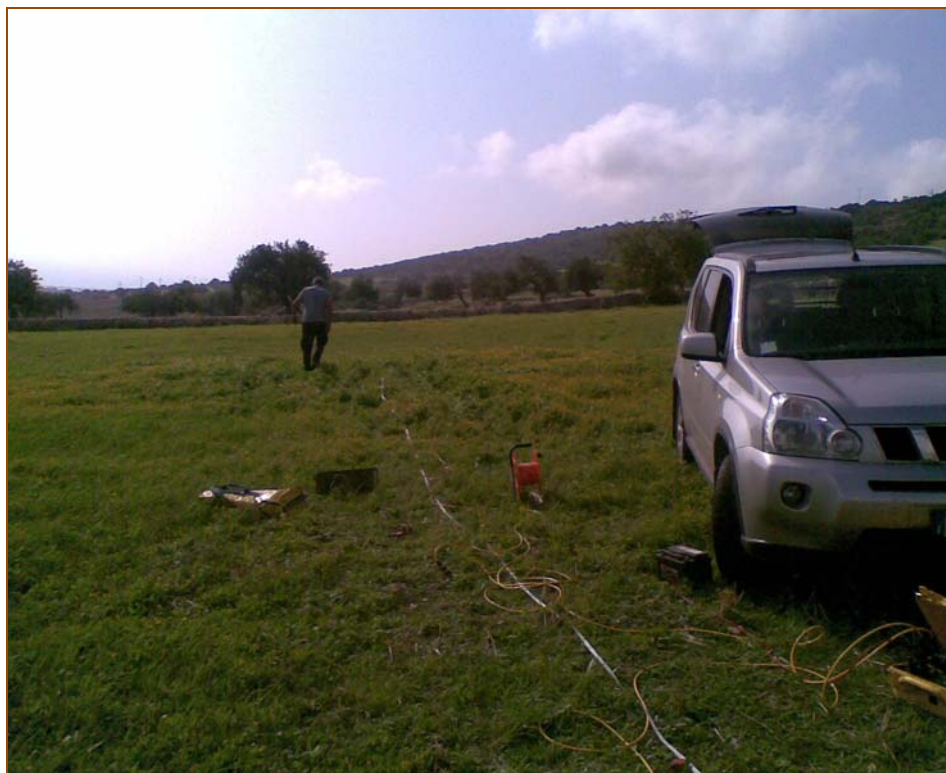


Figura 9. Ubicazione prova documentazione fotografica TS3

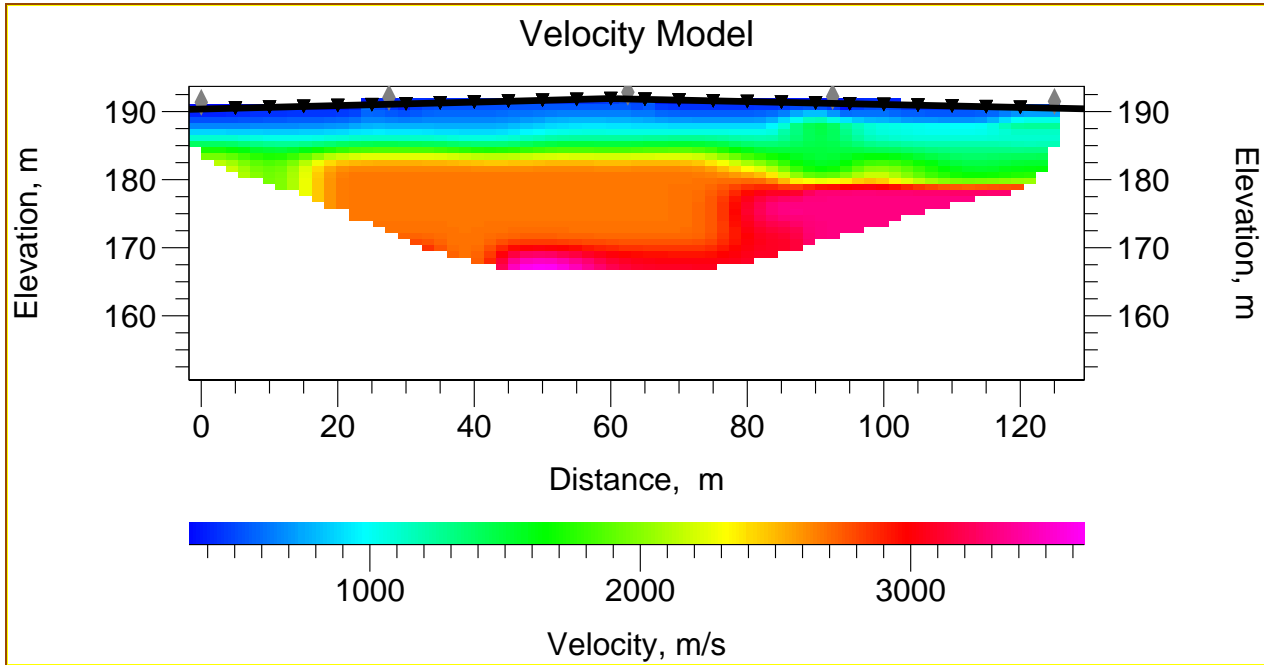
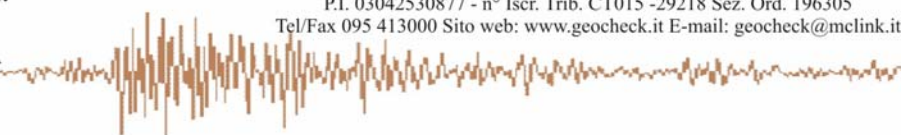
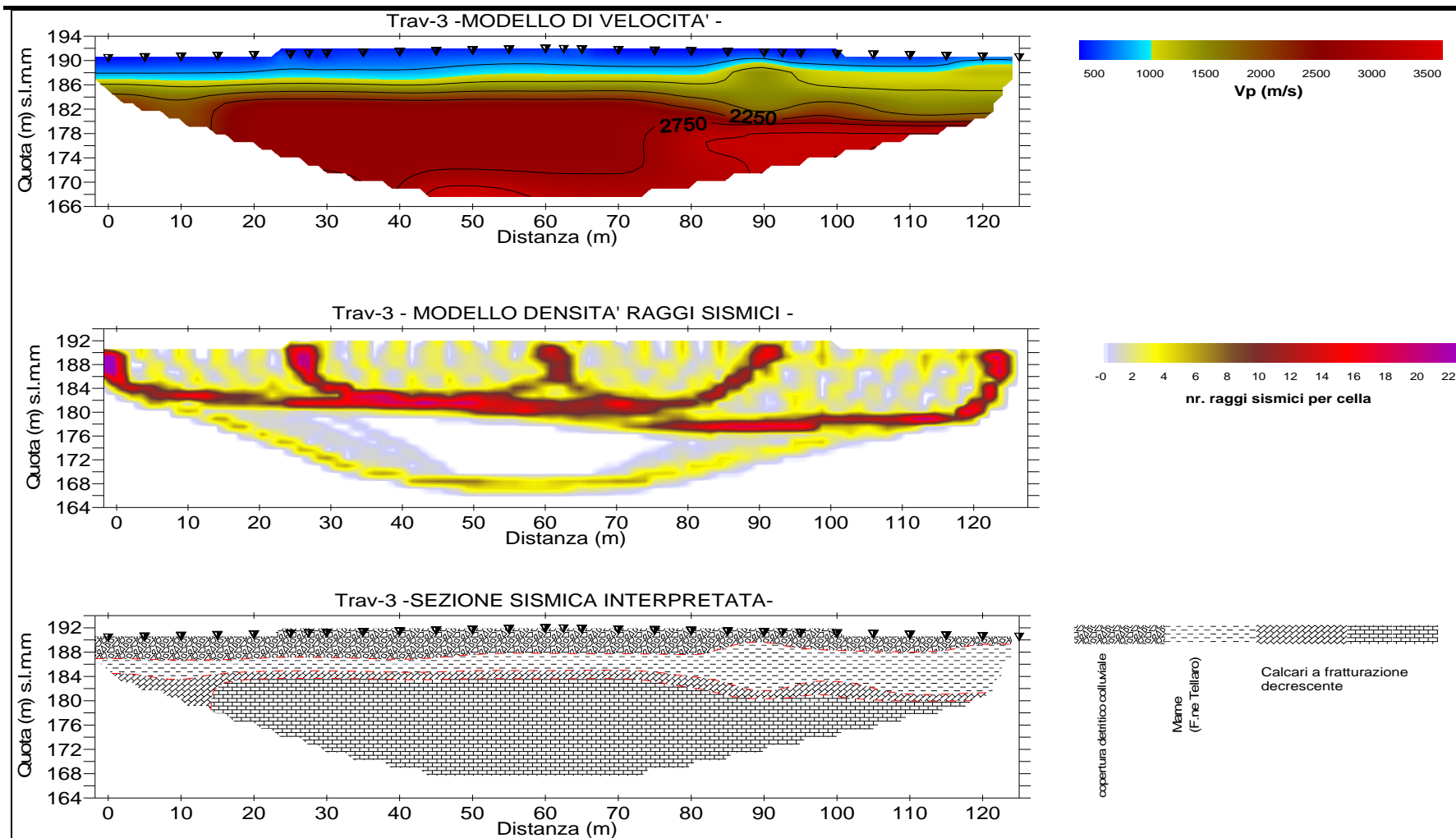
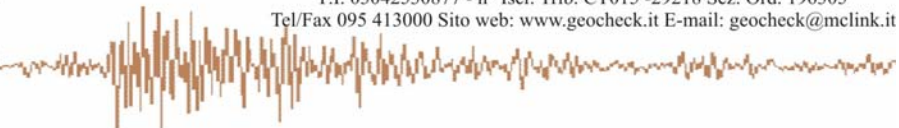
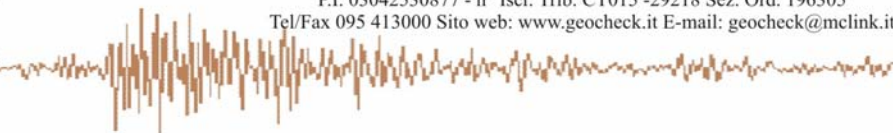


Figura 10. Modello di velocità onde P - rappresentazione a pixel– TOMO S3-



1. **Figura 11** Modello di velocità onde P, densità dei raggi sismici e sezione sismica interpretata



M.A.S.W. 5-

Coord.

Geografiche

LAT 36.82144°

LONG 14.61708°

Quota:

192m s.l.m.

Lunghezza

stendimento:

48ml

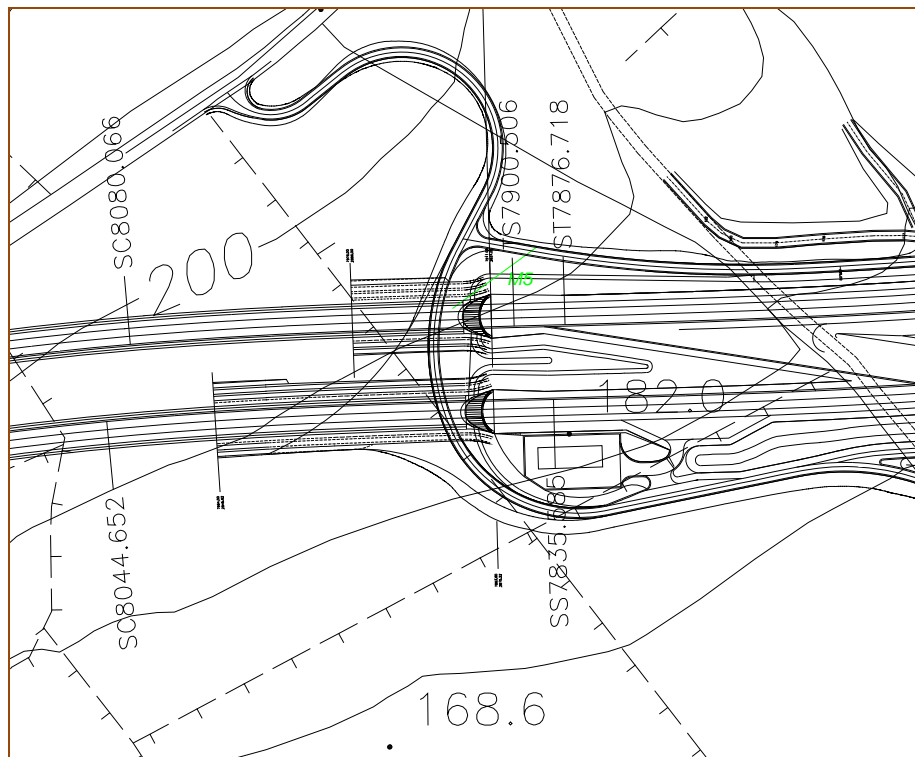
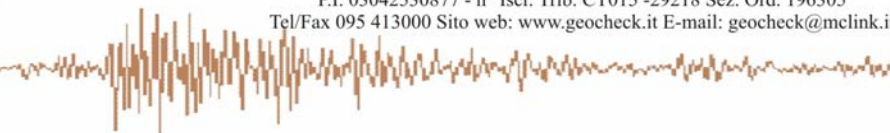


Figura 12. Ubicazione prova e documentazione fotografica – MASW_5 -



La velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s) - frequenza (Hz) in un intervallo di frequenza compreso tra 10.375 Hz e 46.3 Hz. La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, tra 392.8 m/s e 1090 m/s (Fig.13). La curva di dispersione, estratta nel campo di frequenza analizzato, mostra avere, nel suo complesso, un andamento normal-dispersivo.

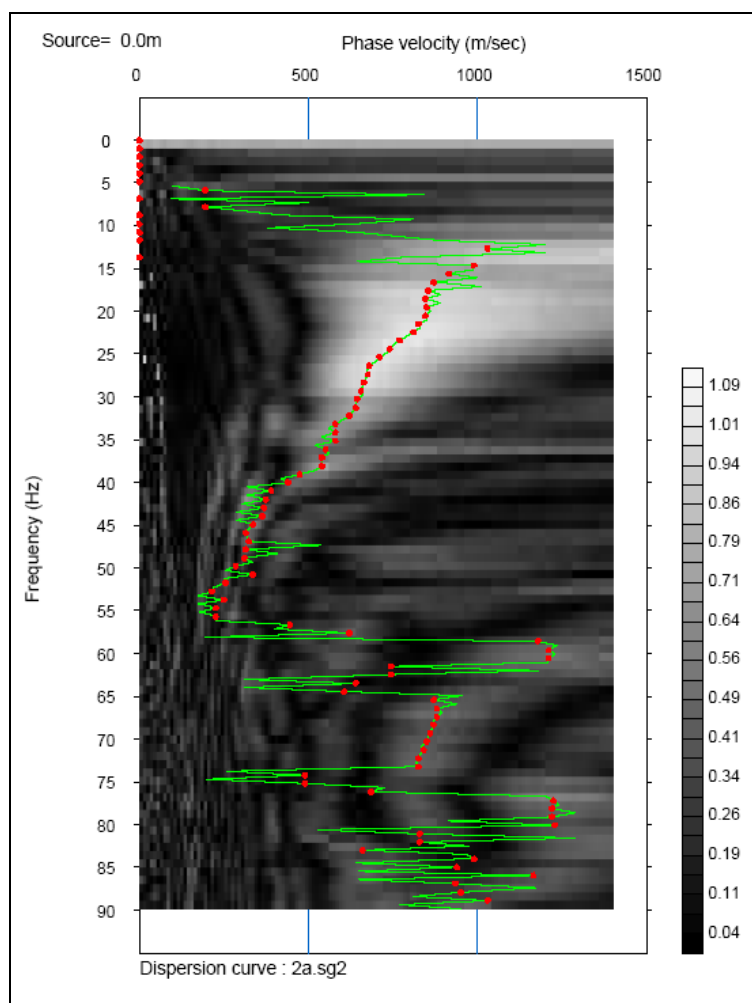


Figura 13. Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente /frequenza

La curva di dispersione teorica calcolata attraverso l'inversione del modello di velocità (Fig. 14) ha uno scarto pari $RMSE = 13.73$ m/s con la curva di dispersione sperimentale. Il profilo di velocità del sottosuolo prevede l'aumento graduale della velocità di taglio con la profondità. Alla profondità di 12 metri viene intercettato il bedrock sismico.

Profondità H(m)	Vs (m/s)
0	263.52
2	413.69
6	788.07
12	1080.64

Tabella. Modello di velocità teorico relativo alla curva teorica di fig. 15

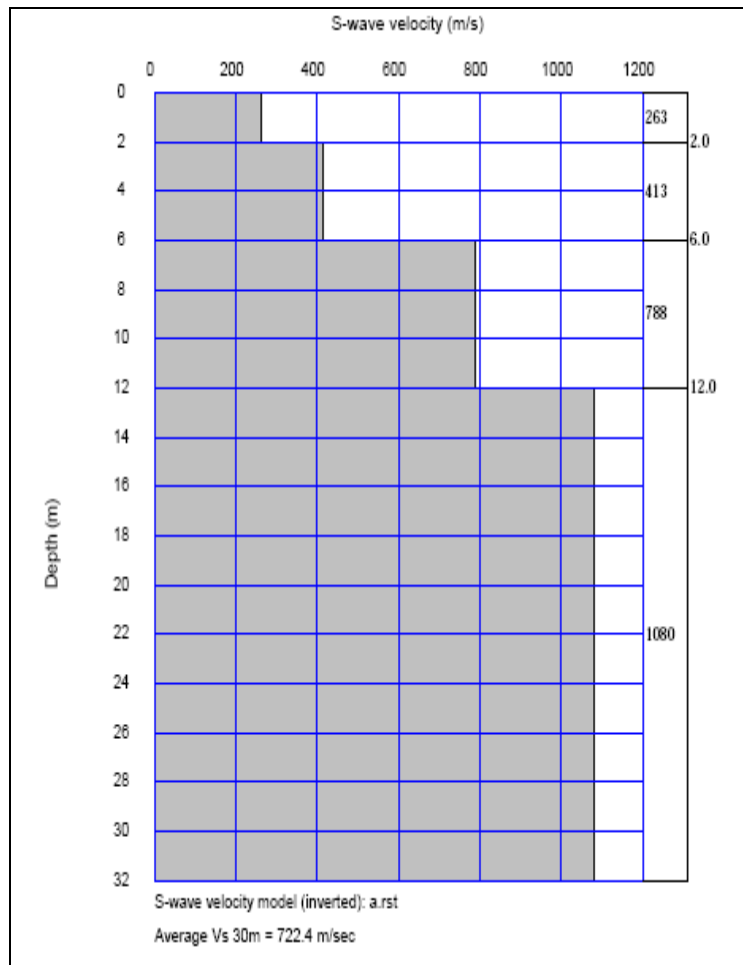


Figura 14. Modello di velocità del sottosuolo.

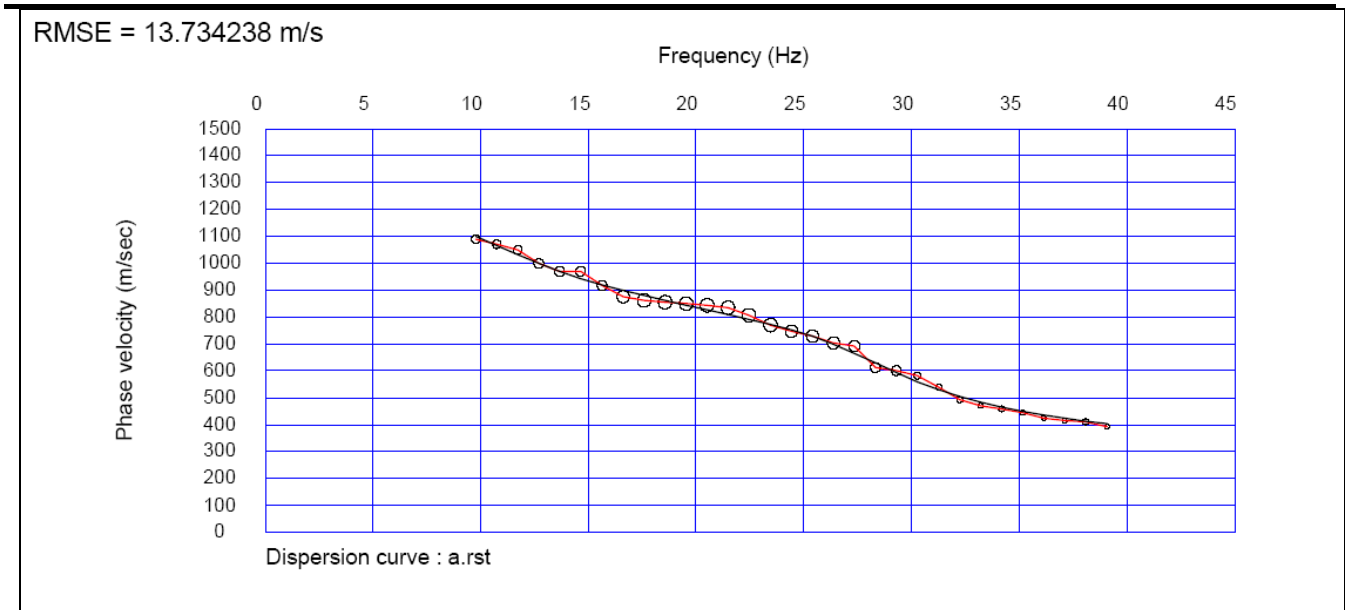
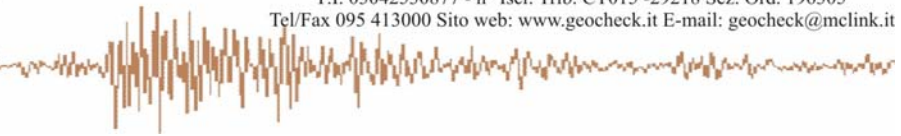
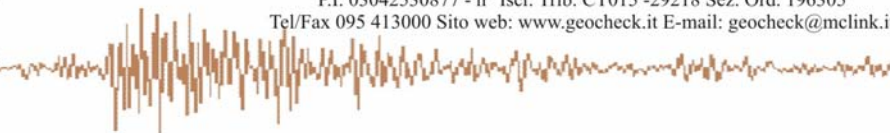


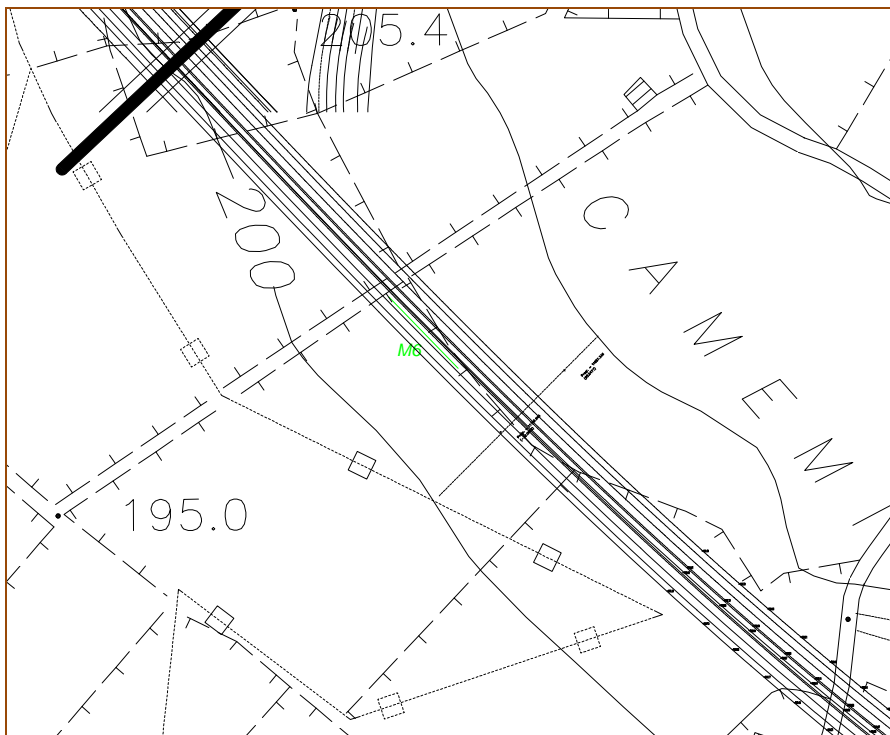
Figura 15. Confronto tra curva di dispersione teorica calcolata attraverso il modello di velocità teorico del sottosuolo (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa con pallini bianchi).

VS30

Sismostrato	Profondità	Spessore30 (h - (m-))	V _s (m/s)	h/V _s (sec)	V _{s30}
1	0.00	2.00	263.5	0.0075894	722.39
2	2.00	4.00	413.7	0.0096689	
3	6.00	6.00	788.1	0.0076135	
4	12.00	18.00	1080.6	0.0166568	



M.A.S.W. 6-



Coord. Geografiche

LAT 36.81267°

LONG 14.57922°

Quota:

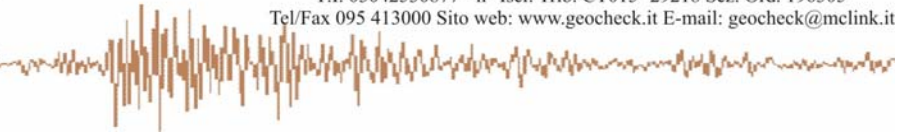
205m s.l.m.

**Lunghezza
stendimento:**

36ml



Figura 16. Ubicazione prova e documentazione fotografica – MASW_6-



La velocità di fase risulta dispersa nel piano velocità (m/s) - frequenza (Hz) in un intervallo di frequenza compreso tra 15.375 Hz e 66.88 Hz. La corrispondente velocità di fase apparente è compresa, rispettivamente, 908 m/s e 1038 m/s (Fig.17). La curva di dispersione, estratta nel campo di frequenza analizzato, mostra avere, nel suo complesso, un andamento normal-dispersivo.

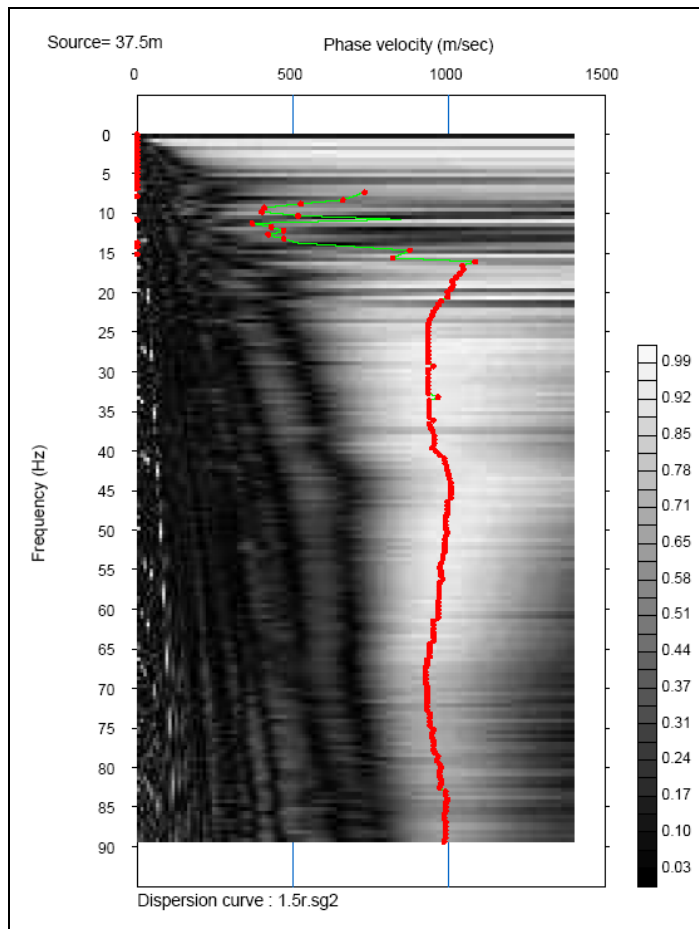


Figura 17. Densità spettrale normalizzata nel piano Velocità di fase apparente /frequenza

La curva di dispersione teorica calcolata attraverso l'inversione del modello di velocità (Fig. 18) ha uno scarto pari $RMSE = 24.9$ m/s con la curva di dispersione sperimentale. Il profilo di velocità del sottosuolo è rappresentativo di un suolo rigido (V_s media= 1006.8 ± 96.77)

Profondità H(m)	Vs (m/s)
0	867.8
2.4	1005.68
6	1157.27
10.8	930.12
16.8	1073.16

Tabella . Modello di velocità teorico relativo alla curva teorica di fig. 19

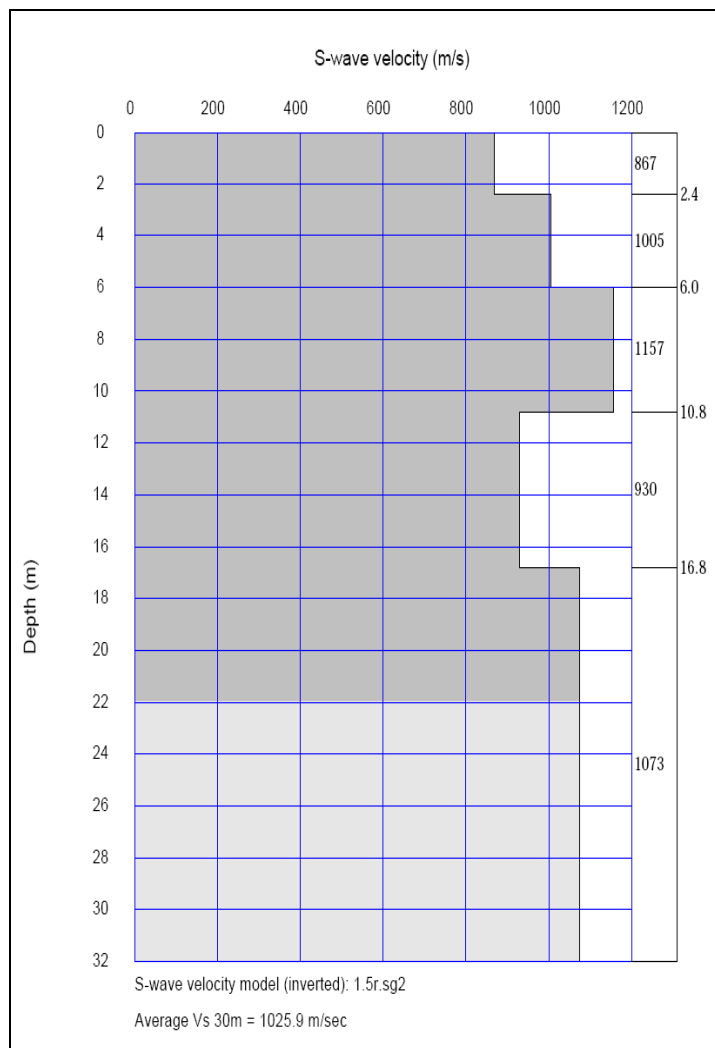


Figura 18. Modello di velocità del sottosuolo.

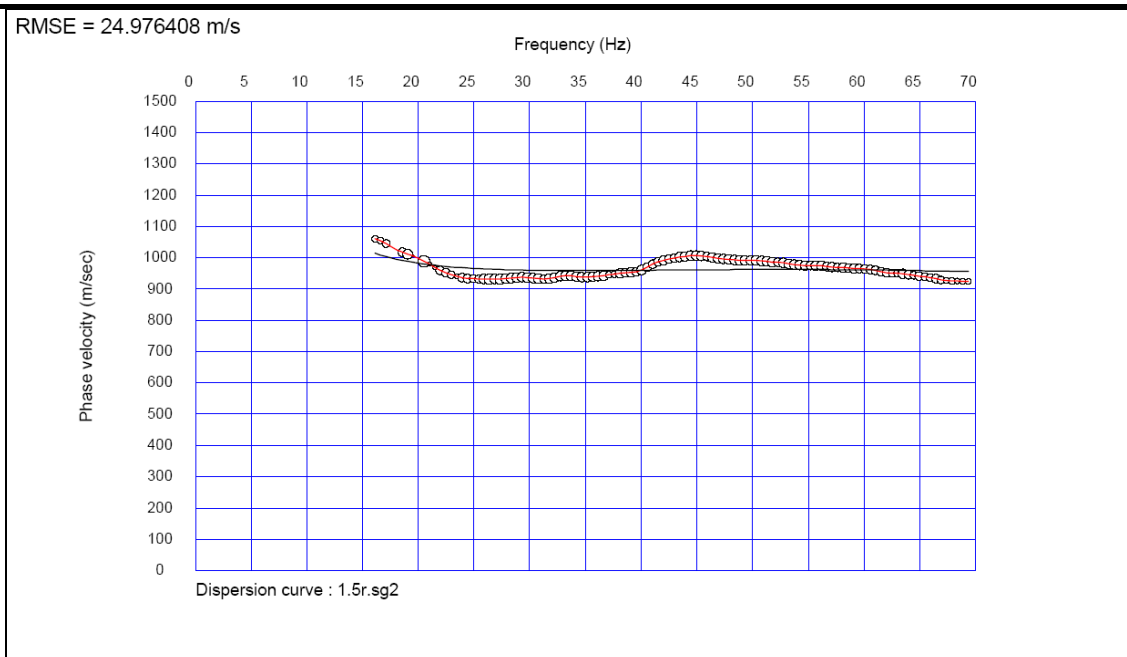
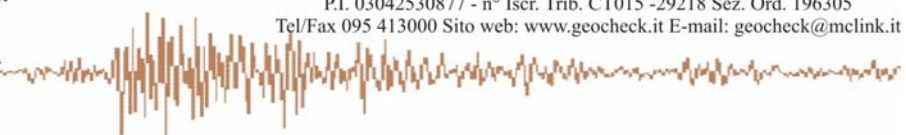


Figura 19. Confronto tra curva di dispersione teorica calcolata attraverso il modello di velocità teorico del sottosuolo (curva nera) con la curva sperimentale (curva rossa con pallini bianchi).

VS30

Sismostrato	Profondità	Spessore30 (h - (m-))	V_s (m/s)	h/V_s (sec)	V_{s30}
1	0.00	2.40	867.9	0.0027653	1025.9
2	2.40	3.60	1005.7	0.0035797	
3	6.00	4.80	1157.3	0.0041477	
4	10.80	6.00	930.1	0.0064507	
5	16.80	13.20	1073.2	0.0123001	