

### TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini  
Via Mazzini, 18  
52011 Soci (AR)  
P.IVA 02024110518  
info@trigeo.it

### FIRENZE

Via Nino Bixio, 9  
50131 Firenze  
firenze@trigeo.it  
T/F 055 400619  
M 328 7213928

### AREZZO

Via Trasimeno, 7  
52100 Arezzo  
arezzo@trigeo.it  
T/F 0575 294500  
M 339 2288117

## RELAZIONE TECNICA

### STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

### “INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE MEDIANTE SISMICA A RIFRAZIONE E TOMOGRAFIA SISMICA (ONDE P ED SH) LINEA SISMICA ST1 - LONNANO”

## COMMITTENTE : COMUNE DI PRATOVECCHIO-STIA

24 - SETTEMBRE - 2015



CERTIFICATO  
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE  
NON DISTRUTTIVE E  
SEMIDISTRUTTIVE  
NEL SETTORE CIVILE

INDICE

TRIGEO s.n.c.  
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto  
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)  
P.IVA 02024110518  
Tel/Fax 0575 294500 - 055 996212  
Cell. / 339 2288117 - 328 7213928  
www.trigeo.it - info@trigeo.it

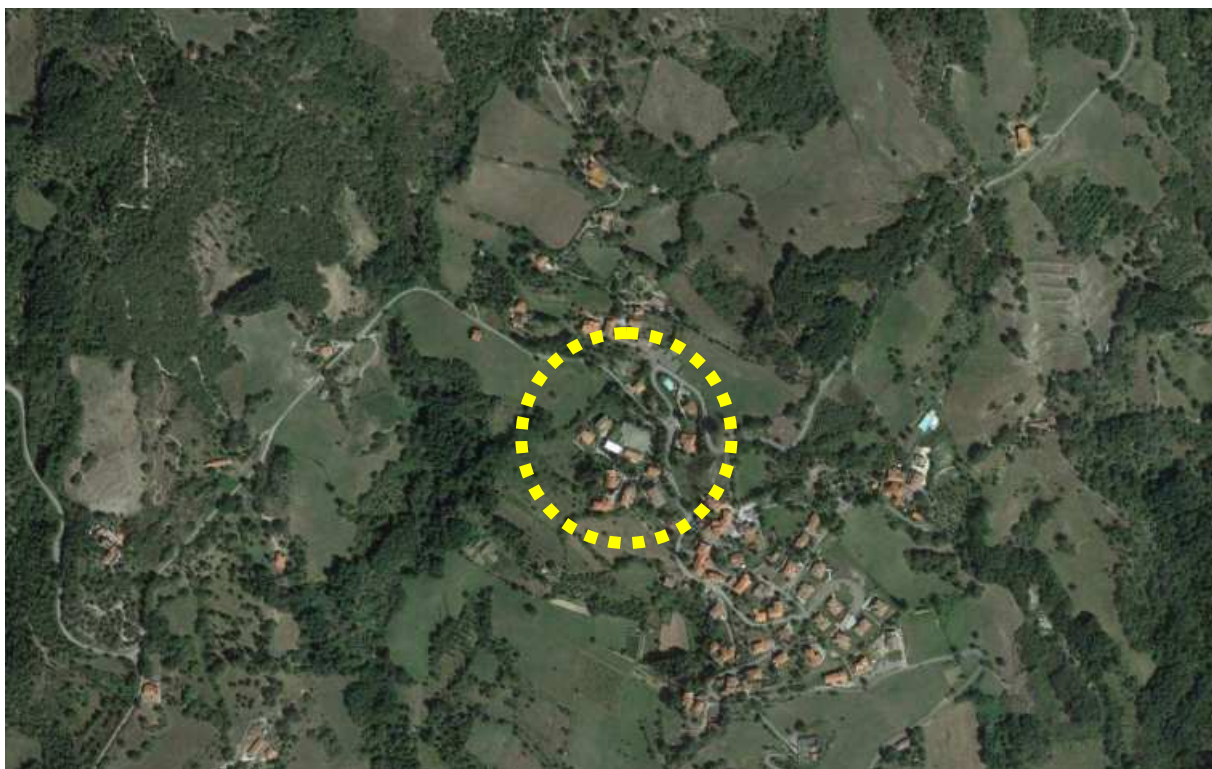


WWW.TRIGEO.IT

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.0 SCHEMA OPERATIVO</b>	<b>5</b>
<b>2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA</b>	<b>5</b>
<b>3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI</b>	<b>7</b>
<b>4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA</b>	<b>8</b>
<b>5.0 CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>10</b>
<b>ALLEGATI</b>	<b>12</b>

## INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Settembre 2015, mediante sismica a rifrazione onde P ed onde SH (acquisizione ed elaborazione dati con metodologia tomografica), per conto del **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)**.



**Figura 1:** Area d'intervento: Linea ST1 Loc. Lonnano – Pratovecchio Stia (AR).

L'indagine sismica, viene eseguita nei pressi dell'abitato di **LONNANO - PRATOVECCHIO STIA (AR)**.

Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una prospezione geofisica mediante sismica a rifrazione tesa a fornire, lungo la sezione, convenuta con la committenza, una caratterizzazione delle litologie presenti nell'area d'indagine nonché determinare le geometrie (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo dei terreni in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P e di taglio SH. I dati ottenuti sono stati elaborati sia con la metodologia classica della rifrazione (GRM) che con la metodologia tomografica che permette di ottenere, attraverso un maggior numero di "energizzazioni" (7 per ciascun stendimento) ed un opportuno software di elaborazione, un'ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura.

L'acquisizione delle onde SH combinate alle onde di compressione consente di ottenere i principali parametri elastico/dinamici e di fornire i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), così come richiesto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

La relazione tecnica riferisce sui risultati ottenuti dall'indagine sismica a rifrazione mediante Onde P e SH ed è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale del profilo sismico **ST1** eseguito, scala 1:10.000 (da CTR 1:10.000);
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **ST1** eseguito, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate;
- Schema dettagliato della linea sismica con posizionamento relativo dei geofoni (quote-distanze), coordinate in Gauss-Boaga dei geofoni iniziale e finale e punti di energizzazioni (quote-distanze);
- **Tabelle Tempi di arrivo Onde P e SH** relativi ai vari scoppi, con riportati posizione, tempo di arrivo e quota di ciascun geofono;
- **Tavole 03-07:** Diagrammi Tempi d'arrivo-Distanze (Dromocrone) Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 04-08:** Grafici delle profondità dei rifrattori individuati (sezione sismostratigrafica) e tabelle Distanze-Profondità Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 05-09:** Sezioni litostratigrafiche interpretative onde P-SH, scala 1:500;
- Tabelle Profondità calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- Tabelle Velocità sismiche calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- **Tavole 06-10:** Sezioni tomografiche onde P-SH, scala 1:500;
- Documentazione fotografica della linea sismica;
- Stampe delle registrazioni di campagna.

Di seguito viene descritto, lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.



## 1.0 SCHEMA OPERATIVO

Nella **Tavola 01**, è stato riportato un inquadramento corografico generale in scala 1:10.000 con inserita la sezione sismica eseguita. Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, con inserita la sezione sismica eseguita, la posizione di ogni singolo geofono e l'ubicazione di ogni punto di energizzazione (shot point).

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di 3 m per la sezione eseguita sia con onde P che con onde SH. Complessivamente sono stati acquisiti **138 ml** di rilievo suddivisi in 2 basi di **69 ml** (Onde P-SH).

## 2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

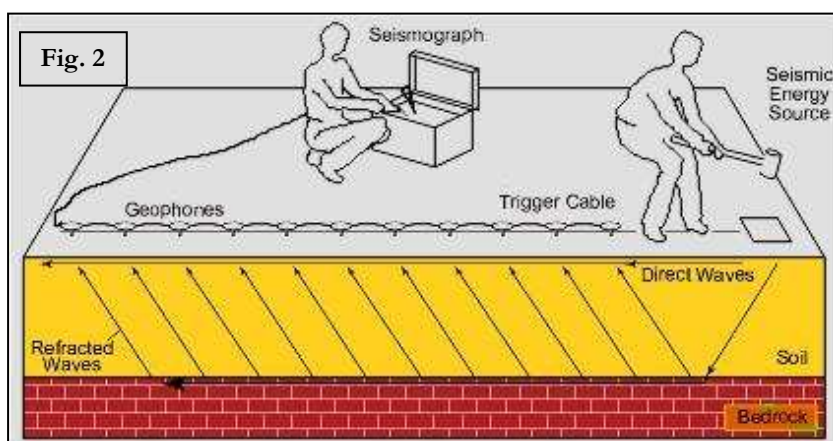
Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del

sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri

ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 2**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.

Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: **A/D Conversion:** 24 bit; **Dynamic Range:** 144 dB; **Distortion:** 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; **Bandwidth:** 1.75 Hz to 20 kHz; **Common Mode Rejection:** > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; **Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; **Noise Floor:** 0.2uV, RFI at 2 ms, 36



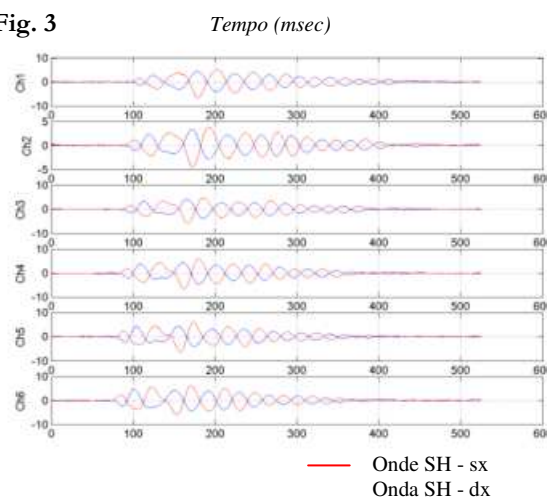
dB, 1.75 to 208 Hz; **Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval; **Maximum Input Signal:** 2.8 VPP; **Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uf; **Preamplifier Gains;** **Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency; **Sample Interval:** 0.02 to 16.0 ms; **Record Length:** 16,000 samples; **Acquisition and Display Filters:** *LowCut, Notch, HighCut*; **Data Formats:** SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali ed orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e nel caso dei geofoni orizzontali dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza generalmente una trave di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato nel nostro caso dalla stessa autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase (**Fig. 3**). Ogni energizzazione viene registrata sull'Hard Disk sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il *Generalized Reciprocal Method* (GRM) che consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati fino ad angoli superiori a 20 gradi. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti sono dei casi particolari.

Fig. 3



Oltre al GRM, in alcuni casi, è stato utilizzato, per conferma e confronto, un algoritmo di inversione che usa il *delay-time method* per ottenere un primo modello approssimato in profondità, che viene quindi affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna ed il corrispondente modello di profondità. In questo caso specifico è stato utilizzato come sistema di elaborazione principale il *delay-time method* affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed il GRM come verifica e conferma dei risultati ottenuti.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme. Infine sono stati calcolati i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), come richiesto dalla nuova "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

### 3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nelle **Tavole 03-07** sono rappresentate, le curve tempi-distanze, Dromocrone, che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna (onde P-SH). Nel diagramma tempi-distanze, in ascisse, in scala 1:500 sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento e, in ordinate, i tempi di arrivo, espressi in millisecondi agli stessi sensori.

Nelle **Tavole 04-08**, sono state riportate le sezioni sismostratigrafiche ottenute (onde P-SH), al di sotto della superficie topografica l'inviluppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato.

Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'inviluppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Nelle **Tavole 05-09** sono riportate le sezioni interpretate (sezioni litostratigrafiche) sulla base sia dei dati ottenuti (sezioni sismostratigrafiche), sia di considerazioni geologiche generali relative alla zona in esame che sulla base dei dati forniti dal tecnico incaricato.

Infine nelle **Tavole 06-10** abbiamo le sezioni tomografiche interpretate realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. La scala in falsi colori presente, esprime i valori di velocità all'interno della sezione.

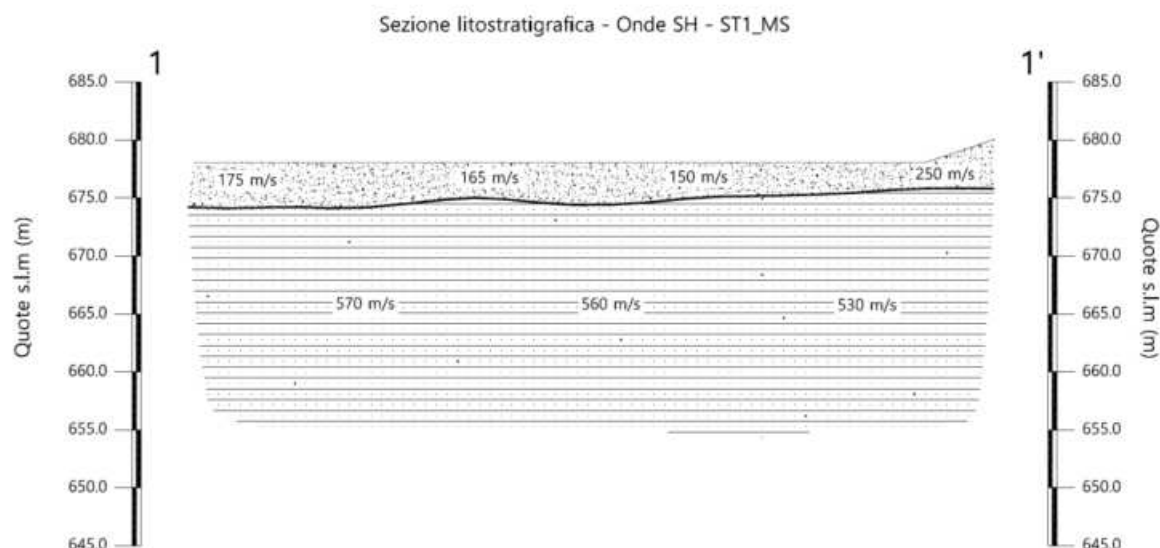
Le sezioni litostratigrafiche interpretate assieme alle sezioni tomografiche, rappresentano il risultato conclusivo dell'analisi dei dati sintetizzati nelle tavole e tabelle allegate.

#### 4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 2.20 m e 4.25 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 3.00 m (onde P) e ca. 3.30 m (Onde SH).

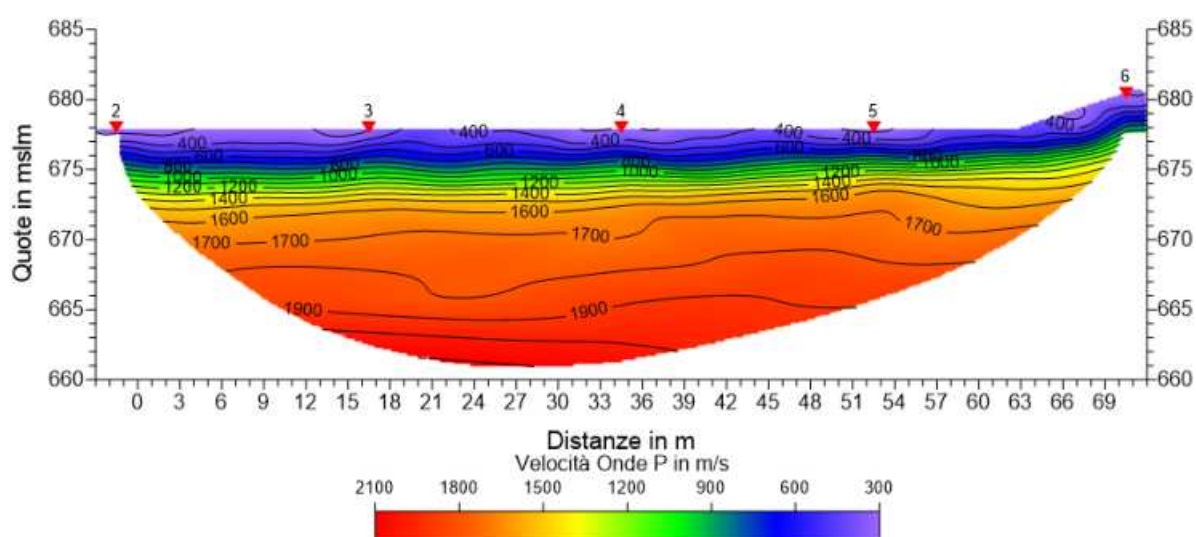
Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrito, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 330 e 455 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 150-250 m/s, con il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 1.940 e 2.180 m/s (onde P) e tra 530-570 m/s (onde SH).

La **Sezione ST1** è stata elaborata seguendo le informazioni del GRM, che hanno permesso di ricostruire l'andamento del rifrattore principale. Il rifrattore si presenta piuttosto regolare attestandosi a profondità maggiori nel tratto iniziale (prossime ai 3.30m) ed inferiori nel tratto finale, prossime a 2.20/2.30 m.

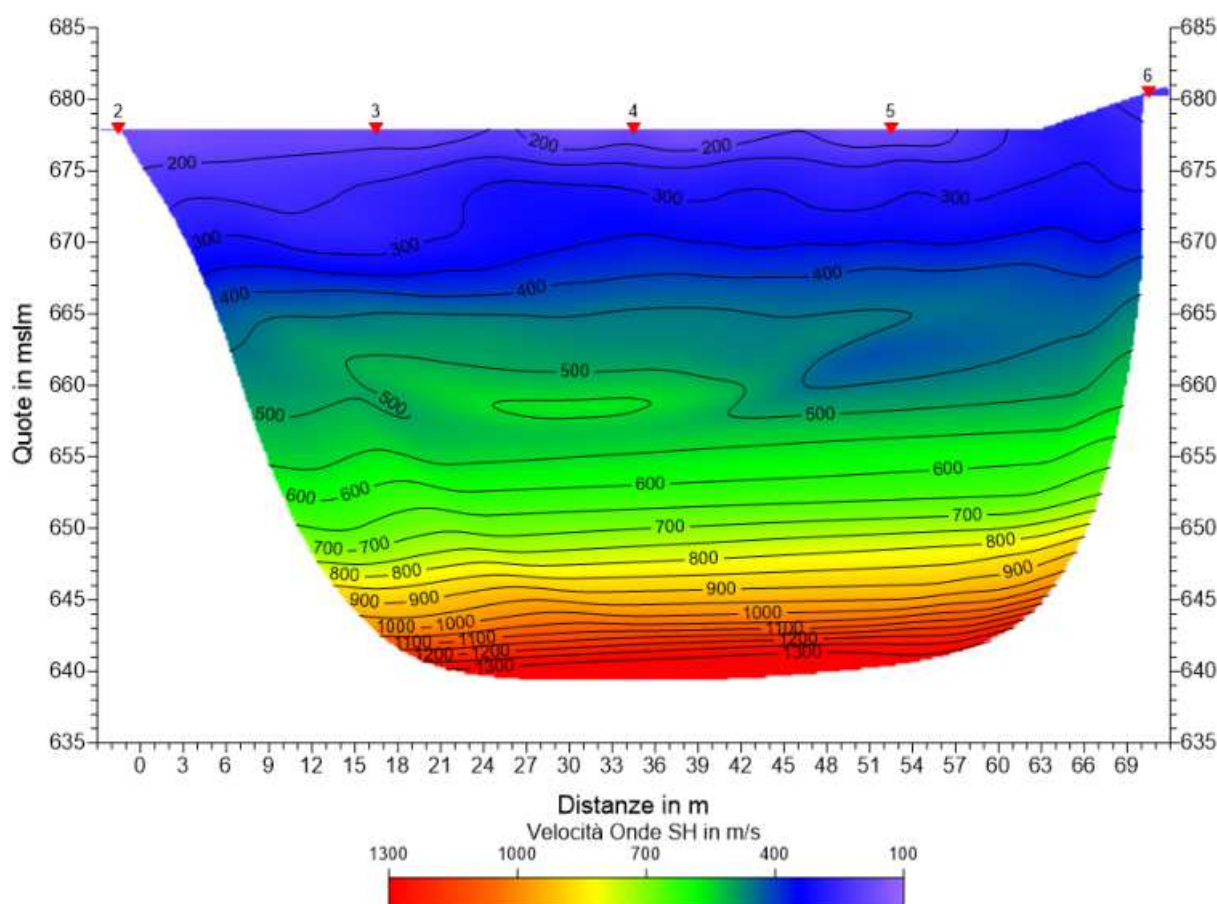


Le velocità del substrato roccioso mostrano per le onde P, valori compresi tra 1.940 e 2.180 m/s , maggiori nei tratti iniziale e centrale ed inferiori nel finale. Le velocità delle onde SH invece, mostrano valori decrescenti, con velocità che passano dai ca. 570 m/s del tratto iniziale ai ca. 530 m/s del tratto centrale.

L'analisi tomografica eseguita sia con onde P che con onde SH in accordo con i risultati del GRM , permette di apprezzare nella porzione più superficiale zone a più bassa velocità, che indicano materiale più allentato. Il passaggio al substrato roccioso risulta evidenziato dal raffittimento delle curve di isovelocità (a partire da quella dei 900-1.000 m/s onde P), mentre per le onde SH, il contatto si osserva a partire dalla curva dei 500-600 m/s, anche se in questo caso il passaggio risulta più graduale, con velocità che aumentano progressivamente con la profondità.







## 5.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio ha individuato le caratteristiche geofisiche dei materiali superficiali e profondità di un'area, posta in località **LONNANO**, nel **COMUNE PRATOVECCHIO STIA (AR)**. L'indagine geofisica di superficie, eseguita mediante sismica a rifrazione, ha permesso di identificare in profondità il passaggio tra i materiali più superficiali (terreno vegetale/detrito) ed il substrato litoide integro costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3).

Sulla base di quanto fino ad ora riportato è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive relativamente all'area in oggetto:

- I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 2.20 m e 4.25 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 3.00 m (onde P) e ca. 3.30 m (Onde SH);



- nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrimento di versante, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 330 e 455 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 150-250 m/s, con il con il substrato litoide, costituito dalla Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 1.940 e 2.180 m/s (onde P) e tra 530-570 m/s (onde SH).

---

Arezzo, lì 24/09/2015

  
**TRIGEO s.n.c.**  
 di Nencetti Andrea & Turchetti Benedetto  
 Via Mazzini n°16 - 52011 - SODI (AR)  
 P.IVA 02024110516  
 Tel/Fax: 0575/254800 - 056/9902212  
 Cell: 339/3040117 - 306/7213603  
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

## **ALLEGATI**

### SCHEMA DELLA LINEA SISMICA ST1\_MS

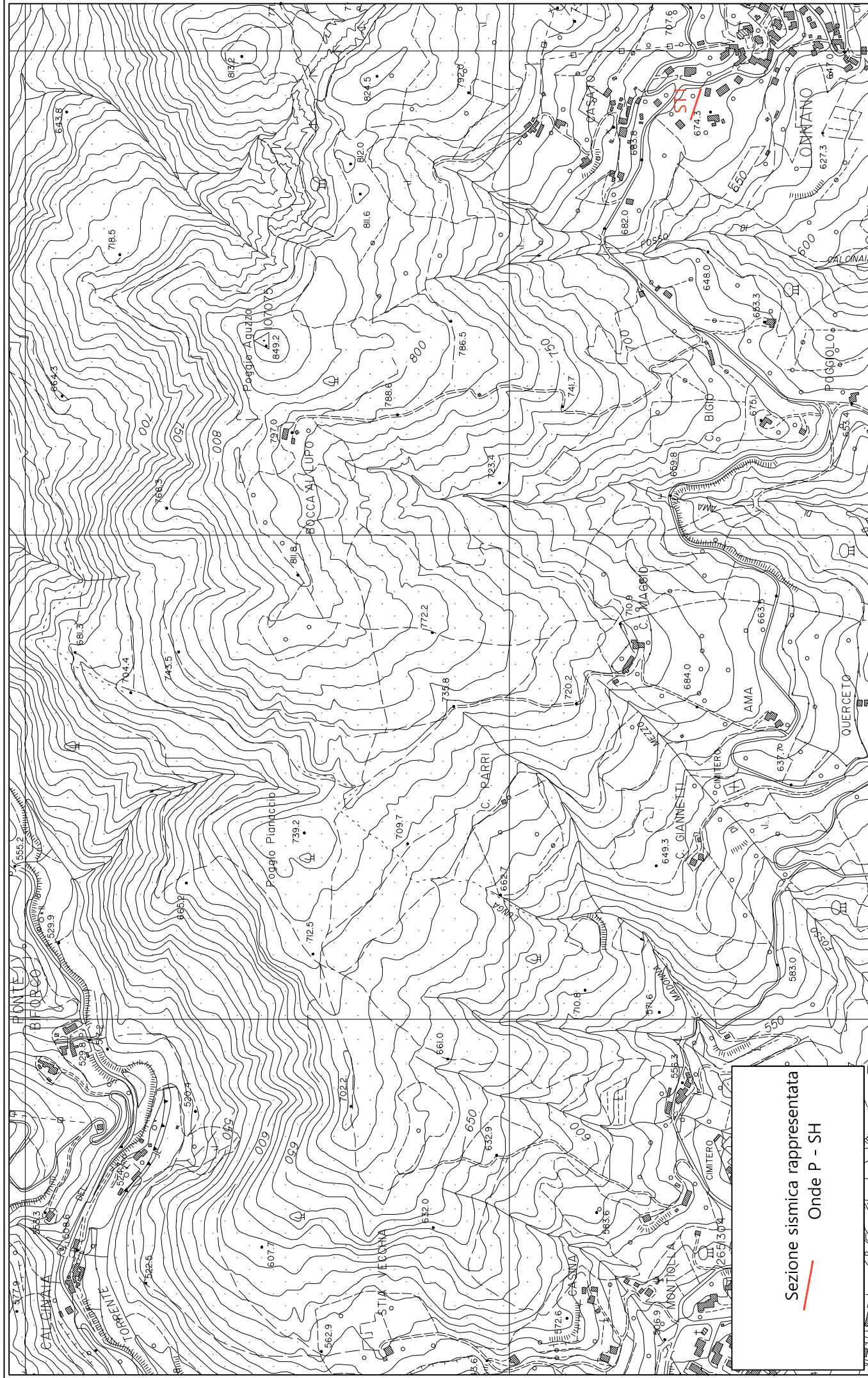
GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	0.0	678.00
2	3	3.0	678.00
3	6	3.0	678.00
4	9	3.0	678.00
5	12	3.0	678.00
6	15	3.0	678.00
7	18	3.0	678.00
8	21	3.0	678.00
9	24	3.0	678.00
10	27	3.0	678.00
11	30	3.0	678.00
12	33	3.0	678.00
13	36	3.0	678.00
14	39	3.0	678.00
15	42	3.0	678.00
16	45	3.0	678.00
17	48	3.0	678.00
18	51	3.0	678.00
19	54	3.0	678.00
20	57	3.0	678.00
21	60	3.0	678.00
22	63	3.0	678.00
23	66	3.0	679.00
24	69	3.0	680.00

### COORDINATE GAUSS-BOAGA DEI GEOFONI 1 E 24

COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	4852645,90	4852641,53
Y(m)	1720651,68	1720664,77

### PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT

ONDE P	Σ ONDE SH	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.2033	DAT.2016	A - ESTERNO SX	-35.0	676.10
DAT.2031	DAT.2018	B - ESTREMO SX	-1.5	678.00
DAT.2030	DAT.2020	C - INTERMEDIO SX	16.5	678.00
DAT.2029	DAT.2023	D - CENTRALE	31.5	678.00
DAT.2028	DAT.2025	E - INTERMEDIO DX	52.5	678.00
DAT.2026	DAT.2012	F - ESTREMO DX	70.5	680.50
DAT.2027	DAT.2014	G - ESTREMO DX	104.0	684.00



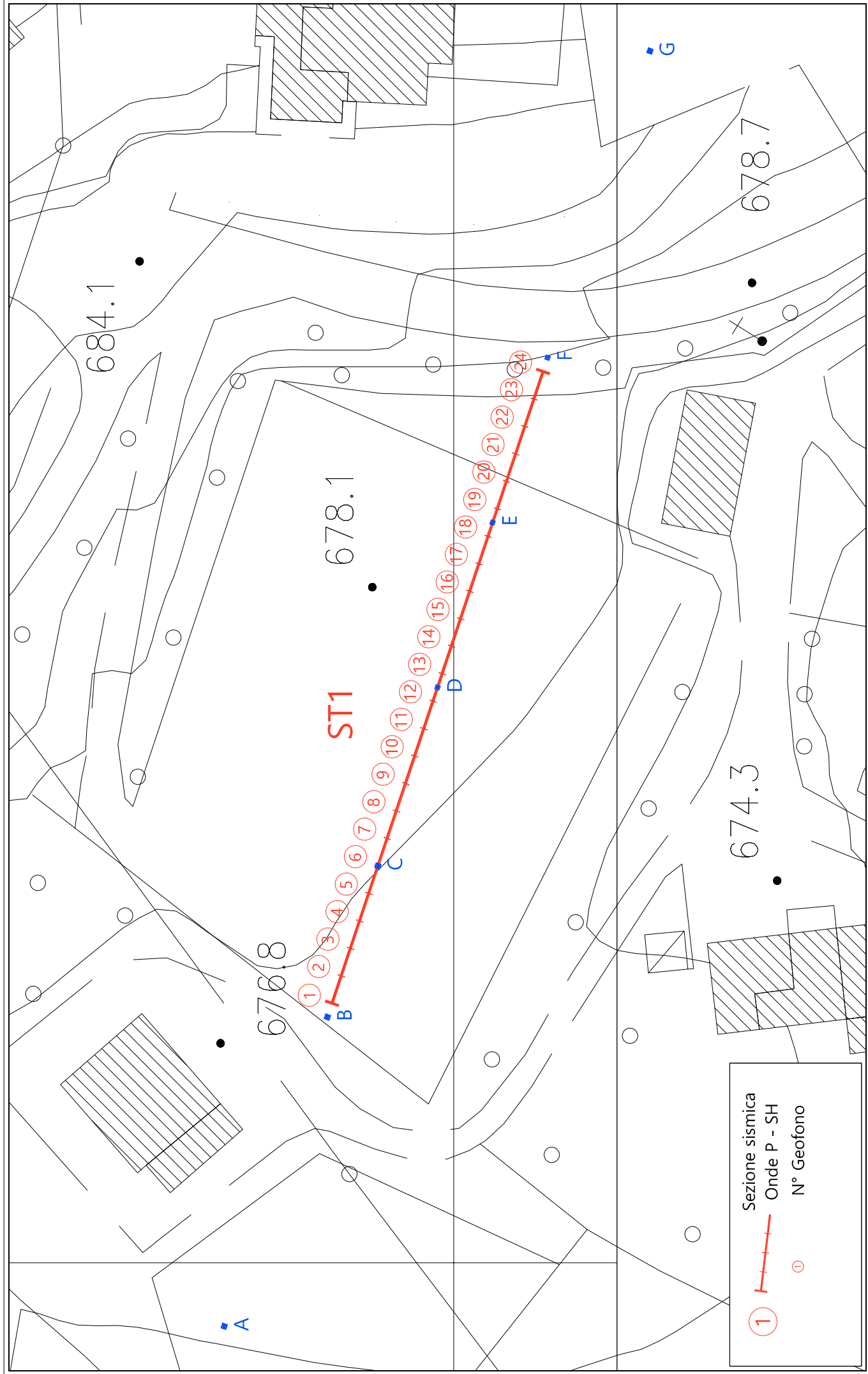
Sezione sismica rappresentata  
Onde P - SH

Scala 1: 10000

Settembre 2015

Tavola 01 - Planimetria generale - ST1\_MS

TRI+GEO



Scala 1: 500

Settembre 2015

Tavola 02 - Planimetria di dettaglio - ST1\_MS

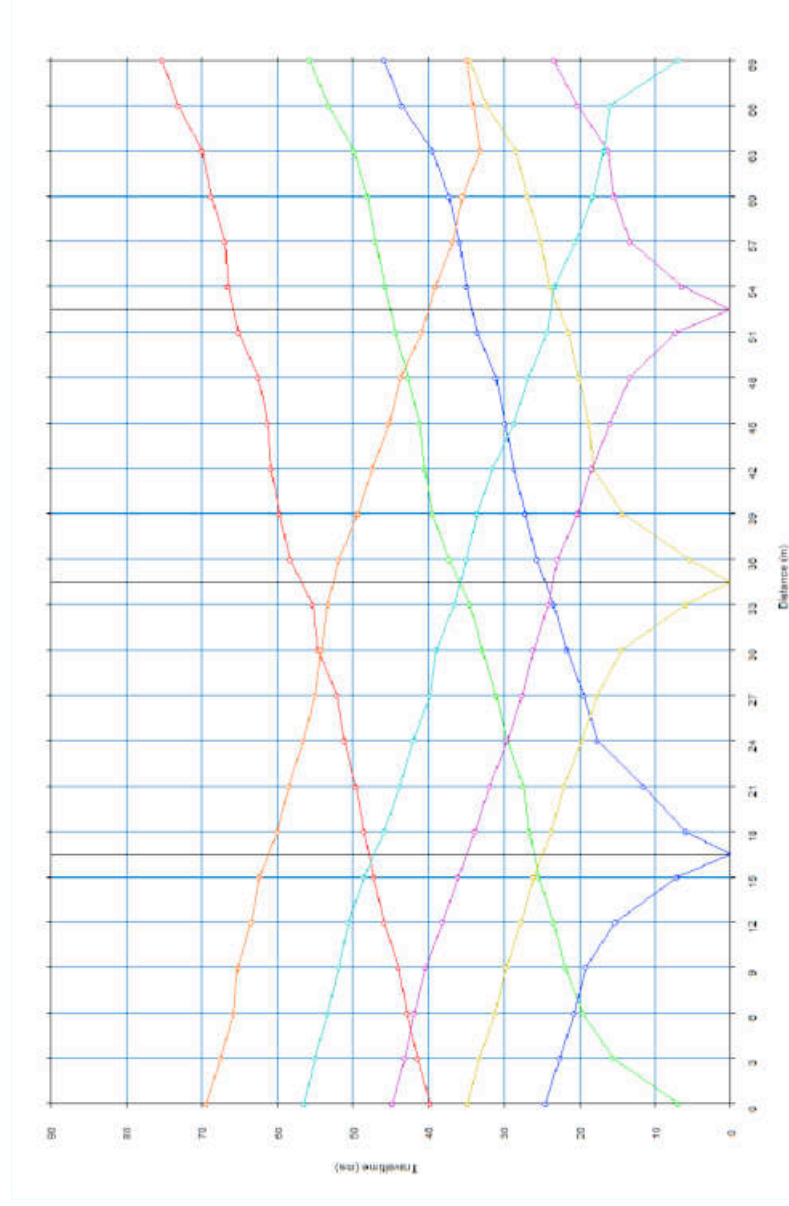
TRI+GEO

## TEMPI ONDE P – ST1\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	39.83	7.00	24.50	34.83	44.77	56.38	69.40
2	3	41.55	15.55	22.66	33.33	43.17	55.10	67.49
3	6	42.85	19.64	20.68	31.29	41.95	53.32	65.75
4	9	44.01	21.99	19.17	29.75	40.45	51.88	65.23
5	12	45.93	23.54	15.26	27.75	38.12	50.63	63.52
6	15	47.23	25.46	7.12	26.05	36.07	48.50	62.35
7	18	48.53	26.62	5.95	23.75	33.81	45.88	60.09
8	21	49.69	27.53	11.50	22.13	31.90	43.88	58.50
9	24	51.20	29.63	17.73	19.66	29.64	42.00	56.63
10	27	52.15	31.02	19.44	17.73	27.62	39.88	55.10
11	30	54.63	32.85	21.70	14.51	26.17	39.00	54.21
12	33	55.38	34.56	23.41	5.99	24.16	36.64	53.32
13	36	58.38	37.37	25.67	5.41	23.00	35.00	51.95
14	39	59.75	39.49	27.17	14.30	20.33	33.63	49.35
15	42	60.85	40.59	28.68	18.27	18.41	31.56	47.38
16	45	61.26	41.20	29.84	18.82	16.01	28.66	45.25
17	48	62.49	42.71	31.14	20.18	13.33	26.85	43.67
18	51	65.13	44.38	33.53	21.50	7.32	24.30	41.00
19	54	66.57	45.75	34.95	23.96	6.44	23.35	39.08
20	57	66.94	47.02	35.86	25.17	13.35	20.54	36.82
21	60	68.79	48.13	37.37	26.94	15.40	18.27	35.52
22	63	70.00	49.90	39.49	28.47	16.22	16.77	33.13
23	66	73.17	53.25	43.50	32.31	20.33	16.02	34.15
24	69	75.22	55.75	45.92	34.60	23.41	7.03	34.91



## Dromocrone



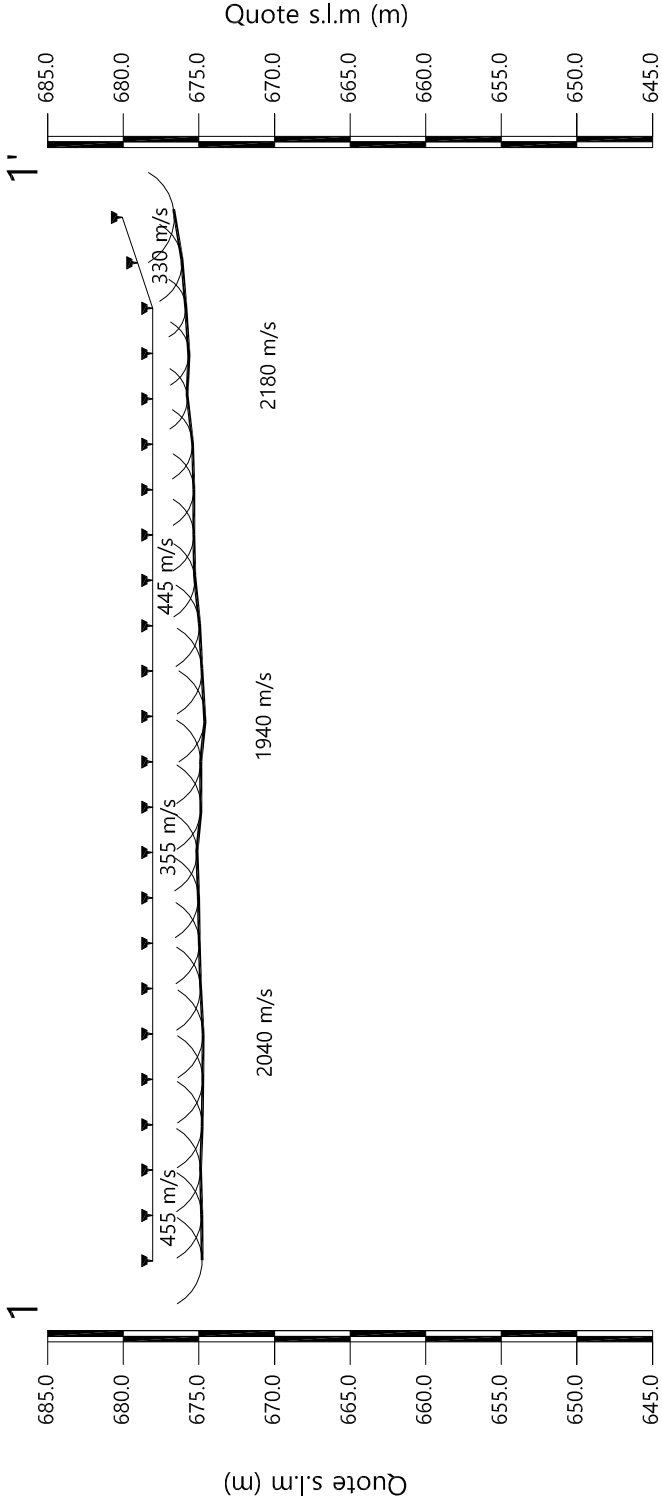
Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

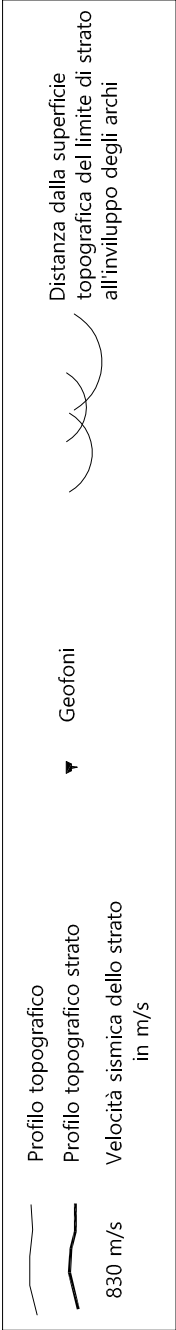
Tavola 03 - Dromocrone - Onde P - ST1\_MS

TRI+GEO

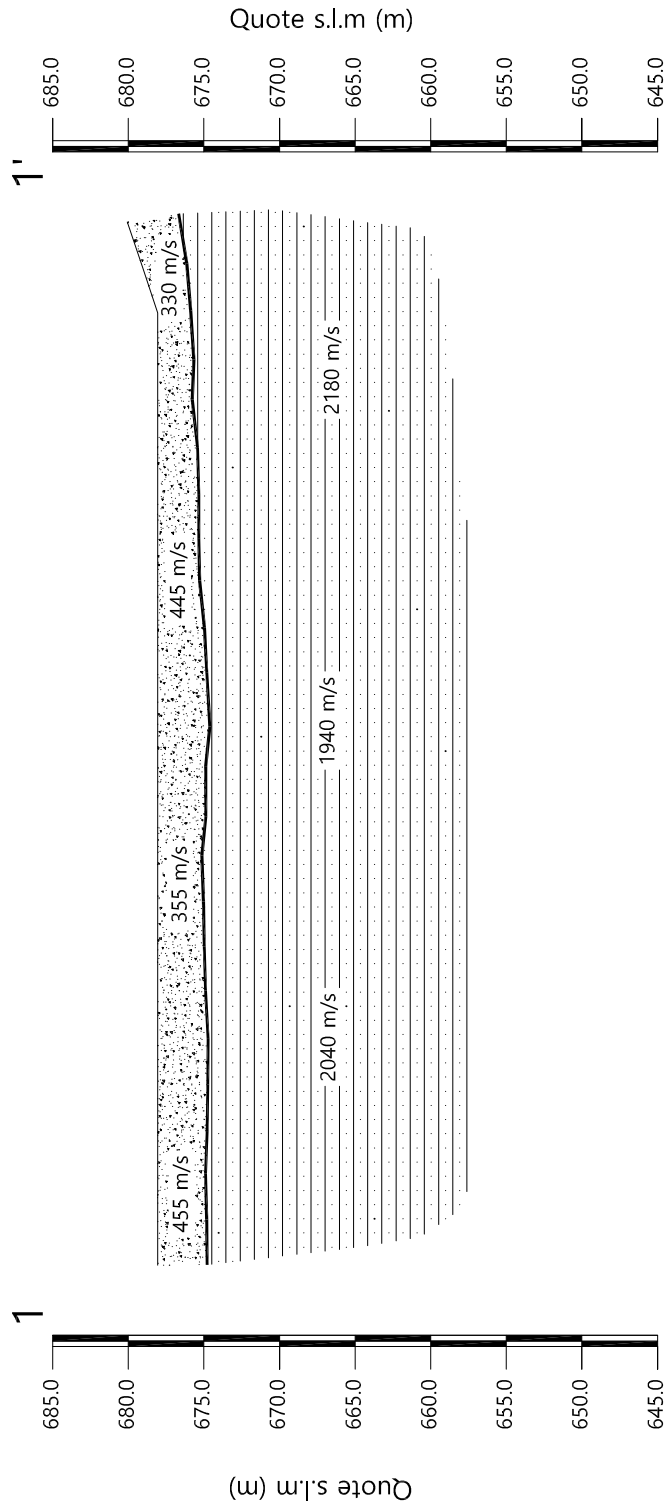
Sezione sismostratigrafica - Onde P - ST1\_MS





Numero geofono	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Quote relative (m)	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00
Profondità da p.c. 1° rifrattore (m)	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00



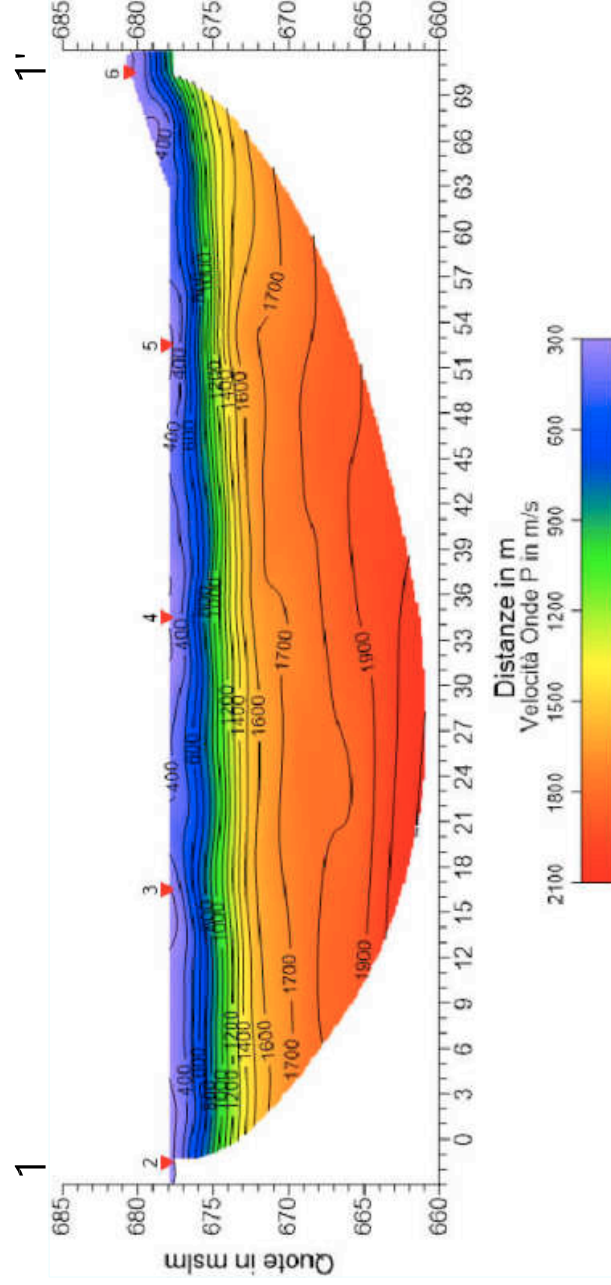
Sezione litostratigrafica - Onde P - ST1\_MS



LEGENDA

-  Terreno vegetale / detrito
-  Arenarie del Monte Falterona  
    membro di Montalto (FAL3)

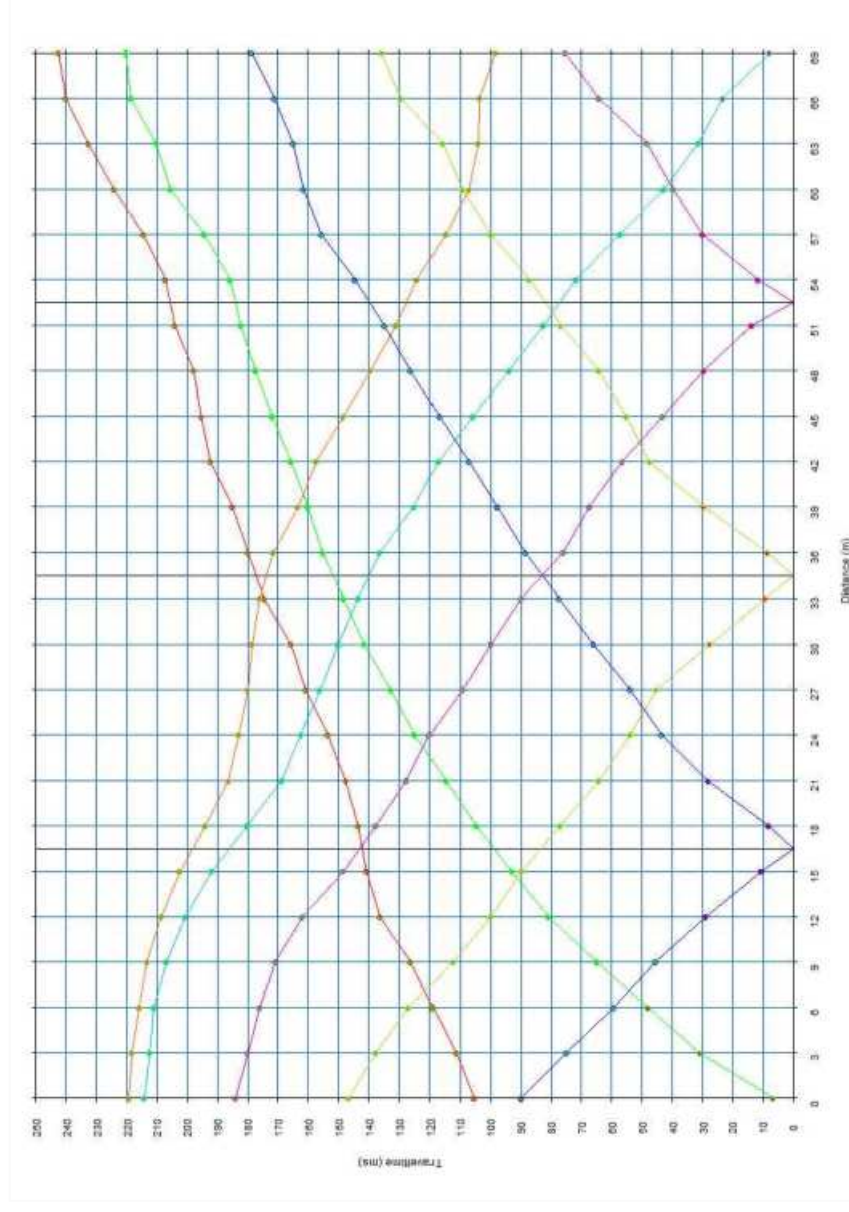
Sezione tomografica - Onde P - ST1\_MS



## TEMPI ONDE SH – ST1\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	105.49	6.63	89.86	146.69	184.18	214.37	219.45
2	3	111.44	30.95	74.90	137.63	180.03	212.52	218.49
3	6	119.04	47.88	59.40	126.88	176.14	210.98	215.88
4	9	126.28	64.99	45.74	112.38	170.94	206.82	213.33
5	12	136.14	80.88	29.11	100.00	161.93	200.82	208.52
6	15	140.76	93.00	10.75	89.86	148.53	191.88	202.51
7	18	143.50	104.75	8.25	77.13	137.83	180.33	194.04
8	21	147.53	114.75	28.13	64.22	127.50	168.94	186.34
9	24	153.54	124.75	43.74	54.05	119.89	162.47	182.95
10	27	160.78	132.75	53.90	45.38	109.49	156.16	180.03
11	30	165.81	141.53	66.07	27.72	100.02	150.15	178.64
12	33	174.59	148.46	77.48	9.24	89.75	143.68	176.13
13	36	179.75	155.23	88.40	8.63	76.13	136.44	171.50
14	39	185.11	160.00	97.79	29.80	67.45	125.00	163.39
15	42	192.35	165.86	107.18	47.59	56.60	117.13	157.38
16	45	195.27	171.88	116.89	55.21	43.13	105.80	148.53
17	48	197.89	177.41	126.28	64.22	29.50	93.88	139.52
18	51	204.20	182.49	134.75	76.92	13.86	82.64	131.21
19	54	207.28	185.88	144.61	87.32	11.78	71.76	124.00
20	57	214.52	194.50	155.69	100.02	30.00	57.29	114.81
21	60	224.22	205.44	161.70	109.38	39.63	42.81	107.00
22	63	232.69	210.21	165.09	115.96	48.28	31.26	104.10
23	66	240.09	218.68	171.22	129.36	64.22	23.25	103.80
24	69	242.55	220.26	178.64	135.83	75.38	7.85	98.49

# Dromocrone



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

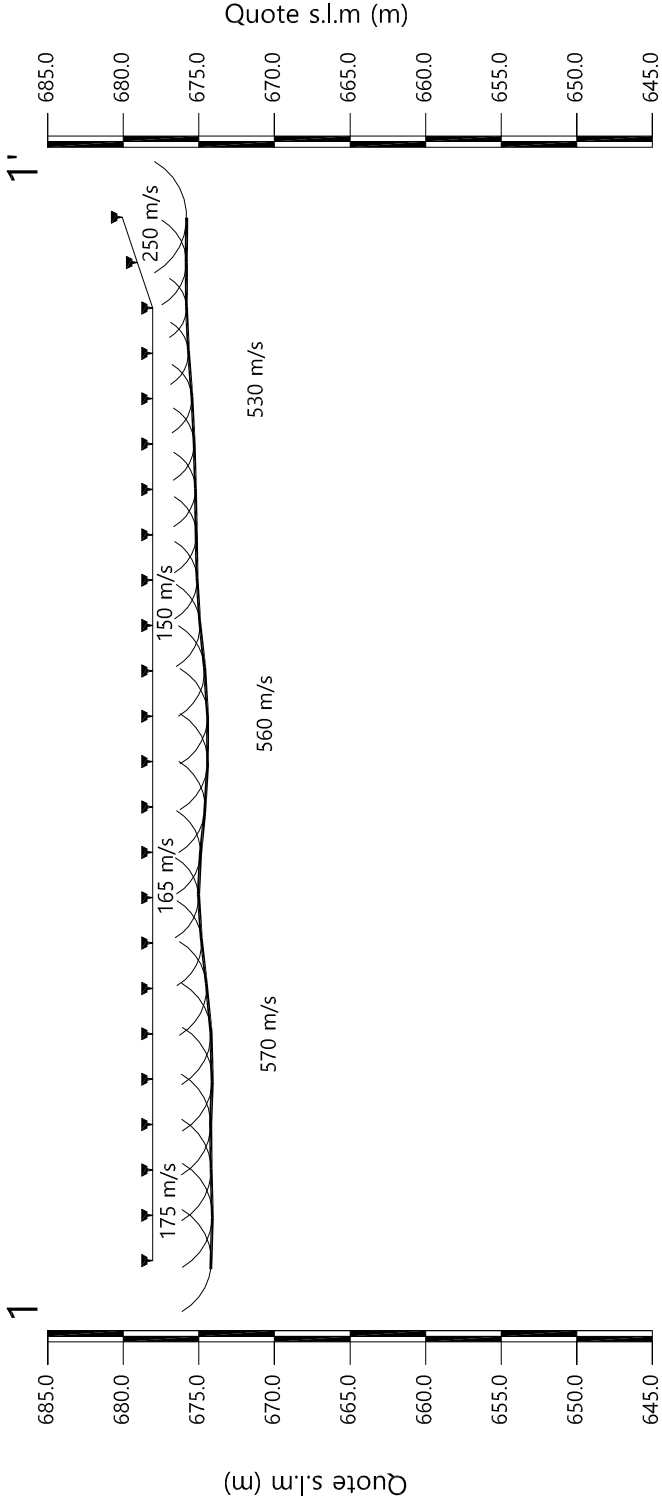
Settembre 2015

Tavola 07- Dromocrone - Onde SH - ST1\_MS

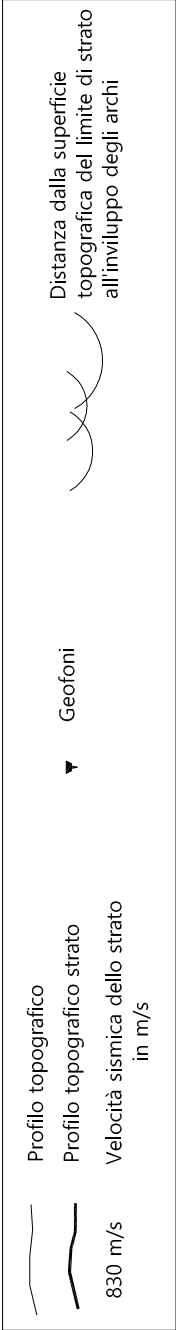
TRI+GEO



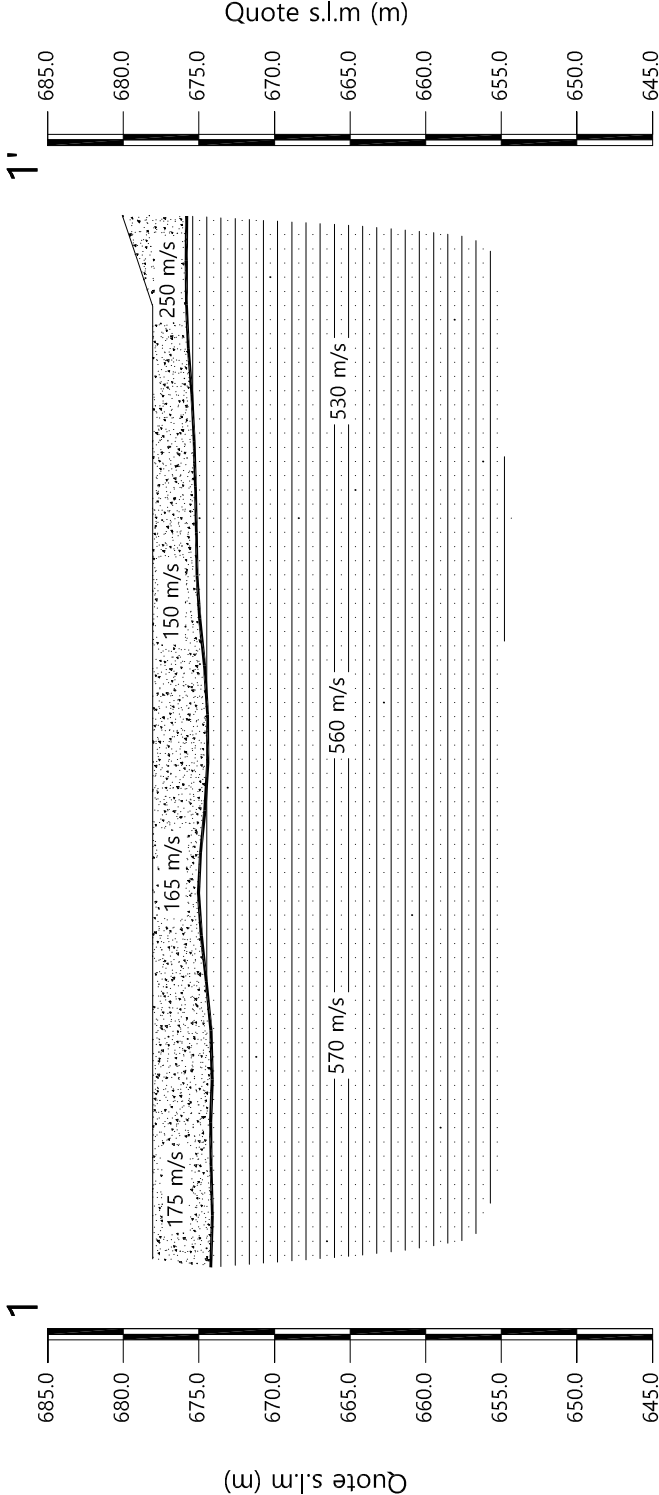
Sezione sismostratigrafica - Onde SH - ST1\_MS



Numero geofono	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Quote relative (m)	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	678.00	679.00	680.00	680.00
Profondità da p.c. 1° rifrattore (m)	3.89	3.96	3.87	3.84	3.95	3.86	3.57	3.24	3.04	3.17	3.47	3.65	3.64	3.44	3.13	2.94	2.89	2.83	2.75	2.60	2.37	2.24	3.23	4.25	



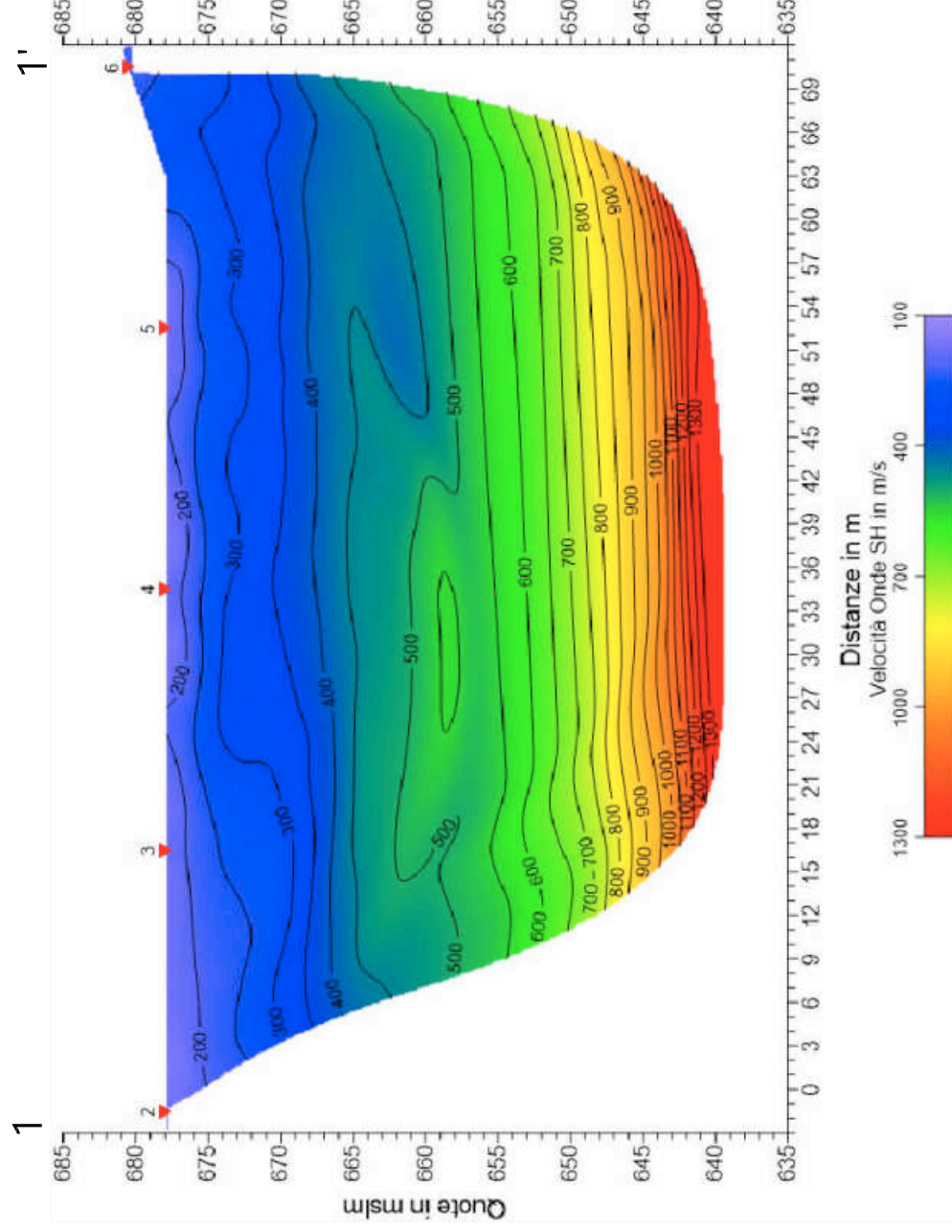
Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST1\_MS



LEGENDA

- Terreno vegetale / detrito
- Arenarie del Monte Falterona  
membro di Montalto (FAL3)

# Sezione tomografica - Onde SH - ST1\_MS



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

Tavola 10 - Sezione tomografica - Onde SH - ST1\_MS

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST1\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	455	2021
2	3	438	2082
3	6	422	2160
4	9	405	2121
5	12	388	2051
6	15	385	1965
7	18	368	1943
8	21	355	1967
9	24	368	2029
10	27	381	2066
11	30	394	2021
12	33	391	1869
13	36	404	1764
14	39	417	1815
15	42	430	1964
16	45	445	2006
17	48	431	1888
18	51	416	1769
19	54	402	1827
20	57	388	1906
21	60	373	2107
22	63	359	2323
23	66	344	2686
24	69	330	2959

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST1\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	175	662
2	3	174	627
3	6	172	578
4	9	171	537
5	12	169	511
6	15	166	520
7	18	164	542
8	21	165	581
9	24	163	620
10	27	161	646
11	30	159	630
12	33	157	579
13	36	155	523
14	39	153	490
15	42	151	484
16	45	150	489
17	48	163	483
18	51	175	454
19	54	188	424
20	57	200	429
21	60	213	488
22	63	225	574
23	66	238	663
24	69	250	724

## PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST1\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	3.28
2	3	3.24
3	6	3.17
4	9	3.28
5	12	3.32
6	15	3.34
7	18	3.17
8	21	3.09
9	24	3.03
10	27	2.93
11	30	3.21
12	33	3.18
13	36	3.47
14	39	3.26
15	42	3.10
16	45	2.79
17	48	2.73
18	51	2.73
19	54	2.64
20	57	2.30
21	60	2.40
22	63	2.19
23	66	2.94
24	69	3.44

## PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST1\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	3.89
2	3	3.96
3	6	3.87
4	9	3.84
5	12	3.95
6	15	3.86
7	18	3.57
8	21	3.24
9	24	3.04
10	27	3.17
11	30	3.47
12	33	3.65
13	36	3.64
14	39	3.44
15	42	3.13
16	45	2.94
17	48	2.89
18	51	2.83
19	54	2.75
20	57	2.60
21	60	2.37
22	63	2.24
23	66	3.23
24	69	4.25



Vista generale ST1\_MS da G1 verso G24.



Shot point B – Onde SH – ST1\_MS.





Shot point D – Onde SH – ST1\_MS.



Shot point E–Onde SH – ST1\_MS.



Shot point D –Onde P – ST1\_MS.



Shot point G –Onde P – ST1\_MS.



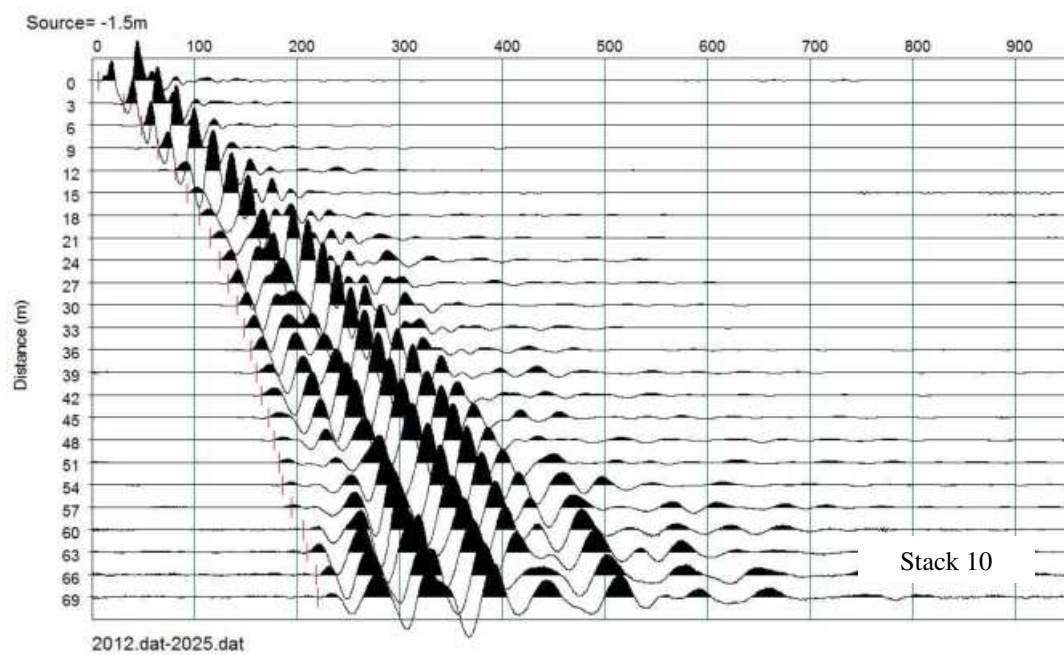
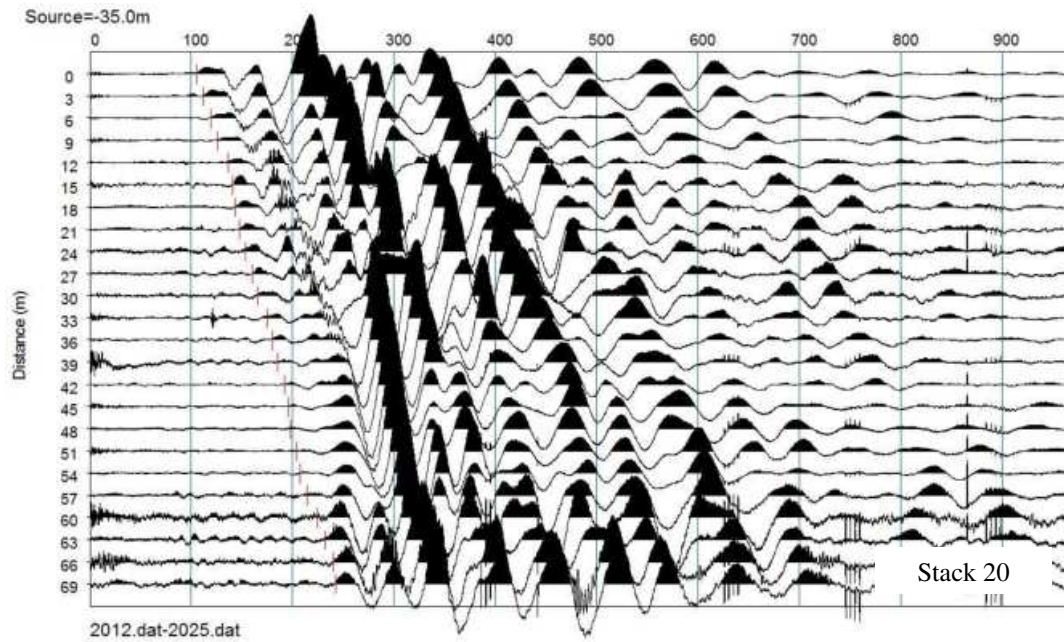
## **REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA – ST1\_MS**

**file 2012 - 2025 Onde SH**

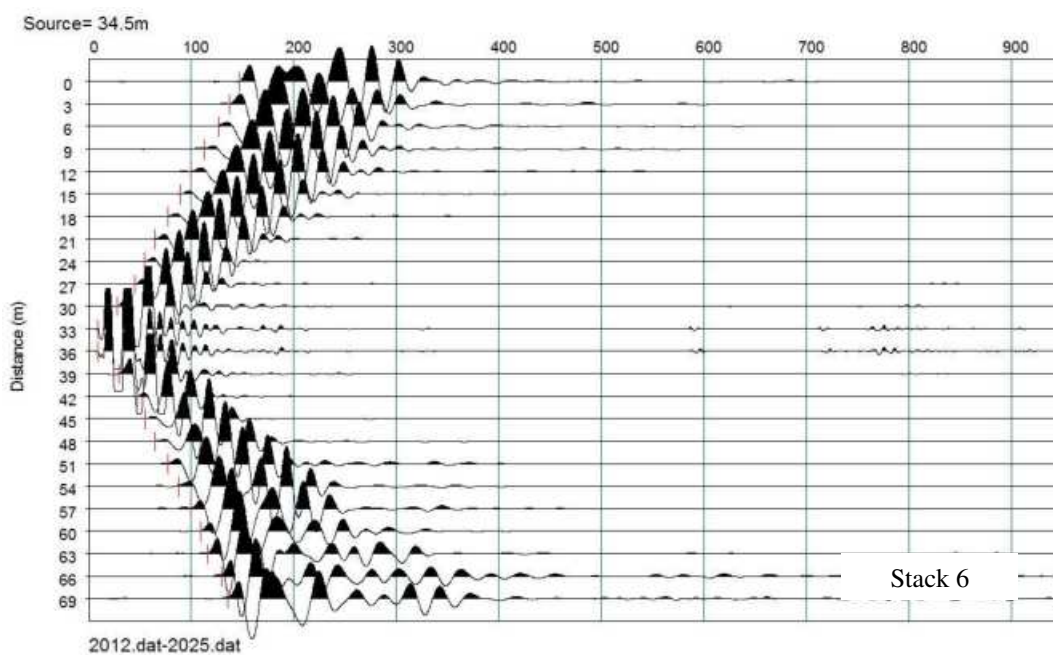
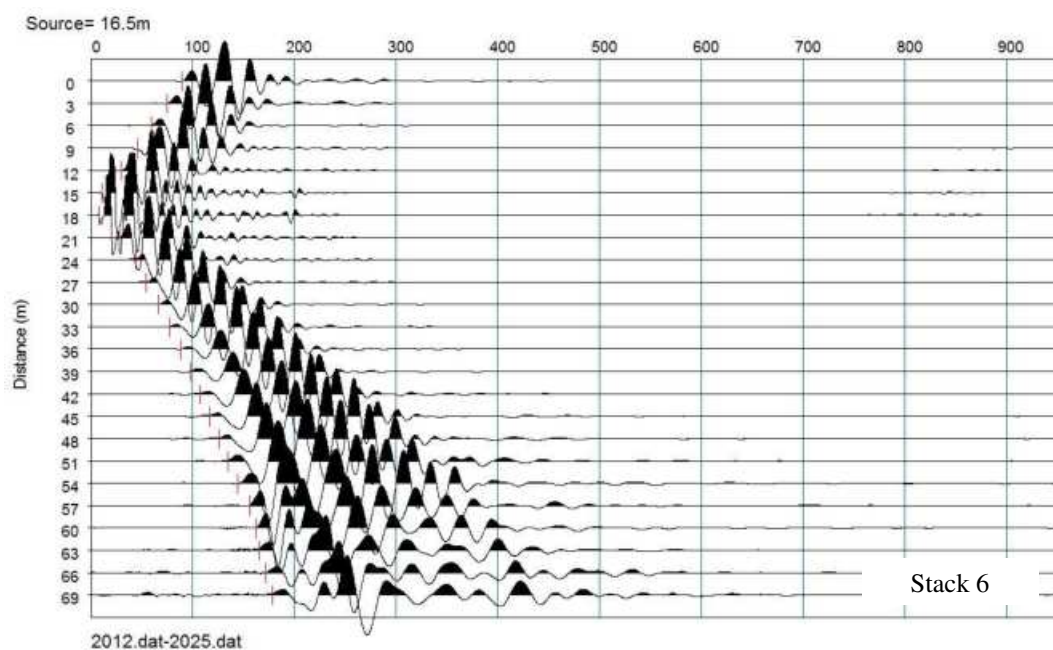
**file 2026 - 2033 Onde P**

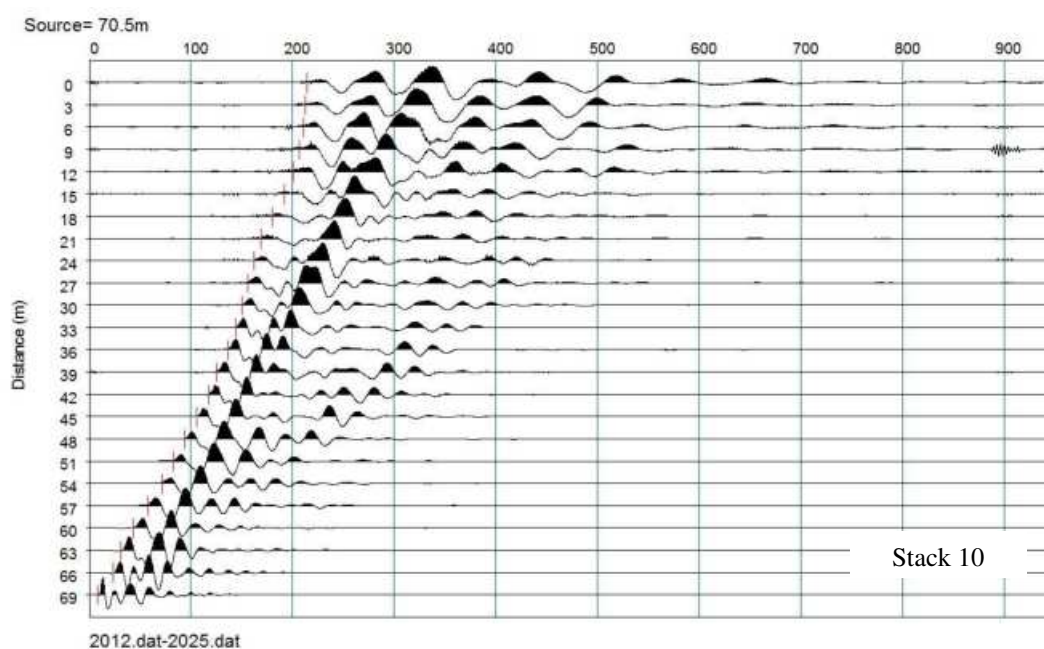
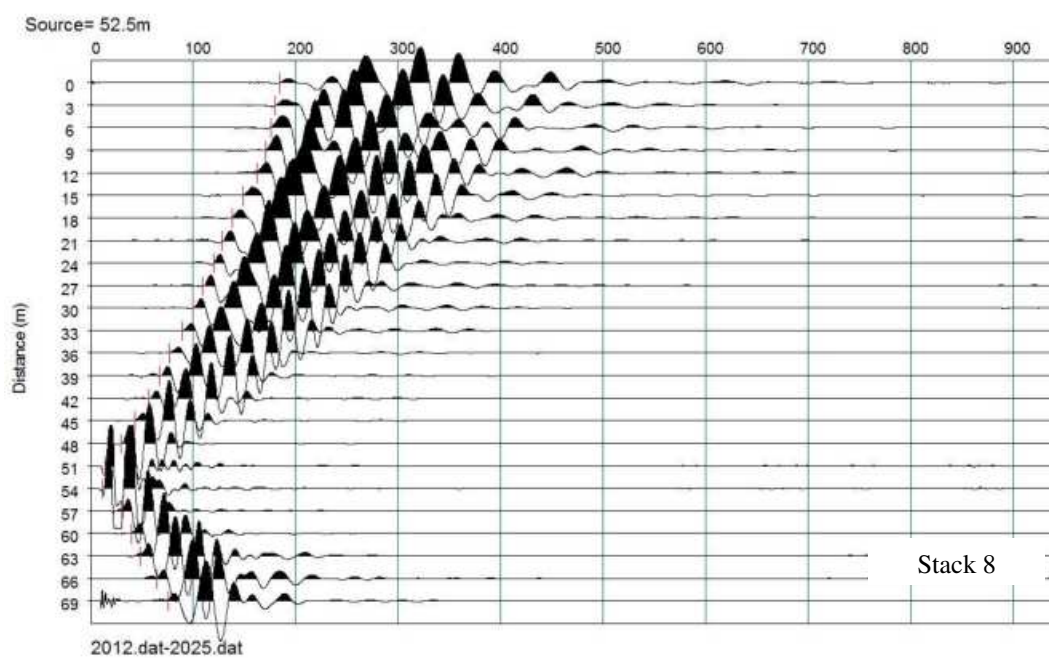


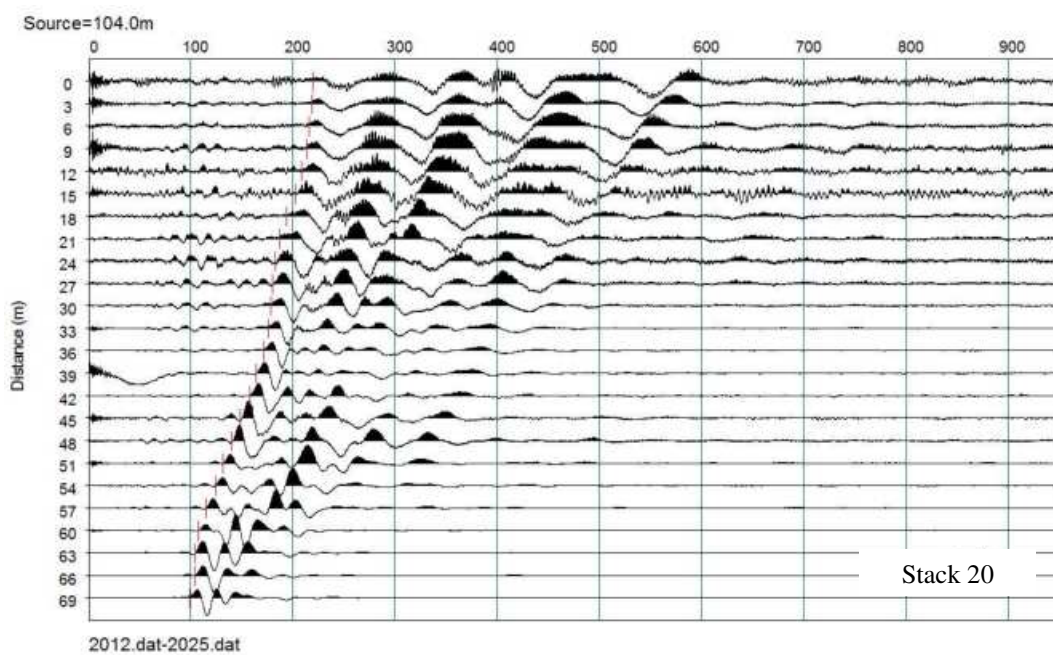
# ONDE SH $\Sigma$





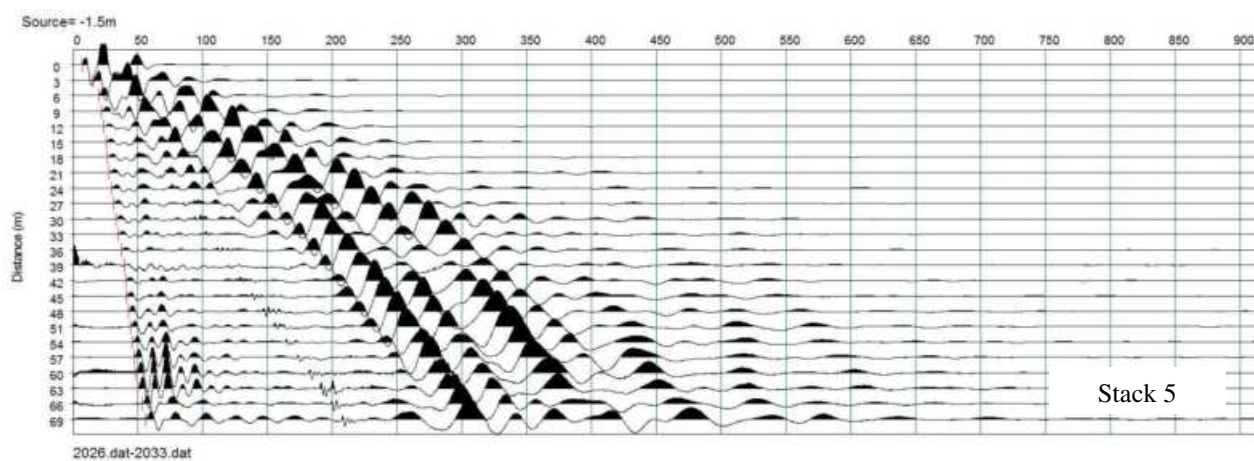
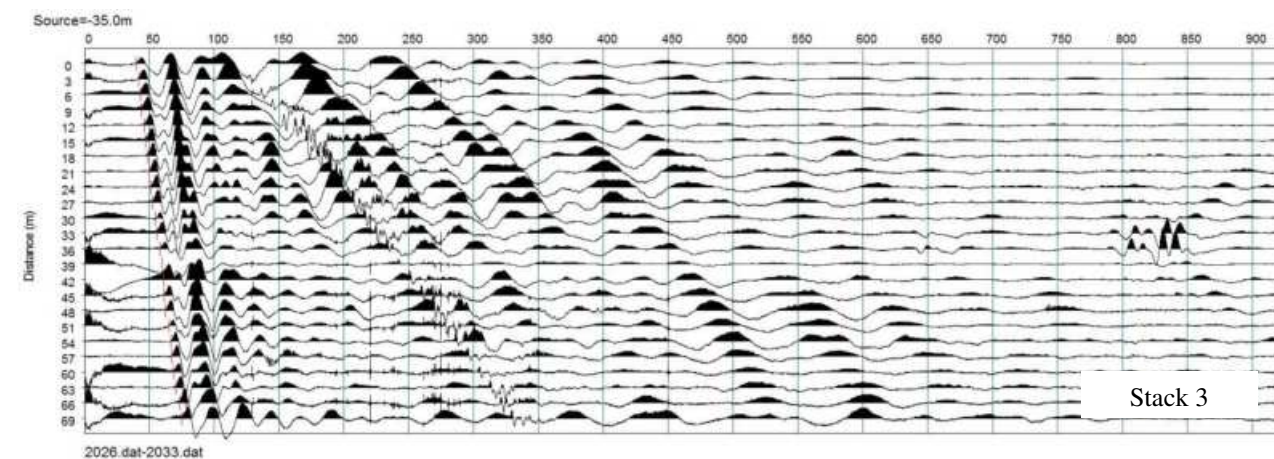


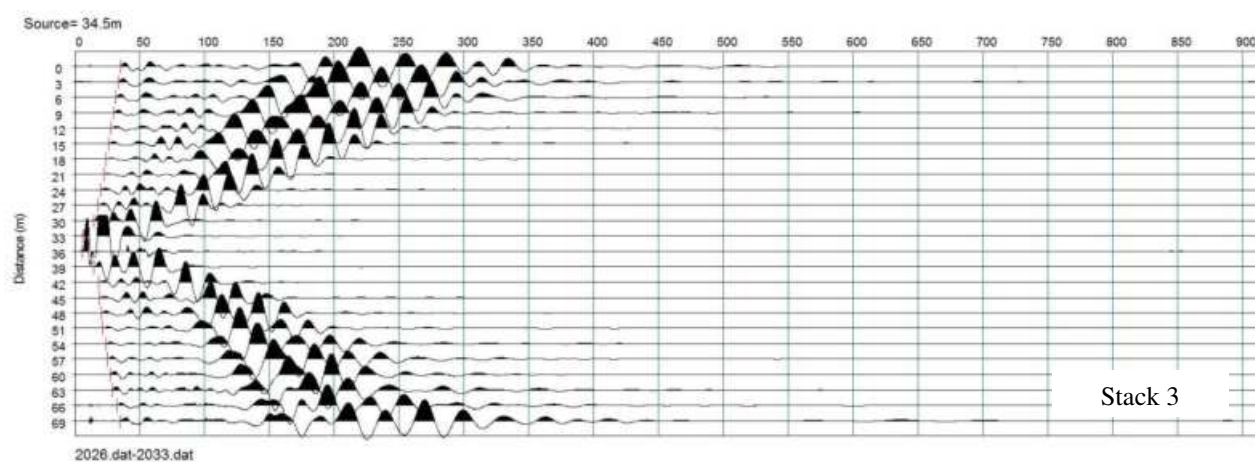
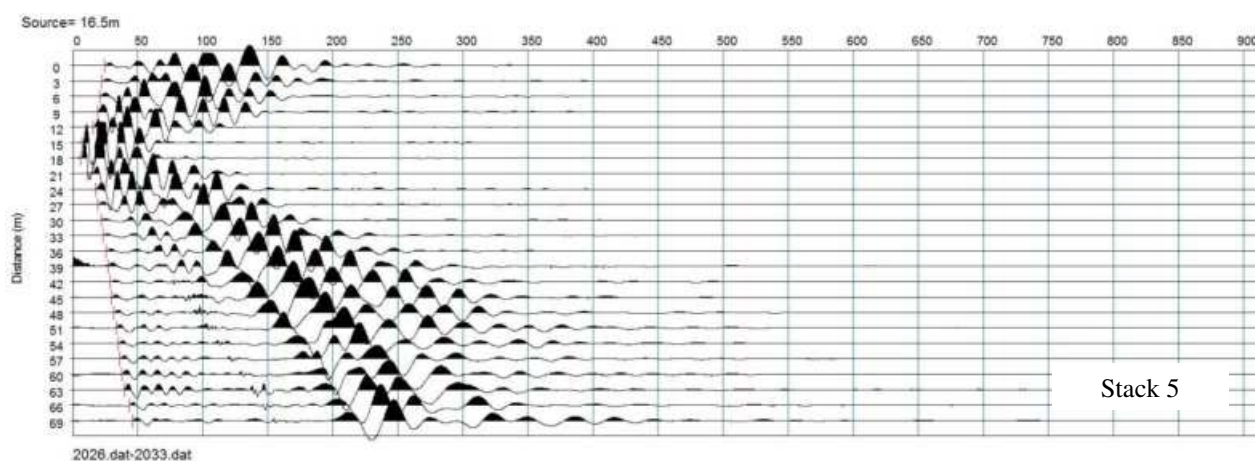


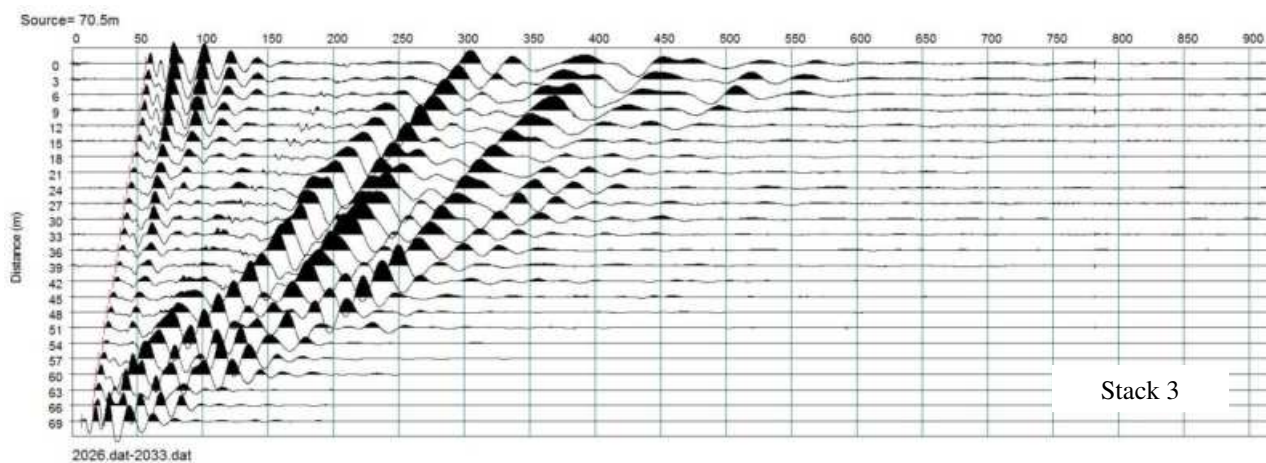
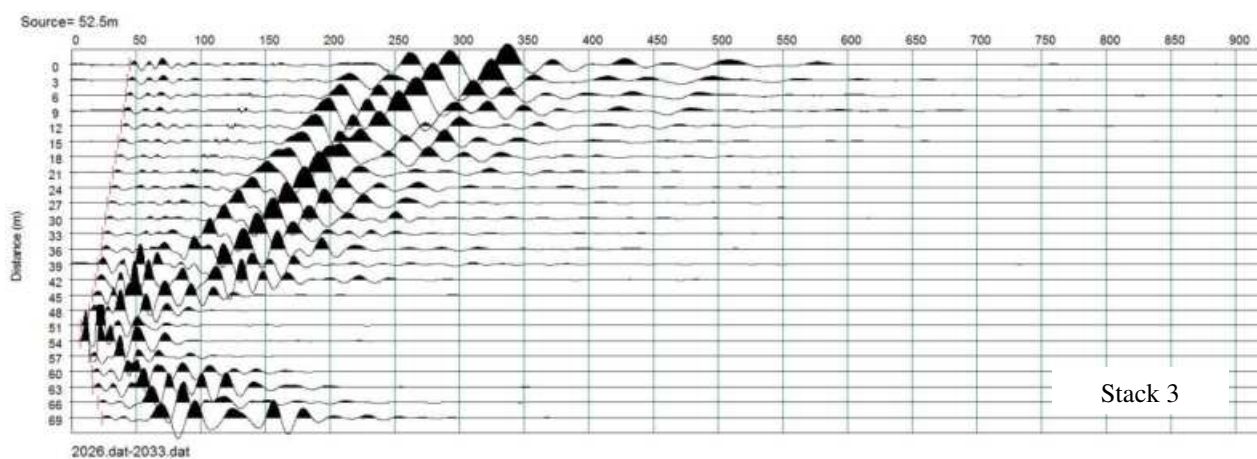


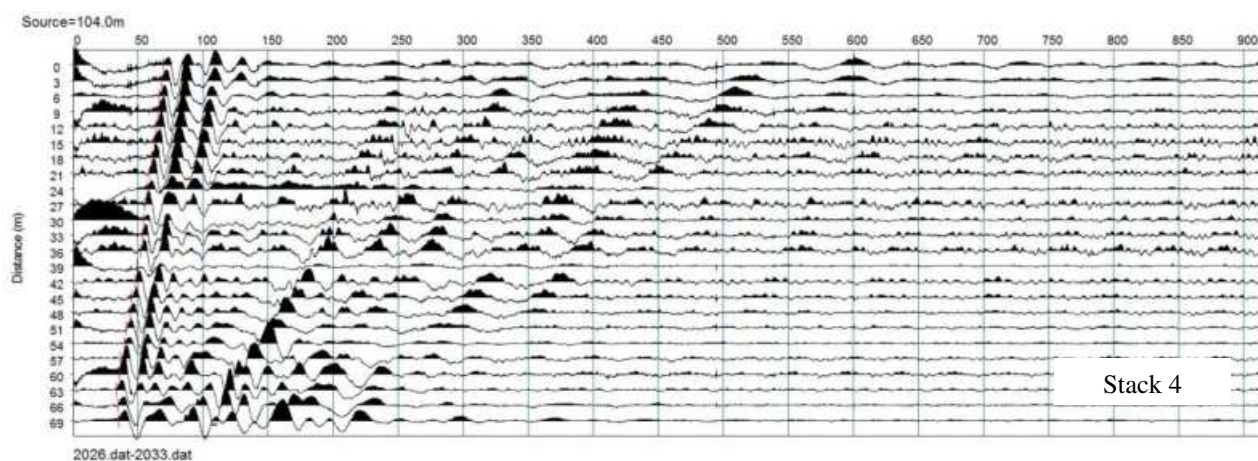


# ONDE P











### TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini  
Via Mazzini, 18  
52011 Soci (AR)  
P.IVA 02024110518  
info@trigeo.it

### FIRENZE

Via Nino Bixio, 9  
50131 Firenze  
firenze@trigeo.it  
T/F 055 400619  
M 328 7213928

### AREZZO

Via Trasimeno, 7  
52100 Arezzo  
arezzo@trigeo.it  
T/F 0575 294500  
M 339 2288117

## RELAZIONE TECNICA

### STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

**“INDAGINE GEOFISICA DI  
SUPERFICIE MEDIANTE SISMICA A  
RIFRAZIONE E TOMOGRAFIA  
SISMICA (ONDE P ED SH) LINEA  
SISMICA ST2 - PRATOVECCHIO”**

## COMMITTENTE : COMUNE DI PRATOVECCHIO-STIA

24 - SETTEMBRE - 2015



CERTIFICATO  
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE  
NON DISTRUTTIVE E  
SEMIDISTRUTTIVE  
NEL SETTORE CIVILE



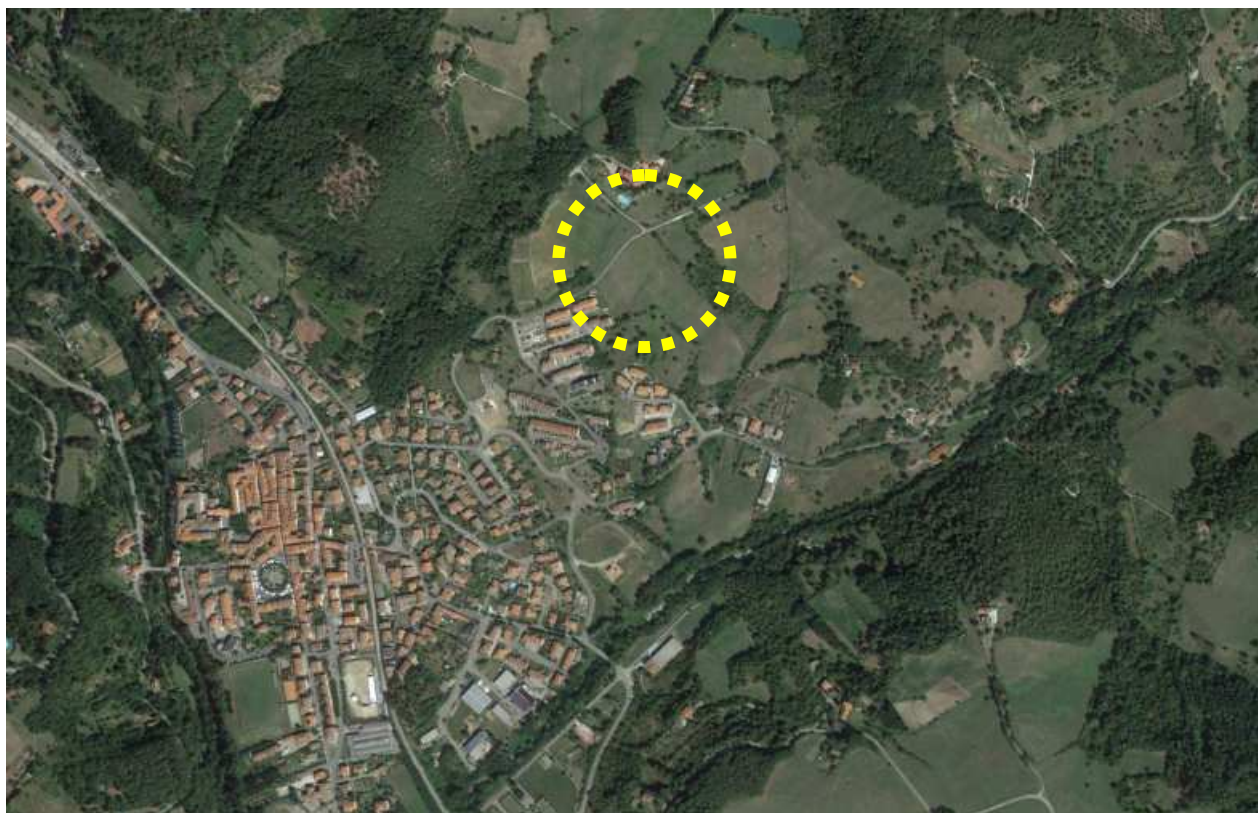
WWW.TRIGEO.IT

## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.0 SCHEMA OPERATIVO</b>	<b>5</b>
<b>2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA</b>	<b>5</b>
<b>3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI</b>	<b>7</b>
<b>4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA</b>	<b>8</b>
<b>5.0 CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>9</b>
<b>ALLEGATI</b>	<b>12</b>

## INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Settembre 2015, mediante sismica a rifrazione onde P ed onde SH (acquisizione ed elaborazione dati con metodologia tomografica), per conto del **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)**.



**Figura 1:** Area d'intervento: Linea ST2 Prato Vecchio – Prato Vecchio Stia (AR).

L'indagine sismica, viene eseguita nei pressi dell'abitato di **PRATOVECCHIO - PRATOVECCHIO STIA (AR)**. Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una prospezione geofisica mediante sismica a rifrazione tesa a fornire, lungo la sezione, convenuta con la committenza, una caratterizzazione delle litologie presenti nell'area d'indagine nonché determinare le geometrie (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo dei terreni in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P e di taglio SH. I dati ottenuti sono stati elaborati sia con la metodologia classica della rifrazione (GRM) che con la metodologia tomografica che permette di ottenere, attraverso un maggior numero di "energizzazioni" (7 per ciascun stendimento) ed un opportuno software di elaborazione, un'ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura.



L'acquisizione delle onde SH combinate alle onde di compressione consente di ottenere i principali parametri elastico/dinamici e di fornire i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), così come richiesto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

La relazione tecnica riferisce sui risultati ottenuti dall'indagine sismica a rifrazione mediante Onde P e SH ed è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale del profilo sismico **ST2** eseguito, scala 1:10.000 (da CTR 1:10.000);
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **ST2** eseguito, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate;
- Schema dettagliato della linea sismica con posizionamento relativo dei geofoni (quote-distanze), coordinate in Gauss-Boaga dei geofoni iniziale e finale e punti di energizzazioni (quote-distanze);
- **Tabelle Tempi di arrivo Onde P e SH** relativi ai vari scoppi, con riportati posizione, tempo di arrivo e quota di ciascun geofono;
- **Tavole 03-07:** Diagrammi Tempi d'arrivo-Distanze (Dromocrone) Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 04-08:** Grafici delle profondità dei rifrattori individuati (sezione sismostratigrafica) e tabelle Distanze-Profondità Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 05-09:** Sezioni litostratigrafiche interpretative onde P-SH, scala 1:500;
- Tabelle Profondità calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- Tabelle Velocità sismiche calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- **Tavole 06-10:** Sezioni tomografiche onde P-SH, scala 1:500;
- Documentazione fotografica della linea sismica;
- Stampe delle registrazioni di campagna.

Di seguito viene descritto, lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

## 1.0 SCHEMA OPERATIVO

Nella **Tavola 01**, è stato riportato un inquadramento corografico generale in scala 1:10.000 con inserita la sezione sismica eseguita. Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, con inserita la sezione sismica eseguita, la posizione di ogni singolo geofono e l'ubicazione di ogni punto di energizzazione (shot point).

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di 5 m per la sezione eseguita sia con onde P che con onde SH. Complessivamente sono stati acquisiti **230 ml** di rilievo suddivisi in 2 basi di **115 ml** (Onde P-SH).

## 2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

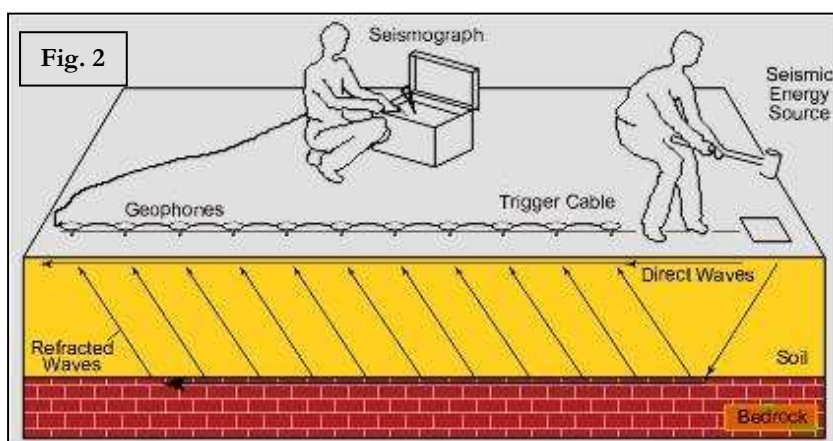
Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del

sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri

ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 2**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.

Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: **A/D Conversion:** 24 bit; **Dynamic Range:** 144 dB; **Distortion:** 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; **Bandwidth:** 1.75 Hz to 20 kHz; **Common Mode Rejection:** > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; **Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; **Noise Floor:** 0.2uV, RFI at 2 ms, 36



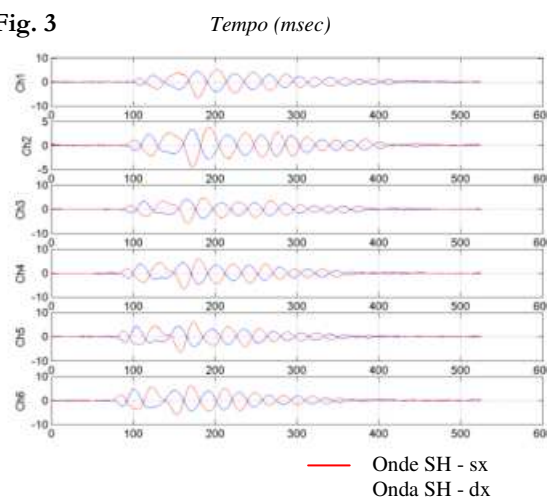
dB, 1.75 to 208 Hz; **Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval; **Maximum Input Signal:** 2.8 VPP; **Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uf; **Preamplifier Gains;** **Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency; **Sample Interval:** 0.02 to 16.0 ms; **Record Length:** 16,000 samples; **Acquisition and Display Filters:** *LowCut, Notch, HighCut*; **Data Formats:** SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali ed orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e nel caso dei geofoni orizzontali dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza generalmente una trave di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato nel nostro caso dalla stessa autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase (**Fig. 3**). Ogni energizzazione viene registrata sull'Hard Disk sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il *Generalized Reciprocal Method* (GRM) che consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati fino ad angoli superiori a 20 gradi. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti sono dei casi particolari.

Fig. 3



Oltre al GRM, in alcuni casi, è stato utilizzato, per conferma e confronto, un algoritmo di inversione che usa il *delay-time method* per ottenere un primo modello approssimato in profondità, che viene quindi affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna ed il corrispondente modello di profondità. In questo caso specifico è stato utilizzato come sistema di elaborazione principale il *delay-time method* affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed il GRM come verifica e conferma dei risultati ottenuti.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme. Infine sono stati calcolati i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), come richiesto dalla nuova "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

### 3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nelle **Tavole 03-07** sono rappresentate, le curve tempi-distanze, Dromocrone, che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna (onde P-SH). Nel diagramma tempi-distanze, in ascisse, in scala 1:500 sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento e, in ordinate, i tempi di arrivo, espressi in millisecondi agli stessi sensori.

Nelle **Tavole 04-08**, sono state riportate le sezioni sismostratigrafiche ottenute (onde P-SH), al di sotto della superficie topografica l'inviluppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato.

Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'inviluppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Nelle **Tavole 05-09** sono riportate le sezioni interpretate (sezioni litostratigrafiche) sulla base sia dei dati ottenuti (sezioni sismostratigrafiche), sia di considerazioni geologiche generali relative alla zona in esame che sulla base dei dati forniti dal tecnico incaricato.

Infine nelle **Tavole 06-10** abbiamo le sezioni tomografiche interpretate realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. La scala in falsi colori presente, esprime i valori di velocità all'interno della sezione.

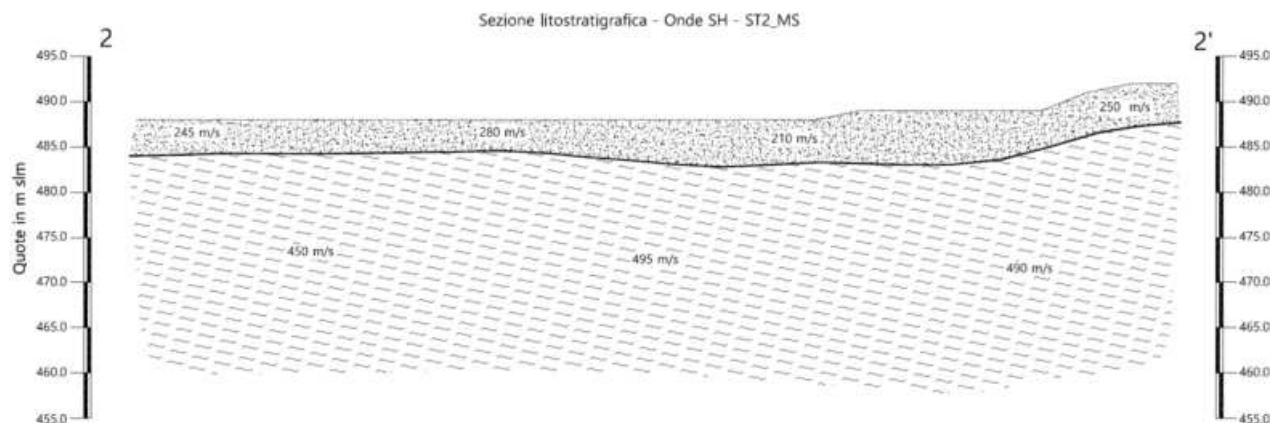
Le sezioni litostratigrafiche interpretate assieme alle sezioni tomografiche, rappresentano il risultato conclusivo dell'analisi dei dati sintetizzati nelle tavole e tabelle allegate.

#### 4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 2.30 m e 5.70 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 3.35 m (onde P) e ca. 4.40 m (Onde SH).

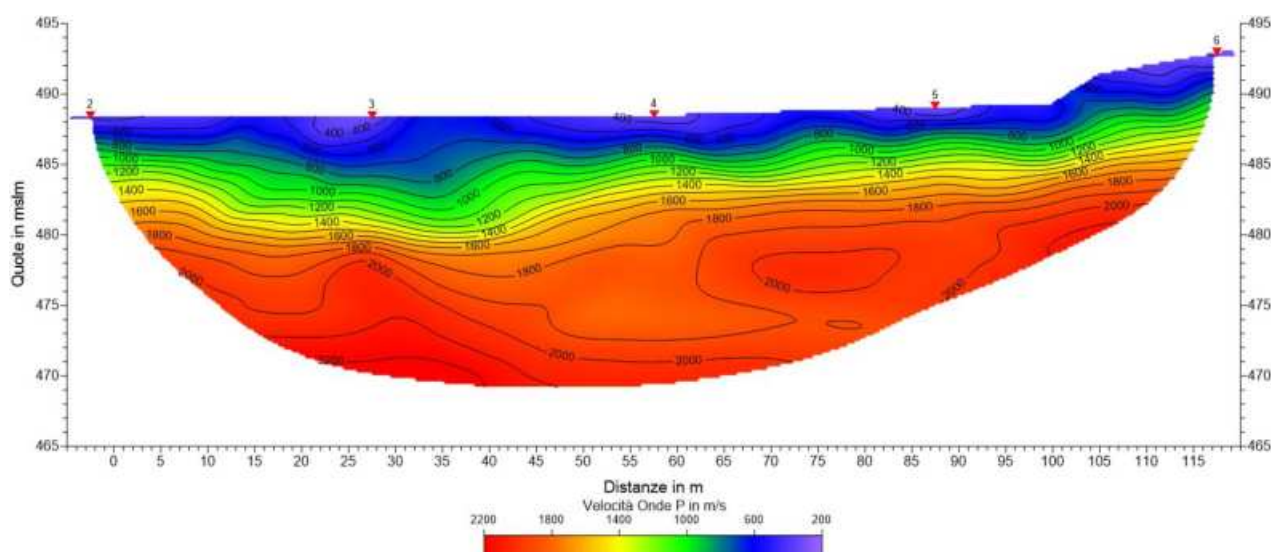
Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrito di versante, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 475 e 800 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 210-280 m/s, con il substrato litoide, costituito da Olistrostroma (ol), che presenta velocità comprese tra 1.825 e 2.020 m/s (onde P) e tra 450-490 m/s (onde SH).

La **Sezione ST2** è stata elaborata seguendo le informazioni del GRM, che hanno permesso di ricostruire l'andamento del rifrattore principale. Il rifrattore si presenta piuttosto regolare attestandosi a profondità maggiori nel tratto centrale/finale (prossime a 5.30/5.70 m) ed inferiori nella prima parte della sezione, prossime a 3.40/3.70 m.

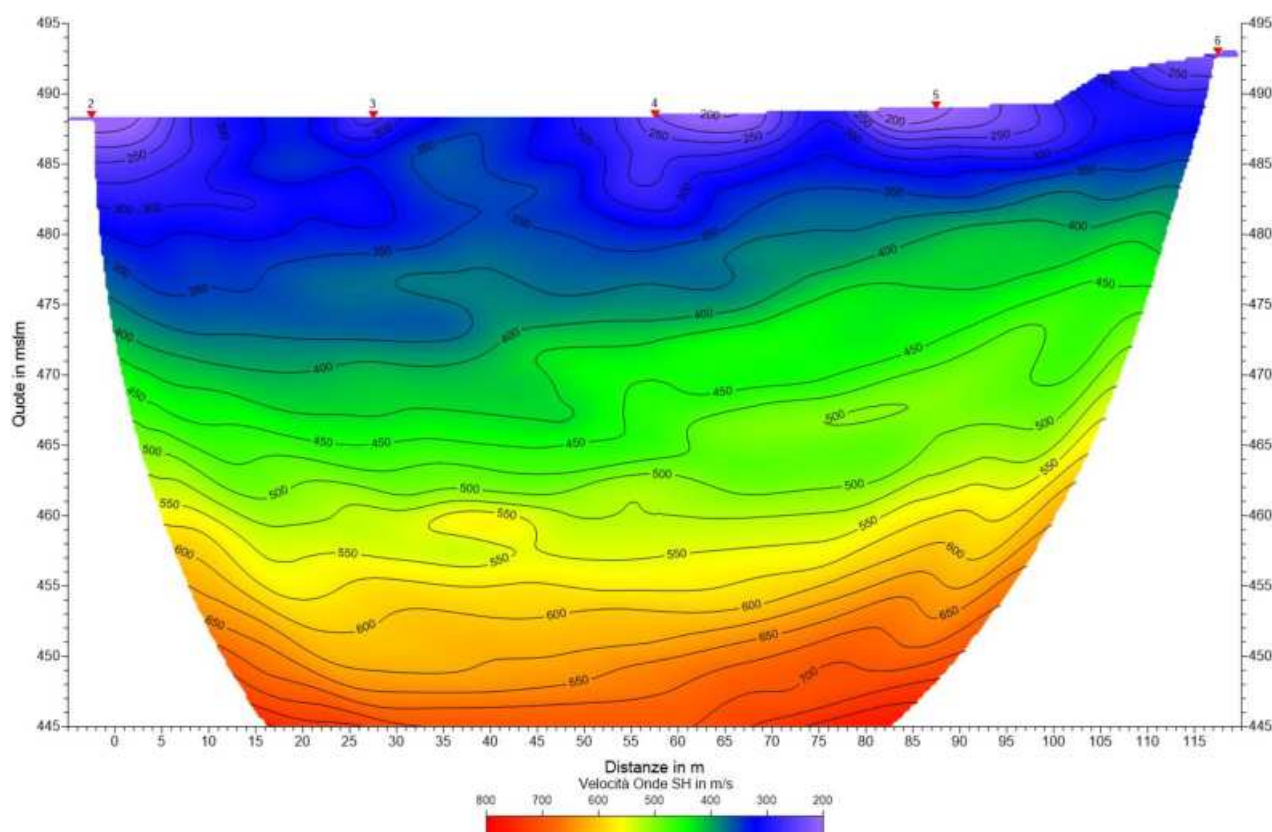


Le velocità del substrato roccioso mostrano per le onde P, valori compresi tra 1.825 e 2.020 m/s, maggiori nel tratto centrale. Le velocità delle onde SH mostrano valori crescenti lungo la sezione con velocità che passano dai ca. 450 m/s del tratto iniziale ai ca. 490 m/s del tratto centrale e finale.

L'analisi tomografica eseguita sia con onde P che con onde SH in accordo con i risultati del GRM , permette di apprezzare nella porzione più superficiale zone a più bassa velocità (400-500 m/s), che indicano materiale più areato. Il passaggio al substrato roccioso risulta evidenziato dal raffittimento delle curve di isovelocità (a partire da quella dei 800-1.000 m/s onde P), mentre per le onde SH, il contatto si osserva a partire dalla curva dei 400-500 m/s, anche se in questo caso il passaggio risulta più graduale, con velocità crescenti con la profondità.







## 5.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio ha individuato le caratteristiche geofisiche dei materiali superficiali e profondità di un'area, posta a **PRATOVECCHIO**, nel **COMUNE PRATOVECCHIO STIA (AR)**. L'indagine geofisica di superficie, eseguita mediante sismica a rifrazione, ha permesso di identificare in profondità il passaggio tra i materiali più superficiali (terreno vegetale/detrito) ed il substrato litoide integro costituito da Olistostroma (ol).

Sulla base di quanto fino ad ora riportato è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive relativamente all'area in oggetto:

- I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 2.30 m e 5.70 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 3.35 m (onde P) e ca. 4.40 m (Onde SH);
- Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrito di versante, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 475 e 800 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 210-280 m/s, con il con il



substrato litoide, costituito da Olistrostroma (ol), che presenta velocità comprese tra 1.825 e 2.020 m/s (onde P) e tra 450-490 m/s (onde SH).

Arezzo, lì 24/09/2015

  
**TRIGEO s.n.c.**  
 di Maurizio Andreoli e Maurizio Bianchi  
 Via Mazzini n°10 - 52011 - SDCI (AR)  
 PIVA 05025170510  
 Tel/Fax 0573 234800 - 056 9902212  
 Cell. 339 5548117 - 328 7213623  
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

## **ALLEGATI**

**SCHEMA DELLA LINEA SISMICA ST2\_MS**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	0.0	488.50
2	5	5.0	488.50
3	10	5.0	488.50
4	15	5.0	488.50
5	20	5.0	488.50
6	25	5.0	488.50
7	30	5.0	488.50
8	35	5.0	488.50
9	40	5.0	488.50
10	45	5.0	488.50
11	50	5.0	488.50
12	55	5.0	488.50
13	60	5.0	488.60
14	65	5.0	488.70
15	70	5.0	488.80
16	75	5.0	488.90
17	80	5.0	489.00
18	85	5.0	489.10
19	90	5.0	489.20
20	95	5.0	489.30
21	100	5.0	489.40
22	105	5.0	491.50
23	110	5.0	492.10
24	115	5.0	492.70

***COORDINATE GAUSS-BOAGA DEI GEOFONI 1 E 24***

COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	4852415.85	4852486.35
Y(m)	1719537.42	1719628.27

***PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT***

ONDE P	Σ ONDE SH	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.2055	DAT.2038	A - ESTERNO SX	-20.0	488.30
DAT.2054	DAT.2035	B - ESTREMO SX	-2.5	488.50
DAT.2053	DAT.2040	C - INTERMEDIO SX	27.5	488.50
DAT.2052	DAT.2042	D - CENTRALE	57.5	488.55
DAT.2051	DAT.2044	E - INTERMEDIO DX	87.5	489.15
DAT.2050	DAT.2046	F - ESTREMO DX	117.5	492.75
DAT.2049	DAT.2048	G - ESTREMO DX	145.0	493.50

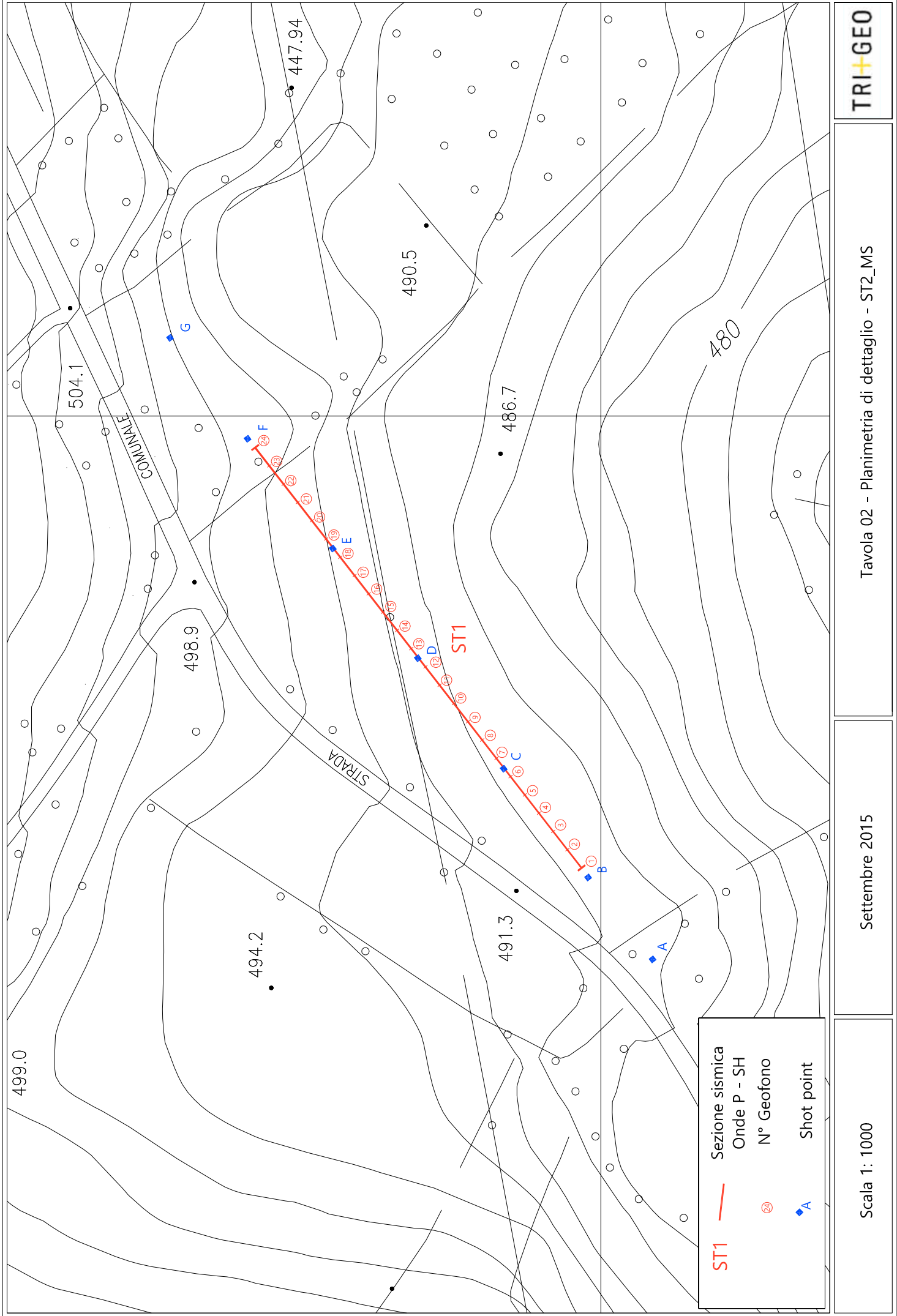


Scala 1: 10000

Settembre 2015

Tavola 01 - Planimetria generale - ST2\_MS

TRI+GEO

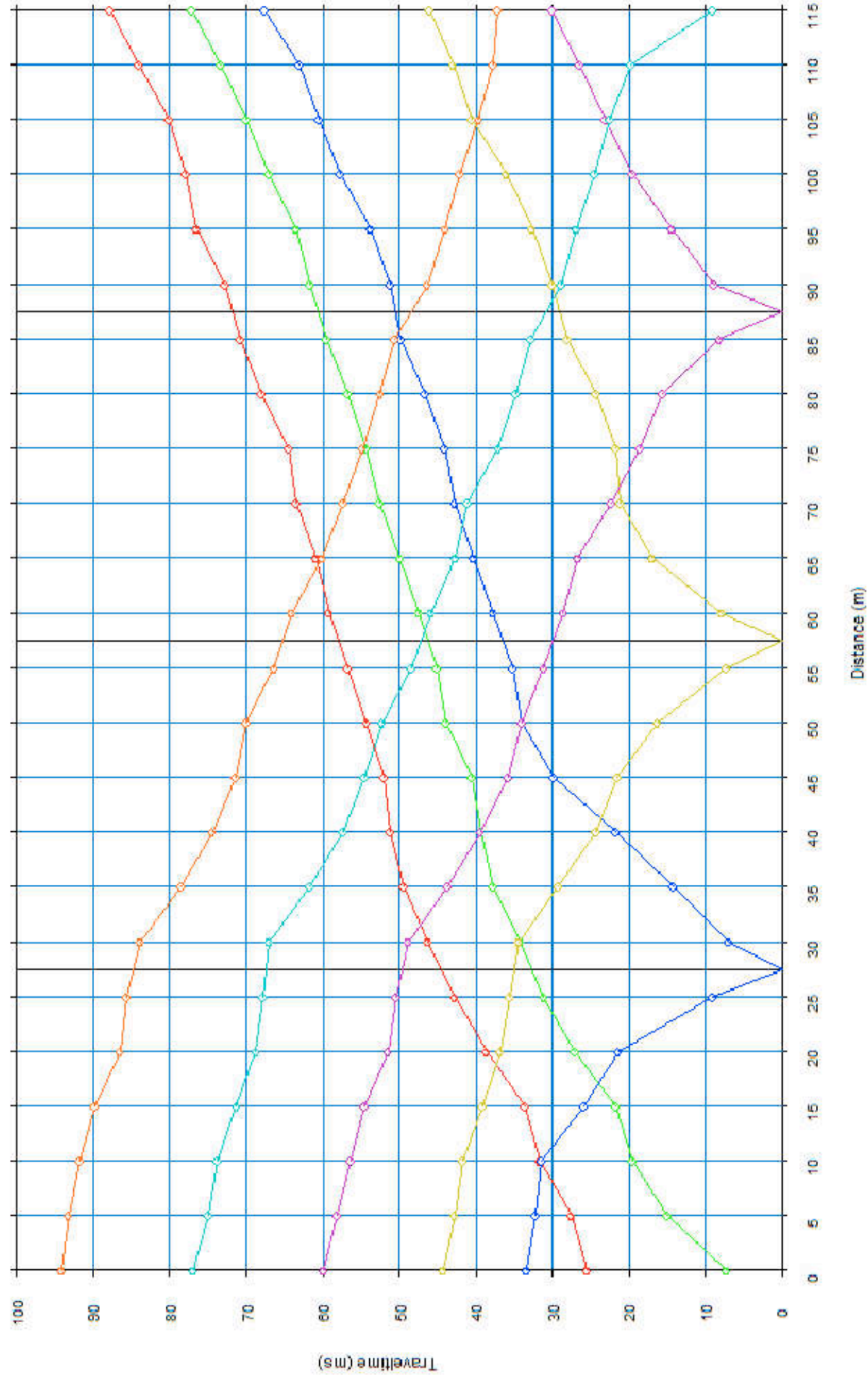


## TEMPI ONDE P – ST2\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	25.51	7.28	33.40	44.28	59.93	76.80	94.14
2	5	27.55	14.96	32.24	42.78	58.02	74.96	93.19
3	10	31.70	19.45	31.49	41.70	56.32	73.66	91.69
4	15	33.63	21.77	25.85	39.04	54.48	71.22	89.65
5	20	38.64	27.00	21.36	36.80	51.49	68.70	86.45
6	25	42.78	31.13	9.11	35.64	50.30	67.76	85.50
7	30	46.19	34.15	6.99	34.35	48.75	67.07	83.80
8	35	49.38	37.75	14.22	29.20	43.63	61.63	78.36
9	40	51.08	39.38	21.77	24.35	39.38	57.27	74.41
10	45	52.04	40.50	29.73	21.54	35.75	54.48	71.34
11	50	54.26	43.87	33.94	16.26	34.00	52.24	69.96
12	55	56.73	45.03	35.13	7.22	31.13	48.42	66.31
13	60	59.18	47.48	37.75	7.85	28.50	45.85	63.99
14	65	60.88	49.93	40.34	17.02	26.60	42.58	60.13
15	70	63.37	52.58	42.78	21.15	22.36	41.08	57.27
16	75	64.42	54.28	44.13	21.75	18.50	37.00	54.82
17	80	68.03	56.73	46.59	24.25	15.51	34.85	52.44
18	85	70.81	59.52	49.79	28.13	8.16	32.85	50.54
19	90	72.70	61.63	51.08	30.00	8.92	28.91	46.34
20	95	76.51	63.46	53.74	32.65	14.38	26.80	43.94
21	100	77.82	67.07	57.68	36.05	19.50	24.56	42.04
22	105	80.06	70.06	60.47	40.54	23.11	22.51	39.59
23	110	84.01	73.33	63.12	42.99	26.38	19.66	37.75
24	115	87.75	77.07	67.61	45.98	30.00	9.11	37.17



# Dromocrone



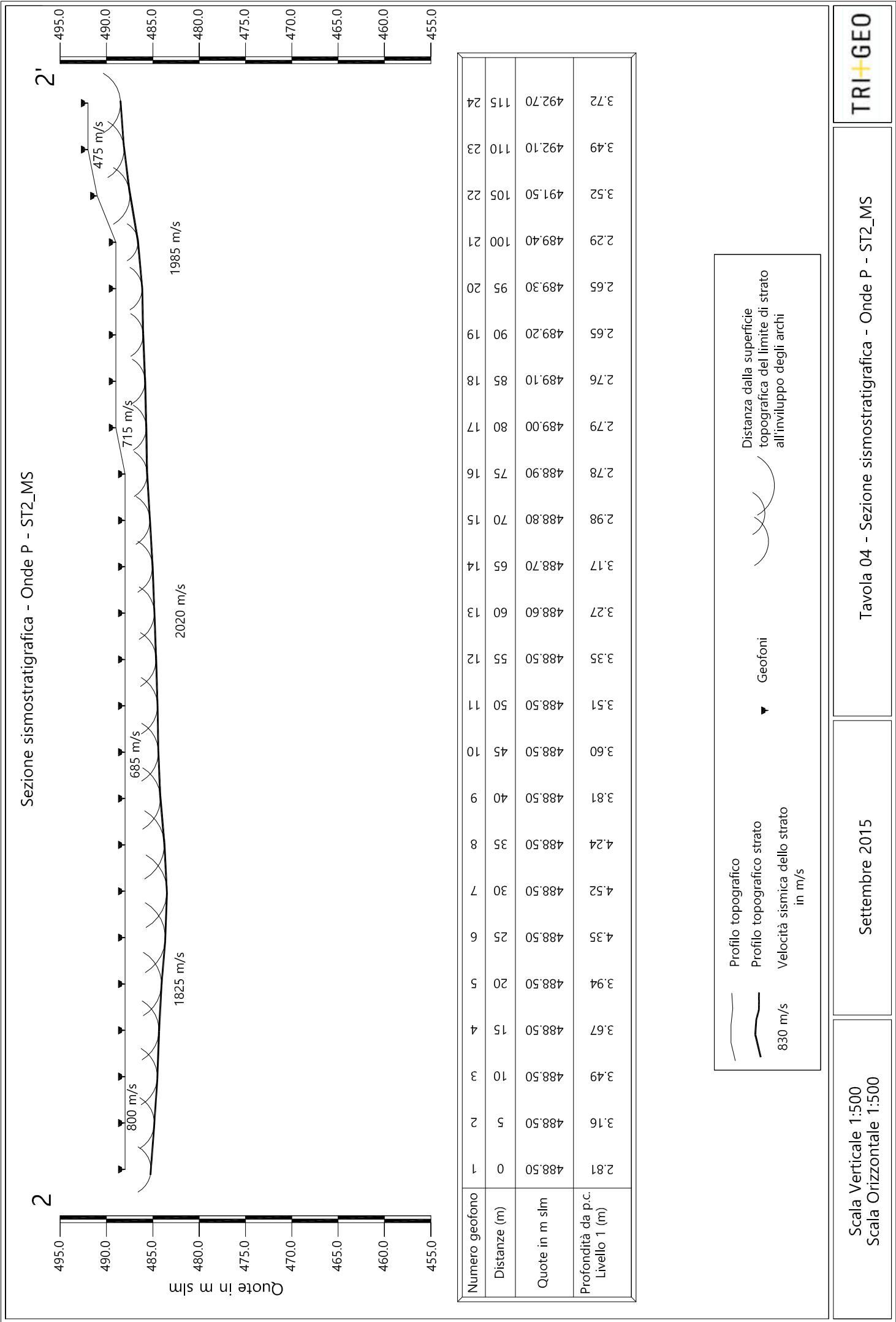
Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

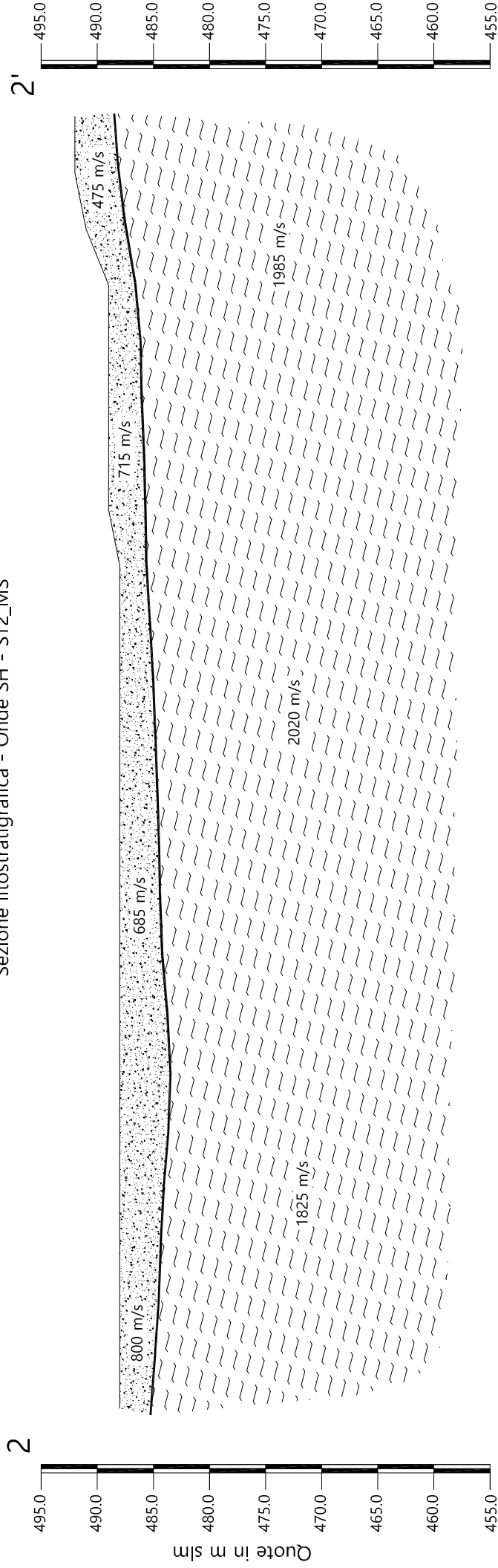
Tavola 03 - Dromocrone - Onde P - ST2\_MS

TRI+GEO





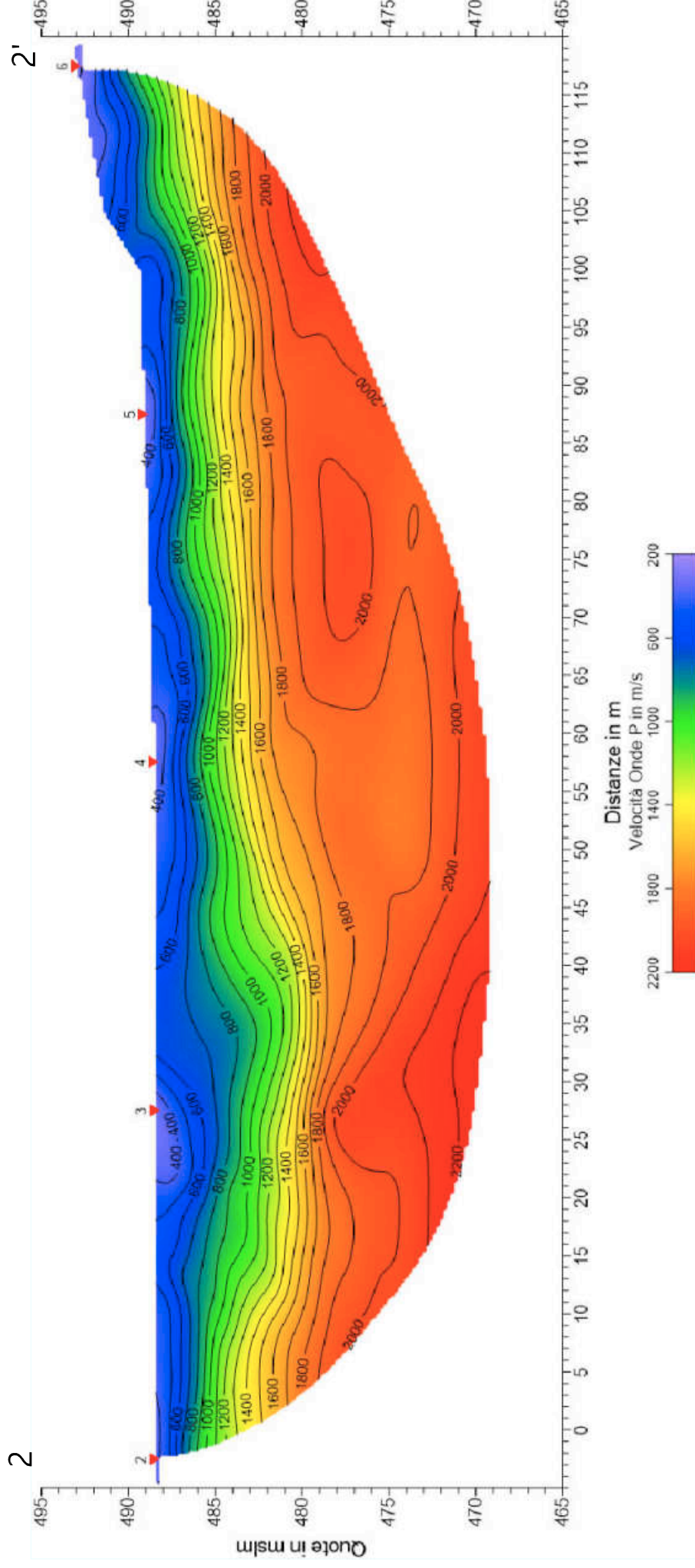
Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST2\_MS



Legenda

- Terreno vegetale / detrito
- Olistostroma (ol)

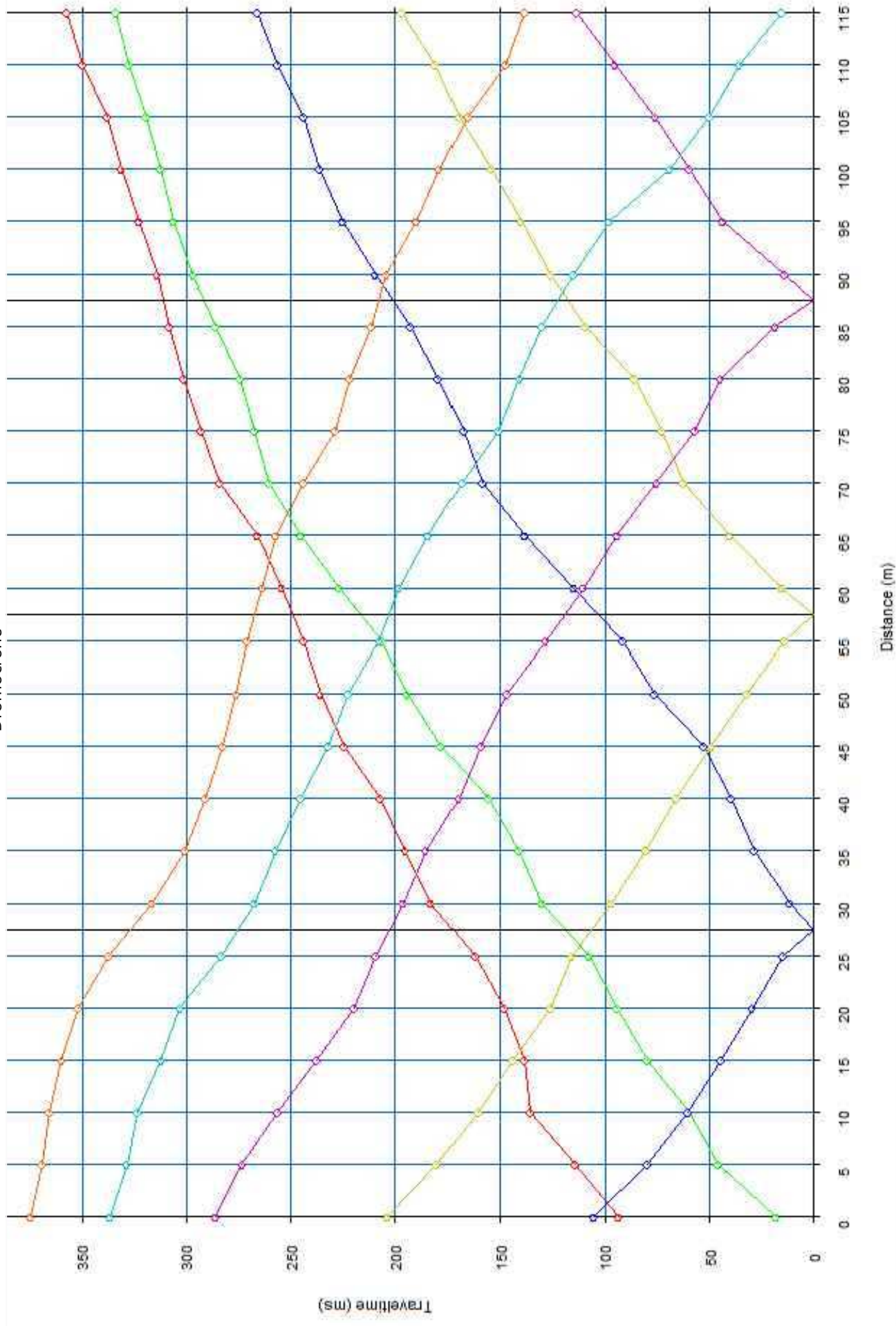
# Sezione tomografica - Onde P - ST2\_MS



## TEMPI ONDE SH – ST2\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	93.50	18.17	105.36	203.82	286.39	336.78	374.97
2	5	114.50	45.88	79.83	180.35	273.29	328.73	369.45
3	10	135.96	60.04	60.62	160.57	256.04	323.44	365.54
4	15	138.95	79.83	44.30	144.01	237.64	312.17	359.79
5	20	148.15	94.13	29.67	126.29	219.92	303.20	352.20
6	25	162.37	107.89	14.95	116.17	209.11	283.41	337.47
7	30	182.88	130.25	11.73	97.08	196.23	267.54	316.54
8	35	195.00	141.48	28.30	80.52	185.45	257.42	300.67
9	40	207.04	156.20	39.63	65.79	170.19	245.23	291.01
10	45	224.29	178.11	53.14	49.23	159.42	231.88	282.72
11	50	235.79	194.39	76.60	32.21	147.09	222.25	276.11
12	55	244.08	206.72	91.56	13.78	128.65	207.73	270.76
13	60	254.20	226.82	115.48	15.47	110.63	198.30	263.63
14	65	266.16	245.23	138.95	40.49	94.25	184.27	257.42
15	70	284.10	260.63	158.73	62.74	75.45	168.39	244.16
16	75	293.08	267.54	167.70	72.92	56.75	151.14	228.90
17	80	301.36	274.15	179.66	86.05	44.93	141.02	221.76
18	85	308.26	285.94	192.55	109.57	18.65	130.20	211.64
19	90	314.01	296.76	209.57	126.29	13.78	115.48	204.10
20	95	322.98	306.16	225.44	140.33	43.87	98.23	189.79
21	100	331.26	312.63	236.25	154.88	59.75	69.01	179.20
22	105	338.16	319.07	244.00	169.54	76.00	49.92	165.86
23	110	349.67	327.35	256.13	181.21	95.37	35.89	147.92
24	115	357.26	333.79	265.88	196.92	113.97	15.64	138.77

# Dromocrone

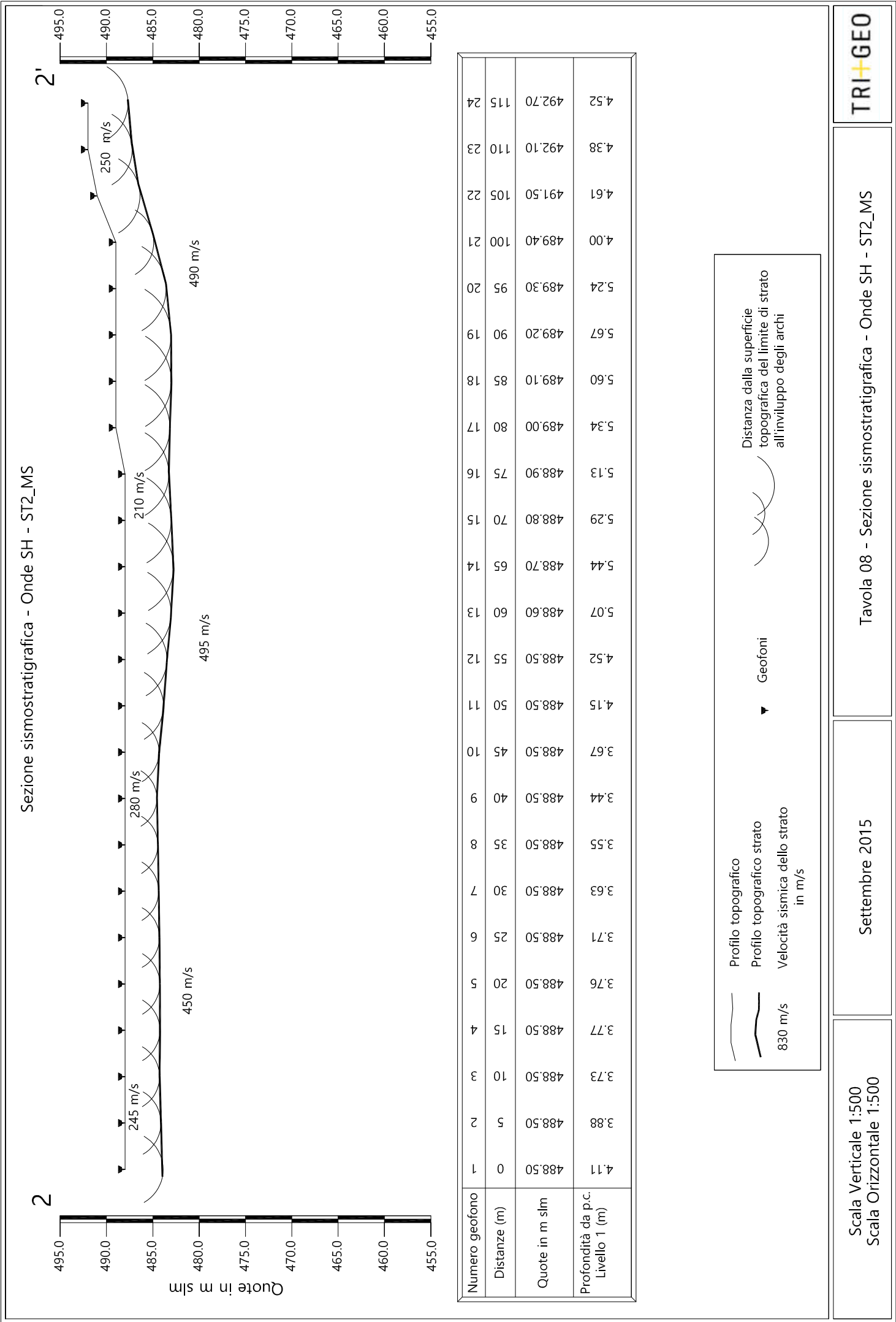


Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

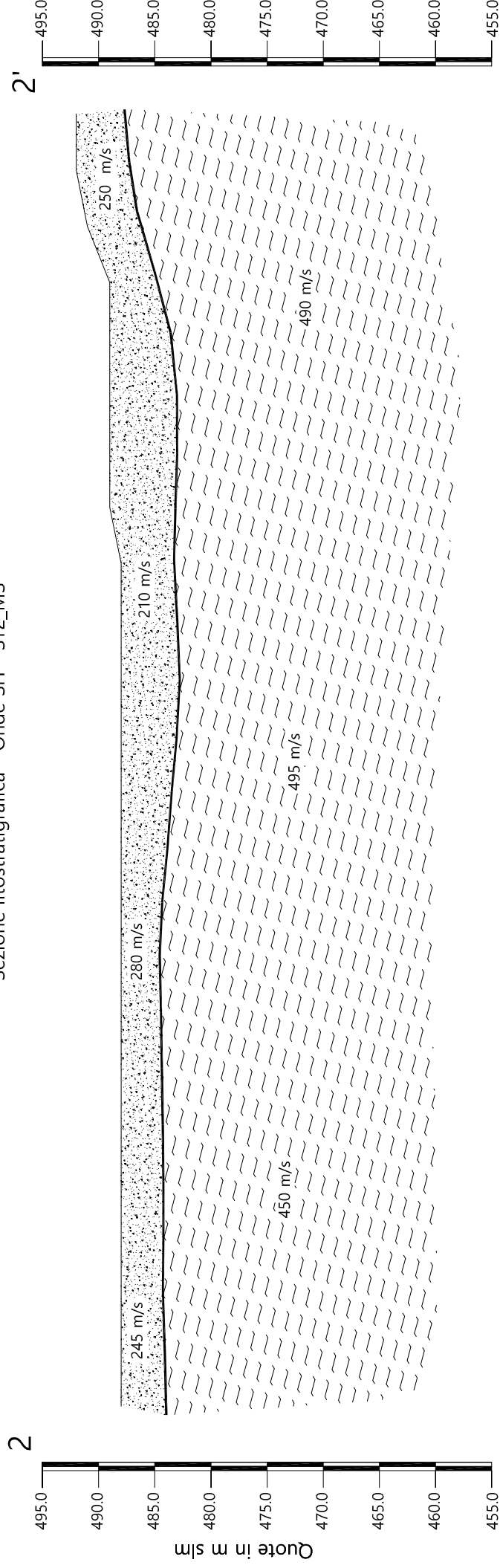
Tavola 07 - Dromocrone - Onde SH - ST2\_MS

TRI+GEO



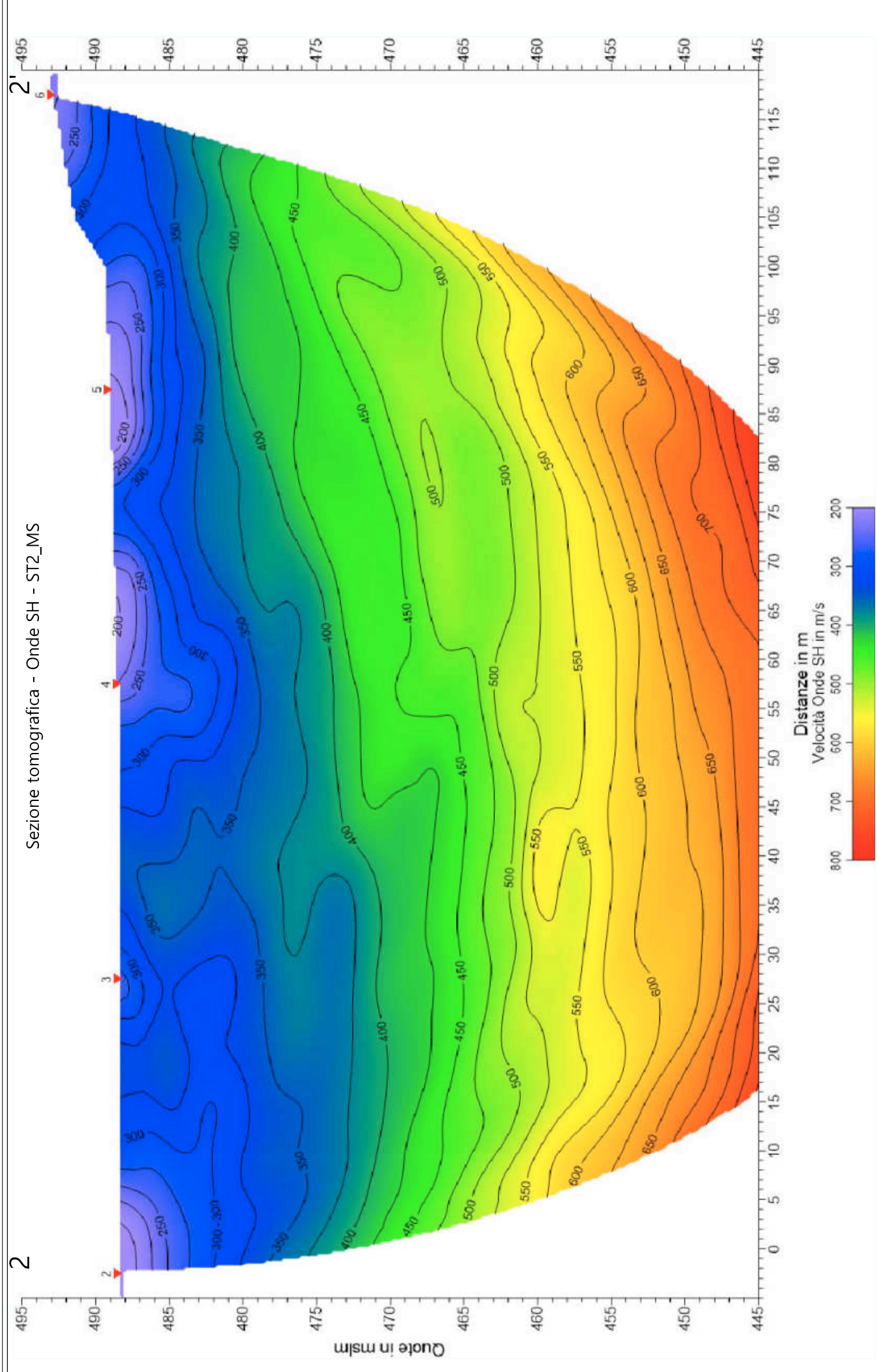


Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST2\_MS



Legenda

- Terreno vegetale / detrito
- Olistrostroma (ol)



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

Tavola 10 - Sezione tomografica - Onde SH - ST2\_MS

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST2\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	800	2182
2	5	781	2071
3	10	762	1912
4	15	743	1779
5	20	723	1666
6	25	720	1627
7	30	701	1609
8	35	685	1740
9	40	689	1953
10	45	694	2131
11	50	698	2101
12	55	695	1980
13	60	700	1929
14	65	704	1967
15	70	708	2050
16	75	715	2045
17	80	685	1944
18	85	655	1844
19	90	625	1898
20	95	595	2018
21	100	565	2112
22	105	535	2086
23	110	505	2033
24	115	475	1943

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST2\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	245	438
2	5	251	500
3	10	257	543
4	15	263	542
5	20	268	465
6	25	265	381
7	30	271	341
8	35	280	372
9	40	270	432
10	45	260	500
11	50	250	562
12	55	248	574
13	60	238	529
14	65	228	464
15	70	218	428
16	75	210	465
17	80	215	533
18	85	220	572
19	90	225	546
20	95	230	507
21	100	235	470
22	105	240	442
23	110	245	429
24	115	250	414

**PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST2\_MS – ONDE P**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	2.81
2	5	3.16
3	10	3.49
4	15	3.67
5	20	3.94
6	25	4.35
7	30	4.52
8	35	4.24
9	40	3.81
10	45	3.60
11	50	3.51
12	55	3.35
13	60	3.27
14	65	3.17
15	70	2.98
16	75	2.78
17	80	2.79
18	85	2.76
19	90	2.65
20	95	2.65
21	100	2.29
22	105	3.52
23	110	3.49
24	115	3.72

**PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST2\_MS – ONDE SH**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	4.11
2	5	3.88
3	10	3.73
4	15	3.77
5	20	3.76
6	25	3.71
7	30	3.63
8	35	3.55
9	40	3.44
10	45	3.67
11	50	4.15
12	55	4.52
13	60	5.07
14	65	5.44
15	70	5.29
16	75	5.13
17	80	5.34
18	85	5.60
19	90	5.67
20	95	5.24
21	100	4.00
22	105	4.61
23	110	4.38
24	115	4.52



Vista generale ST2\_MS da G1 verso G24.



Vista generale ST2\_MS da G12 verso G1.





Vista generale ST2\_MS da G12 verso G24.



Shot point A – Onde SH – ST2\_MS.





Shot point B – Onde SH – ST2\_MS.



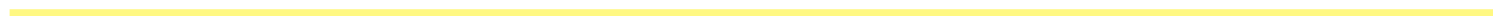
Shot point D –Onde P – ST2\_MS.



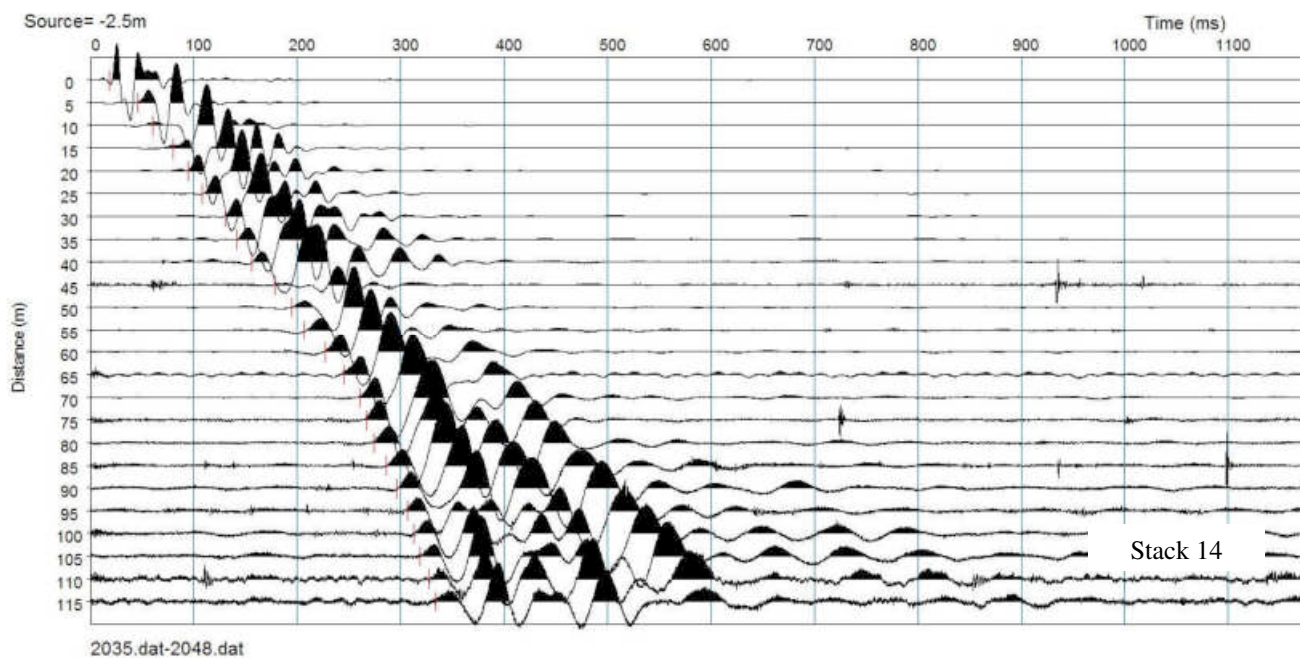
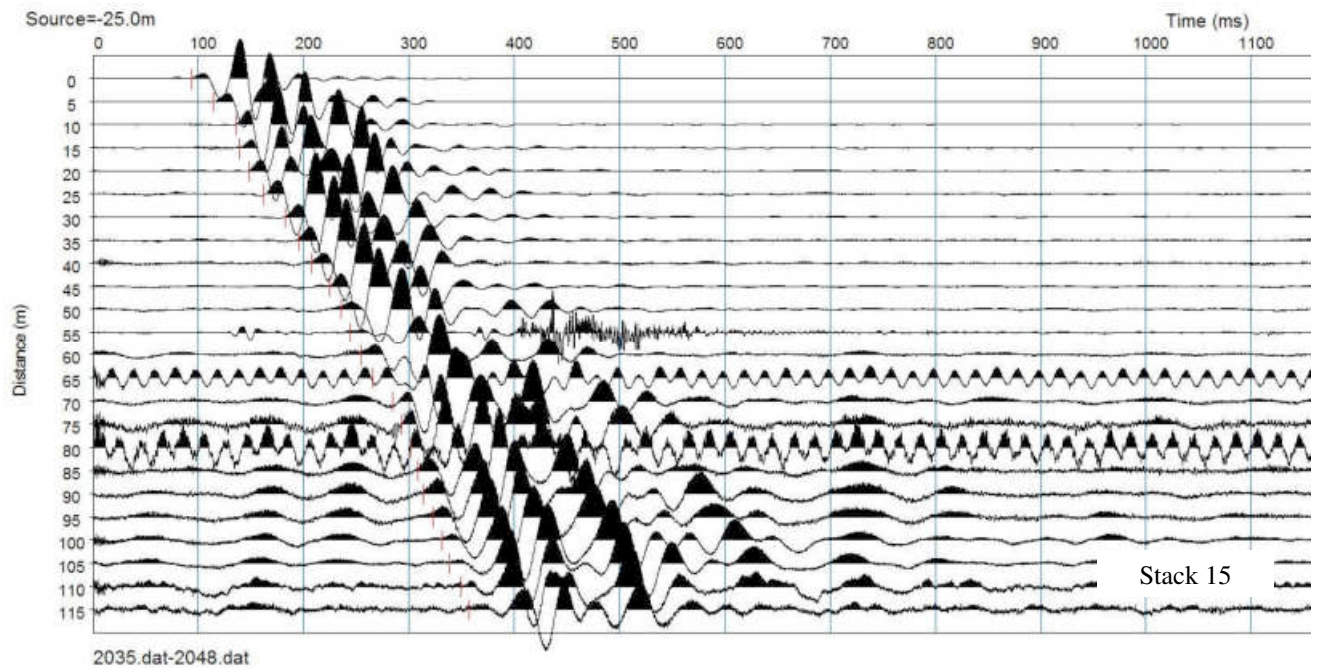
## **REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA – ST2\_MS**

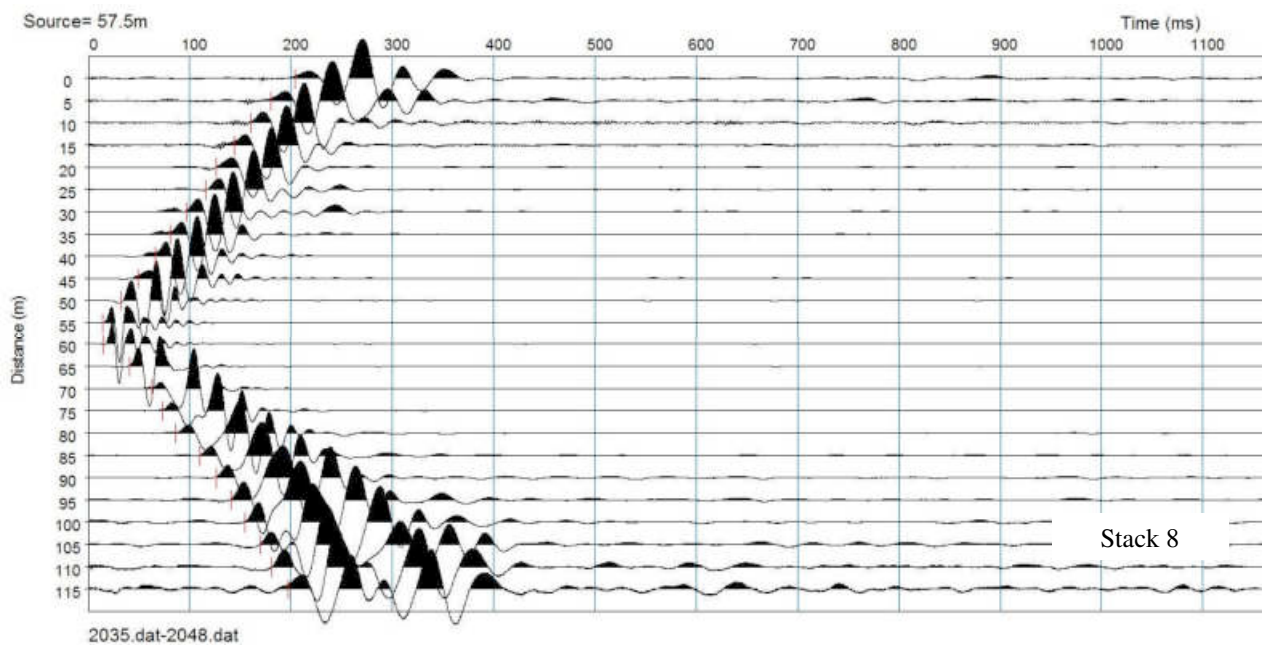
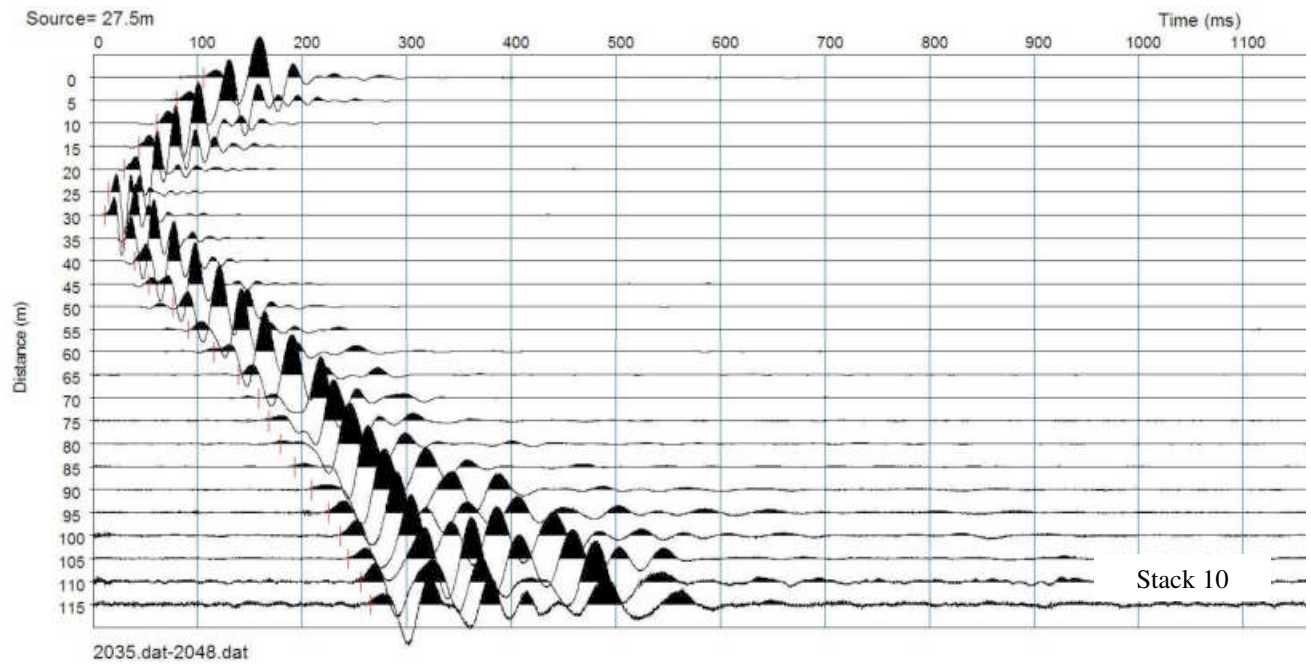
**file 2035 - 2048 Onde SH**

**file 2049 - 2055 Onde P**

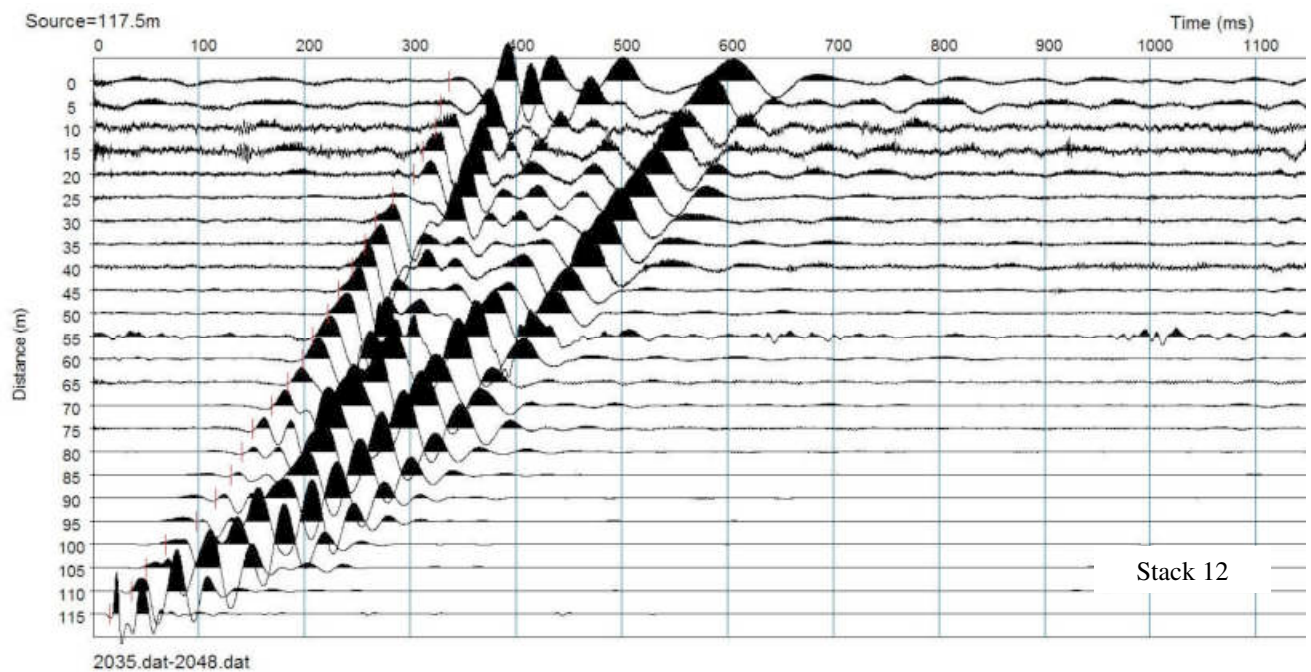
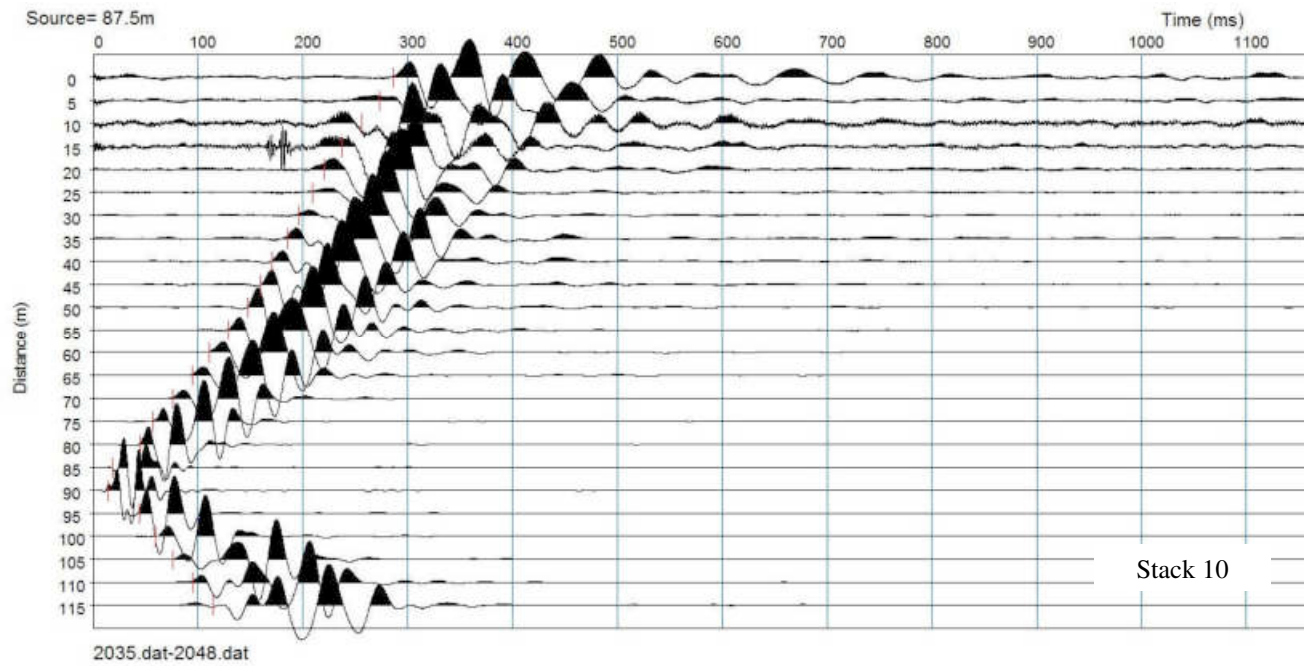


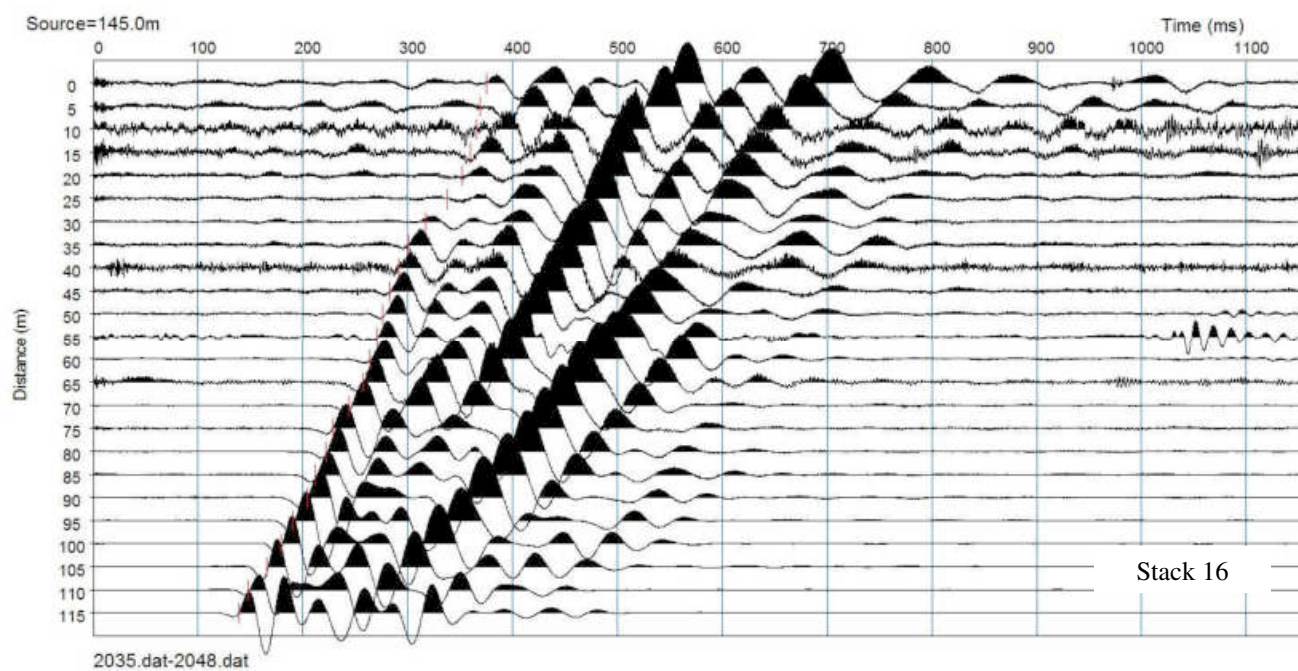
# ONDE SH $\Sigma$





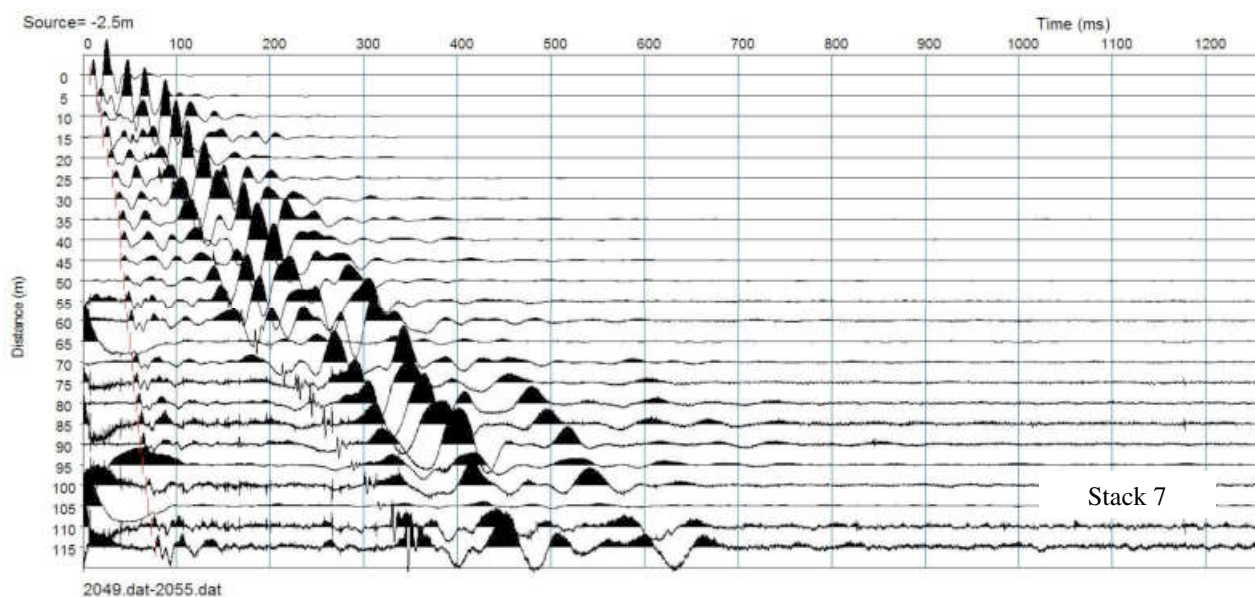
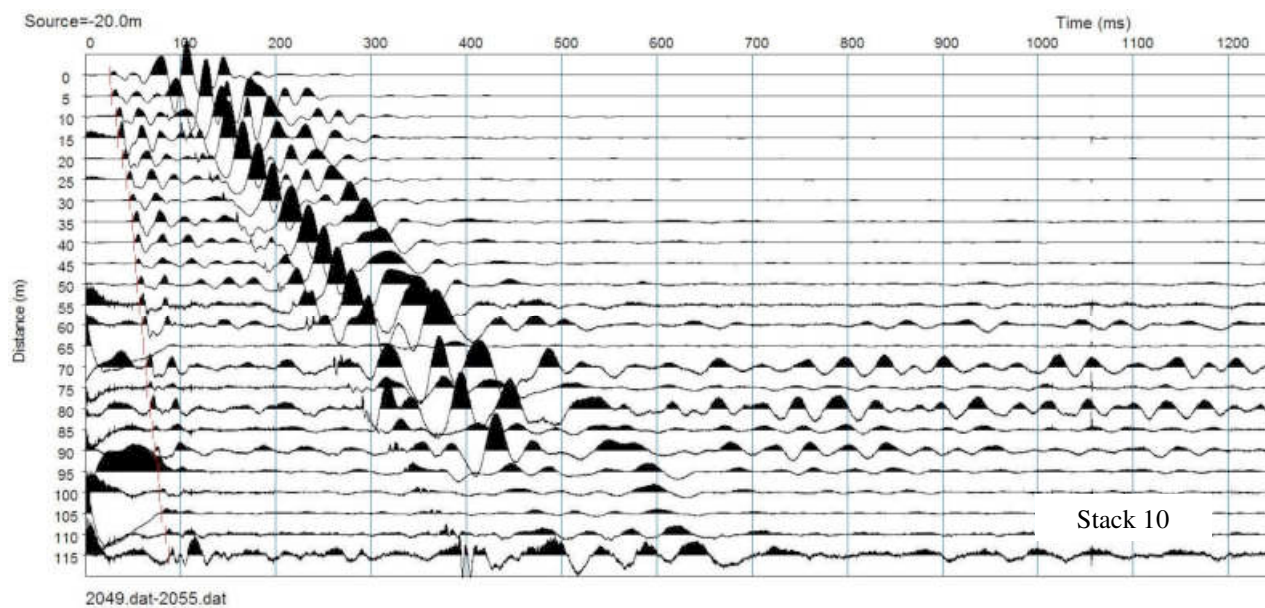


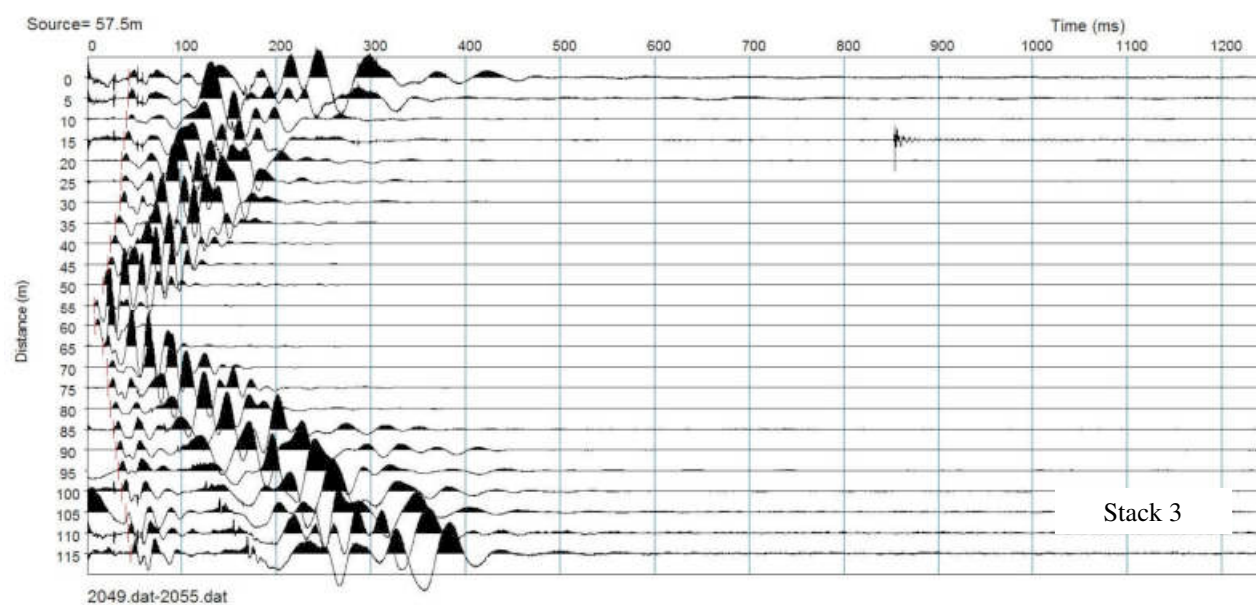
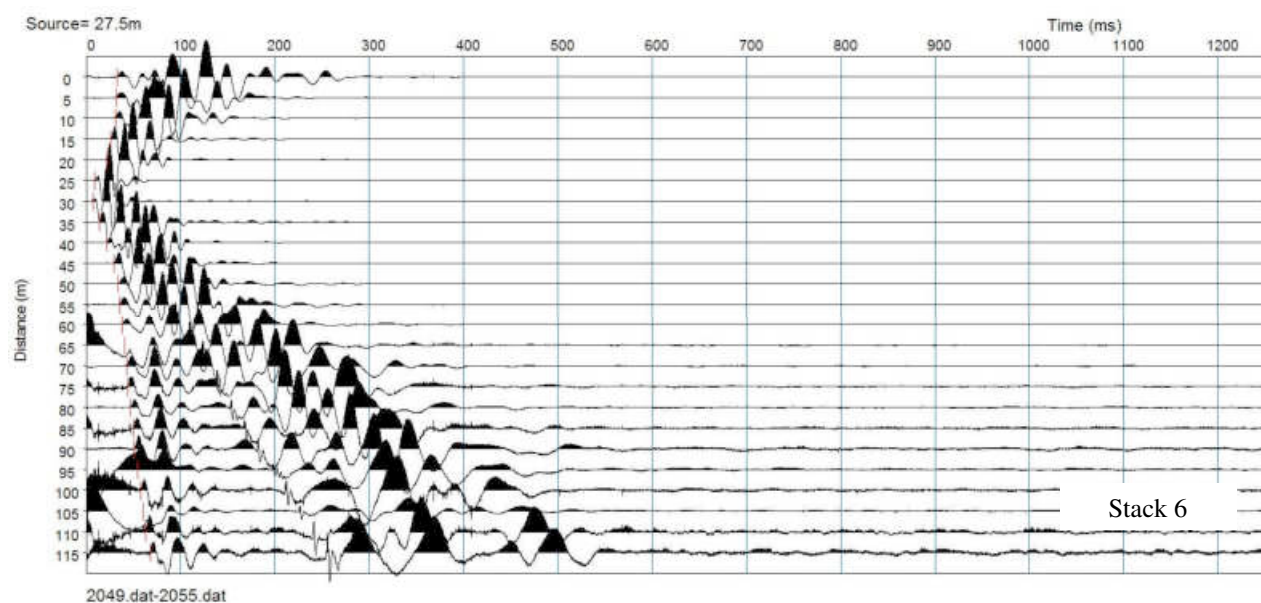


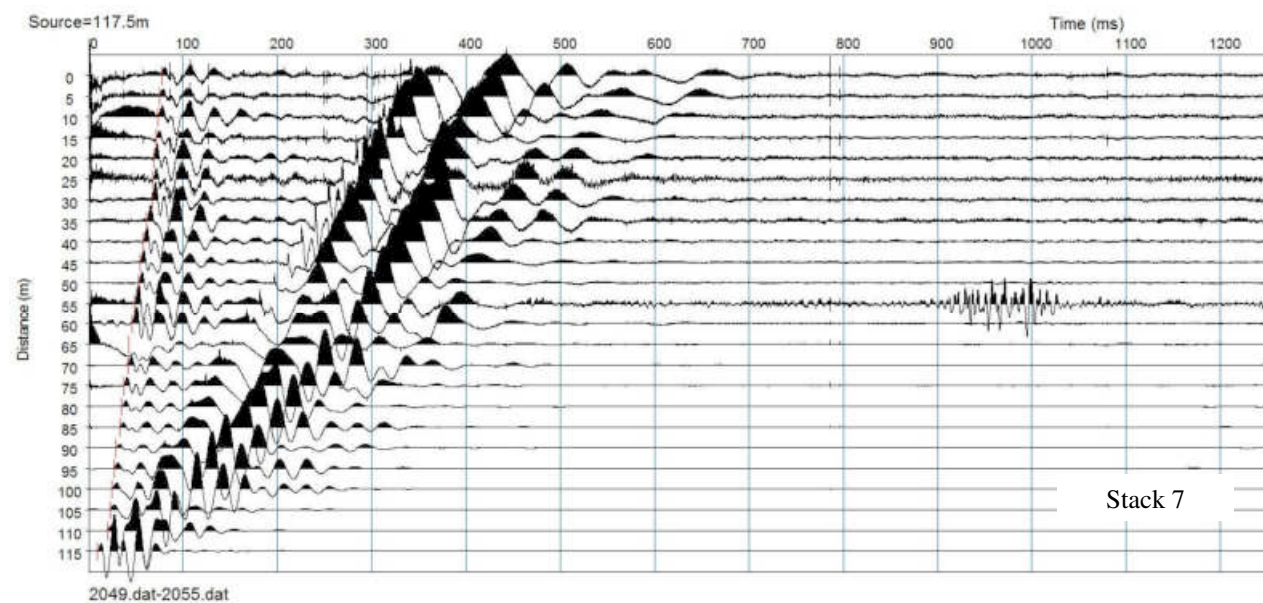
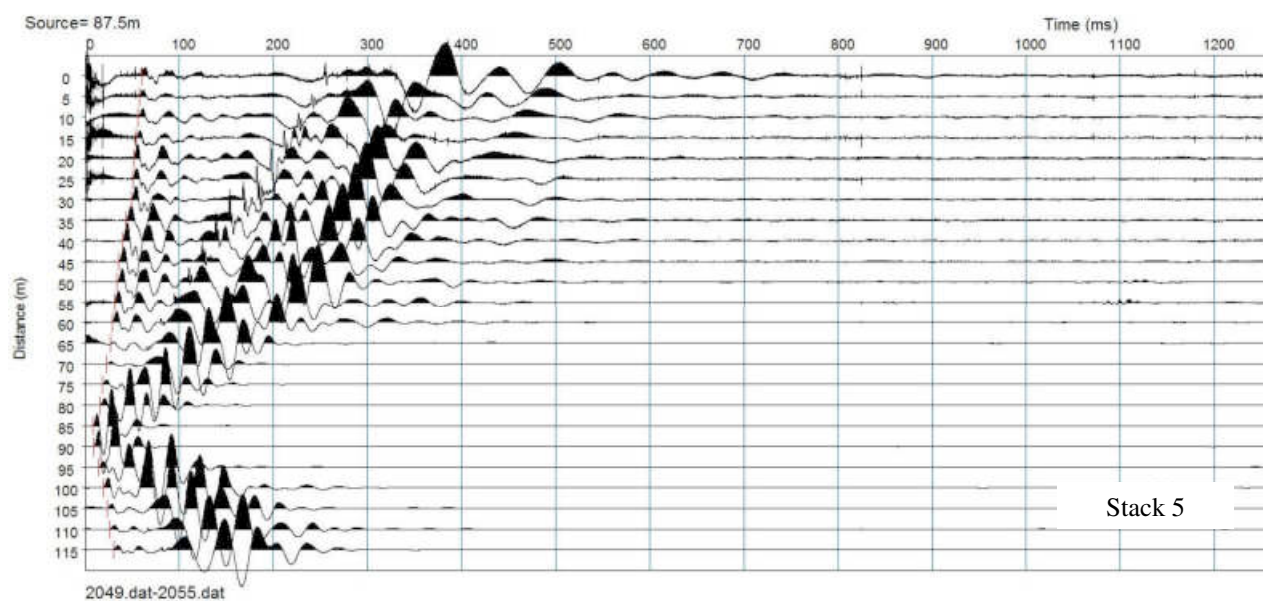




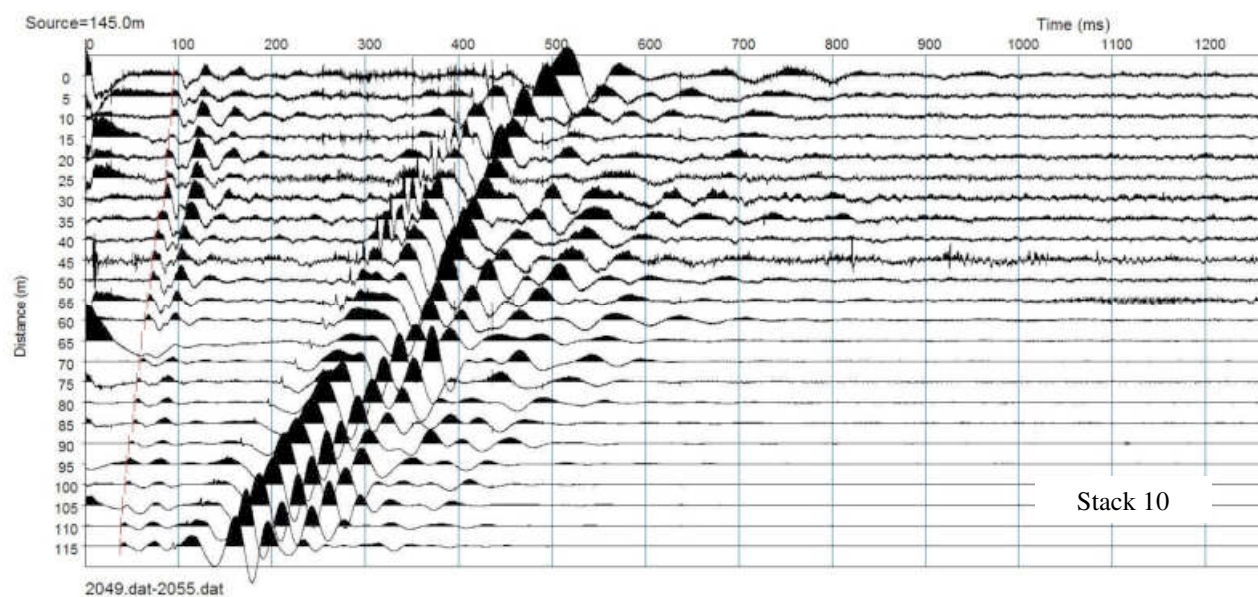
# ONDE P











### TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini  
Via Mazzini, 18  
52011 Soci (AR)  
P.IVA 02024110518  
info@trigeo.it

### FIRENZE

Via Nino Bixio, 9  
50131 Firenze  
firenze@trigeo.it  
T/F 055 400619  
M 328 7213928

### AREZZO

Via Trasimeno, 7  
52100 Arezzo  
arezzo@trigeo.it  
T/F 0575 294500  
M 339 2288117

## RELAZIONE TECNICA

### STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

**“INDAGINE GEOFISICA DI  
SUPERFICIE MEDIANTE SISMICA A  
RIFRAZIONE E TOMOGRAFIA  
SISMICA (ONDE P ED SH) LINEA  
SISMICA ST3 - STIA”**

## COMMITTENTE : COMUNE DI PRATOVECCHIO-STIA

28 - SETTEMBRE - 2015



CERTIFICATO  
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE  
NON DISTRUTTIVE E  
SEMIDISTRUTTIVE  
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.  
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto  
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)  
P.IVA 02024110518  
Tel/Fax 0575 294500 - 056 996212  
Cell. / 339 2288117 - 328 7213928  
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

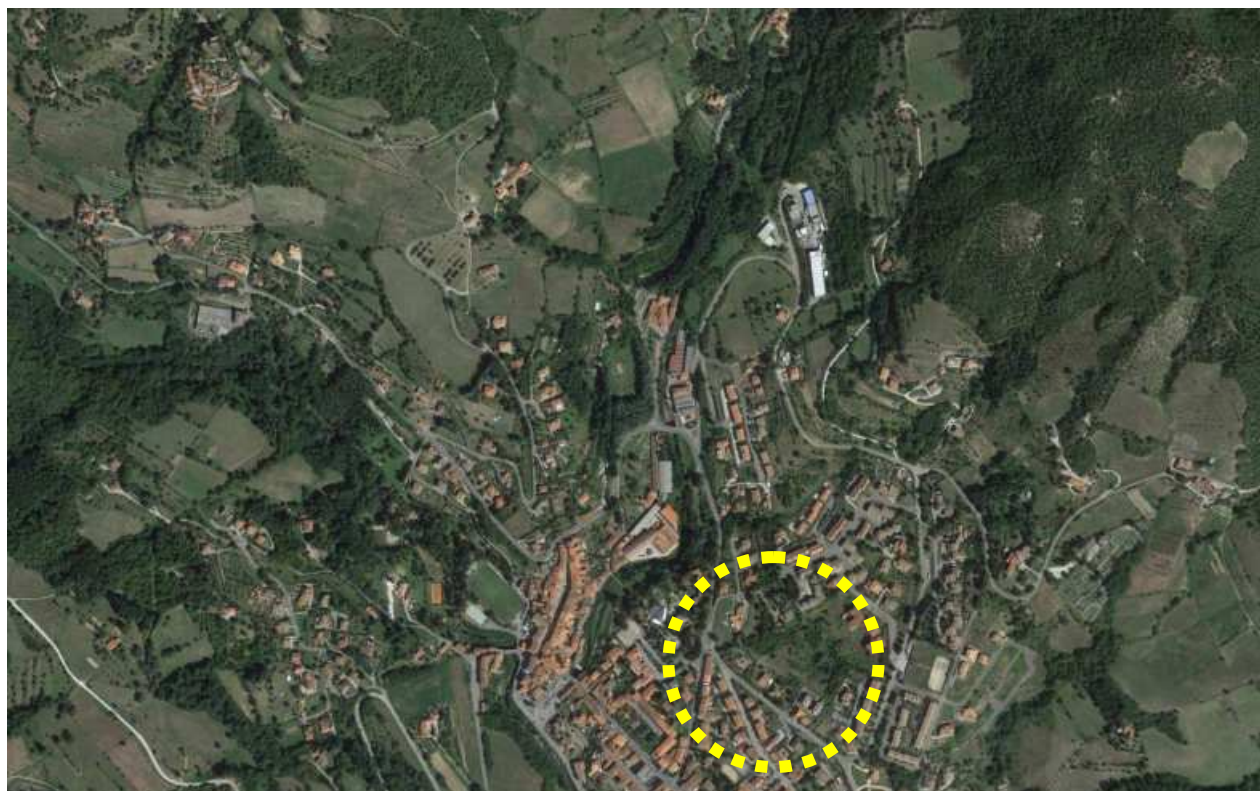
## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.0 SCHEMA OPERATIVO</b>	<b>5</b>
<b>2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA</b>	<b>5</b>
<b>3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI</b>	<b>7</b>
<b>4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA</b>	<b>8</b>
<b>5.0 CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>10</b>
<b>ALLEGATI</b>	<b>12</b>



## INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Settembre 2015, mediante sismica a rifrazione onde P ed onde SH (acquisizione ed elaborazione dati con metodologia tomografica), per conto del **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)**.



**Figura 1:** Area d'intervento: Linea ST3 Loc. Stia – Prato Vecchio Stia (AR).

L'indagine sismica, viene eseguita nei pressi del centro abitato di **STIA - PRATOVECCHIO STIA (AR)**. Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una prospezione geofisica mediante sismica a rifrazione tesa a fornire, lungo la sezione, convenuta con la committenza, una caratterizzazione delle litologie presenti nell'area d'indagine nonché determinare le geometrie (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo dei terreni in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P e di taglio SH. I dati ottenuti sono stati elaborati sia con la metodologia classica della rifrazione (GRM) che con la metodologia tomografica che permette di ottenere, attraverso un maggior numero

di “energizzazioni” (7 per ciascun stendimento) ed un opportuno software di elaborazione, un’ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura.

L’acquisizione delle onde SH combinate alle onde di compressione consente di ottenere i principali parametri elastico/dinamici e di fornire i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), così come richiesto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

La relazione tecnica riferisce sui risultati ottenuti dall’indagine sismica a rifrazione mediante Onde P e SH ed è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale del profilo sismico **ST3** eseguito, scala 1:10.000 (da CTR 1:10.000);
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **ST1** eseguito, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate;
- Schema dettagliato della linea sismica con posizionamento relativo dei geofoni (quote-distanze), coordinate in Gauss-Boaga dei geofoni iniziale e finale e punti di energizzazioni (quote-distanze);
- **Tabelle Tempi di arrivo Onde P e SH** relativi ai vari scoppi, con riportati posizione, tempo di arrivo e quota di ciascun geofono;
- **Tavole 03-07:** Diagrammi Tempi d’arrivo-Distanze (Dromocrone) Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 04-08:** Grafici delle profondità dei rifrattori individuati (sezione sismostratigrafica) e tabelle Distanze-Profondità Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 05-09:** Sezioni litostratigrafiche interpretative onde P-SH, scala 1:500;
- Tabelle Profondità calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- Tabelle Velocità sismiche calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- **Tavole 06-10:** Sezioni tomografiche onde P-SH, scala 1:500;
- Documentazione fotografica della linea sismica;
- Stampe delle registrazioni di campagna.

Di seguito viene descritto, lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

## 1.0 SCHEMA OPERATIVO

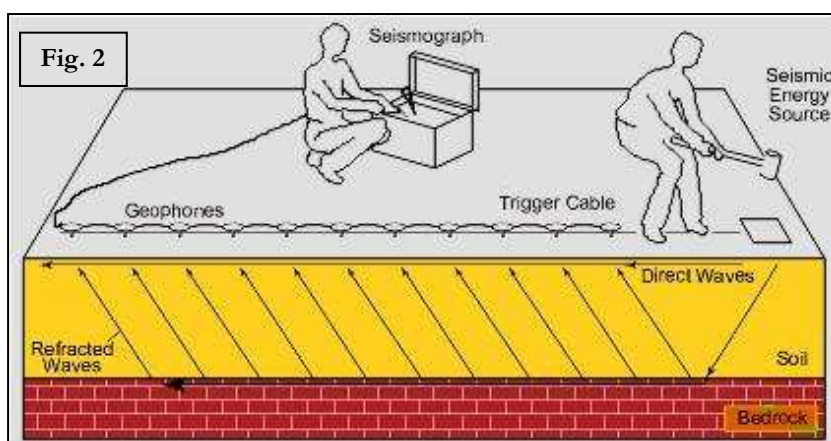
Nella **Tavola 01**, è stato riportato un inquadramento corografico generale in scala 1:10.000 con inserita la sezione sismica eseguita. Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, con inserita la sezione sismica eseguita, la posizione di ogni singolo geofono e l'ubicazione di ogni punto di energizzazione (shot point).

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di 4 m per la sezione eseguita sia con onde P che con onde SH. Complessivamente sono stati acquisiti **184 ml** di rilievo suddivisi in 2 basi di **92 ml** (Onde P-SH).

## 2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 2**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.



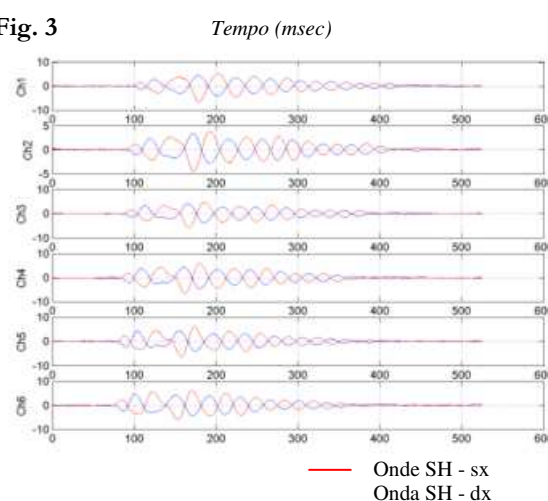
Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: **A/D Conversion:** 24 bit; **Dynamic Range:** 144 dB; **Distortion:** 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; **Bandwidth:** 1.75 Hz to 20 kHz; **Common Mode Rejection:** > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; **Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; **Noise Floor:** 0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz; **Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval; **Maximum Input Signal:** 2.8 VPP; **Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uf; **Preamplifier Gains;** **Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency; **Sample Interval:** 0.02 to 16.0 ms; **Record Length:** 16,000 samples; **Acquisition and Display Filters:** *LowCut, Notch, HighCut*; **Data Formats:** SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali ed orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e nel caso dei geofoni orizzontali dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza generalmente una trave di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato nel nostro caso dalla stessa autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase (**Fig. 3**). Ogni energizzazione viene registrata sull'Hard Disk sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il *Generalized Reciprocal Method* (GRM) che consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore

**Fig. 3**



di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati fino ad angoli superiori a 20 gradi. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti sono dei casi particolari.

Oltre al GRM, in alcuni casi, è stato utilizzato, per conferma e confronto, un algoritmo di inversione che usa il *delay-time method* per ottenere un primo modello approssimato in profondità, che viene quindi affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna ed il corrispondente modello di profondità. In questo caso specifico è stato utilizzato come sistema di elaborazione principale il *delay-time method* affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed il GRM come verifica e conferma dei risultati ottenuti.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme. Infine sono stati calcolati i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), come richiesto dalla nuova "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

### 3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nelle **Tavole 03-07** sono rappresentate, le curve tempi-distanze, Dromocrone, che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna (onde P-SH). Nel diagramma tempi-distanze,



in ascisse, in scala 1:500 sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento e, in ordinate, i tempi di arrivo, espressi in millisecondi agli stessi sensori.

Nelle **Tavole 04-08**, sono state riportate le sezioni sismostratigrafiche ottenute (onde P-SH), al di sotto della superficie topografica l'involuppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato.

Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'involuppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Nelle **Tavole 05-09** sono riportate le sezioni interpretate (sezioni litostratigrafiche) sulla base sia dei dati ottenuti (sezioni sismostratigrafiche), sia di considerazioni geologiche generali relative alla zona in esame che sulla base dei dati forniti dal tecnico incaricato.

Infine nelle **Tavole 06-10** abbiamo le sezioni tomografiche interpretate realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. La scala in falsi colori presente, esprime i valori di velocità all'interno della sezione.

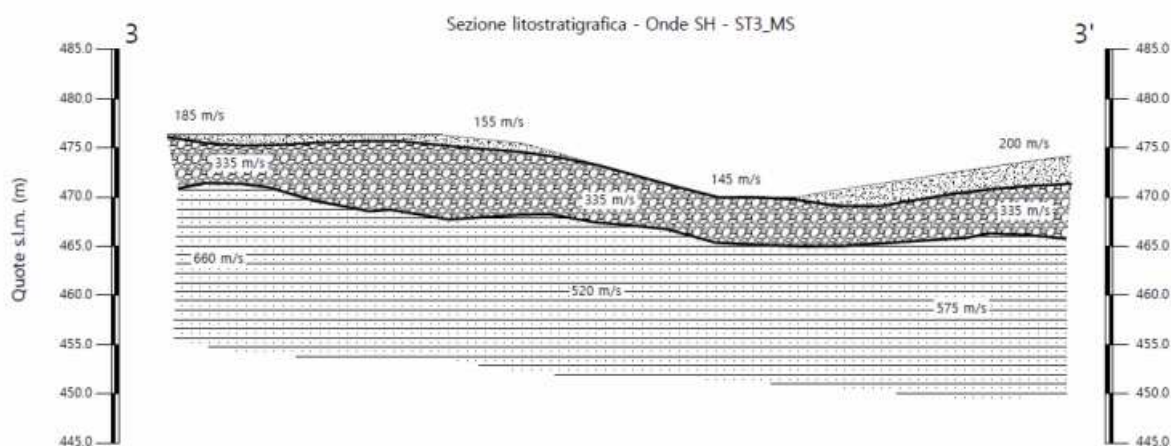
Le sezioni litostratigrafiche interpretate assieme alle sezioni tomografiche, rappresentano il risultato conclusivo dell'analisi dei dati sintetizzati nelle tavole e tabelle allegate.

## 4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di due superfici rifrangenti principali: la prima si localizza a profondità comprese tra 0.00 m e 2.80 m (onde P ed onde SH); la seconda si attesta a profondità comprese tra 3.50 m e 8.70 m (onde P ed onde SH).

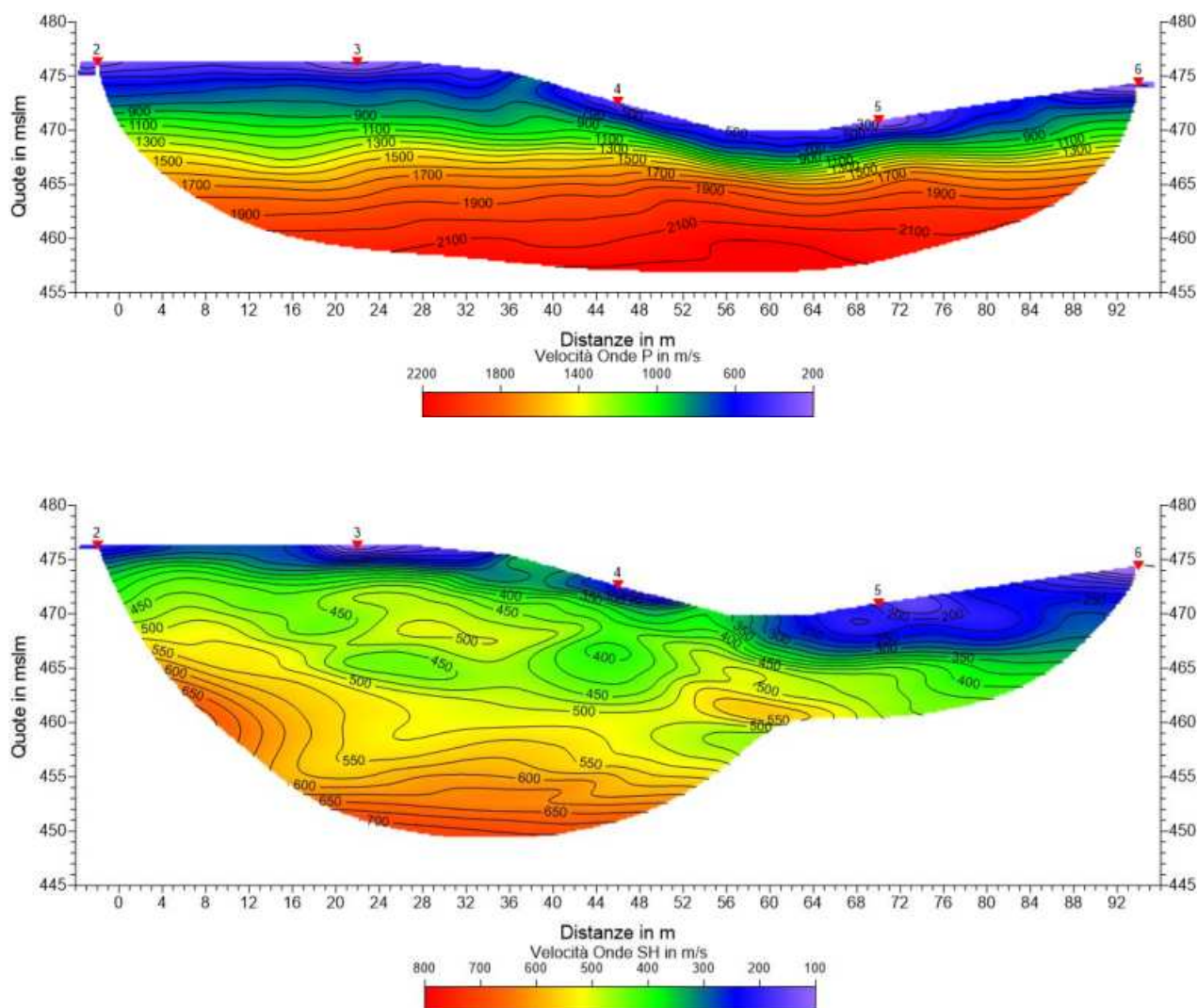
Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 505 e 710 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 145-200 m/s, con il livello intermedio costituito da detrito di versante che presenta velocità di 895 m/s (onde P) e di 335 m/s (onde SH). Al di sotto del livello intermedio si individua il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 2.045 e 2.165 m/s (onde P) e tra 520-660 m/s (onde SH).

La **Sezione ST3** è stata elaborata seguendo le informazioni del GRM, che hanno permesso di ricostruire l'andamento del rifrattore principale. Il rifrattore si presenta piuttosto regolare attestandosi a profondità maggiori nel tratto iniziale e finale (prossime ai 8.50 m), mentre risultano inferiori nel tratto centrale (ca. 4.50 m). Il livello superficiale presenta spessori modesti intorno a 1.00-1.50 m nel tratto iniziale-centrale e maggiori nel tratto finale con spessori superiori a 2.00 m.



Le velocità del substrato roccioso mostrano per le onde P, valori piuttosto costanti, compresi tra 2.045 e 2.165 m/s , maggiori nel tratto centrale. Le velocità delle onde SH invece, mostrano valori lievemente decrescenti lungo la sezione, con velocità che passano dai ca. 660 m/s del tratto iniziale ai ca. 575 m/s del tratto finale.

L'analisi tomografica eseguita sia con onde P che con onde SH in accordo con i risultati del GRM , permette di apprezzare nella porzione più superficiale la presenza di materiale piuttosto omogeneo e compatto. Il passaggio al substrato roccioso risulta evidenziato dal raffittimento delle curve di isovelocità (a partire da quella dei 1.000 m/s onde P), mentre per le onde SH, il contatto si osserva a partire dalla curva dei 500 m/s. Mentre la sezione tomografica in onde P mostra materiale litoide piuttosto omogeneo, le onde SH mostrano in profondità alcune oscillazioni, più evidenti nel tratto centrale.



## 5.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio ha individuato le caratteristiche geofisiche dei materiali superficiali e profondità di un'area, posta in località **STIA**, nel **COMUNE PRATOVECCHIO STIA (AR)**. L'indagine geofisica di superficie, eseguita mediante sismica a rifrazione, ha permesso di identificare in profondità il passaggio tra i materiali più superficiali (terreno vegetale/detrito) ed il substrato litoide integro costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3).

Sulla base di quanto fino ad ora riportato è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive relativamente all'area in oggetto:

- risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di due superfici rifrangenti principali: la prima si localizza a profondità comprese tra 0.00 m e 2.80 m (onde P ed onde SH); la seconda si attesta a profondità comprese tra 3.50 m e 8.70 m (onde P ed onde SH);

- nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 505 e 710 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 145-200 m/s, con il livello intermedio costituito da detrito di versante che presenta velocità di 895 m/s (onde P) e di 335 m/s (onde SH). Al di sotto del livello intermedio si individua il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 2.045 e 2.165 m/s (onde P) e tra 520-660 m/s (onde SH).

---

Arezzo, lì 28/09/2015

**TRIGEO s.n.c.**  
 di Nencioni Andrea & Tommasi Benedetto  
 Via Mazzini n°10 - 52011 - SODI (AR)  
 P.IVA 02025110516  
 Tel/Fax 0573 234800 - 054 9902212  
 Cell. 339 3049117 - 328 7213623  
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

## **ALLEGATI**



### SCHEMA DELLA LINEA SISMICA ST3\_MS

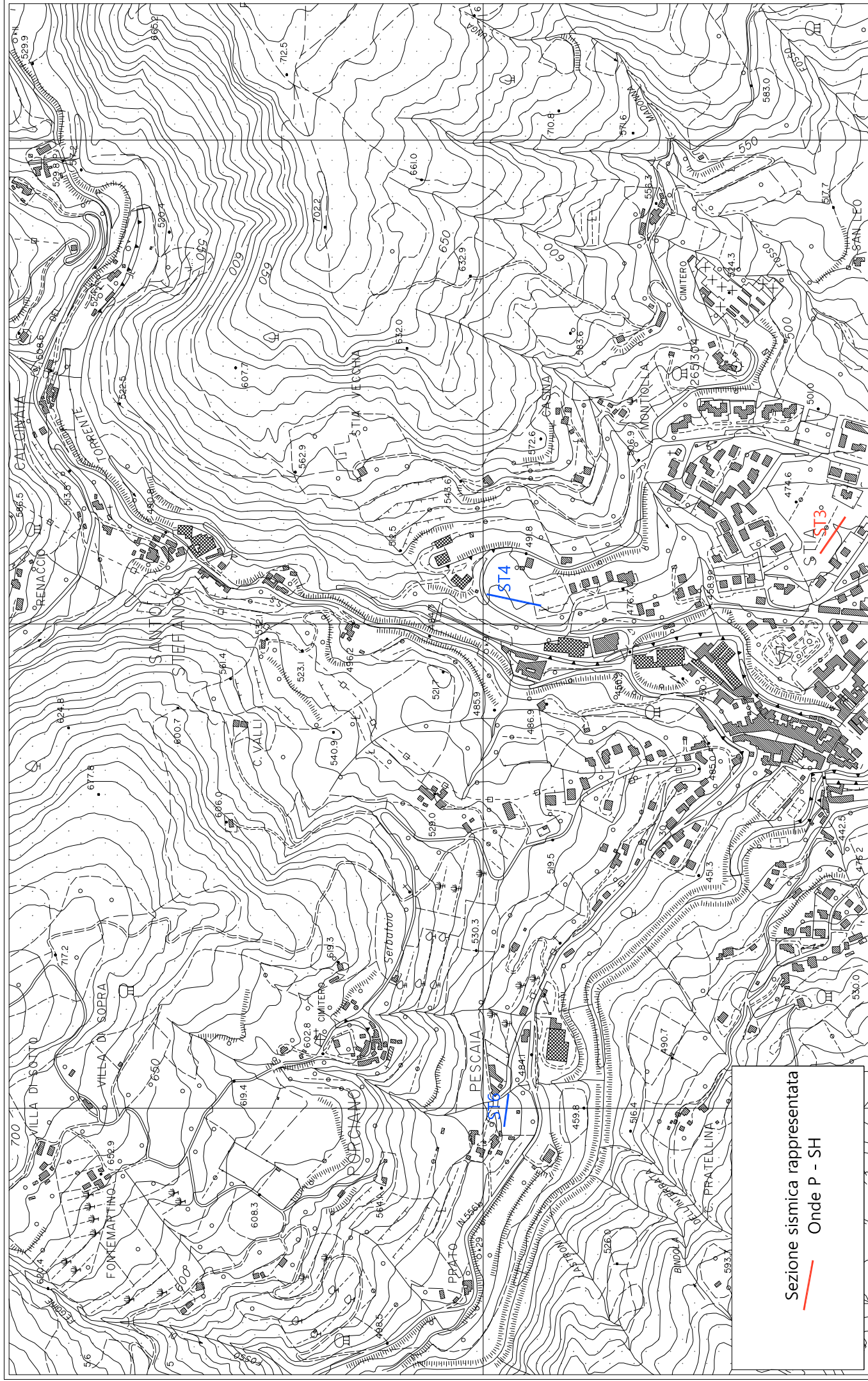
GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	0.0	476.30
2	4	4.0	476.30
3	8	4.0	476.30
4	12	4.0	476.30
5	16	4.0	476.30
6	20	4.0	476.30
7	24	4.0	476.30
8	28	4.0	476.30
9	32	4.0	475.90
10	36	4.0	475.50
11	40	4.0	474.40
12	44	4.0	473.20
13	48	4.0	472.10
14	52	4.0	471.10
15	56	4.0	470.00
16	60	4.0	470.00
17	64	4.0	470.00
18	68	4.0	470.70
19	72	4.0	471.30
20	76	4.0	471.90
21	80	4.0	472.50
22	84	4.0	473.10
23	88	4.0	473.70
24	92	4.0	474.20

### COORDINATE GAUSS-BOAGA DEI GEOFONI 1 E 24

COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	4853303,22	4853251,41
Y(m)	1718145,50	1718221,52

### PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT

ONDE P	Σ ONDE SH	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.2845	DAT.2827	A - ESTERNO SX	-15.0	476.20
DAT.2844	DAT.2825	B - ESTREMO SX	-2.0	476.30
DAT.2843	DAT.2829	C - INTERMEDIO SX	22.0	476.30
DAT.2842	DAT.2831	D - CENTRALE	46.0	472.60
DAT.2841	DAT.2833	E - INTERMEDIO DX	70.0	471.00
DAT.2840	DAT.2835	F - ESTREMO DX	94.0	474.20
DAT.2839	DAT.2837	G - ESTREMO DX	117.0	476.10



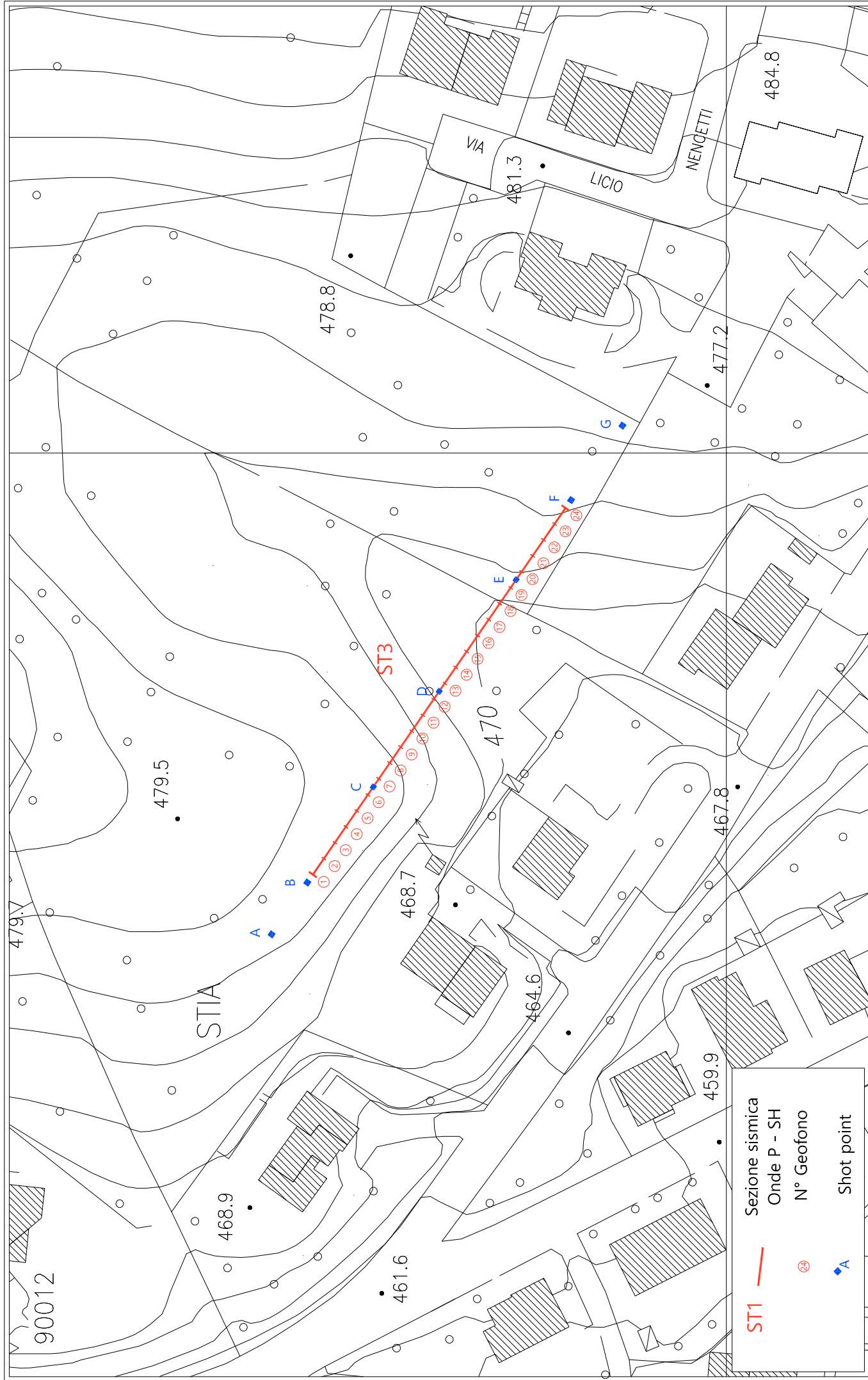
Sezione sismica rappresentata  
Onde P - SH

Scala 1: 10000

Luglio 2015

Tavola 01 - Planimetria generale - ST3\_MS

TRI+GEO



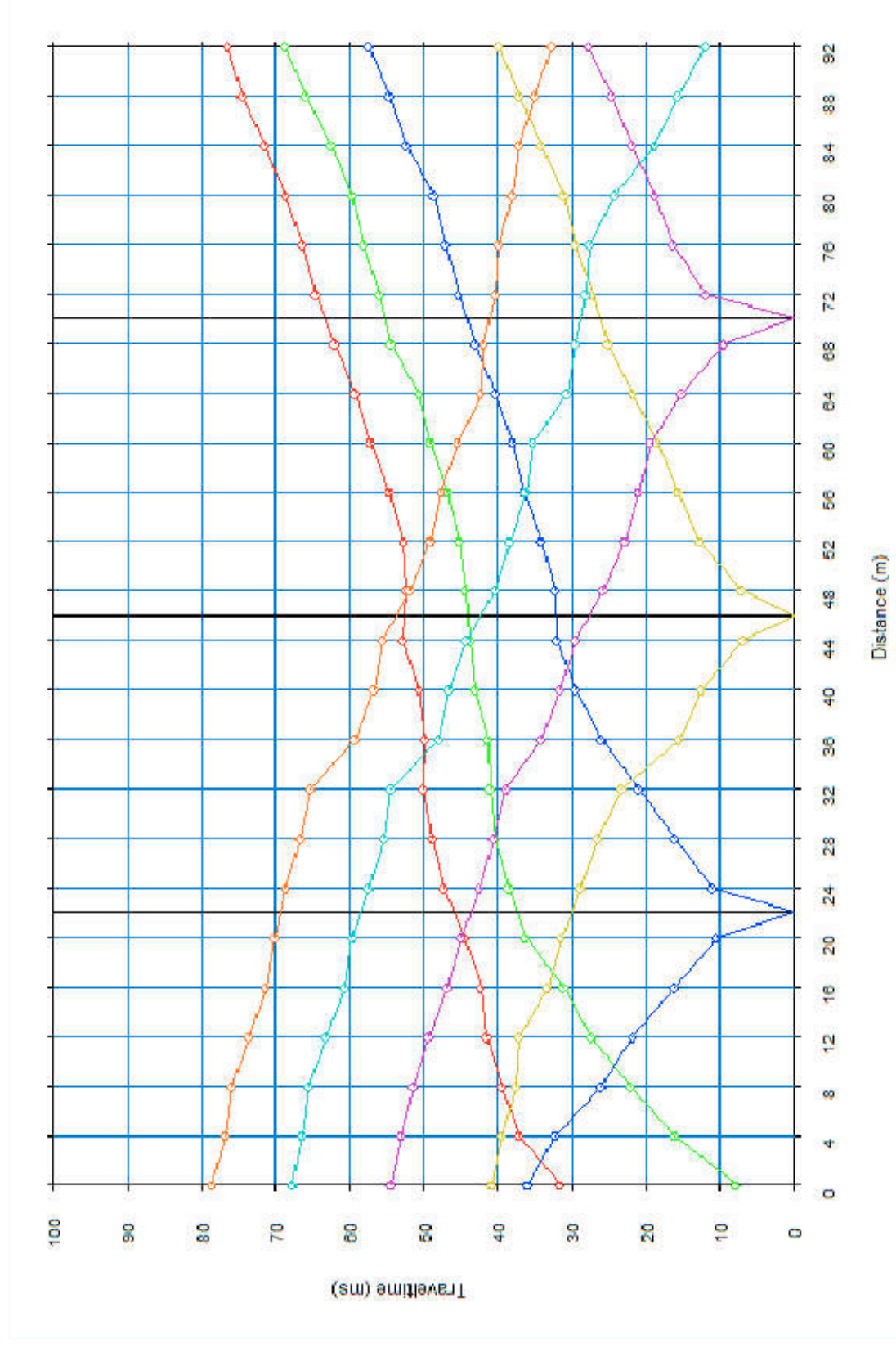
**ST1** — Sezione sismica  
— Onde P - SH  
⊗ N° Geofono  
◆ Shot point

## TEMPI ONDE P – ST3\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	31.56	7.84	35.92	40.90	54.39	67.68	78.52
2	4	37.08	16.15	32.17	39.38	52.99	66.35	76.78
3	8	39.47	22.15	26.11	37.62	51.38	65.50	75.76
4	12	41.58	27.40	21.81	37.08	49.38	63.13	73.61
5	16	42.33	31.01	16.15	33.26	46.83	60.63	71.36
6	20	44.50	36.26	10.50	31.42	44.88	59.63	70.04
7	24	47.24	38.58	11.04	28.76	42.53	57.39	68.60
8	28	48.75	40.38	16.15	26.51	40.59	55.35	66.66
9	32	50.03	41.13	20.99	23.31	38.85	54.39	65.23
10	36	49.89	41.37	26.11	15.54	34.05	48.00	59.20
11	40	50.64	43.00	29.51	12.54	31.50	46.63	56.74
12	44	52.75	43.83	31.97	6.88	29.55	44.27	55.62
13	48	52.35	44.38	32.31	7.09	25.87	40.38	51.94
14	52	52.69	45.13	34.01	12.76	22.88	38.34	49.00
15	56	54.63	46.83	36.47	15.75	21.06	36.25	47.64
16	60	57.19	49.00	37.97	18.54	19.43	35.25	45.40
17	64	59.25	50.63	40.28	21.81	15.13	30.67	42.25
18	68	62.09	54.38	43.08	25.02	9.51	29.55	41.88
19	72	64.63	56.00	45.33	27.26	12.06	28.12	40.28
20	76	66.46	58.01	47.00	29.50	16.26	27.61	39.98
21	80	68.63	59.64	48.74	31.22	18.81	24.23	38.03
22	84	71.50	62.50	52.35	34.01	21.88	18.81	37.22
23	88	74.57	65.91	54.60	37.00	24.74	15.75	35.00
24	92	76.48	68.75	57.39	39.87	27.81	12.06	32.72

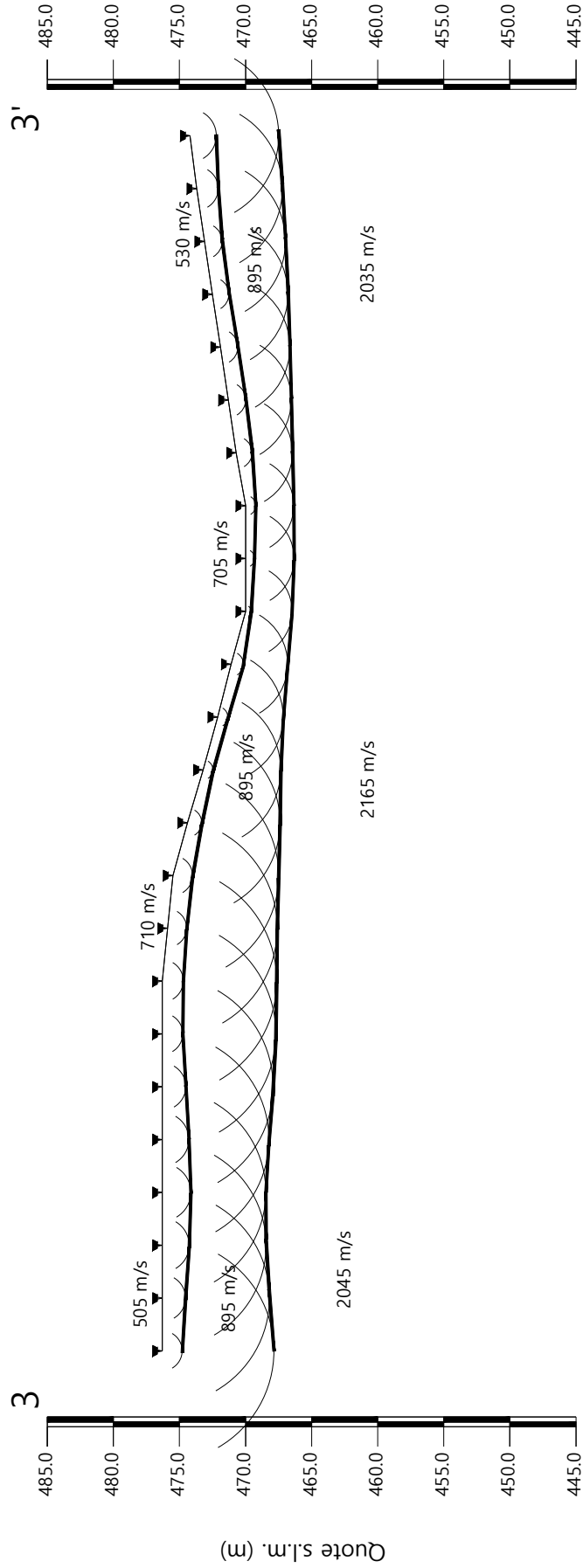


# Dromocrone

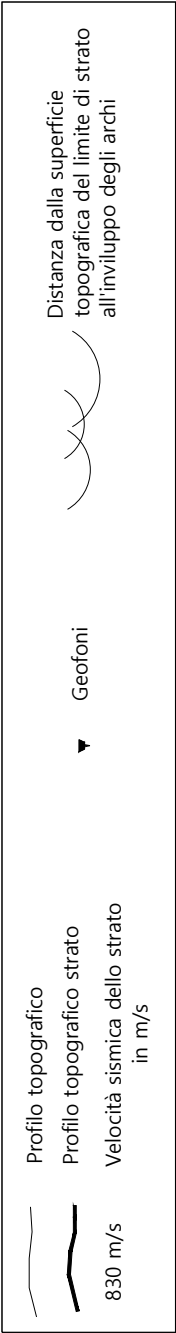




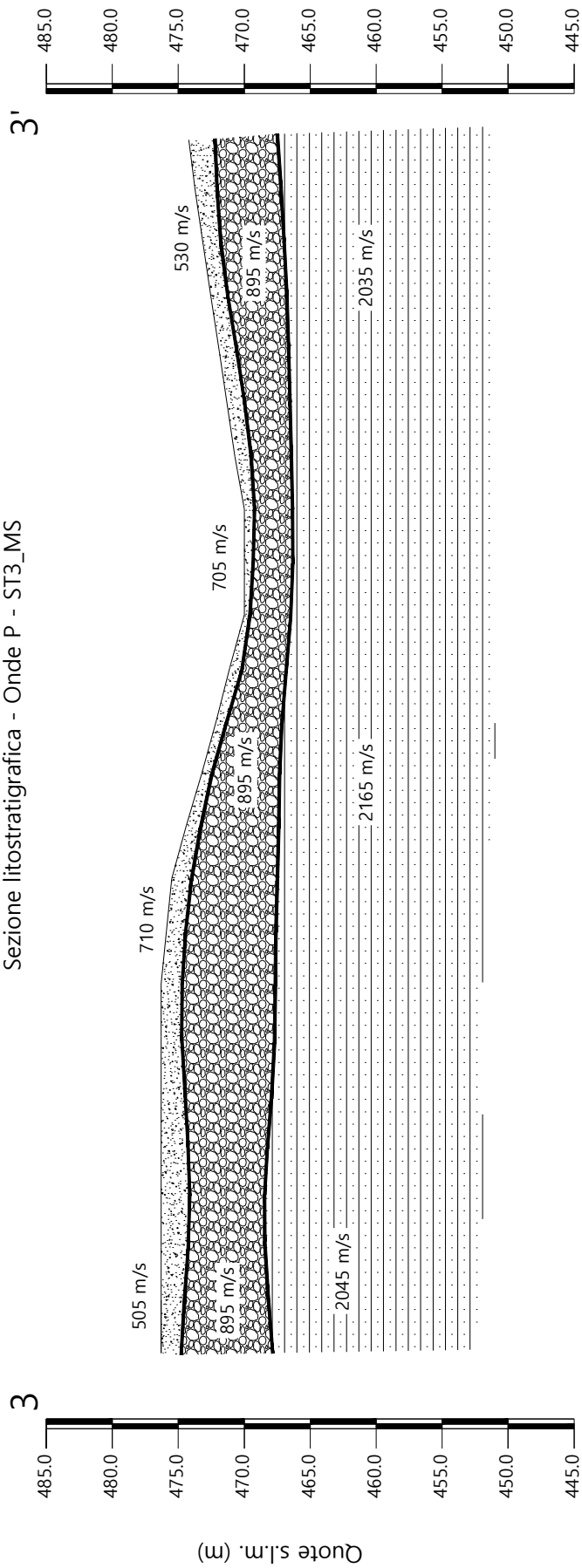
Sezione sismostratigrafica - Onde P - ST3\_MS



Profondità da p.c. strato 2 (m)	8.46	8.11	7.87	7.85	8.07	8.39	8.61	8.66	8.30	8.01	7.02	5.88	4.96	4.29	3.52	3.68	3.66	4.27	4.77	5.27	5.73	6.13	6.49	6.72
Profondità da p.c. strato 1 (m)	1.52	1.76	2.05	2.17	2.03	1.79	1.56	1.60	1.46	1.50	1.10	0.75	0.78	0.94	0.44	0.68	0.78	1.22	1.33	1.32	1.27	1.34	1.65	1.99
Quote s.l.m. (m)	476.30	476.30	476.30	476.30	476.30	476.30	476.30	476.30	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	470.00	470.00	470.70	471.30	471.90	472.50	473.10	473.70	474.20
Distanze (m)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
Numero geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24



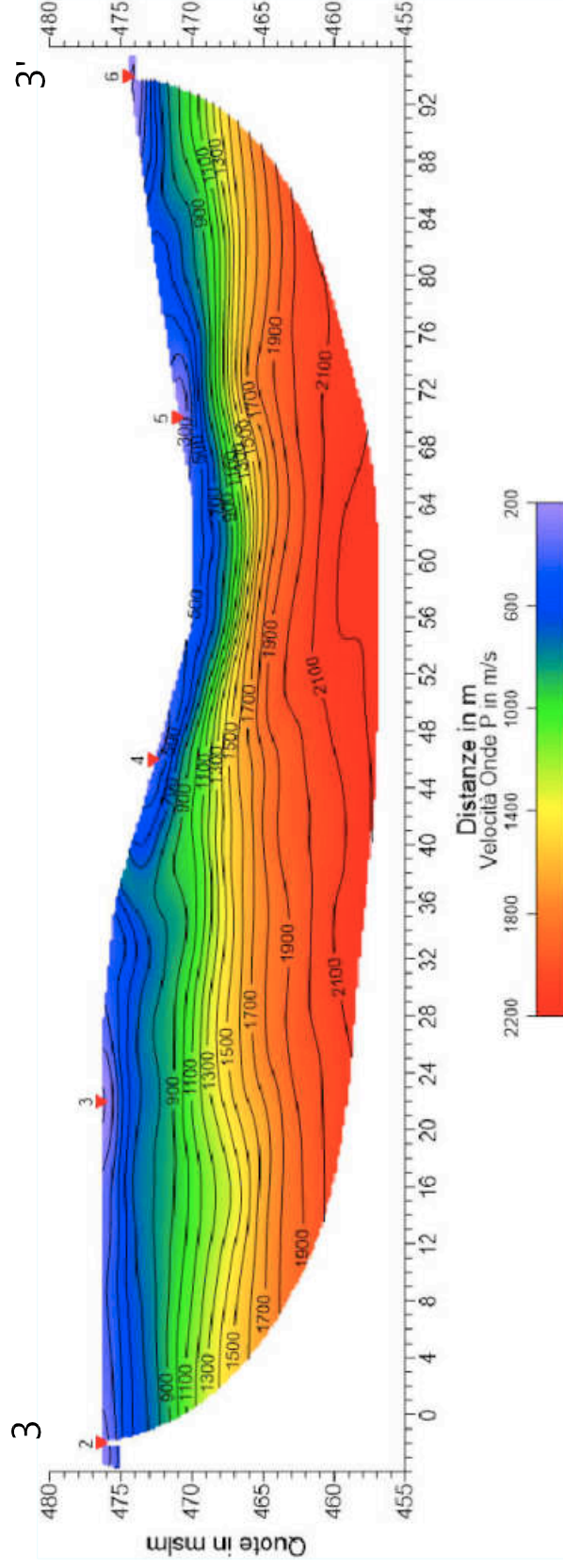
Sezione litostratigrafica - Onde P - ST3\_MS



Legenda

- Terreno vegetale
- Detrito di versante
- Arenarie del Monte Falterona  
membro di Montalto (FAL3)

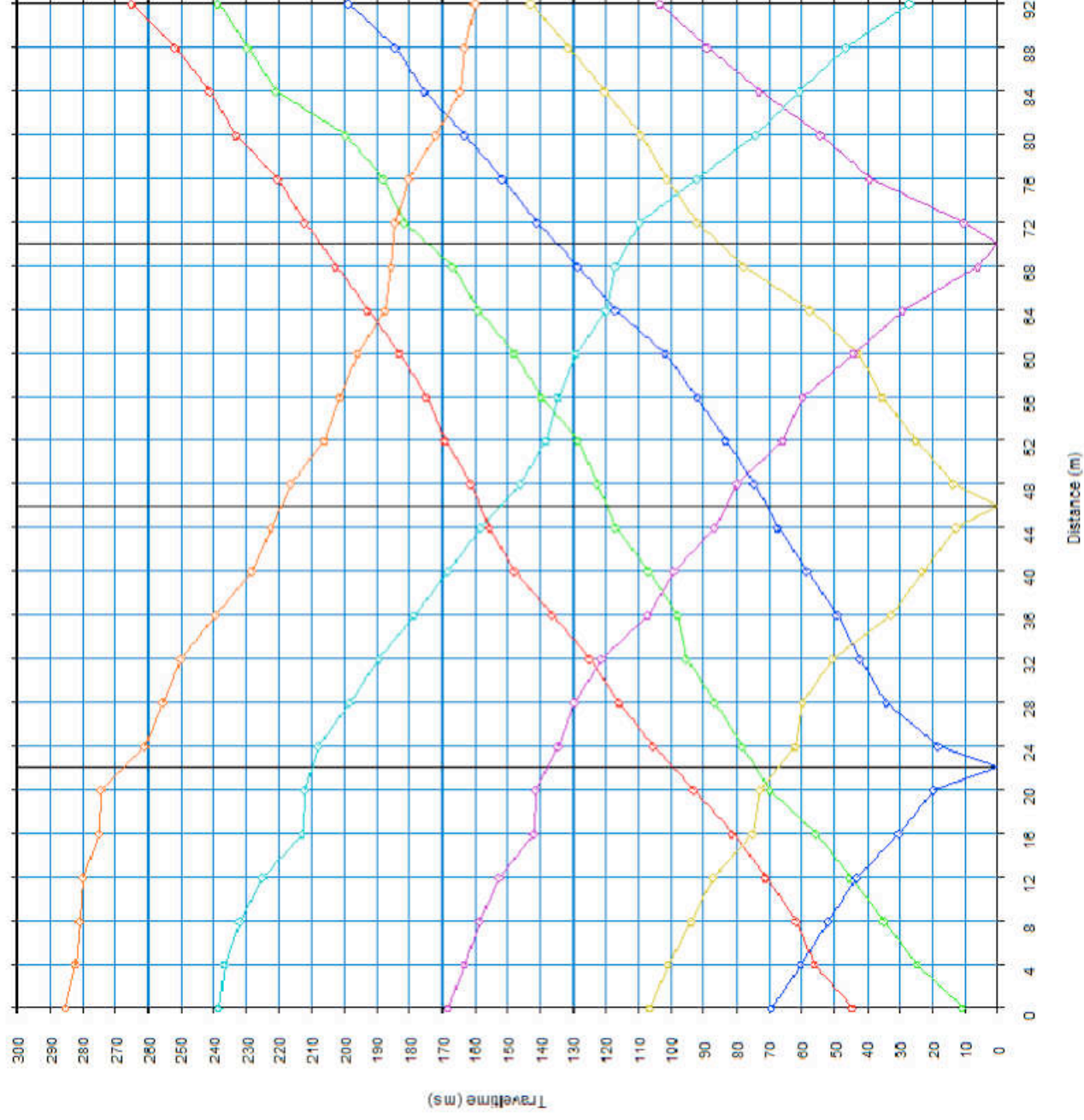
# Sezione tomografica - Onde P - ST3\_MS



## TEMPI ONDE SH – ST3\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	44.50	10.89	69.32	106.28	168.24	238.33	285.25
2	4	56.28	24.84	60.42	100.76	163.25	236.48	282.26
3	8	61.65	34.97	51.99	93.75	158.38	231.88	280.88
4	12	71.00	45.24	43.09	86.88	152.44	224.98	279.73
5	16	81.28	55.82	30.37	74.88	141.86	212.79	274.88
6	20	93.09	69.78	19.78	72.50	141.40	212.10	274.44
7	24	105.36	78.21	18.40	61.88	134.65	207.73	261.10
8	28	115.94	86.80	34.20	59.66	129.59	198.30	255.35
9	32	124.99	95.24	42.17	50.38	121.16	189.33	249.83
10	36	136.34	97.85	49.08	32.82	107.05	178.51	239.48
11	40	147.84	106.74	58.63	23.16	99.07	168.39	228.20
12	44	155.51	116.86	67.38	12.88	86.80	158.04	222.45
13	48	161.34	122.63	74.50	13.80	79.60	146.08	216.01
14	52	169.01	128.36	83.43	25.30	65.95	138.49	205.89
15	56	174.99	139.50	91.86	35.43	59.66	134.58	201.29
16	60	182.96	148.00	101.99	42.63	44.32	128.88	195.77
17	64	192.85	158.88	116.86	57.51	29.14	119.85	187.49
18	68	202.59	166.86	128.50	77.91	6.13	116.86	185.63
19	72	212.25	181.73	141.09	92.32	10.62	109.73	184.27
20	76	220.38	188.18	151.63	101.22	39.26	92.02	180.13
21	80	233.11	199.52	163.02	109.19	54.38	74.25	172.13
22	84	241.09	220.84	175.45	120.24	72.88	60.73	164.48
23	88	251.67	229.74	184.27	131.28	88.75	46.25	163.00
24	92	264.86	238.63	198.76	142.86	103.38	27.15	160.11

# Dromocrone



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

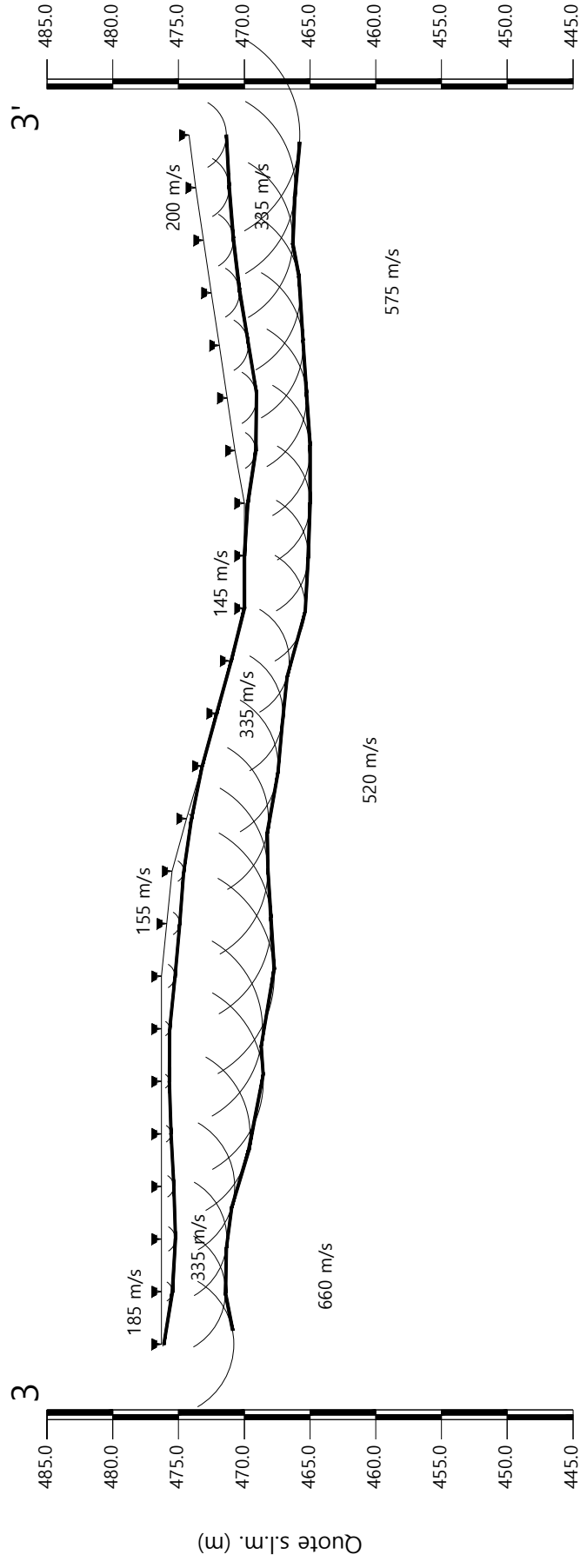
Settembre 2015

Tavola 07 - Dromocrone - Onde SH - ST3\_MS

TRI+GEO



## Sezione sismostratigrafica - Onde SH - ST3\_MS



Profondità da p.c. strato 2 (m)	5.52	0.19	476.30	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	32	36	40	44	473.20	472.10	471.10	470.00	60	64	68	72	76	80	84	88	92	24	Numero geofono	
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.99	1.07	476.30	8	12	16	20	24	28	32	36	40	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	22		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	1.03	476.30	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	22		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	1.03	476.30	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23	
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24	28	0.99	475.90	475.50	474.40	473.20	472.10	471.10	470.00	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92	23		
Profondità da p.c. strato 1 (m)	4.87	0.83	476.30	4	2	3	8	12	16	20	24																						

## Profilo topografico

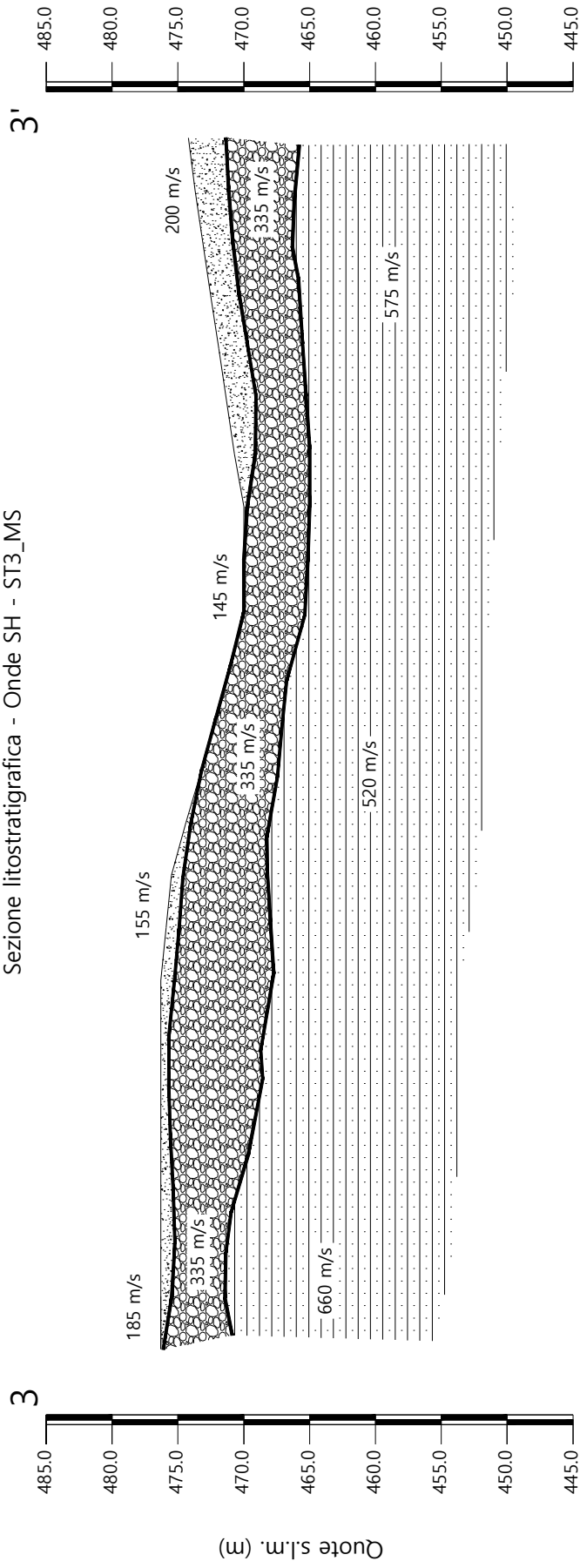
### Profilo topografico strato

Velocità sismica dello strato  
in m/s

Confidential

Distanza dalla superficie topografica del limite di strato all'inviluppo degli archi

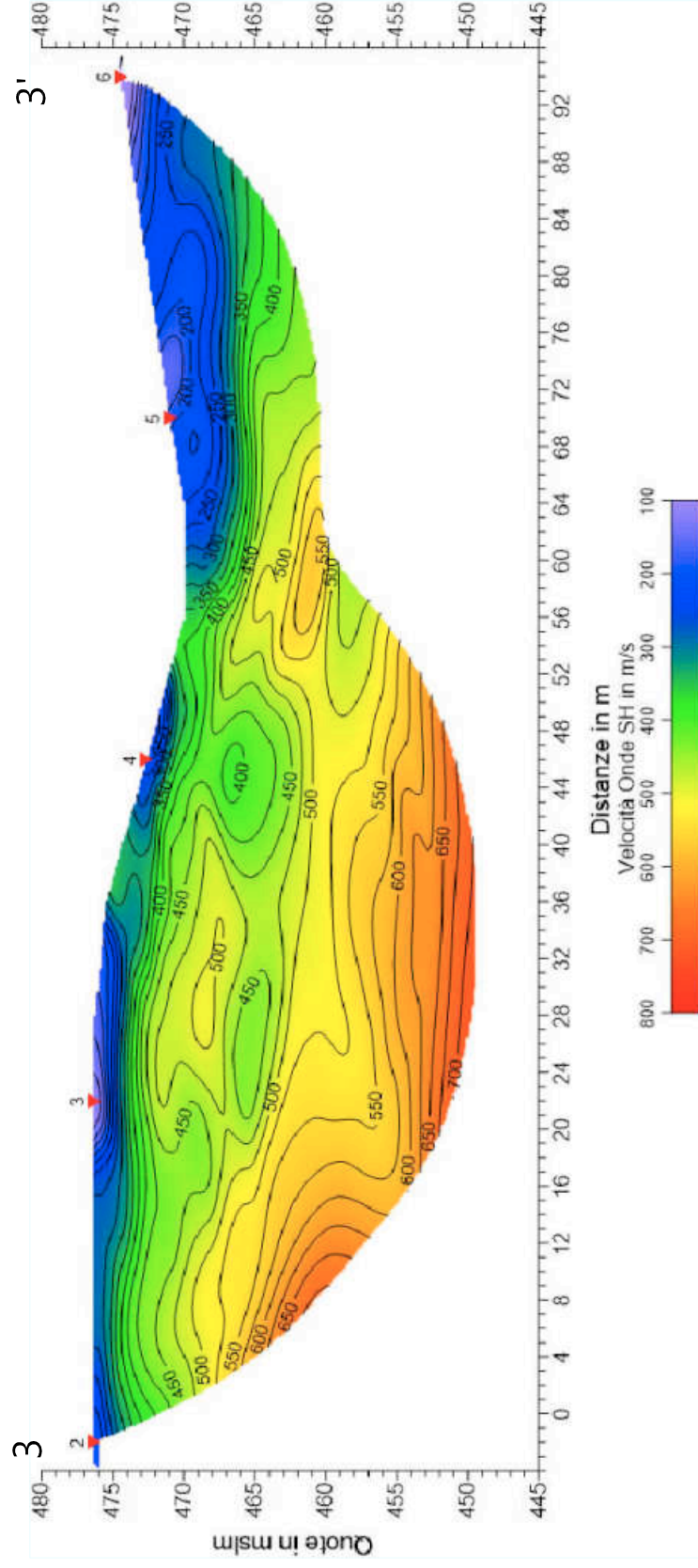
Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST3\_MS



Legenda

- Terreno vegetale
- Detrito di versante
- Arenarie del Monte Falterona  
membro di Montalto (FAL3)

# Sezione tomografica - Onde SH - ST3\_MS



## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST3\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>3</sub> LIVELLO 3 (m/s)
1	0	505	895	1651
2	4	534	895	1775
3	8	564	895	1991
4	12	593	895	2127
5	16	622	895	2231
6	20	651	895	2235
7	24	681	895	2205
8	28	710	895	2143
9	32	709	895	2056
10	36	709	895	2077
11	40	708	895	2223
12	44	707	895	2373
13	48	706	895	2393
14	52	706	895	2237
15	56	705	895	2045
16	60	705	895	1899
17	64	683	895	1991
18	68	661	895	2215
19	72	639	895	2342
20	76	617	895	2266
21	80	596	895	2086
22	84	574	895	1904
23	88	552	895	1770
24	92	530	895	1708

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST3\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>3</sub> LIVELLO 3 (m/s)
1	0	185	335	987
2	4	181	335	910
3	8	176	335	789
4	12	172	335	662
5	16	168	335	534
6	20	164	335	472
7	24	159	335	455
8	28	155	335	451
9	32	154	335	436
10	36	152	335	439
11	40	151	335	469
12	44	149	335	522
13	48	148	335	558
14	52	146	335	573
15	56	145	335	577
16	60	145	335	584
17	64	152	335	628
18	68	159	335	639
19	72	166	335	607
20	76	173	335	550
21	80	179	335	518
22	84	186	335	525
23	88	193	335	547
24	92	200	335	568

### PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST3\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 2 (m)
1	0	1.52	8.46
2	4	1.76	8.11
3	8	2.05	7.87
4	12	2.17	7.85
5	16	2.03	8.07
6	20	1.79	8.39
7	24	1.56	8.61
8	28	1.60	8.66
9	32	1.46	8.3
10	36	1.50	8.01
11	40	1.10	7.02
12	44	0.75	5.88
13	48	0.78	4.96
14	52	0.94	4.29
15	56	0.44	3.52
16	60	0.68	3.68
17	64	0.78	3.66
18	68	1.22	4.27
19	72	1.33	4.77
20	76	1.32	5.27
21	80	1.27	5.73
22	84	1.34	6.13
23	88	1.65	6.49
24	92	1.99	6.72

### PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST3\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 2 (m)
1	0	0.19	5.52
2	4	0.83	4.87
3	8	1.07	4.99
4	12	0.94	5.58
5	16	0.73	6.75
6	20	0.60	7.75
7	24	0.63	7.70
8	28	1.03	8.59
9	32	0.99	7.94
10	36	0.89	7.30
11	40	0.39	6.24
12	44	0.01	5.78
13	48	0.01	5.05
14	52	0.11	4.52
15	56	0.01	4.64
16	60	0.01	4.86
17	64	0.27	5.01
18	68	1.58	5.72
19	72	2.26	6.04
20	76	2.21	6.38
21	80	2.14	6.78
22	84	2.27	6.80
23	88	2.55	7.57
24	92	2.84	8.44





Vista generale ST3\_MS da G6 verso G1.



Vista generale ST3\_MS da G6 verso G24.



Vista generale ST3\_MS da G12 verso G24.



Shot point A – Onde SH – ST3\_MS





Shot point B – Onde SH – ST3\_MS.



Shot point C – Onde SH – ST3\_MS.



Shot point D –Onde SH – ST3\_MS.



Shot point C –Onde P – ST3\_MS.





Shot point D –Onde P – ST3\_MS.

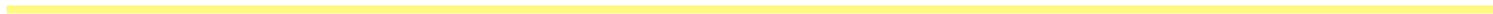




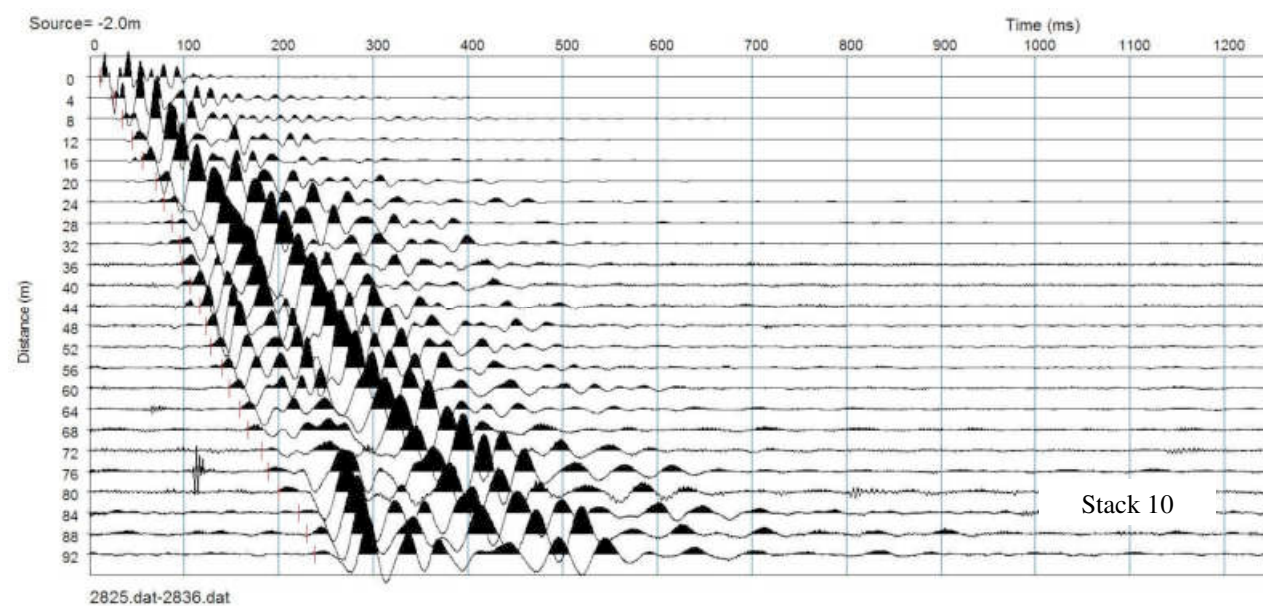
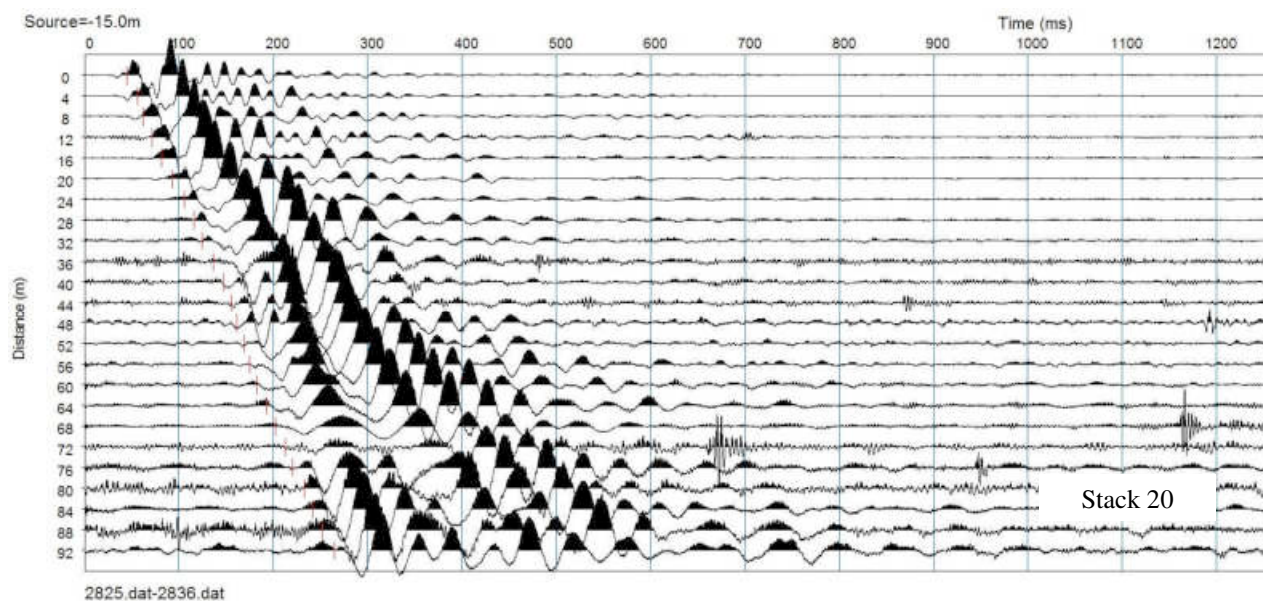
## **REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA – ST3\_MS**

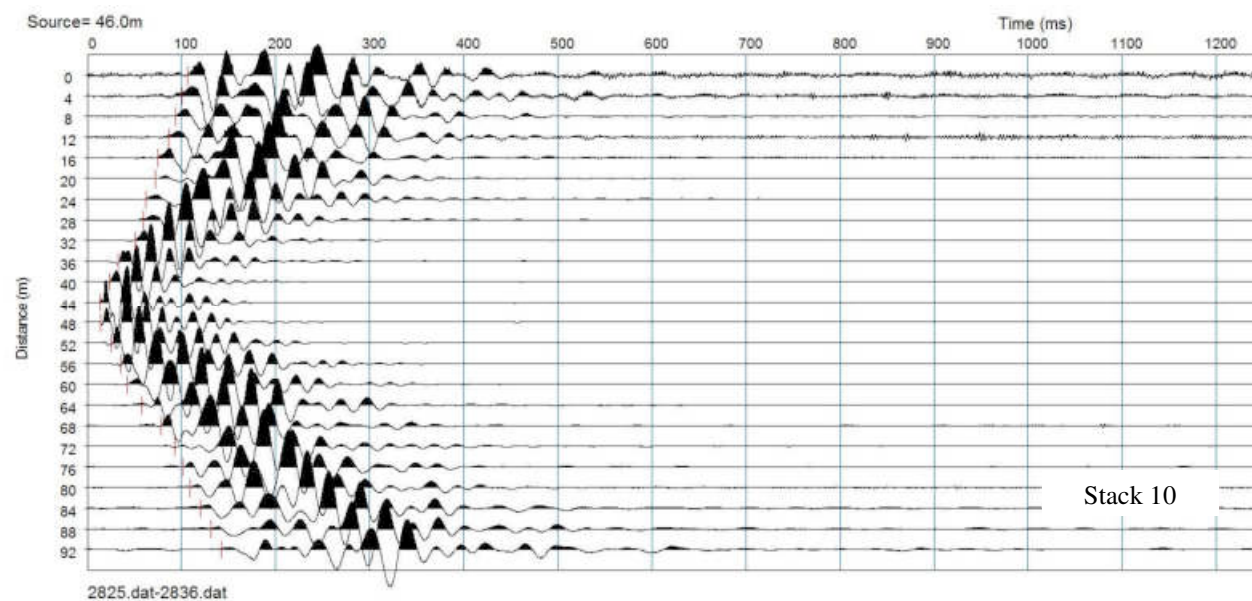
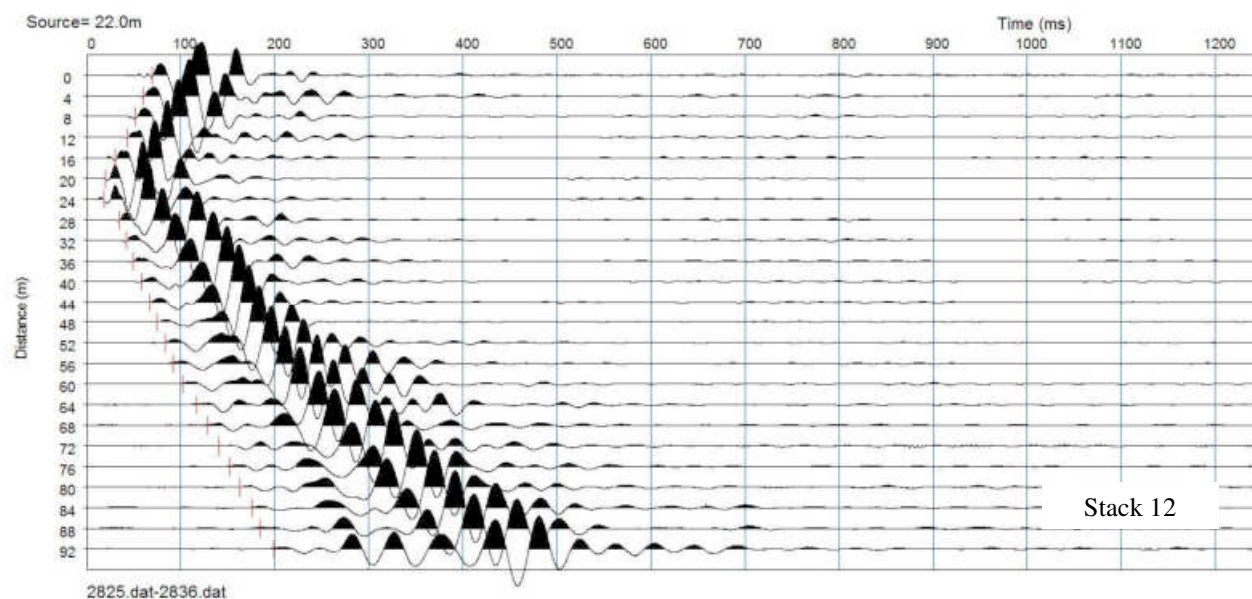
**file 2825 - 2836 Onde SH**

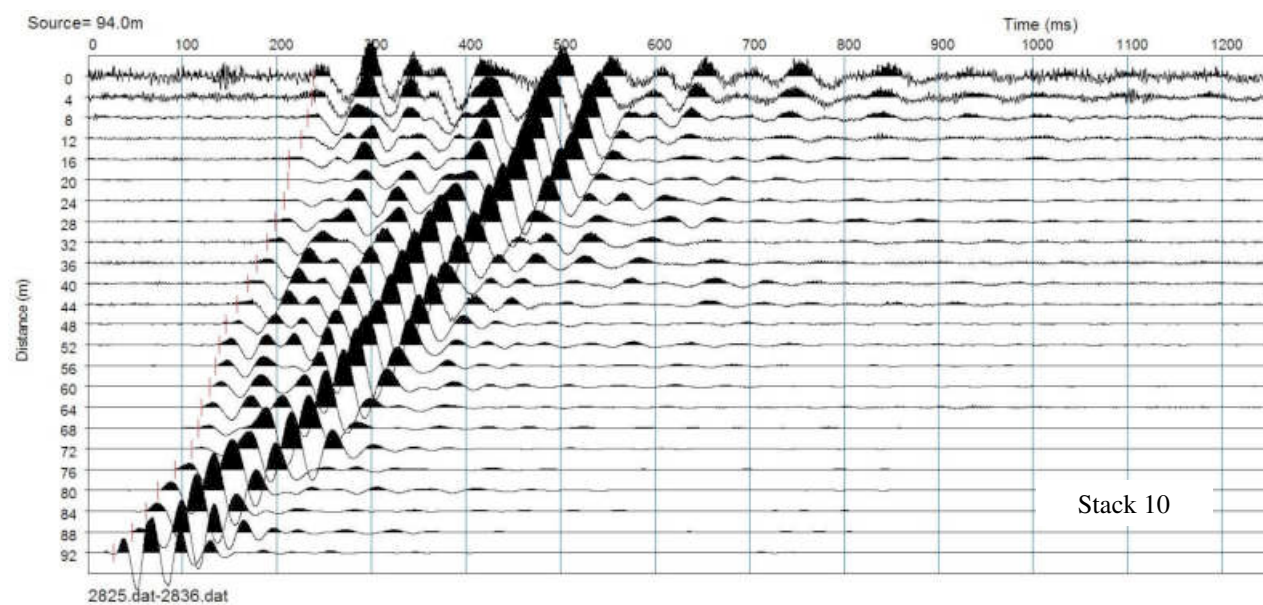
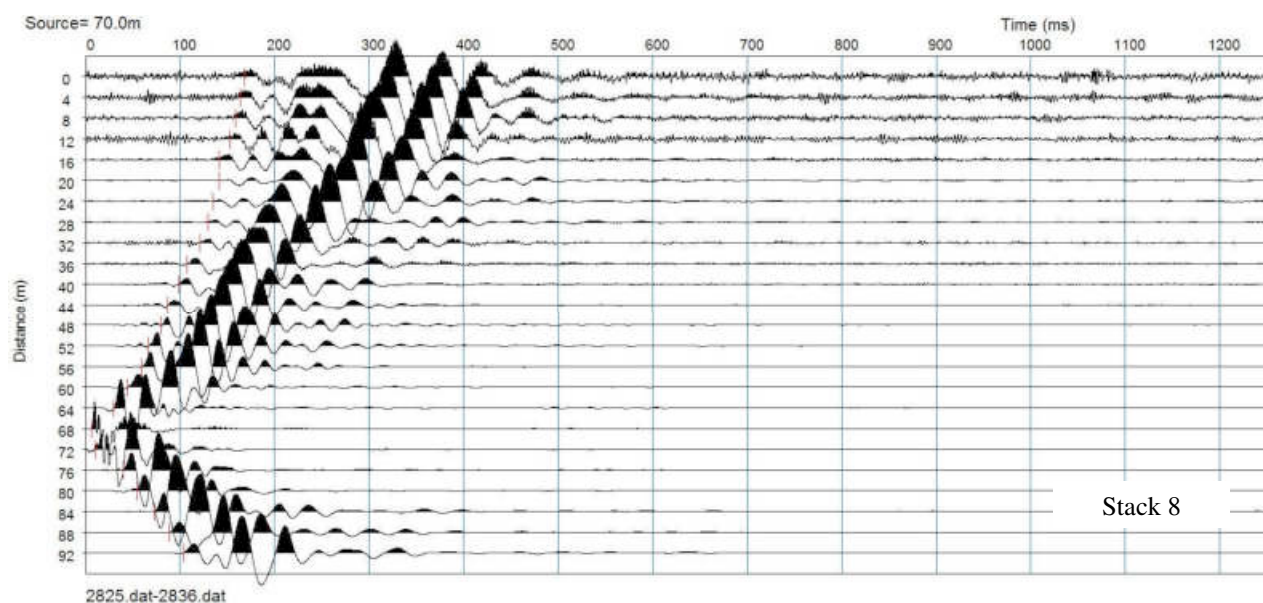
**file 2839 - 2845 Onde P**



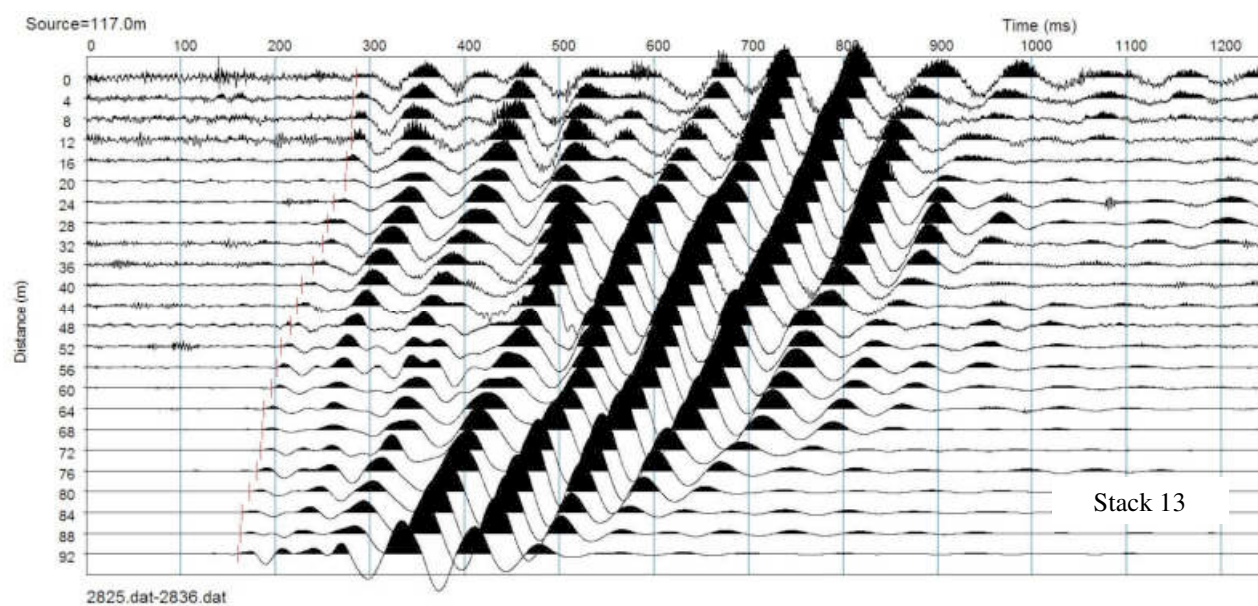
# ONDE SH $\Sigma$





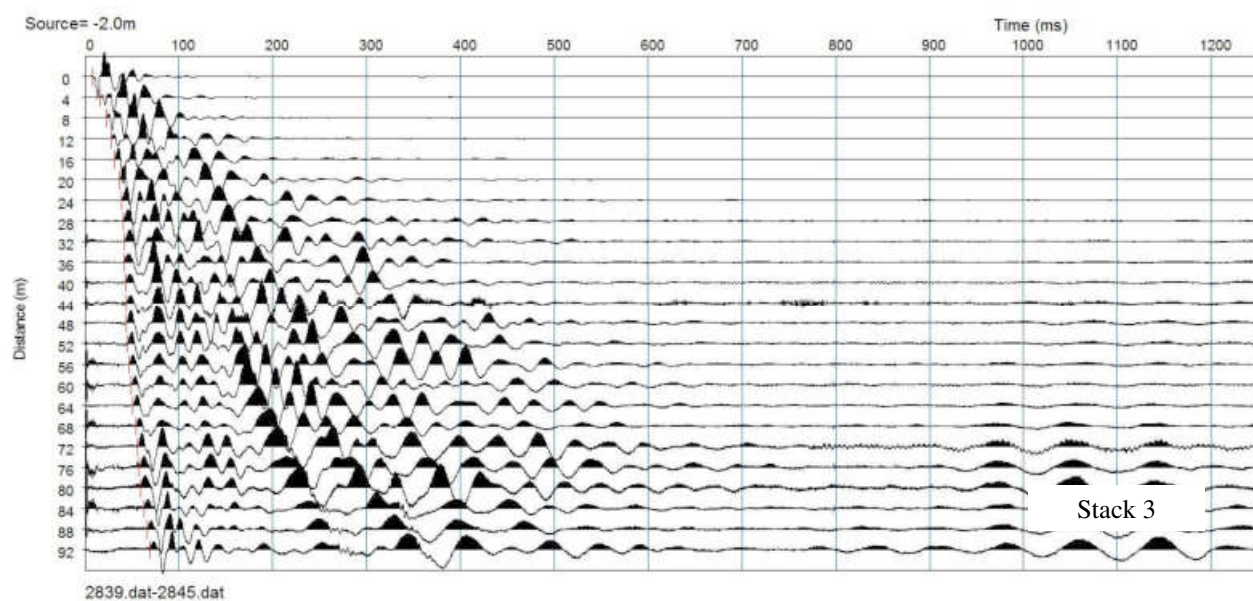
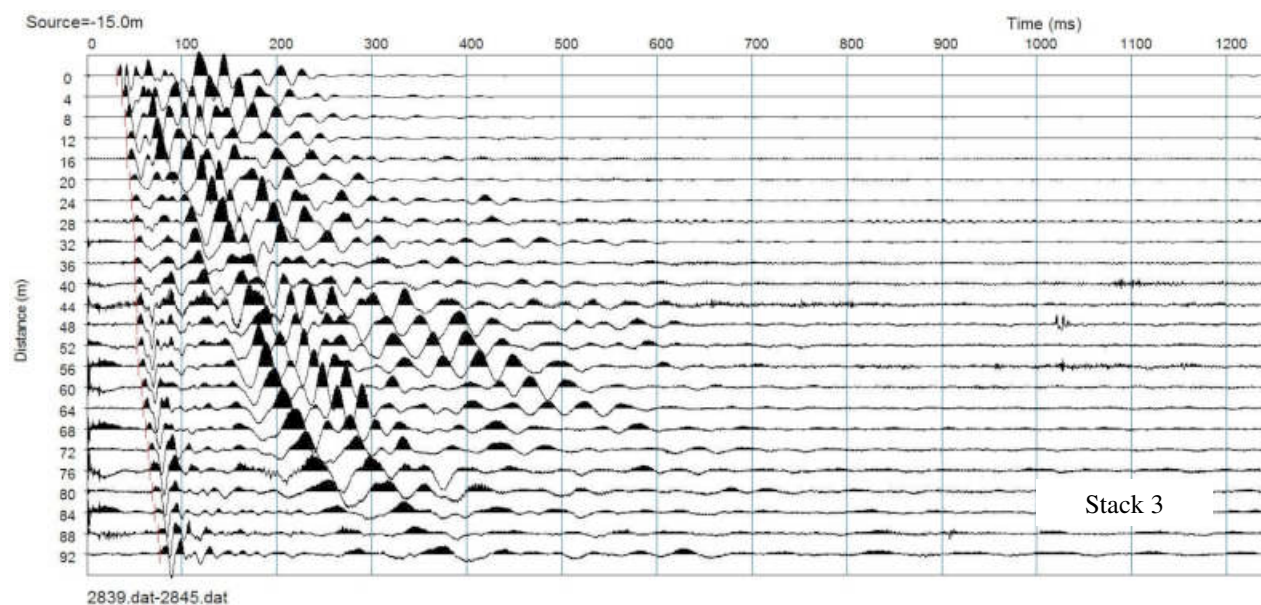


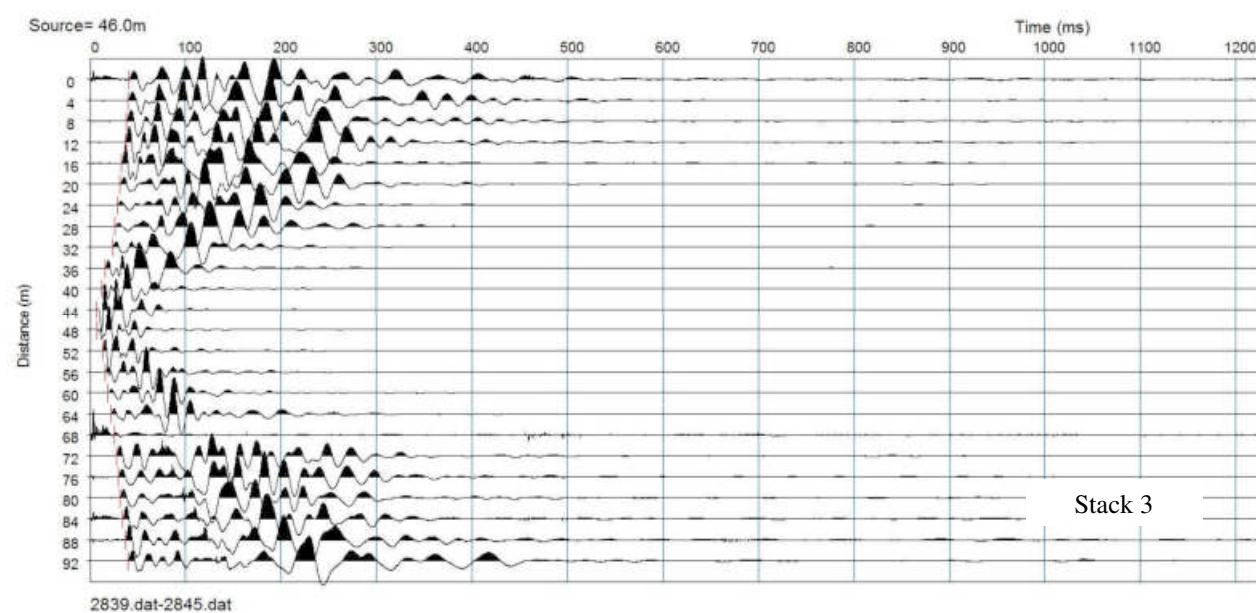
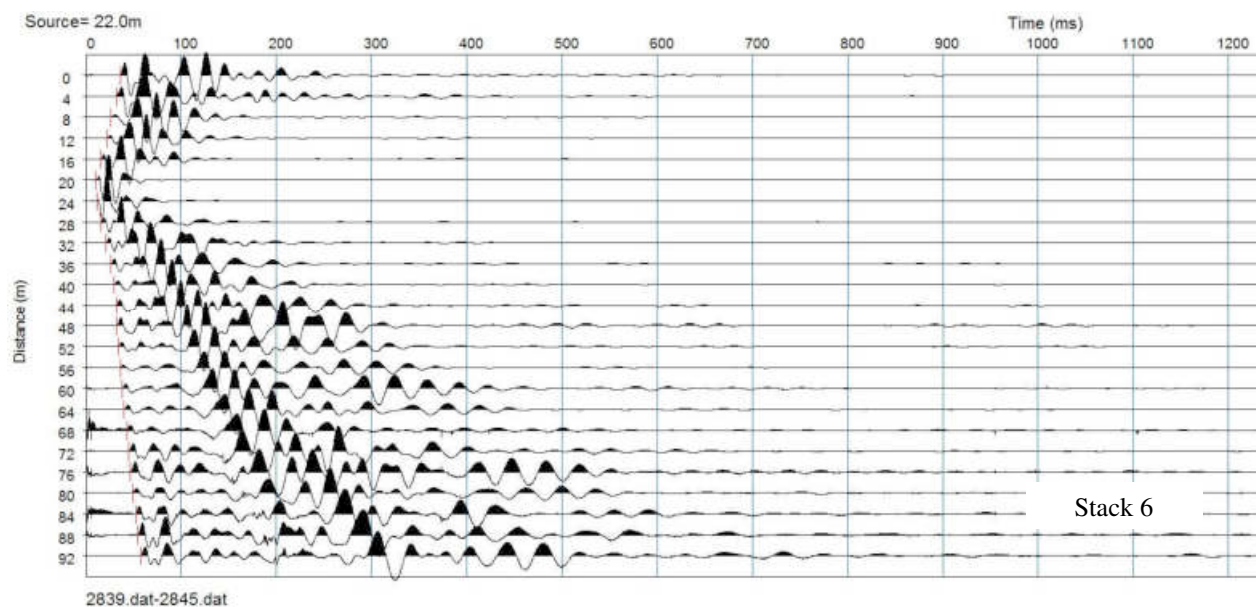


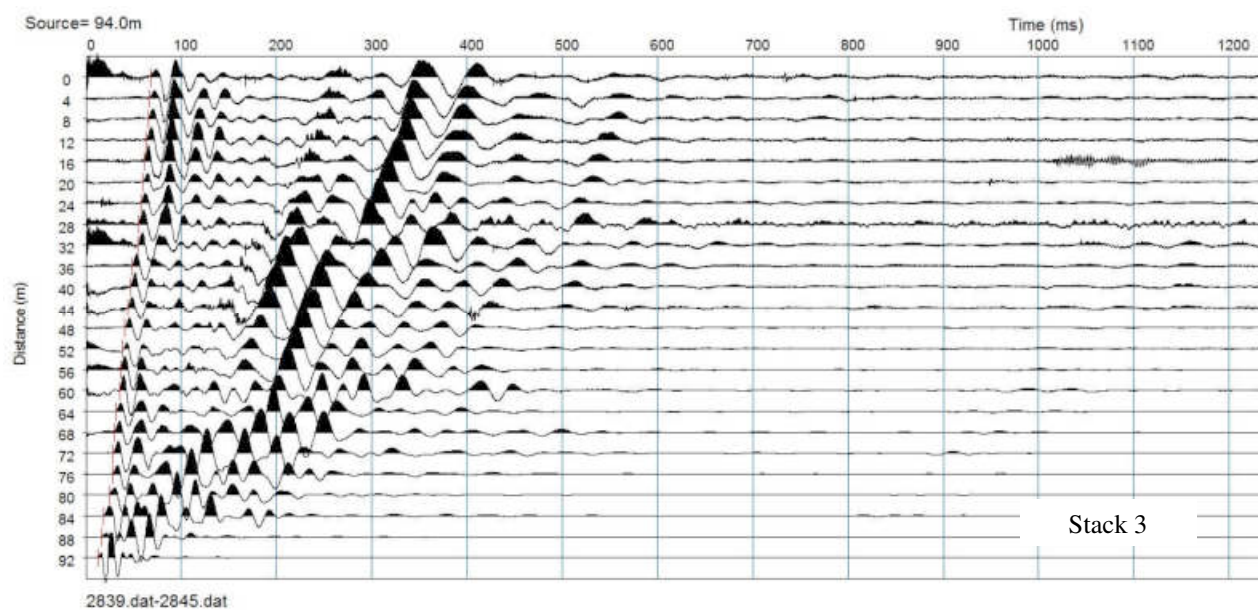
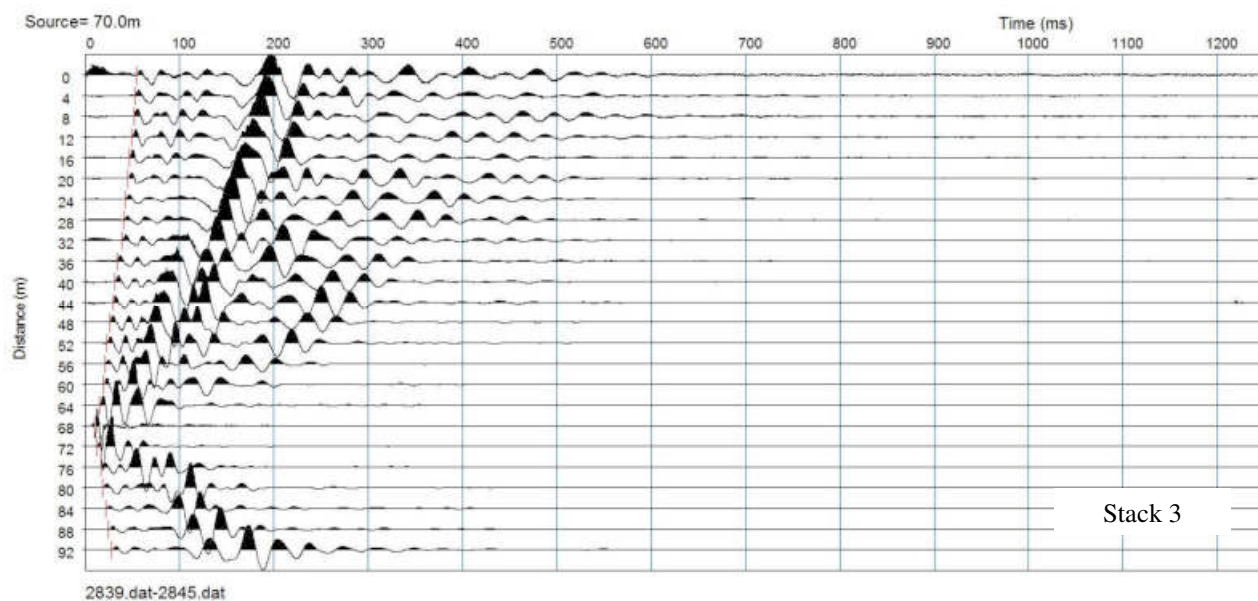




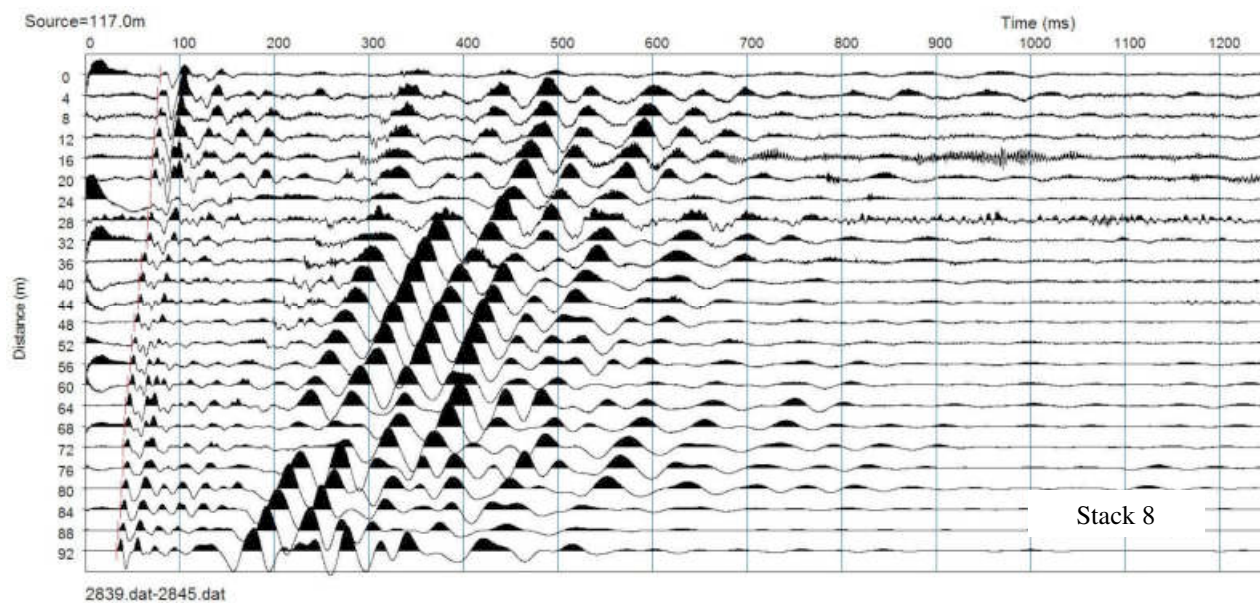
# ONDE P











### TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini  
Via Mazzini, 18  
52011 Soci (AR)  
P.IVA 02024110518  
info@trigeo.it

### FIRENZE

Via Nino Bixio, 9  
50131 Firenze  
firenze@trigeo.it  
T/F 055 400619  
M 328 7213928

### AREZZO

Via Trasimeno, 7  
52100 Arezzo  
arezzo@trigeo.it  
T/F 0575 294500  
M 339 2288117

## RELAZIONE TECNICA

### STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

“INDAGINE GEOFISICA DI  
SUPERFICIE MEDIANTE SISMICA A  
RIFRAZIONE E TOMOGRAFIA  
SISMICA (ONDE P ED SH) LINEA  
SISMICA ST4 - STIA”

## COMMITTENTE : COMUNE DI PRATOVECCHIO-STIA

24 – SETTEMBRE - 2015



CERTIFICATO  
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE  
NON DISTRUTTIVE E  
SEMIDISTRUTTIVE  
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.  
di Nencetti Andrea & Burchini Benedetto  
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)  
P.IVA 02024110518  
Tel/Fax 0575 294500 - 055 9902212  
Cell. 339 2288117 - 328 7213928  
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

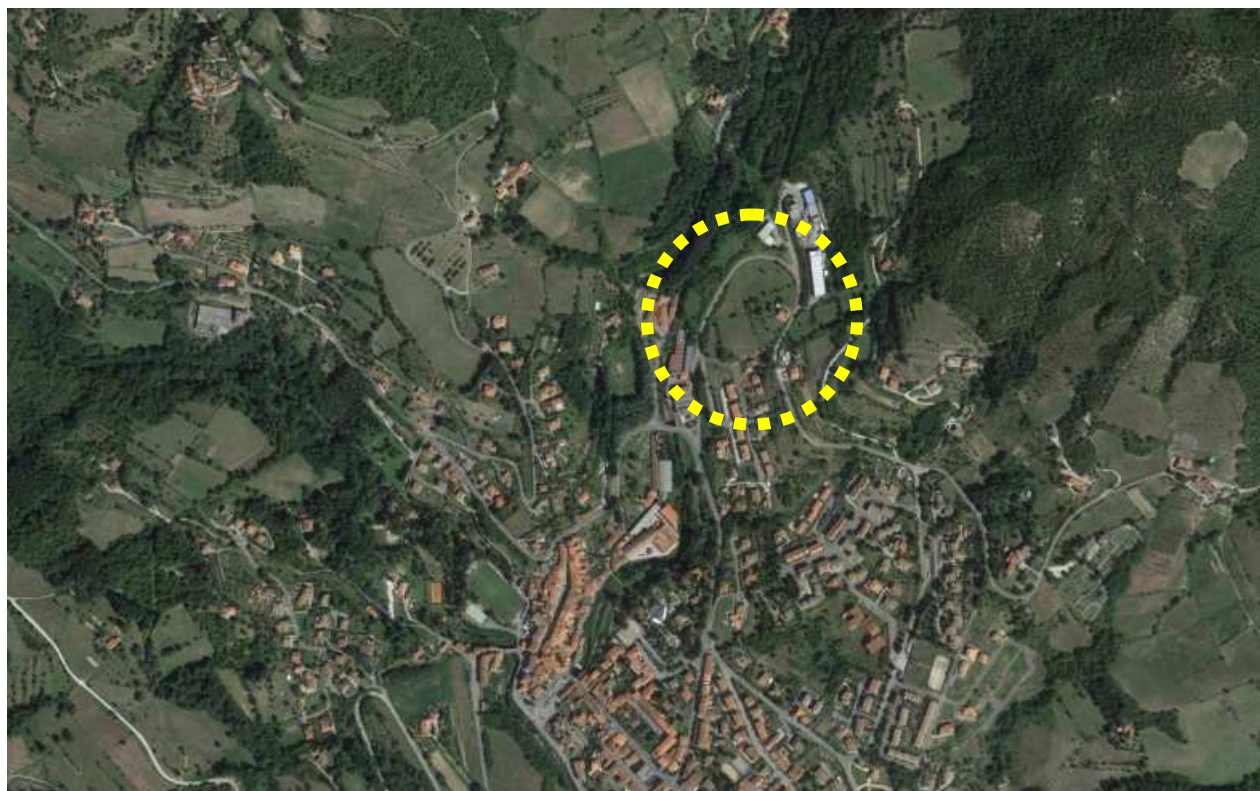


**INDICE**

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.0 SCHEMA OPERATIVO</b>	<b>5</b>
<b>2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA</b>	<b>5</b>
<b>3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI</b>	<b>7</b>
<b>4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA</b>	<b>8</b>
<b>5.0 CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>9</b>
<b>ALLEGATI</b>	<b>11</b>

## INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Settembre 2015, mediante sismica a rifrazione onde P ed onde SH (acquisizione ed elaborazione dati con metodologia tomografica), per conto del **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)**.



**Figura 1:** Area d'intervento: Linea ST4 Stia – Prato Vecchio-Stia (AR).

L'indagine sismica, viene eseguita nei pressi dell'abitato di **STIA - PRATOVECCHIO STIA (AR)**. Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una prospezione geofisica mediante sismica a rifrazione tesa a fornire, lungo la sezione, convenuta con la committenza, una caratterizzazione delle litologie presenti nell'area d'indagine nonché determinare le geometrie (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo dei terreni in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P e di taglio SH. I dati ottenuti sono stati elaborati sia con la metodologia classica della rifrazione (GRM) che con la metodologia tomografica che permette di ottenere, attraverso un maggior numero di "energizzazioni" (7 per ciascun stendimento) ed un opportuno software di elaborazione, un'ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura.

L'acquisizione delle onde SH combinate alle onde di compressione consente di ottenere i principali parametri elastico/dinamici e di fornire i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), così come richiesto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

La relazione tecnica riferisce sui risultati ottenuti dall'indagine sismica a rifrazione mediante Onde P e SH ed è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale del profilo sismico **ST4** eseguito, scala 1:10.000 (da CTR 1:10.000);
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **ST4** eseguito, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate;
- Schema dettagliato della linea sismica con posizionamento relativo dei geofoni (quote-distanze), coordinate in Gauss-Boaga dei geofoni iniziale e finale e punti di energizzazioni (quote-distanze);
- **Tabelle Tempi di arrivo Onde P e SH** relativi ai vari scoppi, con riportati posizione, tempo di arrivo e quota di ciascun geofono;
- **Tavole 03-07:** Diagrammi Tempi d'arrivo-Distanze (Dromocrone) Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 04-08:** Grafici delle profondità dei rifrattori individuati (sezione sismostratigrafica) e tabelle Distanze-Profondità Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 05-09:** Sezioni litostratigrafiche interpretative onde P-SH, scala 1:500;
- Tabelle Profondità calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- Tabelle Velocità sismiche calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- **Tavole 06-10:** Sezioni tomografiche onde P-SH, scala 1:500;
- Documentazione fotografica della linea sismica;
- Stampe delle registrazioni di campagna.

Di seguito viene descritto, lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

## 1.0 SCHEMA OPERATIVO

Nella **Tavola 01**, è stato riportato un inquadramento corografico generale in scala 1:10.000 con inserita la sezione sismica eseguita. Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, con inserita la sezione sismica eseguita, la posizione di ogni singolo geofono e l'ubicazione di ogni punto di energizzazione (shot point).

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di 5 m per la sezione eseguita sia con onde P che con onde SH. Complessivamente sono stati acquisiti **230 ml** di rilievo suddivisi in 2 basi di **115 ml** (Onde P-SH).

## 2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

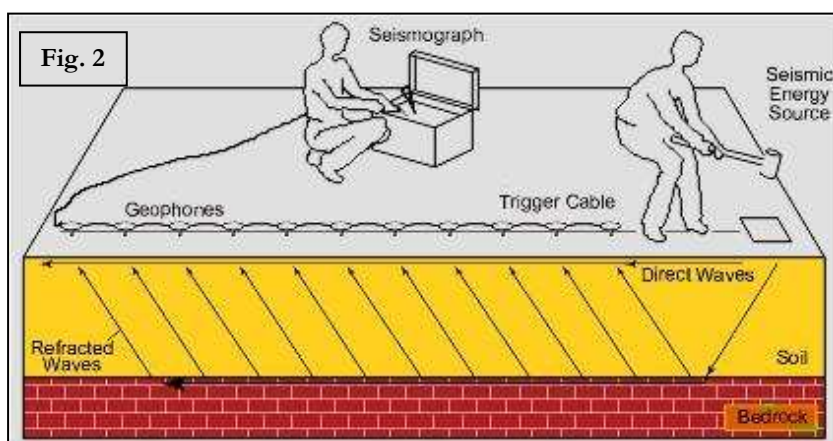
Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del

sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri

ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 2**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.

Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: **A/D Conversion:** 24 bit; **Dynamic Range:** 144 dB; **Distortion:** 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; **Bandwidth:** 1.75 Hz to 20 kHz; **Common Mode Rejection:** > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; **Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; **Noise Floor:** 0.2uV, RFI at 2 ms, 36



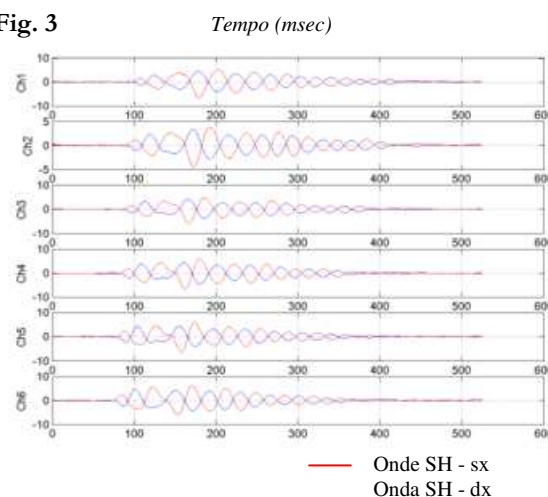
dB, 1.75 to 208 Hz; **Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval; **Maximum Input Signal:** 2.8 VPP; **Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uf; **Preamplifier Gains;** **Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency; **Sample Interval:** 0.02 to 16.0 ms; **Record Length:** 16,000 samples; **Acquisition and Display Filters:** *LowCut, Notch, HighCut*; **Data Formats:** SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali ed orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e nel caso dei geofoni orizzontali dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza generalmente una trave di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato nel nostro caso dalla stessa autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase (**Fig. 3**). Ogni energizzazione viene registrata sull'Hard Disk sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il *Generalized Reciprocal Method* (GRM) che consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati fino ad angoli superiori a 20 gradi. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti sono dei casi particolari.

Fig. 3





Oltre al GRM, in alcuni casi, è stato utilizzato, per conferma e confronto, un algoritmo di inversione che usa il *delay-time method* per ottenere un primo modello approssimato in profondità, che viene quindi affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna ed il corrispondente modello di profondità. In questo caso specifico è stato utilizzato come sistema di elaborazione principale il *delay-time method* affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed il GRM come verifica e conferma dei risultati ottenuti.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme. Infine sono stati calcolati i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), come richiesto dalla nuova "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

### 3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nelle **Tavole 03-07** sono rappresentate, le curve tempi-distanze, Dromocrone, che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna (onde P-SH). Nel diagramma tempi-distanze, in ascisse, in scala 1:500 sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento e, in ordinate, i tempi di arrivo, espressi in millisecondi agli stessi sensori.

Nelle **Tavole 04-08**, sono state riportate le sezioni sismostratigrafiche ottenute (onde P-SH), al di sotto della superficie topografica l'involuppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato.

Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'involuppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Nelle **Tavole 05-09** sono riportate le sezioni interpretate (sezioni litostratigrafiche) sulla base sia dei dati ottenuti (sezioni sismostratigrafiche), sia di considerazioni geologiche generali relative alla zona in esame che sulla base dei dati forniti dal tecnico incaricato.

Infine nelle **Tavole 06-10** abbiamo le sezioni tomografiche interpretate realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. La scala in falsi colori presente, esprime i valori di velocità all'interno della sezione.

Le sezioni litostratigrafiche interpretate assieme alle sezioni tomografiche, rappresentano il risultato conclusivo dell'analisi dei dati sintetizzati nelle tavole e tabelle allegate.

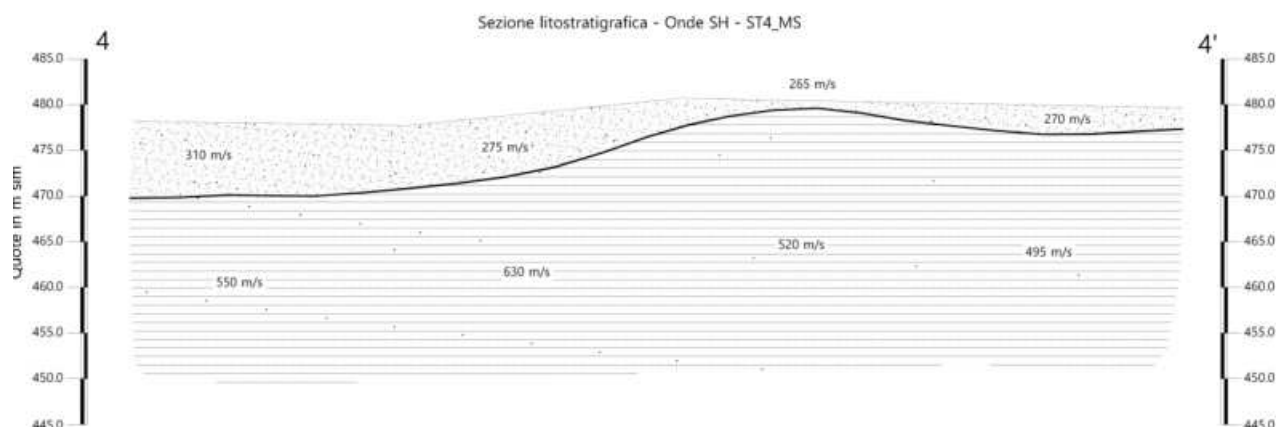
#### 4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 0.80 m e 8.50 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 3.00 m (onde P) e ca. 4.60 m (Onde SH).

Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrito, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 520 e 600 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 265-310 m/s, con il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 1.780 e 1.900 m/s (onde P) e tra 495-630 m/s (onde SH).

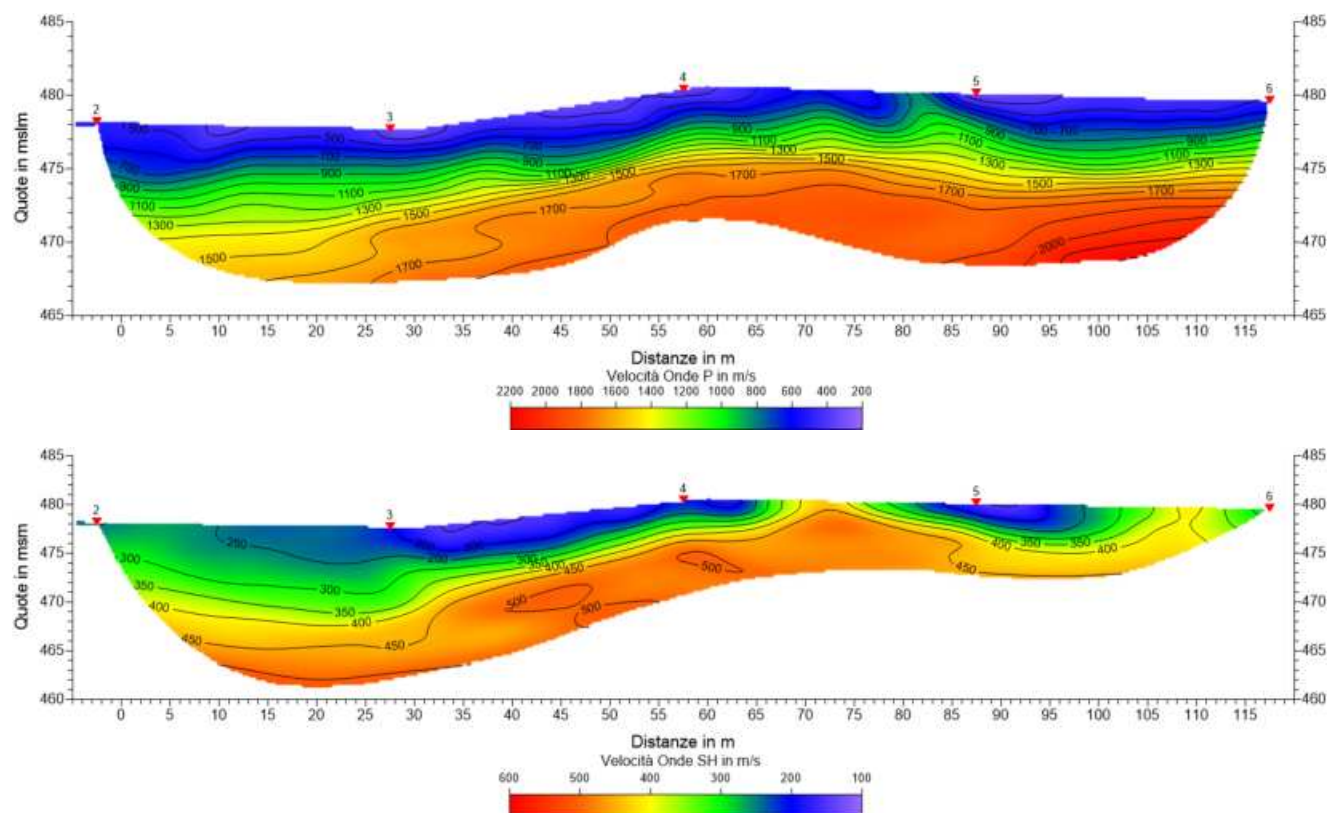
La **Sezione ST4** è stata elaborata seguendo le informazioni del GRM, che hanno permesso di ricostruire l'andamento del rifrattore principale.

Il rifrattore si presenta irregolare e si localizza a profondità variabili tra ca. 7.90/8.50 m rispetto al p.c nel tratto iniziale, attorno ai 0.80/1.20 m nel tratto centrale, 2.40/2.90 m nella porzione finale.



Le velocità del substrato roccioso mostrano per le onde P, valori compresi tra 1.780 e 1.900 m/s, maggiori nei tratti iniziale e finale ed inferiori nel centrale. Le velocità delle onde SH mostrano valori decrescenti lungo la sezione con velocità che passano dai ca. 630 m/s del tratto iniziale/centrale ai ca. 495 m/s del tratto finale.

L'analisi tomografica eseguita sia con onde P che con onde SH in accordo con i risultati del GRM, permette di apprezzare nella porzione più superficiale zone a più bassa velocità, che indicano materiale più allentato, soprattutto nel tratto centrale, in corrispondenza del salto topografico principale. Il passaggio al substrato roccioso risulta evidenziato dal raffittimento delle curve di isovelocità (a partire da quella dei 900 m/s onde P), mentre per le onde SH, il contatto si osserva a partire dalla curva dei 400 m/s.



## 5.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio ha individuato le caratteristiche geofisiche dei materiali superficiali e profondità di un'area, posta a **STIA**, nel **COMUNE PRATOVECCHIO STIA (AR)**. L'indagine geofisica di superficie, eseguita mediante sismica a rifrazione, ha permesso di identificare in profondità il passaggio tra i materiali più superficiali (terreno vegetale/detrito) ed il substrato litoide integro costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3).

Sulla base di quanto fino ad ora riportato è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive relativamente all'area in oggetto:

- I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 0.80 m e 8.50 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 3.00 m (onde P) e ca. 4.60 m (Onde SH);
- nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrito, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 520 e 600 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 265-310 m/s, con il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 1.780 e 1.900 m/s (onde P) e tra 495-630 m/s (onde SH).

---

Arezzo, lì 24/09/2015

**TRIGEO s.n.c.**  
di Nencetti Andrea & Turchetti Giancarlo  
Via Mazzini n°10 - 52017 - SODI (AR)  
P.IVA 02025110516  
Tel/Fax 0573 234805 - 056 9902212  
Cell. 329 3049117 - 328 7213623  
www.trigeo.it - info@trigeo.it

## **ALLEGATI**



## SCHEMA DELLA LINEA SISMICA ST4\_MS

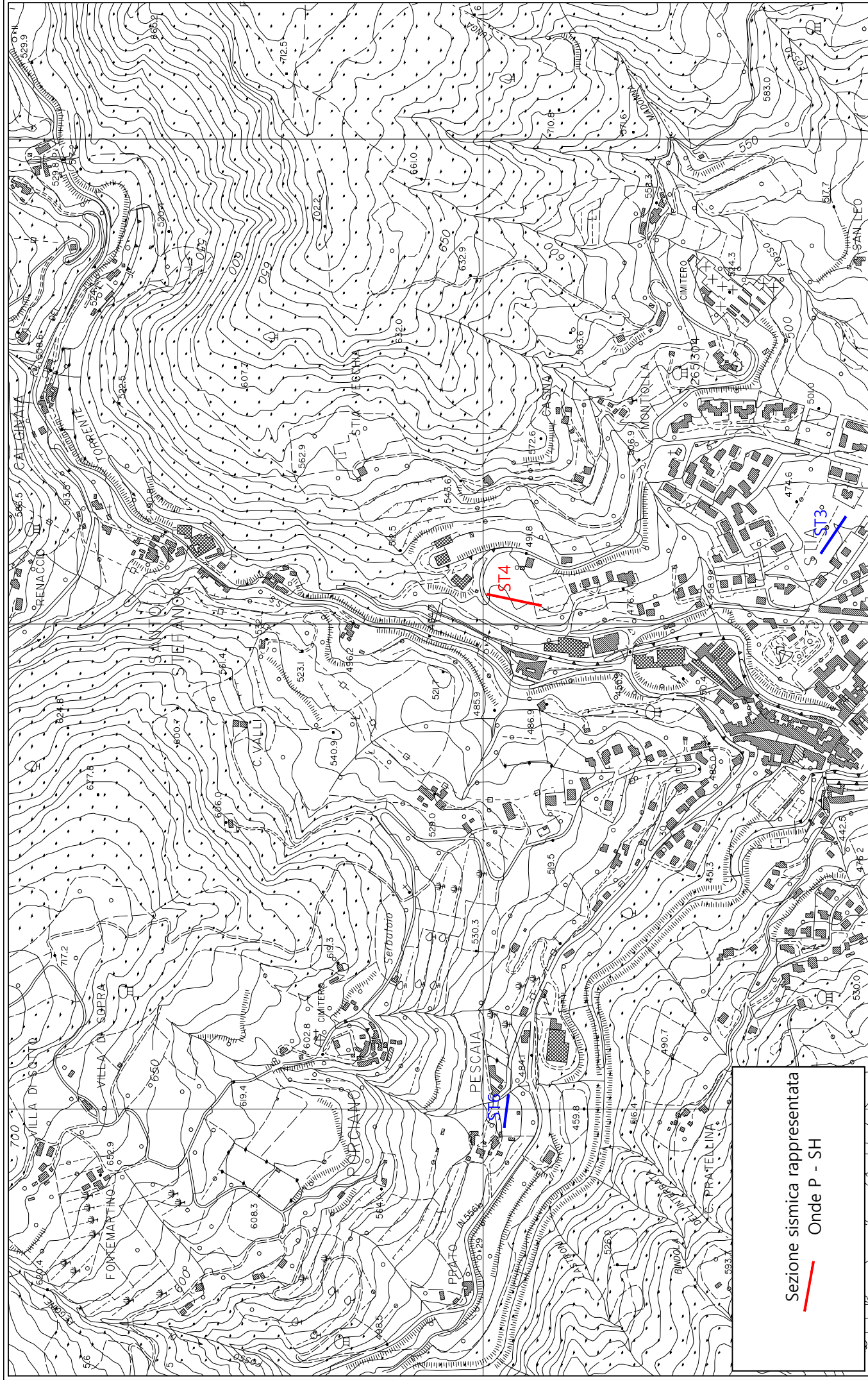
GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	0.0	478.20
2	5	5.0	478.10
3	10	5.0	478.00
4	15	5.0	477.95
5	20	5.0	477.90
6	25	5.0	477.80
7	30	5.0	477.70
8	35	5.0	478.20
9	40	5.0	478.70
10	45	5.0	479.20
11	50	5.0	479.70
12	55	5.0	480.20
13	60	5.0	480.70
14	65	5.0	480.60
15	70	5.0	480.50
16	75	5.0	480.40
17	80	5.0	480.30
18	85	5.0	480.20
19	90	5.0	480.15
20	95	5.0	480.05
21	100	5.0	479.95
22	105	5.0	479.85
23	110	5.0	479.75
24	115	5.0	479.70

*COORDINATE GAUSS-BOAGA DEI GEOFONI 1 E 24*

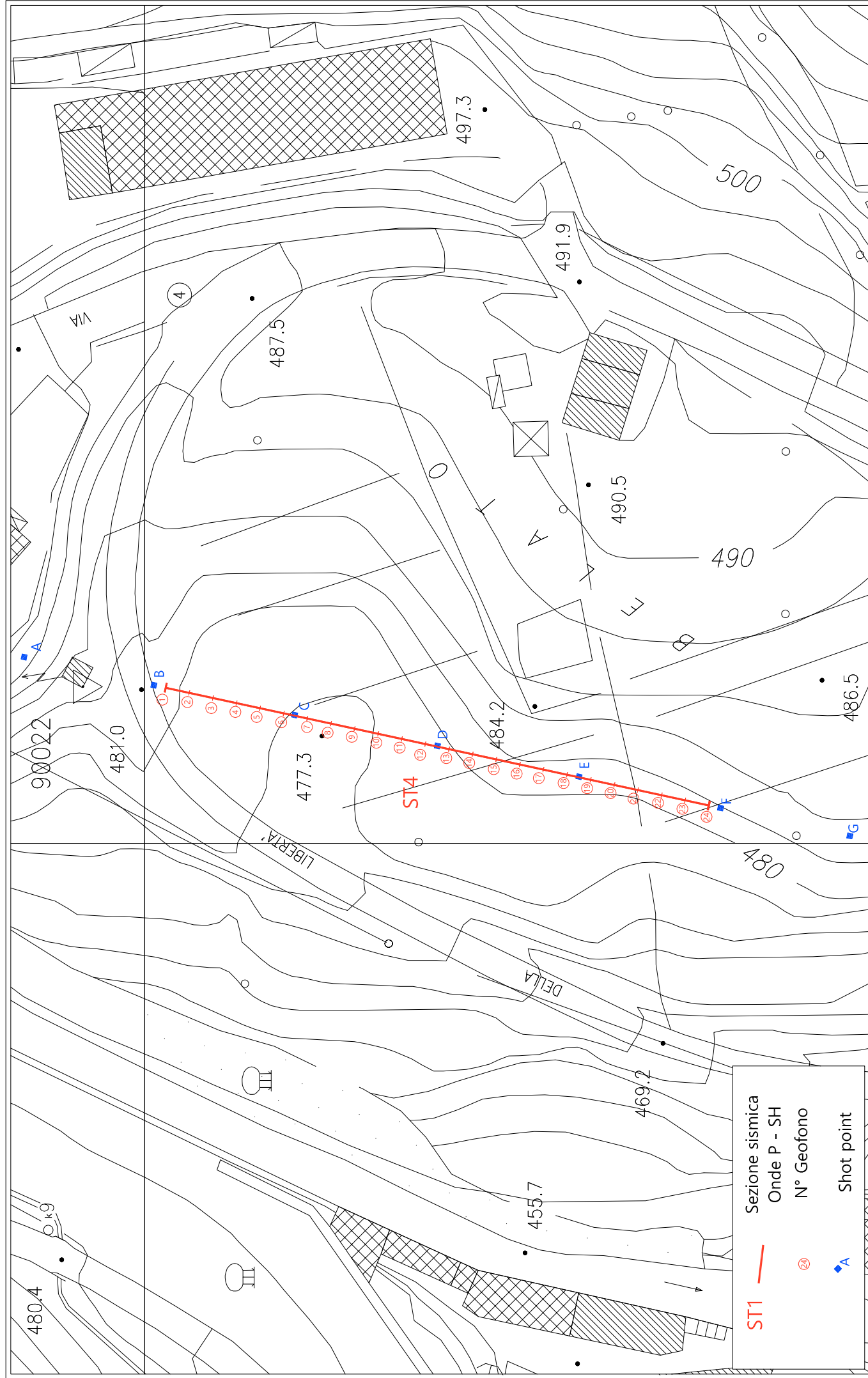
COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	4853992,73	4853891,75
Y(m)	1718061,94	178038,48

*PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT*

ONDE P	Σ ONDE SH	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.2867	DAT.2849	A - ESTERNO SX	-30.0	488.10
DAT.2866	DAT.2847	B - ESTREMO SX	-2.5	478.30
DAT.2865	DAT.2851	C - INTERMEDIO SX	27.5	477.75
DAT.2864	DAT.2853	D - CENTRALE	57.5	480.45
DAT.2863	DAT.2855	E - INTERMEDIO DX	87.5	480.15
DAT.2862	DAT.2857	F - ESTREMO DX	117.5	479.70
DAT.2861	DAT.2860	G - ESTREMO DX	145.0	477.50



Sezione sismica rappresentata  
Onde P - SH



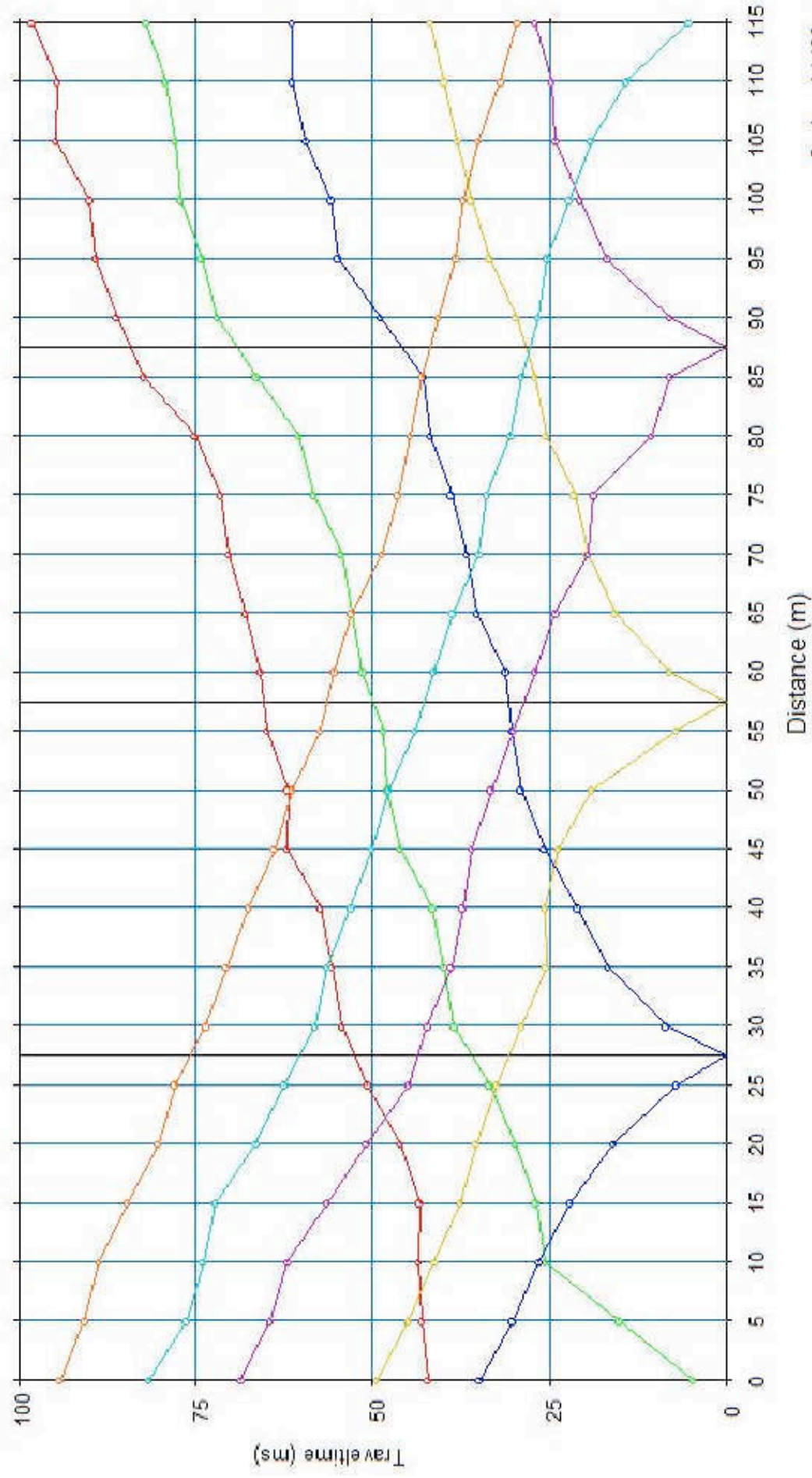
**ST1** — Sezione sismica  
— Onde P - SH  
⑳ N° Geofono  
◆ Shot point

## TEMPI ONDE P – ST4\_MS

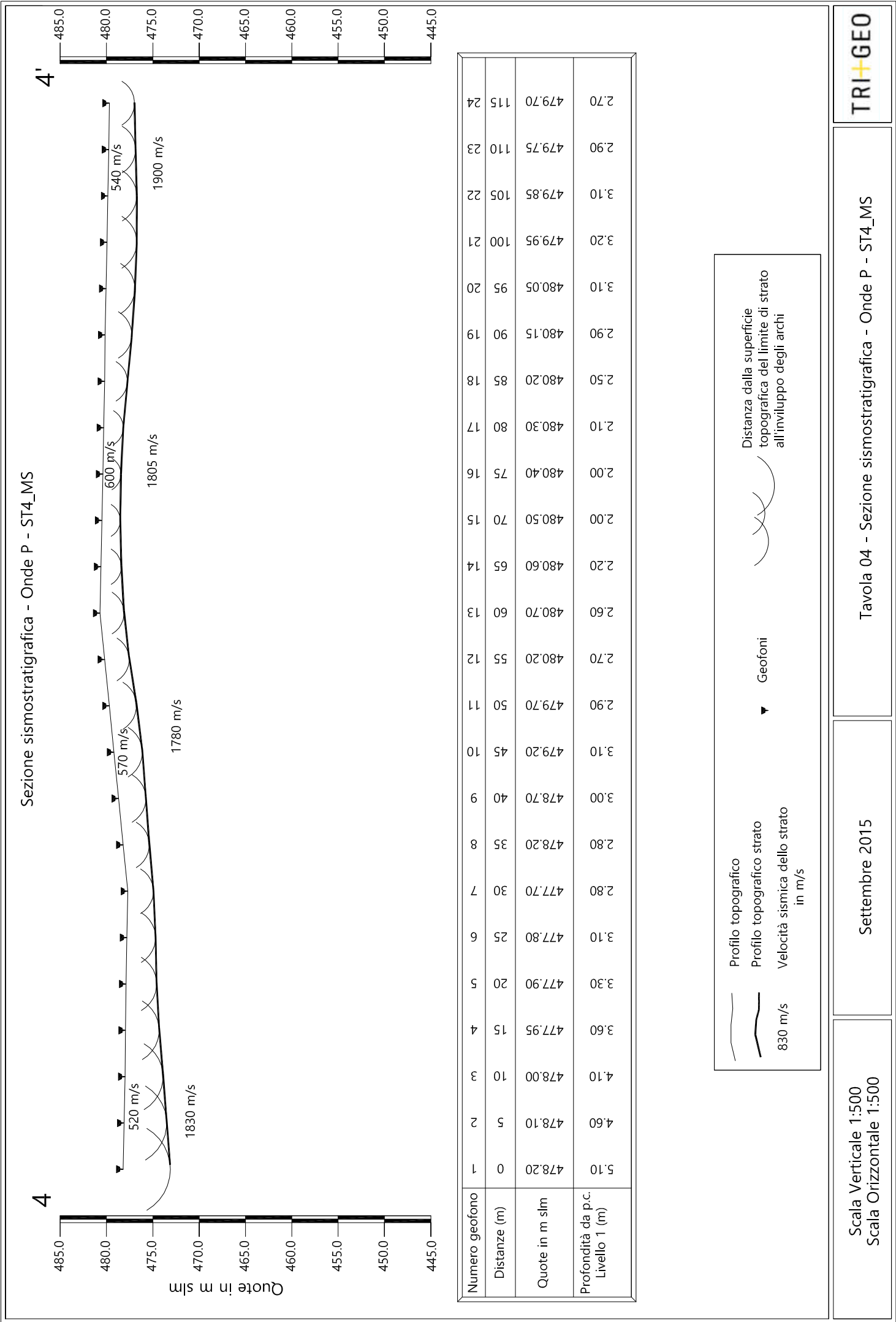
GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	42.24	4.75	34.88	49.45	68.61	81.66	94.14
2	5	43.09	15.25	30.25	44.88	64.46	76.28	90.71
3	10	43.50	25.73	26.50	41.31	62.03	73.94	88.71
4	15	43.38	26.88	22.15	37.63	56.46	72.23	84.71
5	20	46.10	29.88	16.00	35.38	50.88	66.51	80.33
6	25	50.75	33.50	7.00	32.50	44.88	62.51	77.95
7	30	54.38	38.50	8.58	28.88	42.31	58.13	73.56
8	35	55.75	39.88	16.75	25.50	38.88	56.51	70.61
9	40	57.46	41.59	21.13	25.63	37.31	53.08	67.56
10	45	62.13	46.10	25.75	23.75	36.00	50.12	63.84
11	50	61.96	48.00	29.00	19.00	33.30	47.74	61.46
12	55	64.96	48.45	30.30	7.00	30.13	44.02	57.46
13	60	65.82	51.46	31.25	8.00	27.13	41.35	55.46
14	65	67.96	52.96	35.30	15.75	24.16	38.69	53.00
15	70	70.38	54.46	36.73	19.63	19.58	34.97	48.69
16	75	71.56	58.32	38.88	21.50	18.75	33.92	46.40
17	80	75.13	60.46	41.88	25.50	10.58	30.50	44.69
18	85	82.33	66.46	42.88	27.00	8.00	28.88	43.13
19	90	86.19	72.00	48.88	29.75	8.00	26.59	40.69
20	95	89.13	74.18	54.89	33.50	16.88	25.38	38.31
21	100	90.05	77.18	55.89	36.13	20.73	22.20	37.25
22	105	94.75	77.83	59.46	38.00	24.16	19.15	35.13
23	110	94.55	79.33	61.46	39.88	24.73	14.13	31.92
24	115	98.19	82.00	61.46	41.88	27.13	5.34	29.54



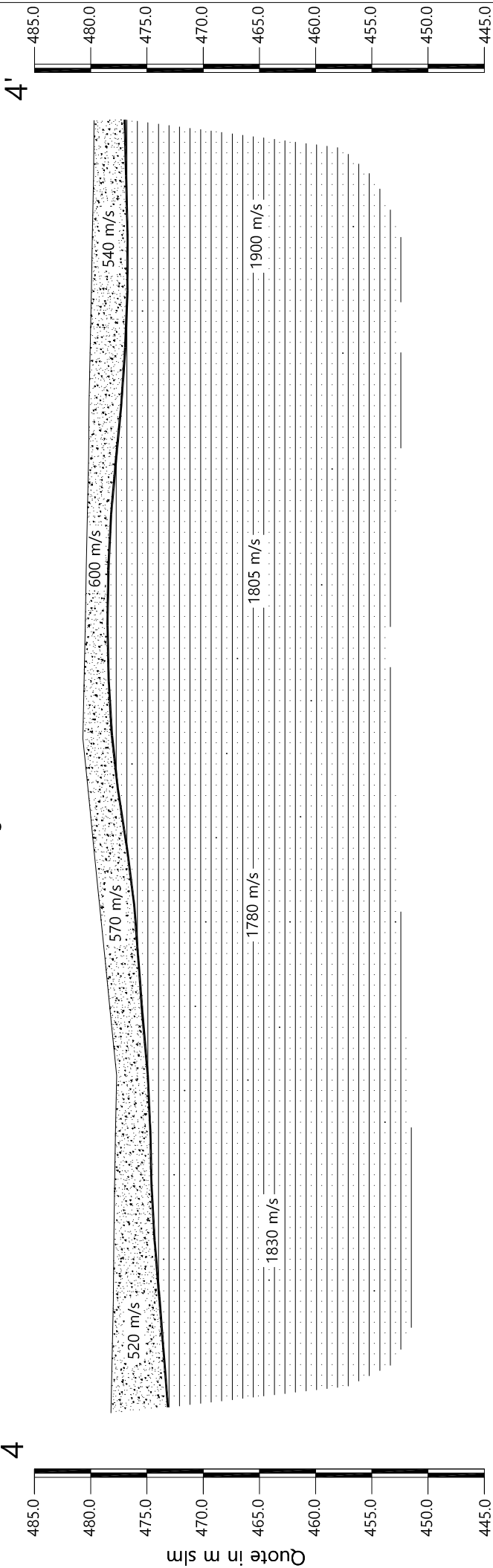
# Dromocrone







Sezione litostratigrafica - Onde P - ST4\_MS



Legenda

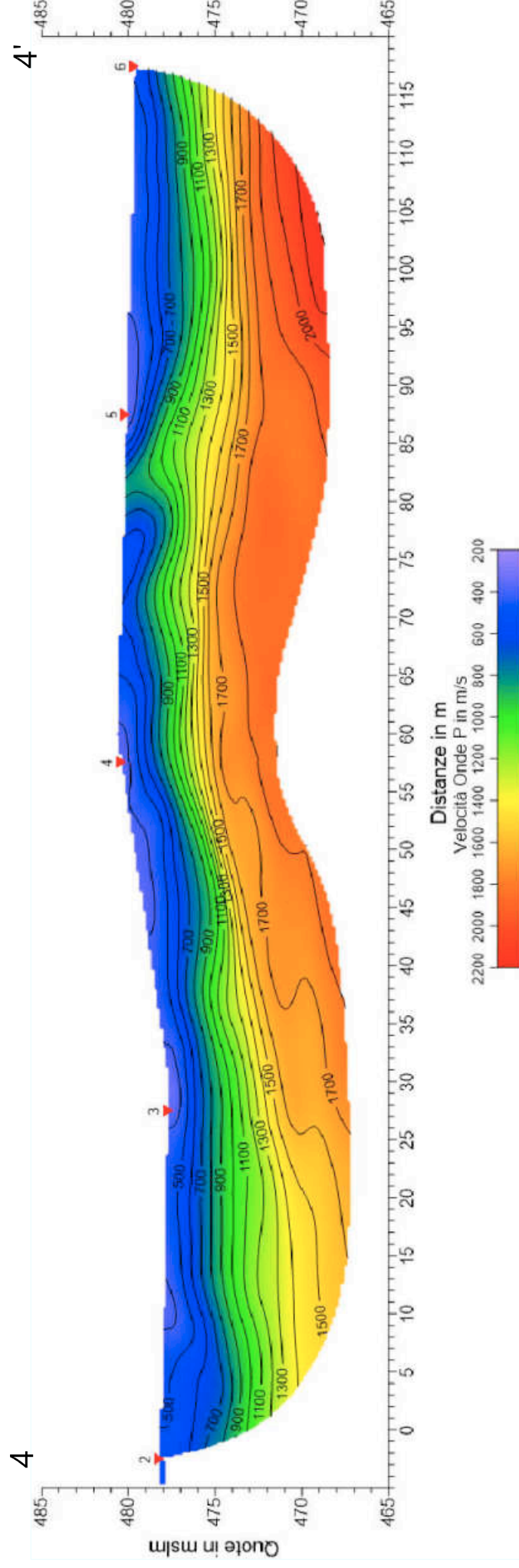


Terreno vegetale / detrito



Arenarie del Monte Falterona  
membro di Montalto (FAL3)

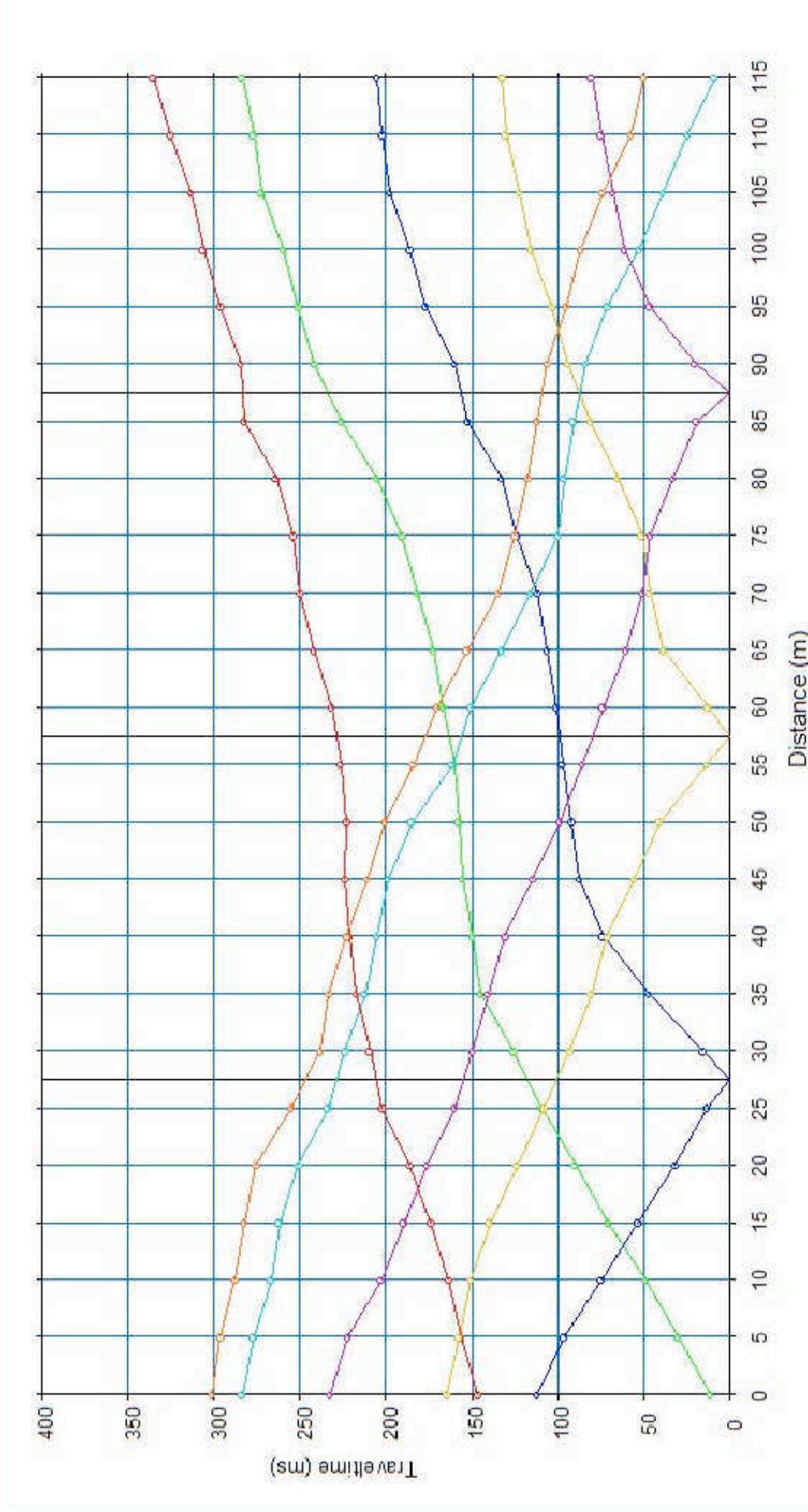
# Sezione tomografica - Onde P - ST4\_MS



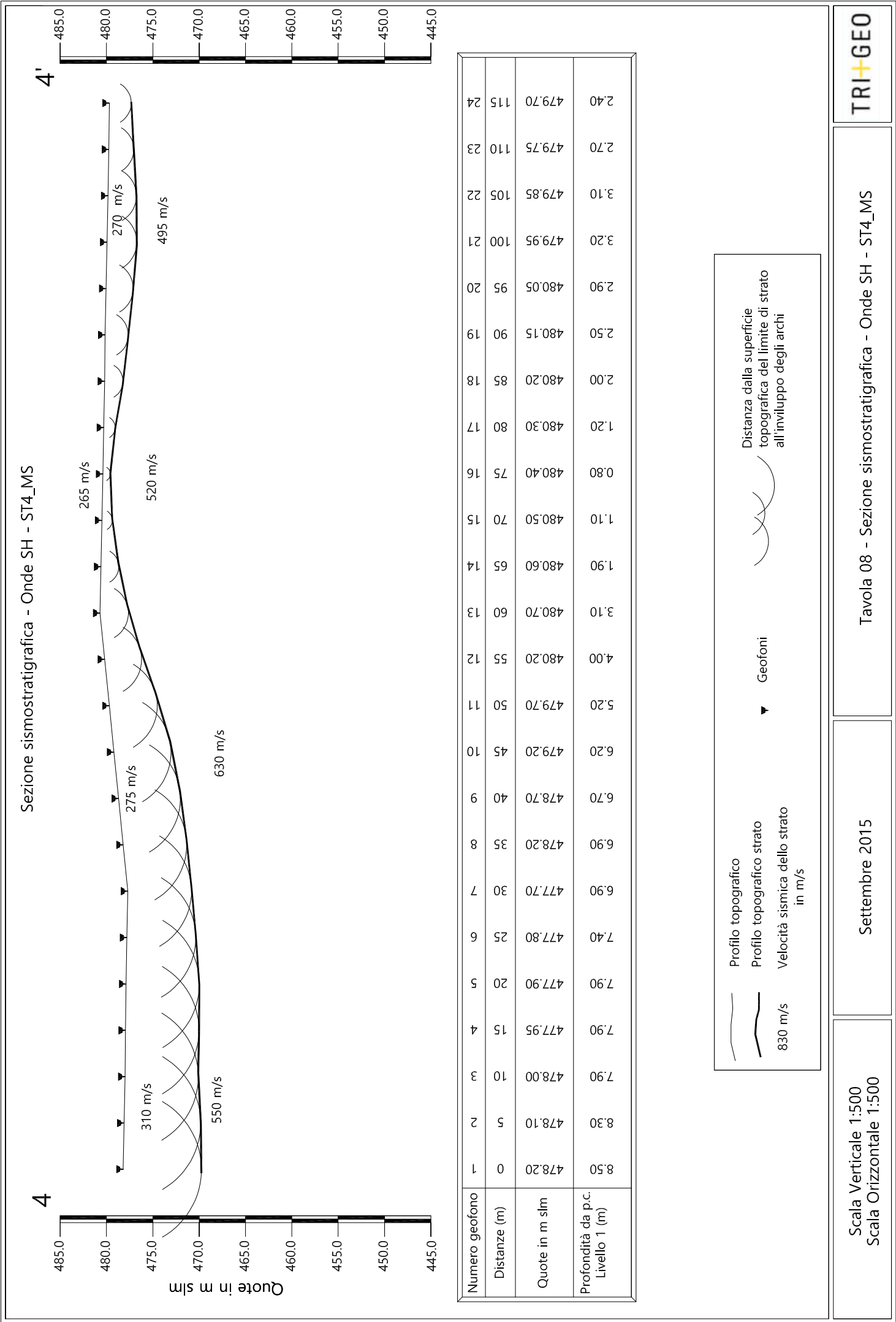
## TEMPI ONDE SH – ST4\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	146.50	11.26	112.24	164.34	232.51	283.65	301.01
2	5	156.62	30.39	96.48	157.58	222.22	276.89	296.19
3	10	163.37	48.88	74.93	150.83	202.93	266.60	287.51
4	15	173.66	70.43	53.38	139.57	189.42	262.10	282.20
5	20	185.88	89.73	31.84	123.49	176.00	250.84	275.45
6	25	201.96	109.02	13.51	107.73	159.83	233.80	255.19
7	30	209.12	125.74	15.76	92.94	149.86	223.51	238.30
8	35	217.08	145.04	47.00	80.40	140.75	212.25	233.00
9	40	221.26	149.86	73.65	71.39	130.50	205.18	222.87
10	45	223.51	155.33	87.47	55.64	114.63	198.42	210.81
11	50	222.87	157.58	91.75	40.84	98.73	184.92	200.68
12	55	226.24	159.83	97.49	13.51	85.63	161.12	183.79
13	60	231.55	166.59	100.63	12.54	73.75	150.83	170.28
14	65	241.68	172.38	106.38	38.63	60.14	132.64	152.92
15	70	249.88	181.38	111.63	46.63	51.13	115.49	134.59
16	75	253.74	190.71	123.75	51.38	45.88	99.77	125.06
17	80	263.87	205.18	132.88	65.13	32.80	96.34	117.49
18	85	282.20	225.76	152.75	81.25	19.30	90.69	111.92
19	90	284.13	241.52	159.83	94.23	20.26	83.94	105.91
20	95	296.19	250.84	176.88	103.23	46.50	71.39	95.34
21	100	306.32	259.85	185.88	115.77	61.10	52.88	86.76
22	105	313.07	272.39	197.46	122.29	67.75	38.59	73.61
23	110	325.13	276.89	201.96	130.25	74.75	24.76	57.46
24	115	335.26	283.65	205.18	132.42	80.40	9.00	49.88

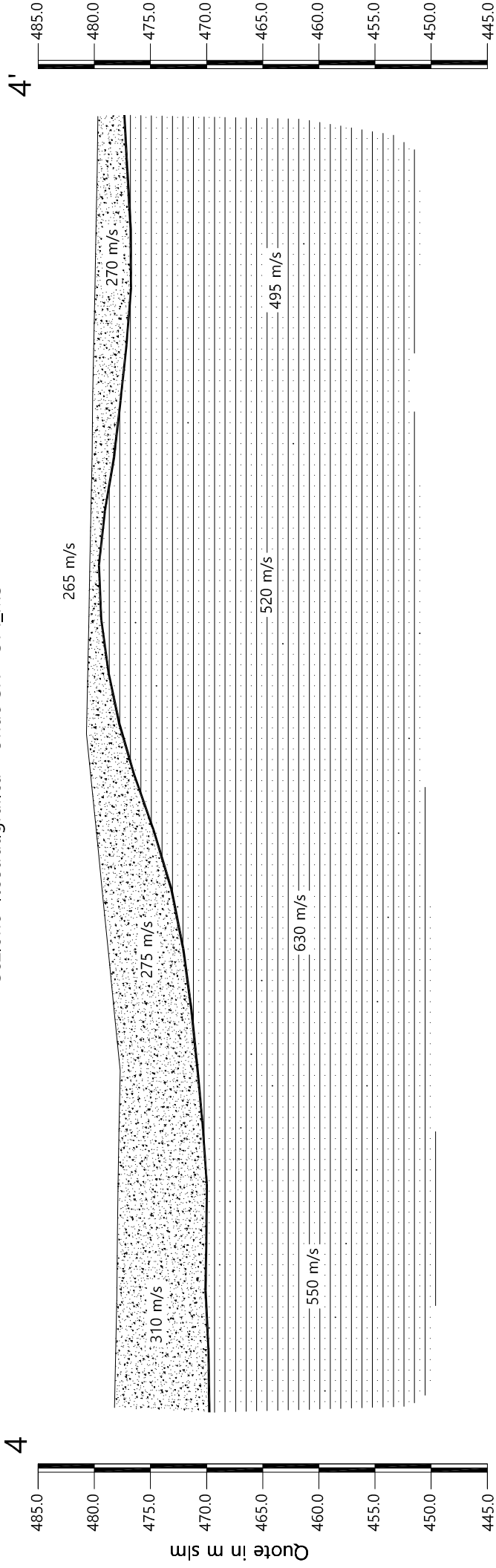
# Dromocrone







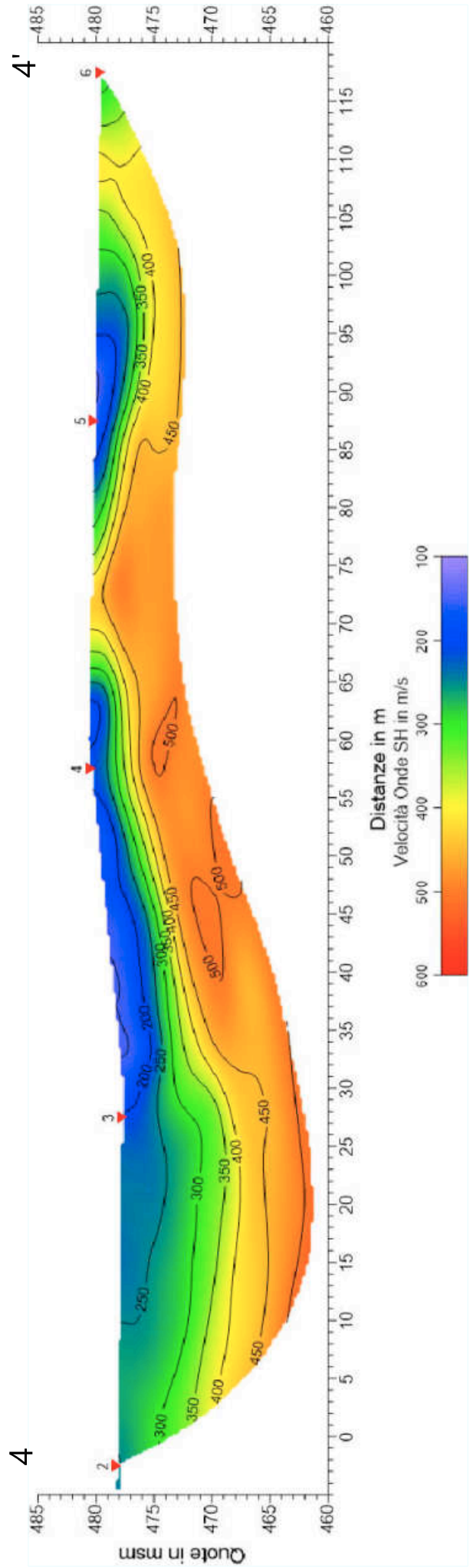
Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST4\_MS



Legenda

- Terreno vegetale / detrito
- Arenarie del Monte Falterona  
membro di Montalto (FAL3)

Sezione tomografica - Onde SH - ST4\_MS



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

Tavola 10 - Sezione tomografica - Onde SH - ST4\_MS

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST4\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	506	1806
2	5	512	1808
3	10	519	1816
4	15	525	1832
5	20	533	1848
6	25	530	1857
7	30	533	1850
8	35	537	1832
9	40	556	1807
10	45	573	1782
11	50	592	1763
12	55	617	1751
13	60	634	1751
14	65	636	1766
15	70	616	1795
16	75	590	1833
17	80	557	1868
18	85	527	1891
19	90	514	1901
20	95	517	1904
21	100	533	1904
22	105	549	1904
23	110	563	1904
24	115	574	1904

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST4\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	294	654
2	5	300	640
3	10	309	594
4	15	316	523
5	20	325	447
6	25	316	447
7	30	308	524
8	35	292	641
9	40	274	708
10	45	258	712
11	50	251	638
12	55	258	542
13	60	257	464
14	65	266	454
15	70	273	487
16	75	273	548
17	80	270	588
18	85	266	582
19	90	265	558
20	95	265	521
21	100	268	486
22	105	272	451
23	110	278	438
24	115	282	423

**PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST4\_MS – ONDE P**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	5.10
2	5	4.60
3	10	4.10
4	15	3.60
5	20	3.30
6	25	3.10
7	30	2.80
8	35	2.80
9	40	3.00
10	45	3.10
11	50	2.90
12	55	2.70
13	60	2.60
14	65	2.20
15	70	2.00
16	75	2.00
17	80	2.10
18	85	2.50
19	90	2.90
20	95	3.10
21	100	3.20
22	105	3.10
23	110	2.90
24	115	2.70

**PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST4\_MS – ONDE SH**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	8.50
2	5	8.30
3	10	7.90
4	15	7.90
5	20	7.90
6	25	7.40
7	30	6.90
8	35	6.90
9	40	6.70
10	45	6.20
11	50	5.20
12	55	4.00
13	60	3.10
14	65	1.90
15	70	1.10
16	75	0.80
17	80	1.20
18	85	2.00
19	90	2.50
20	95	2.90
21	100	3.20
22	105	3.10
23	110	2.70
24	115	2.40





Vista generale ST4\_MS da G1 verso G24.



Vista generale ST4\_MS da G12 verso G1.



Vista generale ST4\_MS da G12 verso G24.



Shot point B – Onde SH – ST4\_MS





Shot point C – Onde SH – ST4\_MS.



Shot point D – Onde SH – ST4\_MS



Shot point C – Onde P – ST4\_MS.



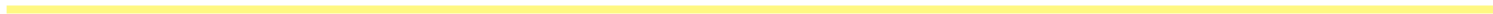
Shot point E – Onde P – ST4\_MS



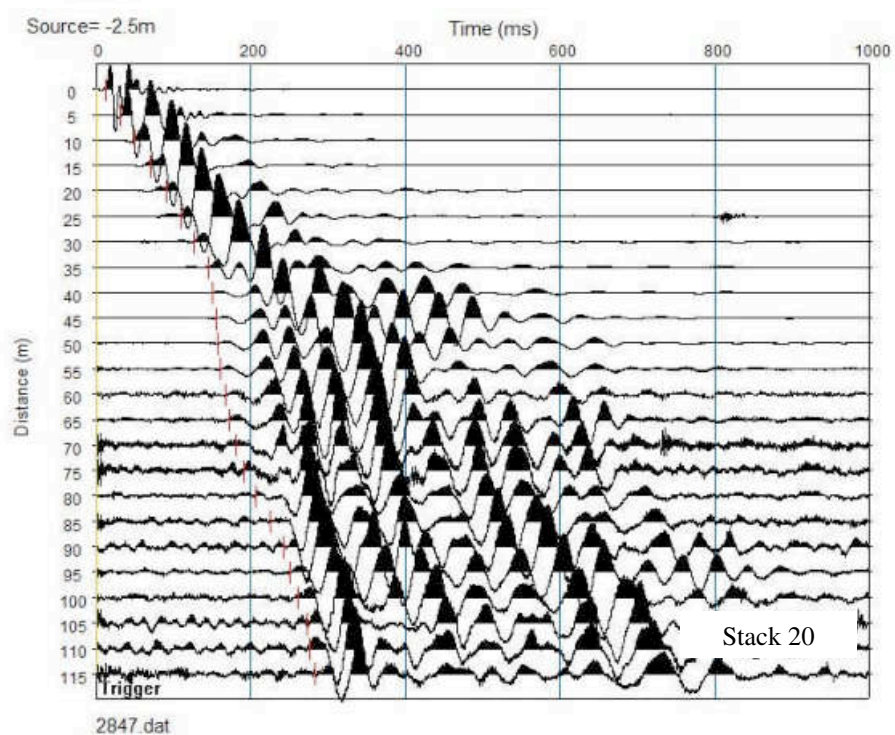
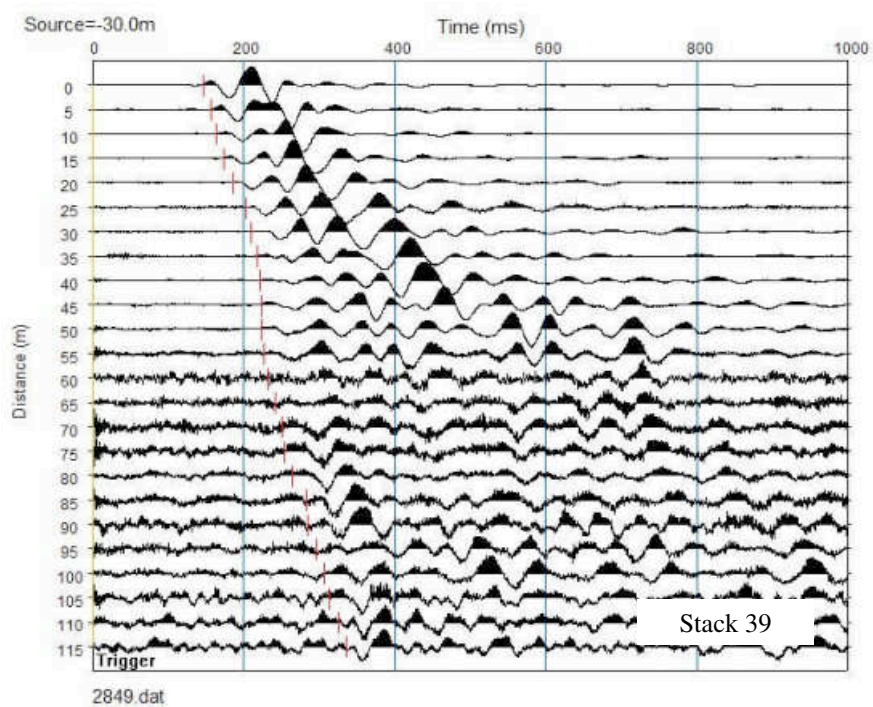
## **REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA – ST4\_MS**

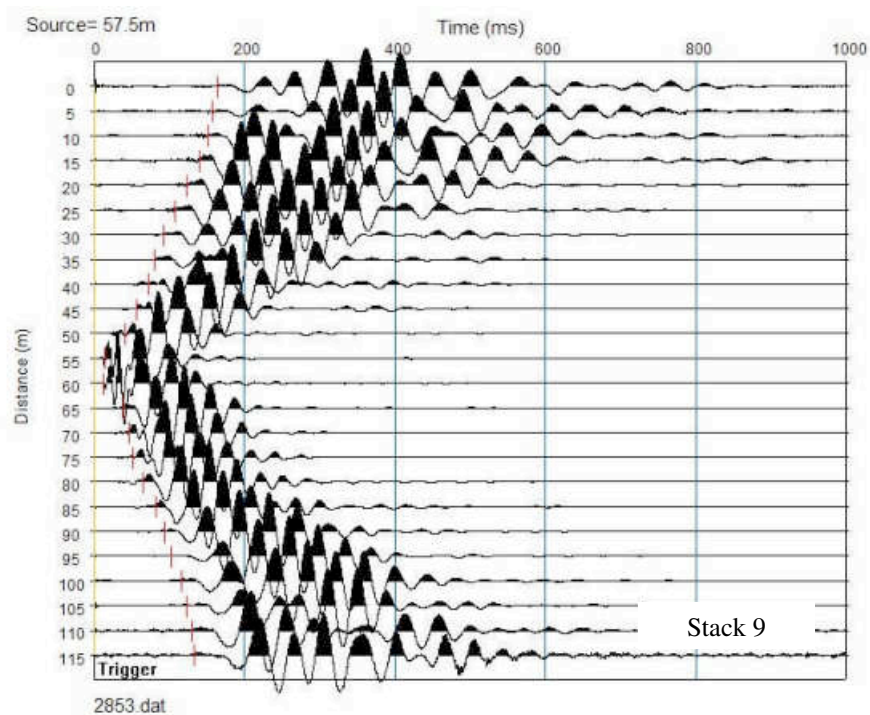
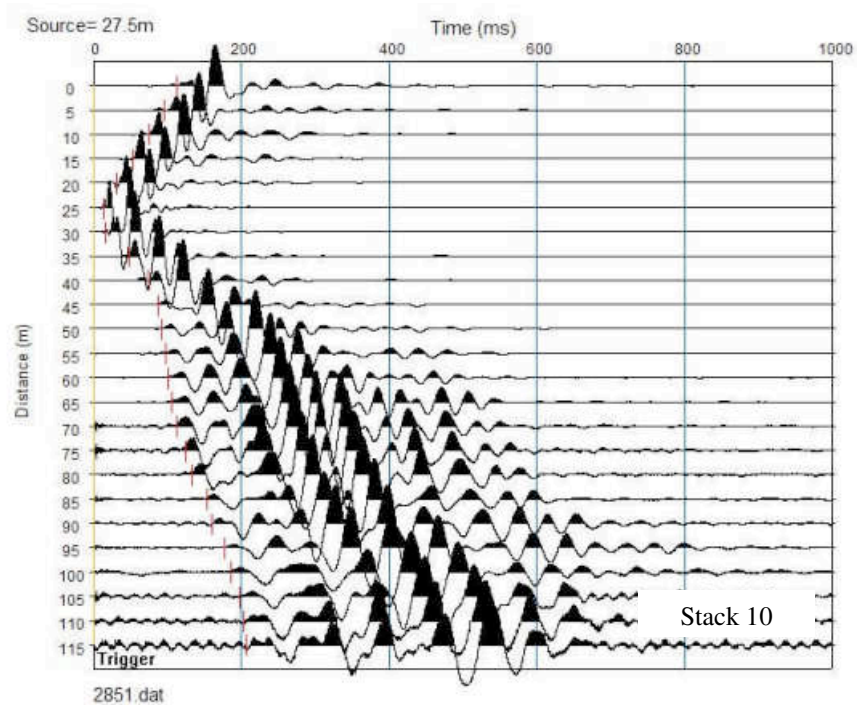
**file 2847 - 2860 Onde SH**

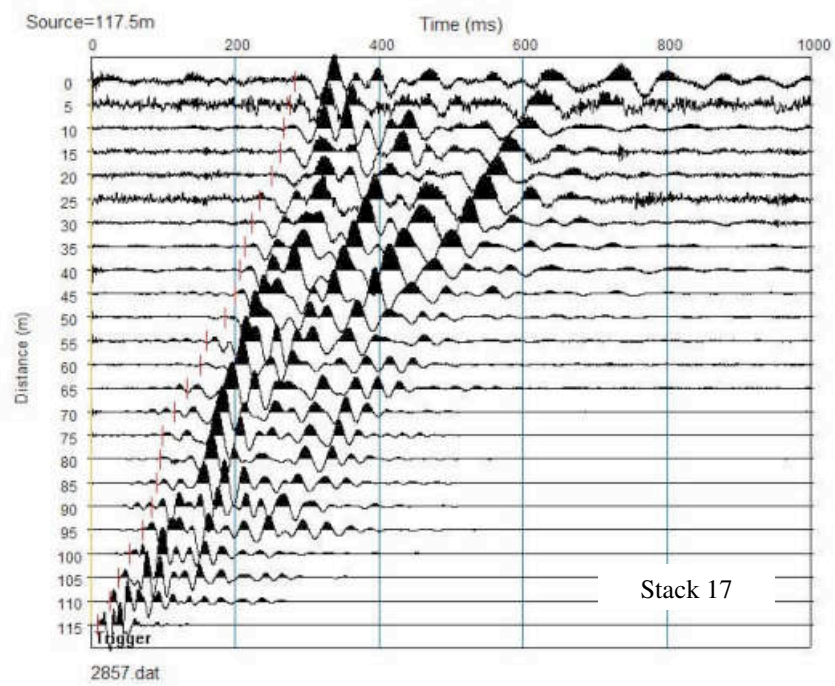
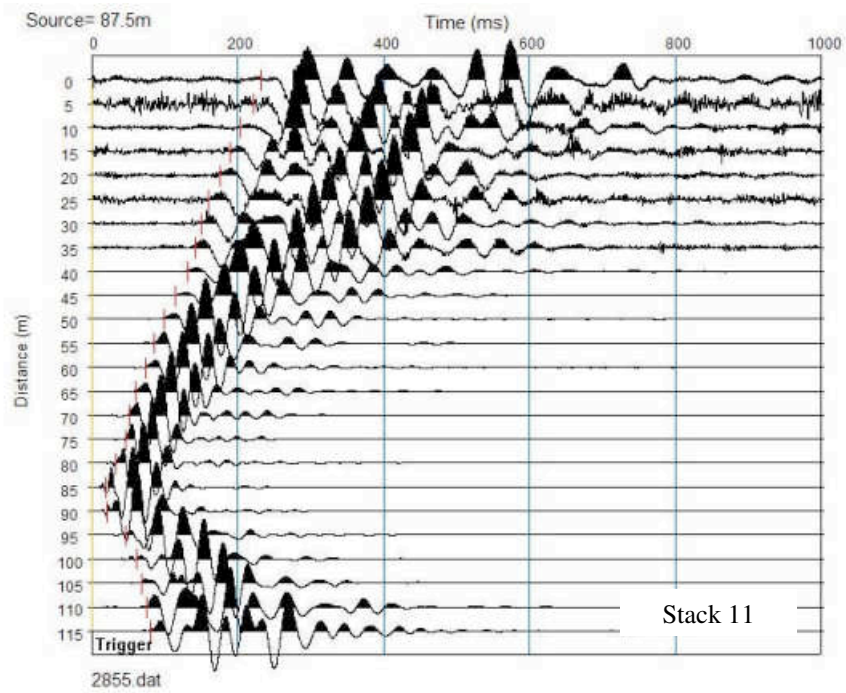
**file 2861 - 2867 Onde P**



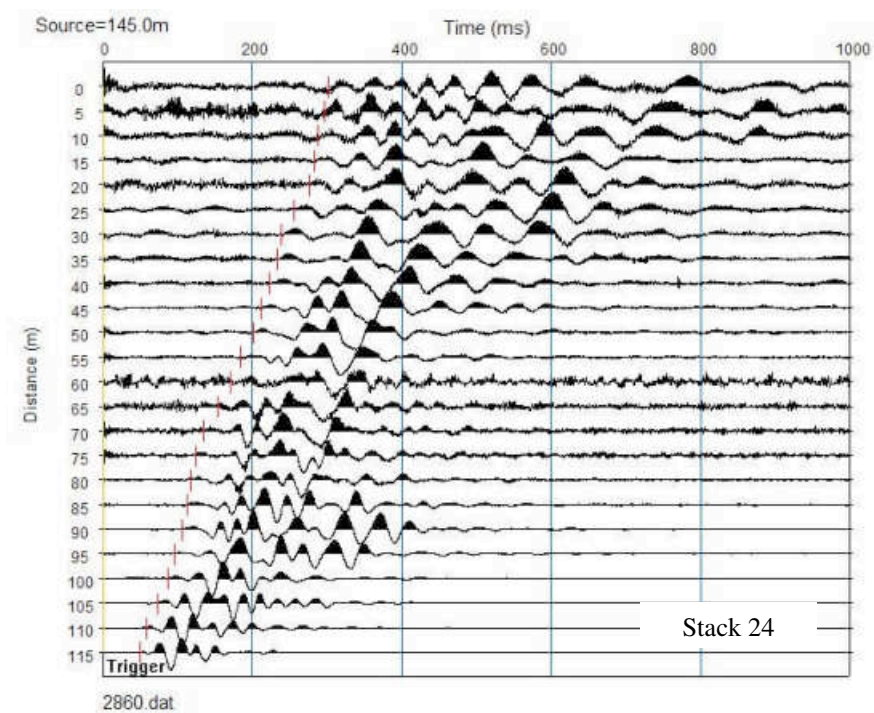


ONDE SH  $\Sigma$ 

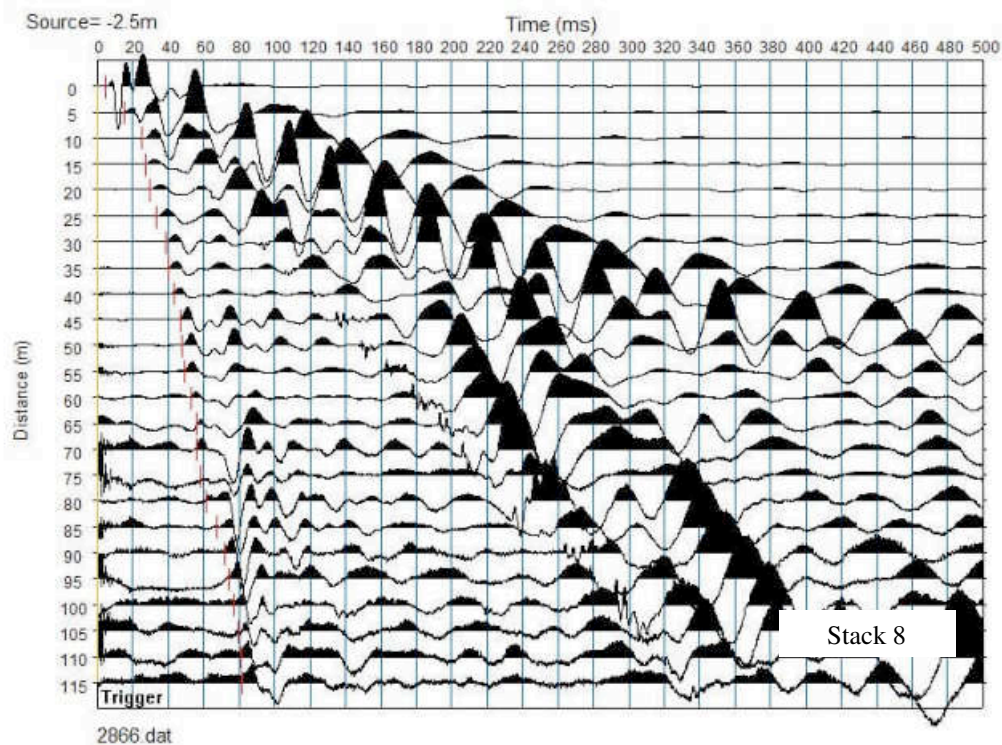
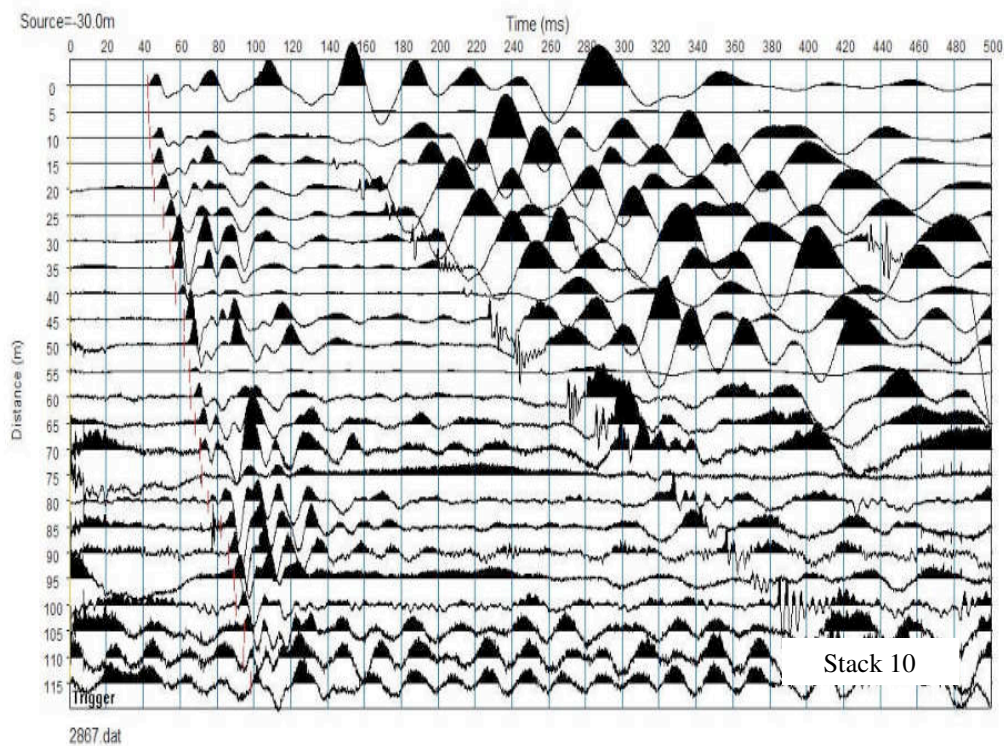




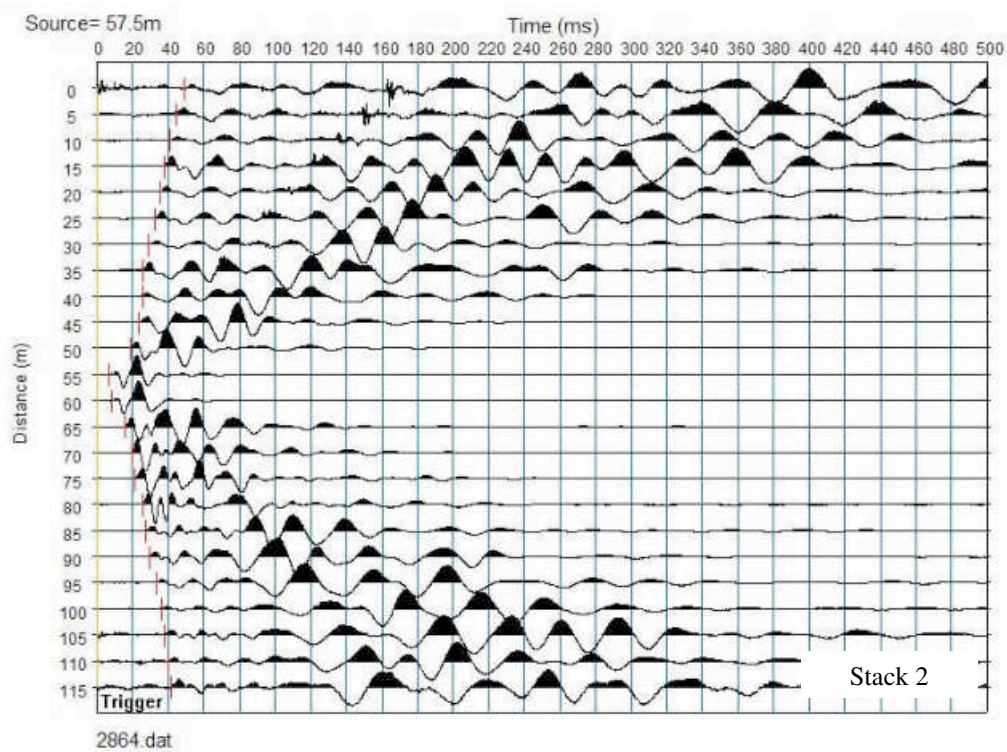
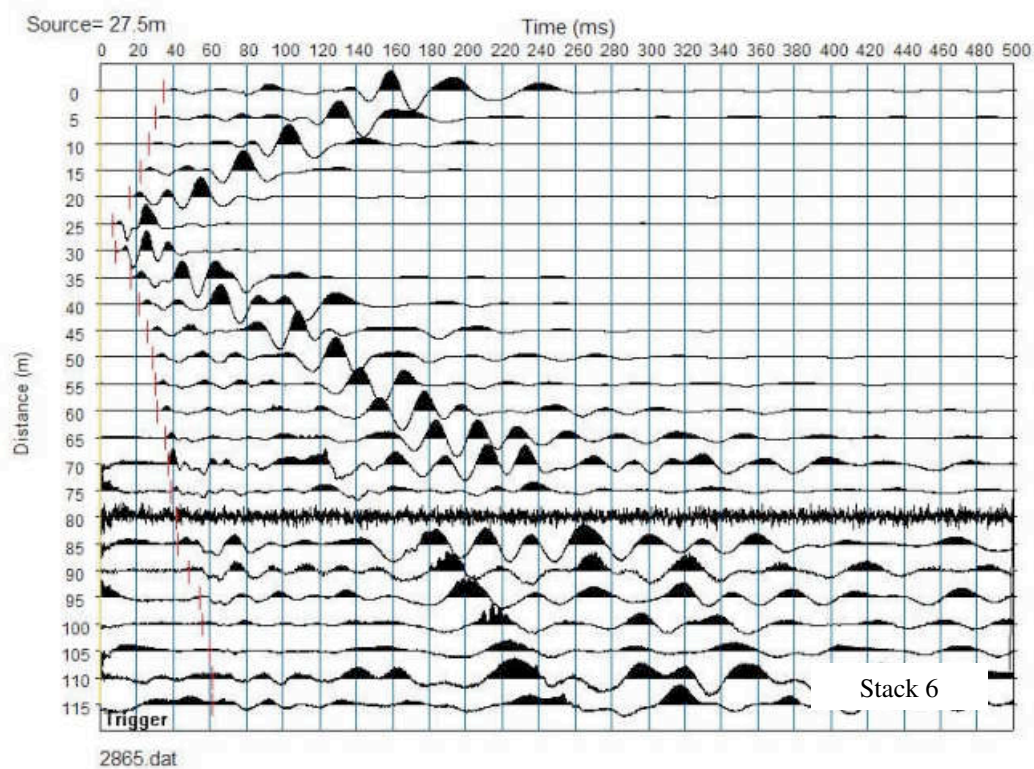


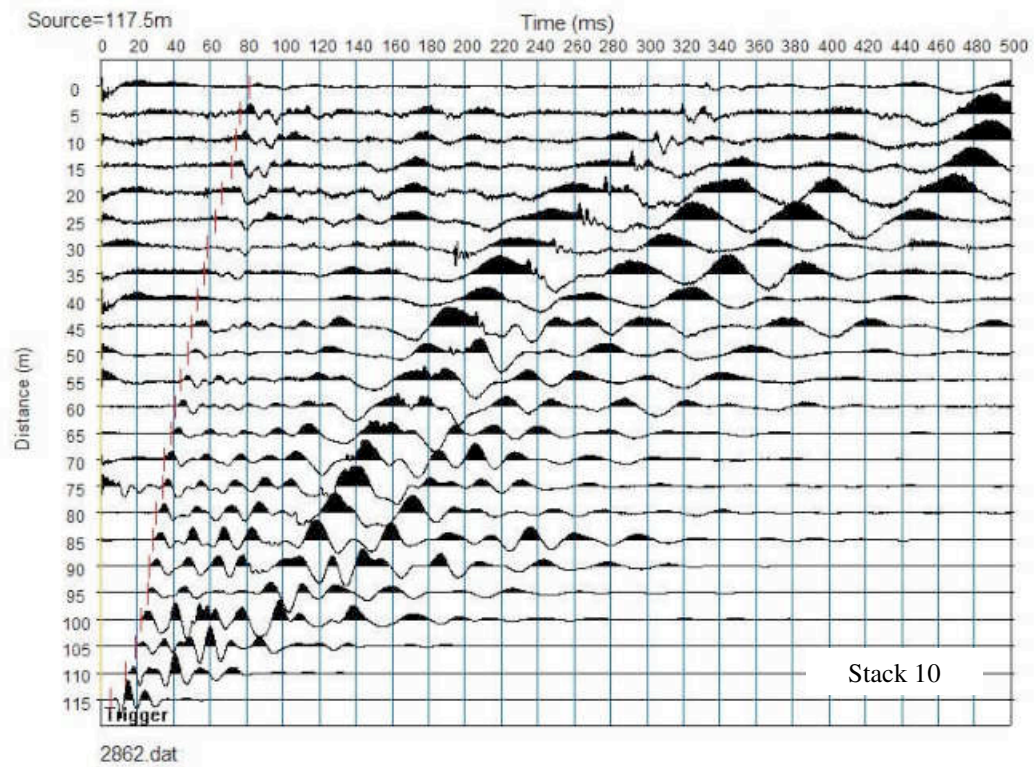
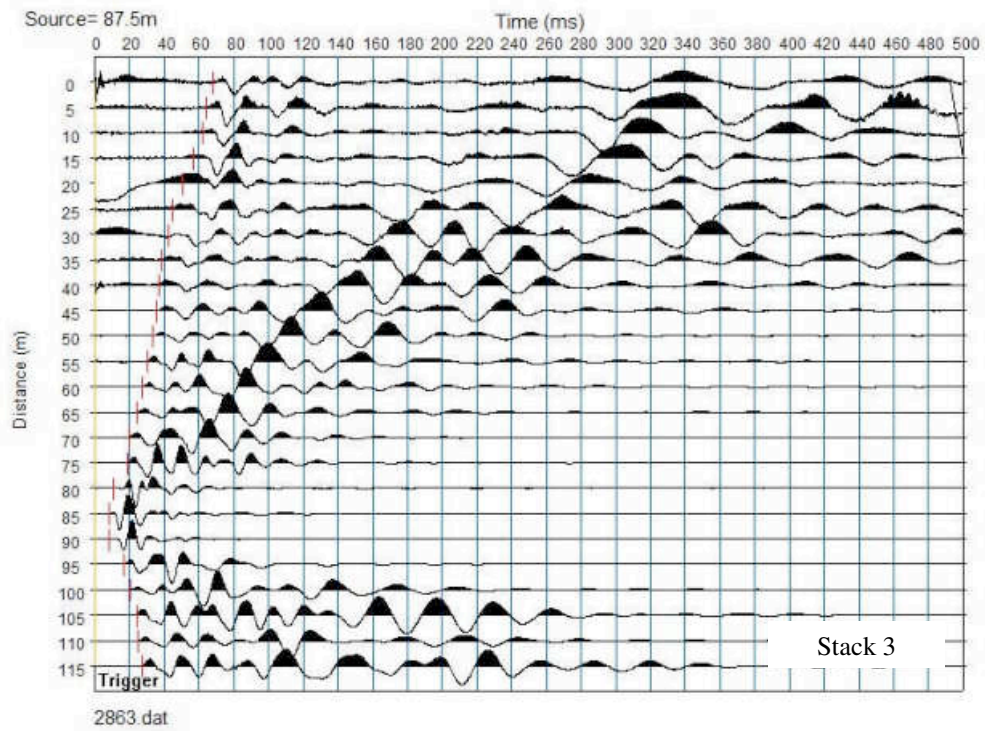


# ONDE P

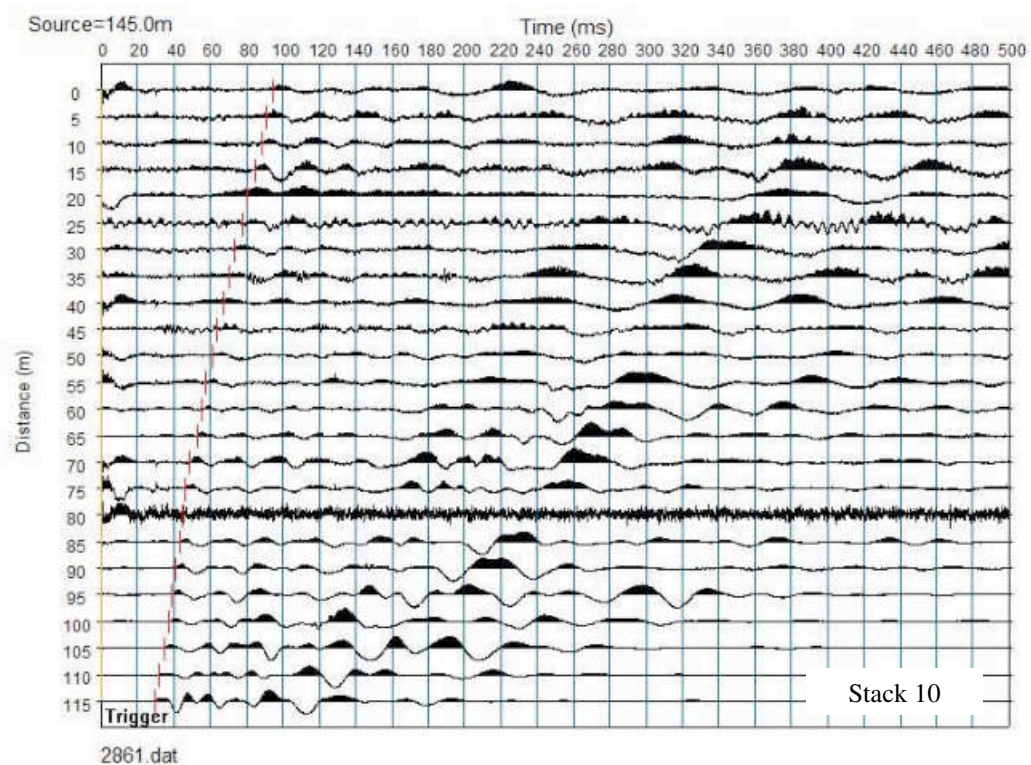












### TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini  
Via Mazzini, 18  
52011 Soci (AR)  
P.IVA 02024110518  
info@trigeo.it

### FIRENZE

Via Nino Bixio, 9  
50131 Firenze  
firenze@trigeo.it  
T/F 055 400619  
M 328 7213928

### AREZZO

Via Trasimeno, 7  
52100 Arezzo  
arezzo@trigeo.it  
T/F 0575 294500  
M 339 2288117

## RELAZIONE TECNICA

### STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

### “INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE MEDIANTE SISMICA A RIFRAZIONE E TOMOGRAFIA SISMICA (ONDE P ED SH) LINEA SISMICA ST5 - PAPIANO”

## COMMITTENTE : COMUNE DI PRATOVECCHIO-STIA

28 - SETTEMBRE - 2015



CERTIFICATO  
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE  
NON DISTRUTTIVE E  
SEMIDISTRUTTIVE  
NEL SETTORE CIVILE



WWW.TRIGEO.IT

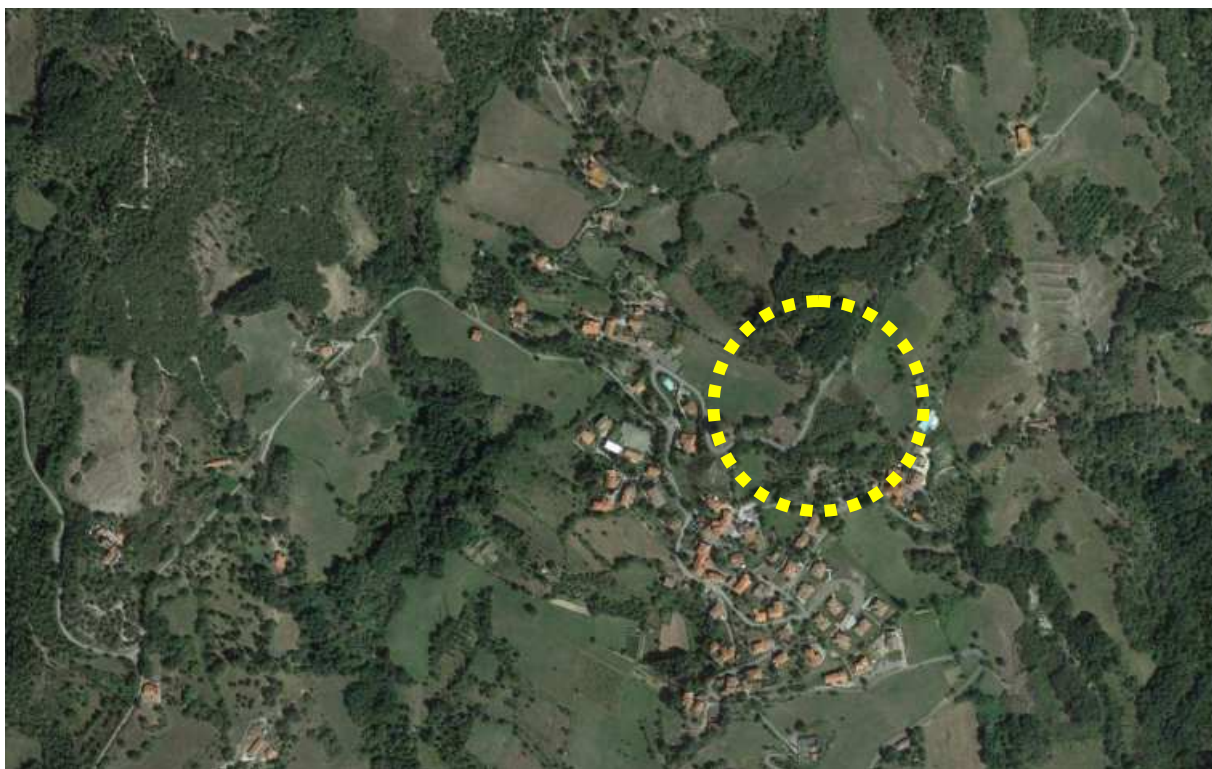
## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.0 SCHEMA OPERATIVO</b>	<b>5</b>
<b>2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA</b>	<b>5</b>
<b>3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI</b>	<b>7</b>
<b>4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA</b>	<b>8</b>
<b>5.0 CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>9</b>
<b>ALLEGATI</b>	<b>11</b>



## INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Settembre 2015, mediante sismica a rifrazione onde P ed onde SH (acquisizione ed elaborazione dati con metodologia tomografica), per conto del **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)**.



**Figura 1:** Area d'intervento: Linea ST5 Loc. Papiano – Prato Vecchio Stia (AR).

L'indagine sismica, viene eseguita nei pressi dell'abitato di **PAPIANO - PRATOVECCHIO STIA (AR)**. Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una prospezione geofisica mediante sismica a rifrazione tesa a fornire, lungo la sezione, convenuta con la committenza, una caratterizzazione delle litologie presenti nell'area d'indagine nonché determinare le geometrie (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo dei terreni in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P e di taglio SH. I dati ottenuti sono stati elaborati sia con la metodologia classica della rifrazione (GRM) che con la metodologia tomografica che permette di ottenere, attraverso un maggior numero di "energizzazioni" (7 per ciascun stendimento) ed un opportuno software di elaborazione, un'ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura.

L'acquisizione delle onde SH combinate alle onde di compressione consente di ottenere i principali parametri elastico/dinamici e di fornire i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), così come richiesto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

La relazione tecnica riferisce sui risultati ottenuti dall'indagine sismica a rifrazione mediante Onde P e SH ed è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale del profilo sismico **ST5** eseguito, scala 1:10.000 (da CTR 1:10.000);
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **ST5** eseguito, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate;
- Schema dettagliato della linea sismica con posizionamento relativo dei geofoni (quote-distanze), coordinate in Gauss-Boaga dei geofoni iniziale e finale e punti di energizzazioni (quote-distanze);
- **Tabelle Tempi di arrivo Onde P e SH** relativi ai vari scoppi, con riportati posizione, tempo di arrivo e quota di ciascun geofono;
- **Tavole 03-07:** Diagrammi Tempi d'arrivo-Distanze (Dromocrone) Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 04-08:** Grafici delle profondità dei rifrattori individuati (sezione sismostratigrafica) e tabelle Distanze-Profondità Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 05-09:** Sezioni litostratigrafiche interpretative onde P-SH, scala 1:500;
- Tabelle Profondità calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- Tabelle Velocità sismiche calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- **Tavole 06-10:** Sezioni tomografiche onde P-SH, scala 1:500;
- Documentazione fotografica della linea sismica;
- Stampe delle registrazioni di campagna.

Di seguito viene descritto, lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

## 1.0 SCHEMA OPERATIVO

Nella **Tavola 01**, è stato riportato un inquadramento corografico generale in scala 1:10.000 con inserita la sezione sismica eseguita. Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, con inserita la sezione sismica eseguita, la posizione di ogni singolo geofono e l'ubicazione di ogni punto di energizzazione (shot point).

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di 4 m per la sezione eseguita sia con onde P che con onde SH. Complessivamente sono stati acquisiti **184 ml** di rilievo suddivisi in 2 basi di **92 ml** (Onde P-SH).

## 2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

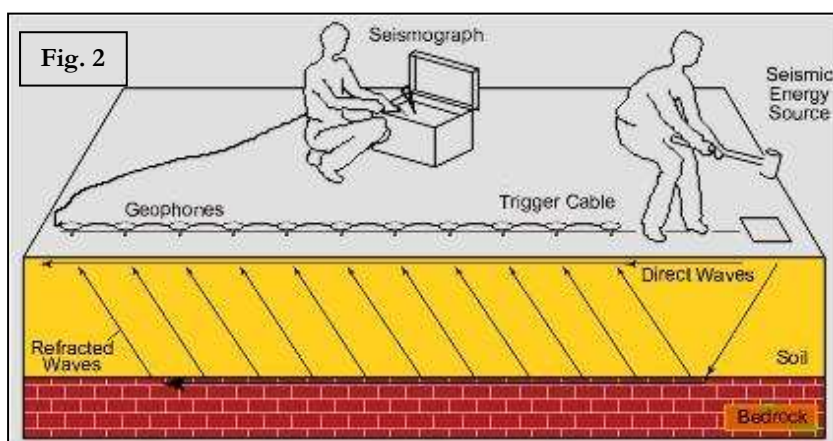
Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del

sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri

ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 2**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.

Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: **A/D Conversion:** 24 bit; **Dynamic Range:** 144 dB; **Distortion:** 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; **Bandwidth:** 1.75 Hz to 20 kHz; **Common Mode Rejection:** > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; **Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; **Noise Floor:** 0.2uV, RFI at 2 ms, 36



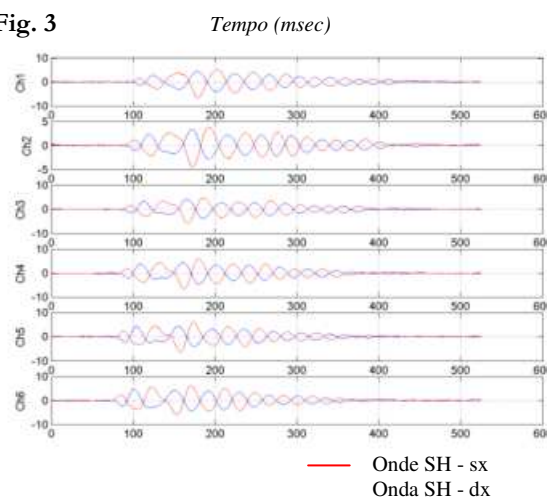
dB, 1.75 to 208 Hz; **Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval; **Maximum Input Signal:** 2.8 VPP; **Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uf; **Preamplifier Gains;** **Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency; **Sample Interval:** 0.02 to 16.0 ms; **Record Length:** 16,000 samples; **Acquisition and Display Filters:** *LowCut, Notch, HighCut*; **Data Formats:** SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali ed orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e nel caso dei geofoni orizzontali dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza generalmente una trave di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato nel nostro caso dalla stessa autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase (**Fig. 3**). Ogni energizzazione viene registrata sull'Hard Disk sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il *Generalized Reciprocal Method* (GRM) che consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati fino ad angoli superiori a 20 gradi. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti sono dei casi particolari.

Fig. 3



Oltre al GRM, in alcuni casi, è stato utilizzato, per conferma e confronto, un algoritmo di inversione che usa il *delay-time method* per ottenere un primo modello approssimato in profondità, che viene quindi affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna ed il corrispondente modello di profondità. In questo caso specifico è stato utilizzato come sistema di elaborazione principale il *delay-time method* affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed il GRM come verifica e conferma dei risultati ottenuti.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme. Infine sono stati calcolati i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), come richiesto dalla nuova "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

### 3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nelle **Tavole 03-07** sono rappresentate, le curve tempi-distanze, Dromocrone, che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna (onde P-SH). Nel diagramma tempi-distanze, in ascisse, in scala 1:500 sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento e, in ordinate, i tempi di arrivo, espressi in millisecondi agli stessi sensori.



Nelle **Tavole 04-08**, sono state riportate le sezioni sismostratigrafiche ottenute (onde P-SH), al di sotto della superficie topografica l'inviluppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato.

Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'inviluppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Nelle **Tavole 05-09** sono riportate le sezioni interpretate (sezioni litostratigrafiche) sulla base sia dei dati ottenuti (sezioni sismostratigrafiche), sia di considerazioni geologiche generali relative alla zona in esame che sulla base dei dati forniti dal tecnico incaricato.

Infine nelle **Tavole 06-10** abbiamo le sezioni tomografiche interpretate realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. La scala in falsi colori presente, esprime i valori di velocità all'interno della sezione.

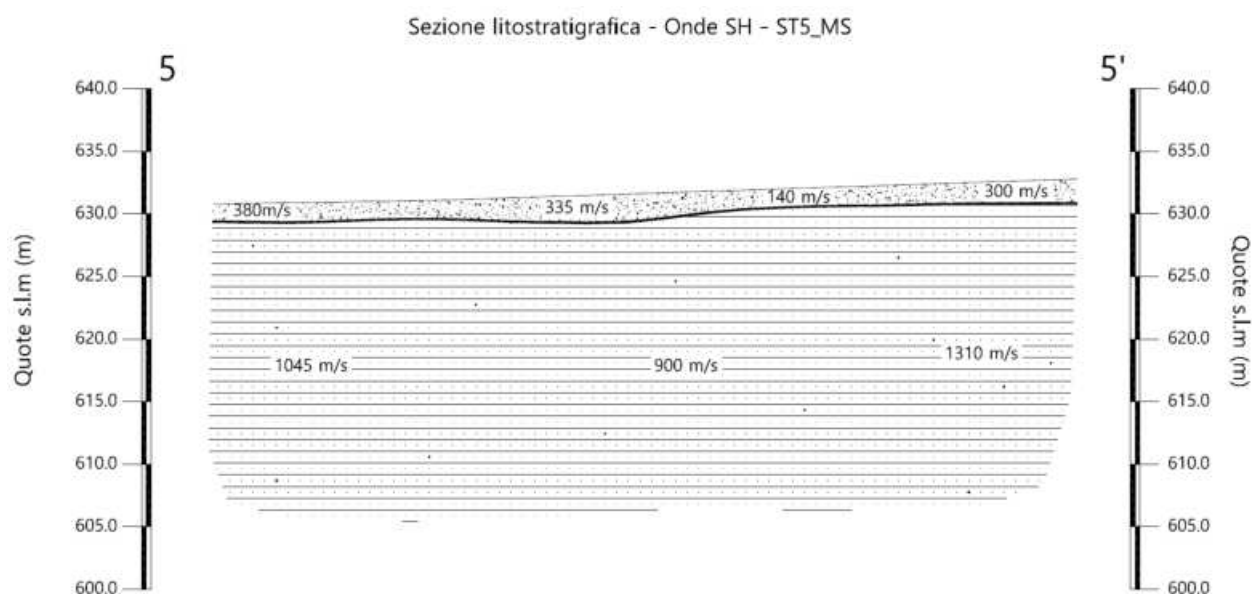
Le sezioni litostratigrafiche interpretate assieme alle sezioni tomografiche, rappresentano il risultato conclusivo dell'analisi dei dati sintetizzati nelle tavole e tabelle allegate.

#### 4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 1.40 m e 2.25 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 1.75 m (onde P) e ca. 1.70 m (Onde SH).

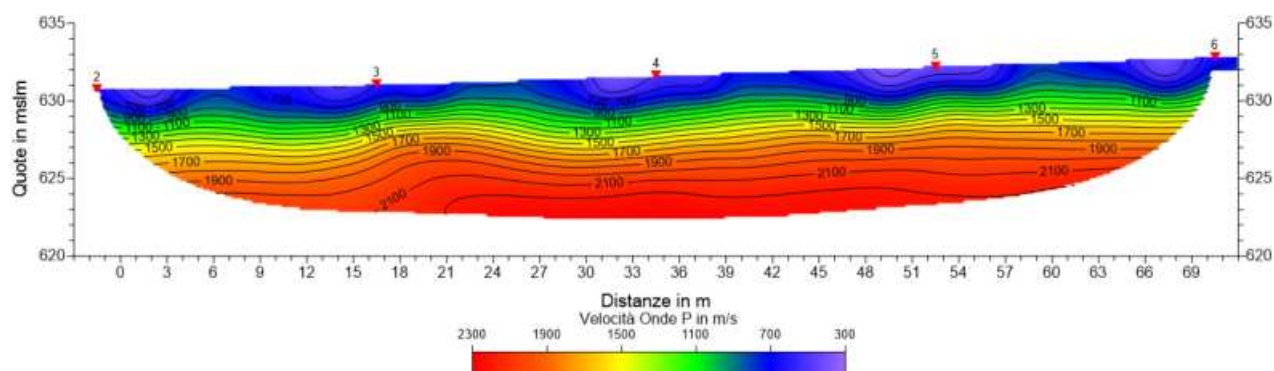
Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrito, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 420 e 660 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 140-380 m/s, con il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 2.430 e 2.700 m/s (onde P) e tra 900-1.045 m/s (onde SH).

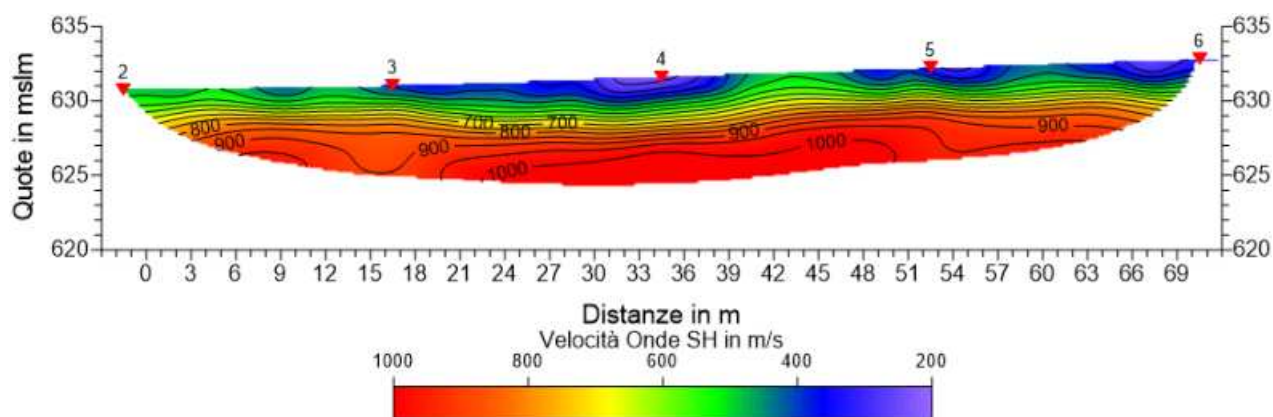
La **Sezione ST5** è stata elaborata seguendo le informazioni del GRM, che hanno permesso di ricostruire l'andamento del rifrattore principale. Il rifrattore si presenta piuttosto regolare attestandosi a profondità maggiori nel tratto centrale (prossime ai 2.20m) e lievemente inferiori nei tratti iniziale e finale, prossime a 1.40/1.80m.



Le velocità del substrato roccioso mostrano per le onde P, valori compresi 2.430 e 2.700 m/s, maggiori nei tratti iniziale e finale ed inferiori nel tratto centrale. Le velocità delle onde SH mostrano valori maggiori nei tratti iniziale e finale, rispettivamente 1.045 e 1.310 m/s ed inferiori nel tratto centrale, prossimi a 900 m/s.

L'analisi tomografica eseguita sia con onde P che con onde SH in accordo con i risultati del GRM , permette di rilevare una copertura superficiale piuttosto omogenea e compatta. Il passaggio al substrato roccioso risulta evidenziato dal raffittimento delle curve di isovelocità, a partire da quella dei 1.000 m/s onde P, mentre per le onde SH, il contatto si osserva a partire dalla curva dei 500-600 m/s.





## 5.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio ha individuato le caratteristiche geofisiche dei materiali superficiali e profondità di un'area, posta in località **PAPIANO**, nel **COMUNE PRATOVECCHIO STIA (AR)**. L'indagine geofisica di superficie, eseguita mediante sismica a rifrazione, ha permesso di identificare in profondità il passaggio tra i materiali più superficiali (terreno vegetale/detrito) ed il substrato litoide integro costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3).

Sulla base di quanto fino ad ora riportato è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive relativamente all'area in oggetto:

- I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 1.40 m e 2.25 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 1.75 m (onde P) e ca. 1.70 m (Onde SH);
- nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrito, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 420 e 660 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 140-380 m/s, con il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 2.430 e 2.700 m/s (onde P) e tra 900-1.045 m/s (onde SH).

Arezzo, lì 28/09/2015

**TRIGEO s.n.c.**  
 di Nencetti Andrea & Turchetti Benedetto  
 Via Mazzini n°16 - 52011 - SODI (AR)  
 P.IVA 02024110518  
 Tel/Fax 0575 254800 - 056 9902212  
 Cell. 339 3048117 - 328 7213823  
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

## **ALLEGATI**

### SCHEMA DELLA LINEA SISMICA ST5\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	0.0	630.80
2	3	3.0	630.85
3	6	3.0	630.90
4	9	3.0	630.95
5	12	3.0	631.00
6	15	3.0	631.05
7	18	3.0	631.10
8	21	3.0	631.20
9	24	3.0	631.30
10	27	3.0	631.40
11	30	3.0	631.50
12	33	3.0	631.60
13	36	3.0	631.70
14	39	3.0	631.80
15	42	3.0	631.90
16	45	3.0	632.00
17	48	3.0	632.10
18	51	3.0	632.20
19	54	3.0	632.30
20	57	3.0	632.40
21	60	3.0	632.50
22	63	3.0	632.60
23	66	3.0	632.70
24	69	3.0	632.80

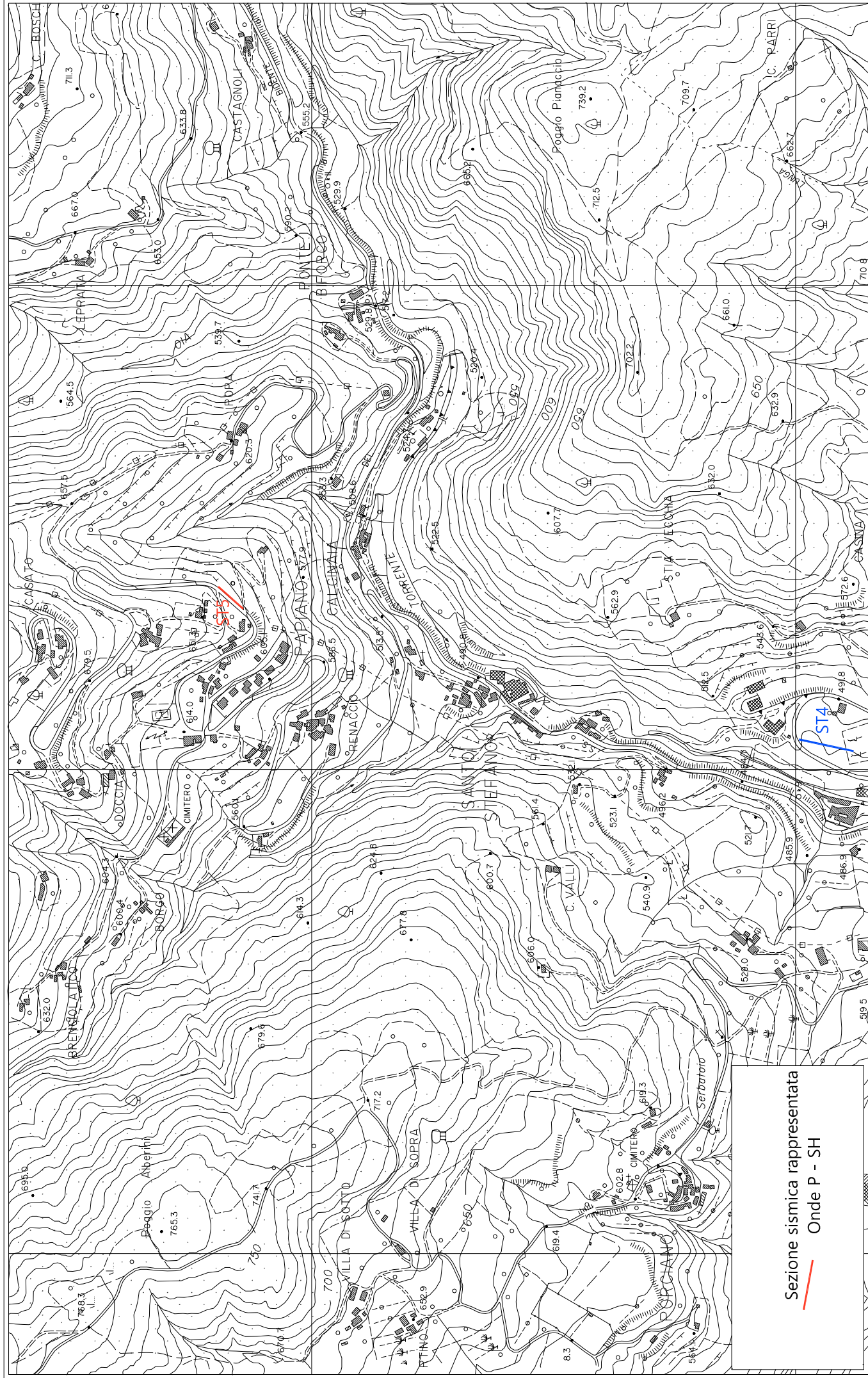
### COORDINATE GAUSS-BOAGA DEI GEOFONI 1 E 24

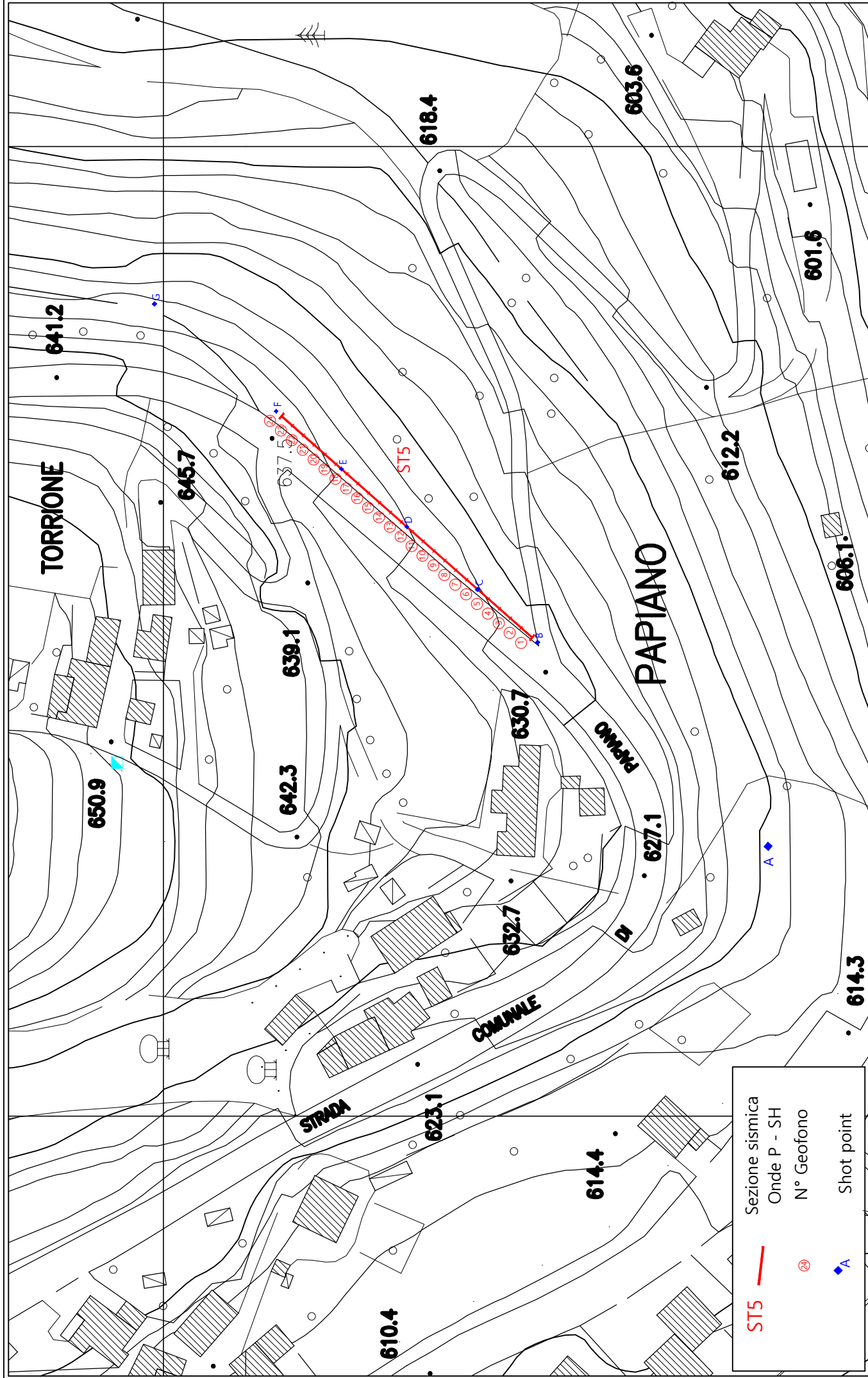
COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	4855141,22	4855192,91
Y(m)	1718331,53	1718377,23

### PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT

ONDE P	Σ ONDE SH	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.2889	DAT.2872	A - ESTERNO SX	-65.0	628.50
DAT.2890	DAT.2869	B - ESTREMO SX	-1.5	630.75
DAT.2888	DAT.2874	C - INTERMEDIO SX	16.5	631.10
DAT.2887	DAT.2876	D - CENTRALE	31.5	631.65
DAT.2886	DAT.2878	E - INTERMEDIO DX	52.5	632.25
DAT.2884	DAT.2880	F - ESTREMO DX	70.5	632.90
DAT.2883	DAT.2882	G - ESTREMO DX	104.0	628.90





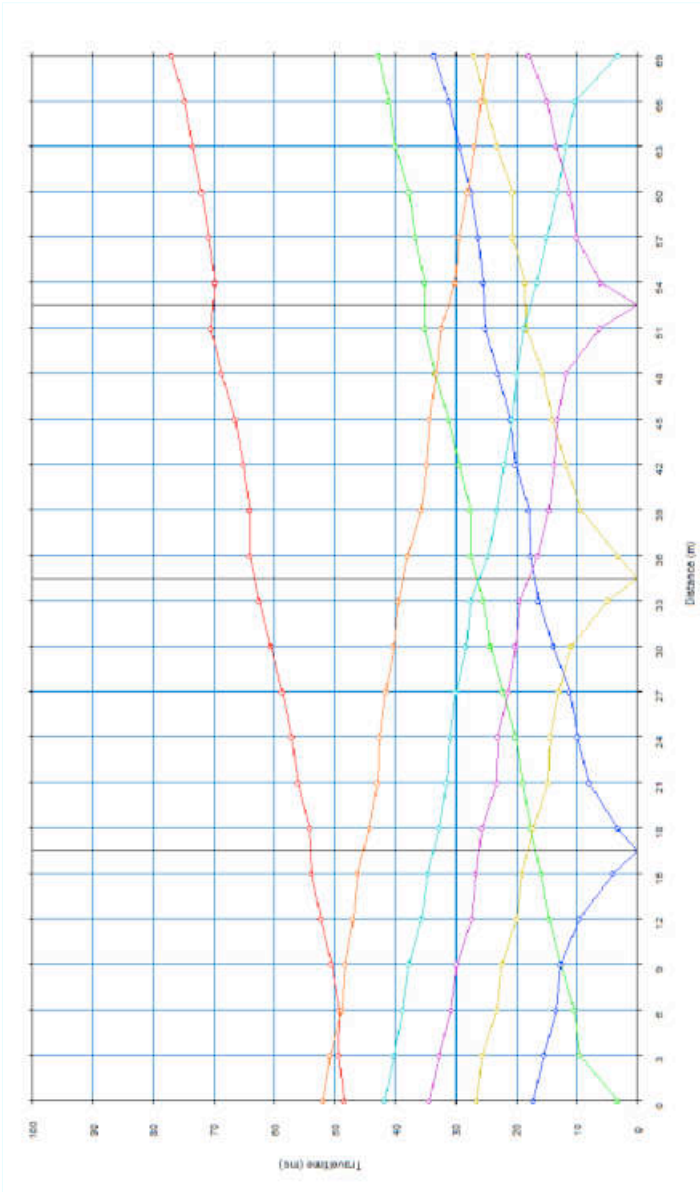


<b>ST5</b>	Sezione sismica
—	Onde P - SH
24	N° Geofono
◆ A	Shot point

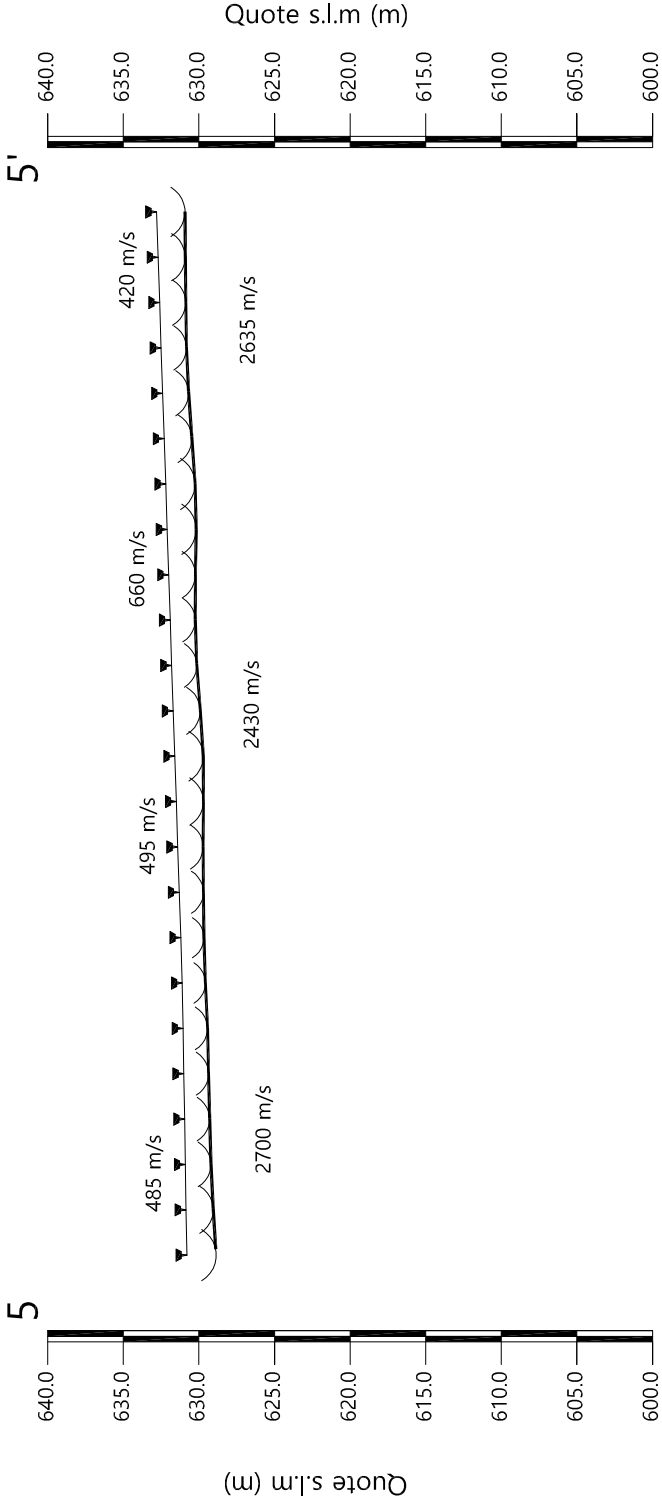
## TEMPI ONDE P – ST5\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	48.50	3.38	17.24	26.51	34.42	41.75	51.94
2	4	49.38	9.54	15.54	25.63	32.72	40.25	50.81
3	8	49.13	10.38	13.50	23.25	30.75	38.75	48.77
4	12	50.50	12.75	12.75	22.36	29.88	37.83	48.38
5	16	52.25	14.59	9.54	19.90	27.40	35.63	47.00
6	20	53.88	15.88	4.09	19.15	26.65	34.63	46.21
7	24	54.19	17.63	3.27	17.24	25.63	32.75	44.27
8	28	56.10	18.95	8.00	14.75	23.31	31.56	43.00
9	32	57.13	20.24	9.88	14.45	23.11	30.98	42.63
10	36	58.75	22.15	11.25	13.09	21.40	30.06	41.63
11	40	60.60	24.25	13.88	11.04	20.11	28.36	40.28
12	44	62.50	25.50	16.38	4.98	19.50	27.61	39.47
13	48	64.00	27.50	17.79	3.25	16.49	24.74	37.88
14	52	64.00	27.63	17.99	9.34	14.59	23.31	35.78
15	56	65.13	29.51	20.11	11.79	13.75	22.00	34.75
16	60	66.46	31.25	21.00	14.04	13.29	20.63	34.25
17	64	68.71	33.47	23.11	15.75	11.79	19.94	33.25
18	68	70.50	35.13	25.15	18.40	6.34	18.81	32.38
19	72	69.87	35.17	25.56	18.54	6.13	16.56	30.13
20	76	70.82	36.75	26.31	20.65	10.13	15.00	29.55
21	80	72.11	37.83	27.61	20.65	11.25	13.29	28.12
22	84	73.50	40.08	29.38	23.31	13.50	11.76	26.99
23	88	74.77	41.17	31.13	25.15	15.00	10.33	25.87
24	92	77.02	42.87	33.63	27.06	17.99	3.25	24.74

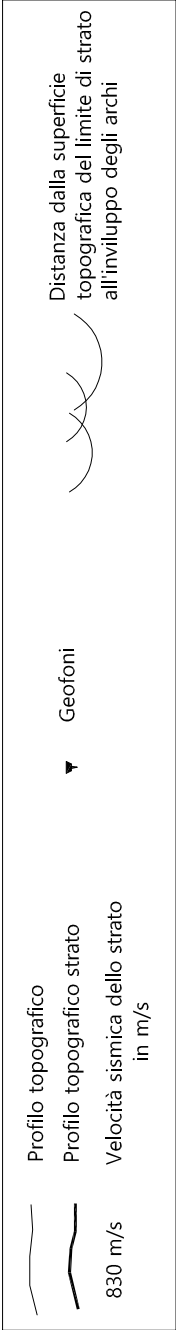
Dromocrone



Sezione sismostratigrafica - Onde P - ST5\_MS



Numero geofono	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	630.80	630.85	630.90	630.95	631.00	631.05	631.10	631.20	631.30	631.40	631.50	631.60	631.70	631.80	631.90	632.00	632.10	632.20	632.30	632.40	632.50	632.60	632.70	632.80	632.80
Quote relative (m)	1.95	1.80	1.70	1.66	1.64	1.62	1.53	1.53	1.60	1.68	1.80	1.89	1.79	1.66	1.66	1.66	1.77	1.92	1.95	1.83	1.72	1.68	1.73	1.80	1.88
Profondità da p.c. 1° rifrattore (m)	630.80	630.85	630.90	630.95	631.00	631.05	631.10	631.20	631.30	631.40	631.50	631.60	631.70	631.80	631.90	632.00	632.10	632.20	632.30	632.40	632.50	632.60	632.70	632.80	632.80



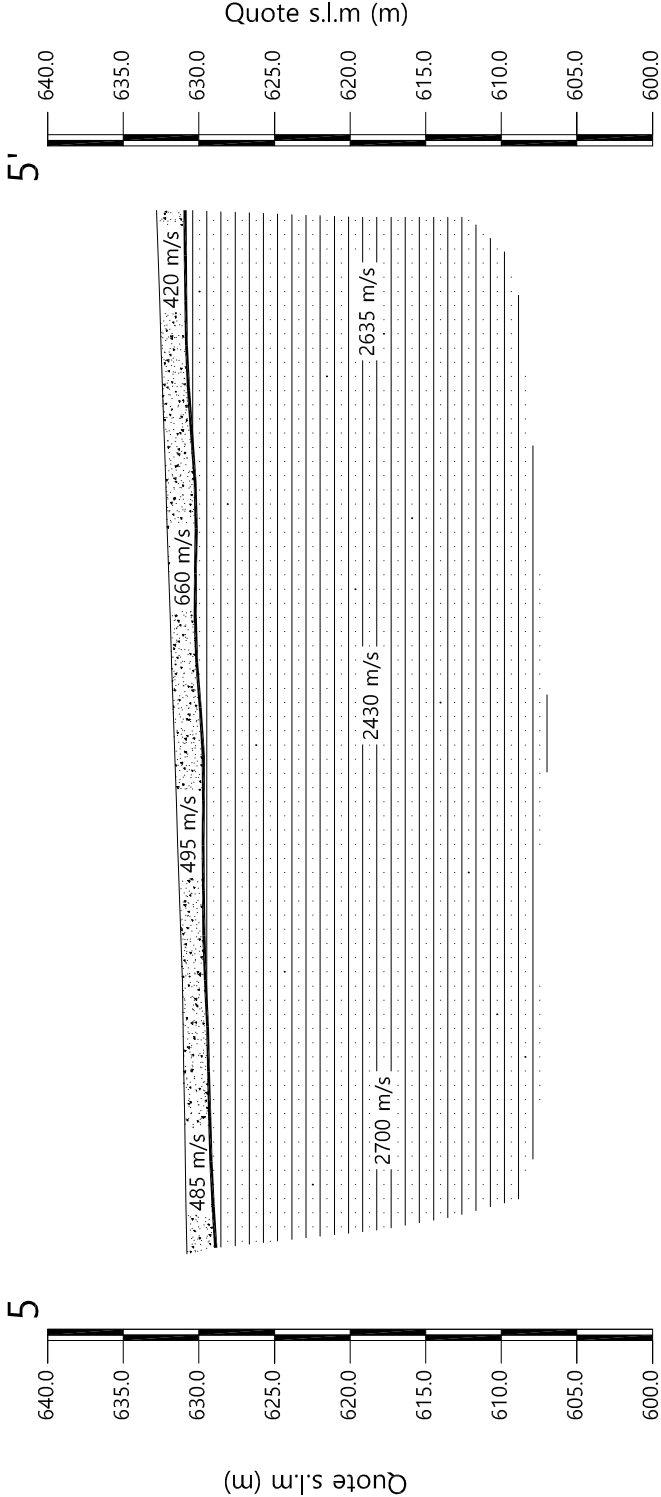
Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

Tavola 04 - Sezione sismostratigrafica - Onde P - ST5\_MS



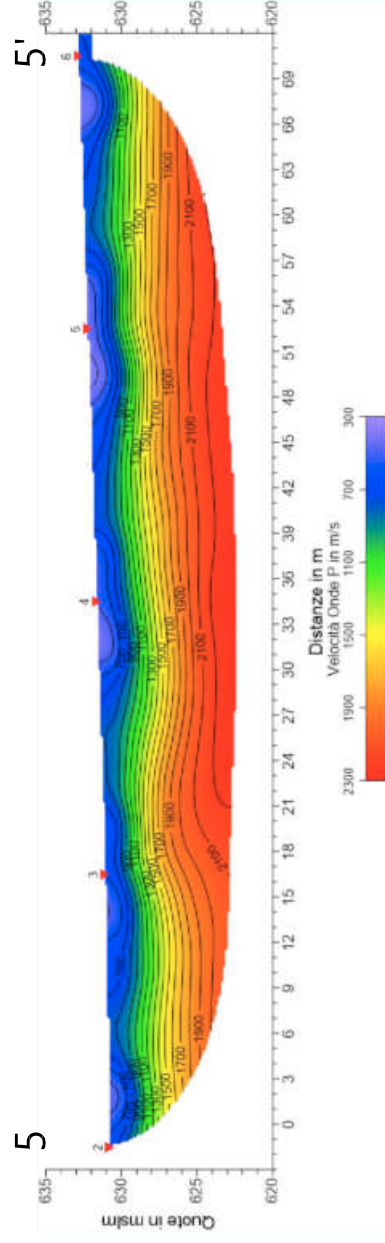
Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST5\_MS



Legenda

- Terreno vegetale / detrito
- Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3)

Sezione tomografica - Onde P - ST5\_MS



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

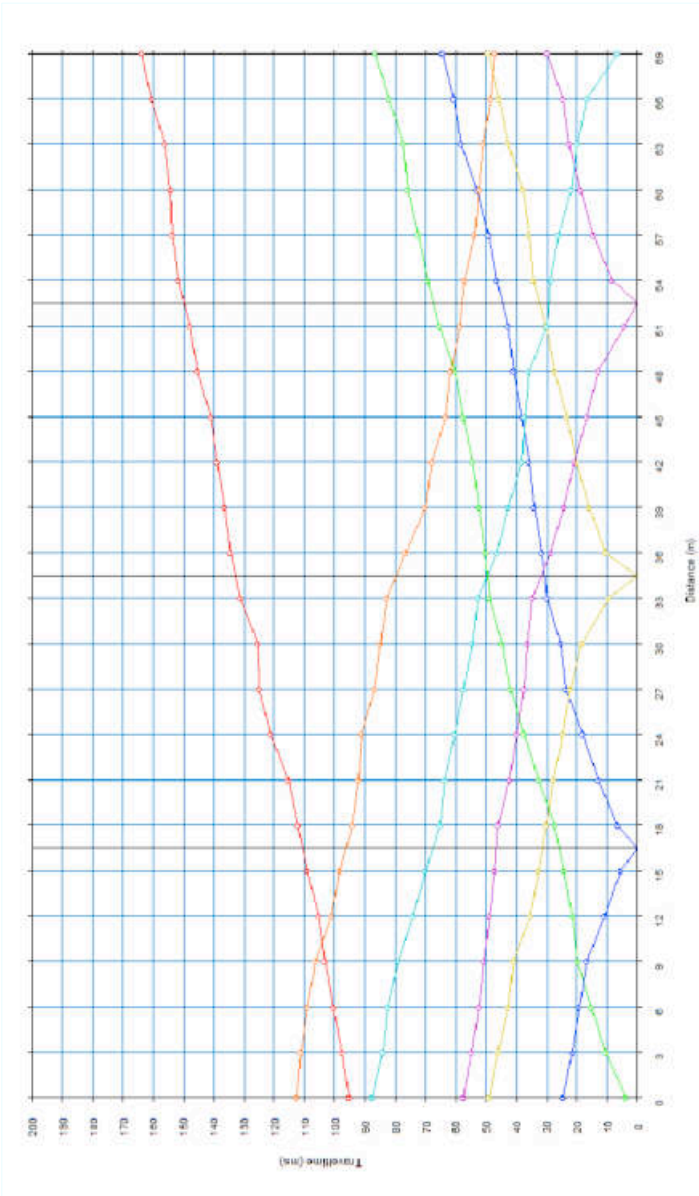
Settembre 2015

Tavola 06 - Sezione tomografica - Onde P - ST5\_MS

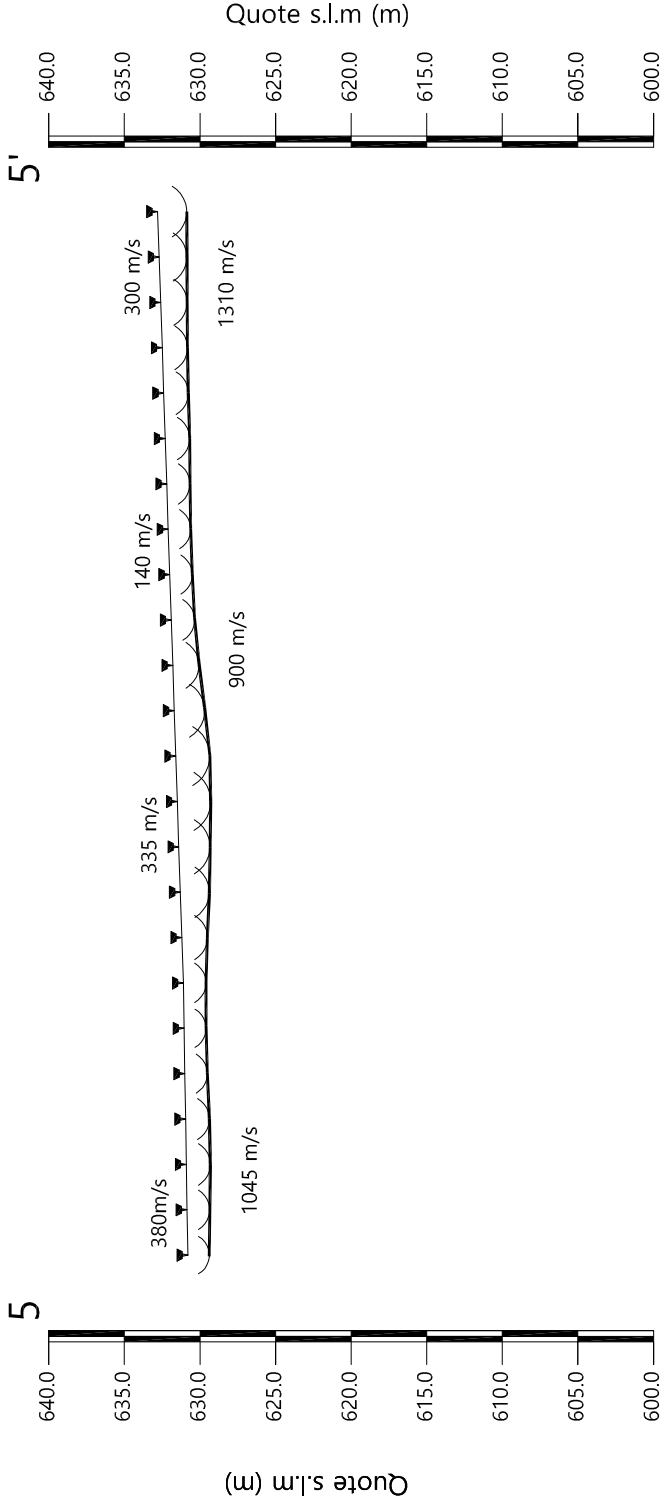
## TEMPI ONDE SH – ST5\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	95.24	3.99	24.75	49.08	57.51	87.57	112.57
2	4	97.77	10.38	21.47	46.01	54.90	84.20	111.34
3	8	100.38	15.25	19.32	42.63	52.45	82.53	109.19
4	12	103.29	19.63	16.72	40.95	50.76	79.14	106.28
5	16	105.36	21.47	10.89	35.43	49.08	74.07	101.22
6	20	109.04	24.38	5.63	32.82	47.24	70.24	98.38
7	24	112.26	27.30	6.59	30.25	46.01	65.18	94.32
8	28	115.48	32.51	12.88	27.88	42.17	63.80	92.32
9	32	121.23	37.57	18.10	24.84	39.75	60.42	91.25
10	36	125.14	42.00	23.62	22.24	37.57	57.51	87.11
11	40	125.60	44.88	25.30	18.40	36.38	54.44	85.12
12	44	131.35	49.00	29.91	9.51	34.75	52.76	82.97
13	48	134.58	50.30	31.59	10.43	28.68	46.47	76.53
14	52	136.42	52.45	34.20	15.95	24.38	42.63	70.24
15	56	138.95	54.44	35.89	20.09	21.01	38.34	68.00
16	60	141.02	57.51	38.03	23.16	16.72	37.25	63.49
17	64	145.39	60.42	40.95	27.30	12.88	35.89	61.65
18	68	147.92	65.49	42.63	30.37	4.45	30.00	58.74
19	72	151.83	69.32	46.47	34.51	8.28	28.68	57.05
20	76	153.67	72.39	49.28	35.89	14.57	26.07	53.88
21	80	154.36	75.76	53.22	37.75	18.86	21.93	52.41
22	84	156.20	77.45	58.35	42.63	22.70	19.78	51.07
23	88	160.57	82.05	60.60	45.75	24.84	16.72	48.62
24	92	163.79	86.80	64.41	49.38	29.91	6.63	47.24

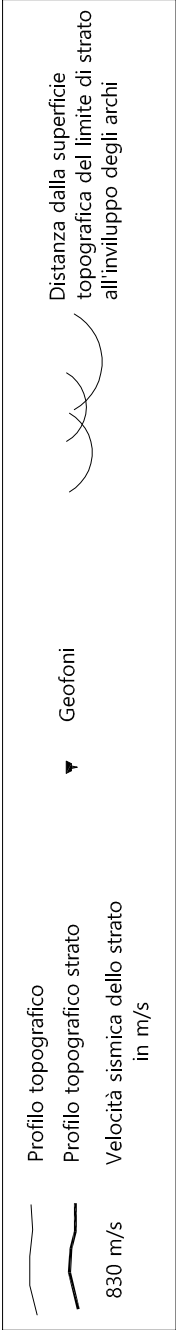
Dromocrone



Sezione sismostratigrafica - Onde SH - ST5\_MS

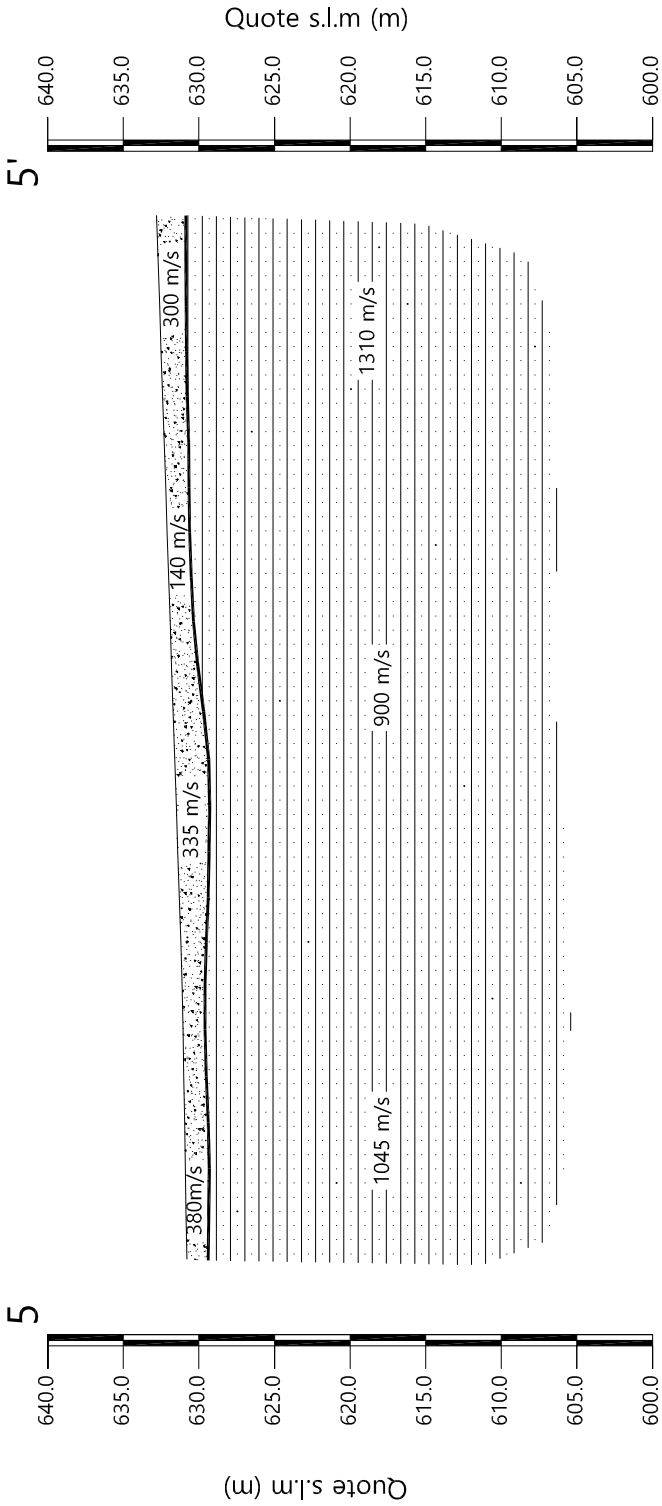


Numero geofono	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	630.80	630.85	630.90	630.95	631.00	631.05	631.10	631.20	631.30	631.40	631.50	631.60	631.70	631.80	631.90	632.00	632.10	632.20	632.30	632.40	632.50	632.60	632.70	632.80	632.90
Quote relative (m)	630.80	630.85	630.90	630.95	631.00	631.05	631.10	631.20	631.30	631.40	631.50	631.60	631.70	631.80	631.90	632.00	632.10	632.20	632.30	632.40	632.50	632.60	632.70	632.80	632.90
Profondità da p.c. 1° rifratore (m)	1.42	1.50	1.59	1.57	1.49	1.46	1.50	1.69	1.92	2.07	2.21	2.25	2.02	1.74	1.55	1.49	1.49	1.49	1.54	1.62	1.63	1.67	1.75	1.84	1.93





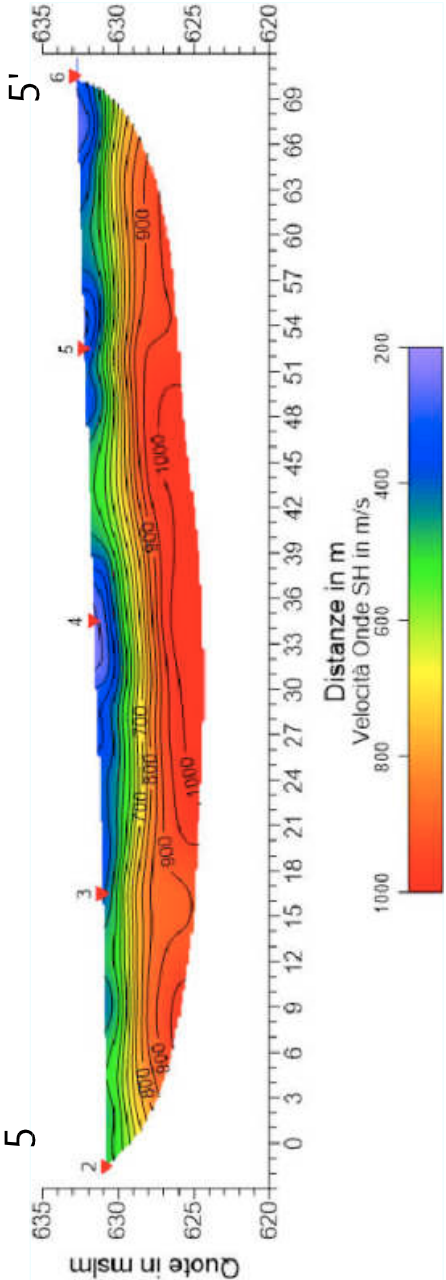
Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST5\_MS



Legenda

- Terreno vegetale / detrito
- Arenarie del Monte Falterona  
membro di Montalto (FAL3)

Sezione tomografica - Onde SH - ST5\_MS



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

Tavola 10 - Sezione tomografica - Onde SH - ST5\_MS

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST5\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	485	3230
2	4	486	3102
3	8	488	2923
4	12	489	2662
5	16	491	2438
6	20	492	2363
7	24	494	2415
8	28	495	2475
9	32	519	2445
10	36	542	2286
11	40	566	2167
12	44	563	2188
13	48	587	2405
14	52	610	2599
15	56	634	2691
16	60	660	2639
17	64	630	2819
18	68	600	2989
19	72	570	3090
20	76	540	2849
21	80	510	2569
22	84	480	2347
23	88	450	2226
24	92	420	2187

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST5\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	380	1311
2	4	373	1232
3	8	365	1115
4	12	358	1007
5	16	350	922
6	20	343	909
7	24	335	917
8	28	335	933
9	32	307	944
10	36	279	948
11	40	251	901
12	44	249	829
13	48	221	812
14	52	193	865
15	56	165	939
16	60	140	987
17	64	160	1038
18	68	180	1150
19	72	200	1370
20	76	220	1523
21	80	240	1590
22	84	260	1444
23	88	280	1272
24	92	300	1075

**PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST5\_MS – ONDE P**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	1.95
2	4	1.80
3	8	1.70
4	12	1.66
5	16	1.64
6	20	1.62
7	24	1.53
8	28	1.53
9	32	1.60
10	36	1.68
11	40	1.80
12	44	1.89
13	48	1.79
14	52	1.66
15	56	1.66
16	60	1.77
17	64	1.92
18	68	1.95
19	72	1.83
20	76	1.72
21	80	1.68
22	84	1.73
23	88	1.80
24	92	1.88

**PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST5\_MS – ONDE SH**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	1.42
2	4	1.50
3	8	1.59
4	12	1.57
5	16	1.49
6	20	1.46
7	24	1.50
8	28	1.69
9	32	1.92
10	36	2.07
11	40	2.21
12	44	2.25
13	48	2.02
14	52	1.74
15	56	1.55
16	60	1.49
17	64	1.49
18	68	1.54
19	72	1.62
20	76	1.63
21	80	1.67
22	84	1.75
23	88	1.84
24	92	1.93



Vista generale ST5\_MS da G13 verso G1.



Vista generale ST5\_MS da G11 verso G24.





Shot point B – Onde SH – ST5\_MS.



Shot point C – Onde SH – ST5\_MS



12

Shot point D –Onde SH – ST5\_MS.



Shot point C –Onde P – ST5\_MS





Shot point D –Onde P – ST5\_MS.



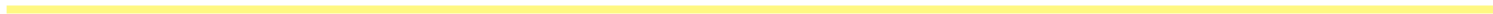
Shot point E –Onde P – ST5\_MS.

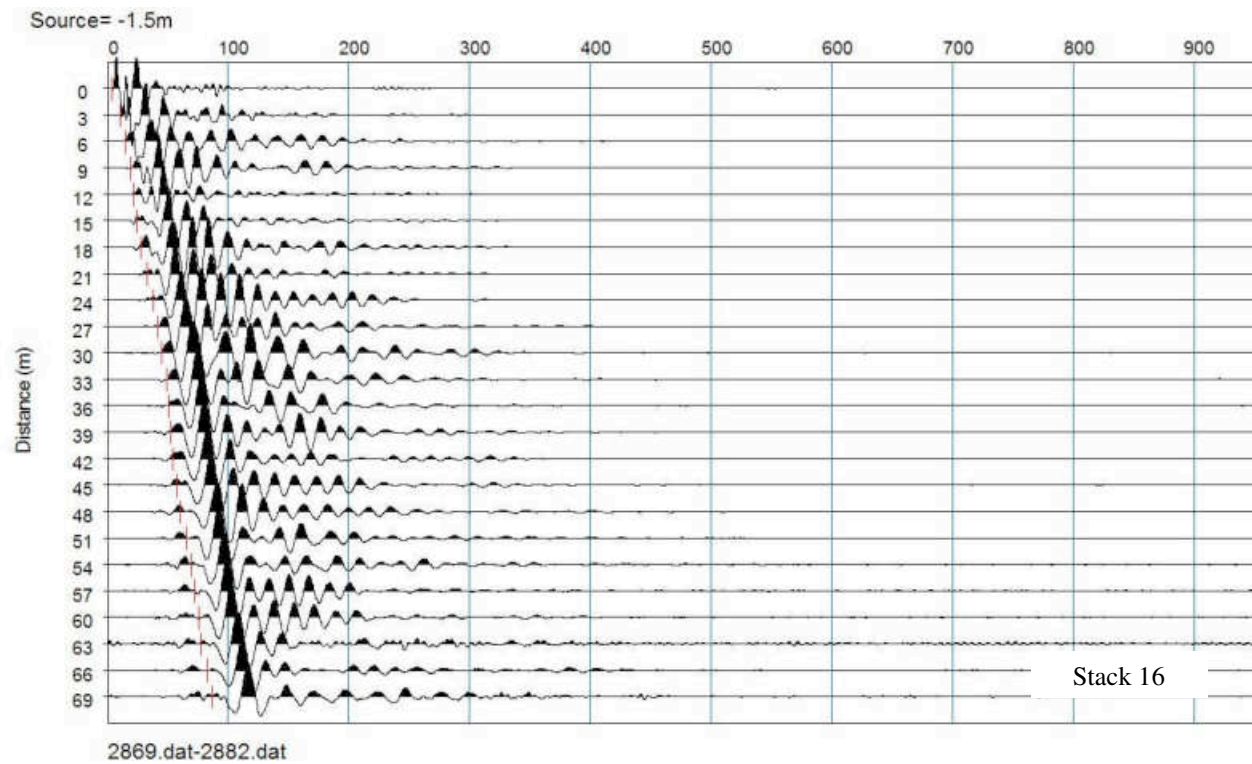
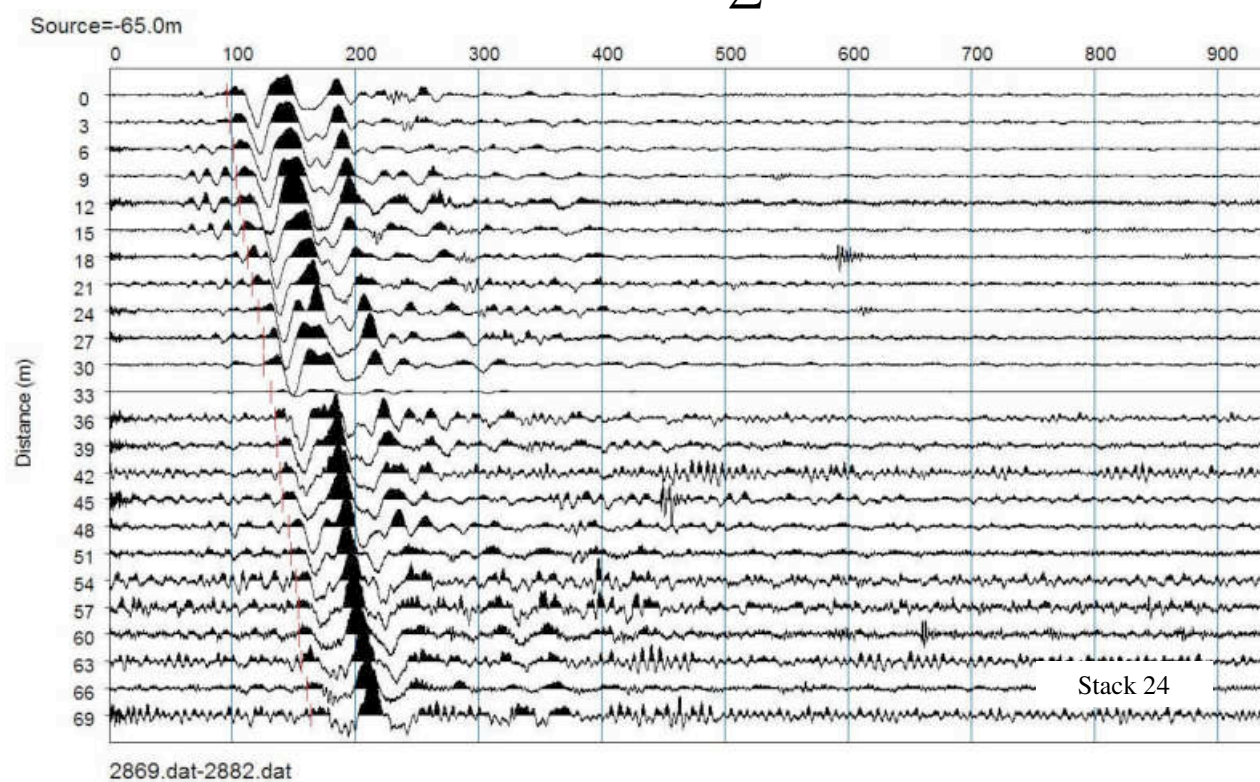


## **REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA – ST5\_MS**

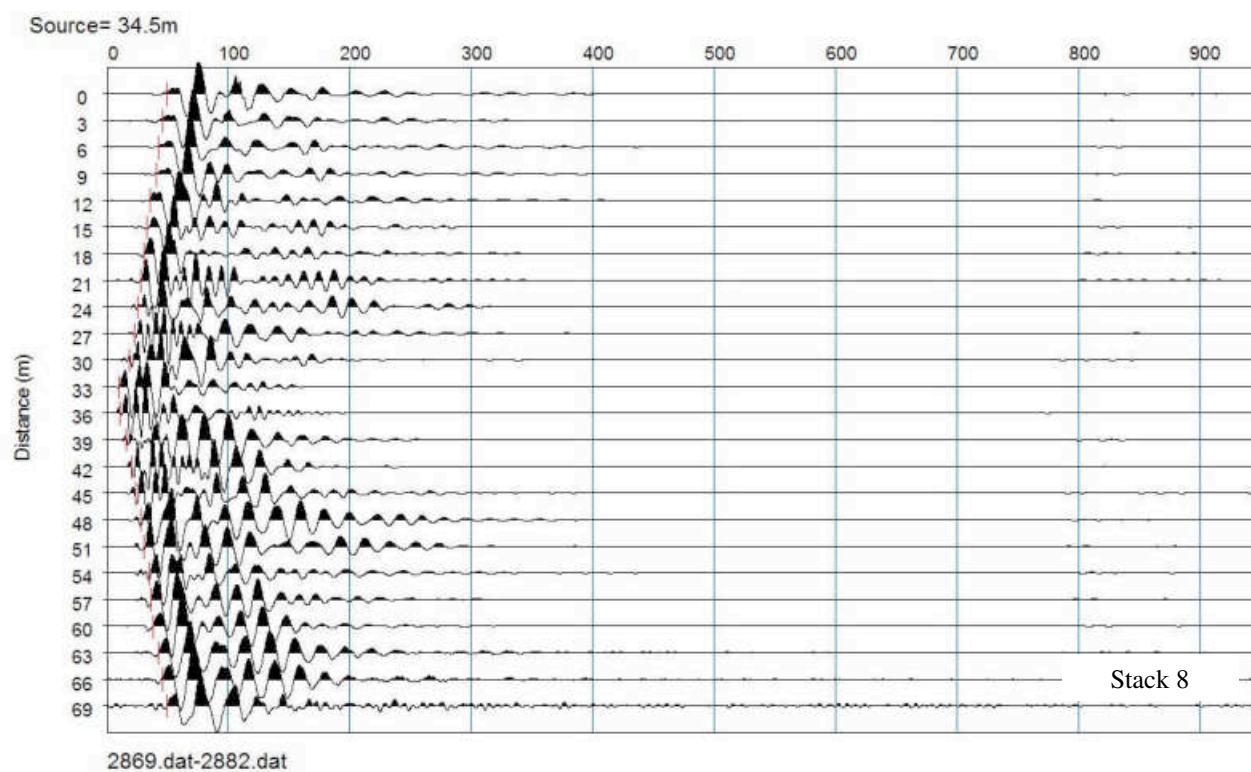
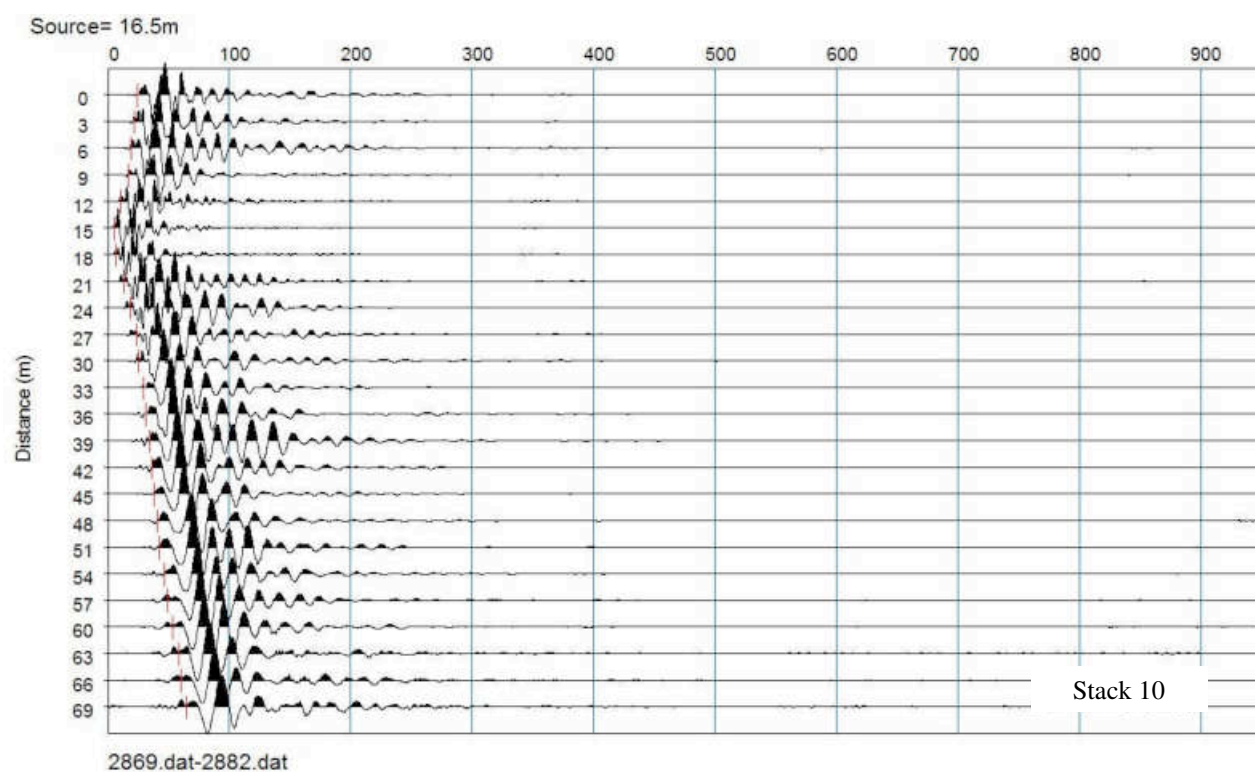
**file 2869 - 2882 Onde SH**

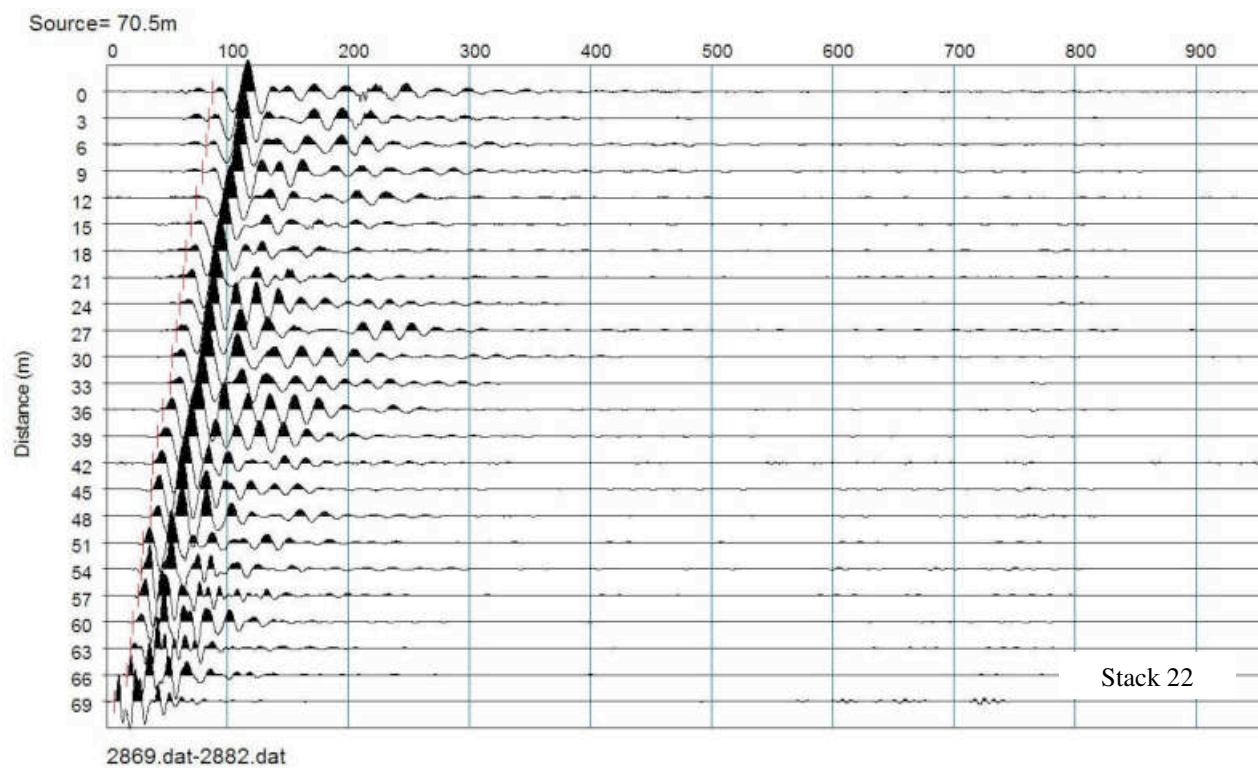
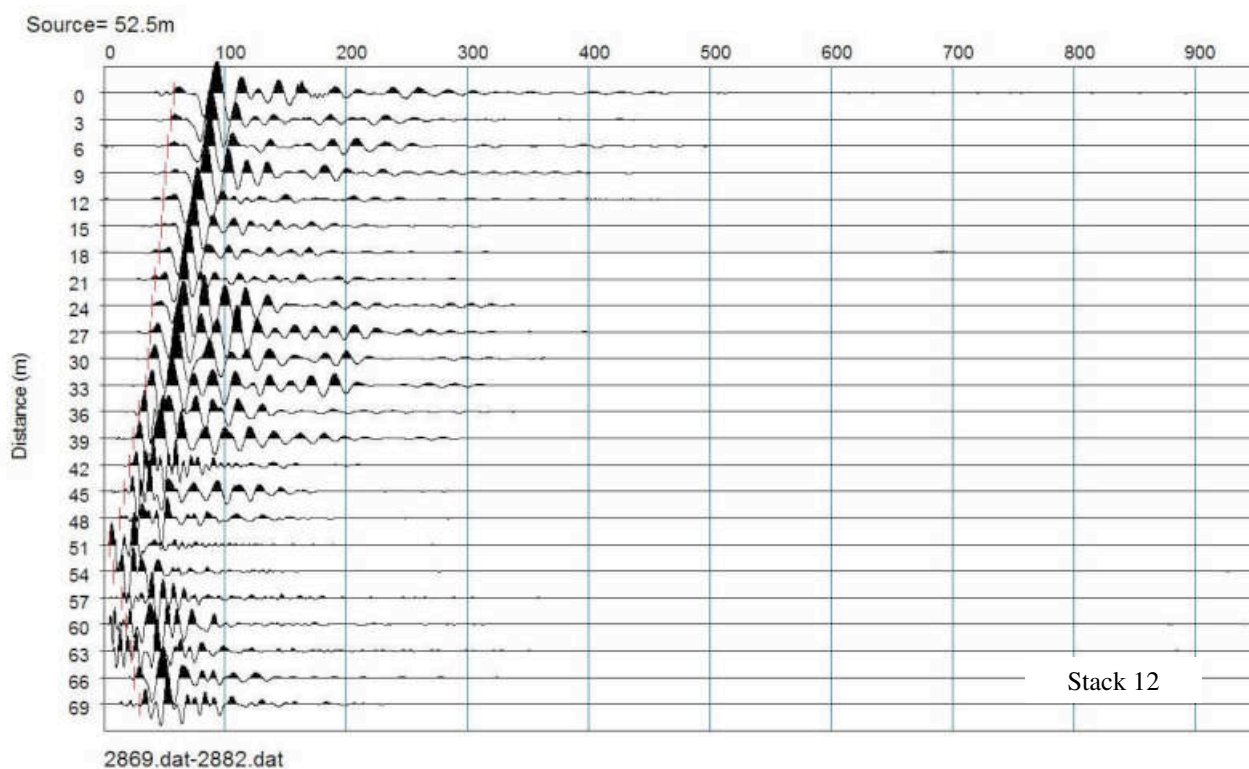
**file 2883 - 2890 Onde P**

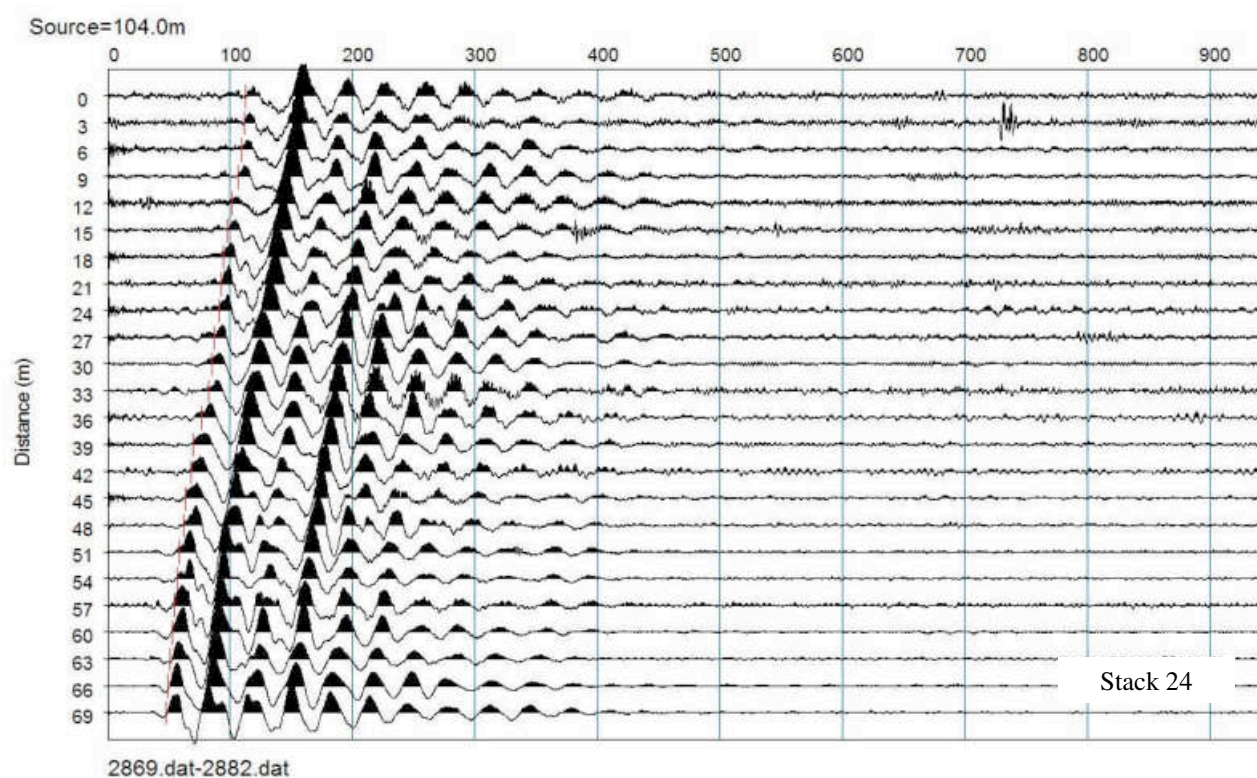


ONDE SH  $\Sigma$ 



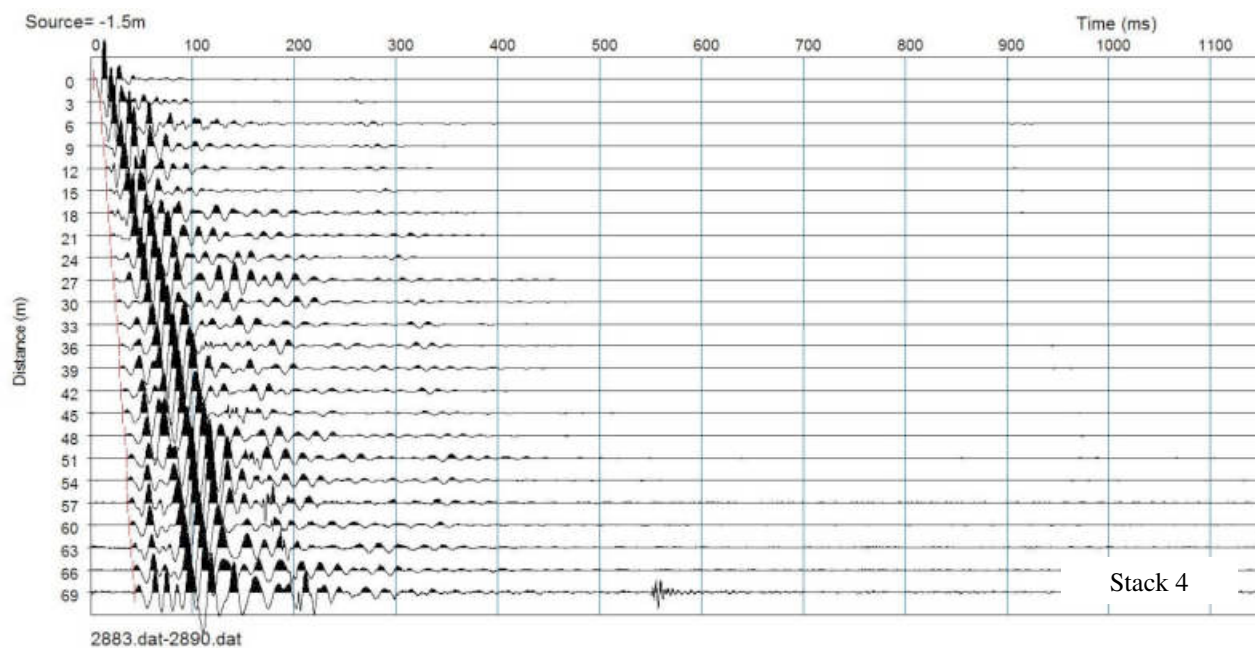
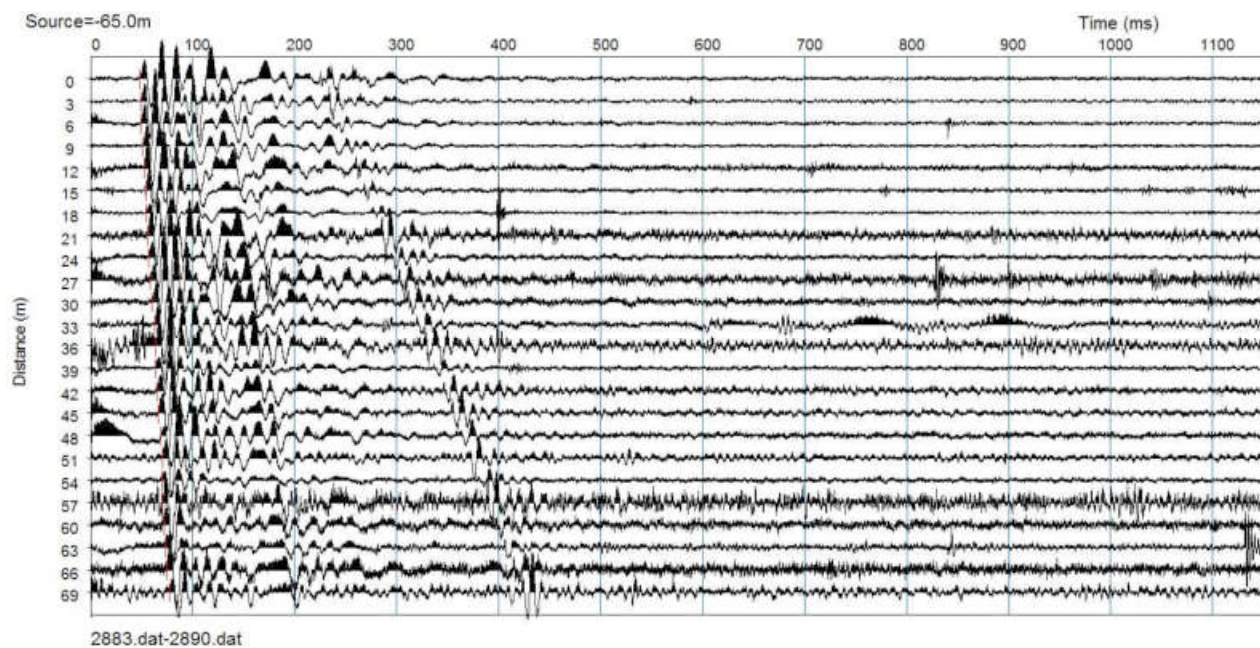


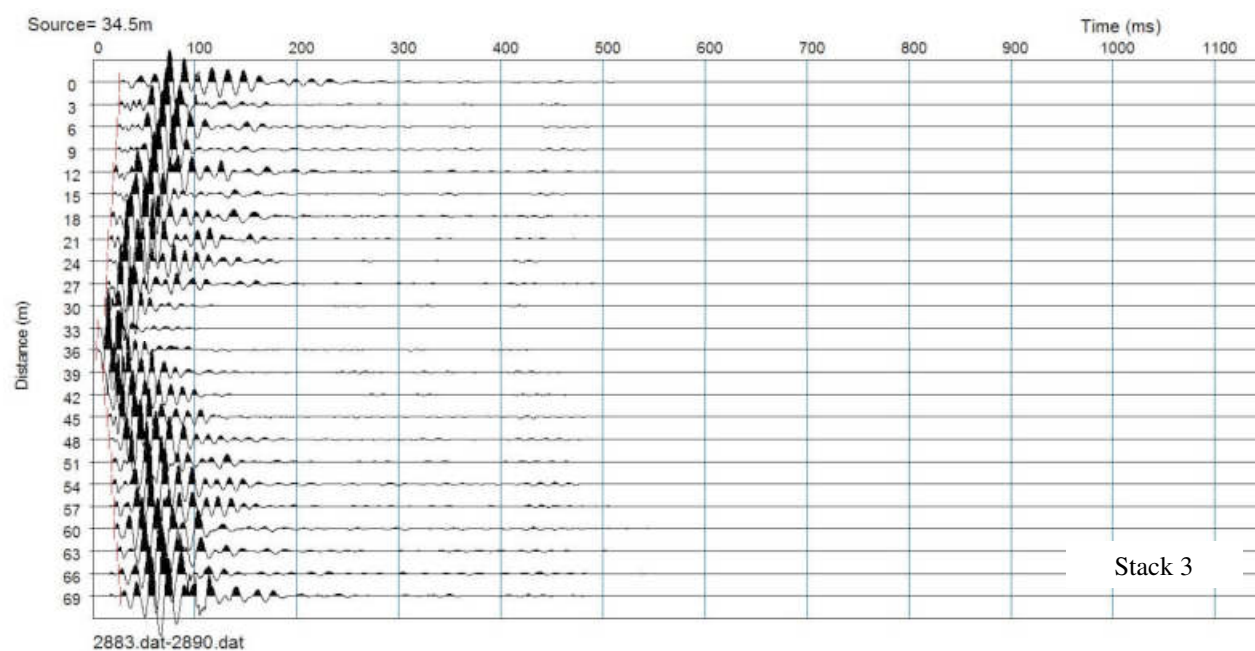
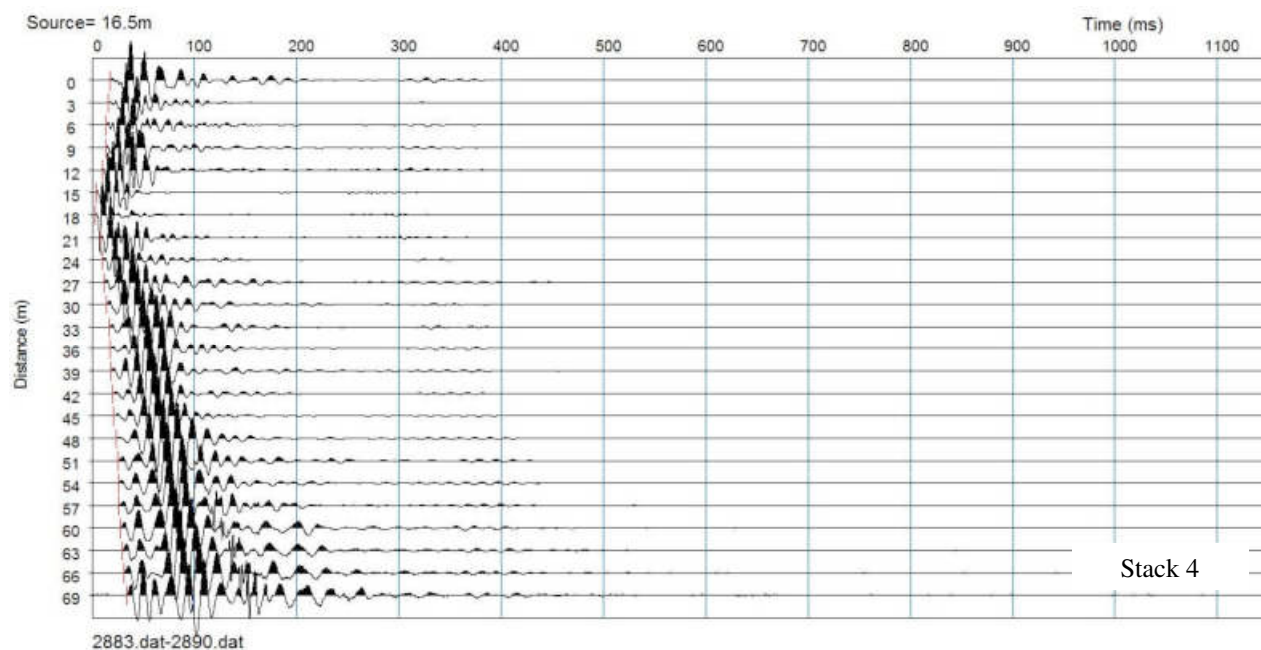




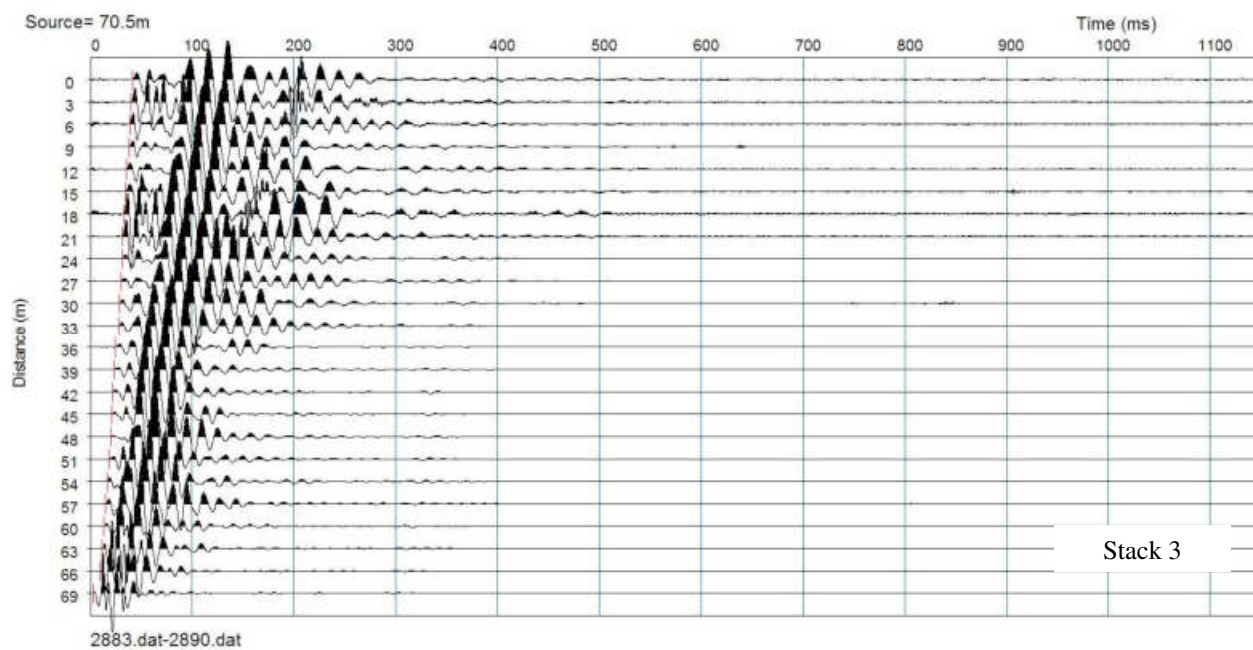
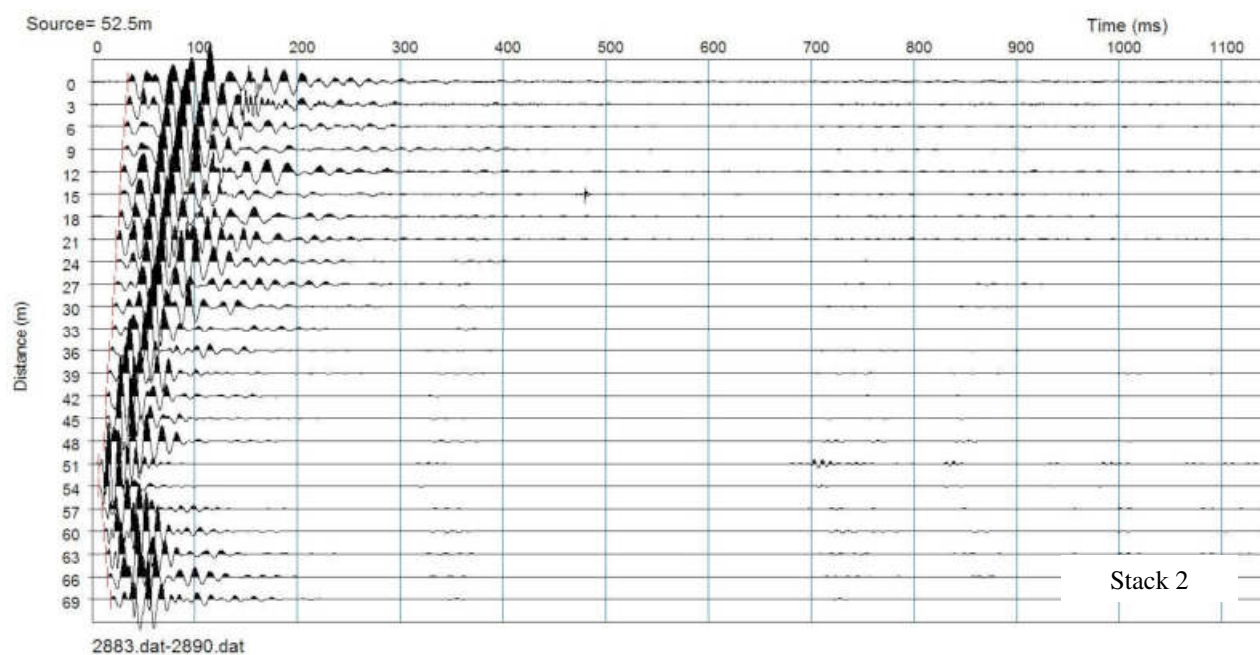


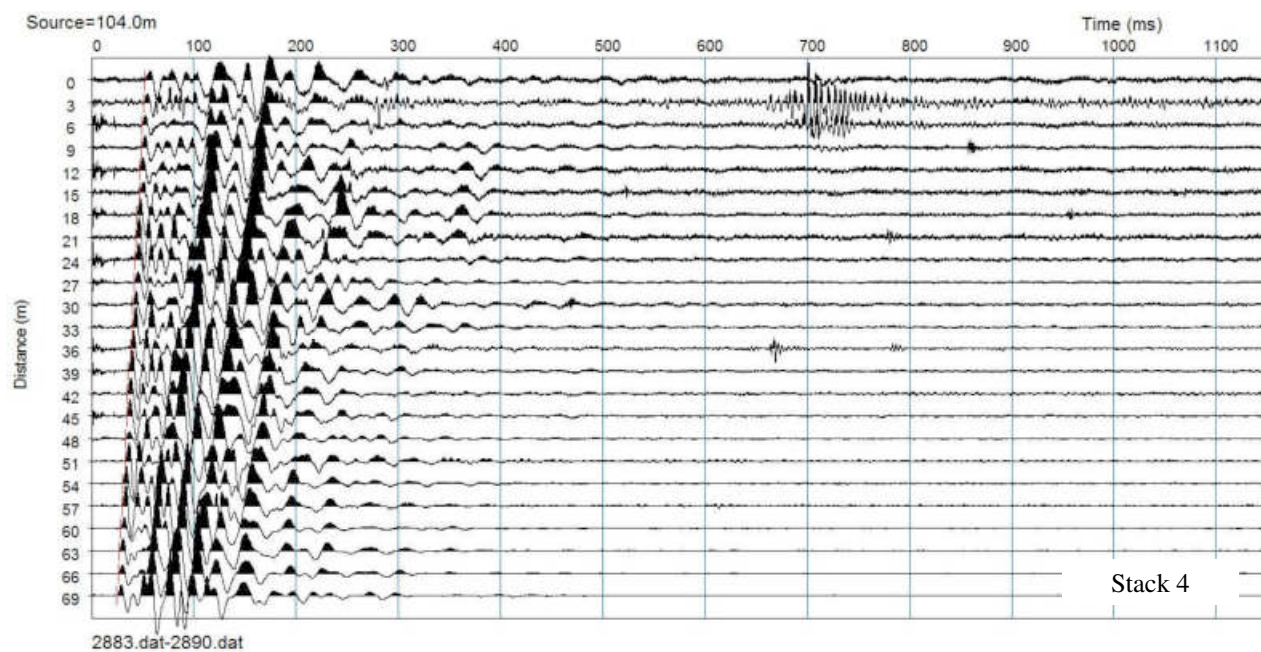
## ONDE P











### TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini  
Via Mazzini, 18  
52011 Soci (AR)  
P.IVA 02024110518  
info@trigeo.it

### FIRENZE

Via Nino Bixio, 9  
50131 Firenze  
firenze@trigeo.it  
T/F 055 400619  
M 328 7213928

### AREZZO

Via Trasimeno, 7  
52100 Arezzo  
arezzo@trigeo.it  
T/F 0575 294500  
M 339 2288117

## RELAZIONE TECNICA

### STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

**“INDAGINE GEOFISICA DI  
SUPERFICIE MEDIANTE SISMICA A  
RIFRAZIONE E TOMOGRAFIA  
SISMICA (ONDE P ED SH) LINEA  
SISMICA ST6 - PORCIANO”**

## COMMITTENTE : COMUNE DI PRATOVECCHIO-STIA

29 - SETTEMBRE - 2015



CERTIFICATO  
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE  
NON DISTRUTTIVE E  
SEMIDISTRUTTIVE  
NEL SETTORE CIVILE



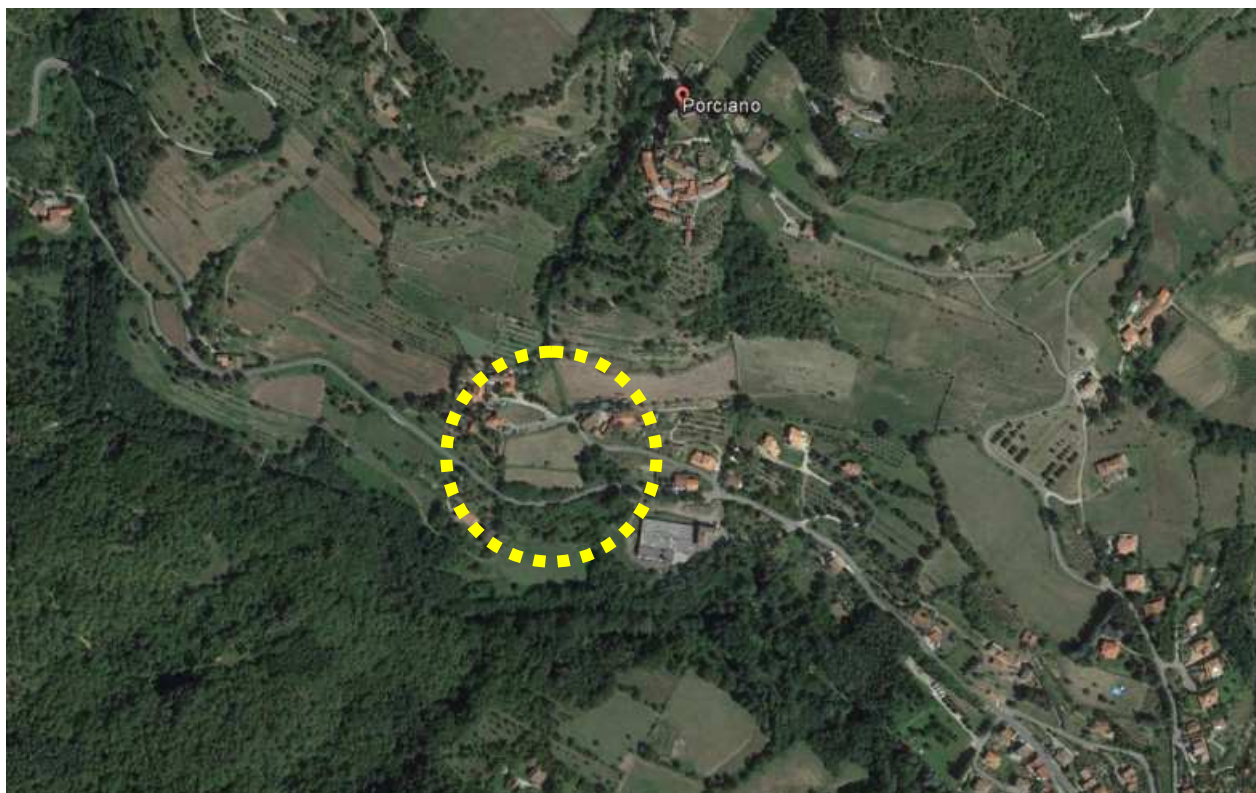
WWW.TRIGEO.IT

## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.0 SCHEMA OPERATIVO</b>	<b>5</b>
<b>2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA</b>	<b>5</b>
<b>3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI</b>	<b>7</b>
<b>4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA</b>	<b>8</b>
<b>5.0 CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>10</b>
<b>ALLEGATI</b>	<b>11</b>

## INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Settembre 2015, mediante sismica a rifrazione onde P ed onde SH (acquisizione ed elaborazione dati con metodologia tomografica), per conto del **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)**.



**Figura 1:** Area d'intervento: Linea ST6 Loc. Porciano – Prato Vecchio Stia (AR).

L'indagine sismica, viene eseguita nei pressi dell'abitato di **PORCIANO - PRATOVECCHIO STIA (AR)**. Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una prospezione geofisica mediante sismica a rifrazione tesa a fornire, lungo la sezione, convenuta con la committenza, una caratterizzazione delle litologie presenti nell'area d'indagine nonché determinare le geometrie (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo dei terreni in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P e di taglio SH. I dati ottenuti sono stati elaborati sia con la metodologia classica della rifrazione (GRM) che con la metodologia tomografica che permette di ottenere, attraverso un maggior numero di "energizzazioni" (7 per ciascun stendimento) ed un opportuno software di elaborazione, un'ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura.



L'acquisizione delle onde SH combinate alle onde di compressione consente di ottenere i principali parametri elastico/dinamici e di fornire i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), così come richiesto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

La relazione tecnica riferisce sui risultati ottenuti dall'indagine sismica a rifrazione mediante Onde P e SH ed è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale del profilo sismico **ST6** eseguito, scala 1:10.000 (da CTR 1:10.000);
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **ST5** eseguito, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate;
- Schema dettagliato della linea sismica con posizionamento relativo dei geofoni (quote-distanze), coordinate in Gauss-Boaga dei geofoni iniziale e finale e punti di energizzazioni (quote-distanze);
- **Tabelle Tempi di arrivo Onde P e SH** relativi ai vari scoppi, con riportati posizione, tempo di arrivo e quota di ciascun geofono;
- **Tavole 03-07:** Diagrammi Tempi d'arrivo-Distanze (Dromocrone) Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 04-08:** Grafici delle profondità dei rifrattori individuati (sezione sismostratigrafica) e tabelle Distanze-Profondità Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 05-09:** Sezioni litostratigrafiche interpretative onde P-SH, scala 1:500;
- Tabelle Profondità calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- Tabelle Velocità sismiche calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- **Tavole 06-10:** Sezioni tomografiche onde P-SH, scala 1:500;
- Documentazione fotografica della linea sismica;
- Stampe delle registrazioni di campagna.

Di seguito viene descritto, lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

## 1.0 SCHEMA OPERATIVO

Nella **Tavola 01**, è stato riportato un inquadramento corografico generale in scala 1:10.000 con inserita la sezione sismica eseguita. Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, con inserita la sezione sismica eseguita, la posizione di ogni singolo geofono e l'ubicazione di ogni punto di energizzazione (shot point).

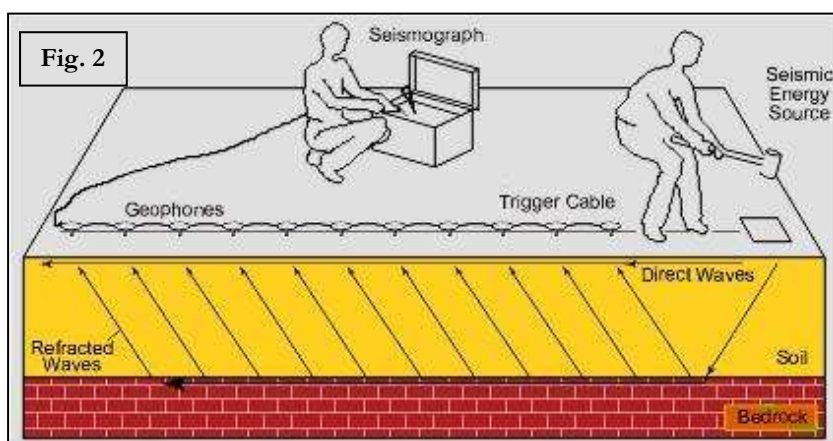
Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di 3 m per la sezione eseguita sia con onde P che con onde SH. Complessivamente sono stati acquisiti **138 ml** di rilievo suddivisi in 2 basi di **69 ml** (Onde P-SH).

## 2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 2**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.

Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: **A/D Conversion:** 24 bit; **Dynamic Range:** 144 dB; **Distortion:** 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; **Bandwidth:** 1.75 Hz to 20 kHz; **Common Mode Rejection:** > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; **Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; **Noise Floor:** 0.2uV, RFI at 2 ms, 36



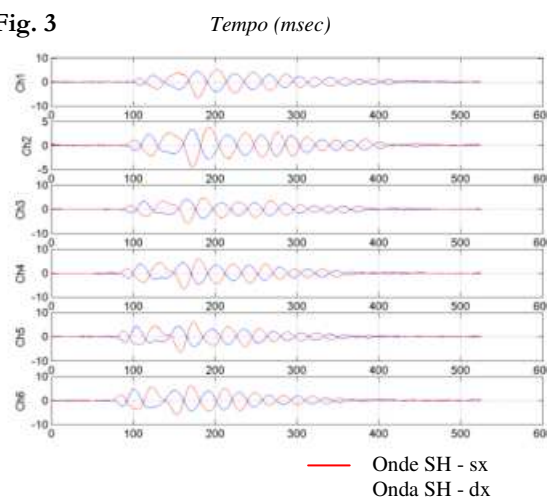
dB, 1.75 to 208 Hz; **Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval; **Maximum Input Signal:** 2.8 VPP; **Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uf; **Preamplifier Gains;** **Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency; **Sample Interval:** 0.02 to 16.0 ms; **Record Length:** 16,000 samples; **Acquisition and Display Filters:** *LowCut, Notch, HighCut*; **Data Formats:** SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali ed orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e nel caso dei geofoni orizzontali dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza generalmente una trave di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato nel nostro caso dalla stessa autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase (**Fig. 3**). Ogni energizzazione viene registrata sull'Hard Disk sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il *Generalized Reciprocal Method* (GRM) che consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati fino ad angoli superiori a 20 gradi. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti sono dei casi particolari.

Fig. 3



Oltre al GRM, in alcuni casi, è stato utilizzato, per conferma e confronto, un algoritmo di inversione che usa il *delay-time method* per ottenere un primo modello approssimato in profondità, che viene quindi affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna ed il corrispondente modello di profondità. In questo caso specifico è stato utilizzato come sistema di elaborazione principale il *delay-time method* affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed il GRM come verifica e conferma dei risultati ottenuti.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme. Infine sono stati calcolati i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), come richiesto dalla nuova "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

### 3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nelle **Tavole 03-07** sono rappresentate, le curve tempi-distanze, Dromocrone, che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna (onde P-SH). Nel diagramma tempi-distanze, in ascisse, in scala 1:500 sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento e, in ordinate, i tempi di arrivo, espressi in millisecondi agli stessi sensori.

Nelle **Tavole 04-08**, sono state riportate le sezioni sismostratigrafiche ottenute (onde P-SH), al di sotto della superficie topografica l'inviluppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato.

Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'inviluppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Nelle **Tavole 05-09** sono riportate le sezioni interpretate (sezioni litostratigrafiche) sulla base sia dei dati ottenuti (sezioni sismostratigrafiche), sia di considerazioni geologiche generali relative alla zona in esame che sulla base dei dati forniti dal tecnico incaricato.

Infine nelle **Tavole 06-10** abbiamo le sezioni tomografiche interpretate realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. La scala in falsi colori presente, esprime i valori di velocità all'interno della sezione.

Le sezioni litostratigrafiche interpretate assieme alle sezioni tomografiche, rappresentano il risultato conclusivo dell'analisi dei dati sintetizzati nelle tavole e tabelle allegate.

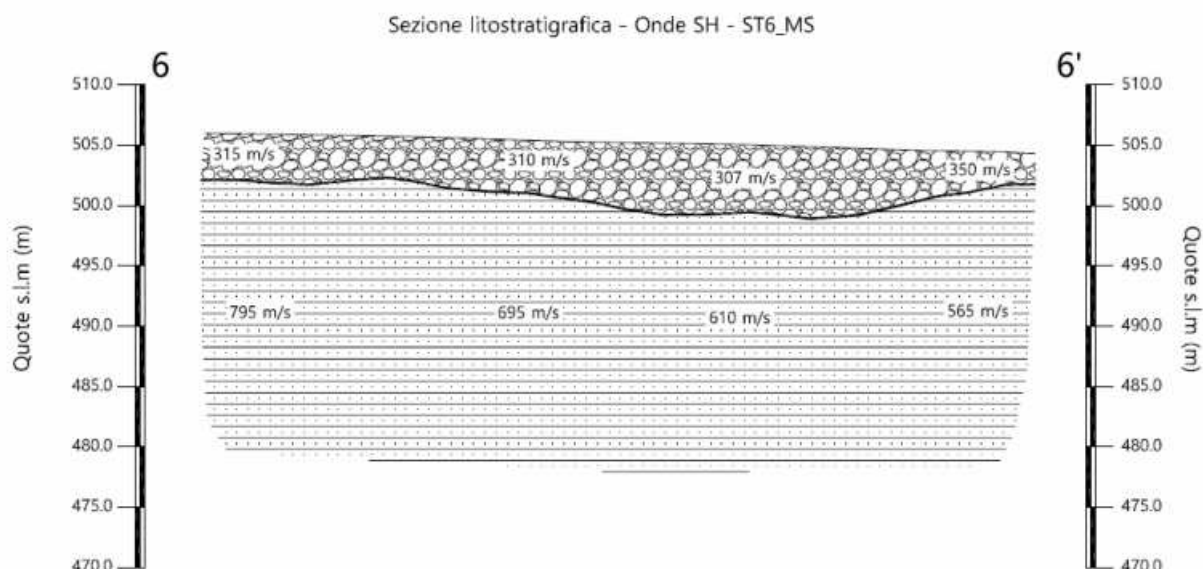
#### 4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 2.20 m e 6.00 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 4.50 m (onde P) e ca. 3.60 m (Onde SH).

Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrito, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 570 e 705 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 307-350 m/s, con il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 2.130 e 2.390 m/s (onde P) e tra 565-795 m/s (onde SH).

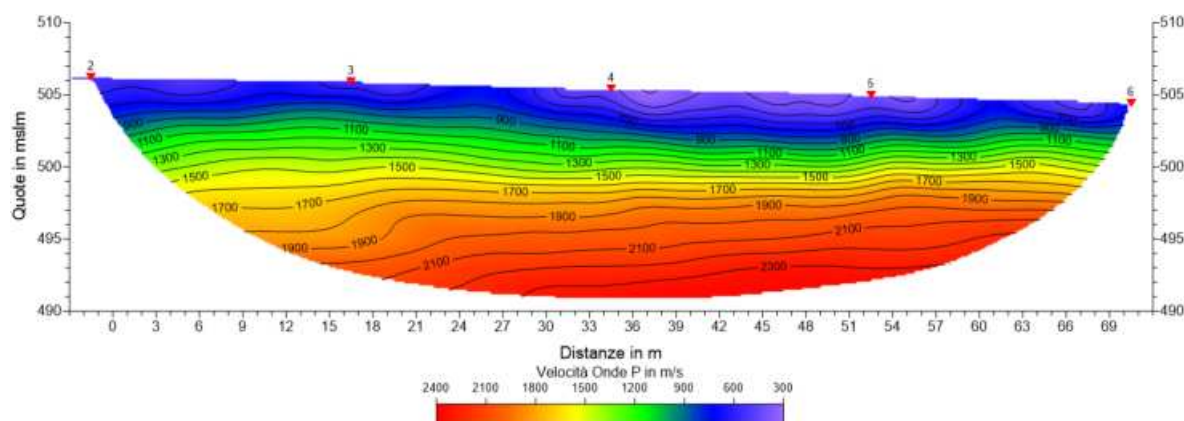
La **Sezione ST6** è stata elaborata seguendo le informazioni del GRM, che hanno permesso di ricostruire l'andamento del rifrattore principale. Il rifrattore mostra un andamento piuttosto irregolare attestandosi a profondità maggiori nel tratto centrale (prossime ai 6.00 m) ed inferiori nei tratti iniziale e finale, prossime a 2.50/4.50m.

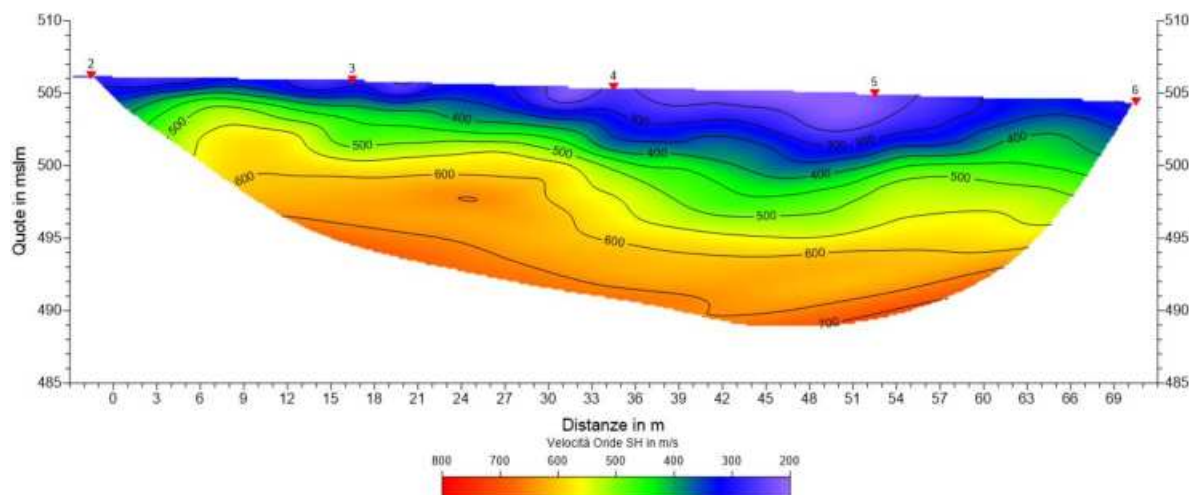




Le velocità del substrato roccioso mostrano per le onde P, valori compresi 2.130-2.390 m/s, decrescenti lungo la linea con valori minori nel tratto finale ( prossimi a 2.130 m/s). Le velocità delle onde SH mostrano anch'esse valori decrescenti con velocità che passano da 795 m/s a 565 m/s.

L'analisi tomografica eseguita sia con onde P che con onde SH in accordo con i risultati del GRM , permette di rilevare una copertura superficiale piuttosto omogenea e compatta, con spessori maggiori nel tratto centrale (più evidente nell'elaborazione con onde SH). Il passaggio al substrato roccioso risulta evidenziato dal raffittimento delle curve di isovelocità, a partire da quella dei 900-1.000 m/s onde P, mentre per le onde SH, il contatto si osserva a partire dalla curva dei 400-500 m/s.





## 5.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio ha individuato le caratteristiche geofisiche dei materiali superficiali e profondità di un'area, posta in località **PORCIANO**, nel **COMUNE PRATOVECCHIO STIA (AR)**. L'indagine geofisica di superficie, eseguita mediante sismica a rifrazione, ha permesso di identificare in profondità il passaggio tra i materiali più superficiali (terreno vegetale/detrito) ed il substrato litoide integro costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3).

Sulla base di quanto fino ad ora riportato è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive relativamente all'area in oggetto:

- I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di una superficie rifrangente principale che si localizza a profondità comprese tra 2.20 m e 6.00 m (onde P ed onde SH). I valori medi di profondità della superficie individuata, rispetto al p.c., sono rispettivamente di ca. 4.50 m (onde P) e ca. 3.60 m (Onde SH);
- nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale/detrito, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 570 e 705 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 307-350 m/s, con il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 2.130 e 2.390 m/s (onde P) e tra 565-795 m/s (onde SH).

Arezzo, lì 29/09/2015

TRIGEO s.n.c.  
di Nenetti Andrea e Turchetti Benedetto  
Via Mazzini n°16 - 52011 - SODI (AR)  
P.IVA 02026110518  
Tel/Fax 0575/254800 - 056 9902212  
Cell. 339 9558117 - 328 7213623  
www.triggeo.it - info@triggeo.it

## ALLEGATI

### SCHEMA DELLA LINEA SISMICA ST6\_MS

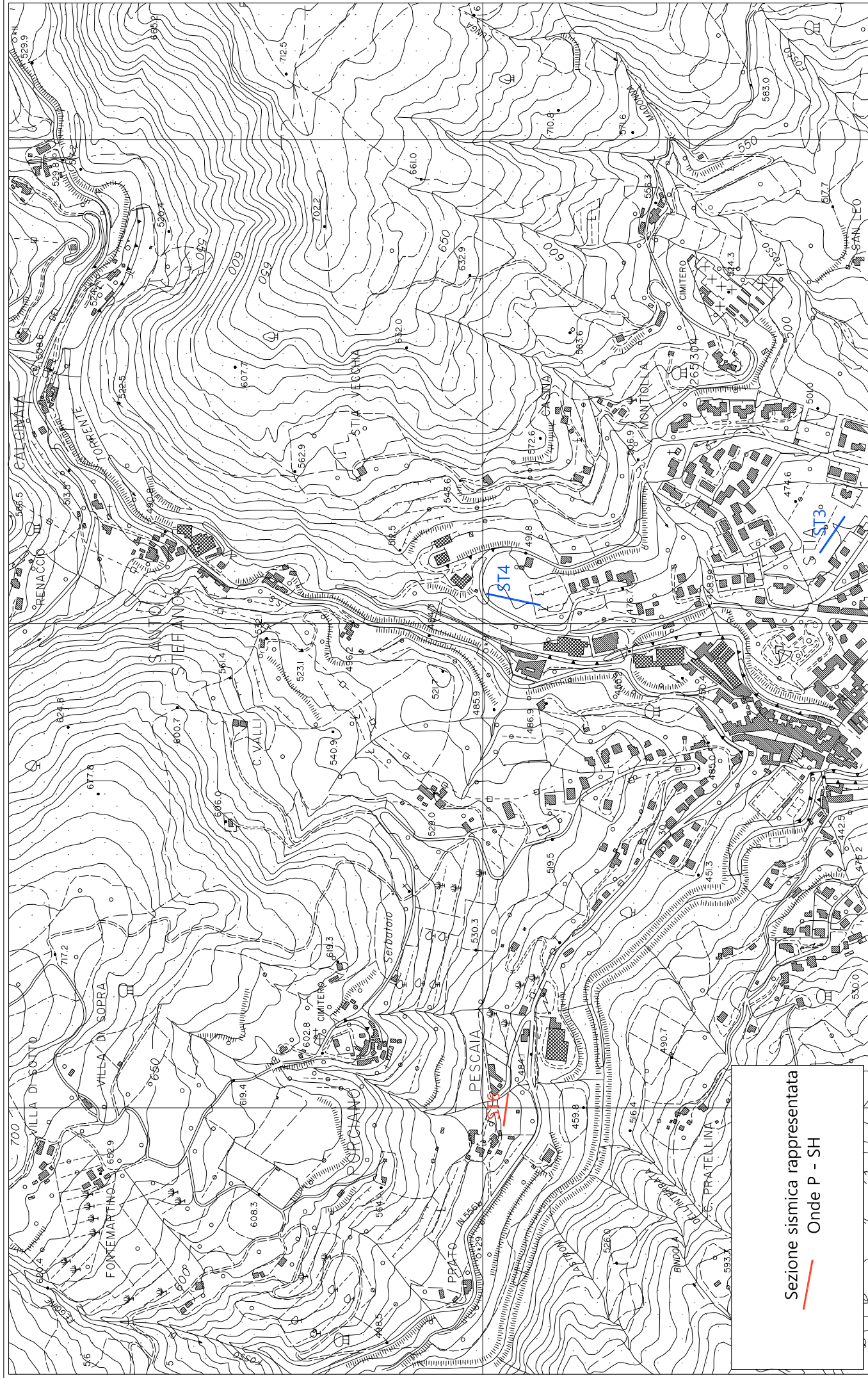
GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	0.0	506.20
2	3	3.0	506.15
3	6	3.0	506.10
4	9	3.0	506.05
5	12	3.0	506.00
6	15	3.0	505.95
7	18	3.0	505.90
8	21	3.0	505.80
9	24	3.0	505.70
10	27	3.0	505.60
11	30	3.0	505.50
12	33	3.0	505.45
13	36	3.0	505.40
14	39	3.0	505.35
15	42	3.0	505.30
16	45	3.0	505.25
17	48	3.0	505.15
18	51	3.0	505.05
19	54	3.0	504.95
20	57	3.0	504.85
21	60	3.0	504.75
22	63	3.0	504.70
23	66	3.0	504.65
24	69	3.0	504.50

### COORDINATE GAUSS-BOAGA DEI GEOFONI 1 E 24

COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	4853956,46	4853947,39
Y(m)	1716961,44	1717029,84

### PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT

ONDE P	Σ ONDE SH	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.2906	DAT.2905	A - ESTERNO SX	-45.0	506.80
DAT.2907	DAT.2893	B - ESTREMO SX	-1.5	506.20
DAT.2908	DAT.2895	C - INTERMEDIO SX	16.5	505.95
DAT.2909	DAT.2897	D - CENTRALE	31.5	505.45
DAT.2910	DAT.2899	E - INTERMEDIO DX	52.5	505.05
DAT.2911	DAT.2901	F - ESTREMO DX	70.5	504.45
DAT.2912	DAT.2903	G - ESTREMO DX	99.0	503.80



Sezione sismica rappresentata  
Onde P - SH

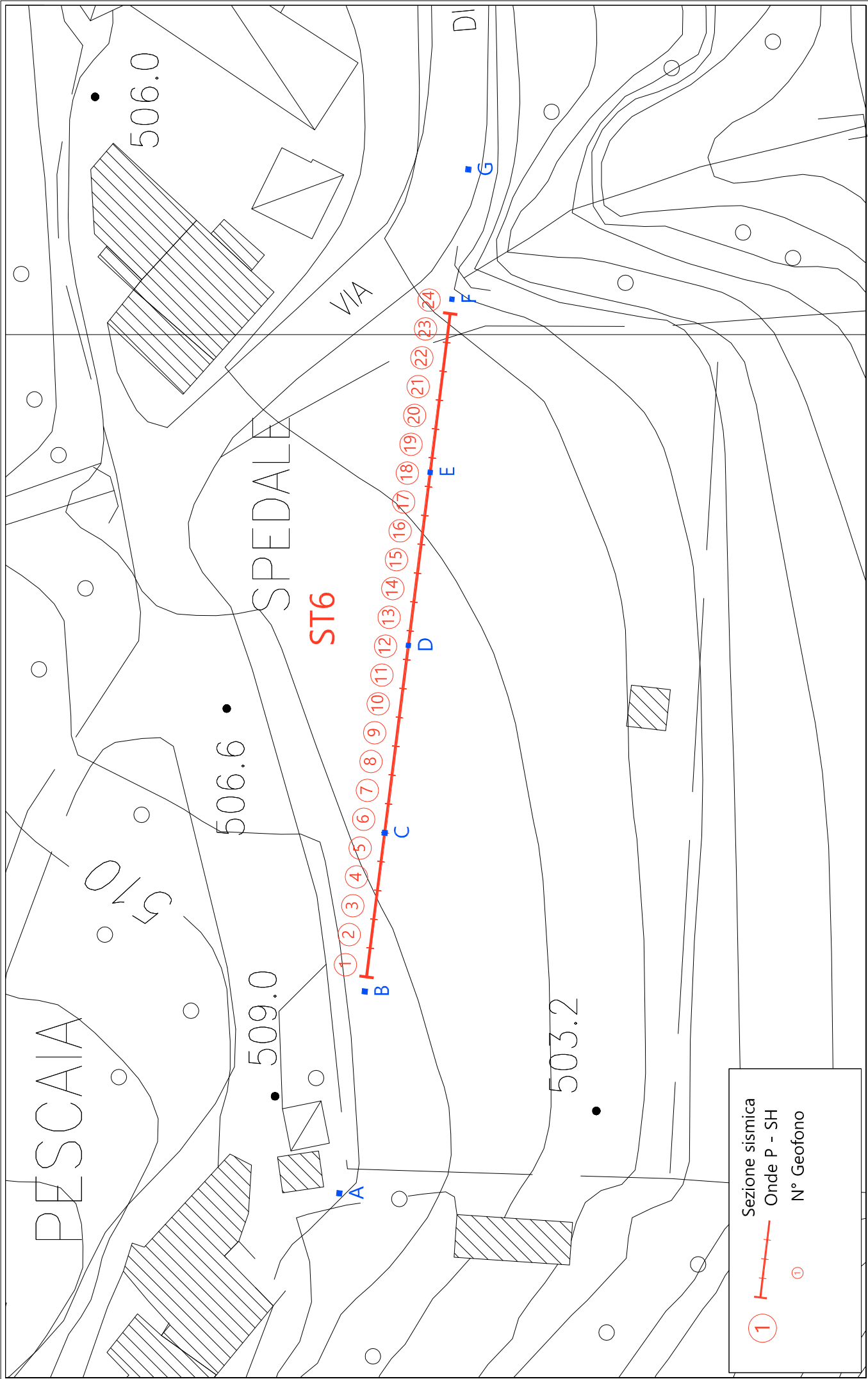
Scala 1: 10000

Settembre 2015

Tavola 01 - Planimetria generale - ST6\_MS

TRI+GEO

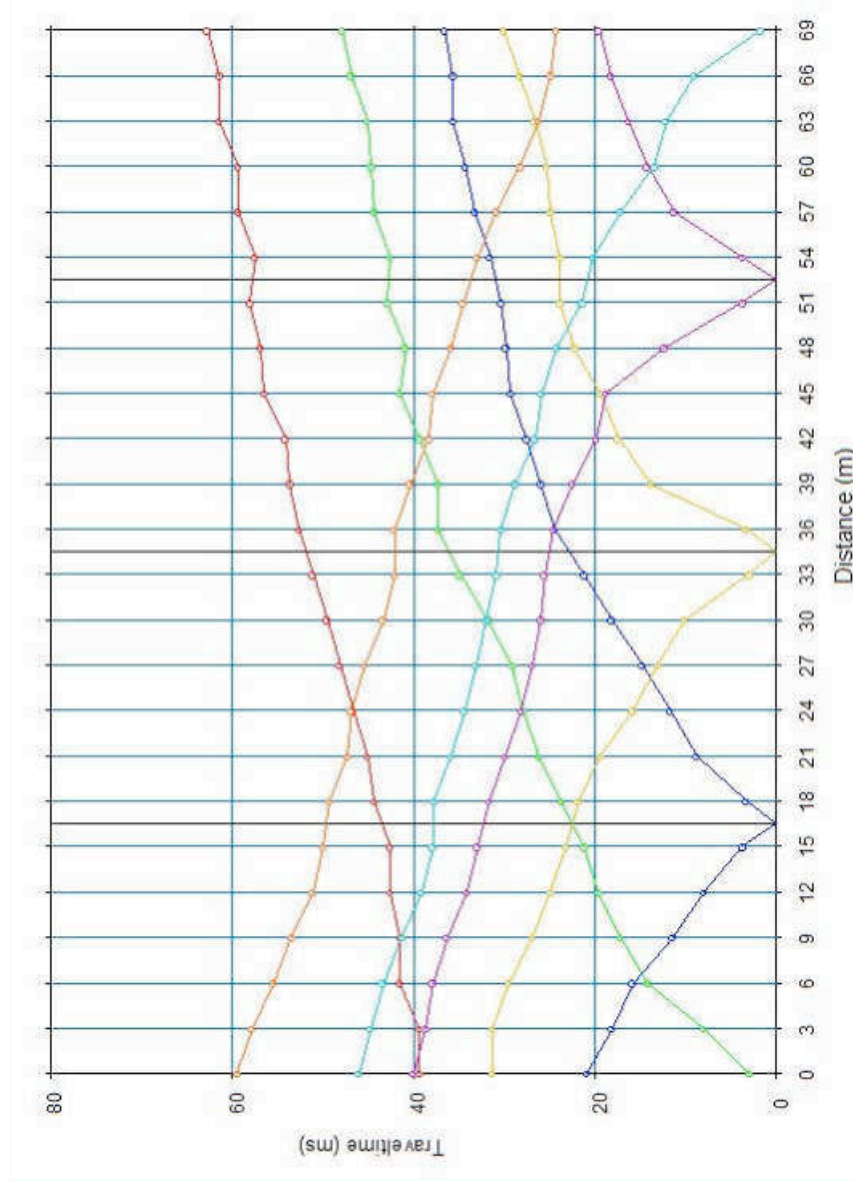




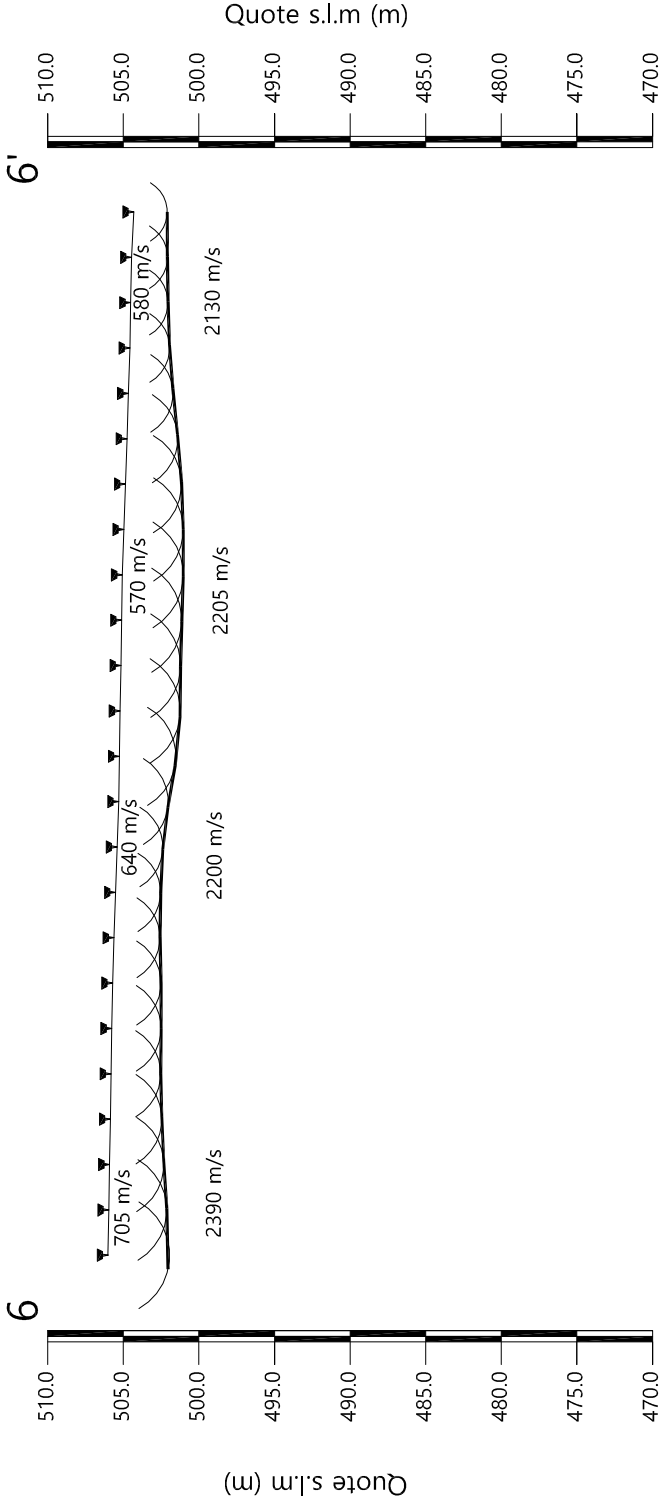
## TEMPI ONDE P – ST6\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	39.31	3.00	20.87	31.25	40.02	46.02	59.46
2	3	39.31	8.00	18.10	31.25	38.63	44.75	57.84
3	6	41.50	14.15	15.82	29.54	37.88	43.38	55.46
4	9	41.50	17.15	11.43	26.87	36.30	41.25	53.46
5	12	42.63	19.58	8.00	24.87	34.13	39.13	51.13
6	15	42.63	21.15	3.72	23.15	32.97	37.88	50.00
7	18	44.38	23.73	3.34	21.82	31.63	37.75	49.25
8	21	45.00	26.16	8.77	19.44	29.92	35.88	47.25
9	24	46.63	27.88	11.72	15.82	28.13	34.38	46.88
10	27	48.13	29.13	14.77	13.05	26.88	33.13	45.38
11	30	49.50	31.75	18.13	10.10	25.92	31.92	43.38
12	33	51.13	34.88	21.15	3.05	25.54	30.87	42.00
13	36	52.63	37.31	24.49	3.34	24.63	30.38	42.13
14	39	53.63	37.25	25.92	13.82	22.49	28.75	40.38
15	42	54.13	39.31	27.54	17.44	19.82	26.63	38.25
16	45	56.46	41.50	29.25	19.44	18.77	25.88	37.88
17	48	56.88	40.88	29.75	22.20	12.39	24.20	35.92
18	51	58.03	42.88	30.38	23.82	3.72	21.38	34.50
19	54	57.46	42.63	31.54	23.82	3.72	20.20	32.97
20	57	59.38	44.31	33.26	24.87	11.25	17.15	30.87
21	60	59.38	44.63	34.30	25.25	14.25	13.44	28.21
22	63	61.46	45.00	35.64	26.63	16.25	12.10	26.20
23	66	61.38	46.88	35.64	28.25	18.25	9.05	24.87
24	69	62.75	47.88	36.59	30.00	19.50	1.72	24.20

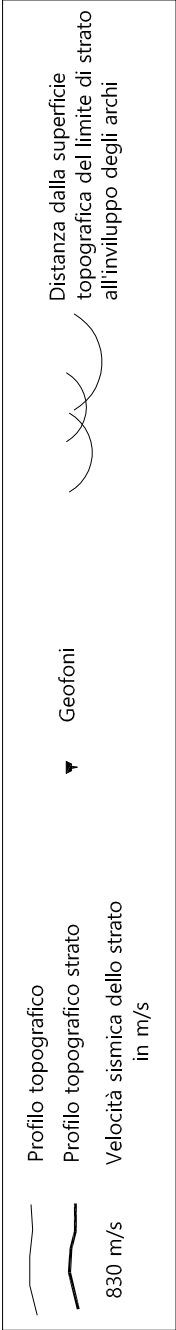
# Dromocrone



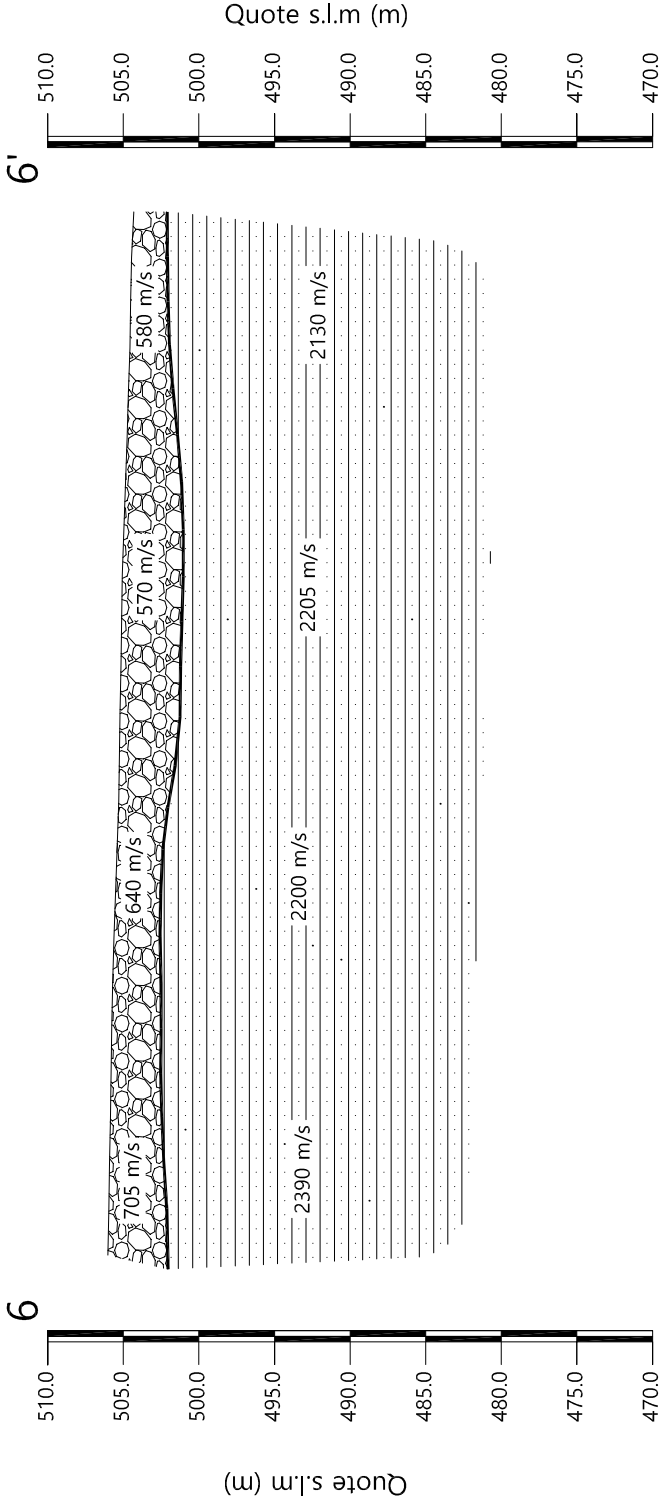
Sezione sismostratigrafica - Onde P - ST6\_MS



Numero geofono	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	506.20	506.15	506.10	506.05	506.00	505.95	505.90	505.80	505.70	505.60	505.50	505.45	505.40	505.35	505.30	505.25	505.15	505.05	504.95	504.85	504.75	504.70	504.65	504.50	504.40
Quote relative (m)	4.10	3.80	3.60	3.40	3.30	3.30	3.20	3.00	3.00	3.00	3.00	3.70	4.00	4.00	4.00	4.00	3.90	3.70	3.40	3.00	2.60	2.50	2.40	2.20	2.20
Profondità da p.c. 1° rifrattore (m)	506.20	506.15	506.10	506.05	506.00	505.95	505.90	505.80	505.70	505.60	505.50	505.45	505.40	505.35	505.30	505.25	505.15	505.05	504.95	504.85	504.75	504.70	504.65	504.50	504.40



Sezione litostratigrafica - Onde P - ST6\_MS

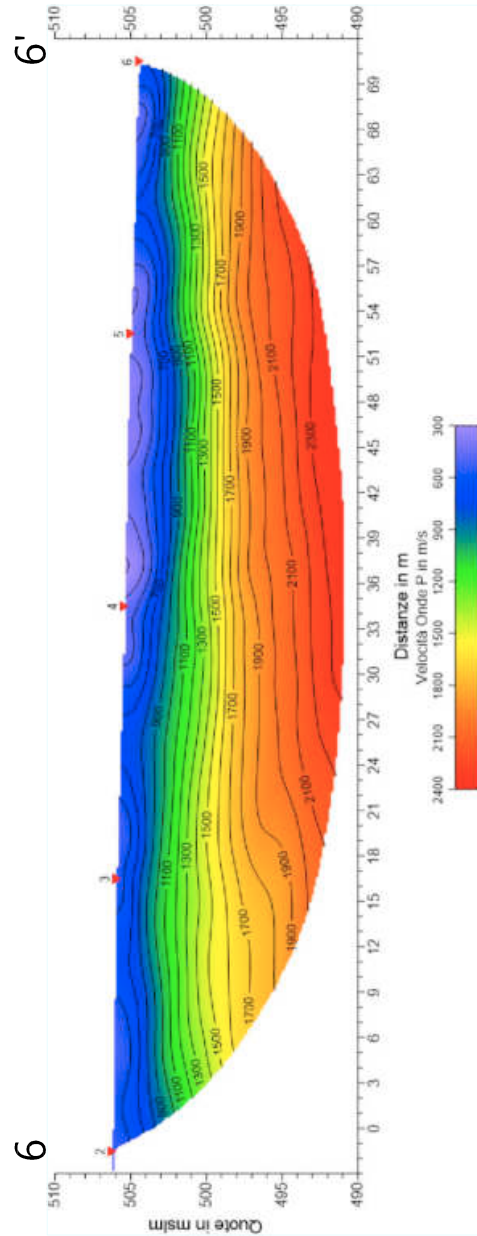


Legenda

- Deposito alluvionale terrazzato (bn)
- Arenarie del Monte Falterona  
membro di Montalto (FAL3)



Sezione tomografica - Onde P - ST6\_MS



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

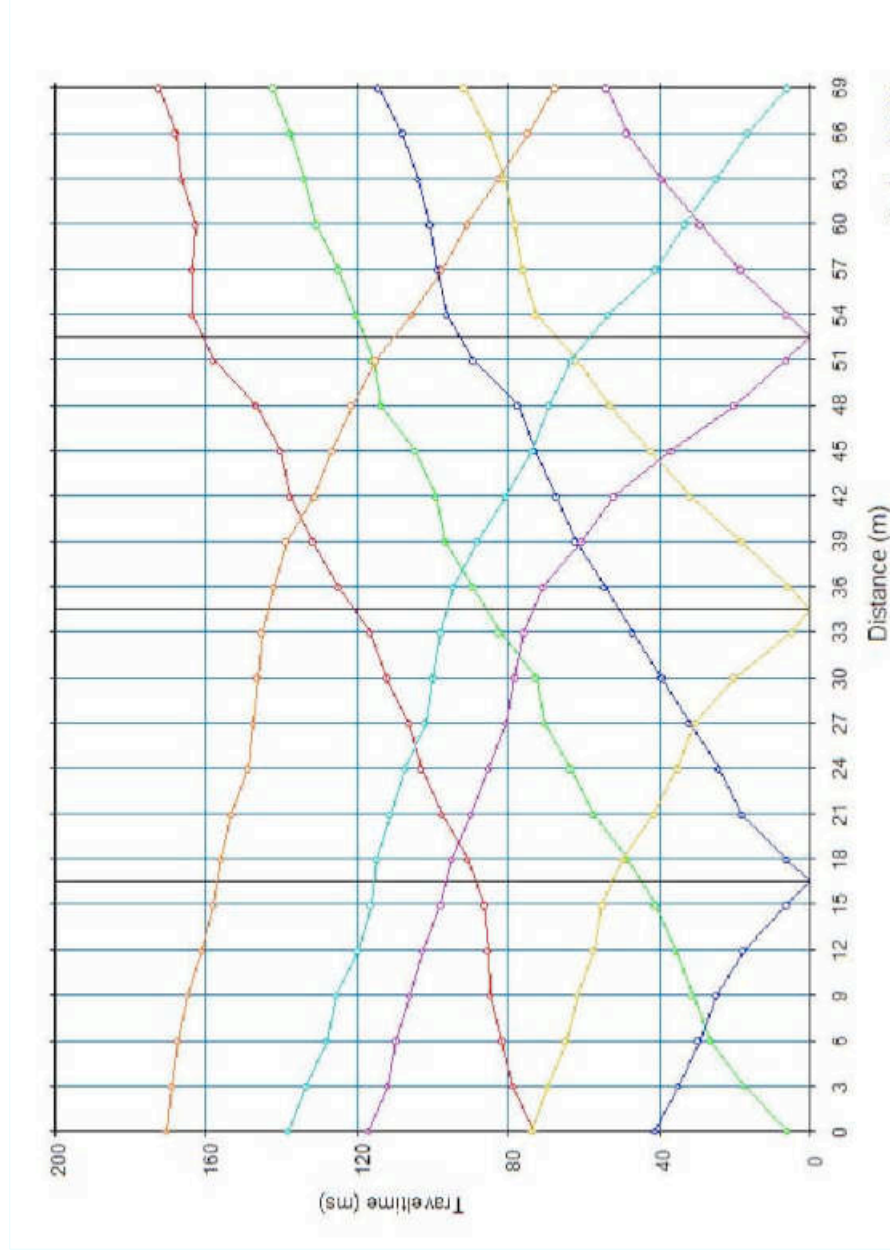
Settembre 2015

Tavola 06 - Sezione tomografica - Onde P - ST6\_MS

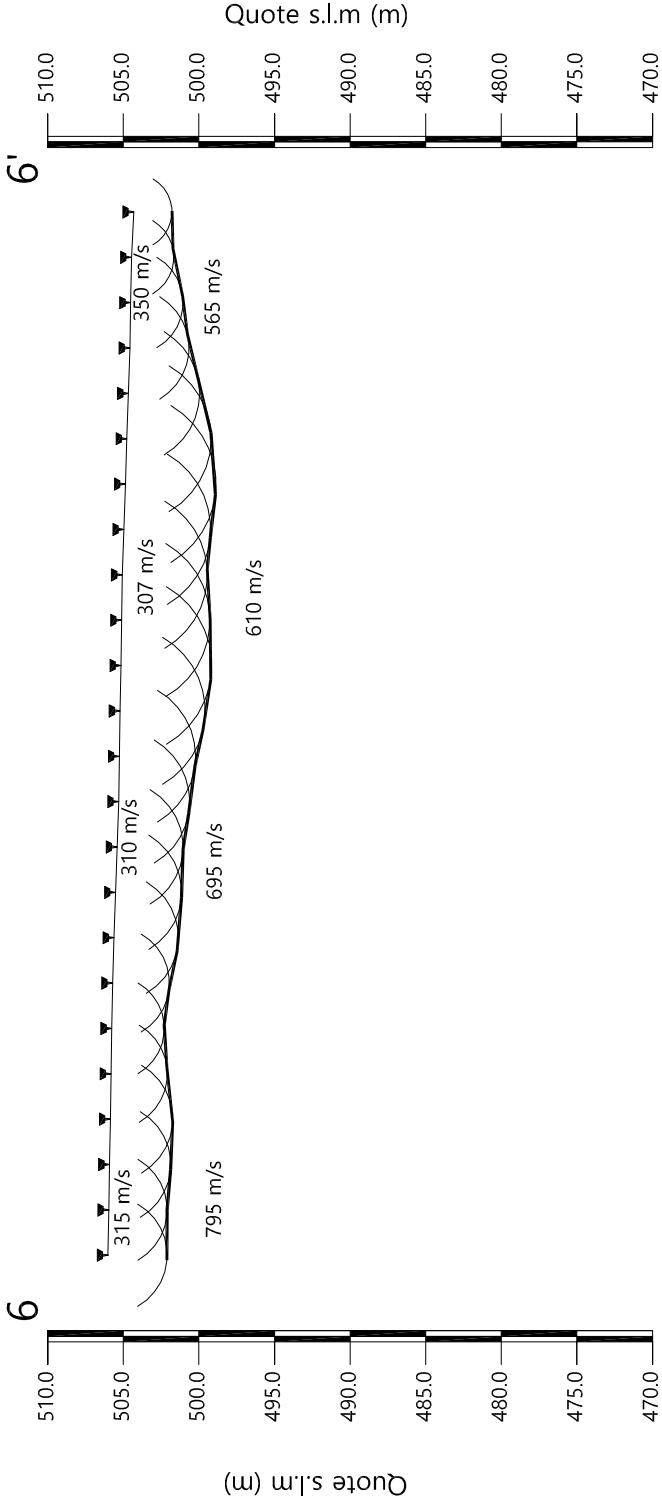
## TEMPI ONDE SH – ST6\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	73.32	6.00	41.00	73.61	116.92	138.00	170.23
2	3	78.68	17.37	34.73	69.50	111.88	133.25	168.73
3	6	81.69	26.37	29.50	64.63	109.50	127.88	167.23
4	9	84.69	31.09	24.73	61.46	105.91	125.50	164.87
5	12	85.25	35.59	17.58	57.46	102.38	119.63	161.01
6	15	86.19	41.00	6.13	54.89	97.75	116.25	158.01
7	18	90.69	48.45	6.25	49.45	94.88	114.63	155.87
8	21	97.55	57.46	18.15	41.50	89.88	111.13	153.13
9	24	102.88	63.46	24.16	35.13	85.19	107.25	148.63
10	27	106.13	70.32	32.00	30.38	80.61	101.88	147.25
11	30	112.13	72.68	39.31	20.15	78.18	99.77	146.25
12	33	116.42	82.33	47.00	4.75	75.61	97.76	145.00
13	36	124.78	89.19	54.46	5.75	70.61	94.33	141.82
14	39	131.64	96.69	62.03	18.13	60.46	88.19	138.64
15	42	137.64	99.05	67.25	31.73	51.88	80.61	131.07
16	45	140.13	104.41	73.04	42.31	36.73	73.61	126.49
17	48	146.50	113.42	77.18	52.88	20.15	69.04	121.24
18	51	158.01	115.77	89.19	62.03	6.38	63.03	114.92
19	54	163.50	120.28	96.13	72.61	6.13	53.50	105.48
20	57	163.37	124.78	98.63	76.18	18.58	40.88	97.44
21	60	162.51	130.78	100.63	78.18	29.16	33.23	90.69
22	63	166.37	133.78	103.75	80.88	39.31	24.73	82.50
23	66	167.87	137.64	107.88	85.19	48.50	16.58	74.75
24	69	172.38	142.15	114.25	91.63	53.89	6.00	67.63

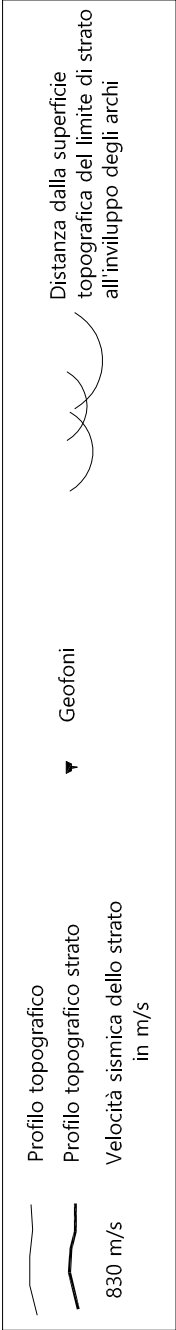
# Dromocrone



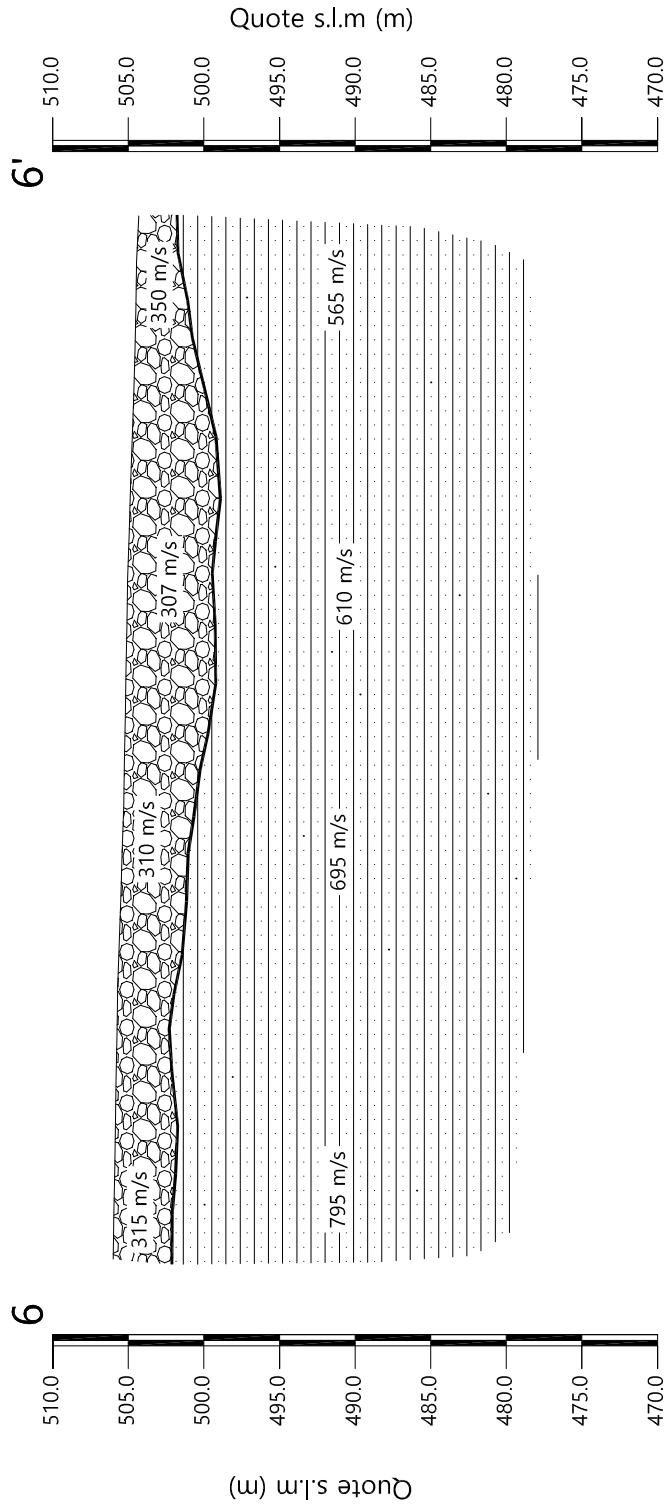
Sezione sismostratigrafica - Onde SH - ST6\_MS



Numero geofono	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	506.20	506.15	506.10	506.05	506.00	505.95	505.90	505.80	505.70	505.60	505.50	505.45	505.40	505.35	505.30	505.25	505.15	505.05	504.95	504.85	504.75	504.70	504.65	504.50	504.40
Quote relative (m)	3.90	3.90	4.00	4.10	3.70	3.50	3.70	4.30	4.40	4.40	4.70	5.00	5.60	6.00	5.80	5.60	5.70	6.00	5.60	4.70	3.90	3.40	2.80	2.50	2.40
Profondità da p.c. 1° rifrattore (m)	506.20	506.15	506.10	506.05	506.00	505.95	505.90	505.80	505.70	505.60	505.50	505.45	505.40	505.35	505.30	505.25	505.15	505.05	504.95	504.85	504.75	504.70	504.65	504.50	504.40



Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST6\_MS

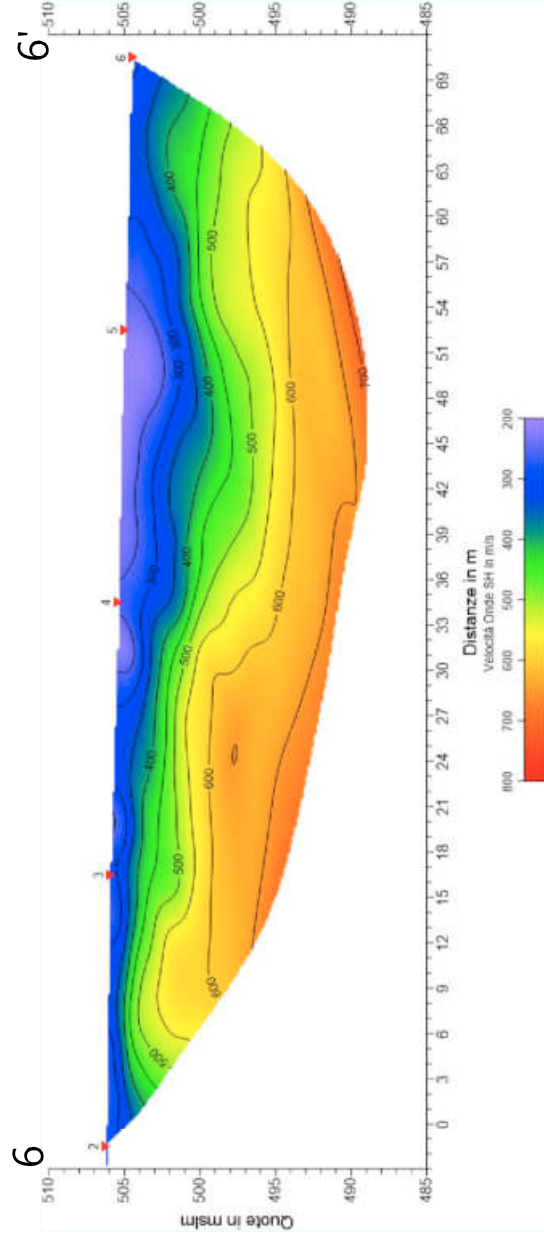


Legenda

- Deposito alluvionale terrazzato (bn)
- Arenarie del Monte Falterona  
membro di Montalto (FAL3)



# Sezione tomografica - Onde SH - ST6\_MS



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

Tavola 10 - Sezione tomografica - Onde SH - ST6\_MS

TRI+GEO

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST6\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	694	2421
2	3	701	2419
3	6	702	2414
4	9	707	2403
5	12	715	2376
6	15	711	2325
7	18	701	2260
8	21	676	2201
9	24	655	2172
10	27	628	2169
11	30	601	2183
12	33	577	2205
13	36	570	2226
14	39	553	2239
15	42	554	2233
16	45	566	2209
17	48	578	2175
18	51	579	2147
19	54	579	2132
20	57	578	2127
21	60	577	2126
22	63	574	2127
23	66	588	2129
24	69	608	2132

## VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST6\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	306	801
2	3	309	801
3	6	313	801
4	9	316	801
5	12	317	795
6	15	317	779
7	18	315	749
8	21	317	715
9	24	317	688
10	27	311	674
11	30	306	670
12	33	303	664
13	36	300	653
14	39	296	633
15	42	299	610
16	45	305	588
17	48	320	571
18	51	328	559
19	54	342	553
20	57	350	559
21	60	357	572
22	63	362	566
23	66	363	580
24	69	362	568

**PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST6\_MS – ONDE P**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	4.10
2	3	3.80
3	6	3.60
4	9	3.40
5	12	3.30
6	15	3.30
7	18	3.20
8	21	3.00
9	24	3.00
10	27	3.00
11	30	3.30
12	33	3.70
13	36	4.00
14	39	4.00
15	42	4.00
16	45	4.00
17	48	3.90
18	51	3.70
19	54	3.40
20	57	3.00
21	60	2.60
22	63	2.50
23	66	2.40
24	69	2.20

**PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST6\_MS – ONDE SH**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	3.90
2	3	3.90
3	6	4.00
4	9	4.10
5	12	3.70
6	15	3.50
7	18	3.70
8	21	4.30
9	24	4.40
10	27	4.40
11	30	4.70
12	33	5.00
13	36	5.60
14	39	6.00
15	42	5.80
16	45	5.60
17	48	5.70
18	51	6.00
19	54	5.60
20	57	4.70
21	60	3.90
22	63	3.40
23	66	2.80
24	69	2.50



Vista generale ST6\_MS da G1 verso G24.



Vista generale ST6\_MS da G12 verso G1 .





Vista generale ST6\_MS da G24 verso G12.



Shot point B – Onde SH – ST6\_MS.





Shot point C – Onde SH – ST6\_MS.



Shot point D – Onde SH – ST6\_MS.



Shot point D – Onde P – ST6\_MS.



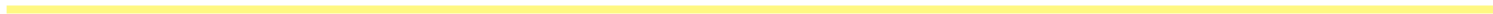
Shot point E – Onde P – ST6\_MS.



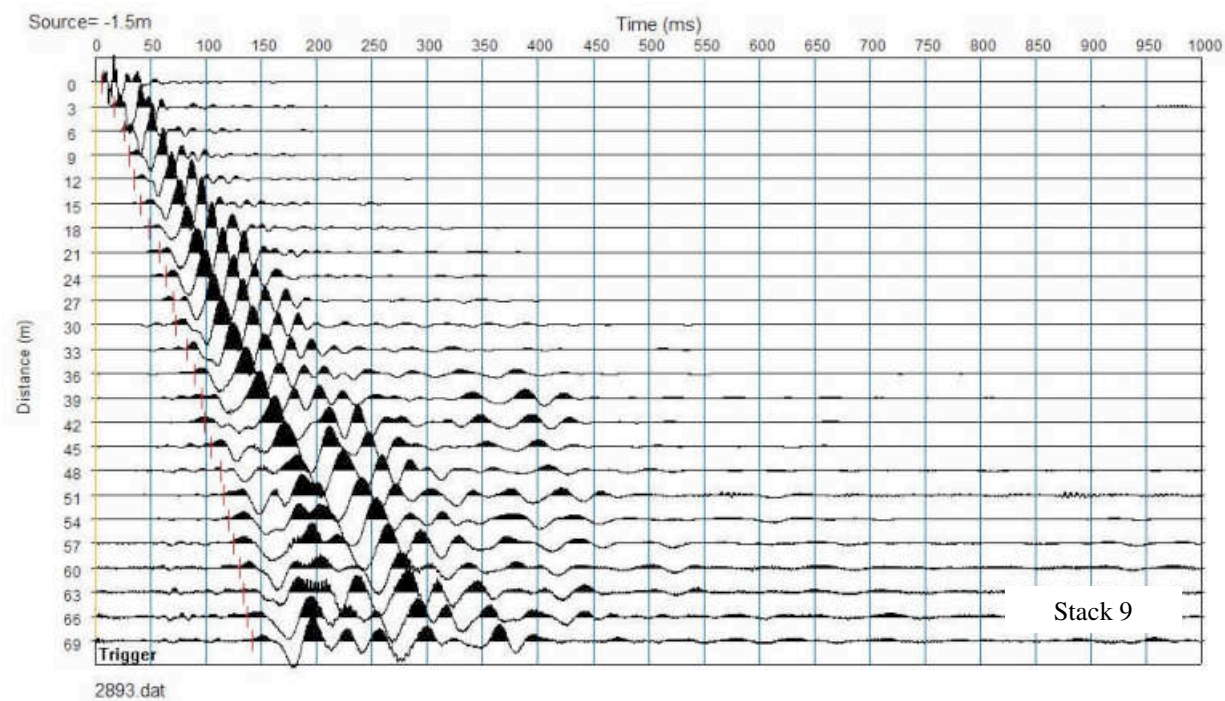
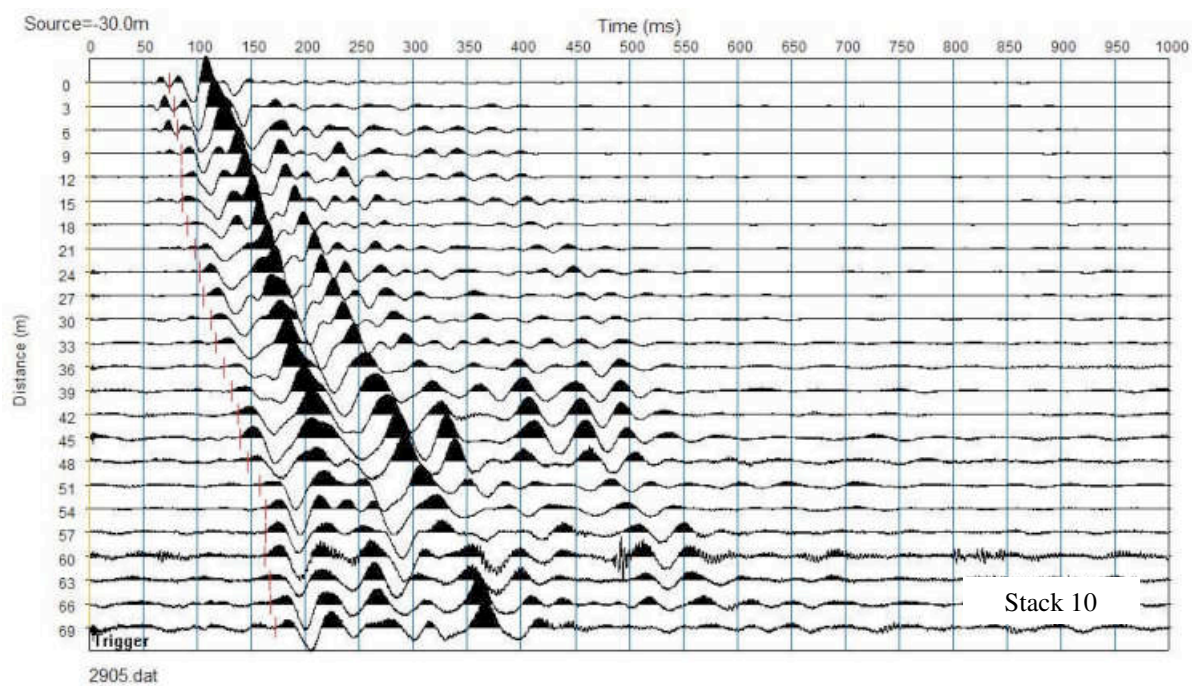
## **REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA – ST6\_MS**

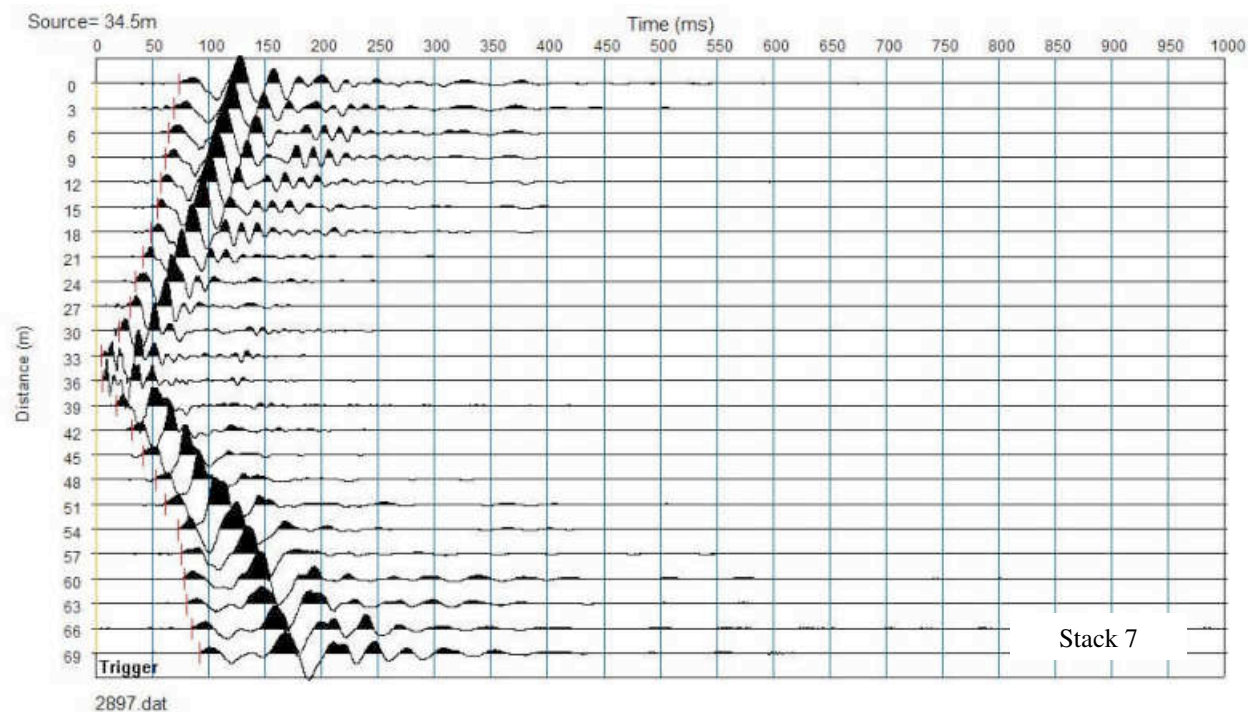
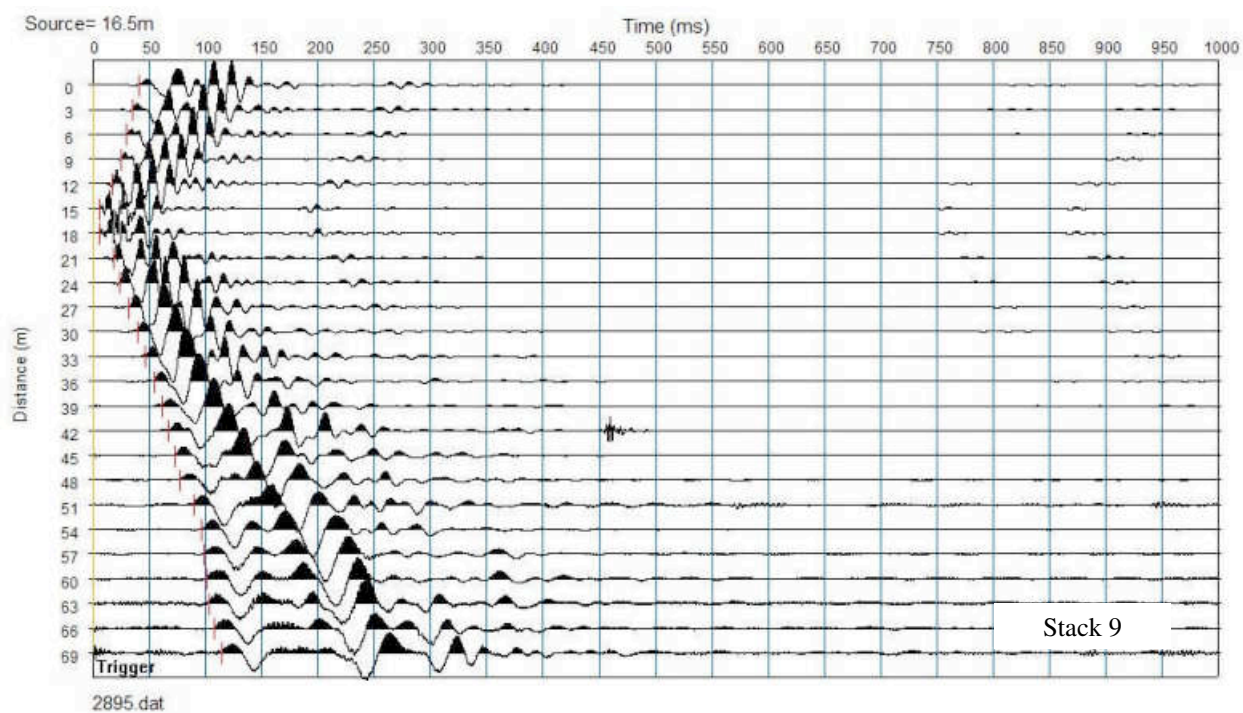
**file 2893 - 2905 Onde SH**

**file 2906 - 2912 Onde P**

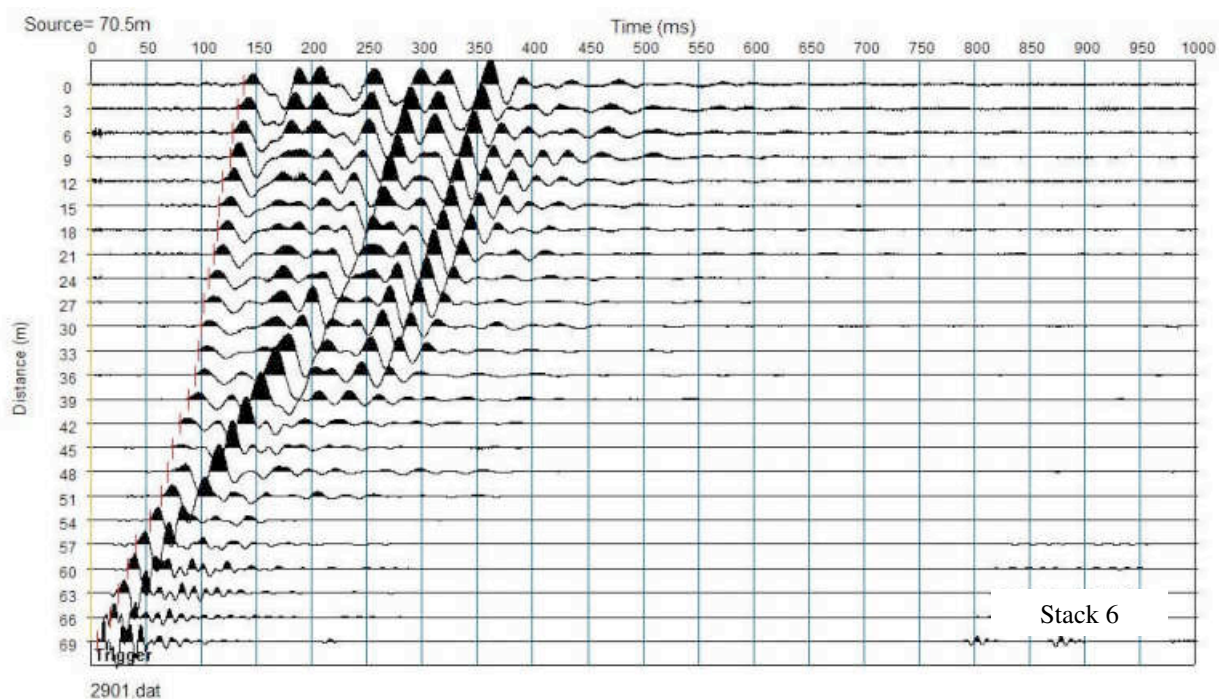
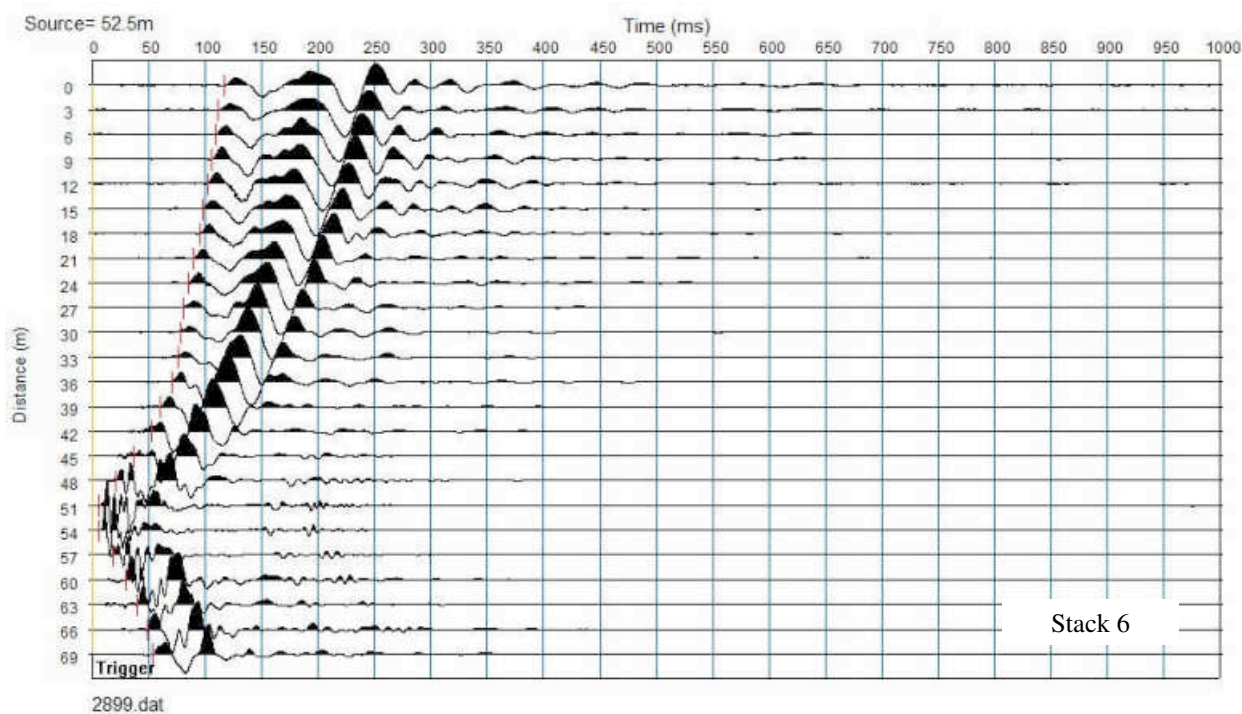


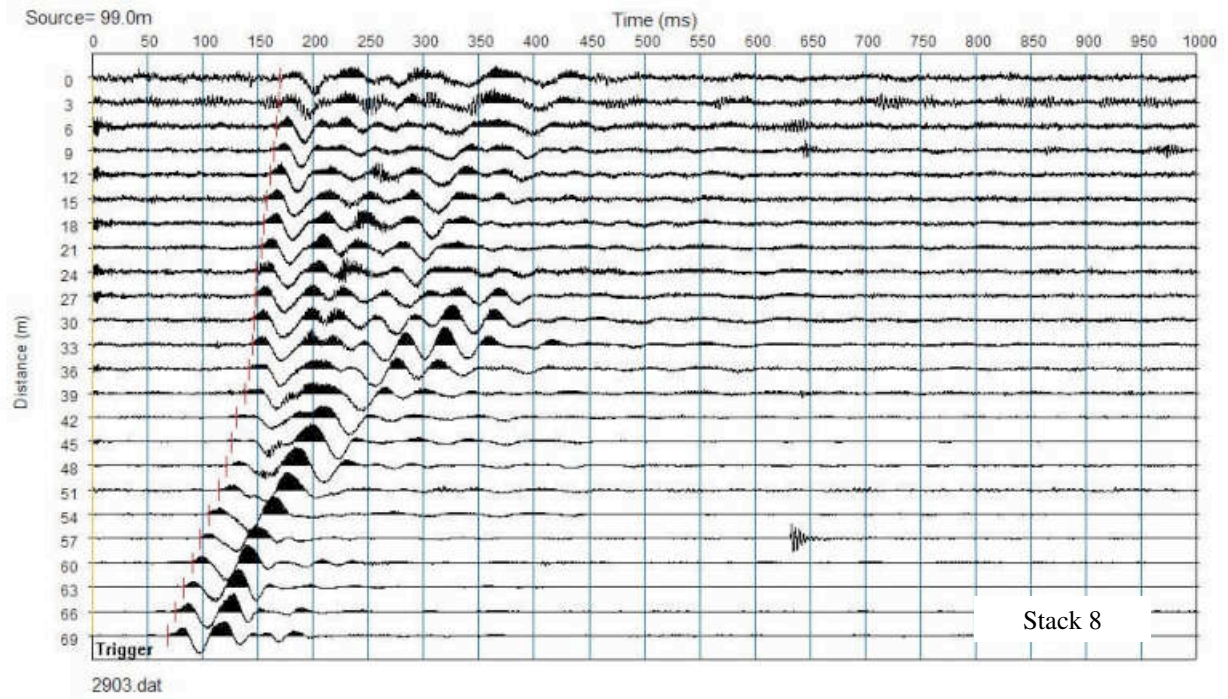


ONDE SH  $\Sigma$ 

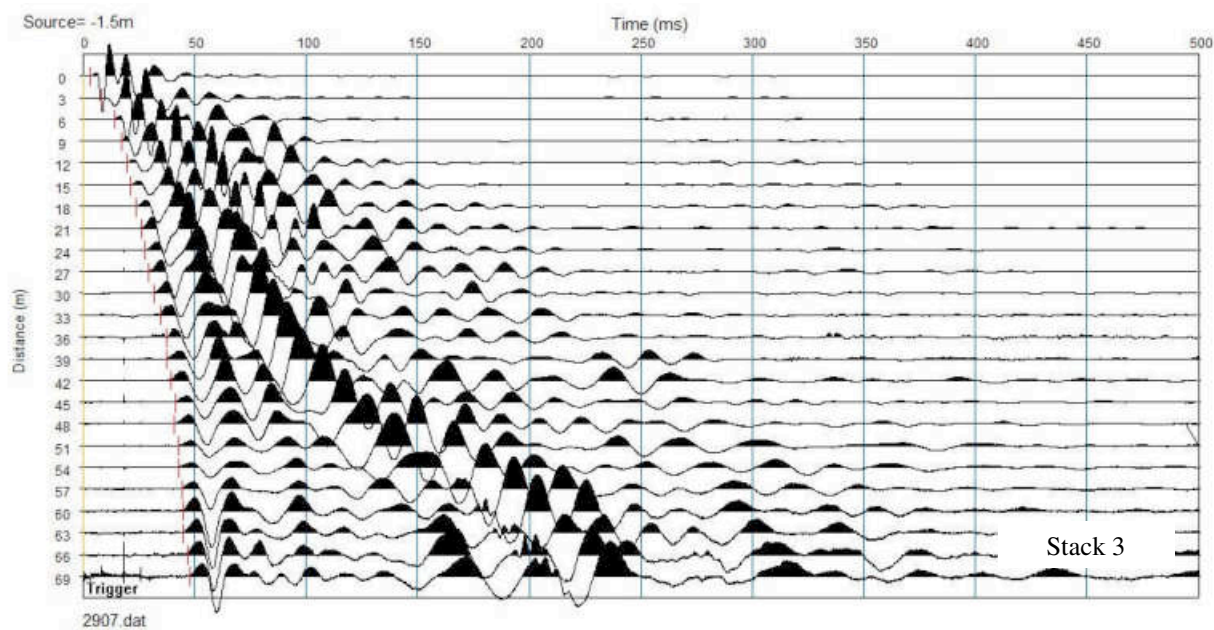
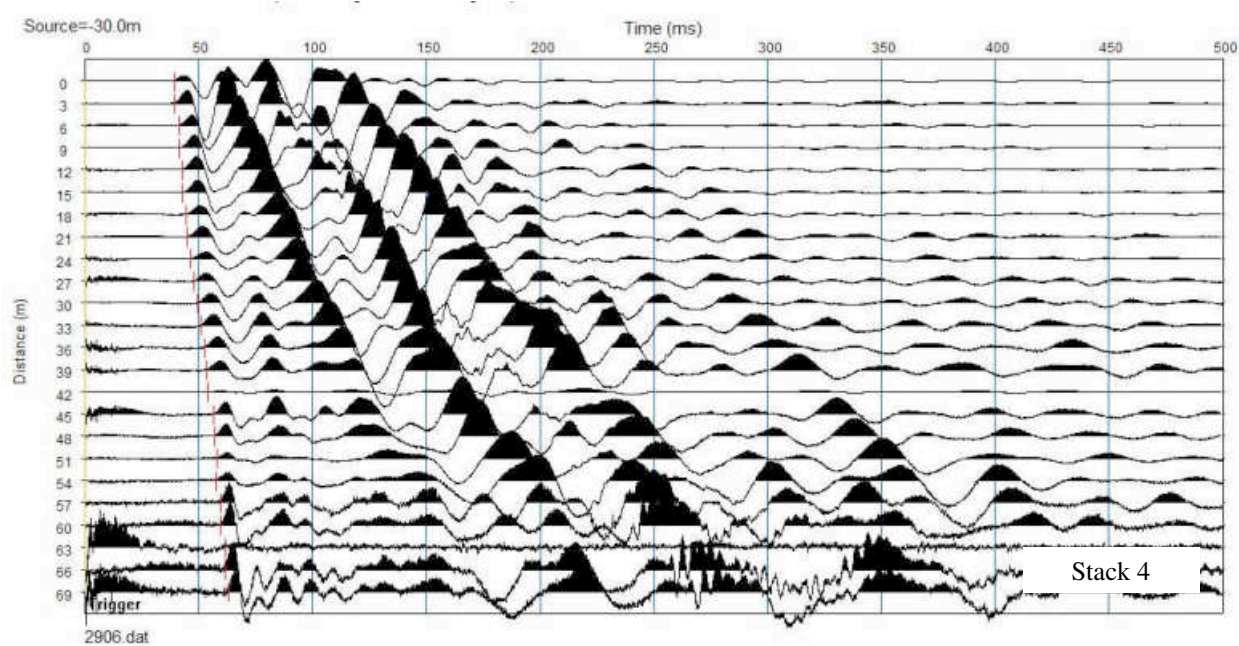




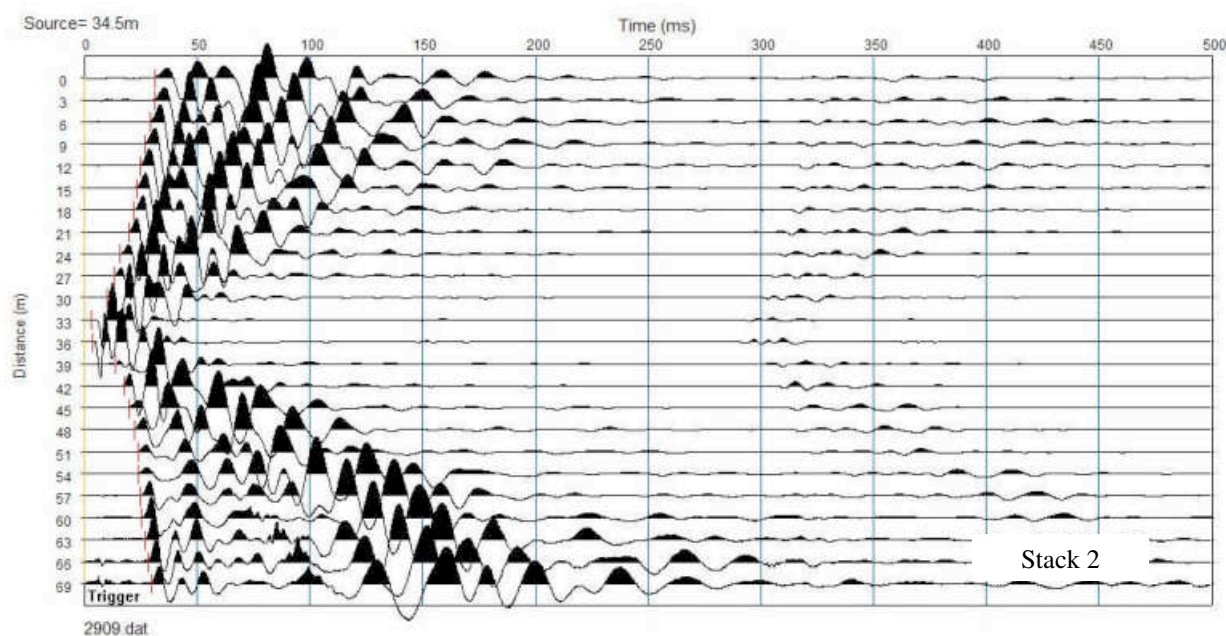
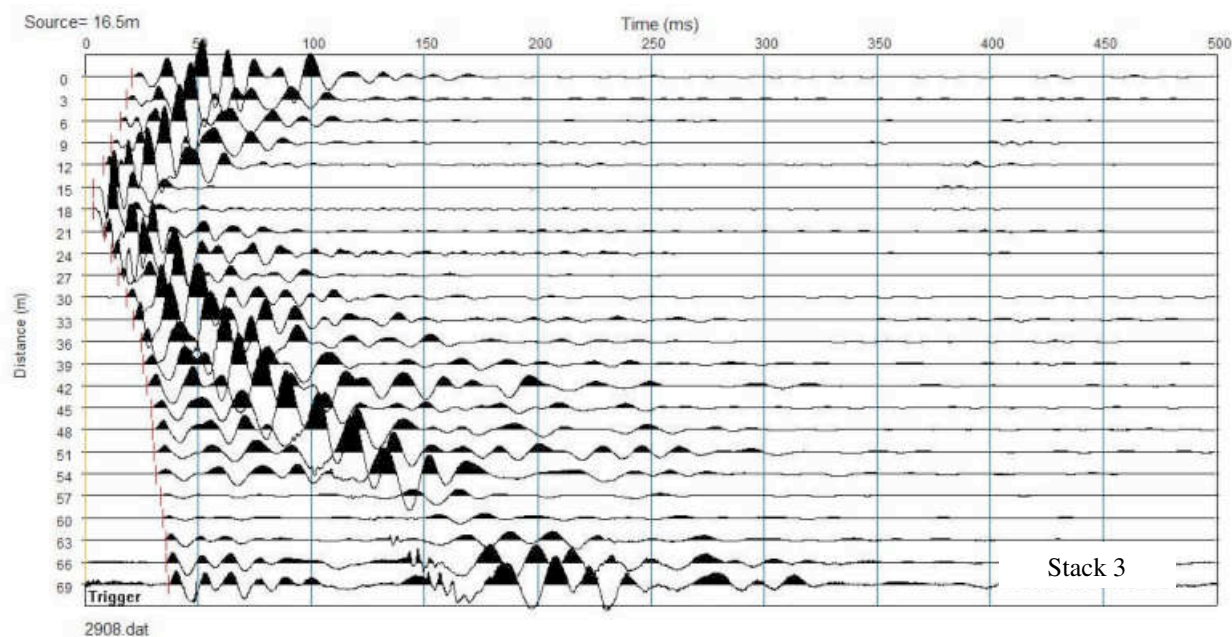


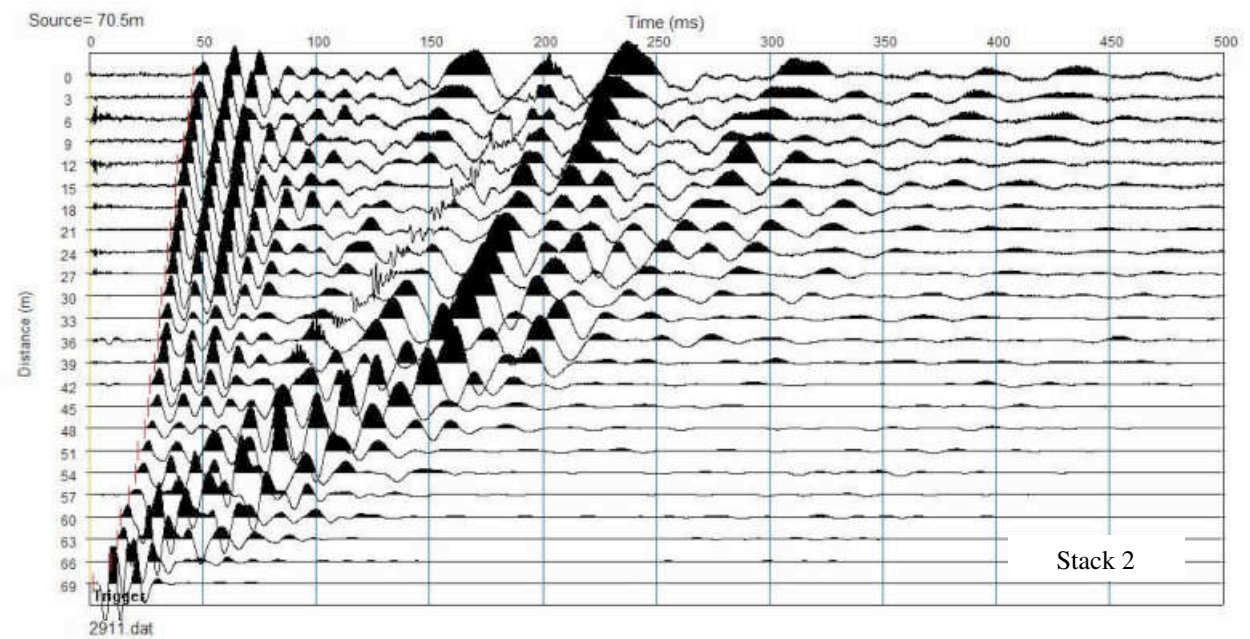
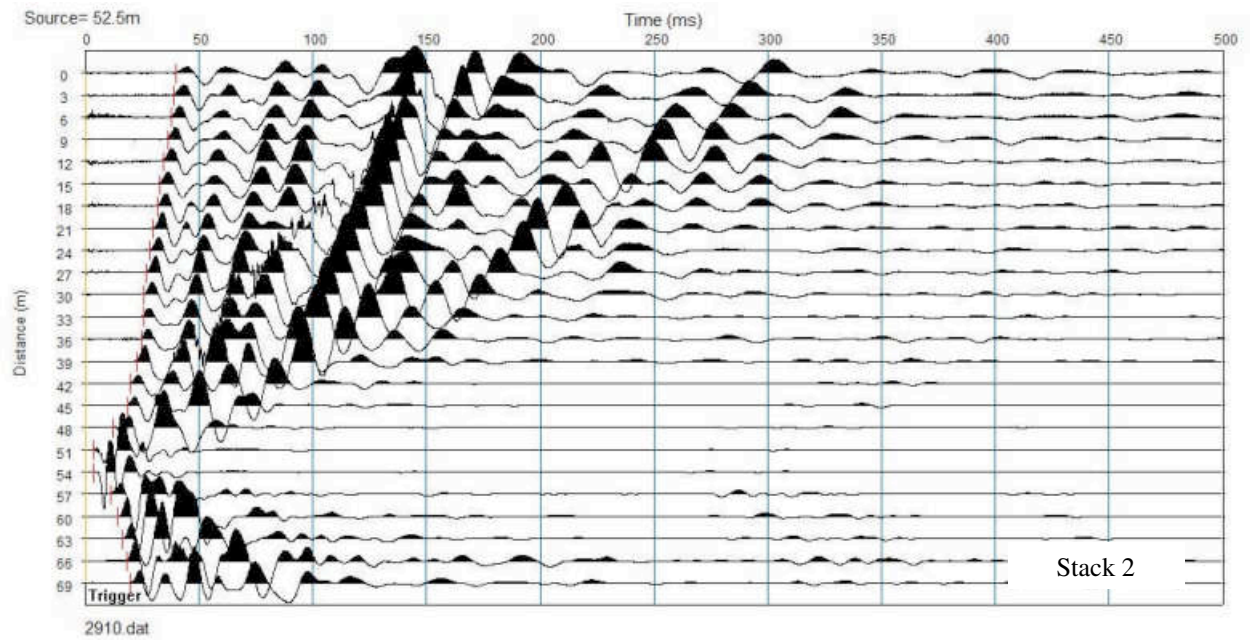


# ONDE P

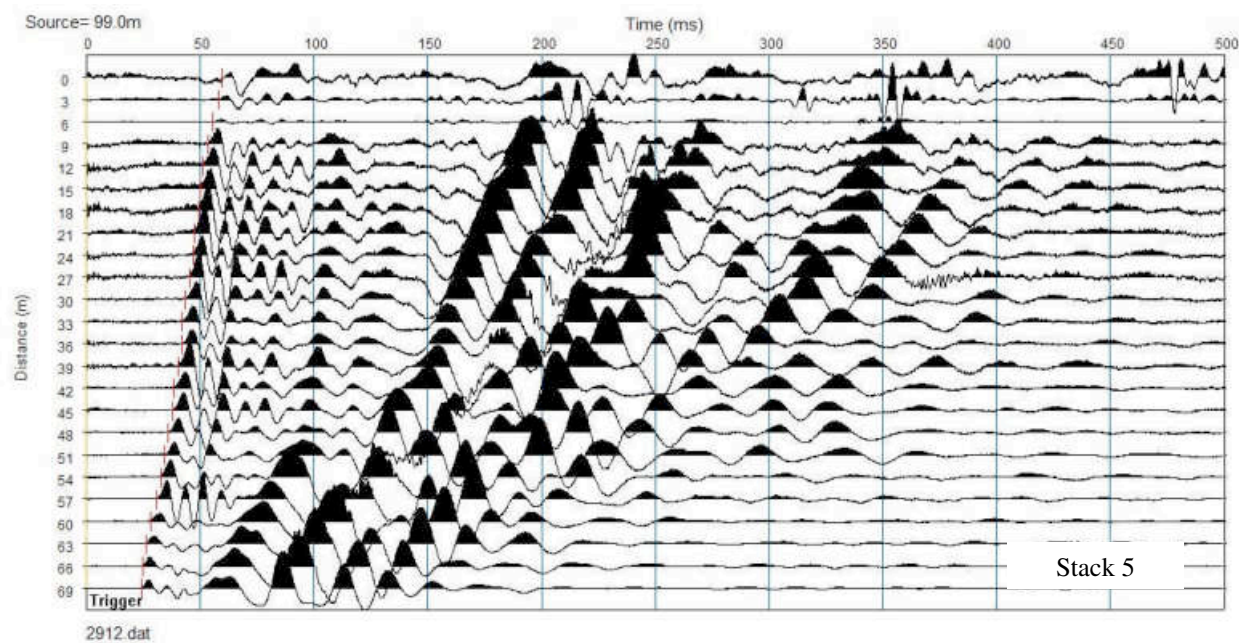












### TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini  
Via Mazzini, 18  
52011 Soci (AR)  
P.IVA 02024110518  
info@trigeo.it

### FIRENZE

Via Nino Bixio, 9  
50131 Firenze  
firenze@trigeo.it  
T/F 055 400619  
M 328 7213928

### AREZZO

Via Trasimeno, 7  
52100 Arezzo  
arezzo@trigeo.it  
T/F 0575 294500  
M 339 2288117

## RELAZIONE TECNICA

### STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

**“INDAGINE GEOFISICA DI  
SUPERFICIE MEDIANTE SISMICA A  
RIFRAZIONE E TOMOGRAFIA  
SISMICA (ONDE P ED SH) LINEA  
SISMICA ST7 - GUALDO”**

## COMMITTENTE : COMUNE DI PRATOVECCHIO-STIA

28 - SETTEMBRE - 2015



CERTIFICATO  
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE  
NON DISTRUTTIVE E  
SEMIDISTRUTTIVE  
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.  
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto  
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)  
P.IVA 02024110518  
Tel/Fax 0575 294500 - 056 996212  
Cell. / 339 2288117 - 328 7213928  
www.trigeo.it - info@trigeo.it



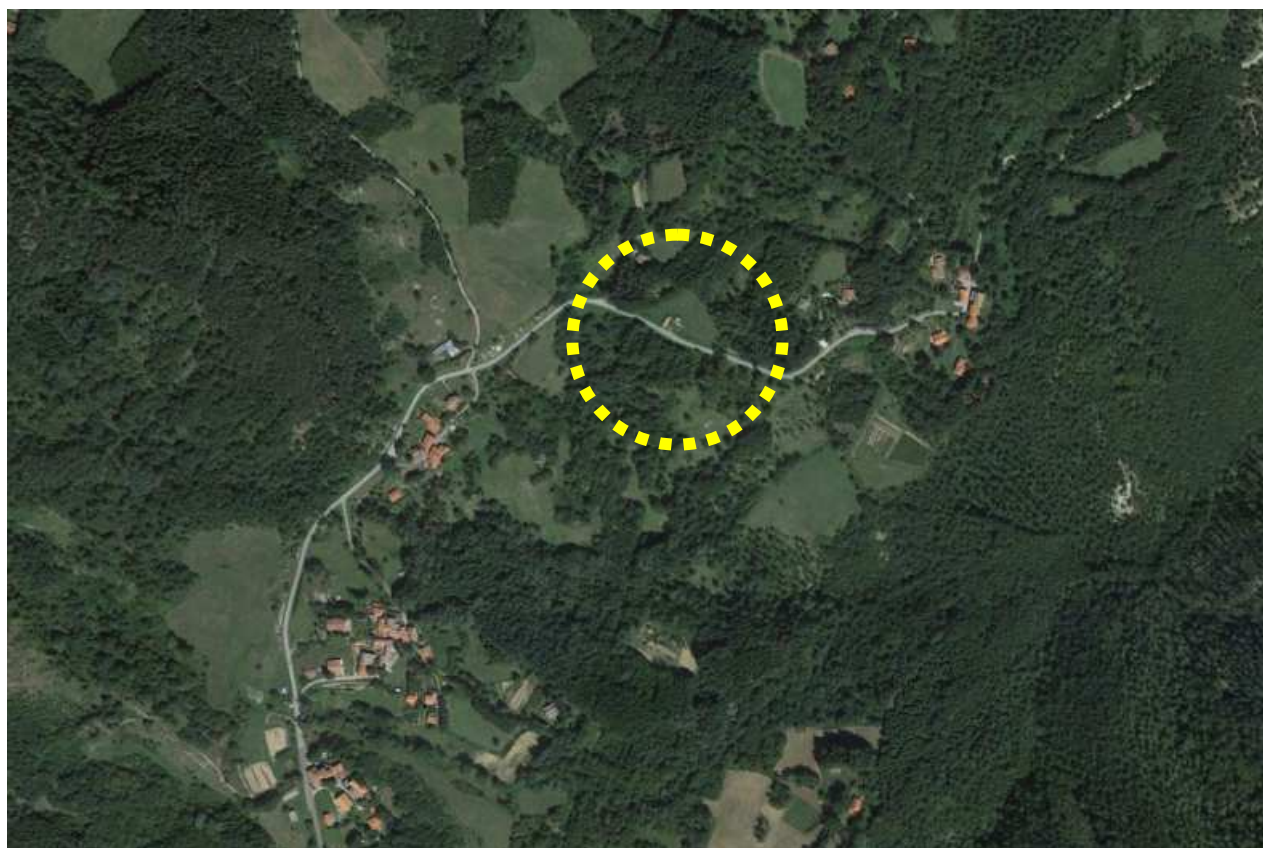
WWW.TRIGEO.IT

## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.0 SCHEMA OPERATIVO</b>	<b>5</b>
<b>2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA</b>	<b>5</b>
<b>3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI</b>	<b>7</b>
<b>4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA</b>	<b>8</b>
<b>5.0 CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>10</b>
<b>ALLEGATI</b>	<b>12</b>

## INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Settembre 2015, mediante sismica a rifrazione onde P ed onde SH (acquisizione ed elaborazione dati con metodologia tomografica), per conto del **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)**.



**Figura 1:** Area d'intervento: Linea ST7 Loc. Gualdo – Pratovecchio Stia (AR).

L'indagine sismica, viene eseguita nei pressi della località **GUALDO** nel comune di **STIA - PRATOVECCHIO STIA (AR)**. Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una prospezione geofisica mediante sismica a rifrazione tesa a fornire, lungo la sezione, convenuta con la committenza, una caratterizzazione delle litologie presenti nell'area d'indagine nonché determinare le geometrie (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo dei terreni in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P e di taglio SH. I dati ottenuti sono stati elaborati sia con la metodologia classica della rifrazione (GRM) che con la metodologia tomografica che permette di ottenere, attraverso un maggior numero

di “energizzazioni” (7 per ciascun stendimento) ed un opportuno software di elaborazione, un’ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura.

L’acquisizione delle onde SH combinate alle onde di compressione consente di ottenere i principali parametri elastico/dinamici e di fornire i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), così come richiesto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

La relazione tecnica riferisce sui risultati ottenuti dall’indagine sismica a rifrazione mediante Onde P e SH ed è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale del profilo sismico **ST7** eseguito, scala 1:10.000 (da CTR 1:10.000);
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **ST1** eseguito, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate;
- Schema dettagliato della linea sismica con posizionamento relativo dei geofoni (quote-distanze), coordinate in Gauss-Boaga dei geofoni iniziale e finale e punti di energizzazioni (quote-distanze);
- **Tabelle Tempi di arrivo Onde P e SH** relativi ai vari scoppi, con riportati posizione, tempo di arrivo e quota di ciascun geofono;
- **Tavole 03-07:** Diagrammi Tempi d’arrivo-Distanze (Dromocrone) Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 04-08:** Grafici delle profondità dei rifrattori individuati (sezione sismostratigrafica) e tabelle Distanze-Profondità Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 05-09:** Sezioni litostratigrafiche interpretative onde P-SH, scala 1:500;
- Tabelle Profondità calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- Tabelle Velocità sismiche calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- **Tavole 06-10:** Sezioni tomografiche onde P-SH, scala 1:500;
- Documentazione fotografica della linea sismica;
- Stampe delle registrazioni di campagna.



Di seguito viene descritto, lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

## 1.0 SCHEMA OPERATIVO

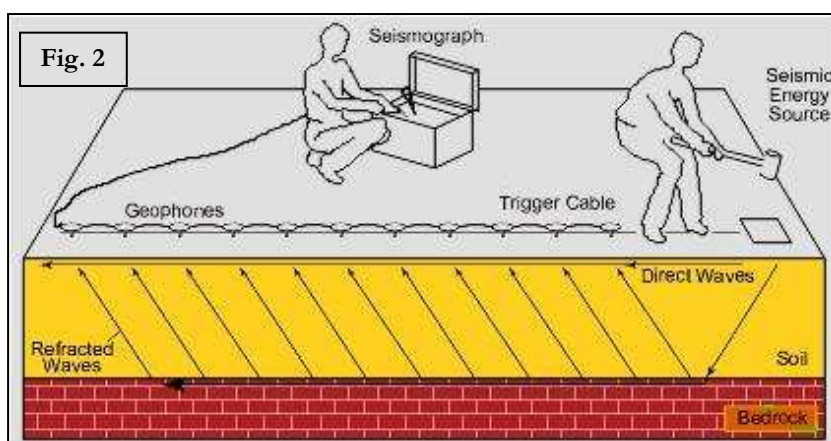
Nella **Tavola 01**, è stato riportato un inquadramento corografico generale in scala 1:10.000 con inserita la sezione sismica eseguita. Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, con inserita la sezione sismica eseguita, la posizione di ogni singolo geofono e l'ubicazione di ogni punto di energizzazione (shot point).

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di 4 m per la sezione eseguita sia con onde P che con onde SH. Complessivamente sono stati acquisiti **184 ml** di rilievo suddivisi in 2 basi di **92 ml** (Onde P-SH).

## 2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 2**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.



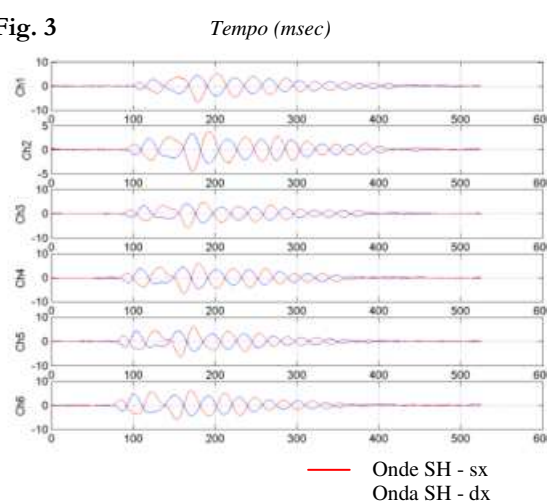
Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: **A/D Conversion:** 24 bit; **Dynamic Range:** 144 dB; **Distortion:** 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; **Bandwidth:** 1.75 Hz to 20 kHz; **Common Mode Rejection:** > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; **Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; **Noise Floor:** 0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz; **Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval; **Maximum Input Signal:** 2.8 VPP; **Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uf; **Preamplifier Gains;** **Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency; **Sample Interval:** 0.02 to 16.0 ms; **Record Length:** 16,000 samples; **Acquisition and Display Filters:** *LowCut, Notch, HighCut*; **Data Formats:** SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali ed orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e nel caso dei geofoni orizzontali dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza generalmente una trave di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato nel nostro caso dalla stessa autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase (**Fig. 3**). Ogni energizzazione viene registrata sull'Hard Disk sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il *Generalized Reciprocal Method* (GRM) che consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore

Fig. 3



di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati fino ad angoli superiori a 20 gradi. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti sono dei casi particolari.

Oltre al GRM, in alcuni casi, è stato utilizzato, per conferma e confronto, un algoritmo di inversione che usa il *delay-time method* per ottenere un primo modello approssimato in profondità, che viene quindi affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna ed il corrispondente modello di profondità. In questo caso specifico è stato utilizzato come sistema di elaborazione principale il *delay-time method* affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed il GRM come verifica e conferma dei risultati ottenuti.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme. Infine sono stati calcolati i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), come richiesto dalla nuova "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

### 3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nelle **Tavole 03-07** sono rappresentate, le curve tempi-distanze, Dromocrone, che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna (onde P-SH). Nel diagramma tempi-distanze,

in ascisse, in scala 1:500 sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento e, in ordinate, i tempi di arrivo, espressi in millisecondi agli stessi sensori.

Nelle **Tavole 04-08**, sono state riportate le sezioni sismostratigrafiche ottenute (onde P-SH), al di sotto della superficie topografica l'inviluppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato.

Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'inviluppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Nelle **Tavole 05-09** sono riportate le sezioni interpretate (sezioni litostratigrafiche) sulla base sia dei dati ottenuti (sezioni sismostratigrafiche), sia di considerazioni geologiche generali relative alla zona in esame che sulla base dei dati forniti dal tecnico incaricato.

Infine nelle **Tavole 06-10** abbiamo le sezioni tomografiche interpretate realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. La scala in falsi colori presente, esprime i valori di velocità all'interno della sezione.

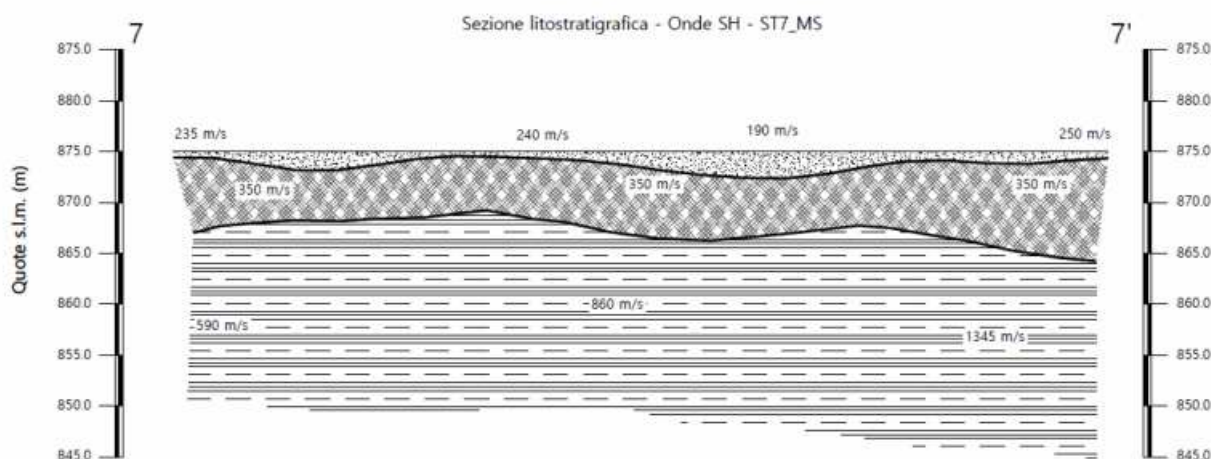
Le sezioni litostratigrafiche interpretate assieme alle sezioni tomografiche, rappresentano il risultato conclusivo dell'analisi dei dati sintetizzati nelle tavole e tabelle allegate.

## 4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di due superfici rifrangenti principali: la prima si localizza a profondità comprese tra 0.00 m e 2.60 m (onde P ed onde SH); la seconda si attesta a profondità comprese tra 3.60 m e 12.60 m (onde P ed onde SH).

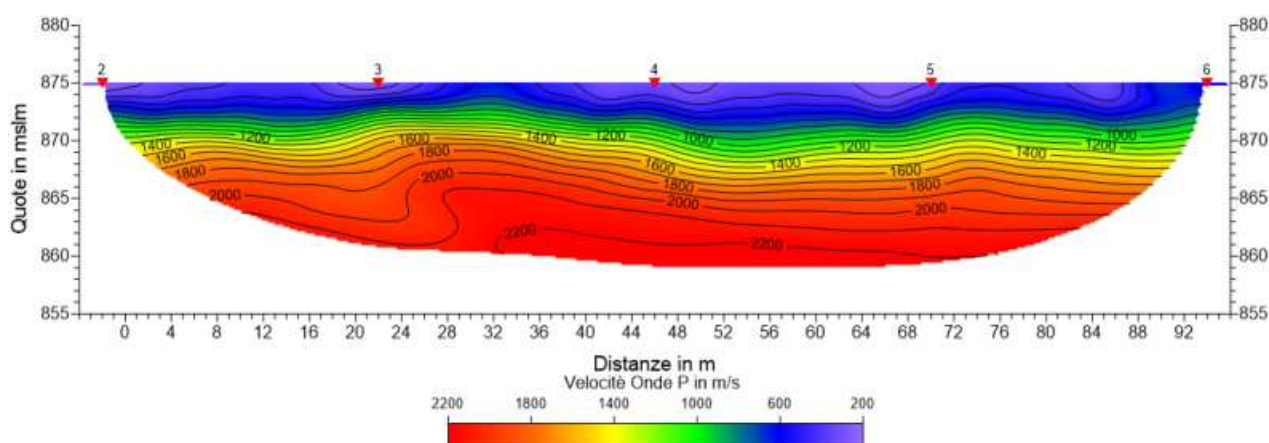
Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 320 e 690 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 190-240 m/s, con il livello intermedio costituito da un livello di alterazione/fratturazione del substrato roccioso che presenta velocità di 1.750 m/s (onde P) e di 350 m/s (onde SH). Al di sotto del livello intermedio si individua il substrato litoide, costituito dalle Argille e calcari (ACC) dell'Unità tettonica Canetolo, che presenta velocità comprese tra 2.150 e 2.765 m/s (onde P) e tra 590-1.345 m/s (onde SH).

La **Sezione ST7** è stata elaborata seguendo le informazioni del GRM, che hanno permesso di ricostruire l'andamento del rifrattore principale. Il rifrattore si presenta piuttosto regolare attestandosi a profondità variabili mediamente comprese tra 6.00 e 10.00 m, con profondità maggiori nel tratto centrale e finale. Il livello superficiale presenta spessori modesti intorno a 1.30 m, maggiori nel tratto centrale con spessori superiori ai 2.00 m.



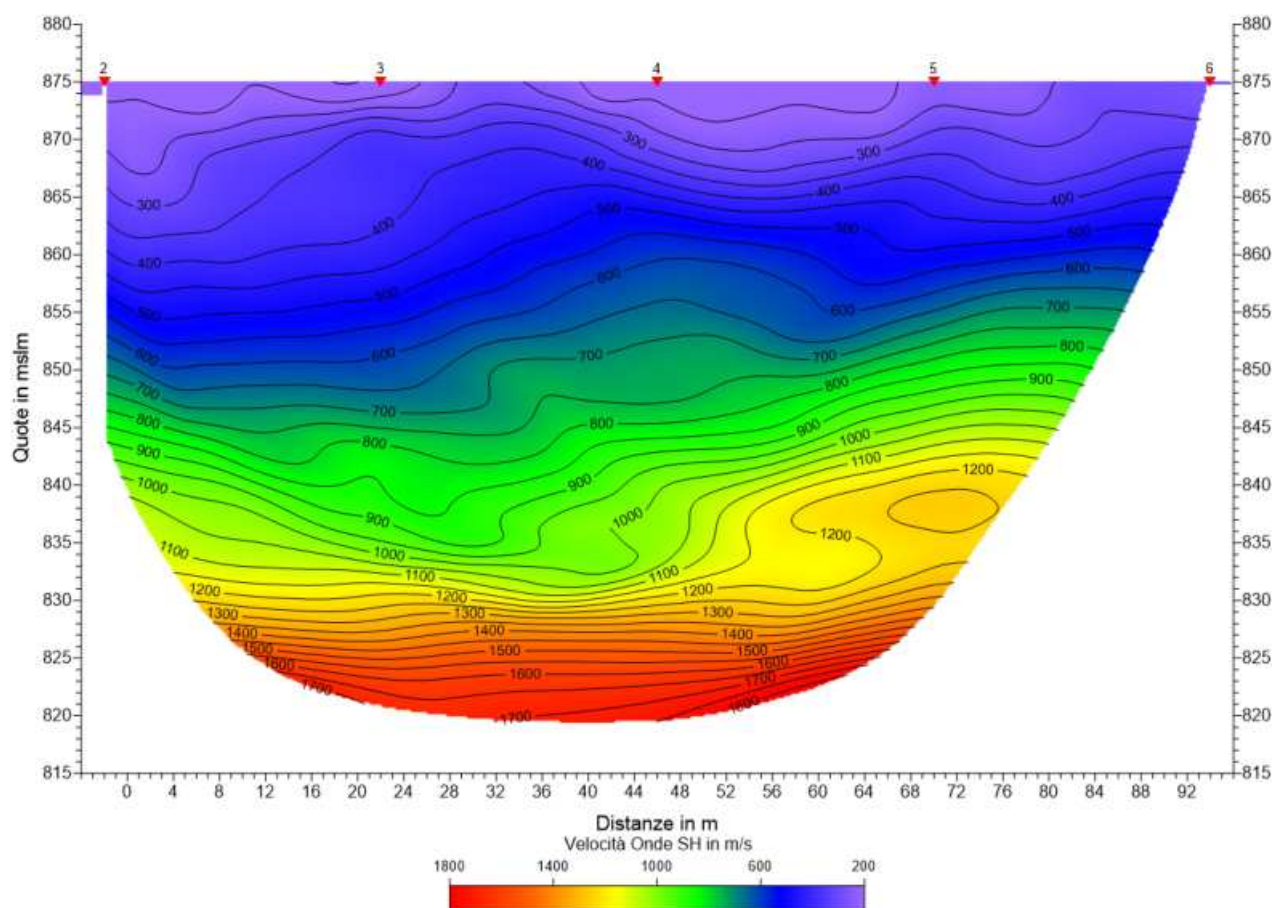
Le velocità del substrato roccioso mostrano per le onde P, valori piuttosto costanti, compresi tra 2.150 e 2.765 m/s, minori nel tratto centrale. Le velocità delle onde SH invece, mostrano valori crescenti lungo la sezione, con velocità che passano dai ca. 590 m/s del tratto iniziale ai ca. 1.345 m/s del tratto finale.

L'analisi tomografica eseguita sia con onde P che con onde SH in accordo con i risultati del GRM, permette di apprezzare nella porzione più superficiale la presenza di materiale omogeneo e compatto. Il passaggio al substrato roccioso risulta evidenziato dal raffittimento delle curve di isovelocità (a partire da quella dei 1.000 m/s onde P), mentre per le onde SH, il contatto si osserva a partire dalla curva dei 500 m/s. La sezione tomografica in onde SH esalta in maniera più chiara rispetto a quella ottenuta con onde P, la presenza di un livello di alterazione con spessori che





possono superare i 10 m



## 5.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio ha individuato le caratteristiche geofisiche dei materiali superficiali e profondità di un'area, posta in località **GUALDO**, nel **COMUNE PRATOVECCHIO STIA (AR)**. L'indagine geofisica di superficie, eseguita mediante sismica a rifrazione, ha permesso di identificare in profondità il passaggio tra i materiali più superficiali (terreno vegetale/detrito), il livello di alterazione/fratturazione del substrato con il substrato litoide integro costituito dalle Argille e Calcari (ACC) dell'Unità tettonica Canetolo.

Sulla base di quanto fino ad ora riportato è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive relativamente all'area in oggetto:

- risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di due superfici rifrangenti principali: la prima si localizza a profondità comprese

tra 0.00 m e 2.60 m (onde P ed onde SH); la seconda si attesta a profondità comprese tra 3.60 m e 12.60 m (onde P ed onde SH);

- nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 320 e 690 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 190-240 m/s, con il livello intermedio costituito da un livello di alterazione/fratturazione del substrato roccioso che presenta velocità di 1.750 m/s (onde P) e di 350 m/s (onde SH). Al di sotto del livello intermedio si individua il substrato litoide, costituito dalle Argille e calcari (ACC) dell'Unità tettonica Canetolo, che presenta velocità comprese tra 2.150 e 2.765 m/s (onde P) e tra 590-1.345 m/s (onde SH).

---

Arezzo, lì 28/09/2015

  
**TRIGEO s.n.c.**  
 di Nencetti Andrea & Dattoli Benedetto  
 Via Mazzini n°16 - 52011 - SODI (AR)  
 P.IVA 02024110518  
 Tel/Fax: 0575 254890 - 056 9902212  
 Cell: 339 8048117 - 339 7213623  
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

## **ALLEGATI**

### SCHEMA DELLA LINEA SISMICA ST7\_MS

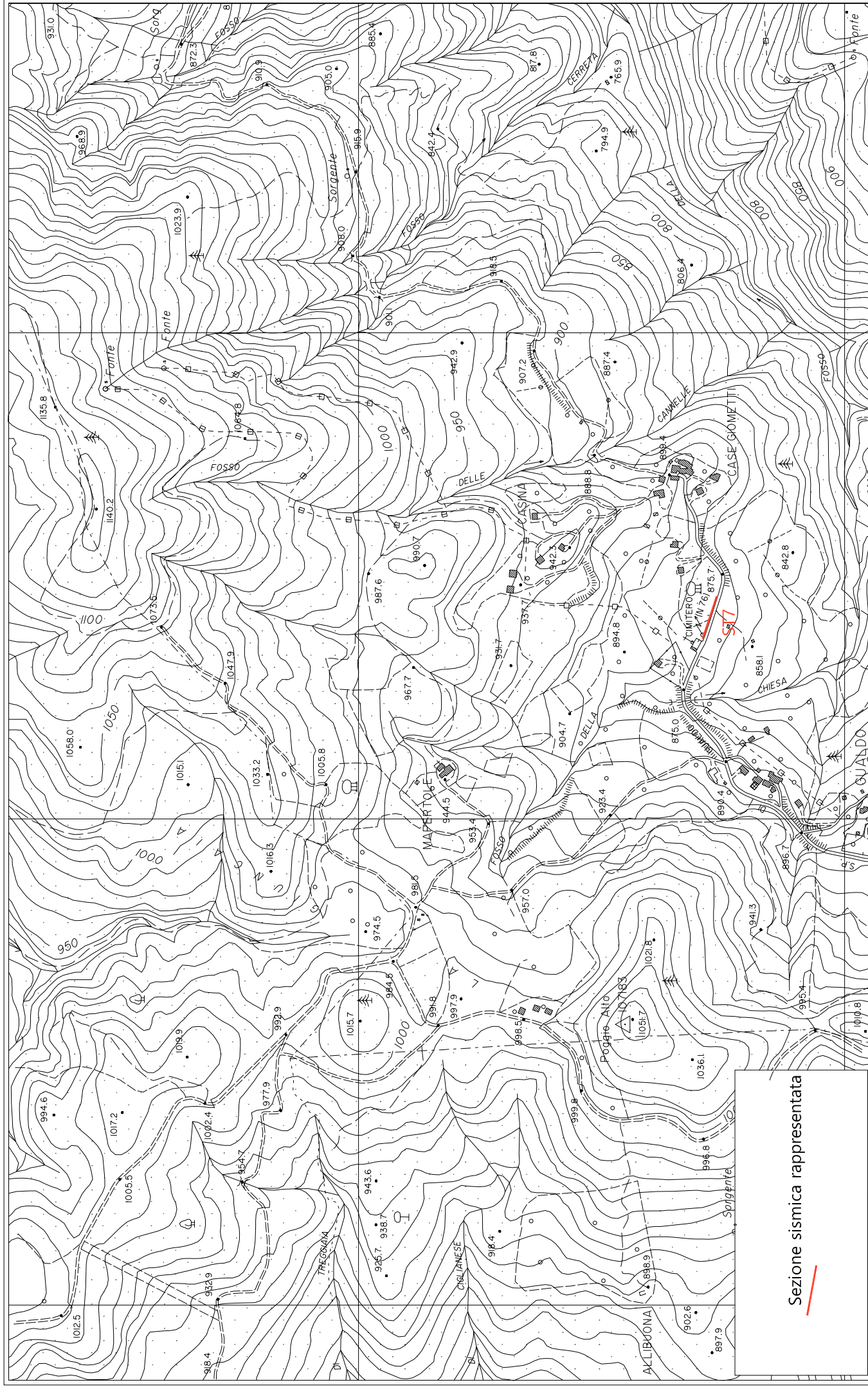
GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	0.0	875.00
2	4	4.0	875.00
3	8	4.0	875.00
4	12	4.0	875.00
5	16	4.0	875.00
6	20	4.0	875.00
7	24	4.0	875.00
8	28	4.0	875.00
9	32	4.0	875.00
10	36	4.0	875.00
11	40	4.0	875.00
12	44	4.0	875.00
13	48	4.0	875.00
14	52	4.0	875.00
15	56	4.0	875.00
16	60	4.0	875.00
17	64	4.0	875.00
18	68	4.0	875.00
19	72	4.0	875.00
20	76	4.0	875.00
21	80	4.0	875.00
22	84	4.0	875.00
23	88	4.0	875.00
24	92	4.0	875.00

### COORDINATE GAUSS-BOAGA DEI GEOFONI 1 E 24

COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	4853291,65	4853263,06
Y(m)	1710370,14	1710457,59

### PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT

ONDE P	Σ ONDE SH	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.2935	DAT.2916	A - ESTERNO SX	-35.0	875.00
DAT.2934	DAT.2914	B - ESTREMO SX	-2.0	875.00
DAT.2933	DAT.2918	C - INTERMEDIO SX	22.0	875.00
DAT.2932	DAT.2920	D - CENTRALE	46.0	875.00
DAT.2931	DAT.2922	E - INTERMEDIO DX	70.0	875.00
DAT.2929	DAT.2924	F - ESTREMO DX	94.0	875.00
DAT.2927	DAT.2926	G - ESTREMO DX	147.0	875.00



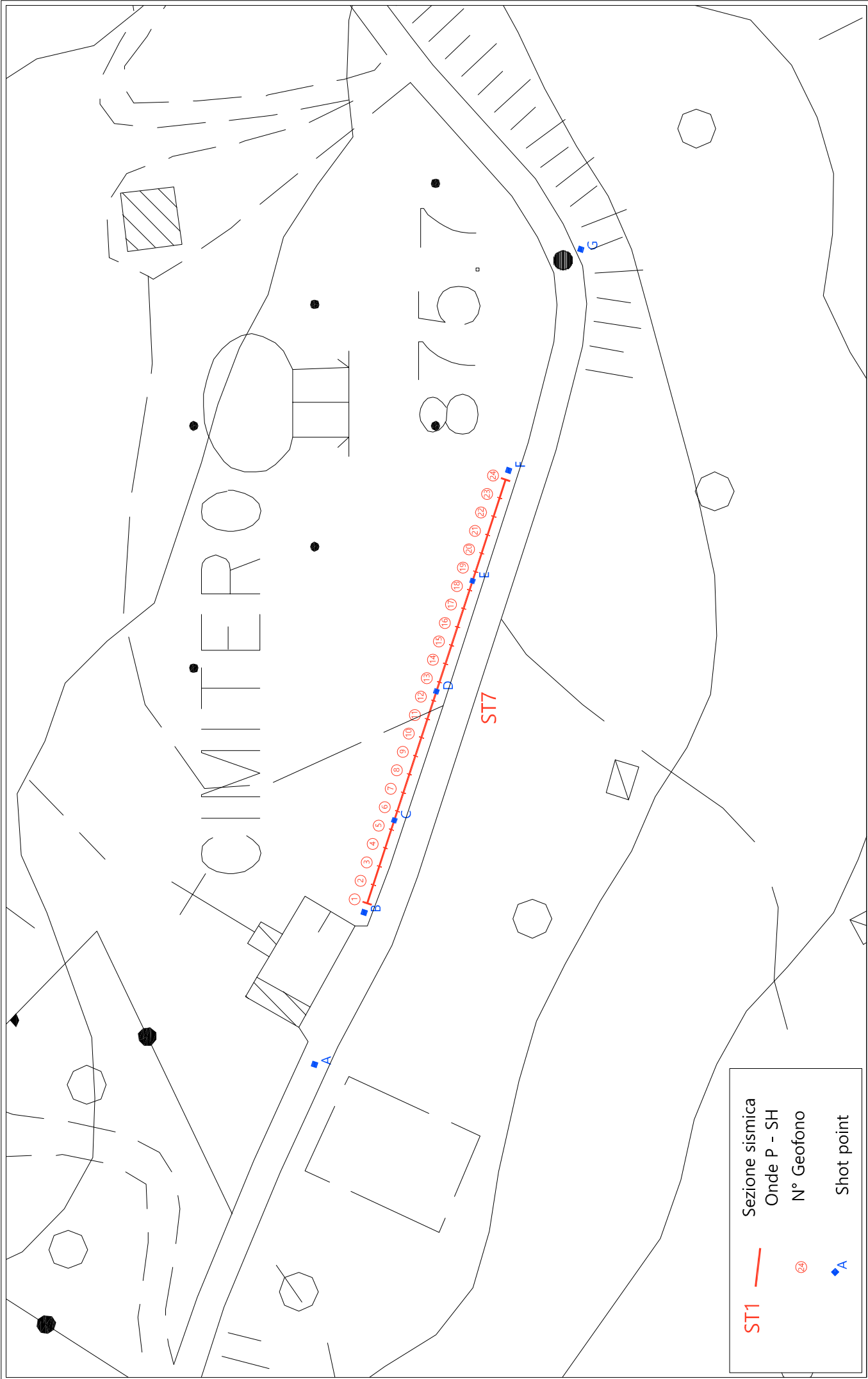
Scala 1: 10000

Settembre 2015

Tavola 01 - Planimetria generale - ST7\_MS

TRI+GEO





ST1

Sezione sismica

—

Onde P - SH

⊗

N° Geofono

◆

Shot point

Scala 1: 1000

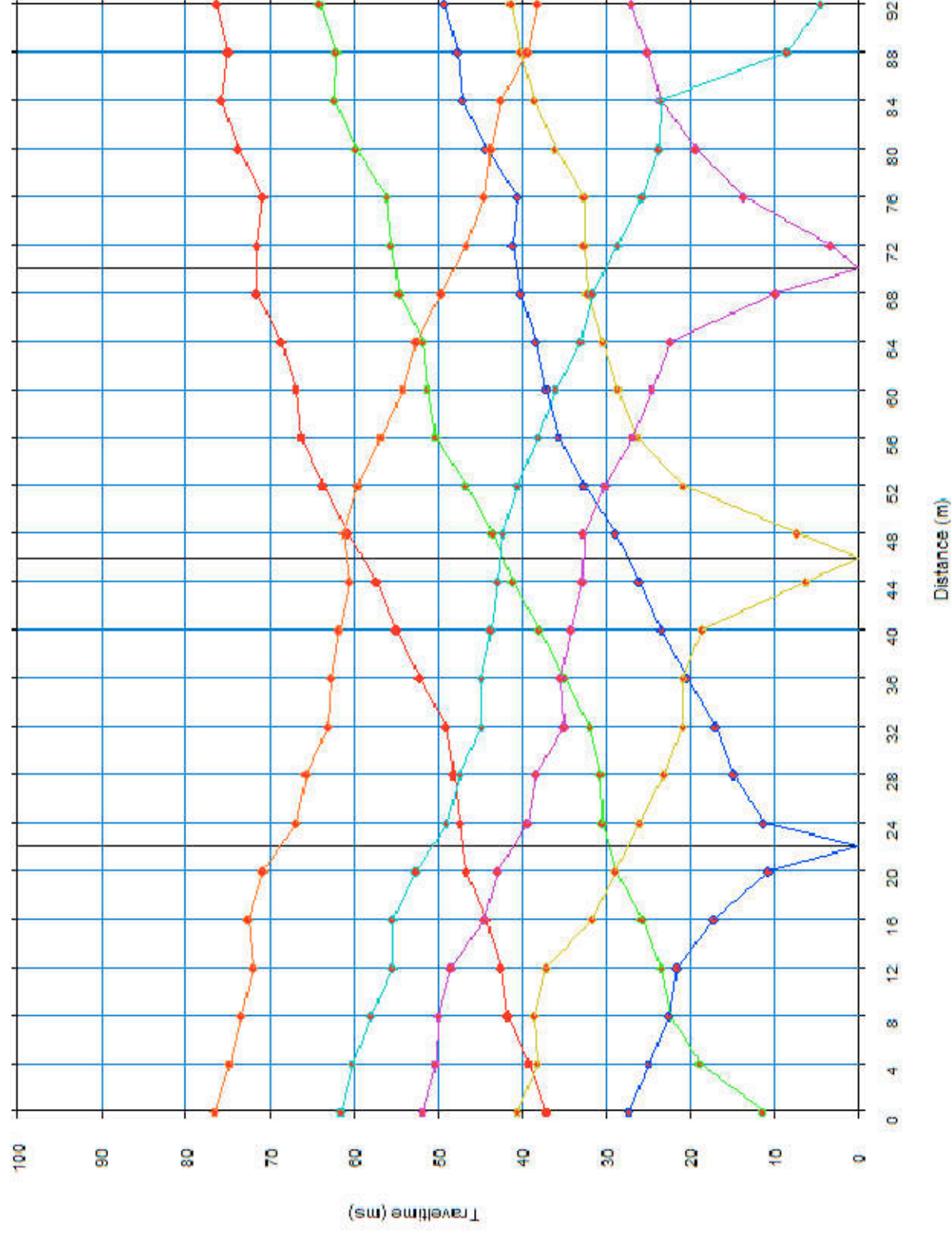
Settembre 2015

Tavola 02 - Planimetria di dettaglio - ST7\_MS

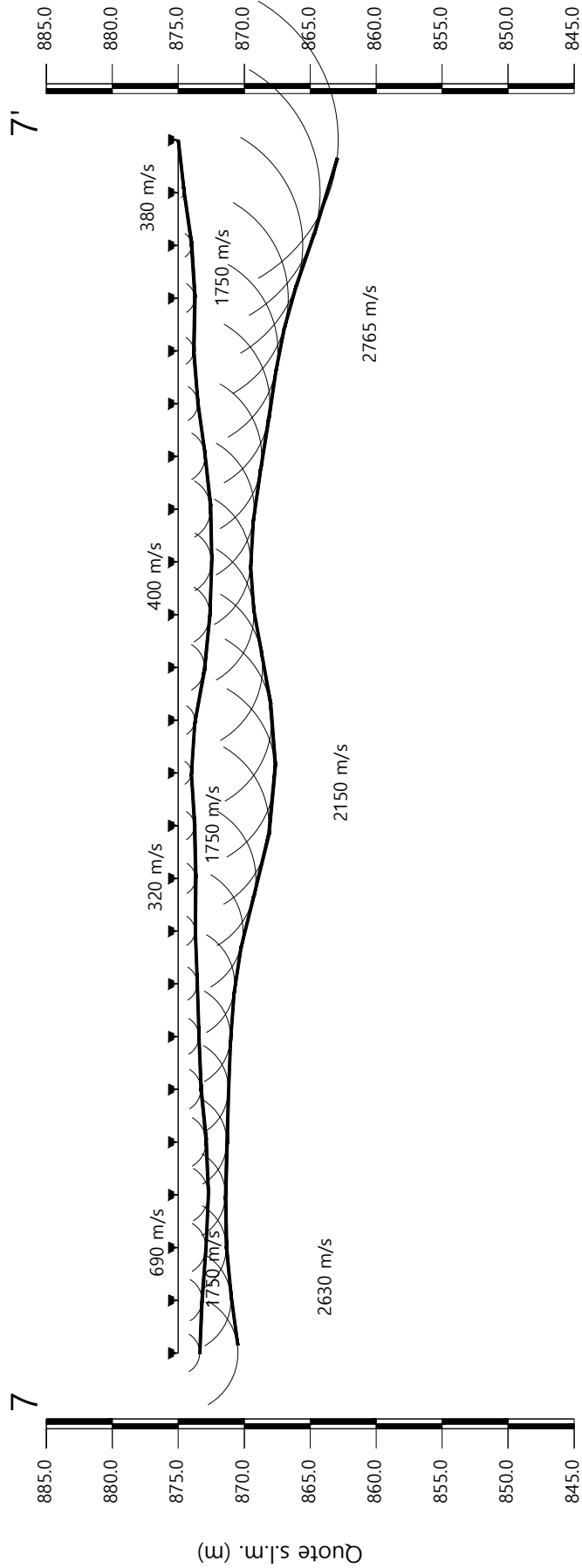
## TEMPI ONDE P – ST7\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	37.00	11.29	27.17	40.45	51.85	61.38	76.54
2	4	39.01	18.82	24.85	38.19	50.25	60.06	74.69
3	8	41.58	22.37	22.50	38.50	49.88	57.80	73.41
4	12	42.50	23.41	21.46	37.06	48.46	55.23	71.97
5	16	44.15	25.67	17.15	31.62	44.45	55.38	72.59
6	20	46.50	28.88	10.68	28.88	42.88	52.63	70.77
7	24	47.33	30.39	11.19	25.97	39.25	48.88	66.84
8	28	48.13	30.59	14.75	23.13	38.25	47.33	65.71
9	32	49.00	31.88	16.94	20.84	34.91	44.76	63.14
10	36	52.13	34.88	20.33	20.84	35.32	44.76	62.63
11	40	54.88	37.88	23.41	18.58	34.15	43.67	61.75
12	44	57.25	41.07	26.01	6.16	32.85	42.85	60.37
13	48	60.63	43.50	28.88	7.29	32.65	42.20	61.19
14	52	63.63	46.71	32.55	20.84	29.98	40.45	59.50
15	56	66.25	50.25	35.52	26.28	26.80	38.00	56.67
16	60	66.84	51.23	37.03	28.54	24.50	35.93	54.11
17	64	68.58	51.75	38.33	30.29	22.24	33.06	52.50
18	68	71.50	54.62	40.14	32.24	9.92	31.62	49.59
19	72	71.46	55.54	41.07	32.50	3.29	28.54	46.50
20	76	70.84	56.00	40.45	32.50	13.55	25.67	44.45
21	80	73.71	59.75	44.25	36.00	19.40	23.72	43.63
22	84	75.75	62.32	47.02	38.50	23.54	23.41	42.50
23	88	74.88	62.00	47.64	40.00	25.12	8.42	39.32
24	92	76.28	64.06	49.28	41.27	26.97	4.41	38.19

# Dromocrone

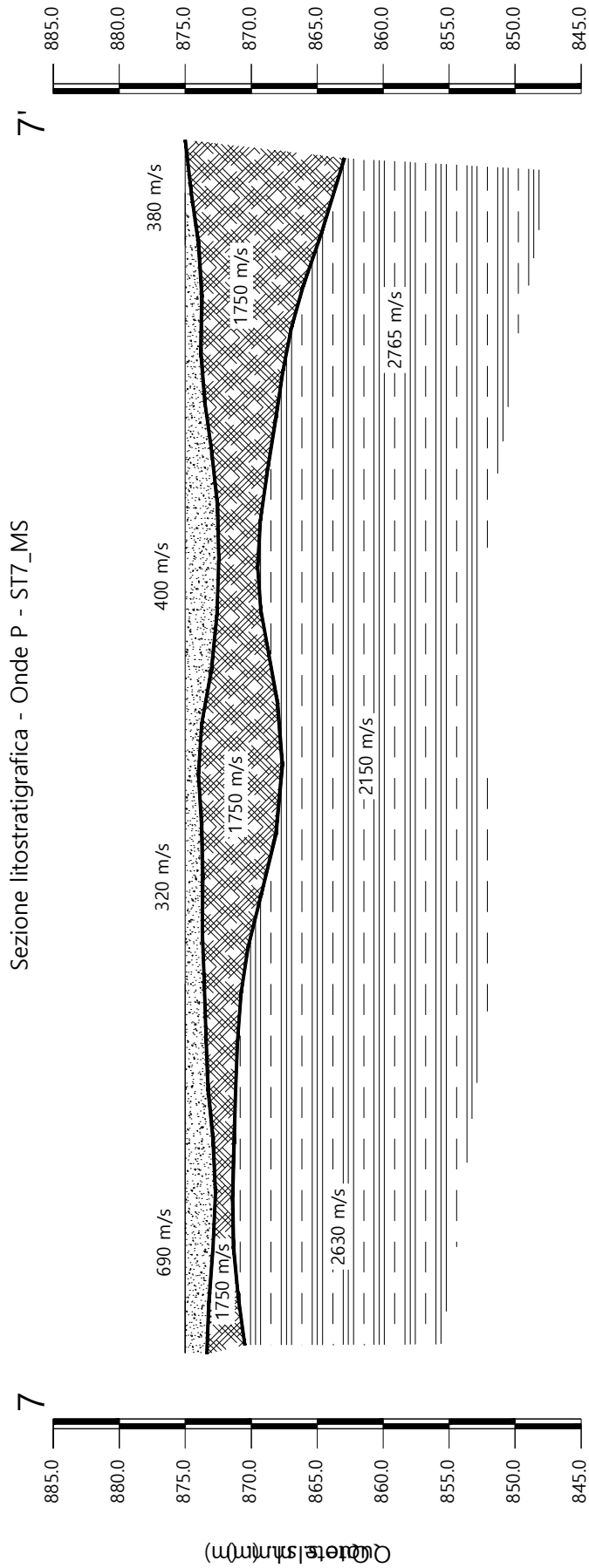


Sezione sismostratigrafica - Onde P - ST7\_MS



Numero geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	56	60	64	68	72	76	80	84	88	92
Quote s.l.m. (m)	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00
Profondità da p.c. strato 1 (m)	1.64	1.80	2.10	2.29	2.12	1.73	3.97	4.29	4.92	5.89	6.90	7.38	7.11	6.41	5.74	5.50	5.76	6.33	6.95	7.56	8.36	9.45	10.76	12.14
Profondità da p.c. strato 2 (m)	4.55	4.02	3.66	3.59	3.70	3.82	3.97	4.29	4.92	5.89	6.90	7.38	7.11	6.41	5.74	5.50	5.76	6.33	6.95	7.56	8.36	9.45	10.76	12.14

Sezione litostratigrafica - Onde P - ST7\_MS



Legenda

- Terreno vegetale / detrito
- Livello alterazione/fratturazione substrato roccioso
- Unità tettonica Canetolo: Argille e calcari (ACC)

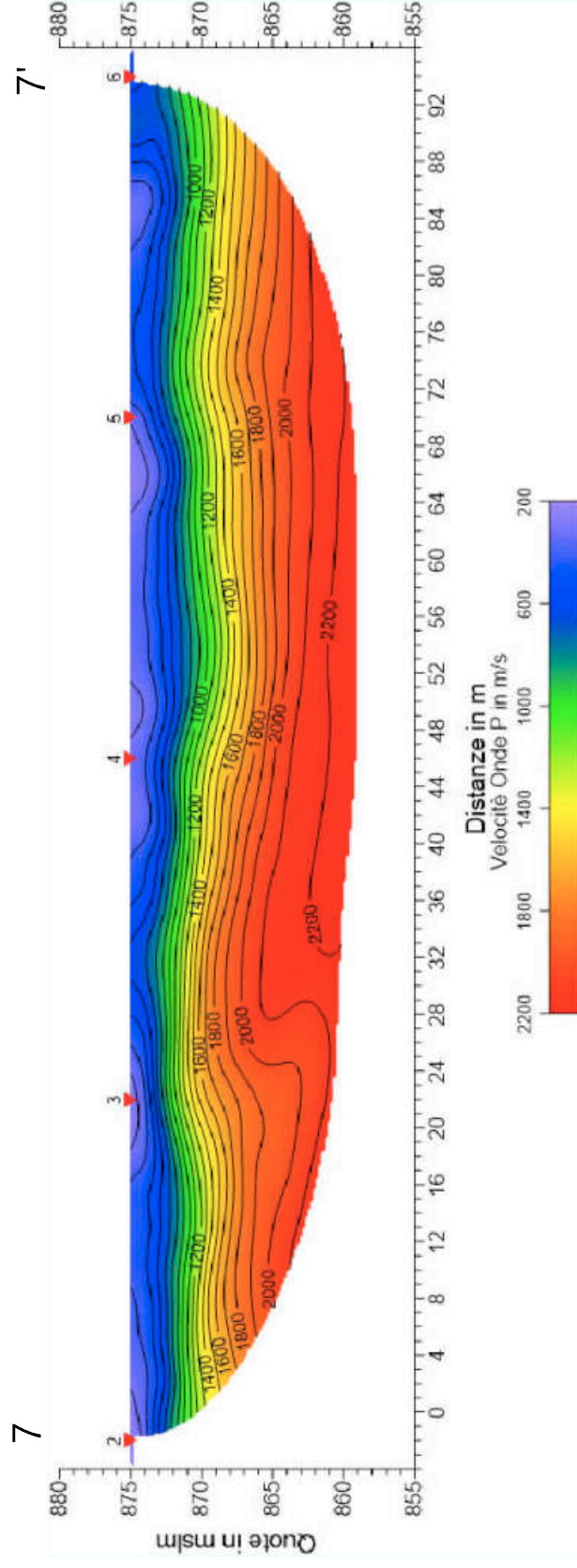
Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

Tavola 05 - Sezione litostratigrafica - Onde P - ST7\_MS



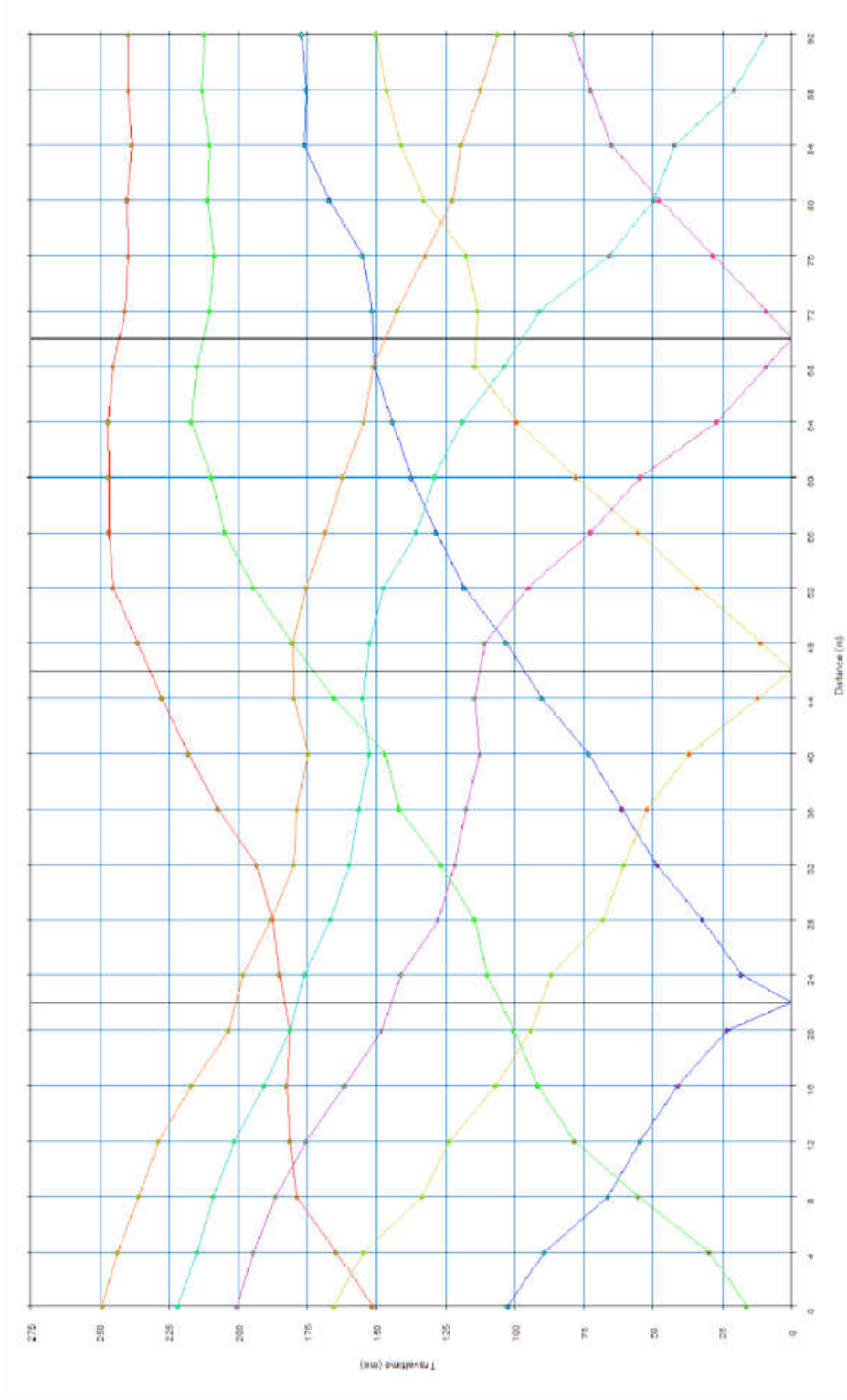
# Sezione tomografica - Onde P - ST7\_MS



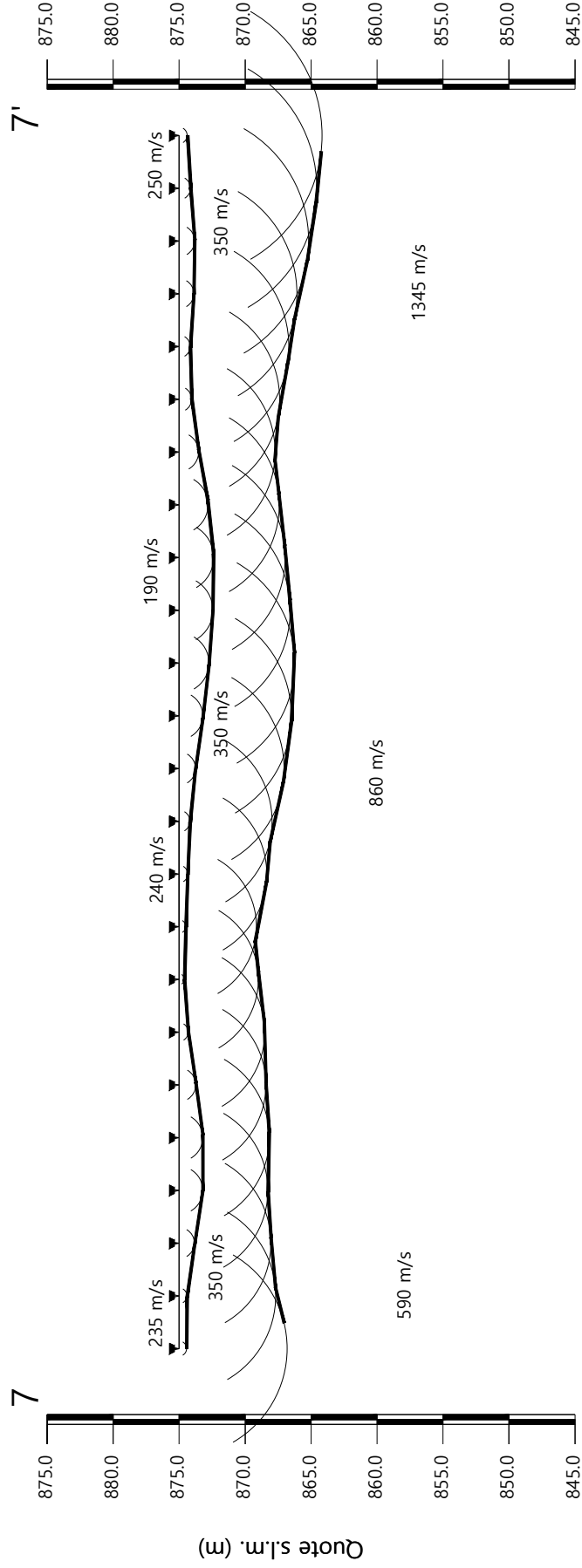
# TEMPI ONDE SH – ST7\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	151.51	16.30	102.62	165.52	200.41	221.99	249.31
2	4	164.83	29.63	89.30	154.73	194.67	214.88	243.57
3	8	178.83	55.56	66.35	133.61	186.41	209.14	236.00
4	12	181.36	78.51	54.87	123.51	175.62	201.56	228.88
5	16	182.51	91.83	41.10	106.98	161.62	190.77	216.94
6	20	181.36	100.55	23.19	94.35	148.30	181.36	203.56
7	24	185.03	110.19	18.14	86.78	141.18	176.31	198.35
8	28	187.53	114.55	32.14	68.18	127.87	166.67	188.25
9	32	193.30	126.63	48.67	60.61	121.67	159.78	179.98
10	36	207.30	141.87	61.29	52.34	117.77	156.57	178.83
11	40	218.09	146.92	73.46	37.19	112.72	152.66	174.72
12	44	227.73	165.52	90.45	12.13	114.55	155.19	179.98
13	48	236.46	180.67	103.08	11.03	110.91	152.66	180.38
14	52	245.41	194.67	118.46	34.00	95.04	147.61	175.62
15	56	246.79	204.77	128.56	55.56	72.77	135.67	168.50
16	60	246.79	209.83	137.51	77.82	54.87	129.25	162.30
17	64	247.24	216.94	144.40	99.40	27.09	119.15	154.50
18	68	245.41	214.88	150.83	114.55	9.18	103.76	151.13
19	72	241.05	210.51	151.51	113.41	9.18	91.14	142.56
20	76	239.67	208.68	154.88	117.77	28.40	65.66	132.46
21	80	240.36	211.13	167.36	133.09	47.98	49.82	122.63
22	84	238.52	210.51	176.31	141.11	65.20	42.24	119.60
23	88	239.67	213.04	175.62	146.46	72.77	20.66	112.50
24	92	239.67	212.35	177.30	150.14	79.66	9.18	106.29

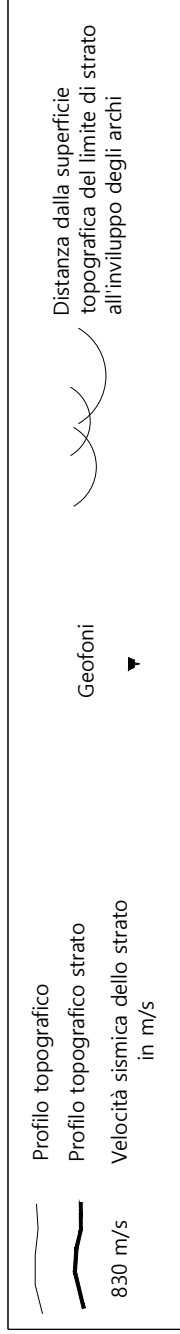
# Dromocrone



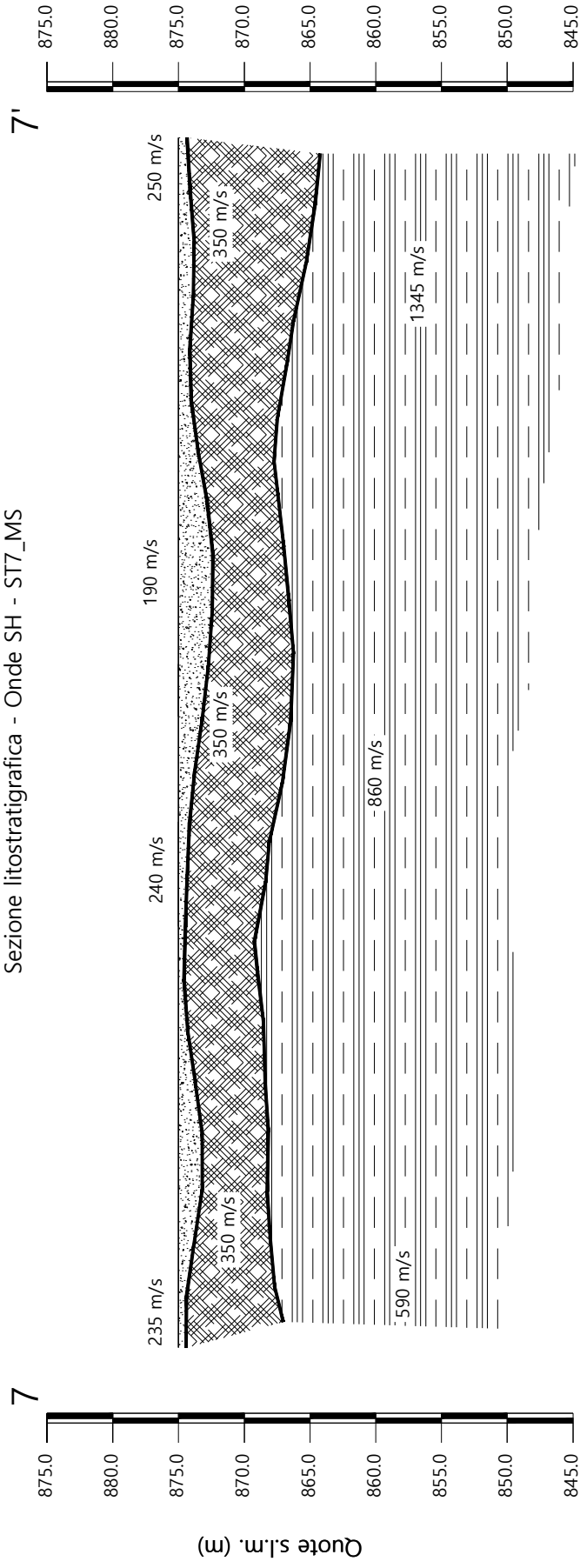
Sezione sismostratigrafica - Onde SH - ST7\_MS



Numero geofono	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)																									
Quote s.l.m. (m)	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00	875.00
Profondità da p.c. strato 1 (m)	0.58	0.61	1.18	1.80	1.82	1.29	0.71	0.42	0.52	0.66	0.84	1.25	1.82	2.28	2.57	2.63	2.21	1.50	0.97	0.86	1.13	1.19	0.88	0.62	10.85
Profondità da p.c. strato 2 (m)	7.33	6.98	6.75	6.84	6.59	6.50	6.03	5.88	5.88	6.66	7.07	7.97	8.53	8.78	8.43	8.06	7.61	7.29	7.63	8.33	8.95	9.83	10.44	10.85	10.85



Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST7\_MS

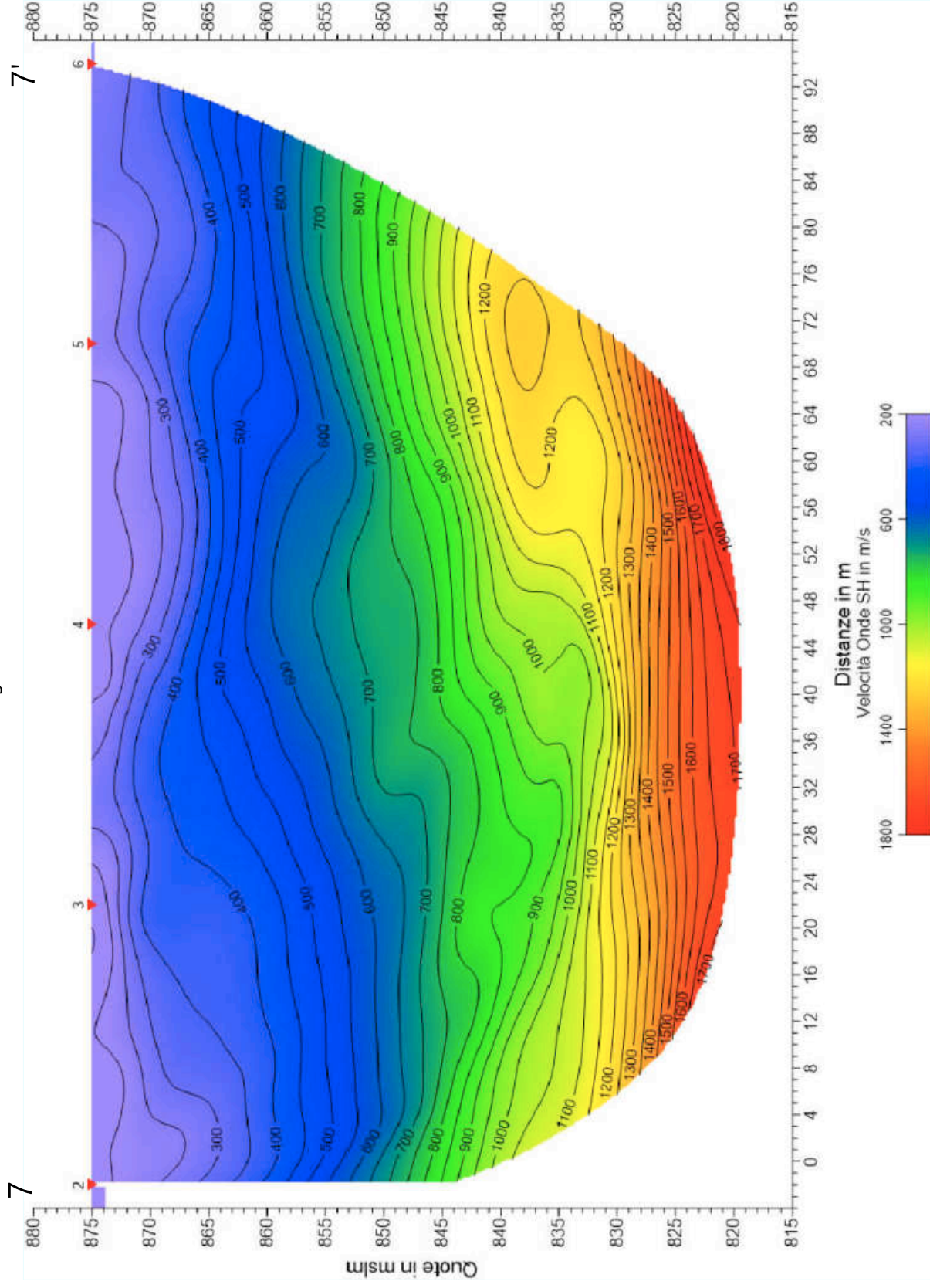


Legenda

- Terreno vegetale / detrito
- Livello alterazione/fratturazione substrato roccioso
- Unità tettonica Canetolo: Argille e calcari (ACC)



Sezione tomografica - Onde SH - ST7\_MS



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

Tavola 10 - Sezione tomografica - Onde SH - ST7\_MS

**VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST7\_MS – ONDE P**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>3</sub> LIVELLO 3 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	690	1750	2226
2	4	628	1750	2629
3	8	567	1750	2932
4	12	505	1750	3097
5	16	443	1750	2841
6	20	440	1750	2529
7	24	378	1750	2351
8	28	320	1750	2415
9	32	331	1750	2379
10	36	343	1750	2318
11	40	354	1750	2258
12	44	352	1750	2213
13	48	363	1750	2065
14	52	375	1750	1957
15	56	386	1750	1959
16	60	400	1750	2048
17	64	398	1750	2275
18	68	395	1750	2496
19	72	393	1750	2744
20	76	390	1750	2772
21	80	388	1750	2819
22	84	385	1750	2861
23	88	383	1750	3005
24	92	380	1750	3168

**VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST7\_MS – ONDE SH**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>3</sub> LIVELLO 3 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)
1	0	235	350	425
2	4	236	350	476
3	8	237	350	535
4	12	238	350	609
5	16	238	350	669
6	20	239	350	699
7	24	240	350	677
8	28	240	350	628
9	32	233	350	600
10	36	226	350	669
11	40	219	350	781
12	44	216	350	870
13	48	209	350	869
14	52	202	350	892
15	56	195	350	946
16	60	190	350	1252
17	64	198	350	1610
18	68	205	350	1728
19	72	213	350	1443
20	76	220	350	1238
21	80	228	350	1132
22	84	235	350	1196
23	88	243	350	1214
24	92	250	350	1209

### PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST7\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	4.77
2	4	4.81
3	8	5.14
4	12	5.01
5	16	5.59
6	20	5.73
7	24	4.93
8	28	4.85
9	32	4.41
10	36	5.08
11	40	5.56
12	44	5.82
13	48	6.89
14	52	7.23
15	56	7.18
16	60	6.67
17	64	6.70
18	68	6.71
19	72	5.91
20	76	5.22
21	80	5.75
22	84	5.98
23	88	4.94
24	92	5.01

### PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST7\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)
1	0	8.84
2	4	8.52
3	8	7.93
4	12	7.16
5	16	6.30
6	20	5.68
7	24	5.14
8	28	4.67
9	32	4.92
10	36	5.55
11	40	6.31
12	44	7.36
13	48	8.42
14	52	9.15
15	56	9.38
16	60	9.29
17	64	8.90
18	68	8.12
19	72	7.25
20	76	6.72
21	80	6.24
22	84	5.61
23	88	5.15
24	92	4.87



Vista generale ST7\_MS da G1 verso G24.



Vista generale ST7\_MS da G10 verso G1.





Vista generale ST7\_MS da G12 verso G1 .

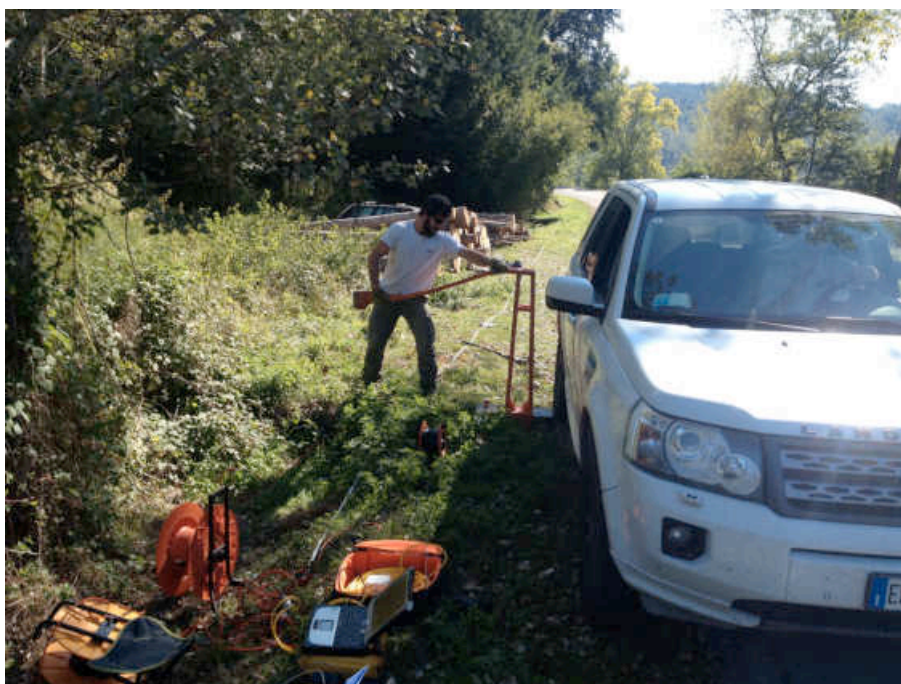


Vista generale ST7\_MS da G20 verso G1 .





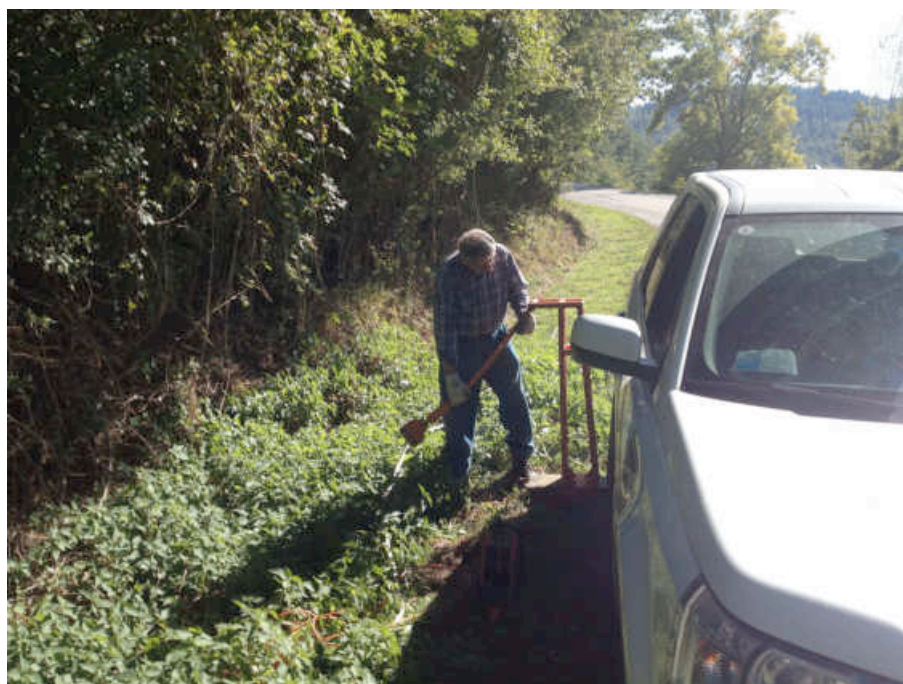
Vista generale ST7\_MS da G24 verso G1 .



Shot point D – Onde SH – ST7\_MS



Shot point E – Onde SH – ST7\_MS.



Shot point F – Onde SH – ST7\_MS.





Shot point D – Onde P – ST7\_MS.



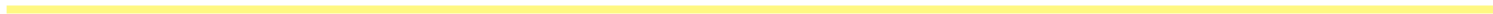
Shot point F – Onde P – ST7\_MS.

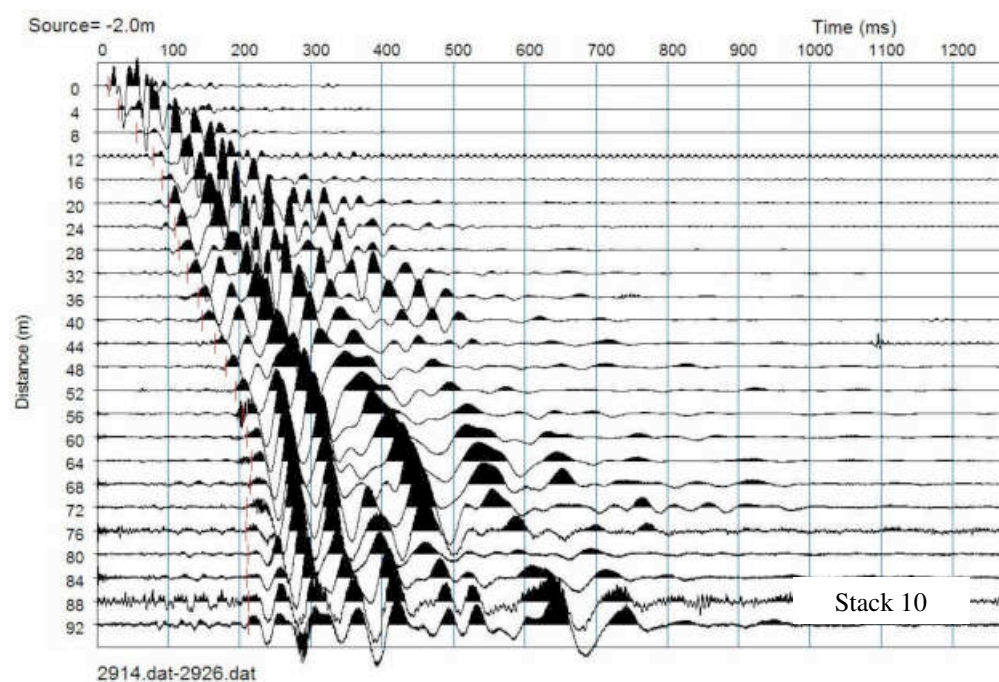
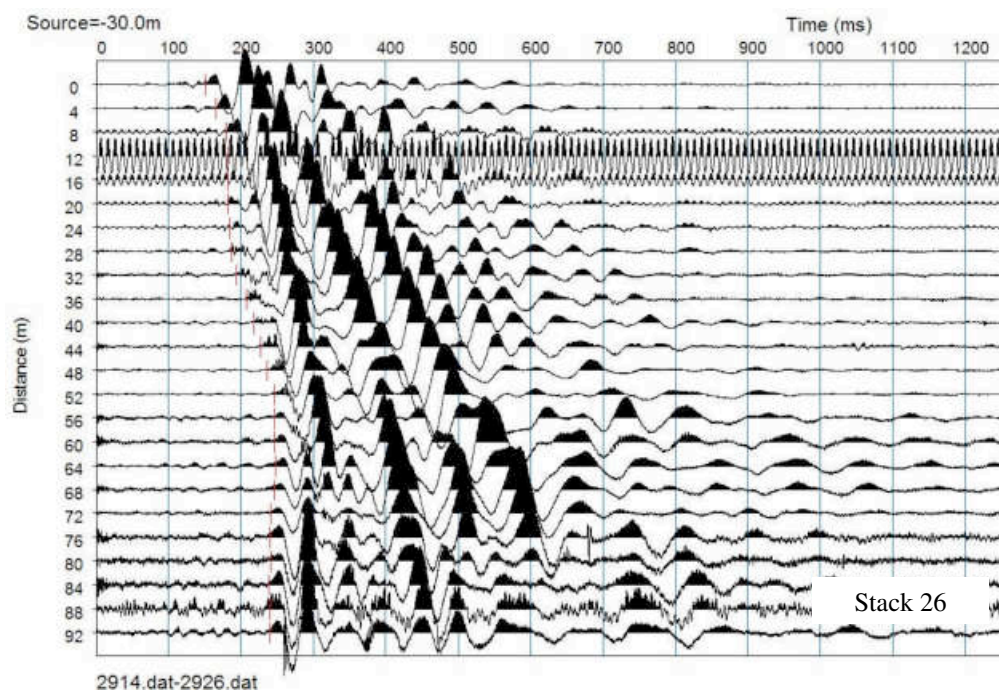


## **REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA – ST7\_MS**

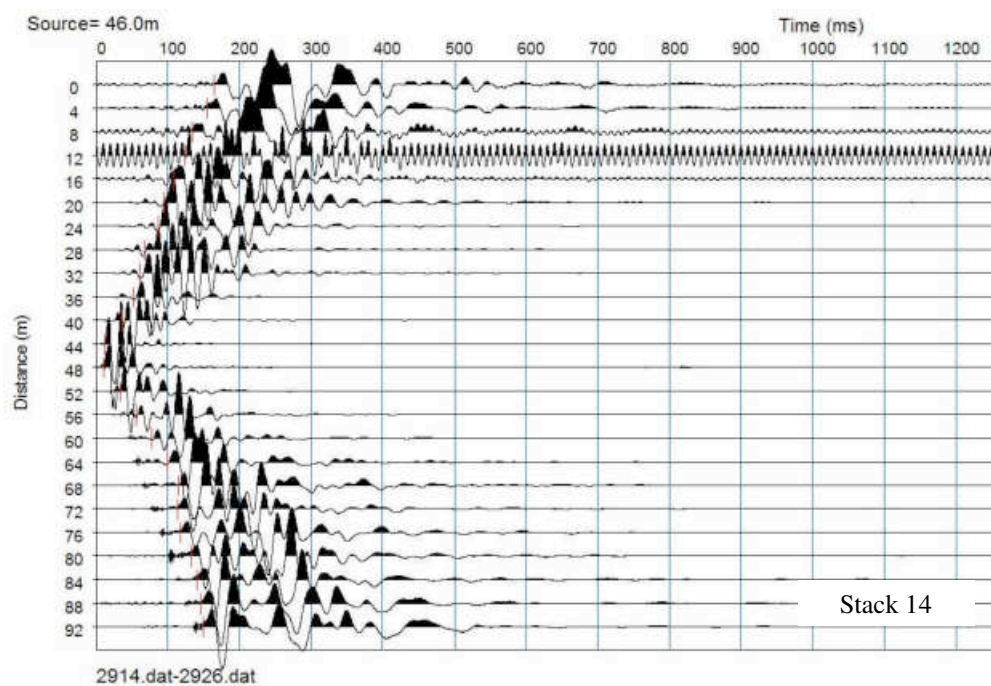
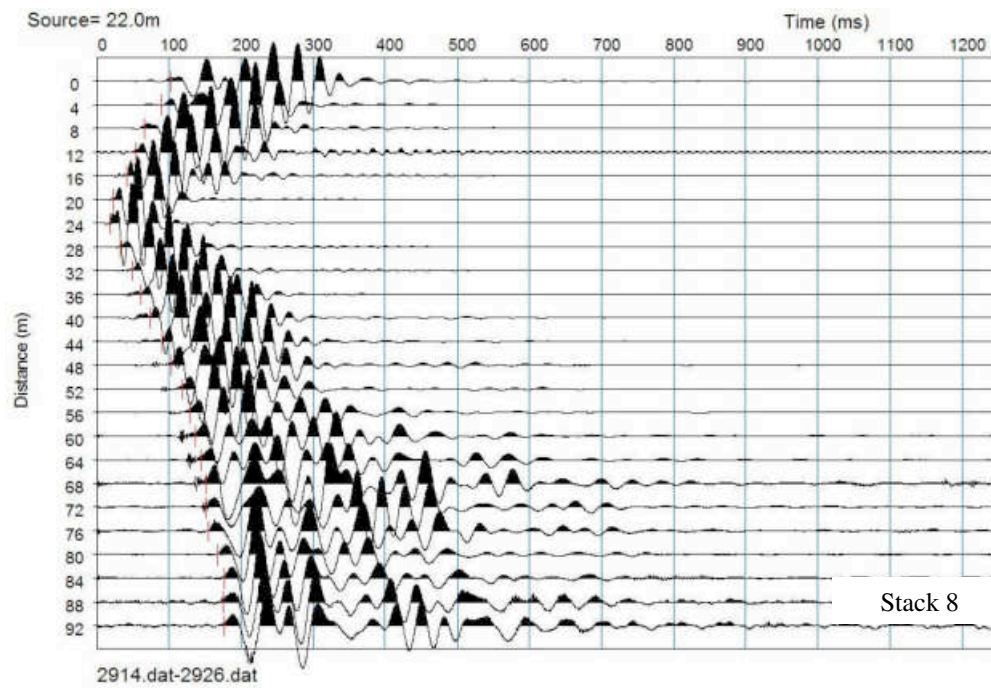
**file 2914 - 2926 Onde SH**

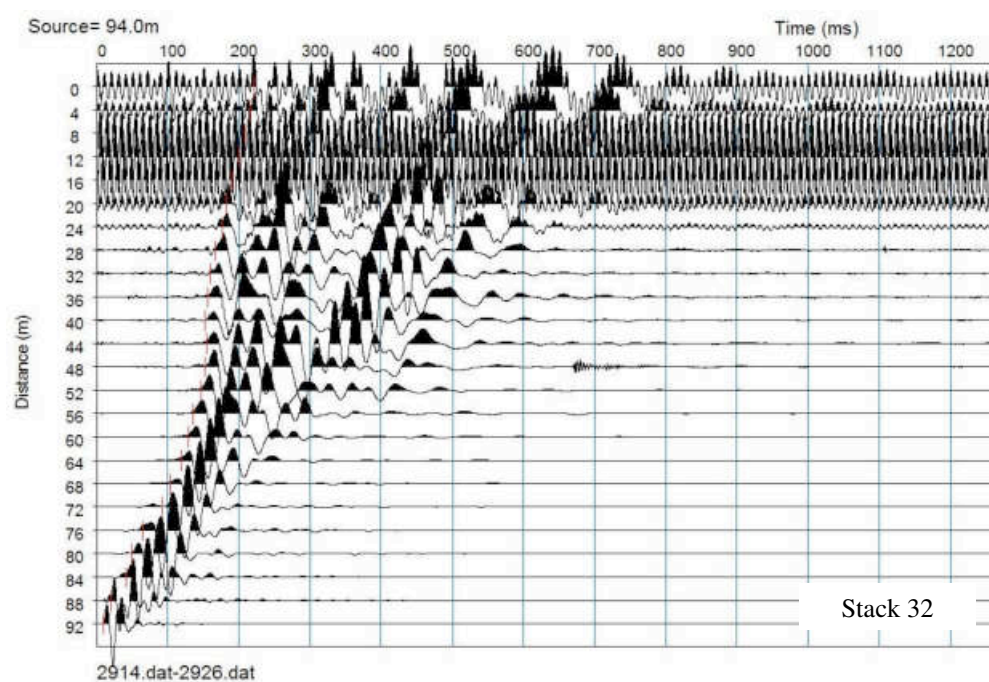
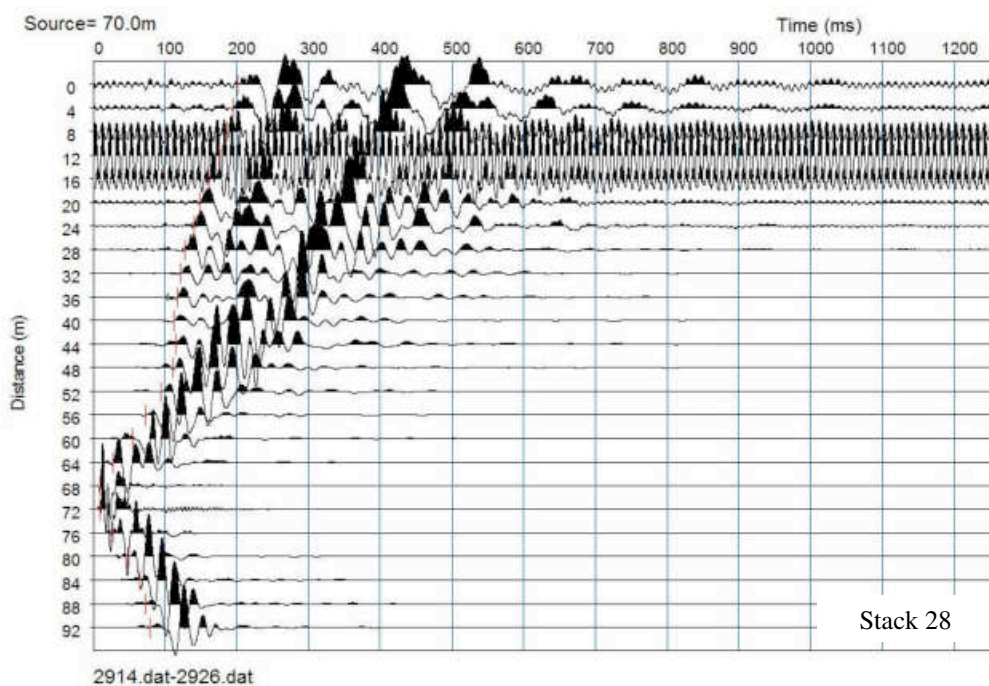
**file 2927 - 2935 Onde P**

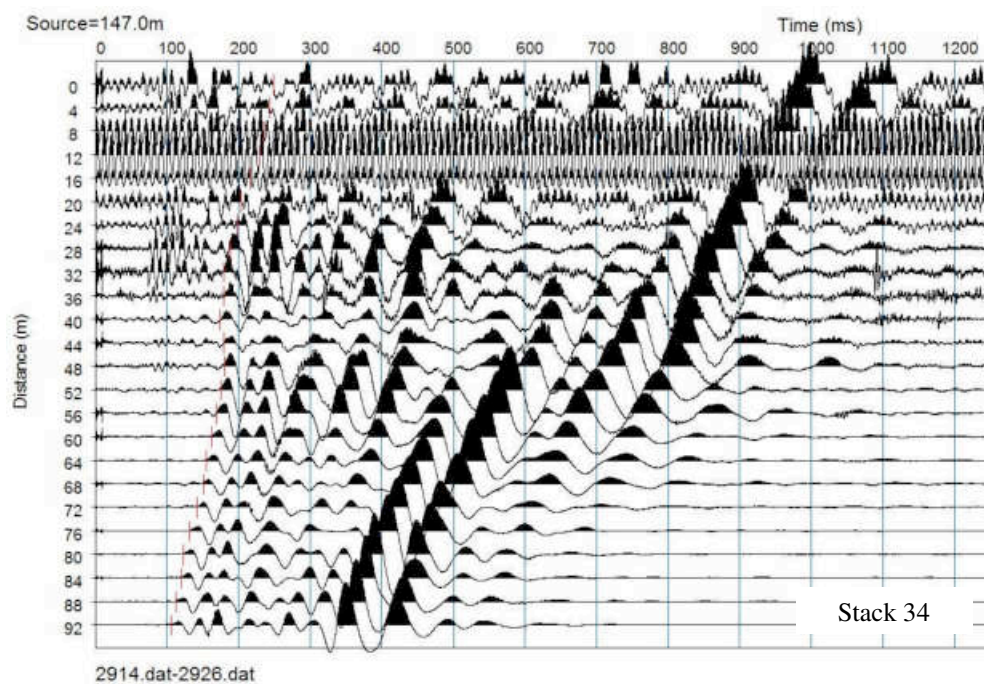


ONDE SH  $\Sigma$ 



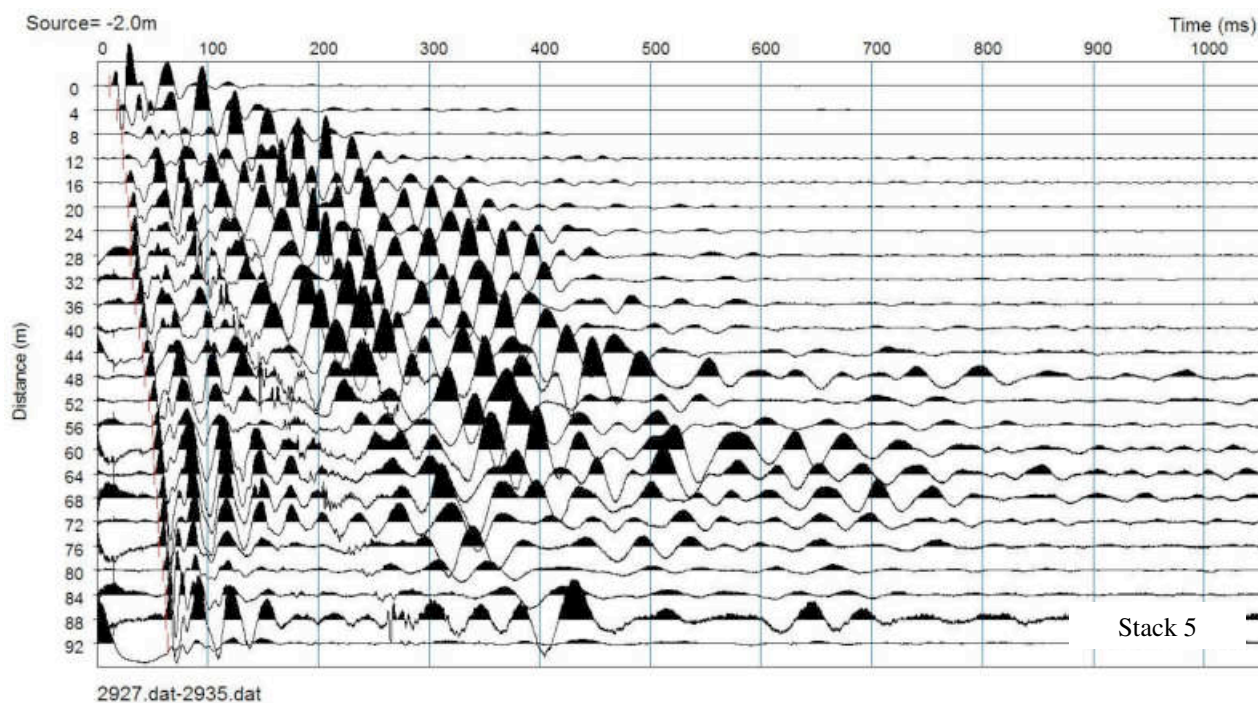
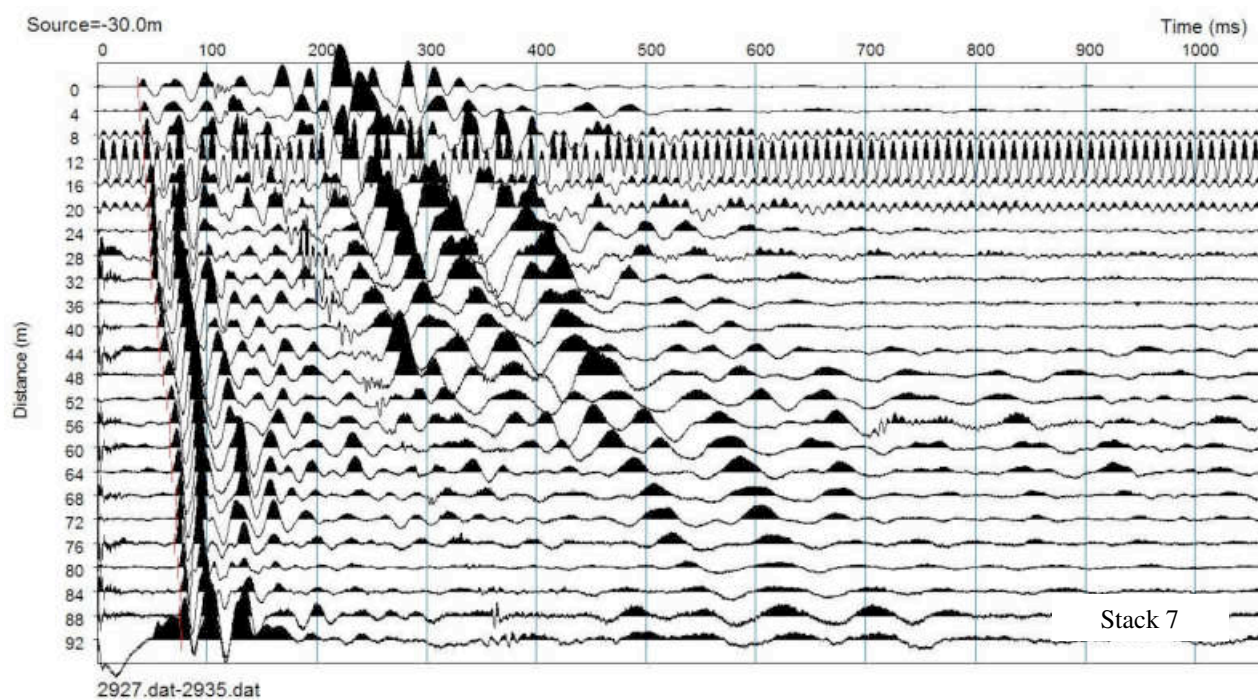


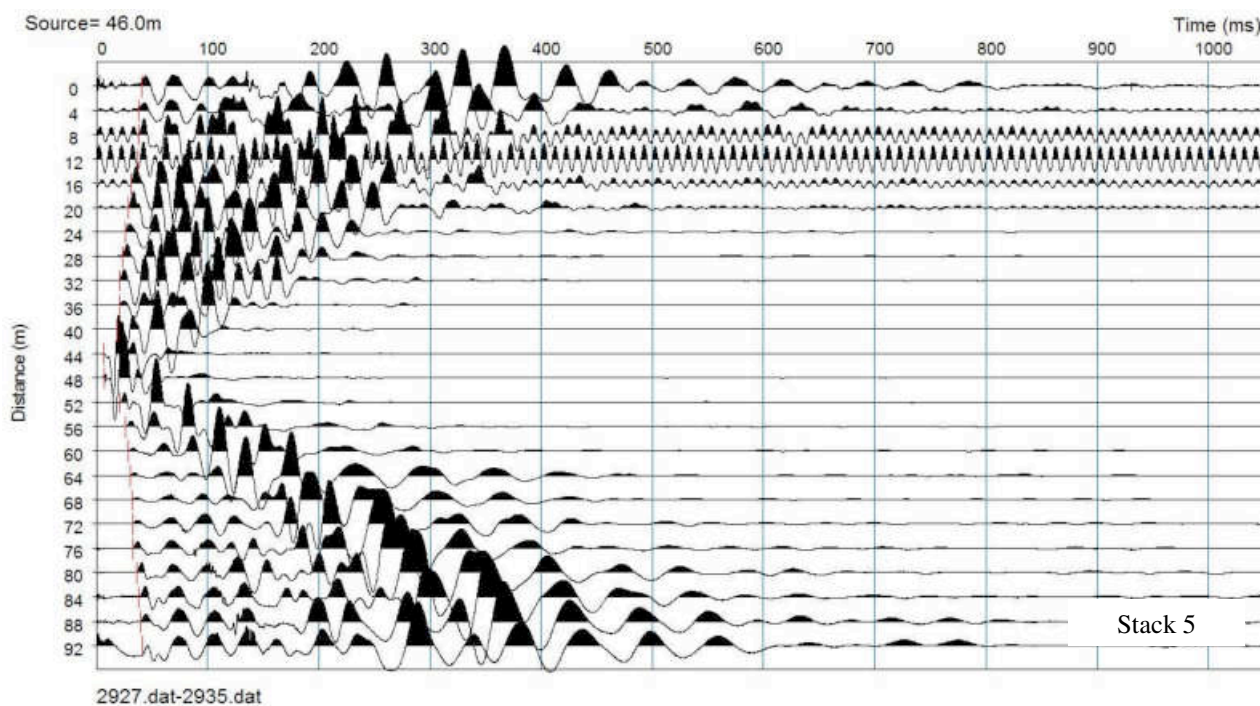
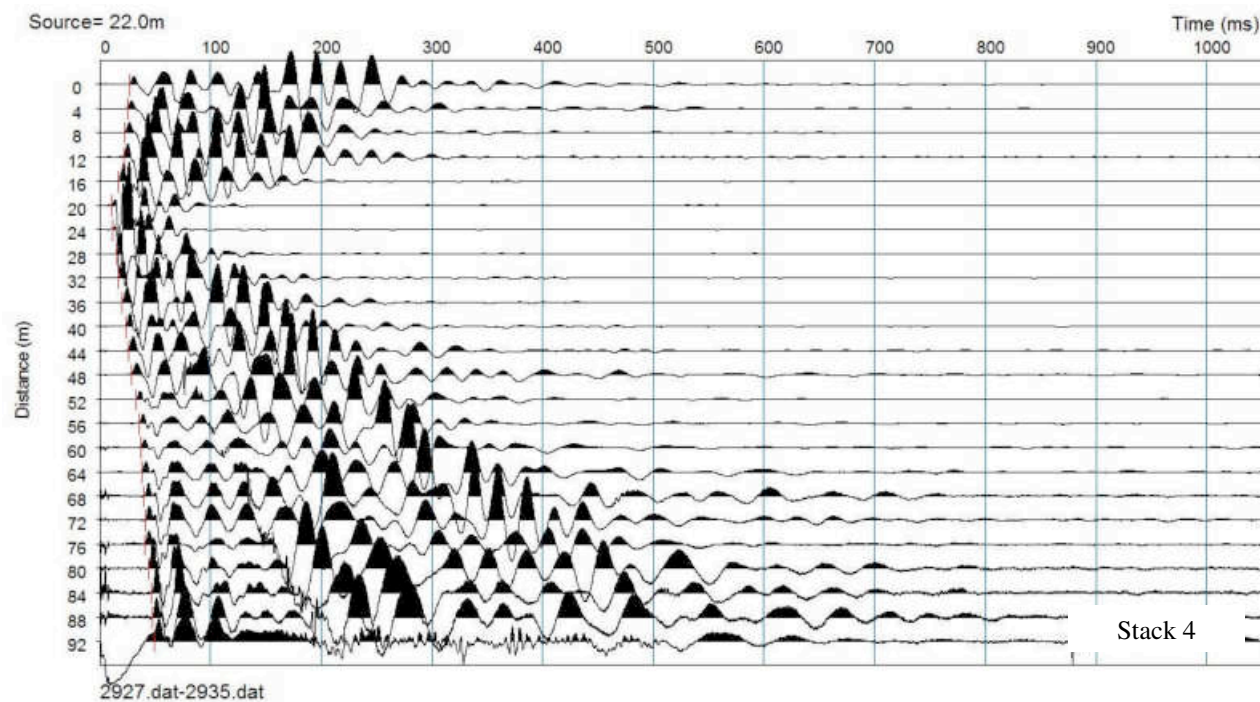




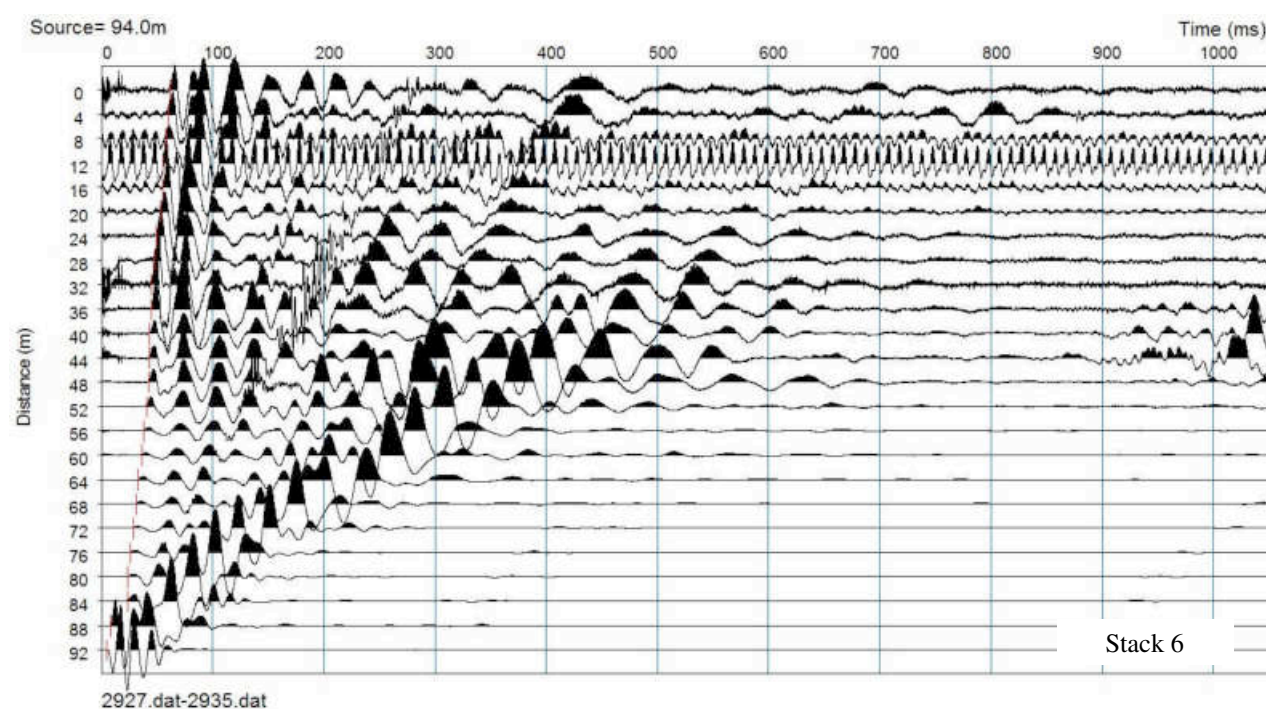
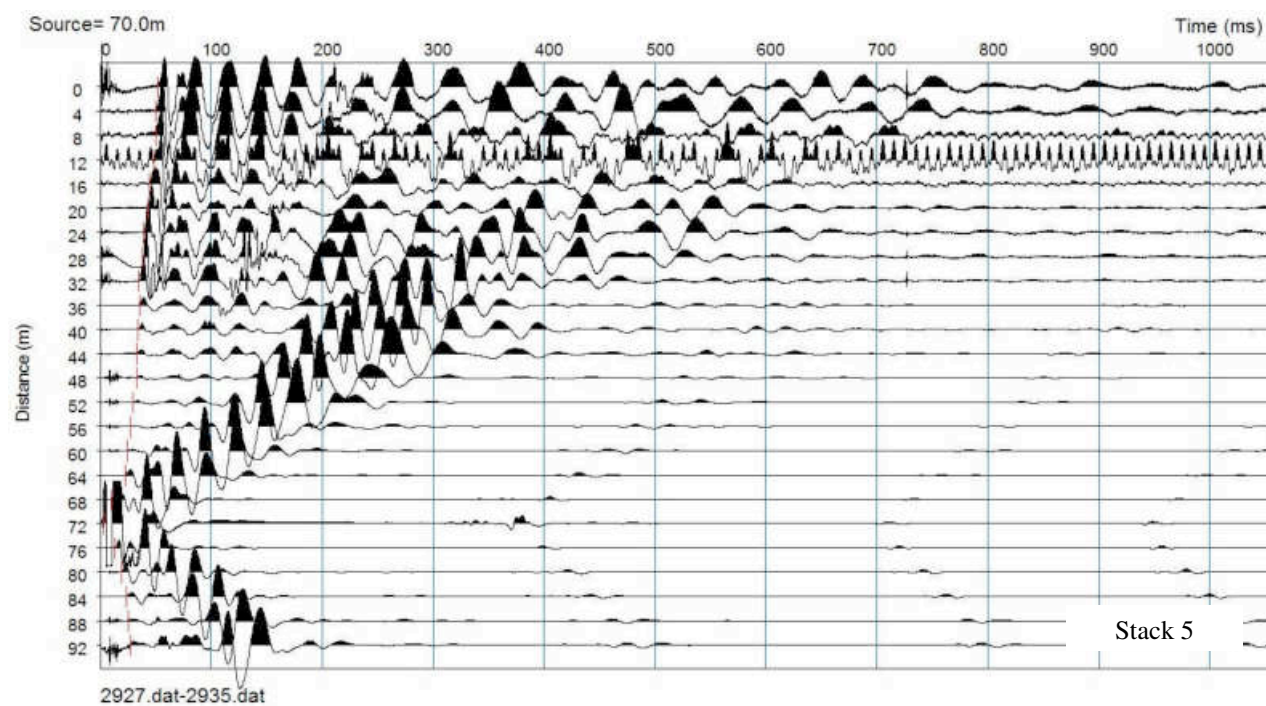


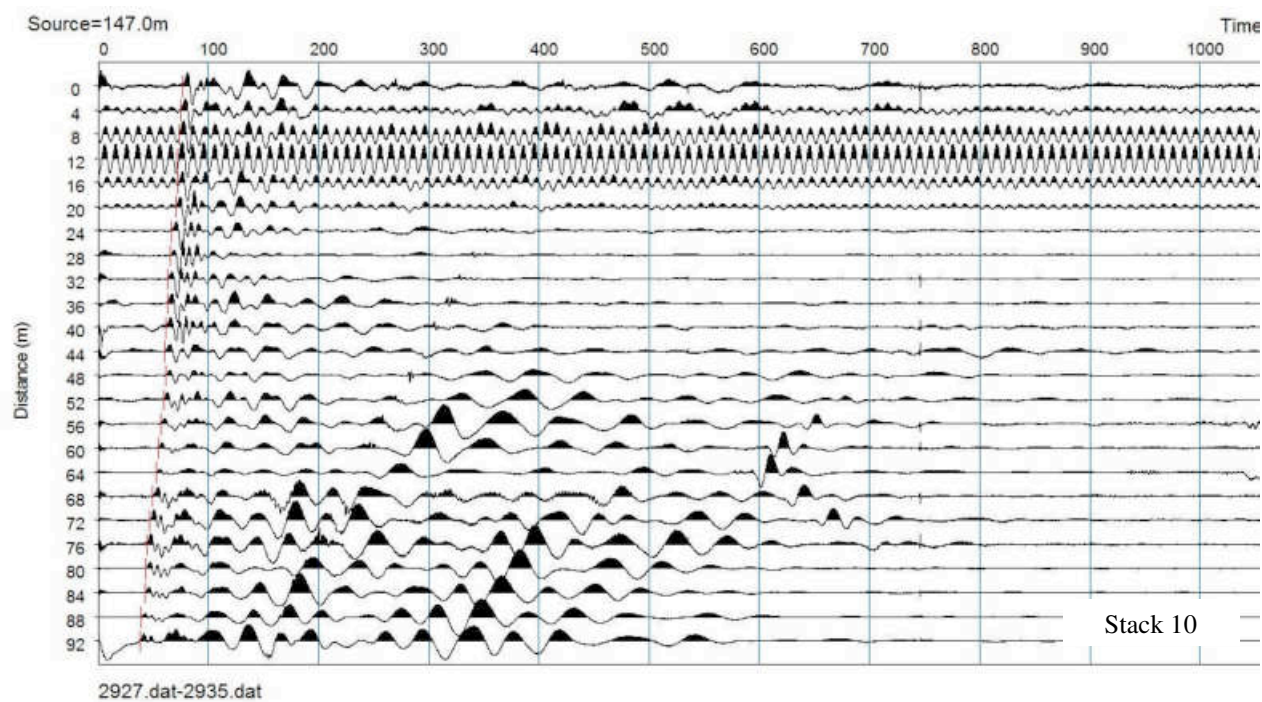
## ONDE P











### TRIGEO snc

di Andrea Nencetti e Benedetto Burchini  
Via Mazzini, 18  
52011 Soci (AR)  
P.IVA 02024110518  
info@trigeo.it

### FIRENZE

Via Nino Bixio, 9  
50131 Firenze  
firenze@trigeo.it  
T/F 055 400619  
M 328 7213928

### AREZZO

Via Trasimeno, 7  
52100 Arezzo  
arezzo@trigeo.it  
T/F 0575 294500  
M 339 2288117

## RELAZIONE TECNICA

### STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

**“INDAGINE GEOFISICA DI  
SUPERFICIE MEDIANTE SISMICA A  
RIFRAZIONE E TOMOGRAFIA  
SISMICA (ONDE P ED SH) LINEA  
SISMICA ST8 - TARTIGLIA”**

## COMMITTENTE : COMUNE DI PRATOVECCHIO-STIA

28 - SETTEMBRE - 2015



CERTIFICATO  
ISO N°14PA00028P06

ADDETTO ALLE PROVE  
NON DISTRUTTIVE E  
SEMIDISTRUTTIVE  
NEL SETTORE CIVILE

TRIGEO s.n.c.  
di Nencetti Andrea e Burchini Benedetto  
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)  
P.IVA 02024110518  
Tel/Fax 0575 294500 - 055 996212  
Cell. / 339 2288117 - 328 7213928  
www.trigeo.it - info@trigeo.it



WWW.TRIGEO.IT

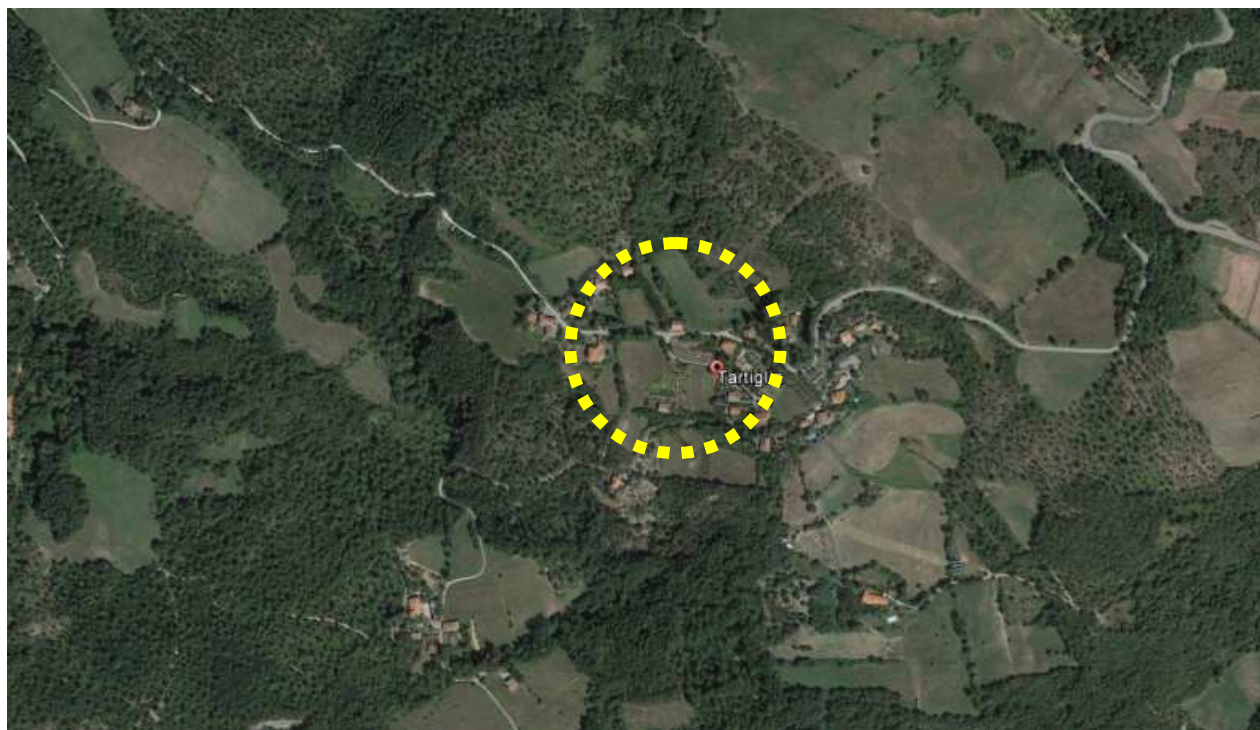
## INDICE

<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
<b>1.0 SCHEMA OPERATIVO</b>	<b>5</b>
<b>2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA</b>	<b>5</b>
<b>3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI</b>	<b>7</b>
<b>4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA</b>	<b>8</b>
<b>5.0 CONSIDERAZIONI FINALI</b>	<b>10</b>
<b>ALLEGATI</b>	<b>12</b>



## INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati dell'indagine sismica eseguita nel mese di Settembre 2015, mediante sismica a rifrazione onde P ed onde SH (acquisizione ed elaborazione dati con metodologia tomografica), per conto del **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)**.



**Figura 1:** Area d'intervento: Linea ST8 Loc. Tartiglia – Prato Vecchio Stia (AR).

L'indagine sismica, viene eseguita in località **TARTIGLIA** nel **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)**. Dopo aver preso visione della zona e delle problematiche ad essa connesse è stata programmata una prospezione geofisica mediante sismica a rifrazione tesa a fornire, lungo la sezione, convenuta con la committenza, una caratterizzazione delle litologie presenti nell'area d'indagine nonché determinare le geometrie (spessori e superfici di contatto) nel sottosuolo dei terreni in funzione dell'andamento in profondità delle velocità delle onde sismiche compressionali P e di taglio SH. I dati ottenuti sono stati elaborati sia con la metodologia classica della rifrazione (GRM) che con la metodologia tomografica che permette di ottenere, attraverso un maggior numero



di “energizzazioni” (7 per ciascun stendimento) ed un opportuno software di elaborazione, un’ottima caratterizzazione del substrato e dei materiali di copertura.

L’acquisizione delle onde SH combinate alle onde di compressione consente di ottenere i principali parametri elastico/dinamici e di fornire i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), così come richiesto dal D.M. 14/01/2008 Testo Unico - Norme Tecniche per le Costruzioni.

La relazione tecnica riferisce sui risultati ottenuti dall’indagine sismica a rifrazione mediante Onde P e SH ed è corredata dalle seguenti documentazioni che ne costituiscono parte integrante:

- **Tavola 01:** Planimetria generale del profilo sismico **ST8** eseguito, scala 1:10.000 (da CTR 1:10.000);
- **Tavola 02:** Planimetria di dettaglio scala 1:1.000 con ubicazione del profilo sismico **ST1** eseguito, posizionamento dei geofoni e delle energizzazioni effettuate;
- Schema dettagliato della linea sismica con posizionamento relativo dei geofoni (quote-distanze), coordinate in Gauss-Boaga dei geofoni iniziale e finale e punti di energizzazioni (quote-distanze);
- **Tabelle Tempi di arrivo Onde P e SH** relativi ai vari scoppi, con riportati posizione, tempo di arrivo e quota di ciascun geofono;
- **Tavole 03-07:** Diagrammi Tempi d’arrivo-Distanze (Dromocrone) Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 04-08:** Grafici delle profondità dei rifrattori individuati (sezione sismostratigrafica) e tabelle Distanze-Profondità Onde P-SH, scala 1:500;
- **Tavole 05-09:** Sezioni litostratigrafiche interpretative onde P-SH, scala 1:500;
- Tabelle Profondità calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- Tabelle Velocità sismiche calcolate per i rifrattori individuati Onde P e SH;
- **Tavole 06-10:** Sezioni tomografiche onde P-SH, scala 1:500;
- Documentazione fotografica della linea sismica;
- Stampe delle registrazioni di campagna.

Di seguito viene descritto, lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati, congiuntamente all'interpretazione scaturita dai dati elaborati.

## 1.0 SCHEMA OPERATIVO

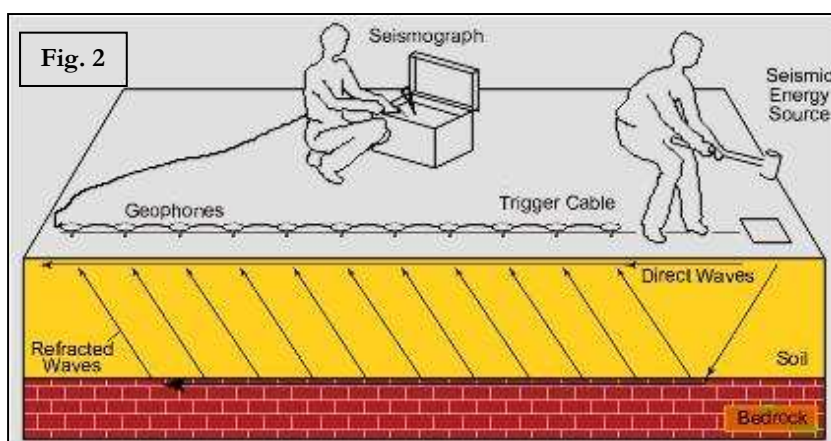
Nella **Tavola 01**, è stato riportato un inquadramento corografico generale in scala 1:10.000 con inserita la sezione sismica eseguita. Nella **Tavola 02**, viene riportato un inquadramento corografico di dettaglio in scala 1:1000, con inserita la sezione sismica eseguita, la posizione di ogni singolo geofono e l'ubicazione di ogni punto di energizzazione (shot point).

Dopo una prima analisi dei test eseguiti in loco ed in considerazione dei risultati prefissati e degli spazi a disposizione è stata scelta una distanza intergeofonica di 4 m per la sezione eseguita sia con onde P che con onde SH. Complessivamente sono stati acquisiti **184 ml** di rilievo suddivisi in 2 basi di **92 ml** (Onde P-SH).

## 2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE SISMICA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Il principio dell'analisi sismica è basato sul calcolo del tempo che impiega un'onda sismica ad attraversare differenti strati del sottosuolo; la velocità con cui la deformazione prodotta artificialmente si propaga nei terreni è funzione delle caratteristiche elastiche dei terreni stessi e pertanto la possibilità di determinare dette velocità con grande dettaglio permette di assegnare caratteri ragionevolmente realistici ai terreni da investigare e di seguirne l'andamento in profondità.

Un sistema digitale di acquisizione dati (**Fig. 2**) in sismica, è costituito sostanzialmente da sismometri (geofoni o accelerometri), amplificatori, filtri, convertitori A/D e supporti per la memorizzazione dei dati digitali.



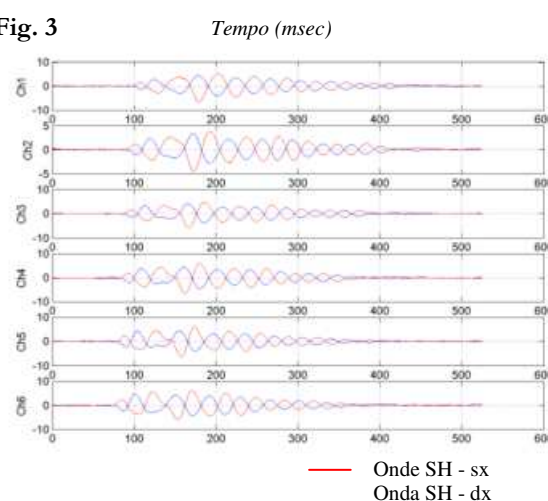
Nel nostro caso è stato utilizzato un sismografo Geometrics GEODE a 24 ch, strumentazione che presenta le seguenti caratteristiche: **A/D Conversion:** 24 bit; **Dynamic Range:** 144 dB; **Distortion:** 0.0005% 2 ms, 1.75 to 208 Hz; **Bandwidth:** 1.75 Hz to 20 kHz; **Common Mode Rejection:** > -100 dB at <=100 Hz, 36 dB; **Crosstalk:** -125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms; **Noise Floor:** 0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz; **Stacking Trigger Accuracy:** 1/32 of sample interval; **Maximum Input Signal:** 2.8 VPP; **Input Impedance:** 20 kOhm, 0.02 uf; **Preamplifier Gains;** **Anti-alias Filters:** -3 dB at 83% of Nyquist frequency; **Sample Interval:** 0.02 to 16.0 ms; **Record Length:** 16,000 samples; **Acquisition and Display Filters:** *LowCut, Notch, HighCut*; **Data Formats:** SEG-2 standard with SGOS.

Per quel che riguarda i sensori, sono stati utilizzati geofoni "PASI" verticali ed orizzontali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile e nel caso dei geofoni orizzontali dotati di bolla livellante, con frequenza caratteristica di 10 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica per le onde P, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 8 kg o del Minibang: nel nostro caso, dato le distanze in gioco, l'utilizzo della mazza ha consentito di ottenere risultati ottimali. Per quel che riguarda la produzione di onde SH si utilizza generalmente una trave di circa 2.00 m di lunghezza, la cui estremità viene colpita con una massa battente di ca. 10/15 kg. La trave è resa solidale al terreno mediante l'applicazione di un carico (rappresentato nel nostro caso dalla stessa autovettura). La tavola viene colpita lateralmente dalla massa, in modo da generare onde di taglio SH. Per poter riconoscere in maniera inequivocabile sui sismogrammi le onde di taglio S, che non costituiscono mai la prima fase, sono state effettuate energizzazioni ai due estremi della tavola, in modo da generare treni d'onda identici, ma in opposizione di fase (**Fig. 3**). Ogni energizzazione viene registrata sull'Hard Disk sia singolarmente che, invertendo la fase, come somma.

Il metodo di elaborazione utilizzato nel corso delle analisi dei dati in rifrazione, è stato il *Generalized Reciprocal Method* (GRM) che consente di delineare rifrattori ondulati, ad ogni profondità e di numero infinito da dati sismici a rifrazione in linea che consistano di tempi-distanza in andata e ritorno. I tempi di arrivo a due sensori distinti e per profili in andata e ritorno sono combinati per ottenere la velocità del rifrattore, il calcolo della sezione tempi-profondità ed il fattore

**Fig. 3**



di conversione in profondità. Il fattore di conversione, e quindi il metodo, è indipendente dalla pendenza degli strati fino ad angoli superiori a 20 gradi. Il GRM in definitiva è un metodo di interpretazione globale e sintetico per il quale molti dei metodi esistenti sono dei casi particolari.

Oltre al GRM, in alcuni casi, è stato utilizzato, per conferma e confronto, un algoritmo di inversione che usa il *delay-time method* per ottenere un primo modello approssimato in profondità, che viene quindi affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed un processo di aggiustamento con iterazioni successive che tende a minimizzare le discrepanze tra i tempi di arrivo misurati in campagna ed il corrispondente modello di profondità. In questo caso specifico è stato utilizzato come sistema di elaborazione principale il *delay-time method* affinato mediante una serie di *ray-tracing*, ed il GRM come verifica e conferma dei risultati ottenuti.

Terminata la fase preliminare di verifica dati, mediante la metodologia GRM, è stato utilizzato un nuovo sistema di analisi dei dati sismici che consente di elaborare profili a bassa, media ed elevata copertura. Le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche: CMP (intercept time refraction), Plus-Minus e Wavefront. Il metodo Wavefront rappresenta un'ulteriore ottimizzazione del metodo GRM. Invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima ad ogni geofono la distanza rispetto agli altri, attraverso l'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso. Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari.

Il software, utilizzato nel corso del presente lavoro, permette, successivamente ai predetti passaggi, di utilizzare il metodo "Delta-t-V" che è in grado di evidenziare gradienti di velocità verticali all'interno degli strati, aumenti lineari di velocità con la profondità, faglie e locali anomalie di velocità. Il metodo Delta-t-V valuta la distribuzione delle velocità lungo il profilo di interesse. Ciò consente, sfruttando il metodo dell'inversione, di ottenere in corrispondenza delle varie stazioni installate, valori di profondità in funzione della velocità.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da topografie estreme. Infine sono stati calcolati i valori di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 m (cosiddette  $V_{s30}$ ), come richiesto dalla nuova "Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 14/01/2008.

### 3.0 PRESENTAZIONE DEGLI ELABORATI GRAFICI

Nelle **Tavole 03-07** sono rappresentate, le curve tempi-distanze, Dromocrone, che scaturiscono dalle letture eseguite sui dati di campagna (onde P-SH). Nel diagramma tempi-distanze,

in ascisse, in scala 1:500 sono riportate le distanze dei sensori dall'inizio dell'allineamento e, in ordinate, i tempi di arrivo, espressi in millisecondi agli stessi sensori.

Nelle **Tavole 04-08**, sono state riportate le sezioni sismostratigrafiche ottenute (onde P-SH), al di sotto della superficie topografica l'involuppo dei cerchi rappresenta l'interfaccia tra uno strato ed un altro. I metodi di interpretazione in sismica a rifrazione forniscono, infatti, gli spessori degli strati valutando la distanza minima tra i sensori ed il rifrattore sulla perpendicolare allo strato e non sulla sua verticale; di conseguenza la superficie rifrangente, al di sotto di ogni dato punto, può giacere ovunque su di un cerchio centrato in quel punto e con raggio uguale allo spessore dello strato.

Ciò è quanto riportato nelle sezioni al di sotto della superficie topografica. L'involuppo dato da questi cerchi è una buona approssimazione della forma e posizione del rifrattore.

Nelle **Tavole 05-09** sono riportate le sezioni interpretate (sezioni litostratigrafiche) sulla base sia dei dati ottenuti (sezioni sismostratigrafiche), sia di considerazioni geologiche generali relative alla zona in esame che sulla base dei dati forniti dal tecnico incaricato.

Infine nelle **Tavole 06-10** abbiamo le sezioni tomografiche interpretate realizzate mediante la "WET Tomography" con le relative curve di isovelocità. La scala in falsi colori presente, esprime i valori di velocità all'interno della sezione.

Le sezioni litostratigrafiche interpretate assieme alle sezioni tomografiche, rappresentano il risultato conclusivo dell'analisi dei dati sintetizzati nelle tavole e tabelle allegate.

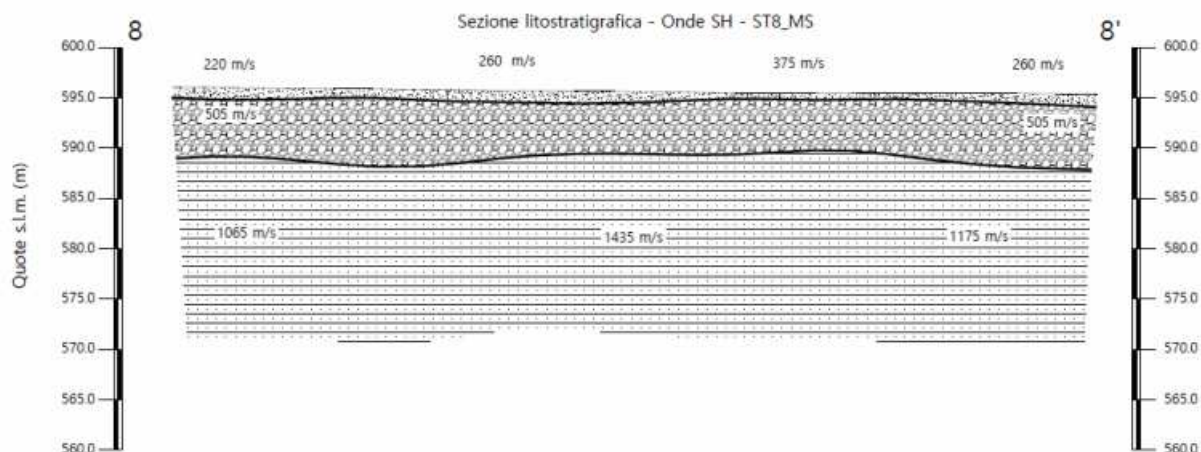
## 4.0 ANALISI DEI RISULTATI DELL'INDAGINE EFFETTUATA

I risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di due superfici rifrangenti principali: la prima si localizza a profondità comprese tra 0.00 m e 3.00 m (onde P ed onde SH); la seconda si attesta a profondità comprese tra 5.60 m e 9.70 m (onde P ed onde SH).

Nella zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 605 e 925 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 200-375 m/s, con il livello intermedio costituito da detrito di versante che presenta velocità di 1.100 m/s (onde P) e di 505 m/s (onde SH). Al di sotto del livello intermedio si individua il substrato litoide, costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 2.850 e 3.575 m/s (onde P) e tra 1.065-1.435 m/s (onde SH).

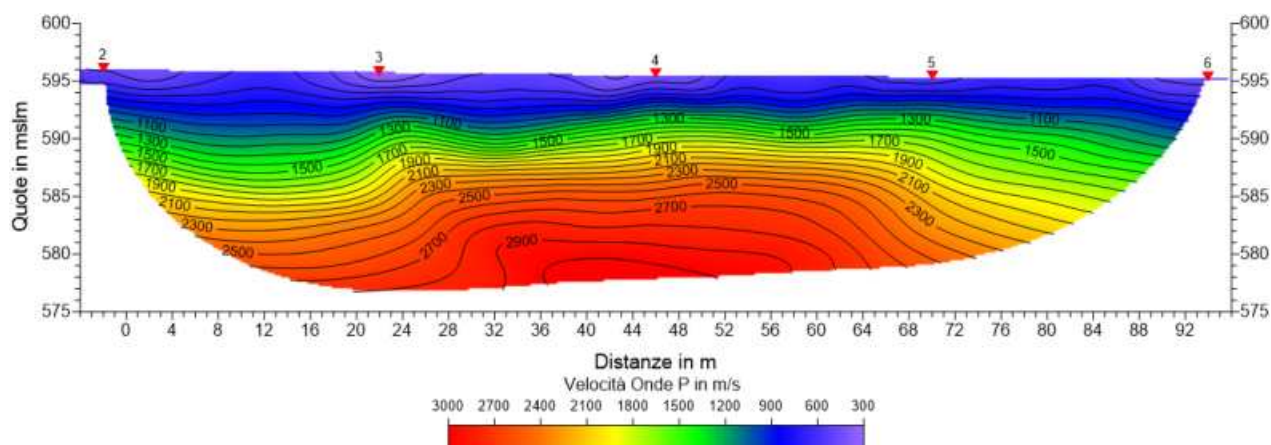


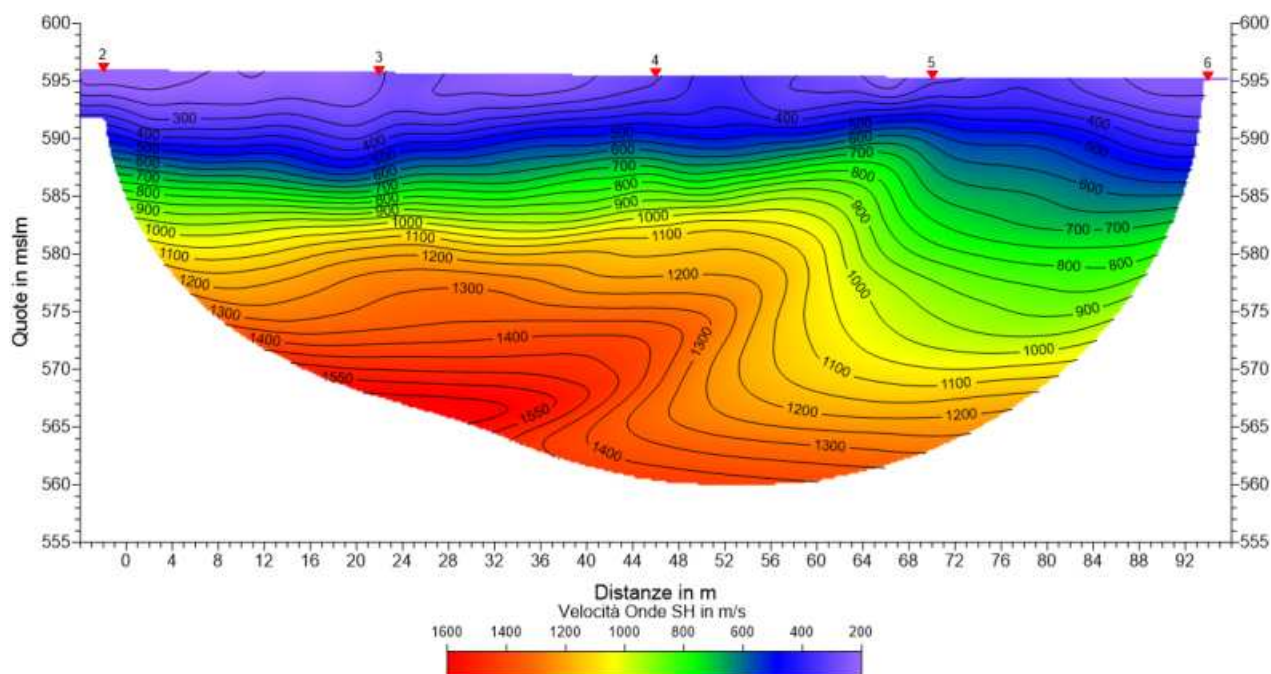
La **Sezione ST8** è stata elaborata seguendo le informazioni del GRM, che hanno permesso di ricostruire l'andamento del rifrattore principale. Il rifrattore si presenta piuttosto regolare attestandosi a profondità medie prossime a 6.80 m, maggiori nei tratti iniziale e finale (anche superiori a 9.00 m). Il livello superficiale presenta spessori modesti, mediamente inferiori al metro.



Le velocità del substrato roccioso mostrano per le onde P, valori piuttosto elevati, crescenti verso il tratto centrale (3.575 m/s), ed inferiori nei tratti iniziale e finale. Rispettivamente di 3.205 m/s e 2.850 m/s. Anche le velocità delle onde SH, mostrano valori compresi tra 1.065 e 1.435 m/s, maggiori lungo il tratto centrale.

L'analisi tomografica eseguita sia con onde P che con onde SH in accordo con i risultati del GRM, permette di apprezzare nella porzione più superficiale la presenza di materiale piuttosto omogeneo e compatto. Il passaggio al substrato roccioso risulta evidenziato dal raffittimento delle curve di isovelocità (a partire da quella dei 1.200 m/s onde P), mentre per le onde SH, il contatto si osserva a partire dalla curva dei 500-600 m/s. La sezione tomografica in onde P mostra materiale litoide piuttosto omogeneo, le onde SH mostrano in profondità alcune oscillazioni, particolarmente evidenti nel tratto finale.





## 5.0 CONSIDERAZIONI FINALI

Il presente studio ha individuato le caratteristiche geofisiche dei materiali superficiali e profondità di un'area, posta in località **TARTIGLIA**, nel **COMUNE PRATOVECCHIO STIA (AR)**. L'indagine geofisica di superficie, eseguita mediante sismica a rifrazione, ha permesso di identificare in profondità il passaggio tra i materiali più superficiali (terreno vegetale/detrito) ed il substrato litoide integro costituito dalle Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3).

Sulla base di quanto fino ad ora riportato è possibile trarre le seguenti considerazioni conclusive relativamente all'area in oggetto:

- risultati ottenuti dalla sezione eseguita rispettivamente con Onde P ed Onde SH indicano la presenza di due superfici rifrangenti principali: la prima si localizza a profondità comprese tra 0.00 m e 3.00 m (onde P ed onde SH); la seconda si attesta a profondità comprese tra 5.60 m e 9.70 m (onde P ed onde SH).
- zona d'intervento il rifrattore più superficiale mette a contatto terreno vegetale, caratterizzato da velocità delle onde sismiche compressionali comprese tra 605 e 925 m/s e da velocità delle onde di taglio (SH) comprese tra 200-375 m/s, con il livello intermedio costituito da detrito di versante che presenta velocità di 1.100 m/s (onde P) e di 505 m/s (onde SH). Al di sotto del livello intermedio si individua il substrato litoide, costituito dalle

Arenarie del Monte Falterona membro di Montalto (FAL3), che presenta velocità comprese tra 2.850 e 3.575 m/s (onde P) e tra 1.065-1.435 m/s (onde SH).

Arezzo, lì 28/09/2015

  
**TRIGEO s.n.c.**  
 di Niccolò Andrea e Daniele Giancetto  
 Via Mazzini n°10 - 52011 - SDCI (AR)  
 PIVA 05025170510  
 Tel/Fax 0573 234800 - 056 9902212  
 Cell. 339 5548117 - 328 7213623  
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

## **ALLEGATI**

### SCHEMA DELLA LINEA SISMICA ST8\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	DISTANZA INTERGEOFONICA (m)	QUOTA (in mslm)
1	0	0.0	596.10
2	4	4.0	596.05
3	8	4.0	596.00
4	12	4.0	595.95
5	16	4.0	595.90
6	20	4.0	595.90
7	24	4.0	595.85
8	28	4.0	595.80
9	32	4.0	595.75
10	36	4.0	595.70
11	40	4.0	595.65
12	44	4.0	595.65
13	48	4.0	595.60
14	52	4.0	595.55
15	56	4.0	595.50
16	60	4.0	595.50
17	64	4.0	595.50
18	68	4.0	595.45
19	72	4.0	595.45
20	76	4.0	595.45
21	80	4.0	595.45
22	84	4.0	595.45
23	88	4.0	595.40
24	92	4.0	595.40

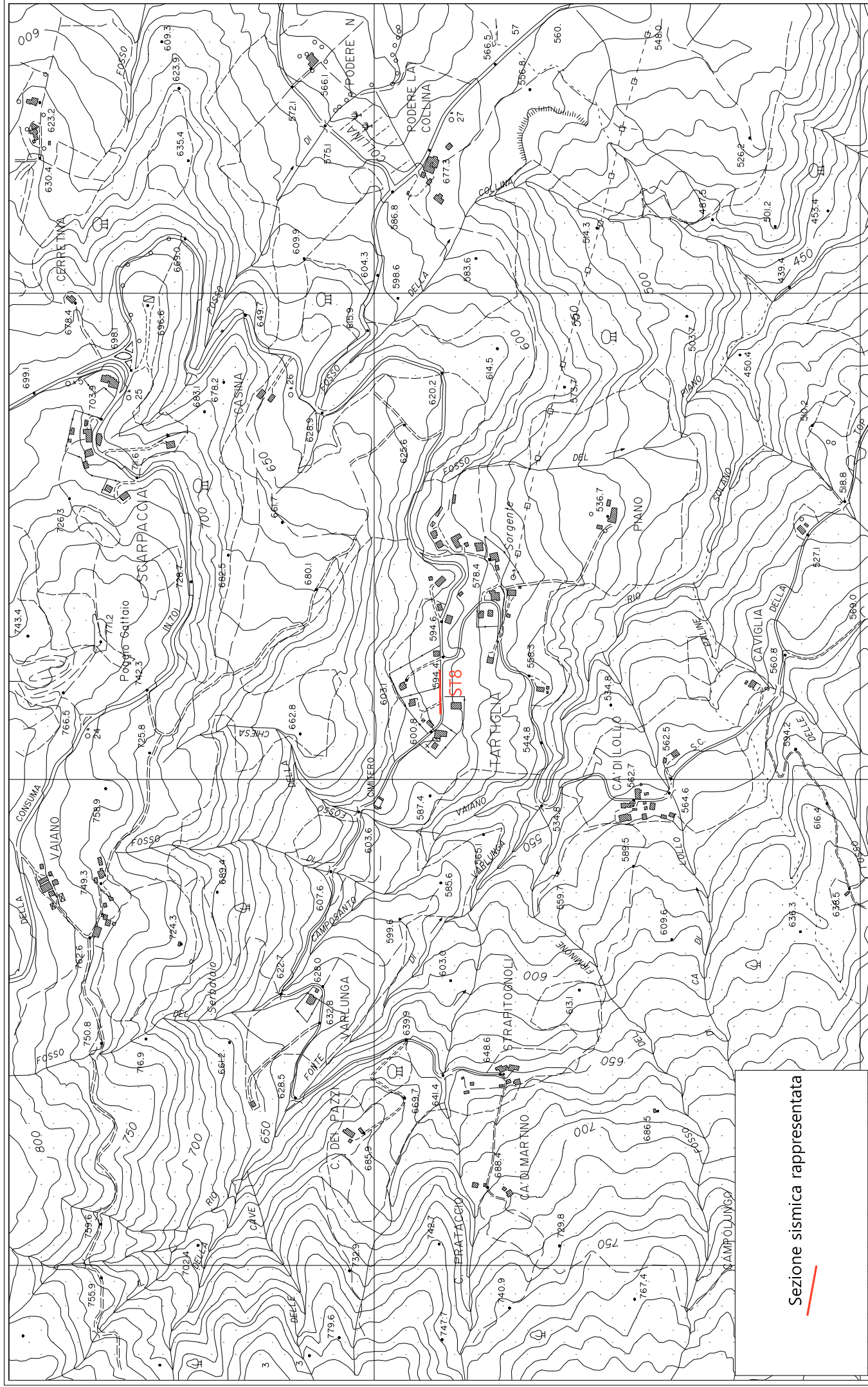
### COORDINATE GAUSS-BOAGA DEI GEOFONI 1 E 24

COORDINATE	GEOFONO 1	GEOFONO 24
X(m)	4849863,81	4849865,08
Y(m)	1716134,79	1716225,69

### PUNTI DI ENERGIZZAZIONE – SHOT POINT

ONDE P	Σ ONDE SH	SHOT POINT	POSIZIONE DA G1 (m)	QUOTA (m)
DAT.2955	DAT.2939	A - ESTERNO SX	-30.0	598.20
DAT.2954	DAT.2937	B - ESTREMO SX	-2.0	596.10
DAT.2953	DAT.2941	C - INTERMEDIO SX	22.0	595.90
DAT.2952	DAT.2943	D - CENTRALE	46.0	595.65
DAT.2951	DAT.2945	E - INTERMEDIO DX	70.0	595.45
DAT.2950	DAT.2947	F - ESTREMO DX	94.0	595.40
DAT.2949	DAT.2948	G - ESTREMO DX	147.0	594.70



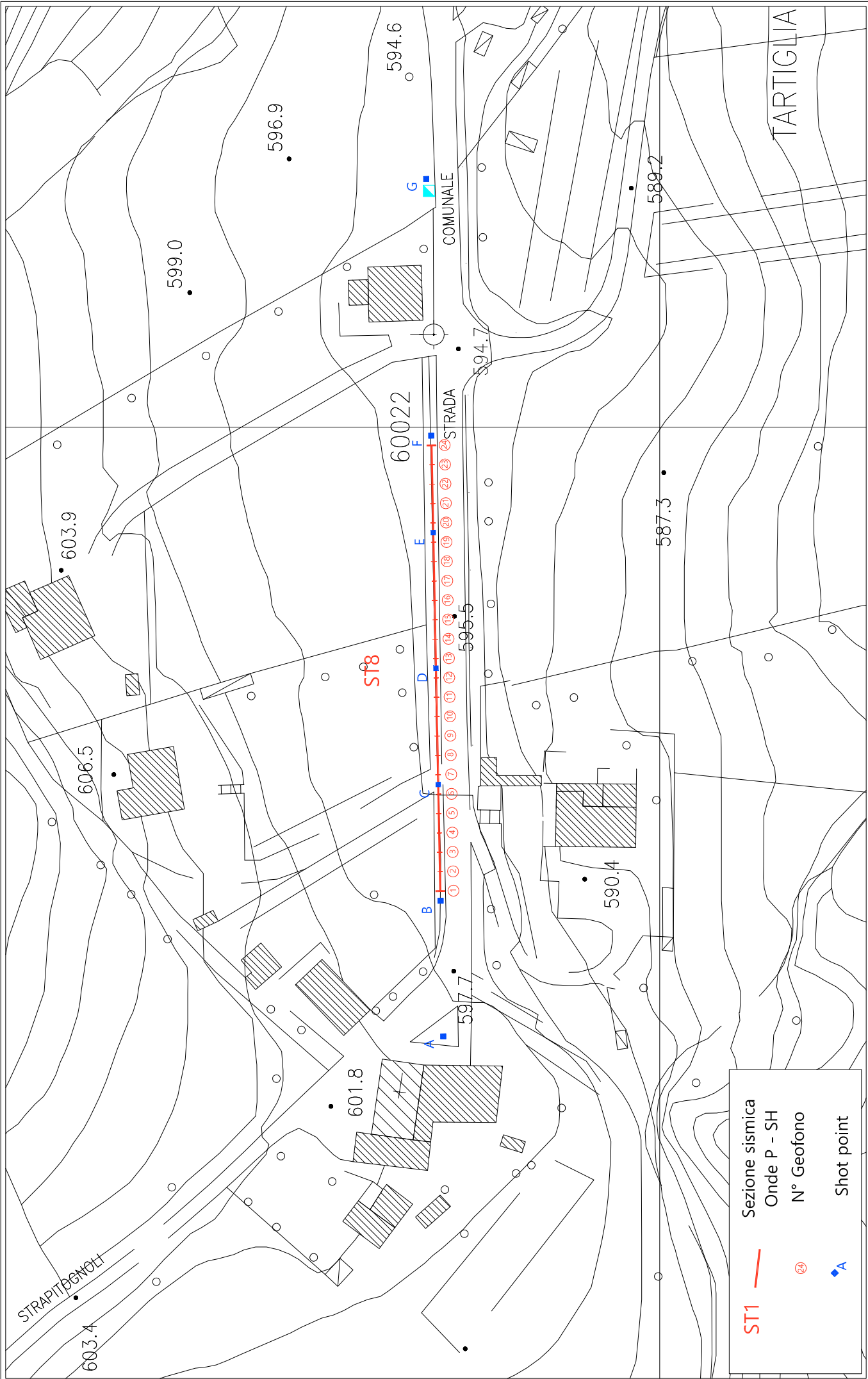


Scala 1: 10000

Settembre 2015

Tavola 01 - Planimetria generale - ST8\_MS

TRI+GEO



**ST1** — Sezione sismica

Onde P - SH

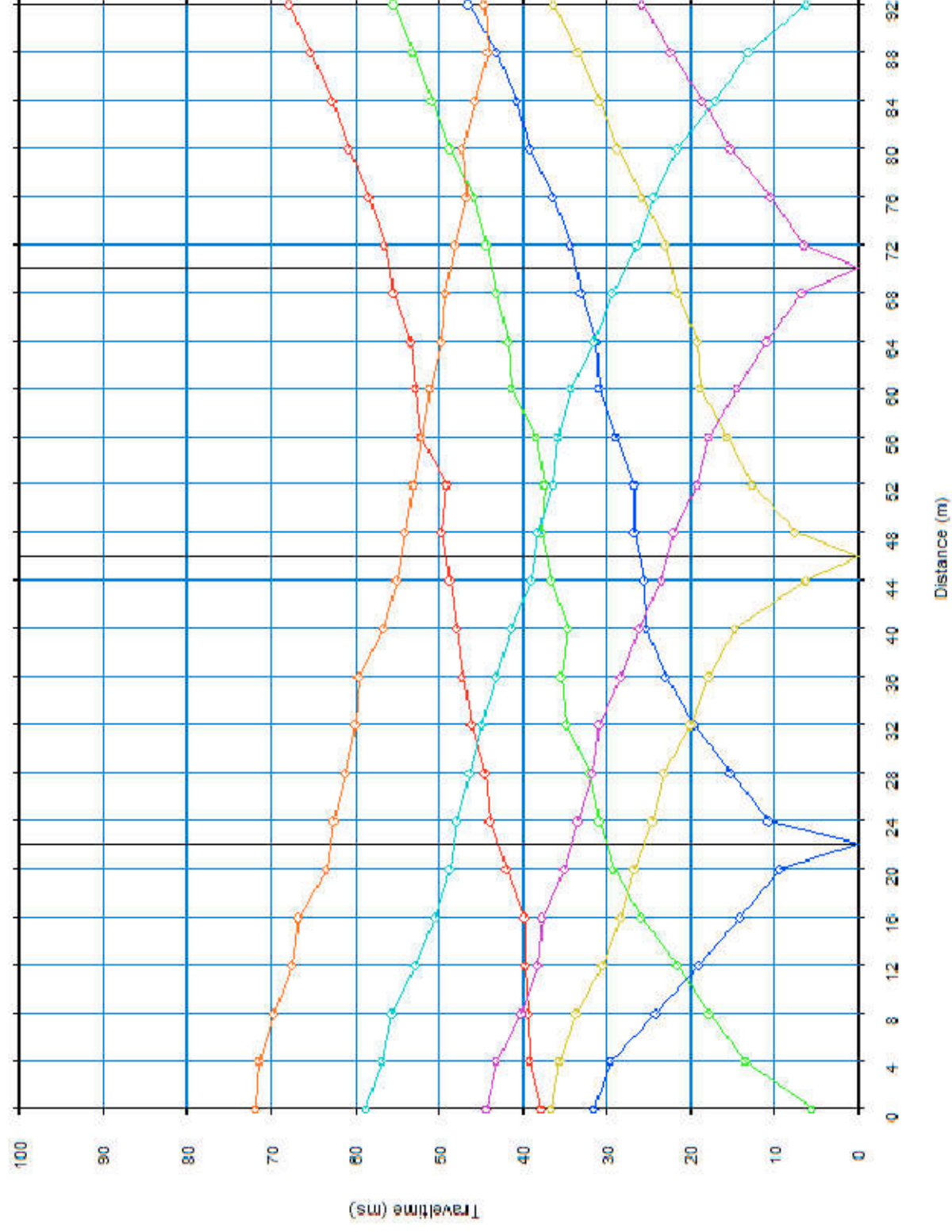
N° Geofono

Shot point

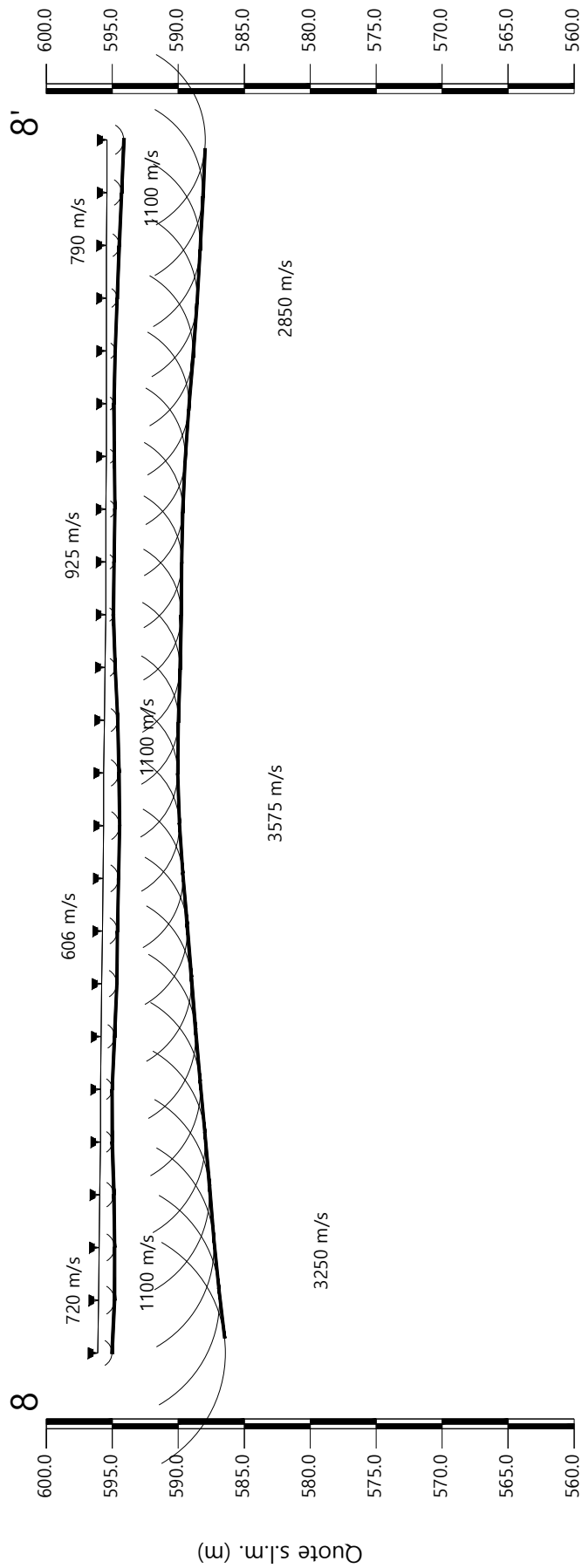
## TEMPI ONDE P – ST8\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	37.67	5.54	31.42	36.45	44.15	58.63	72.29
2	4	39.01	13.45	29.36	35.63	43.02	56.67	71.30
3	8	39.25	17.76	24.02	33.50	40.13	55.54	69.61
4	12	39.63	21.46	18.89	30.49	38.13	52.67	67.45
5	16	39.75	25.88	14.00	28.23	37.63	50.41	66.68
6	20	41.88	29.13	9.24	26.59	34.88	48.66	63.29
7	24	43.88	30.80	10.68	24.54	33.37	47.84	62.37
8	28	44.38	31.93	15.19	23.00	31.62	46.25	61.14
9	32	46.10	34.80	19.51	19.88	30.80	44.76	59.91
10	36	47.13	35.32	22.89	17.75	28.23	43.02	59.44
11	40	47.84	34.50	25.15	14.68	26.13	41.27	56.52
12	44	48.66	36.45	25.46	6.16	23.41	38.88	54.88
13	48	49.59	37.68	26.59	7.49	21.88	38.19	53.90
14	52	48.97	37.37	26.63	12.50	19.20	36.24	52.98
15	56	52.15	38.38	28.85	15.63	17.75	35.75	52.00
16	60	52.67	41.27	30.80	18.78	14.37	34.19	50.97
17	64	53.28	41.75	31.25	19.13	10.88	31.42	49.59
18	68	55.23	43.02	33.00	21.46	6.67	29.16	49.13
19	72	56.36	44.25	34.25	22.89	6.37	26.28	48.00
20	76	58.31	45.75	36.38	25.75	10.37	24.33	46.66
21	80	60.68	48.66	39.00	28.63	15.19	21.46	47.12
22	84	62.63	50.75	40.63	30.75	18.58	16.94	45.63
23	88	65.19	53.00	43.00	33.38	22.28	12.94	44.00
24	92	67.76	55.23	46.41	36.24	25.75	6.16	44.50

# Dromocrone



Sezione sismostratigrafica - Onde P - ST8\_MS



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

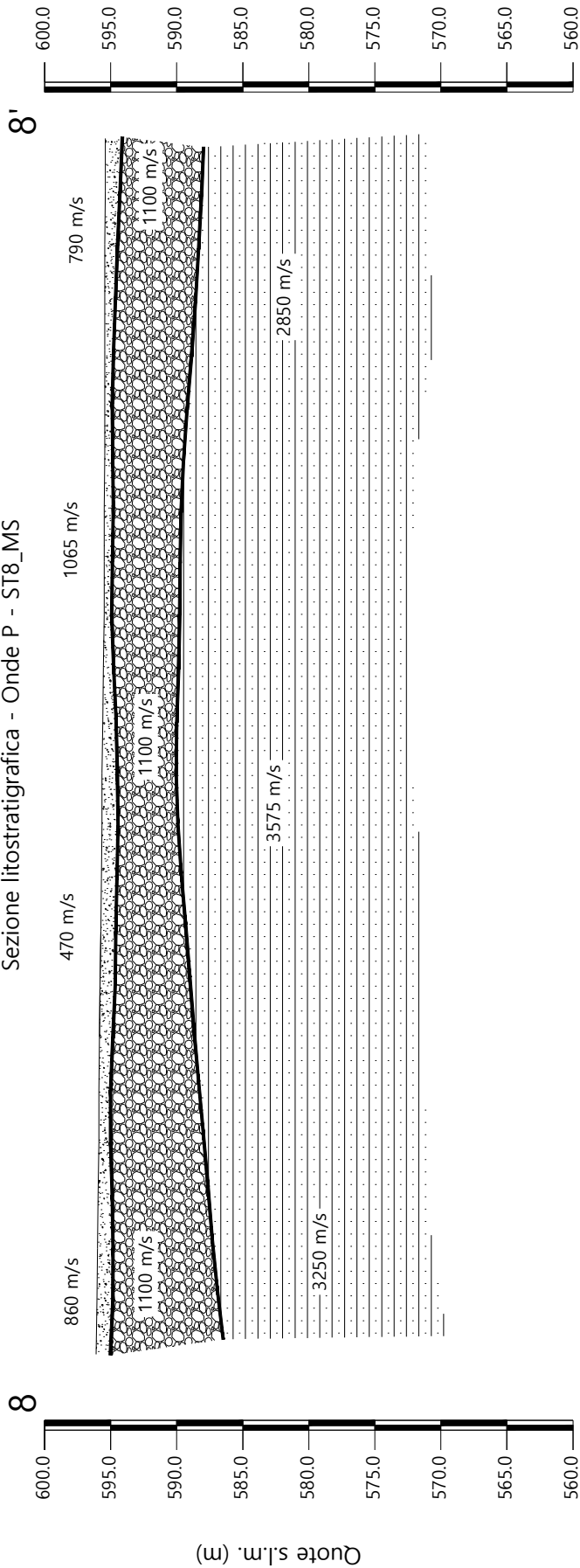
Settembre 2015

Tavola 04 - Sezione sismostratigrafica - Onde P - ST8\_MS

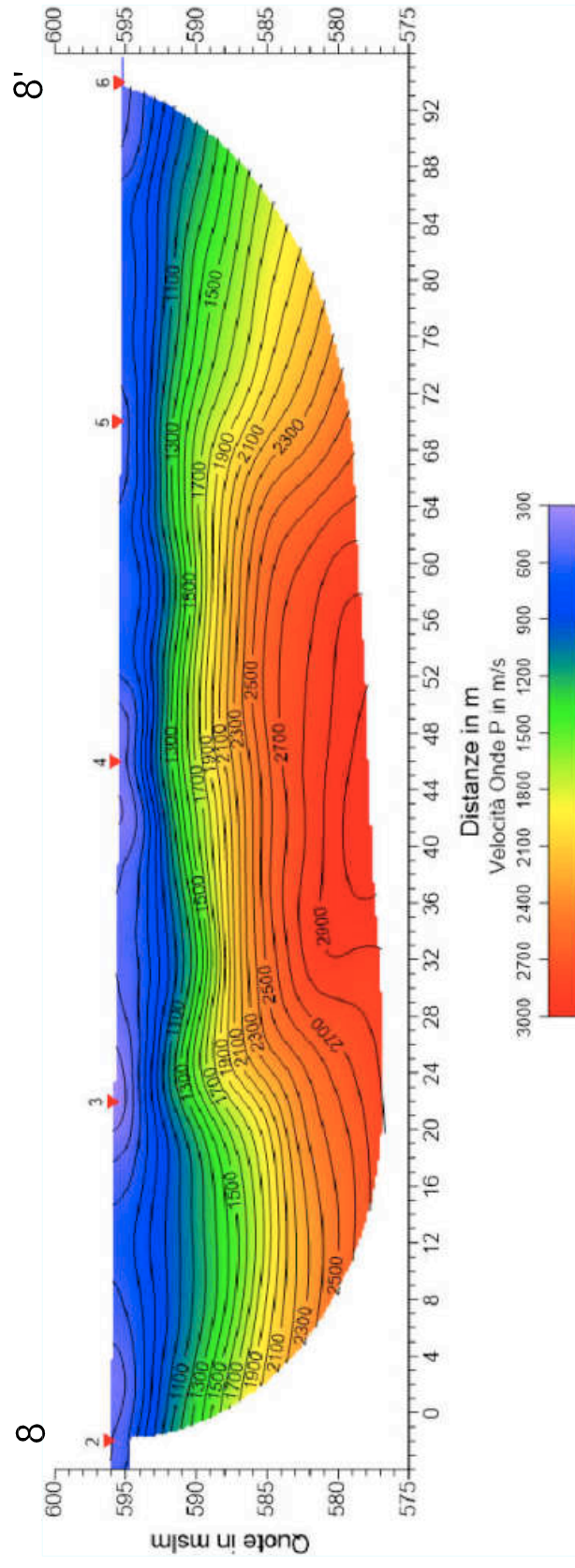
TRI+GEO



Sezione litostratigrafica - Onde P - ST8\_MS



## Sezione tomografica - Onde P - ST8\_MS



Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

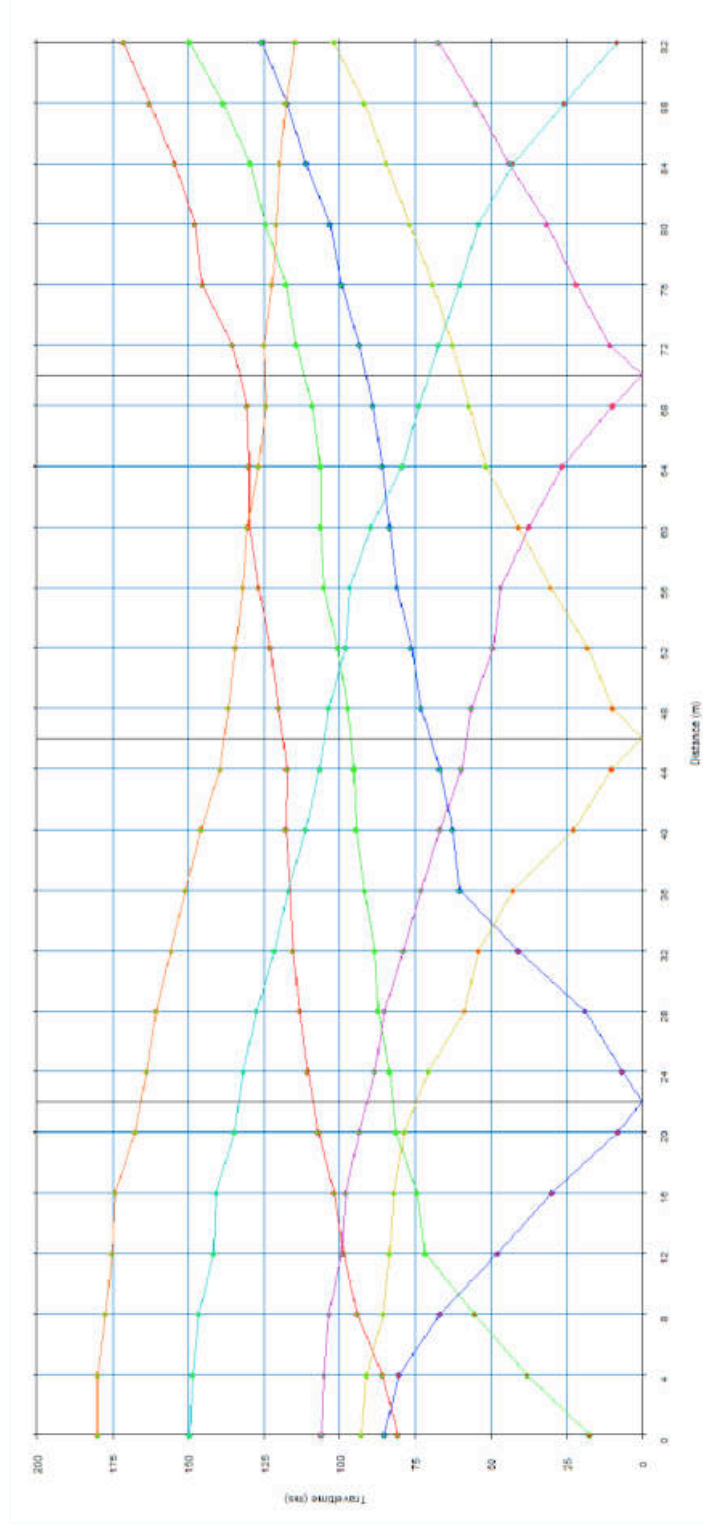
Settembre 2015

Tavola 06 - Sezione tomografica - Onde P - ST8\_MS

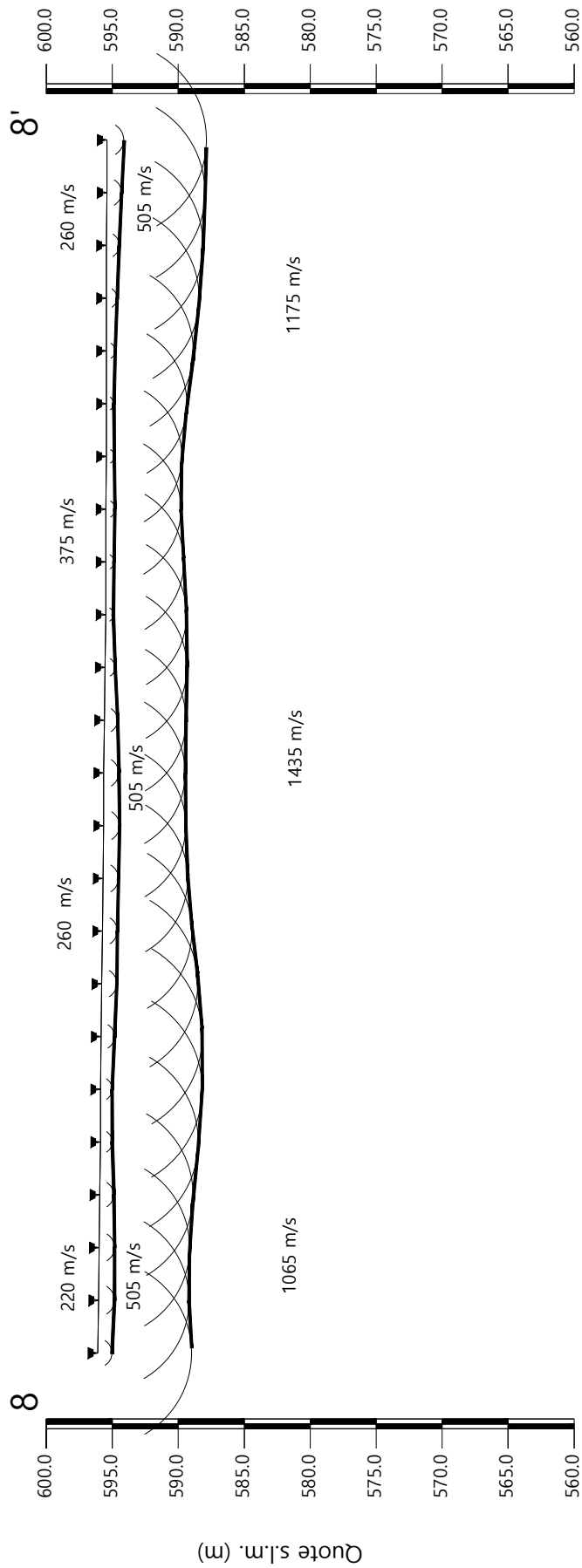
## TEMPI ONDE SH – ST8\_MS

GEOFONI N°	DISTANZA (M)	SHOT POINT A TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT B TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT C TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT D TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT E TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT F TEMPO DI ARRIVO IN msec	SHOT POINT G TEMPO DI ARRIVO IN msec
1	0	80.85	17.56	85.24	92.86	106.00	149.69	179.95
2	4	85.93	38.12	80.25	91.13	105.13	148.53	179.95
3	8	94.25	55.38	66.76	85.50	103.38	146.38	177.41
4	12	98.64	71.76	47.88	83.39	99.33	141.68	175.33
5	16	101.87	74.38	29.80	82.01	98.18	140.76	174.17
6	20	106.95	81.62	8.09	78.71	93.56	134.75	167.71
7	24	110.63	83.39	6.70	70.69	88.47	131.82	163.78
8	28	113.25	87.32	18.94	58.82	85.24	127.51	160.78
9	32	115.38	88.26	41.12	54.05	78.88	121.66	155.69
10	36	116.50	91.71	60.29	42.50	73.23	116.89	151.07
11	40	117.63	94.63	62.83	22.64	66.76	111.13	145.88
12	44	117.35	95.17	66.76	10.00	59.83	106.52	139.38
13	48	120.25	97.33	73.23	9.93	56.60	103.63	136.75
14	52	122.89	100.72	76.46	18.25	49.43	98.18	134.44
15	56	126.82	105.49	81.13	30.26	46.89	96.79	131.90
16	60	130.05	106.26	83.39	41.12	37.42	89.86	130.75
17	64	130.05	106.26	85.88	51.51	26.57	79.46	126.82
18	68	130.75	109.19	89.17	57.29	9.93	73.75	124.28
19	72	135.38	114.42	93.48	62.83	10.63	67.45	124.97
20	76	145.30	117.81	99.48	69.30	21.95	60.13	122.43
21	80	147.84	124.59	103.33	76.85	31.65	54.05	121.04
22	84	154.46	129.67	111.03	84.55	43.89	42.50	119.89
23	88	162.93	138.60	117.35	91.78	55.21	25.87	117.81
24	92	171.40	149.69	125.82	101.95	67.45	8.55	114.81


## Dromocrone




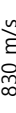
Sezione sismostratigrafica - Onde SH - ST8\_MS





Numero geofono	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Distanze (m)	596.10	596.05	596.00	595.95	595.90	595.90	595.85	595.80	595.75	595.70	595.65	595.65	595.60	595.55	595.50	595.50	595.50	595.45	595.45	595.45	595.45	595.45	595.40	595.40
Quote s.l.m. (m)	596.10	596.05	596.00	595.95	595.90	595.90	595.85	595.80	595.75	595.70	595.65	595.65	595.60	595.55	595.50	595.50	595.50	595.45	595.45	595.45	595.45	595.45	595.40	595.40
Profondità da p.c. strato 1 (m)	0.08	2.09	3.04	3.02	2.27	1.24	0.49	0.47	1.32	2.04	1.52	0.67	0.37	0.29	0.11	0.05	0.14	0.19	0.14	0.06	0.02	0.02	0.01	0.01
Profondità da p.c. strato 2 (m)	7.13	6.87	6.86	7.08	7.42	7.72	7.68	7.30	6.79	6.42	6.23	6.19	6.19	6.22	6.13	5.91	5.71	5.73	6.10	6.60	7.04	7.33	7.44	7.55


 Profilo topografico

 Profilo topografico strato

 Velocità sismica dello strato

 Geofoni

 Distanza dalla superficie topografica del limite di strato all'involuppo degli archi

 830 m/s

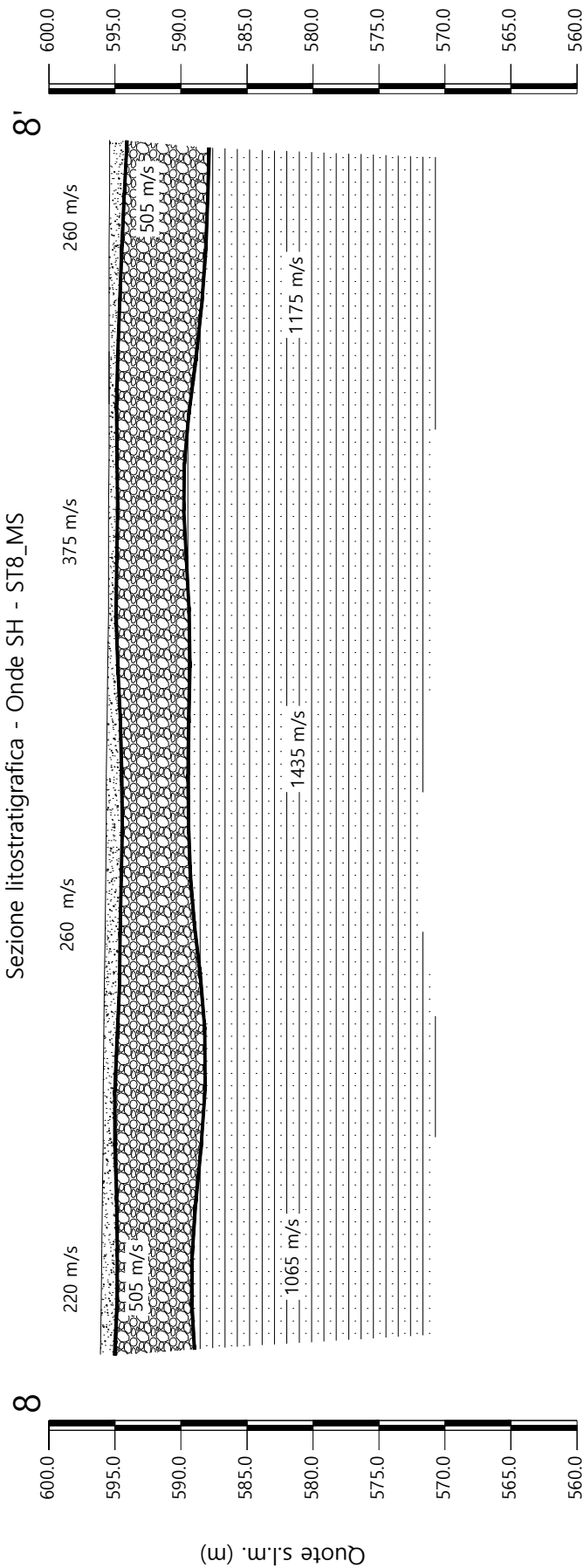
Scala Verticale 1:500  
Scala Orizzontale 1:500

Settembre 2015

Tavola 08 - Sezione sismostratigrafica - Onde SH - ST8\_MS



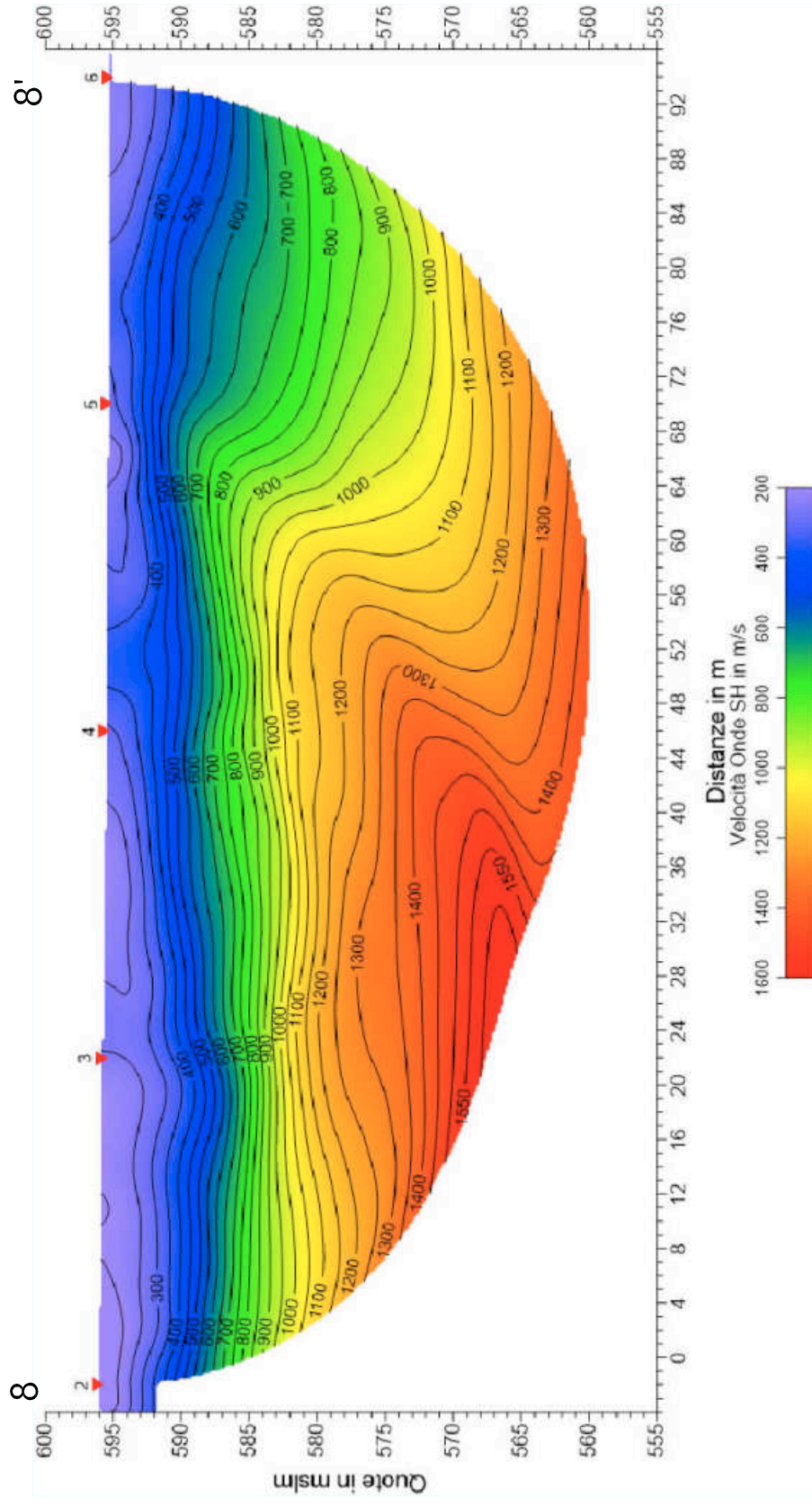
Sezione litostratigrafica - Onde SH - ST8\_MS



Legenda

- Terreno vegetale
- Detrito di versante
- Arenarie del Monte Falterona  
membro di Montalto (FAL3)

Sezione tomografica - Onde SH - ST8\_MS



**VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST8\_MS – ONDE P**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>3</sub> LIVELLO 3 (m/s)
1	0	860	1100	3682
2	4	804	1100	3780
3	8	749	1100	3619
4	12	693	1100	3327
5	16	637	1100	2849
6	20	581	1100	2686
7	24	526	1100	2896
8	28	470	1100	3166
9	32	555	1100	3218
10	36	640	1100	3108
11	40	725	1100	3399
12	44	723	1100	3804
13	48	808	1100	4077
14	52	893	1100	3810
15	56	978	1100	3593
16	60	965	1100	3575
17	64	931	1100	3552
18	68	996	1100	3354
19	72	962	1100	3041
20	76	928	1100	2895
21	80	893	1100	2693
22	84	859	1100	2503
23	88	824	1100	2413
24	92	790	1100	2338

**VELOCITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST8\_MS – ONDE SH**

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	VELOCITÀ V <sub>1</sub> LIVELLO 1 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>2</sub> LIVELLO 2 (m/s)	VELOCITÀ V <sub>3</sub> LIVELLO 3 (m/s)
1	0	220	505	942
2	4	226	505	1025
3	8	231	505	1061
4	12	237	505	1094
5	16	243	505	1054
6	20	249	505	1050
7	24	254	505	1100
8	28	260	505	1192
9	32	276	505	1255
10	36	293	505	1287
11	40	309	505	1328
12	44	307	505	1378
13	48	323	505	1424
14	52	340	505	1492
15	56	356	505	1566
16	60	375	505	1757
17	64	361	505	1774
18	68	346	505	1610
19	72	332	505	1280
20	76	318	505	1134
21	80	303	505	1012
22	84	289	505	949
23	88	274	505	872
24	92	260	505	773

### PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST8\_MS – ONDE P

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 2 (m)
1	0	1.08	9.69
2	4	1.22	9.17
3	8	1.18	8.72
4	12	1.07	8.34
5	16	0.90	7.95
6	20	0.89	7.58
7	24	1.02	7.18
8	28	1.15	6.81
9	32	1.14	6.44
10	36	1.17	6.06
11	40	1.21	5.74
12	44	1.16	5.61
13	48	1.01	5.61
14	52	0.77	5.69
15	56	0.58	5.73
16	60	0.63	5.76
17	64	0.70	5.84
18	68	0.60	5.98
19	72	0.57	6.26
20	76	0.67	6.58
21	80	0.82	6.88
22	84	0.98	7.12
23	88	1.11	7.28
24	92	1.29	7.46

### PROFONDITÀ LIVELLI INDIVIDUATI – ST8\_MS – ONDE SH

GEOFONI N°	DISTANZA PROGRESSIVA (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 1 (m)	PROFONDITÀ LIVELLO 2 (m)
1	0	0.08	7.13
2	4	2.09	6.87
3	8	3.04	6.86
4	12	3.02	7.08
5	16	2.27	7.42
6	20	1.24	7.72
7	24	0.49	7.68
8	28	0.47	7.3
9	32	1.32	6.79
10	36	2.04	6.42
11	40	1.52	6.23
12	44	0.67	6.19
13	48	0.37	6.19
14	52	0.29	6.22
15	56	0.11	6.13
16	60	0.05	5.91
17	64	0.14	5.71
18	68	0.19	5.73
19	72	0.14	6.1
20	76	0.06	6.6
21	80	0.02	7.04
22	84	0.02	7.33
23	88	0.01	7.44
24	92	0.01	7.55





Vista generale ST\_8 MS da G12 verso G1.

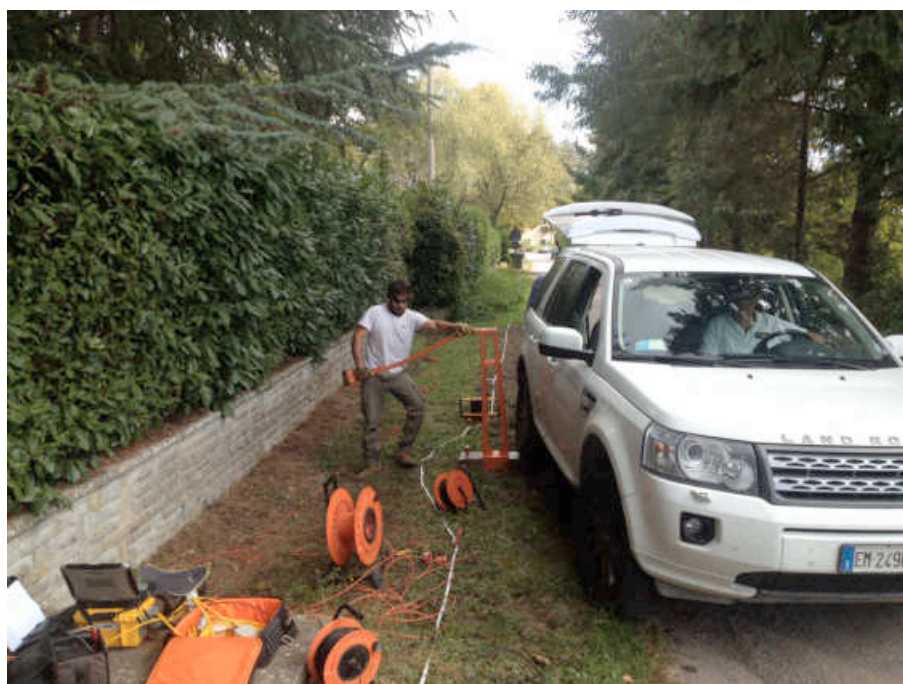


Vista generale ST8\_MS da G12 verso G24.





Shot point C – Onde SH – ST8\_MS.



Shot point D – Onde SH – ST8\_MS.



Shot point E – Onde SH – ST8\_MS.



Shot point B – Onde P – ST8\_MS.





Shot point C – Onde P – ST8\_MS.



Shot point D – Onde P – ST8\_MS.



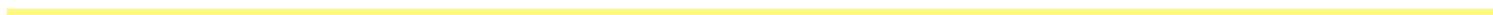
Shot point E – Onde P – ST8\_MS.



## **REGISTRAZIONI DI CAMPAGNA – ST8\_MS**

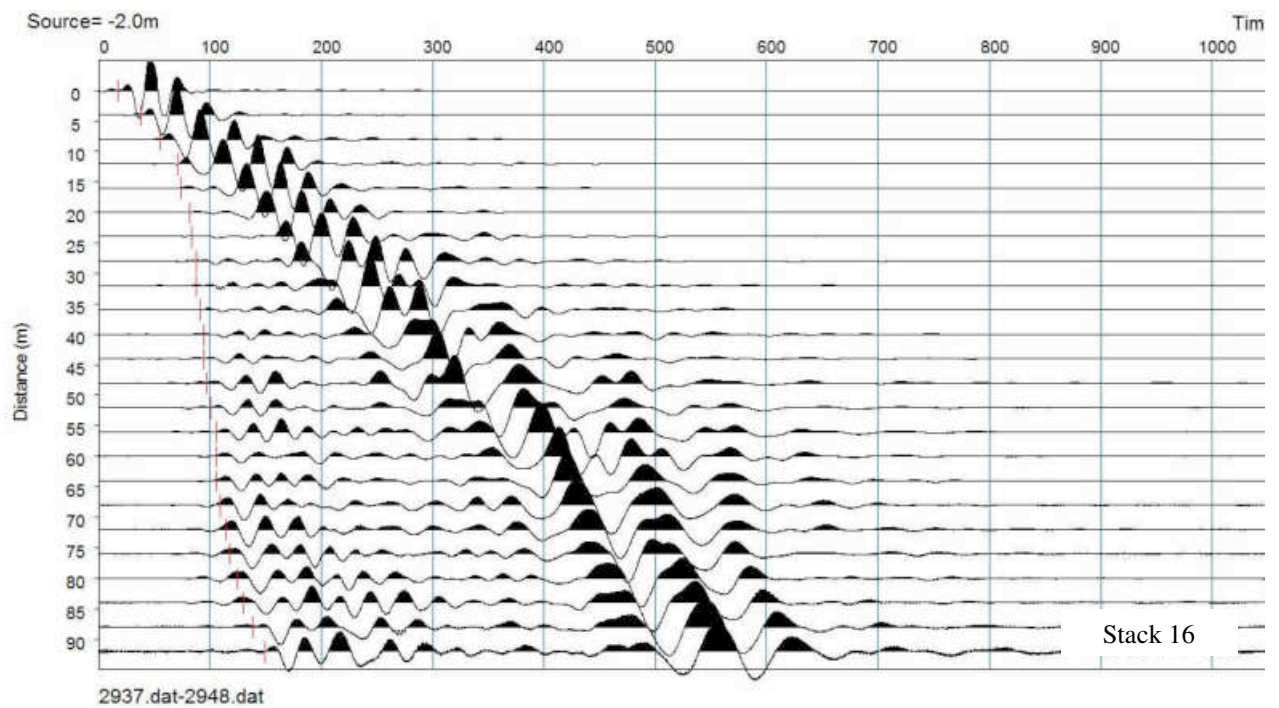
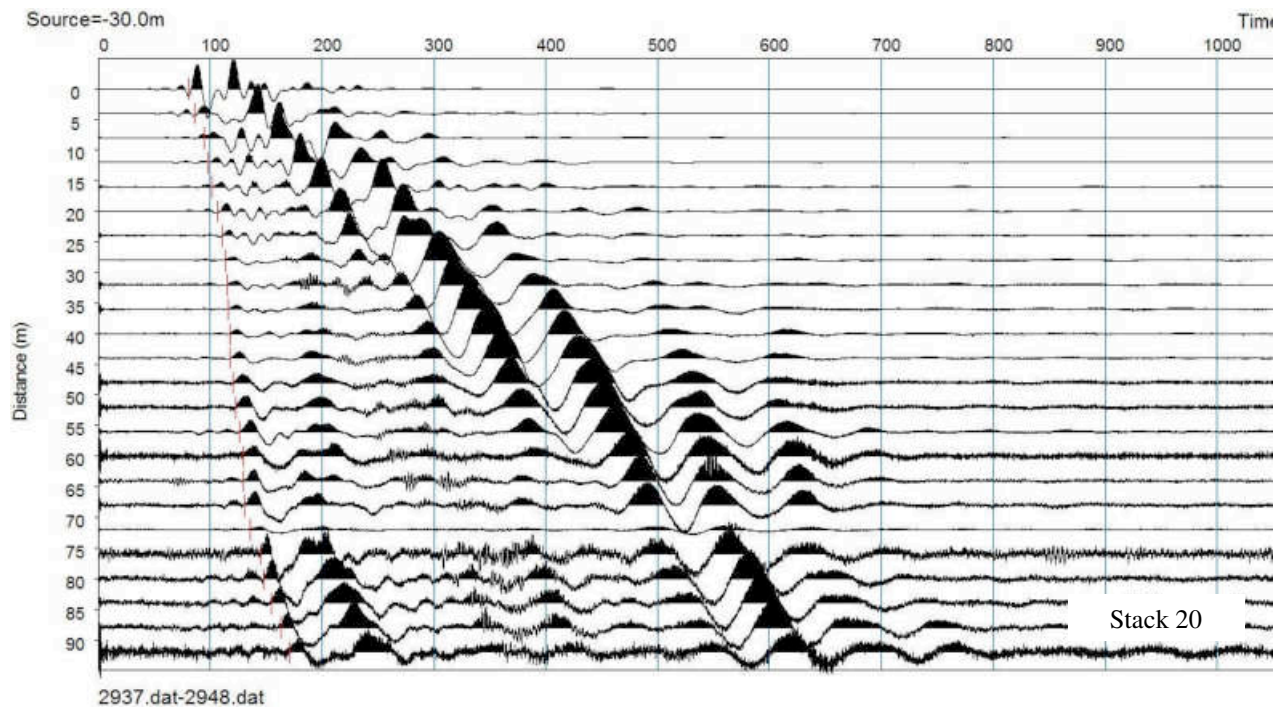
**file 2937 - 2948 Onde SH**

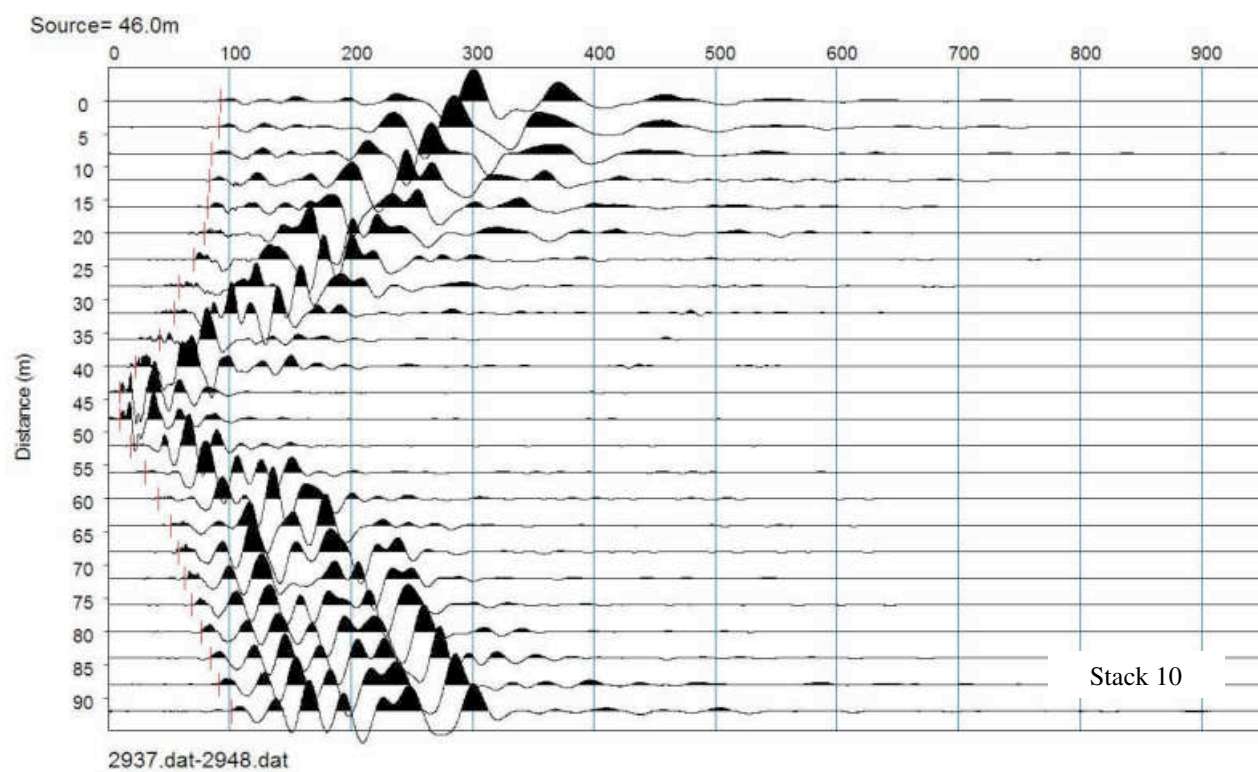
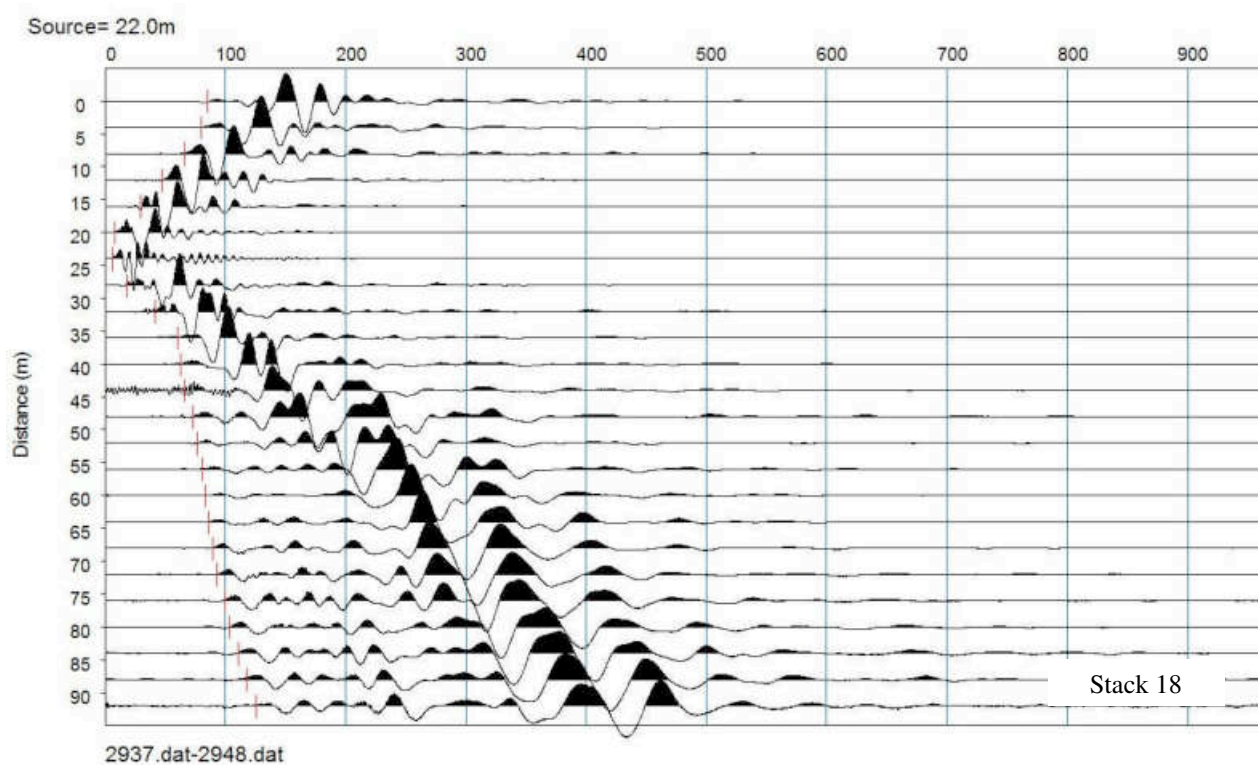
**file 2949 - 2955 Onde P**

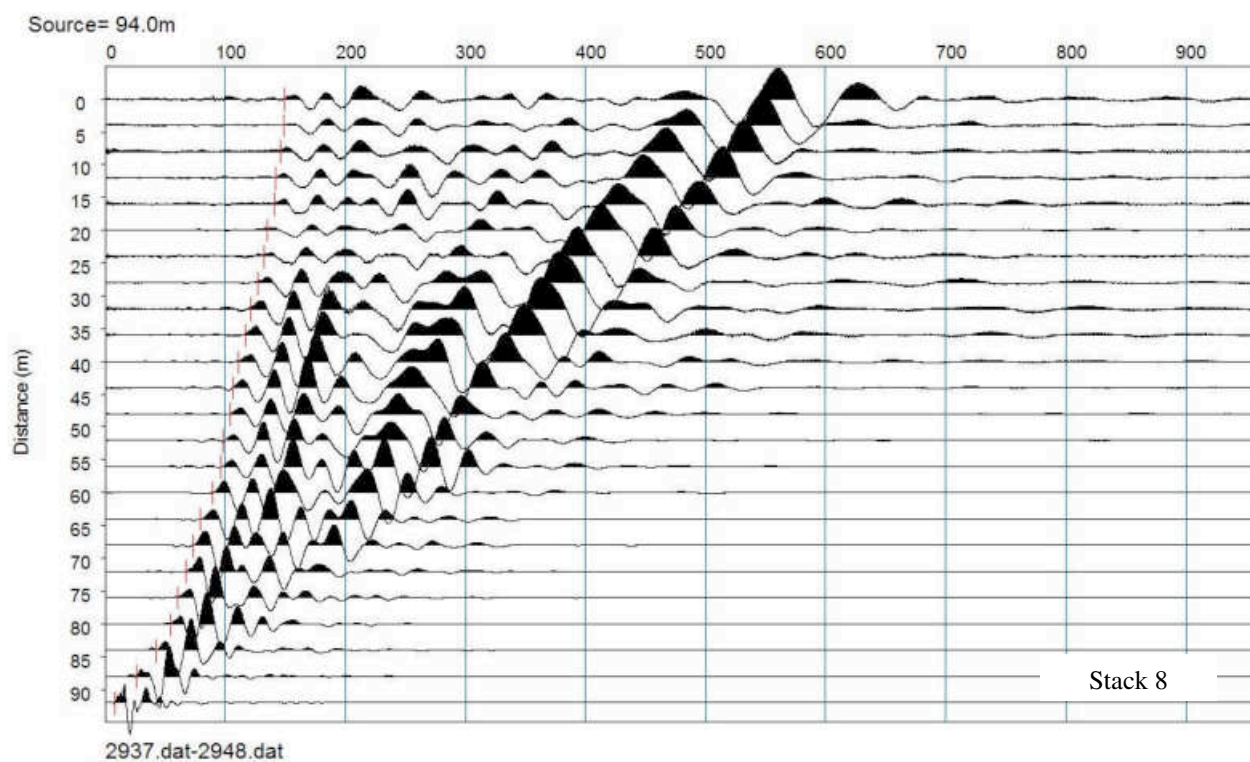
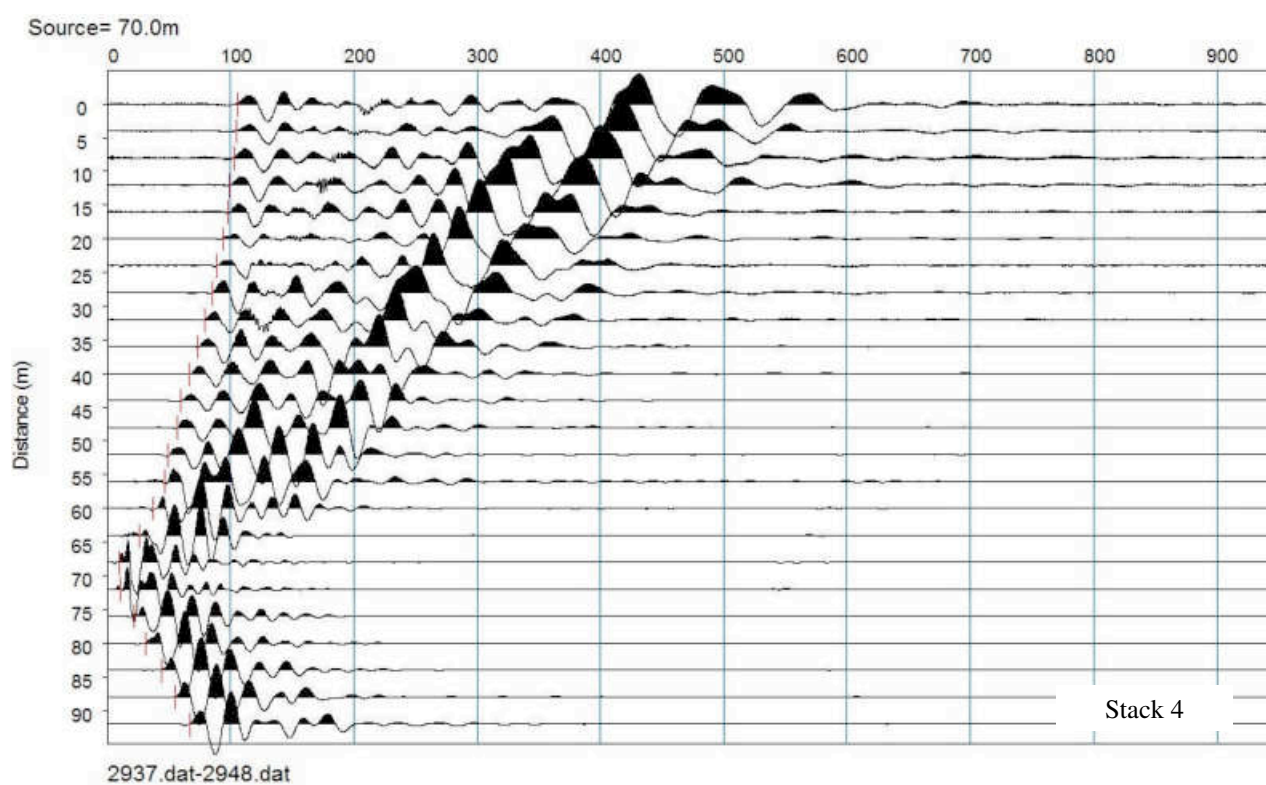




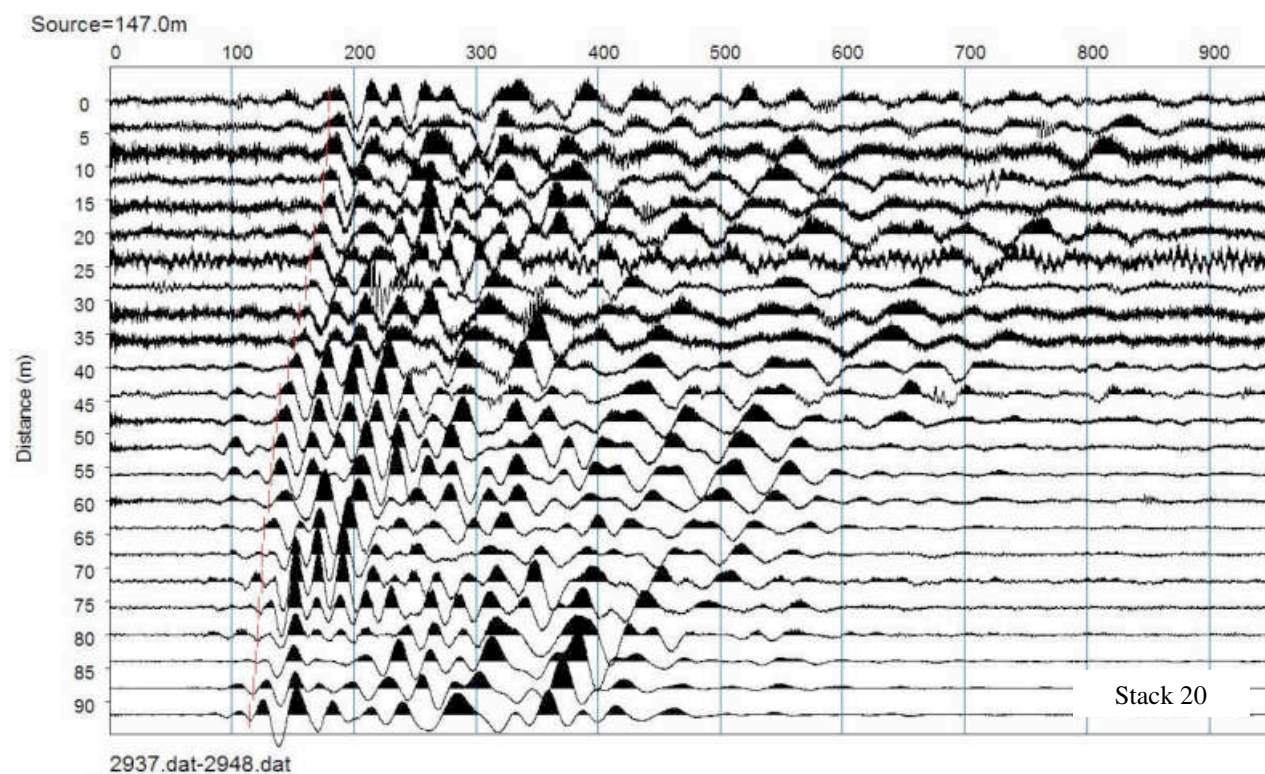
# ONDE SH $\Sigma$



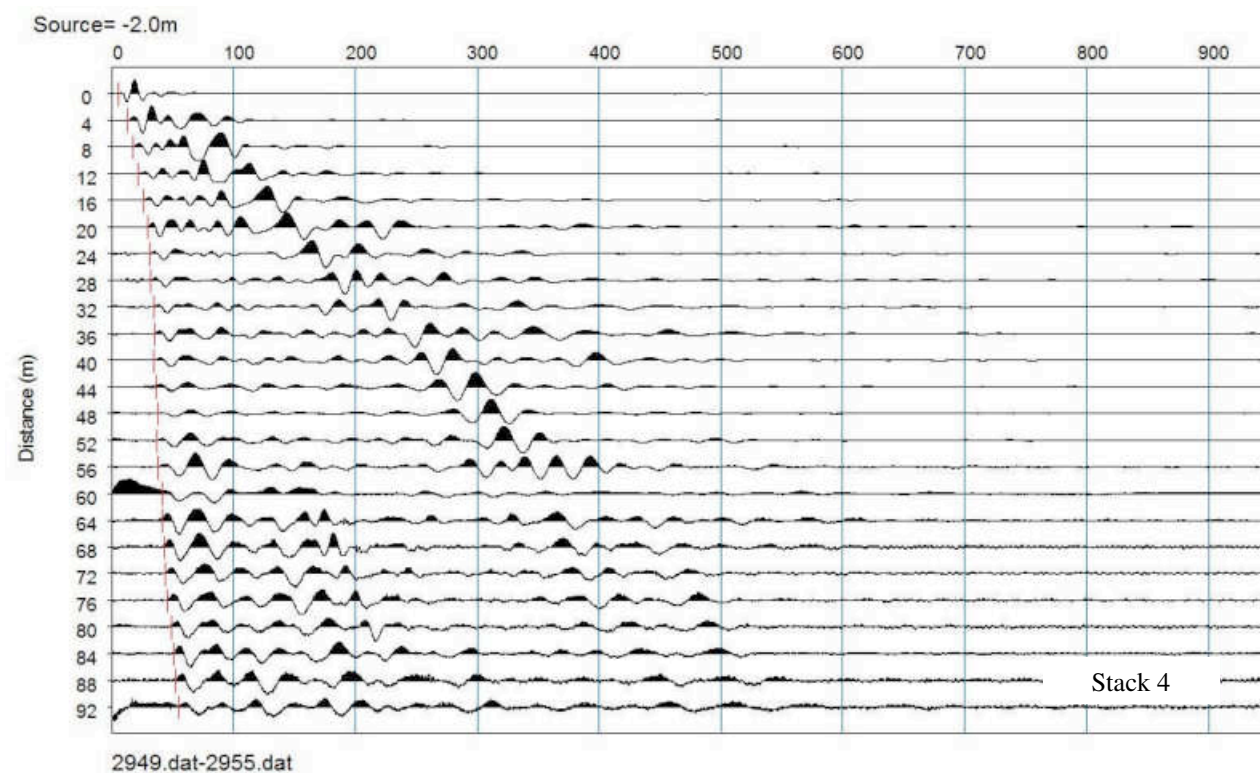
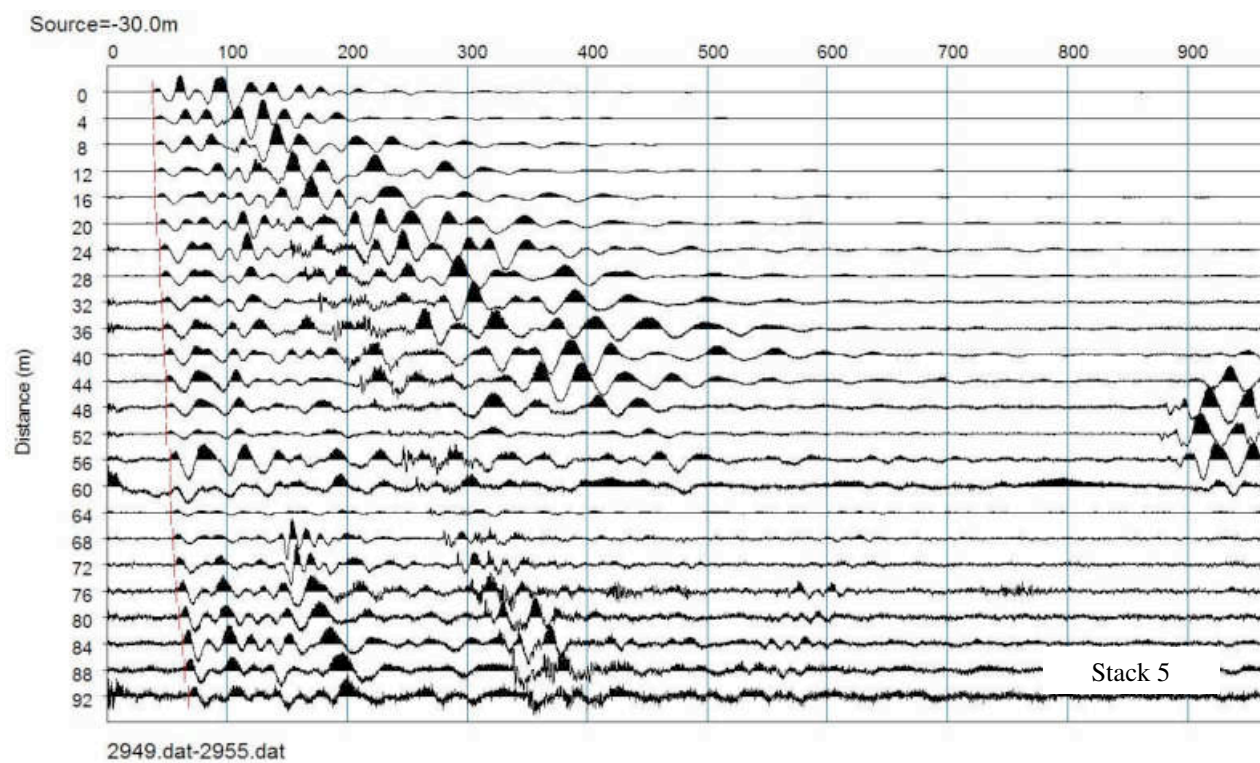




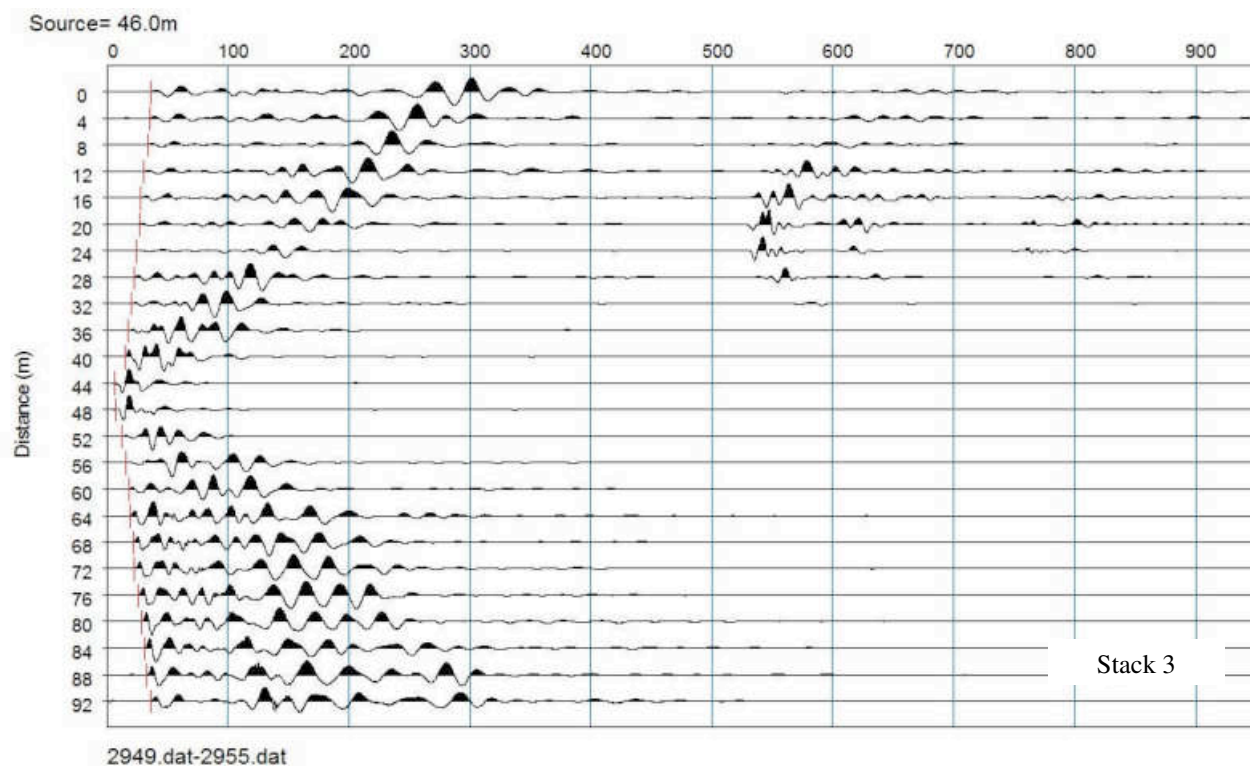
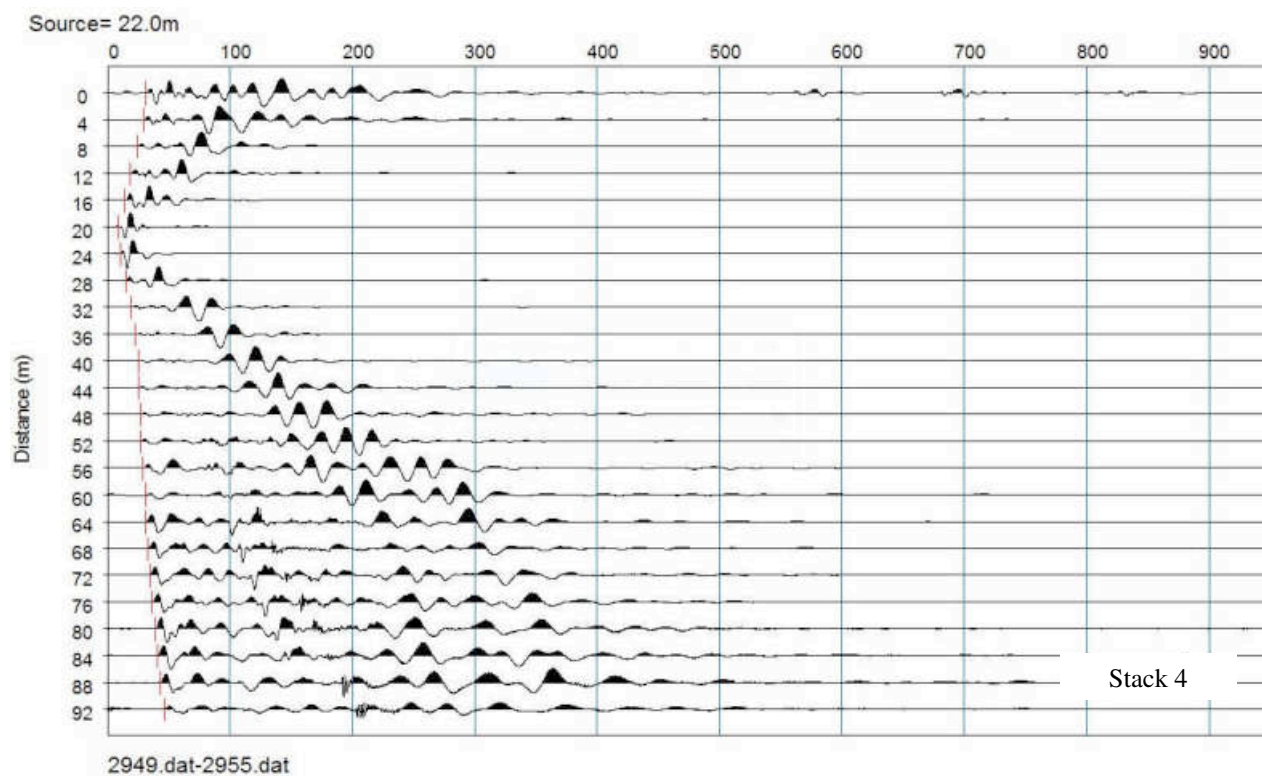


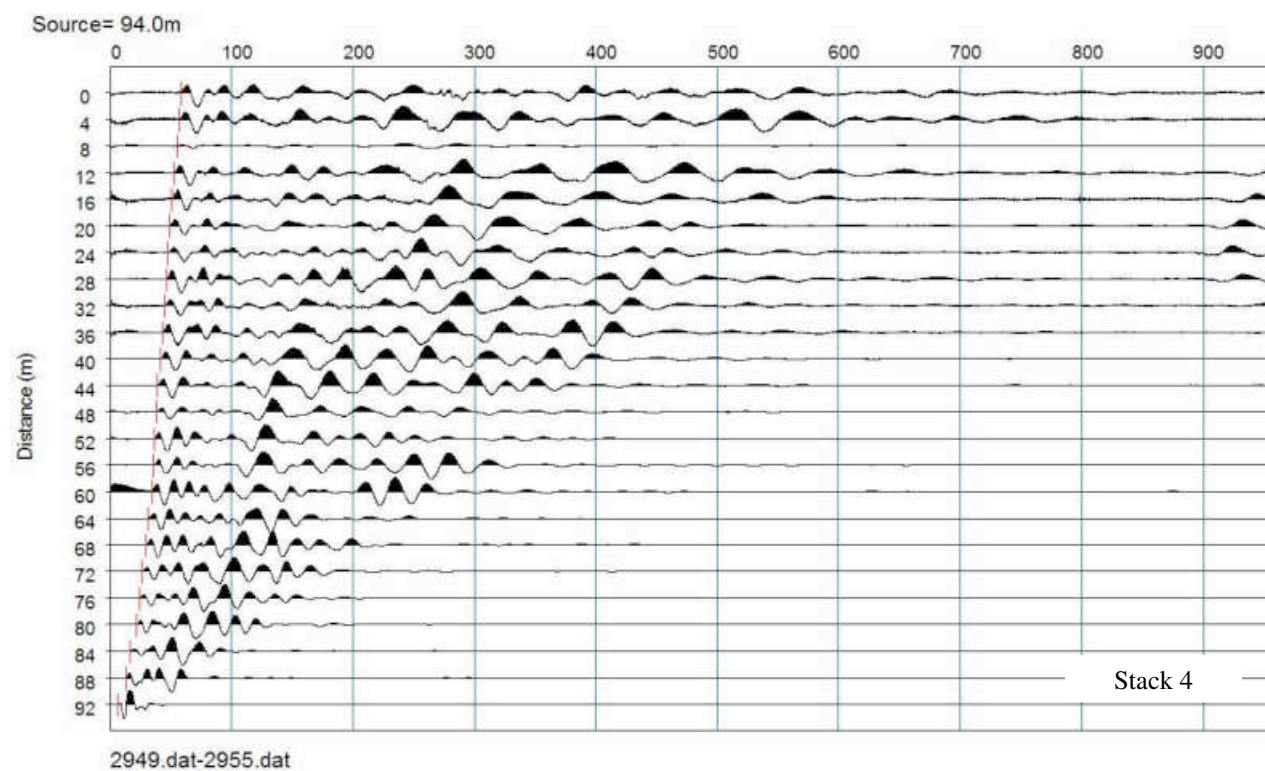
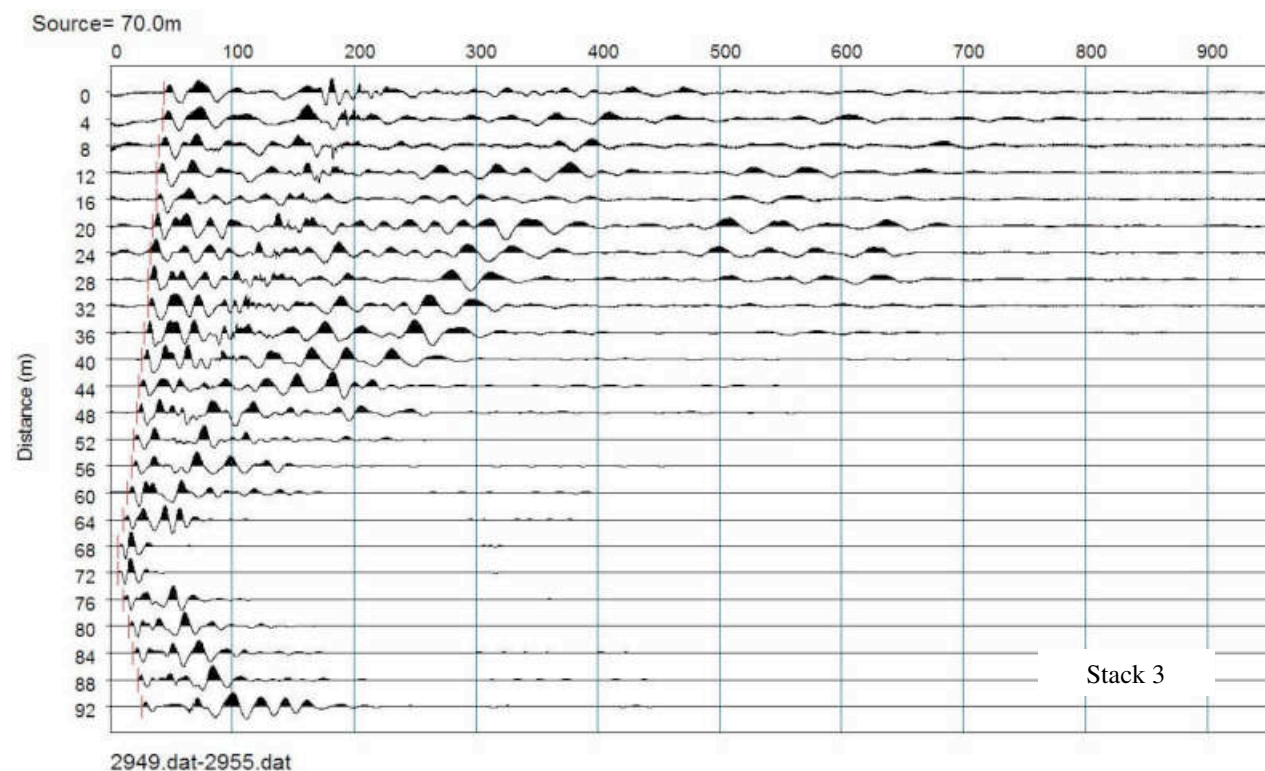


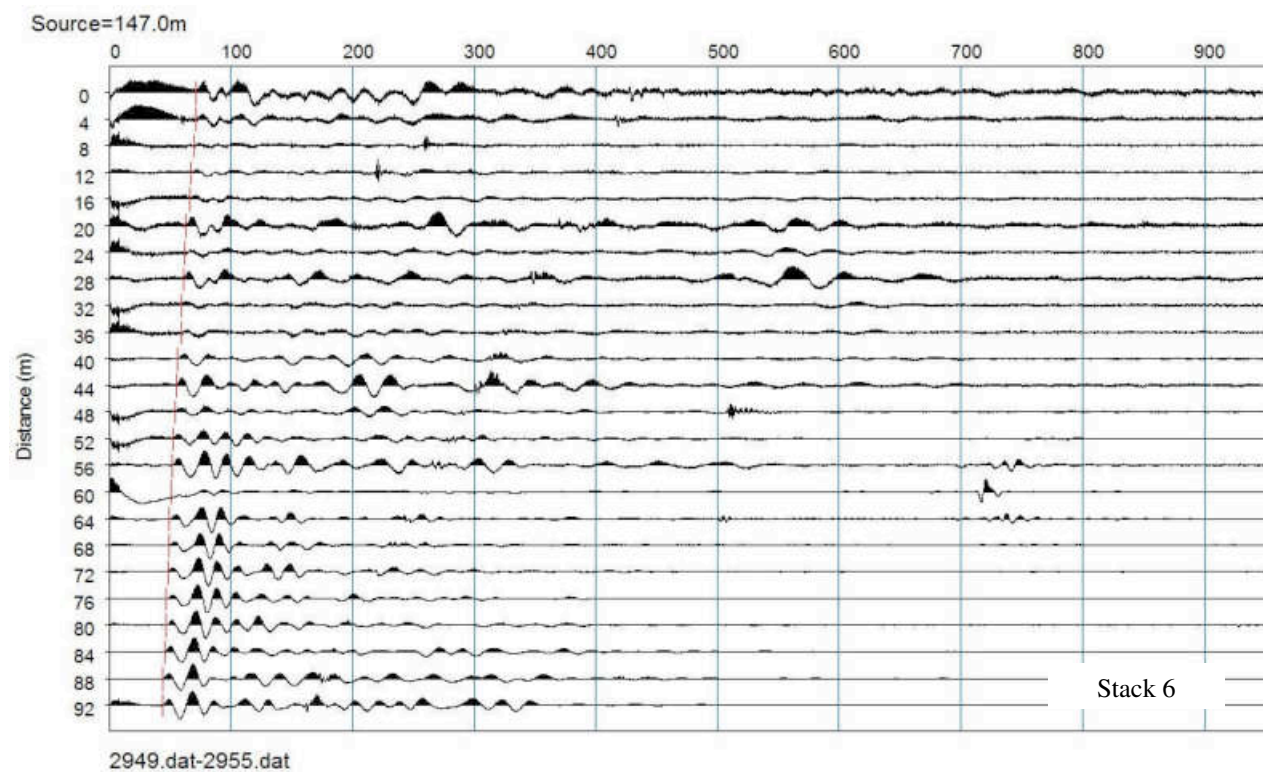
## ONDE P











# COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA

## PROVINCIA DI AREZZO

### TITOLO:

**INDAGINI E STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA (MS) DI LIVELLO 1 ED  
ANALISI DELLE CONDIZIONI LIMITE PER L'EMERGENZA (CLE) NEL COMUNE  
DI PRATOVECCHIO STIA**

**INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO  
MISURE DI RUMORE AMBIENTALE  
A STAZIONI SINGOLE DI REGISTRAZIONE ANALISI "HVSr"**

### COMMITTENTE:

**COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA**

### OGGETTO:

**RELAZIONE TECNICA**

**TRI+GEO**

DATA:  
19 Novembre 2015


**TRIGEO S.N.C.**

VIA MAZZINI, 18 – 52011 SOCI (AR)  
TEL/FAX 0575 294500 – 055 400619  
CELL. 3392288117 – 3287213928  
P.IVA 02024110518  
E-MAIL: [info@trigeo.it](mailto:info@trigeo.it) - [www.trigeo.it](http://www.trigeo.it)



CERTIFICATO ISO N. 14PA00028P06  
PROVE NON DISTRUTTIVE  
E SEMIDISTRUTTIVE NEL SETTORE CIVILE

**TRIGEO S.N.C.**  
di Nencetti Andrea & Suteris Benedetto  
Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)  
P.IVA 02024110518  
Tel/Fax 0575 294500 - 055 400619  
Cell. 339 2288117 - 328 7213928  
[www.trigeo.it](http://www.trigeo.it) - [info@trigeo.it](mailto:info@trigeo.it)

	INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO MISURE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA CON TECNICA DI ANALII HVSR STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)	Novembre 2015
		Comune di PRATOVECCHIO STIA
		Pag. 1 di 18

## INDICE

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>2</b>
<b>1.0 SCHEMA OPERATIVO .....</b>	<b>3</b>
<b>2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE (METODO H/V) [DA D. ALBARELLO E S. CASTELLARO] .....</b>	<b>3</b>
<b>3.0 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....</b>	<b>7</b>
<b>4.0 CAMPAGNA DI ACQUISIZIONE E SCHEDE DI ACQUISIZIONE .....</b>	<b>9</b>
<b>5.0 ANALISI DEI DATI E VALUTAZIONI DI QUALITÀ DELLE MISURE.....</b>	<b>9</b>
<b>6.0 INTERPRETAZIONE DELLE MISURE H/V .....</b>	<b>14</b>
<b>7.0 REPORT DEI RISULTATI – SIGNIFICATIVITÀ E CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE .....</b>	<b>15</b>
<b>ALLEGATI .....</b>	<b>17</b>



## INTRODUZIONE

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche di tipo sismico “passive” che utilizzano il “noise” o rumore ambientale per rilevare le caratteristiche fisiche del sottosuolo, per la definizione delle geometrie e delle caratteristiche elastiche dei terreni, in funzione della relazione tra la forma dello spettro di risposta del terreno, la struttura e caratteristiche elastiche del sottosuolo.

Nei mesi di Maggio-Novembre 2015, per conto della committenza, **COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA**, sono state eseguite **883 misure di rumore** sismico ambientale con tecnica HVSR (**Figura 1**).



**Figura 1** – Centri Urbani indagati.

Di seguito viene descritto lo schema operativo e le operazioni di campagna, le strumentazioni e le modalità di analisi dei dati e viene fornito un report dei risultati oltre ad una scheda di acquisizione per ogni misura, così come indicato dalle linee guida del progetto SESAME (Site Effects

Assessment using Ambient Excitations) e per ogni misura viene indicata la classificazione secondo Albarello et al. 2010.

## 1.0 SCHEMA OPERATIVO

Per ogni punto di misura è stata eseguita 1 o più misure (nel caso di elaborazioni non chiare), al fine di renderle il più possibile stocastiche, in modo che la struttura media del segnale risulti statisticamente indipendente dalla natura e dalla posizione delle sorgenti e condizionata soprattutto dalla struttura del sottosuolo.

La misura di microtremore a stazione singola deve avere una durata commisurata alla frequenza di indagine di interesse. Le misure di tipo passivo mirano a determinare caratteristiche medie del moto del suolo associato alle vibrazioni ambientali. Si tratta quindi di misure che devono risultare statisticamente rappresentative del fenomeno analizzato.

Poiché una misura di interesse ingegneristico ricade nell'intervallo 0.1-20 Hz, segue che un campionamento adeguato deve durare 15-40 minuti, in modo da poter analizzare il segnale su finestre di almeno 30 s di lunghezza e da avere almeno 20-30 finestre su cui effettuare una media, considerando che qualcuna potrà essere rimossa per la presenza di disturbi (transienti) che alterano lo spettro medio.

Inoltre eseguire più acquisizioni a breve distanza in un stesso sito, può fornire indicazioni utili sia sul livello di omogeneità del sito stesso che sul grado di validazione reciproca delle misure.

Nel nostro caso la durata delle misure è stata pari a **1200 secondi (20 minuti)**.

La Frequenza di campionamento adeguata per questo tipo di prove non deve essere inferiore a 50 Hz, in modo da permettere una ricostruzione spettrale sino ad almeno 20 Hz.

Nel nostro caso è stata utilizzata una Frequenza di campionamento pari a **300 Hz** ed in fase di elaborazione i dati sono stati ricampionati a **128 Hz**.

## 2.0 METODOLOGIA D'INDAGINE (METODO H/V) [DA D. ALBARELLO E S. CASTELLARO]

Esistono due configurazioni sperimentali per lo studio del rumore sismico ai fini geognostici:

1. la configurazione a stazione singola
2. la configurazione ad antenna sismica (array)

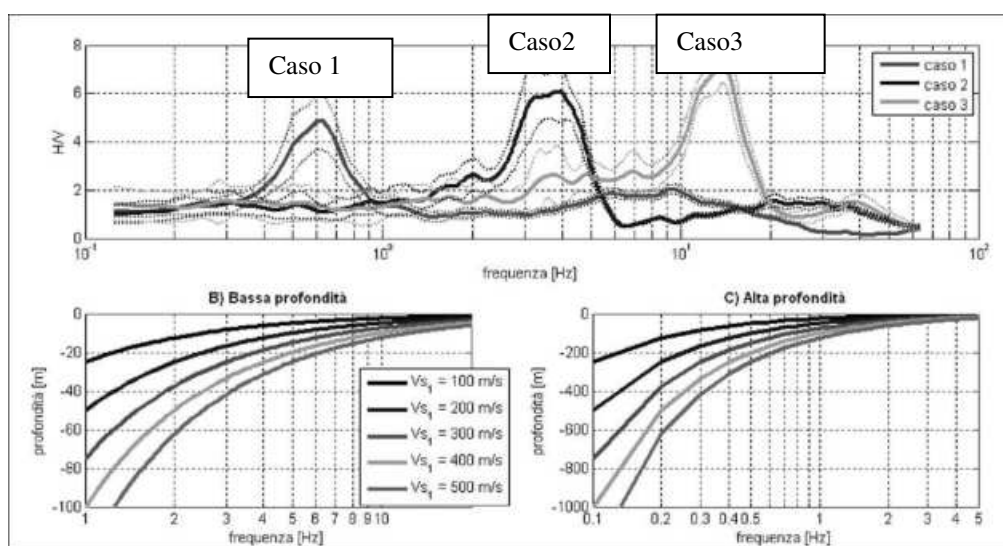
La prima è basata sull'analisi dell'ampiezza delle componenti spettrali del campo di vibrazioni ambientali misurato nelle tre direzioni dello spazio, mentre nella seconda vengono analizzati i rapporti di fase tra i treni d'onda che attraversano un'antenna sismica (array) ovvero una distribuzione di sensori disposti con geometrie variabili alla superficie del terreno.

Quello trattato nel presente lavoro riguarda la configurazione a stazione singola.

La prova comunemente nota con il termine H/V (prova di Nakamura) o HVSR acronimo per *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* è una tecnica di indagine applicata la prima volta da Nogoshi e Igarshi (1970) e resa nota da Nakamura (1989).

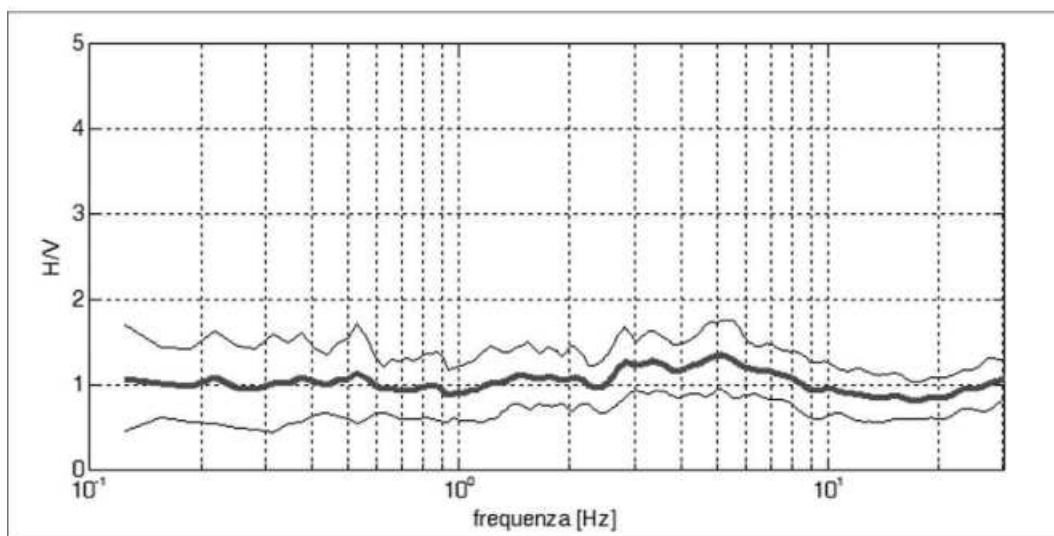
Si tratta di una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e le componenti verticali (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con apposito sismometro a tre componenti.

I dettagli riguardo a questo tipo di analisi sono efficacemente raccolti nel web-site del progetto Sesame. Nel sito si trova anche l'indicazione per accedere ad un pacchetto software open source dedicato a questo tipo di analisi. L'esito di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione (**Fig. 2**). Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura.



**Figura 2)** Esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300 m di profondità. Caso 2: bedrock a 20 m di profondità. Caso 3: bedrock a 4 m di profondità; B) relazione V-f<sub>0</sub>-H alle medioalte frequenze; C) relazione V-f<sub>0</sub>-H alle medio-basse frequenze.

Quando la misura è effettuata su un basamento sismico affiorante (e quindi dove non sono attesi fenomeni di risonanza sismica) la curva non mostra massimi significativi e si assesta intorno ad ampiezza 1 (**Fig. 3**).



**Figura 3** - Curva H/V di un sito su roccia non fratturata e morfologicamente piatta. Si noti l'assenza di amplificazione per risonanza in tutto il dominio delle frequenze.

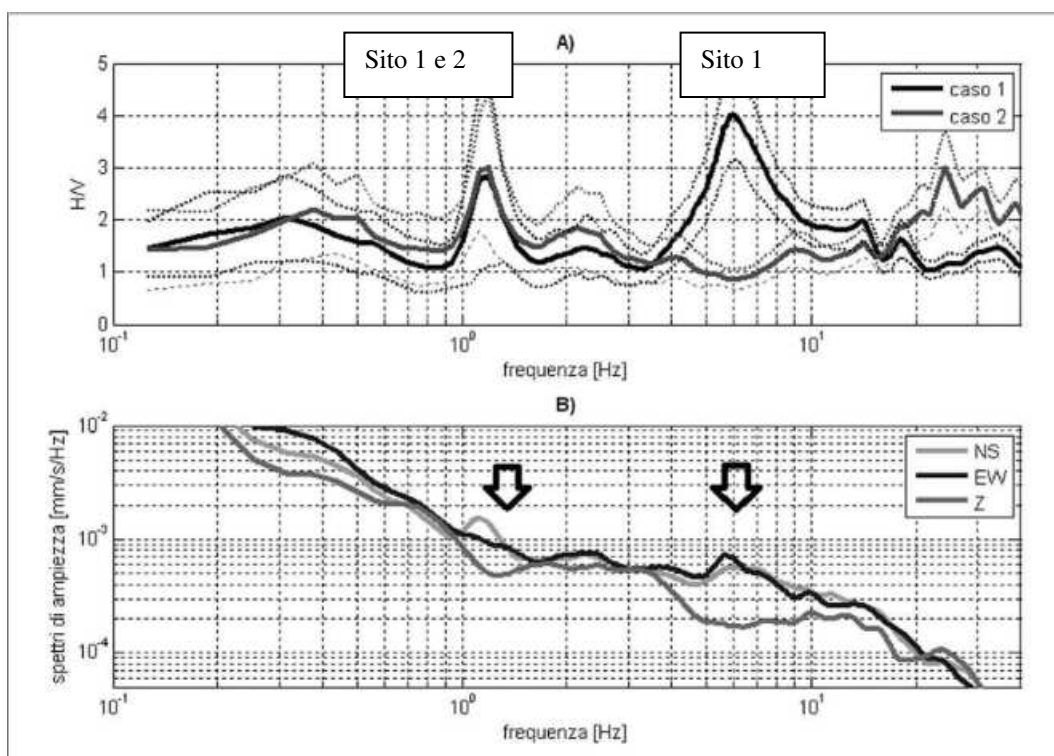
Pertanto, questa prova ha lo scopo di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni. Contestualmente fornisce indicazioni di tipo qualitativo sull'entità delle risonanze attese. In generale, la stima della frequenza di risonanza  $f$  sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti potenzialmente pericolosi. Inoltre, se i risultati della prova sono invertiti mediante opportune procedure numeriche, soprattutto se in associazione ad altre indicazioni sperimentali (per esempio le curve di dispersione delle onde superficiali, prove Down Hole, sismica a rifrazione) possono fornire vincoli importanti al profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

In casi semplici (coperture soffici al disopra di un basamento sismico rigido), è possibile stabilire una relazione fra lo spessore dello strato soffice, la velocità media delle onde S all'interno di quest'ultimo ( $V_s$ ) e la frequenza di risonanza fondamentale  $f$  dello strato, nella forma:

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

Poiché la tecnica H/V indica la risonanza verticale locale nell'assunzione di una configurazione puramente 1D (sono ammesse solo variazioni verticali del profilo di velocità), essa è sensibile alle variazioni stratigrafiche laterali, permettendo di discriminare geometrie 1D da geometrie 2D, entro i limiti di visibilità imposti dalla legge fisica  $\lambda \neq V$  (lunghezza d'onda per frequenza = velocità).

In Fig. 4 è illustrato il caso di due misure effettuate a 40 m di distanza reciproca, una delle quali situata su terreno limoso sovrastante un paleoalveo di ghiaie posto a circa 12 m di profondità; l'altra situata sullo stesso terreno, ma dove non si incontra il livello di ghiaie. È evidente come nel primo caso si generi a 6 Hz una risonanza dei limi sopra le ghiaie, del tutto assente nel secondo caso. Nonostante la vicinanza dei luoghi, il sito 1 è più sfavorevole dal punto di vista degli effetti sismici di sito rispetto al sito 2 per strutture antropiche con modi propri attorno a 6-8 Hz.



**Figura 4** - A) Esempi di curve H/V registrate a 40 m di distanza. Nella curva 1 emerge una risonanza a 6 Hz legata alla presenza di un livello di ghiaie a 12 m di profondità che è assente nella curva relativa al sito 2. Nel dominio delle medio basse frequenze le curve sono statisticamente uguali. B) Spettri delle singole componenti del moto (NS, EW e Z) registrati nel sito 1. **Le frecce evidenziano le forme “a ogiva” caratterizzate da un minimo locale della componente verticale che caratterizzano le risonanze di natura stratigrafica.**




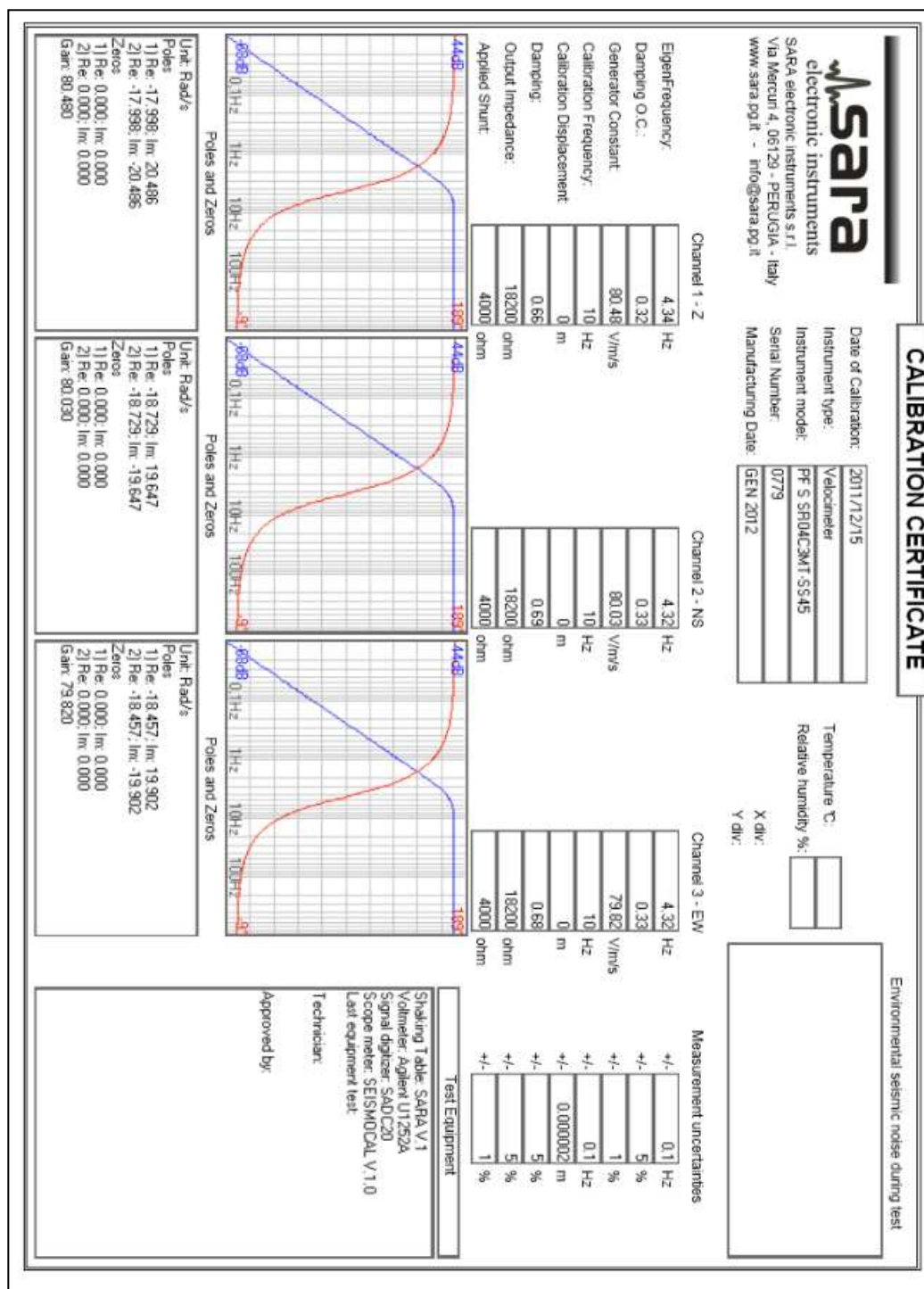
Dal punto di vista fisico nel campo delle vibrazioni ambientali sono presenti sia onde di volume (P e S) che onde di superficie (Love e Rayleigh). Non è però possibile prevedere a priori per un dato sito l'entità del contributo relativo delle onde di volume e delle onde di superficie (nei diversi modi di propagazione) al campo d'onda delle vibrazioni ambientali. I rapporti relativi delle diverse fasi cambiano in funzione delle frequenze, della situazione stratigrafica e della distribuzione delle sorgenti all'intorno della stazione di misura.

Tuttavia questa eterogeneità non influenza la stima della frequenza di risonanza fondamentale, ma solo l'ampiezza della curva H/V in corrispondenza di  $f$ , ampiezza che va quindi interpretata con cautela.

### 3.0 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata nel presente lavoro risulta essere:  
SISMOMETRO SR04S3 "GeoBox" della Sara electronic instruments, di cui si riportano sotto (**Fig.5**) le caratteristiche tecniche, dotato di 3 velocimetri GS11D 4.5 Hz Geospace, Technology – Huston – Texas –USA con frequenza di ca. 4.5 Hz di cui si allega l'ultimo certificato di calibrazione.

Alimentazione:	10-16Vdc (batteria interna)	<b>FIG.5</b>
Consumo di energia:	< 1 W	
Numero canali:	3	
Convertitore A/D:	24 bit ( $\Sigma\Delta$ )	
Range dinamico:	124dB @ 100SPS	
Campionamento:	simultaneo sui tre canali	
Sampling rates:	10-600	
Impedenza d'ingresso:	300 kOhm	
Sensibilità:	2V p-p (119nV/count)	
Real Time Clock:	+/-10ppm (-20/+50°C)	
Sincron. Real Time Clock:	GPS via PPS modulato	
Precisione rispetto a UTC:	<50µs	
Antenna GPS:	amplificata con 10mt di cavo e connettore BNC	
CPU:	AVR RISC processor @ 11.592MHz	
Interfaccia dati sismici:	RS232, cavo USB in dotazione	
Formato dati:	protocollo binario SADC20HS	
Velocità:	115200 baud	
Interfaccia dati GPS:	RS232	
Formato dati:	NMEA; 4800 baud, n,8,1	
Contenitore:	Alluminio IP66	
Temperatura operativa:	-30/+60°C	



I dati sono stati quindi registrati ed archiviati su un *notebook Toshiba satellite*, mediante il software di acquisizione **SEISMOWIN** mediante l'applicazione **SEISMOLOG-MT** per l'acquisizione dei microtremori.

## 4.0 CAMPAGNA DI ACQUISIZIONE E SCHEDE DI ACQUISIZIONE

Dal punto di vista pratico, nelle prove di sismica passiva si tratta di misurare vibrazioni del terreno caratterizzate da ampiezze molto piccole. Questo implica che la prova vada effettuata con cura, soprattutto per quanto riguarda l'accoppiamento dello strumento di misura con il terreno e la riduzione delle possibili fonti di disturbo nelle immediate vicinanze dei sensori. Lo strumento di misura va dunque posto a diretto contatto col terreno e reso solidale con questo, possibilmente senza interfacce intermedie.

Quando questo non fosse possibile è necessario tener conto dei possibili effetti indotti dai terreni artificiali rigidi in questo tipo di misure. Bisogna inoltre evitare possibili movimenti dello strumento nel corso della misura (basculamenti, assestamenti del suolo, ecc.) e curare la messa in bolla dei sensori, controllando al termine della misura che questa sia stata conservata. Infine, le eventuali parti mobili della strumentazione devono essere poste al riparo da spostamenti d'aria, va evitato il contatto con elementi mobili (fili d'erba, ecc.). Una lista di cautele per l'esecuzione di questo genere di misura è stata messa a punto nell'ambito del progetto **SESAME**.

Le misure effettuate nel presente lavoro seguono le linee guida presentate dal progetto **SESAME**.

Inoltre per ogni misura è stata riportata una foto dell'acquisizione e compilata una scheda, sempre seguendo il modello di quella riportata nelle linee guida SESAME.

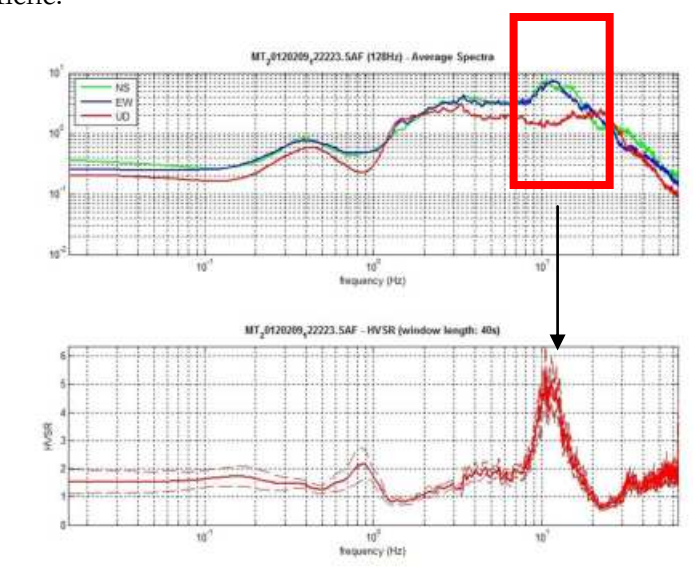
## 5.0 ANALISI DEI DATI E VALUTAZIONI DI QUALITÀ DELLE MISURE

Le serie temporali registrate nelle tre componenti del moto vengono analizzate secondo procedure spettrali di vario tipo (FFT, wavelet, ecc.) fino alla produzione delle curve H/V, dove H è la media di due componenti spettrali orizzontali ortogonali. Si rimanda a SESAME (2004) e D'Amico et al. (2008) per due possibili protocolli di analisi. Tuttavia va rilevato che in presenza di un buon segnale e di fenomeni di risonanza significativi, i diversi protocolli producono gli stessi esiti.

Prima di qualsiasi interpretazione delle curve H/V sono indispensabili due accorgimenti:

- 1) la curva H/V deve essere statisticamente significativa, ossia essere caratterizzata da una deviazione in ampiezza e in frequenza ridotta. Quando questa caratteristica non sia presente sin dall'inizio, essa va ricercata tramite una pulizia del tracciato. Esistono diversi metodi per "pulire" una curva H/V.

- 2) la curva H/V non va mai osservata da sola ma sempre congiuntamente agli spettri delle singole componenti da cui essa deriva. Questo permette di discernere agevolmente i picchi di natura stratigrafica da quelli generati da fonti di disturbo di natura antropica (motori elettrici, ecc.). In condizioni normali le componenti spettrali NS, EW e Z (verticale) hanno ampiezze simili. Alla frequenza di risonanza si genera spesso un picco H/V legato ad un minimo locale della componente spettrale verticale che determina una forma “a occhio” o “a ogiva” come quella indicata dalle frecce in **Fig. 4** ed in **Fig. 6**. Questa forma è indicativa di risonanze stratigrafiche.



**Figura 6:** forma ad occhio o a “ogiva” tipica di una risonanza

Nel 2004 il progetto SESAME ha stabilito una serie di criteri per la valutazione della significatività dei picchi H/V. Si tratta essenzialmente di criteri di tipo statistico che hanno lo scopo di segnalare situazioni poco chiare per le quali sono necessarie ulteriori indagini (ripetizione della misura, variazione delle condizioni di accoppiamento con il terreno, ecc.).

La prima parte di questi criteri è dedicata alla valutazione dell’attendibilità statistica della curva H/V. In pratica, individuata la frequenza del picco di risonanza, i criteri aiutano a verificare se la registrazione è stata effettuata per un periodo abbastanza lungo e analizzata per un numero sufficiente di intervalli di tempo adeguati.

La seconda parte è dedicata alla valutazione della chiarezza del picco H/V. In pratica viene analizzata la morfologia del picco e si valuta semplicemente se il picco ha una forma geometricamente

ben definita. Questa parte dei test SESAME va interpretata con cognizione di causa perché solo un contatto netto tra litotipi diversi dal punto di vista meccanico genera picchi nitidi. Al contrario, le transizioni graduali (per es. roccia fratturata su roccia sana, passaggi da limo-argilloso a sabbia-limosa, ecc.) generano più spesso amplificazione in una banda larga di frequenze. In questo caso eventuali non superamenti dei criteri SESAME non significano che non ci siano risonanze importanti ma solo che non ci sono picchi singoli ben definiti.

Naturalmente, i criteri SESAME (2004) risultano non soddisfatti nei siti che non presentano amplificazione.

I criteri SESAME (2004) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2. Questo criterio ha carattere puramente empirico. Tuttavia va tenuto presente che massimi H/V di ampiezza inferiore a 2 indicano bassi contrasti di impedenza e, in questo caso, la frequenza corrispondente al massimo della curva H/V potrebbe fornire una indicazione meno precisa della frequenza di risonanza delle onde S. Questo non significa che il massimo osservato non sia fisicamente significativo, ma solo che l'interpretazione della curva va effettuata con maggiore cautela ed utilizzando procedure di inversione più raffinate.

Questi criteri hanno solo carattere statistico e non tengono conto di altre caratteristiche del campo di vibrazioni utili per individuare misure potenzialmente poco attendibili. Per ovviare a questi limiti, nell'ambito delle attività di microzonazione successive al terremoto di L'Aquila dell'aprile 2009, sono state definiti altri criteri di classificazione delle misure H/V che integrano le proposte nell'ambito del progetto SESAME (Albarelli et al., 2010). Anche in questo caso, lo scopo è di fornire all'operatore impegnato nell'interpretazione dei risultati alcuni criteri di giudizio sulla qualità delle singole misure.




### CRITERI DI SESAME (2004)

<b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]	$f_0 > 10 / L_w$ $n_c(f_0) > 200$ $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]	Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ $A_0 > 2$ $f_{\text{peco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

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

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

	INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO MISURE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA CON TECNICA DI ANALISI HVSR STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)	Novembre 2015
		Comune di PRATOVECCHIO STIA
		Pag. 13 di 18

### CLASSIFICAZIONE MISURE H/V – [Albarelli et. Al. 2010]

Obiettivo della classificazione è fornire una indicazione immediata circa la qualità delle singole misure H/V, con lo scopo di aiutare gli operatori nella fase interpretativa e nel confronto con altri dati osservati. Questo tipo di classificazione trova il suo principale impiego nella redazione delle mappe delle indagini relative al livello 1 della microzonazione sismica. I criteri proposti sono più rigidi di quelli di SESAME in quanto includono elementi di giudizio non contemplati in precedenza, quali:

1. durata complessiva della registrazione che deve essere tale da produrre stime “robuste” del campo medio delle vibrazioni ambientali
2. stazionarietà temporale dei rapporti spettrali
3. isotropia del segnale in termini dei rapporti spettrali
4. assenza di rumore elettromagnetico
5. andamento complessivo della curva H/V

Si confrontano misure ottenute con spettri lisciati con una finestra triangolare al 5% della frequenza centrale. Valori maggiori dell'ampiezza della finestra di lisciamiento possono essere utilizzati per migliorare la leggibilità della curva in fase di interpretazione.

Vengono proposte tre classi di qualità:

**Classe A:** H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola

1. la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (*stazionarietà*)
2. le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo (*isotropia*)
3. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse (*assenza di disturbi*)
4. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (*plausibilità fisica*)
5. i criteri di SESAME per una curva H/V attendibile (primi 3 criteri) sono verificati (*robustezza statistica*)
6. la misura è durata almeno 15/20 minuti (*durata*)

**ECCEZIONE:** misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (tipicamente > 1 km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell'assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta e con *ampiezza circa pari a 1*, il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile. In questo solo caso la misura può ricadere nella classe A ma si consiglia di ripetere la misura per confermare l'effettiva assenza di massimi significativi.

**Classe B:** curva H/V sospetta (da “interpretare”): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze

1. almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell'ECCEZIONE citata per la Classe A

**Classe C:** curva H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata

1. misura di tipo B nella quale la curva H/V mostra una ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura
2. misura di tipo B nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di potenziale interesse

I criteri delineati sopra non riguardano l'interpretazione in chiave geologico-stratigrafica della curva, per la quale sono richiesti ulteriori criteri (per esempio i criteri SESAME per la “chiarezza” del picco).

Per le sole Classi A e B si possono pertanto definire due sottoclassi delle classi precedenti, ossia:

Tipo 1. Presenta almeno un picco “chiaro” secondo i criteri di SESAME: *possibile risonanza*

Tipo 2. Non presenta picchi “chiaro” nell'intervallo di frequenze di interesse: *assenza di risonanza*

## 6.0 INTERPRETAZIONE DELLE MISURE H/V

Le misure H/V possono essere utilizzate negli ambiti:

- 1) della microzonazione sismica (**uso esplorativo**)
- 2) della stratigrafia sismica, nel qual caso la tecnica aspira a fornire indicazioni di tipo quantitativo sul profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (uso stratigrafico).

**Il presente lavoro prevede in questa fase solo uno studio esplorativo delle misure H/V nell'ambito della microzonazione.**

In questo contesto, le misure H/V hanno lo scopo di individuare la presenza di fenomeni di risonanza sismica dando indicazioni sulle frequenze interessate dal fenomeno. In funzione di questi risultati è possibile fornire indicazioni qualitative e relative sull'entità del contrasto di impedenza responsabile del fenomeno di risonanza e informazioni sullo spessore delle coperture che ne sono responsabili. Elementi chiave di questo genere di applicazione delle misure H/V sono: un buon controllo geologico dell'area di interesse e la disponibilità di un campione significativo di siti di misura (almeno 2 o 3) per ciascuna delle diverse unità litologiche o formazioni affioranti nella zona esplorata e potenzialmente interessanti ai fini della caratterizzazione sismica. Vengono prese in considerazione solo **misure di classe A o B** secondo la classificazione riportata sopra.

Vengono distinte le misure nelle quali è presente almeno un picco della curva H/V statisticamente significativo nell'intervallo di frequenze di interesse (**misure di Tipo 1** secondo la classificazione di Albarello et al. 2010) e quelle dove non ci sono picchi significativi (**misure di Tipo 2**). Le prime saranno rappresentative di siti o unità litologiche caratterizzate da possibili fenomeni di risonanza.

Se tutte le stime H/V dell'area sono state ottenute utilizzando le stesse procedure numeriche per l'analisi del dato (durata delle misure, ampiezza e caratteristiche delle finestre di liscio, ecc.) sarà possibile distinguere in prima approssimazione le aree dove ci si aspetta la presenza nel sottosuolo di variazioni significative del contrasto di impedenza sismica alla base delle coperture (ampiezza  $H/V > 3$ ) da zone dove questi contrasti hanno ampiezze ridotte ( $H/V < 3$ ). Sulla base delle frequenze di risonanza determinate sperimentalmente sarà poi possibile fornire una stima di massima degli spessori delle coperture soffici responsabili dei possibili fenomeni di risonanza osservati. Un abaco utile in questo senso, che è stato utilizzato nell'ambito delle attività per il livello 1 di microzonazione sismica nell'area interessata dal terremoto aquilano dell'Aprile 2009 (Albarello et al., 2010), è fornito in **Fig.7**

$F_0$ (Hz)	h (m)
<1	>100
1 -2	50-100
2 -3	30-50
3 -5	20-30
5 -8	10-20
8 -20	5-10
>20	<5

**Fig. 7** - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $F_0$ ) determinate dalle misure H/V.

Va sottolineato ancora una volta che i risultati prodotti a partire da un'interpretazione semplificata delle misure H/V, quale quella effettuata mediante l'abaco in Fig.8 hanno carattere statistico e semiquantitativo e vanno considerati solo previo confronto con le indicazioni derivanti da prove indipendenti (sezioni geologiche di dettaglio, sondaggi geognostici, ecc.).

## 7.0 REPORT DEI RISULTATI – SIGNIFICATIVITÀ E CLASSIFICAZIONE DELLE MISURE

Per ogni misura è stata realizzata una scheda riassuntiva con riportata la scheda compilata in fase di acquisizione, una fotografia della fase di acquisizione i report dell'elaborazione dei punti di misura secondo la tecnica H/V mediante software **WINMASW 4.8 pro**.

Inoltre è stata indicata la significatività dei picchi secondo i criteri di SESAME 2004.

E la classificazione delle Misure di H/V secondo Albarello et al. 2010.

I dati registrati sono stati quindi ripuliti dai transienti attribuibili a disturbi locali e puntuali.

Sui dati ripuliti è stata quindi eseguita l'elaborazione.

La registrazione delle singole misure "Raw Data" è inserita in un CD allegato alla presente relazione.

Viene in fine riportata la Legenda per la rappresentazione dei Picchi di frequenza nella mappa delle frequenze.

Esempio di legenda per la rappresentazione di  $f_0$  ed  $A_0$ :

$f_0$ (Hz) (scala di colori)	$A_0$ (dimensioni crescenti)
● nessuna risonanza (nero)	● nessuna risonanza
● $0.1 \leq f_0 < 0.5$ (verde scuro)	○ $1.1 \leq A_0 < 2$
● $0.5 \leq f_0 < 1.0$ (verde)	
● $1.0 \leq f_0 < 2.5$ (marrone)	○ $2.0 \leq A_0 < 3$
● $2.5 \leq f_0 < 5.0$ (giallo)	
● $5.0 \leq f_0 < 7.5$ (arancio)	○ $3.0 \leq A_0 < 5$
● $7.5 \leq f_0 < 10.0$ (rosso)	
● $10.0 \leq f_0 < 15.0$ (viola)	○ $5.0 \leq A_0$
● $15.0 \leq f_0 \leq 20.0$ (blu)	

Arezzo, lì 19/11/2015

**TRIGEО s.n.c.**  
 di Nencati Andrea & Benvenuti Benedetto  
 Via Mazzini n°18 - 52011 - SOCI (AR)  
 P.IVA 02026110518  
 Tel/Fax 0575 294500 - 055 9962212  
 Cell. 339 3058117 - 328 7213928  
 www.trigeo.it - info@trigeo.it

**TRIGEО SNC**


Via MAZZINI, 18 – 52011 SOCI (AR)  
 TEL/FAX 0575 294500 - CELL. 3392288117

**www.trigeo.it**

info@trigeo.it

Tel/Fax 055 400619 – CELL. 328 7213928



	INDAGINI GEOFISICHE DI TIPO SISMICO MISURE DI RUMORE AMBIENTALE A STAZIONE SINGOLA CON TECNICA DI ANALII HVSR STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA COMUNE DI PRATOVECCHIO STIA (AR)	Novembre 2015
		Comune di PRATOVECCHIO STIA
		Pag. 17 di 18

## ALLEGATI