

---

**INDAGINE GEOFISICA COMBINATA DI SISMICA A RIFRAZIONE e MASW  
RAPPORTO INTERPRETATIVO**

**COMUNE DI OME (BS)**

---

Dr. Geol. Daniela Chiarini

Dr. Geol. Massimo Compagnoni

Dr. Geol. Alberto Peruzzini



## INDICE

<b>1. Premessa</b>	<b>2</b>
<b>2. Indagine e strumentazione utilizzata</b>	<b>2</b>
2.1. <i>Strumentazione utilizzata</i>	2
2.2. <i>Indagine di sismica a rifrazione: metodologia ed acquisizione</i>	3
2.3. <i>Indagine MASW: metodologia ed acquisizione</i>	5
<b>3. Interpretazione e risultati</b>	<b>8</b>
3.1. <i>SITO n. 1 – Campo da calcio</i>	8
3.1.1. Acquisizione ed analisi onde P	8
3.1.2. Acquisizione ed analisi onde SH	10
3.1.3. Acquisizione ed analisi onde superficiali (Onde di Rayleigh)	14
3.2. <i>SITO n. 2 - Terme</i>	15
3.2.1. Acquisizione ed analisi onde P	15
3.2.2. Acquisizione ed analisi onde SH	17
3.2.3. Acquisizione ed analisi onde superficiali (Onde di Rayleigh)	20
<b>4. Modelli geofisici sismici interpretativi</b>	<b>22</b>
<b>5. Considerazioni finali</b>	<b>27</b>

## ALLEGATI

1. Ubicazione stendimenti sismici
2. Sismogramma multishots ed alcuni sismogrammi di singoli shot – acquisizione onde P – stendimento n. 1
3. Sismogramma multishots ed alcuni sismogrammi di singoli shot – acquisizione onde SH – stendimento n. 1
4. Sismogramma multishots ed alcuni sismogrammi di singoli shot – acquisizione onde P – stendimento n. 2
5. Sismogramma multishots ed alcuni sismogrammi di singoli shot – acquisizione onde SH – stendimento n. 2

## 1. Premessa

Su incarico e per conto del Dr. C. Fasser si è eseguita un'indagine geofisica sismica in n. 2 siti (allegato n. 1) posti nel Comune di Ome (BS), nell'ambito dell'aggiornamento dello studio geologico a supporto nel nuovo PGT comunale; in particolare il sito n. 1, denominato "ST1 – campo da calcio" è posto nei pressi della Chiesa dell'abitato di Ome lungo la diagonale del campo sportivo scolastico, mentre il sito n. 2, denominato "ST2 Terme", è collocato in corrispondenza dell'area verde adiacente allo stabilimento termale in destra orografica del Torrente Martignago.

Lo scopo dell'indagine è la caratterizzazione dinamica del sottosuolo nelle prime decine di metri con l'individuazione delle principali unità geofisiche e delle relative proprietà meccaniche elastiche, quali velocità delle onde longitudinali P ( $V_P$ ), velocità delle onde trasversali S ( $V_S$ ) e i relativi parametri elastici (E, G, K e  $\nu$ ).

Sulla base dei valori di  $V_S$  e del modulo di taglio (G) sarà possibile valutare la rigidità del suolo e fornire delle prime indicazioni sul comportamento dinamico della parte superficiale del sottosuolo, in applicazione alla normativa nazionale e regionale (D.G.R. 22 dicembre 2005, n. VIII/1566 "Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 12/2005" aggiornata con DGR 28 maggio 2008 n. VIII/7374).

## 2. Indagine e strumentazione utilizzata

Per la ricostruzione del modello geofisico dei 2 siti scelti è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale caratterizzata dalla combinazione tra la tecnica di sismica a rifrazione con onde di volume (longitudinali P e trasversali SH) e il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW di tipo attivo.

### 2.1. *Strumentazione utilizzata*

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- un sistema di energizzazione per le onde SH: la sorgente è costituita da una mazza di 10 Kg battente orizzontalmente su parallelepipedo in legno rivestito di metallo disposto

ortogonalmente allo stendimento (e parallelamente alla componente di registrazione dei geofoni orizzontali per massimizzarne l'acquisizione) e gravato da un carico statico addizionale, in modo che possa rimanere aderente al terreno sia al momento in cui viene colpito sia successivamente, affinché l'energia prodotta non venga in parte dispersa. Con questo dispositivo è possibile generare essenzialmente delle onde elastiche di taglio polarizzate orizzontalmente, con uniformità sia nella direzione di propagazione che nella polarizzazione e con una generazione di onde P trascurabile;

- un sistema di ricezione: costituito da 24+24 geofoni verticali ed orizzontali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa con frequenza propria 10 Hz (rifrazione) e 4.5 Hz (masw), ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente;
- sistema di acquisizione dati: con memoria dinamica a 24 bit composto da 12 dataloggers a 2 canali ciascuno per un totale di 24 canali, cavo sismico telemetrico di 130 m, MOM power con interfaccia USB 1.1 24 V, notebook PC Windows XP con software Panel Acquisition a 24 canali; il sistema è in grado di convertire in digitale e registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di ricezione; la conversione A/D avviene già dal primo metro di cavo: il sistema permette pertanto di eliminare molte fonti di disturbo dovute al trasferimento del segnale lungo centinaia di metri di cavo sismico ed è inoltre dotato di un sistema di filtraggio in tempo reale, da un hardware complesso, che comporta un anello di regolazione con diversi passaggi di digital signal processing;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

## **2.2. Indagine di sismica a rifrazione: metodologia ed acquisizione**

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o bi-rifratte (head wave): le onde analizzate sono quelle birifratte, cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza.

I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche; il modello interpretativo del mezzo investigato è di tipo elastico, omogeneo, continuo ed isotropo, mentre la profondità totale di indagine è legata alla lunghezza dello stendimento di ricevitori.

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde P ed SH è articolata nelle seguenti fasi fondamentali:

- Individuazione dei primi arrivi attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking, previa elaborazione dei segnali ed operazioni di filtraggio anche consecutivo con diverse tipologie di filtro digitale;
- Ricostruzione delle dromocrone in P ed SH e scelta del modello di sottosuolo da utilizzare nell'interpretazione;
- Linearizzazione delle dromocrone e calcolo delle velocità di propagazione delle onde elastiche analizzate e dei relativi tempi di intercetta;
- Ricostruzione del modello del sottosuolo con calcolo della profondità di ciascun strato omogeneo, continuo ed isotropo tramite il metodo del tempo di intercetta applicabile a ciascun punto di scoppio (metodo a griglia shot-point); questo metodo è applicabile in situazioni litostratigrafiche approssimabili a modelli stratificati a strati piani orizzontali e/o inclinati.

Per le analisi interpretative è stato utilizzato il software WinSism versione 10 – Seismic Refraction Processing Software (2004) della W-GeoSoft, associato ad altri software autocostruiti.

Non si è ritenuto necessario, date le finalità dell'indagine, applicare metodi interpretativi più complessi che peraltro necessitano di maggior onere economico nell'acquisizione dei dati e rendono più difficile l'individuazione di aree adatte all'indagine.

L'indagine in ciascun sito è consistita in uno stendimento singolo di sismica a rifrazione di lunghezza variabile in funzione delle disponibilità logistiche, lungo il quale sono stati disposti alternativamente e collegati in serie 24 geofoni monocomponente (verticali ed orizzontali) del tipo elettromagnetico a bobina mobile, con distanza intergeofonica variabile in relazione alla lunghezza totale disponibile: il collegamento dei ricevitori avviene attraverso un cavo telemetrico su cui sono disposti i 12 gruppi data loggers.

E' stata adottata un'unica configurazione a 5 shots per l'energizzazione in onde P e in onde SH per i due siti ST1 e ST2:

configurazione a 5 shots:

- 2 end-shots esterni allo stendimento di geofoni (S1 e S5)
- 2 intermedi posti rispettivamente tra il 6° e il 7° geofono e tra il 18° e 19° geofono (S2 e S4)
- 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S3)

Di seguito si riportano in modo sintetico i parametri configurazionali (spaziali e temporali) dell'acquisizione in onde P ed SH per ciascun sito:

<b>PARAMETRI CONFIGURAZIONALI SISMICA A RIFRAZIONE</b>		
	SITO n. 1	SITO n. 2
Orientazione	N-S	SW-NE
Dislivello altimetrico tra gli end-shots	0.0 m	0.0 m
Lunghezza stendimento compresi end-shots	75.0 m	100.0 m
Lunghezza stendimento ricevitori	69.0 m	92.0 m
Numero Geofoni	24	24
Distanza intergeofonica	3.0 m	4.0 m
Numero punti di energizzazione (shots)	5	5
End-shots	3.0 m	4.0 m
Distanza shots interni	18.0 m	24.0 m
Durata acquisizione	128 ms (P) 512 ms (SH)	256 ms (P) 512 ms (SH)
Intervallo di campionamento	0.125 ms (P) 0.500 ms (SH)	0.250 ms (P) 0.500 ms (SH)
Numero di campioni per traccia	1024	1024
Massima frequenza campionabile	4 kHz (P) 1 kHz (SH)	2 kHz (P) 1 kHz (SH)

### 2.3. *Indagine MASW: metodologia ed acquisizione*

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di

frequenze compreso tra 5-10Hz e 70-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in tre fasi:

- calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento, energizzando alternativamente ai due estremi dello stendimento;
- calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo Roma (2001)
- calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo Lai-Rix (1998)
- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_{SV}$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_{SV}$  e di compressione  $V_P$  (o in alternativa il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa  $\rho$  degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità  $V_S$  trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativo tra le due curve.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software MASW (V. Roma, 2007) associato ad altri software autocostruiti.

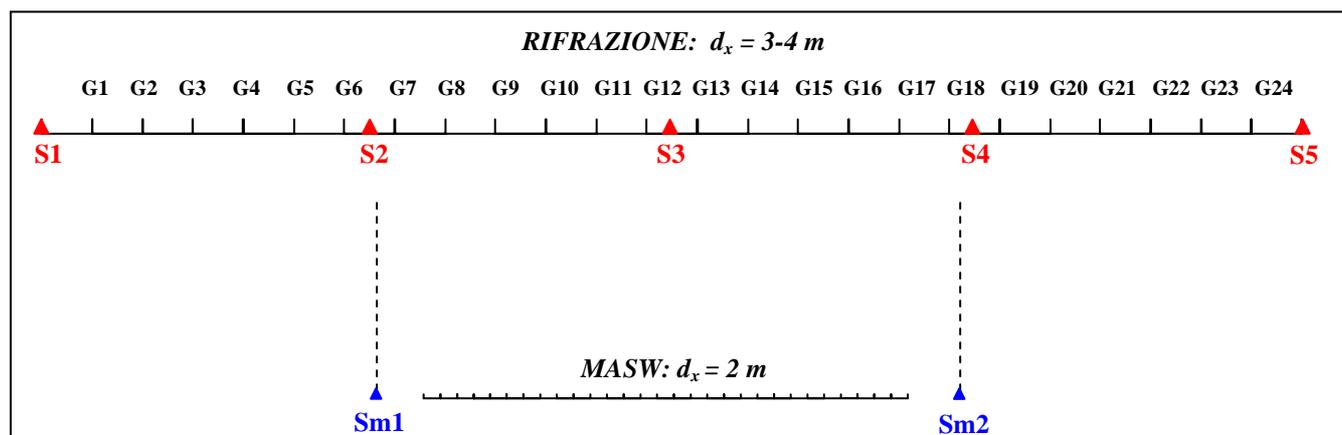
L'acquisizione è stata eseguita posizionando i 24 geofoni da 4.5 Hz lungo il tratto iniziale di ciascun stendimento di sismica a rifrazione, secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

<b>PARAMETRI CONFIGURAZIONALI MASW</b>	
Sito	ST1 – ST2
Dislivello altimetrico tra gli end-shots	0 m
Lunghezza stendimento ricevitori	46 m
Numero Geofoni	24
Distanza intergeofonica	2 m
Numero punti di energizzazione per estremo	1
Off-sets sorgenti (da ciascun estremo)	6 m
Durata acquisizione	4096 ms
Intervallo di campionamento	2.0 ms
Numero di campioni per traccia	2048
Massima frequenza campionabile	250 Hz

Per valutare la validità delle ipotesi di monodimensionalità (strati piani e paralleli) sono state eseguite acquisizioni coniugate. L'elaborazione è stata eseguita in procedura diretta scegliendo un modello numerico 1D di prima elaborazione, basato sui risultati dell'indagine di sismica a rifrazione e calcolandovi, tramite soluzione numerica monodimensionale a strati piani e paralleli (Roma e Rix-Lai), la relativa curva di dispersione teorica; successivamente al modello di prima elaborazione vengono apportate opportune modifiche in termini di spessore e velocità  $V_S$  degli  $n$  strati di cui è composto al fine di minimizzare l'errore tra curva sperimentale e curva numerica teorica.

Il modello finale scelto è da considerarsi indicativo del modello di rigidità del sottosuolo ed utilizzabile in modo opportuno solo per stime sull'ordine di grandezza del parametro  $V_{S30}$  e per verifiche di compatibilità con dati e conoscenze disponibili in altri siti limitrofi, nell'ambito di operazioni di estrapolazione di dati territoriali ai fini pianificatori.

Di seguito si riporta una configurazione geometrica schematica dell'**indagine sismica combinata** eseguita nei 2 siti: l'indagine masw è stata condotta al centro dell'array sismico utilizzato per la rifrazione con onde di volume, in modo da compensare la minor penetrazione d'indagine esistente in corrispondenza dello shot S3 e legata alla risposta coniugata di metà array sismico:



Sulla base di valutazioni incrociate sull'attendibilità dei risultati ottenuti dalle ricostruzioni sismiche è possibile scegliere il modello ritenuto più conforme alla situazione litostratigrafica presente nell'area e di cui è sempre preferibile avere a disposizione informazioni dirette di tipo geologico, geotecnico e/o idrogeologico.

Si ricorda che gli andamenti dei rifrattori individuati possono non essere coincidenti con quelli reali, in quanto valutati tramite un solo stendimento lineare; al fine di individuare le reali geometrie dei sismostrati sarebbe necessario eseguire più stendimenti disposti tra loro ortogonalmente.

### 3. Interpretazione e risultati

La topografia della superficie dei 2 siti investigati è subpianeggiante sul tratto analizzato; il rumore ambientale è risultato mediamente rilevante.

Per ogni stendimento si è utilizzato un sistema di riferimento relativo, con origine posto in corrispondenza dell'end shot esterno al 1° geofono.

#### 3.1. SITO n. 1 – Campo da calcio

##### 3.1.1. Acquisizione ed analisi onde P

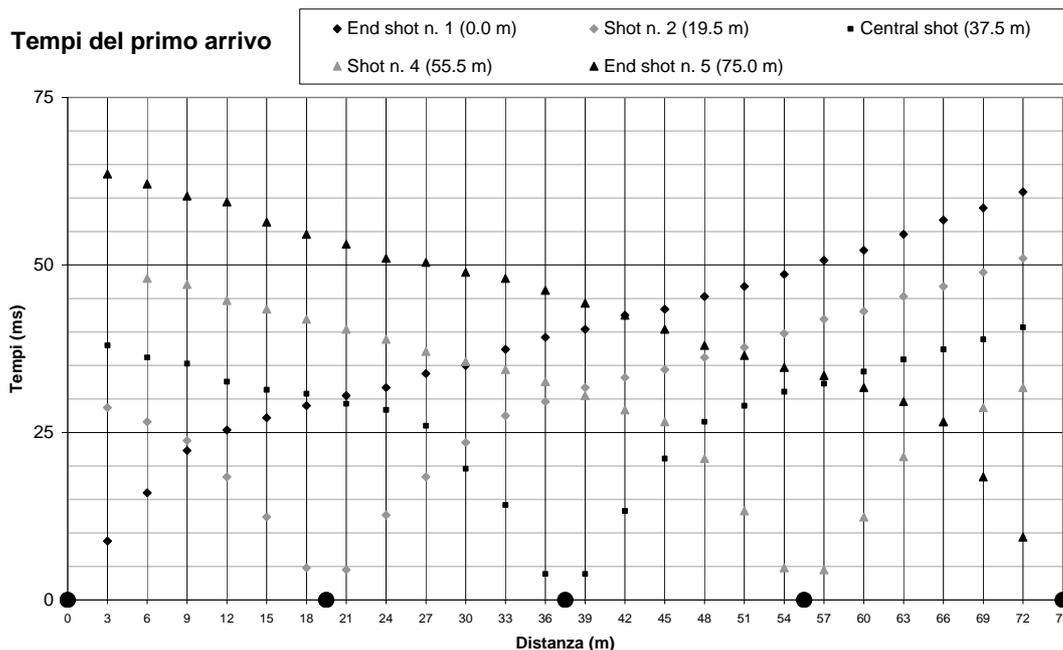
In allegato n. 2 si riporta il sismogramma multishot acquisito, da cui tramite amplificazione ed equalizzazione delle tracce si è estratto il sismogramma elaborato da sottoporre ad eventuali procedure di filtraggio digitale multiplo con filtro taglia alto, taglia basso e passa banda.

Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo di primo arrivo individuato su ciascun ricevitore per ciascun punto di scoppio:

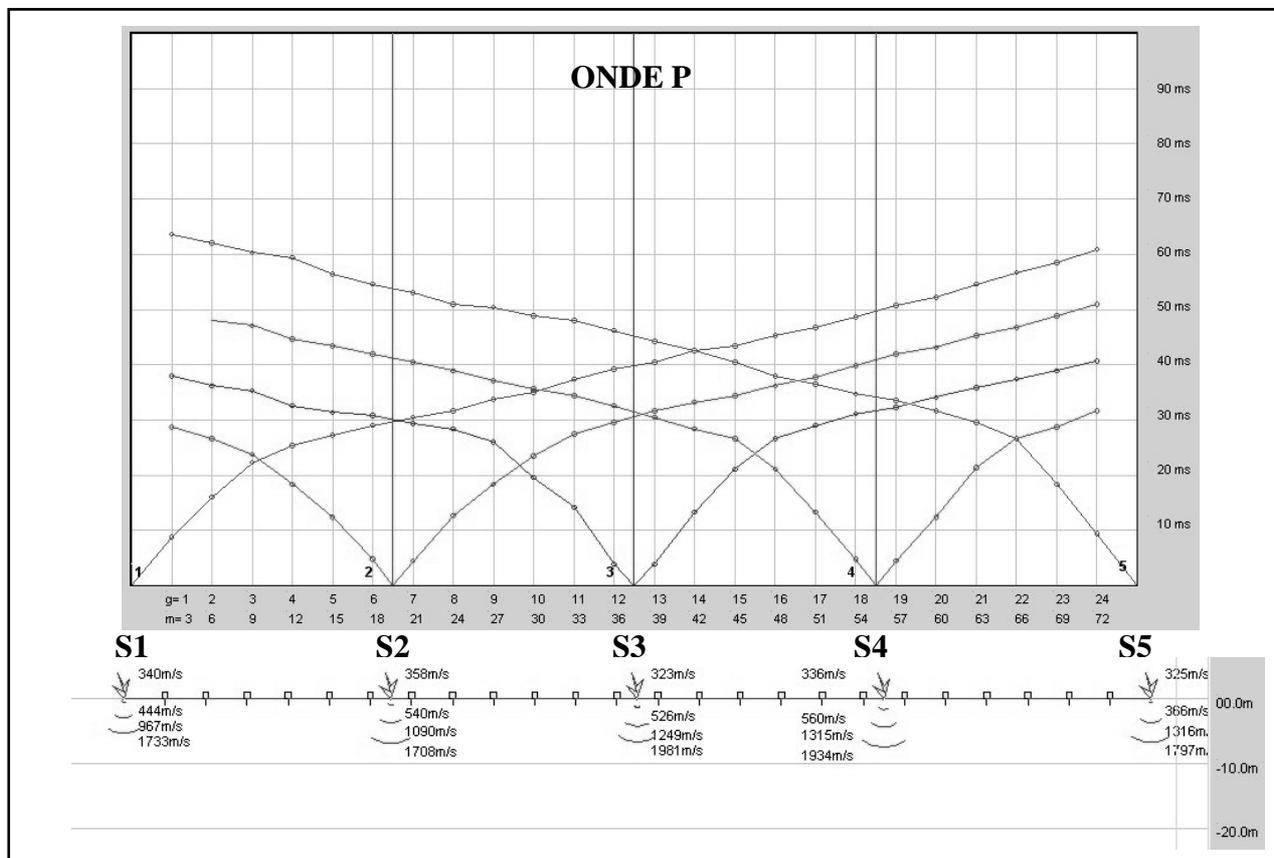
<i>N° shot</i>			<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Distanza relativa (m)</i>			0.0	19.5	37.5	55.5	75.0
<i>Quota relativa (m)</i>			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Geofono</i>	<i>Distanza relativa (m)</i>	<i>Quota relativa (m)</i>	<i>Tempi del primo arrivo per ciascun shot (ms)</i>				
			<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>1</i>	3.0	0.0	8.8	28.7	38.0	-	63.6
<i>2</i>	6.0	0.0	16.0	26.6	36.2	48.0	62.1
<i>3</i>	9.0	0.0	22.3	23.8	35.3	47.1	60.3
<i>4</i>	12.0	0.0	25.4	18.4	32.6	44.7	59.4
<i>5</i>	15.0	0.0	27.2	12.4	31.4	43.4	56.4
<i>6</i>	18.0	0.0	29.0	4.8	30.8	41.9	54.6
<i>7</i>	21.0	0.0	30.5	4.5	29.3	40.4	53.1
<i>8</i>	24.0	0.0	31.7	12.7	28.4	38.9	51.0
<i>9</i>	27.0	0.0	33.8	18.4	26.0	37.1	50.4
<i>10</i>	30.0	0.0	35.0	23.5	19.6	35.6	48.9
<i>11</i>	33.0	0.0	37.4	27.5	14.2	34.4	48.0
<i>12</i>	36.0	0.0	39.2	29.6	3.9	32.6	46.2
<i>13</i>	39.0	0.0	40.4	31.7	3.9	30.5	44.3
<i>14</i>	42.0	0.0	42.5	33.2	13.3	28.4	42.5
<i>15</i>	45.0	0.0	43.4	34.4	21.1	26.6	40.4
<i>16</i>	48.0	0.0	45.3	36.2	26.6	21.1	38.0
<i>17</i>	51.0	0.0	46.8	37.7	29.0	13.3	36.5
<i>18</i>	54.0	0.0	48.6	39.8	31.1	4.8	34.7
<i>19</i>	57.0	0.0	50.7	41.9	32.3	4.5	33.5
<i>20</i>	60.0	0.0	52.2	43.1	34.1	12.4	31.7
<i>21</i>	63.0	0.0	54.6	45.3	35.9	21.4	29.6
<i>22</i>	66.0	0.0	56.7	46.8	37.4	26.6	26.6
<i>23</i>	69.0	0.0	58.5	48.9	38.9	28.7	18.4
<i>24</i>	72.0	0.0	60.9	51.0	40.7	31.7	9.4

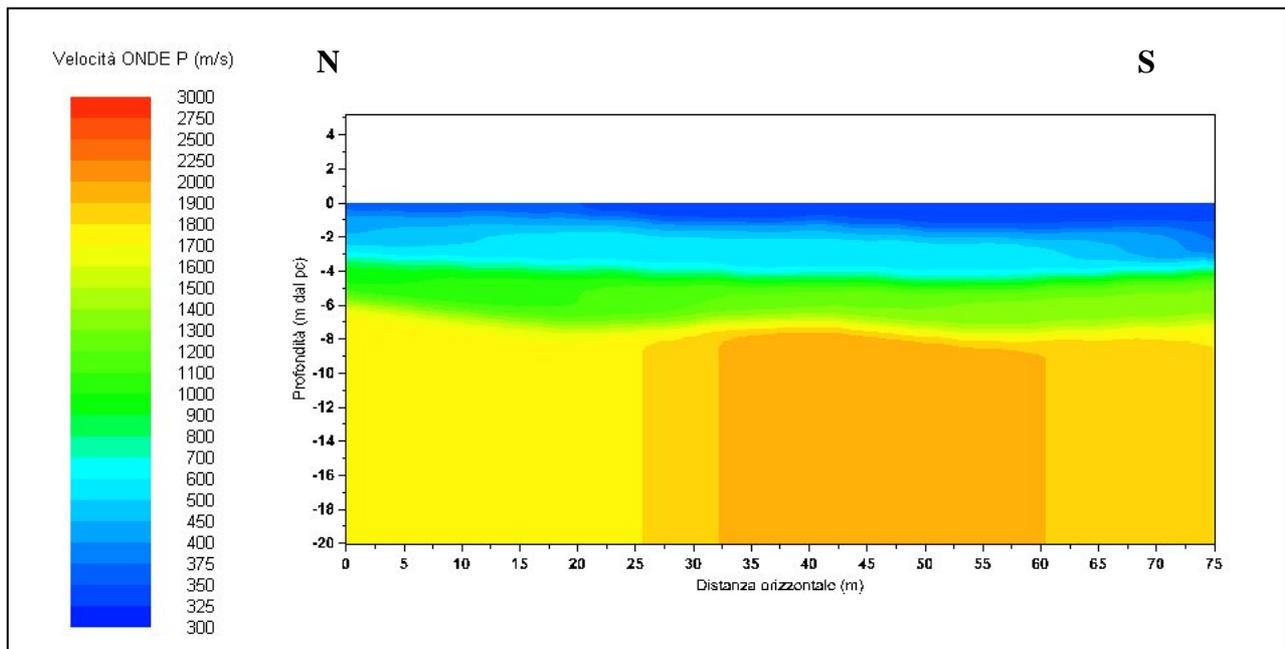
“-“ indica che la traccia sismica ha un rapporto S/N troppo basso per fornire informazioni sufficientemente attendibili

Nel grafico distanza-tempo sono riportati i tempi del primo arrivo da cui si individuano le dromocrone e tramite linearizzazione si individuano i principali rifrattori al di sotto di ciascun shot:



Di seguito si riporta la sezione geofisica interpretativa ottenuta scegliendo un modello interpretativo a 4 strati ed applicando il metodo di interpretazione con il tempo di intercetta, computando la profondità dei rifrattori in corrispondenza dei soli punti di scoppio (griglia shot-point):





Si evidenziano pertanto 3 rifrattori principali:

- uno posto alla profondità variabile da 0.5-1.5 m da pc che separa il sismostrato superficiale caratterizzato da valori di  $V_P$  compresi tra 320 e 360 m/s da quello sottostante con  $V_P$  compresi tra 440 e 560 m/s;
- uno posto alla profondità dell'ordine degli 3.0-4.5 m da pc, che separa il secondo sismostrato dal terzo sismostrato caratterizzato da valori di  $V_P$  compresi tra 1000 e 1300 m/s;
- uno posto alla profondità variabile da 5.5 m a 7.5 m da pc, che separa il terzo sismostrato dal quarto sismostrato caratterizzato da valori di  $V_P$  compresi tra 1700 e 2000 m/s.

### 3.1.2. Acquisizione ed analisi onde SH

In allegato n. 3 si riporta il sismogramma multishot acquisito, da cui tramite amplificazione ed equalizzazione delle tracce si è estratto il sismogramma elaborato da sottoporre ad eventuali procedure di filtraggio digitale multiplo con filtro taglia alto, taglia basso e passa banda.

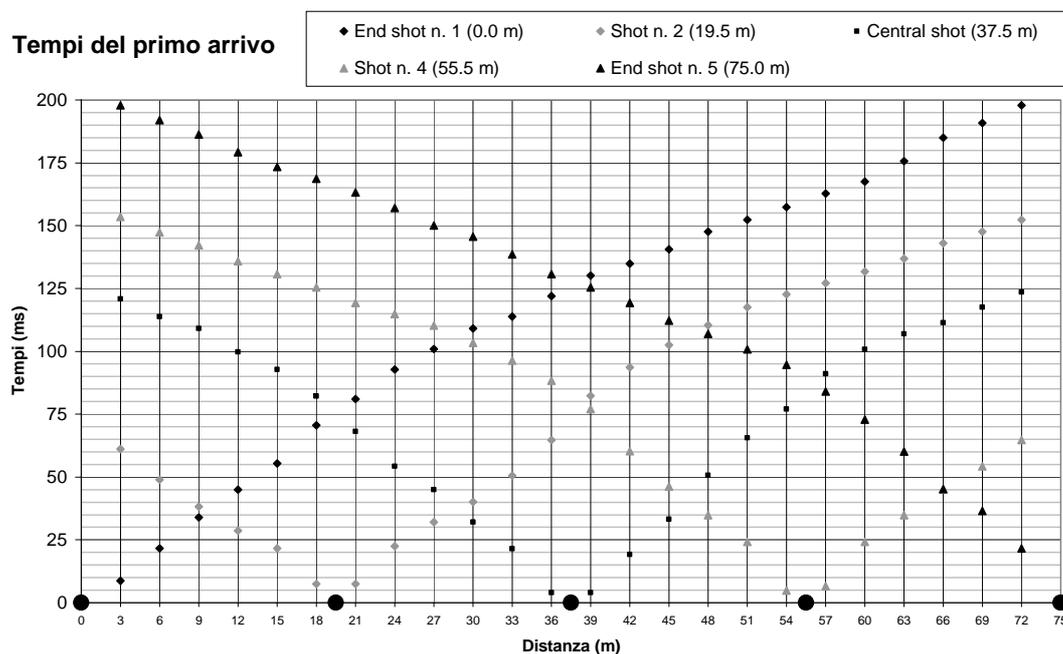
Per l'individuazione del primo arrivo dell'onda SH si è operato tramite inversione di polarità, energizzando la sorgente SH sia con polarizzazione diretta (S+) sia con polarizzazione inversa (S-), in modo da valutare con precisione il primo arrivo dell'onda di taglio, depurandolo dall'eventuale influenza dell'arrivo di onde longitudinali più veloci; queste ultime possono essere più o meno evidenti a seconda dell'efficienza della sorgente SH, in quanto legata, oltre che alla distanza dalla sorgente, anche all'aliquota energetica assegnata alle onde di compressione durante l'energizzazione della sorgente stessa.

Di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo di primo arrivo individuato su ciascun ricevitore per ciascun punto di scoppio:

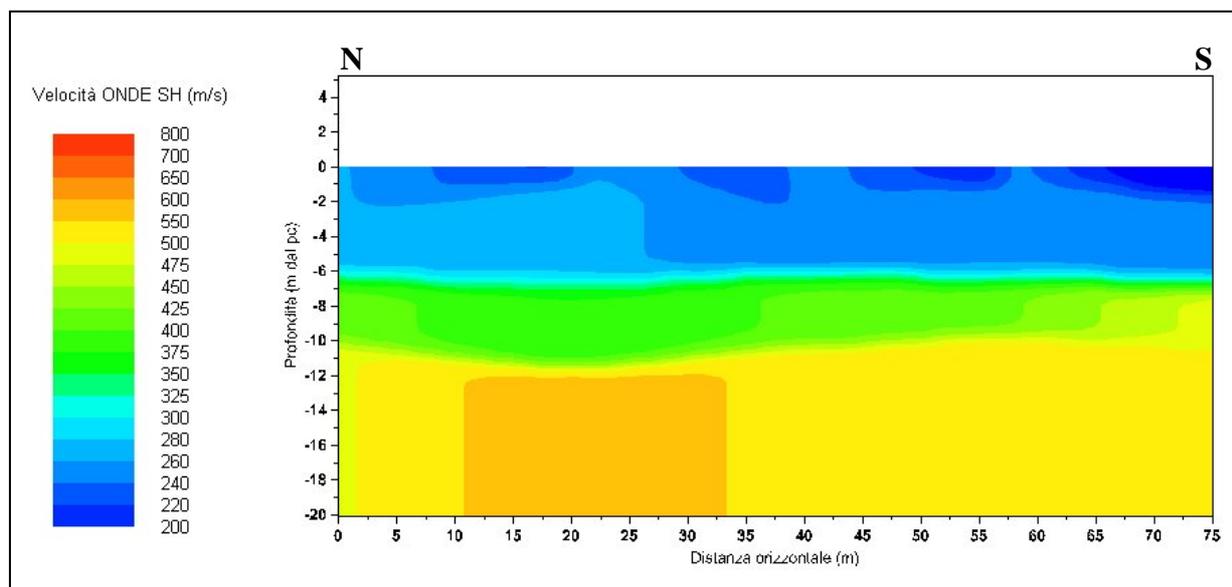
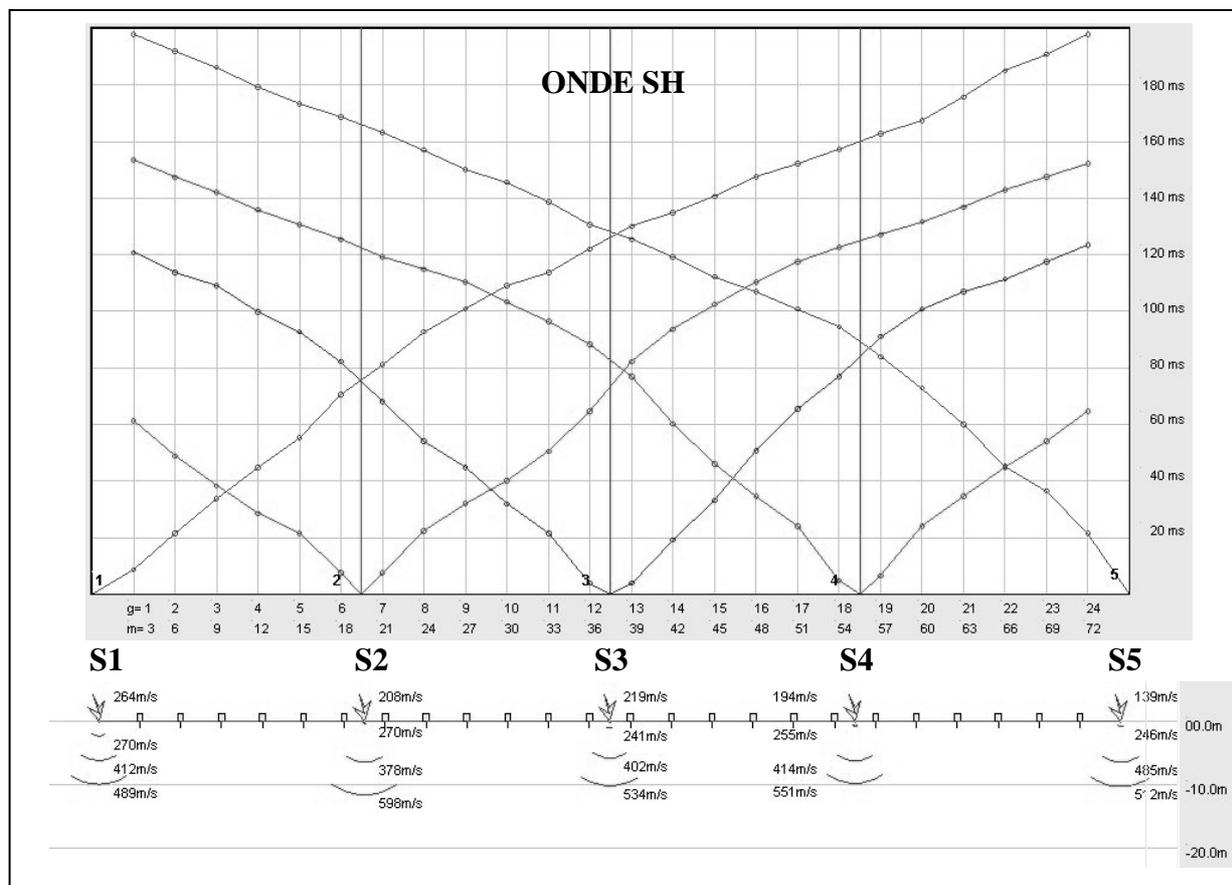
<i>N° shot</i>			<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Distanza relativa (m)</i>			0.0	19.5	37.5	55.5	75.0
<i>Quota relativa (m)</i>			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Geofono</i>	<i>Distanza relativa (m)</i>	<i>Quota relativa (m)</i>	<i>Tempi del primo arrivo per ciascun shot (ms)</i>				
			<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>1</i>	3.0	0.0	8.7	61.2	120.8	153.5	197.9
<i>2</i>	6.0	0.0	21.6	48.9	113.8	147.4	192.0
<i>3</i>	9.0	0.0	33.9	38.3	109.1	142.1	186.2
<i>4</i>	12.0	0.0	44.9	28.6	99.8	135.9	179.2
<i>5</i>	15.0	0.0	55.4	21.6	92.8	130.7	173.3
<i>6</i>	18.0	0.0	70.6	7.5	82.2	125.4	168.7
<i>7</i>	21.0	0.0	81.1	7.5	68.2	119.2	163.2
<i>8</i>	24.0	0.0	92.8	22.5	54.2	114.8	157.0
<i>9</i>	27.0	0.0	100.9	32.1	44.9	110.3	150.0
<i>10</i>	30.0	0.0	109.1	40.1	32.0	103.3	145.6
<i>11</i>	33.0	0.0	113.8	50.6	21.5	96.4	138.6
<i>12</i>	36.0	0.0	122.0	64.7	4.0	88.4	130.7
<i>13</i>	39.0	0.0	130.1	82.3	4.0	77.0	125.4
<i>14</i>	42.0	0.0	134.8	93.7	19.2	60.3	119.2
<i>15</i>	45.0	0.0	140.6	102.5	33.2	46.2	112.2
<i>16</i>	48.0	0.0	147.6	110.4	50.7	34.8	106.9
<i>17</i>	51.0	0.0	152.3	117.5	65.6	24.2	100.8
<i>18</i>	54.0	0.0	157.3	122.7	77.0	4.9	94.6
<i>19</i>	57.0	0.0	162.8	127.1	91.1	6.6	84.0
<i>20</i>	60.0	0.0	167.5	131.7	100.8	24.2	72.9
<i>21</i>	63.0	0.0	175.7	136.8	106.9	34.8	60.1
<i>22</i>	66.0	0.0	185.0	143.0	111.4	44.9	45.3
<i>23</i>	69.0	0.0	190.9	147.6	117.5	54.2	36.5
<i>24</i>	72.0	0.0	197.9	152.3	123.6	64.7	21.6

“\_” indica che la traccia sismica ha un rapporto S/N troppo basso per fornire informazioni sufficientemente attendibili

Nel grafico distanza-tempo sono riportati i tempi del primo arrivo da cui si individuano le dromocrone e tramite linearizzazione si individuano i principali rifrattori al di sotto di ciascun shot:



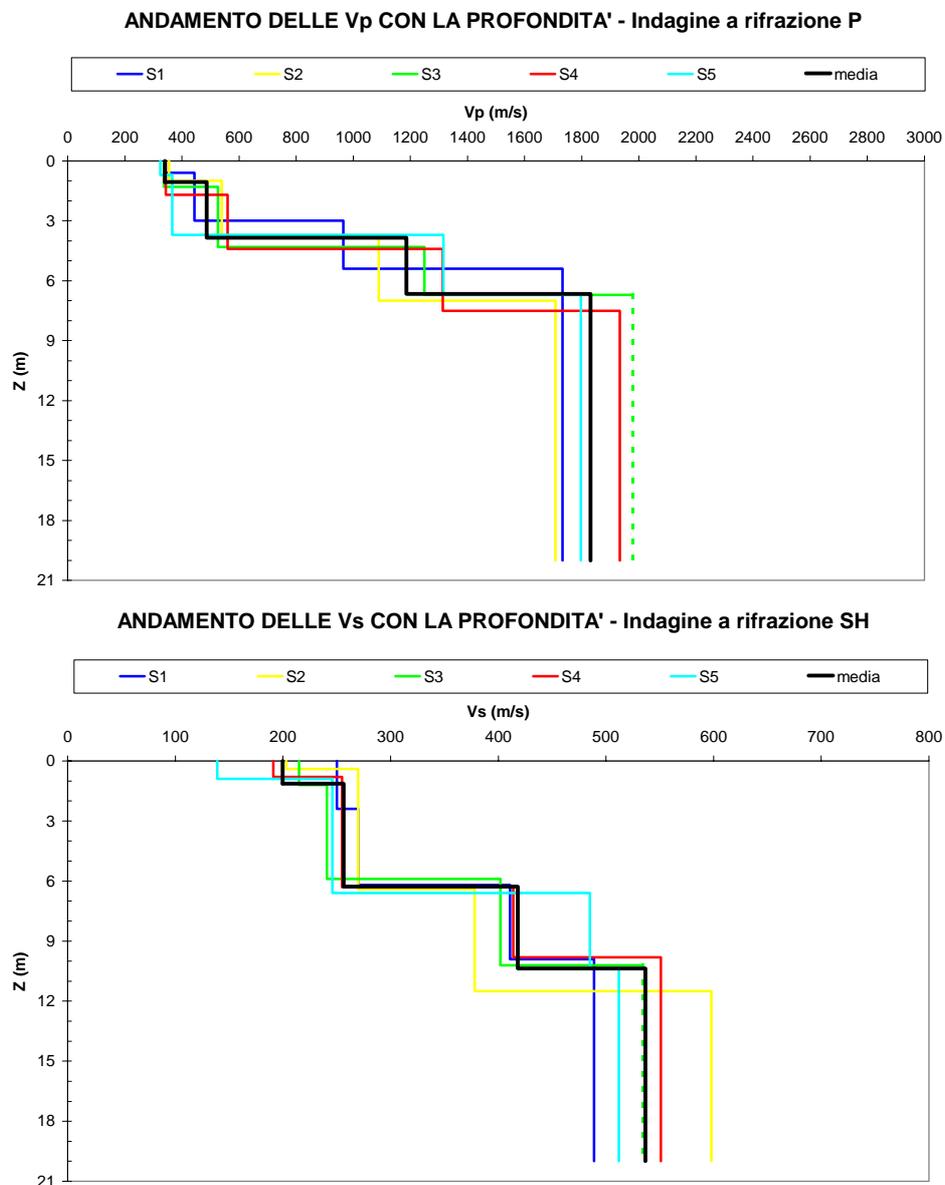
Di seguito si riporta lo schema interpretativo ottenuto scegliendo un modello a 4 strati ed applicando il metodo di interpretazione con il tempo di intercetta, computando la profondità dei rifrattori in corrispondenza dei soli punti di scoppio (griglia shot point):



Si evidenziano pertanto 3 rifrattori principali:

- uno posto alla profondità variabile da 0.5 a 2.5 m da pc che separa il sismostrato superficiale con valori di  $V_S$  compresi tra 140 e 250 m/s da quello sottostante con valori di  $V_S$  compresi tra 250 e 270 m/s;
- uno posto alla profondità variabile da 6.0 a 7.0 m da pc, che separa il secondo sismostrato dal terzo sismostrato con valori di  $V_S$  compresi tra 380 e 480 m/s;
- uno posto alla profondità variabile da 10.0 a 11.5 m da pc che separa il terzo sismostrato dal quarto sismostrato con valori di  $V_S$  compresi tra 500 e 600 m/s.

Di seguito si riportano i profili sperimentali di velocità ( $V_P$  e  $V_{SH}$ ) con la profondità, ottenuti dall'indagine di sismica a rifrazione:

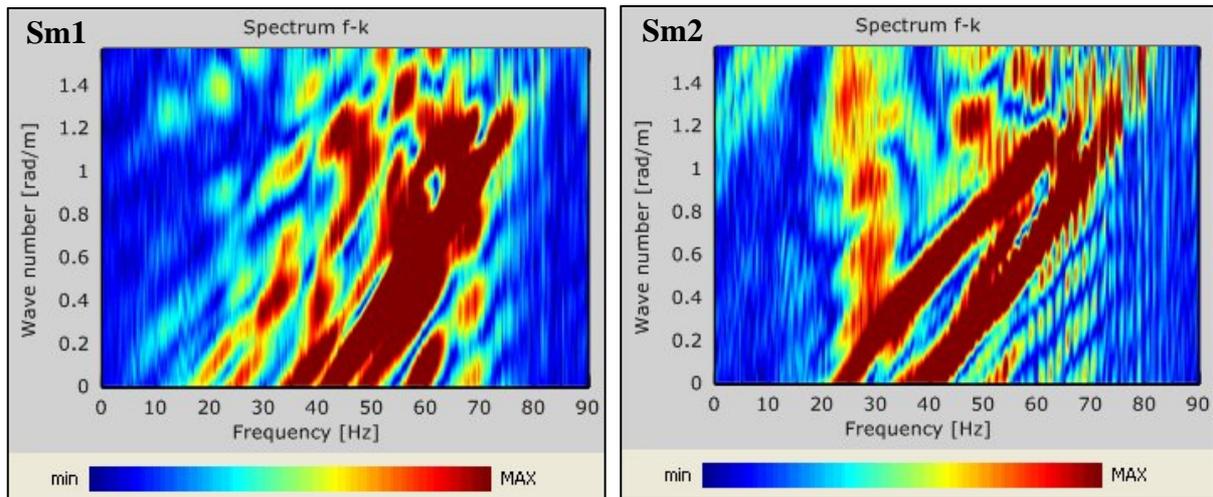


### 3.1.3. Acquisizione ed analisi onde superficiali (Onde di Rayleigh)

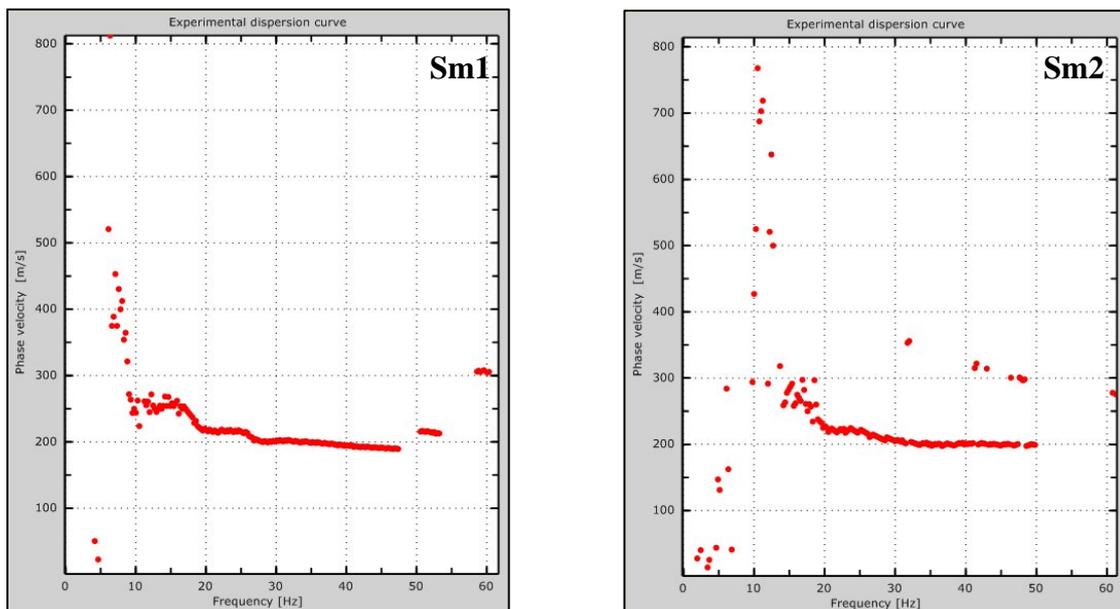
Durante la fase di acquisizione sono stati eseguiti diversi shots coniugati, al fine di valutare la stabilità della curva di dispersione sperimentale apparente, necessaria per verificare l'assenza di eccessive variazioni laterali e fondamentale prima di elaborare un modello di rigidezza 1D rappresentativo della risposta del sito.

Per ciascuna acquisizione si è proceduto alla valutazione di coerenza del segnale su ciascun ricevitore per determinare la minima frequenza affidabile, a cui è legata la massima profondità di indagine.

Di seguito si riportano alcune acquisizioni in termini di spettro fk:

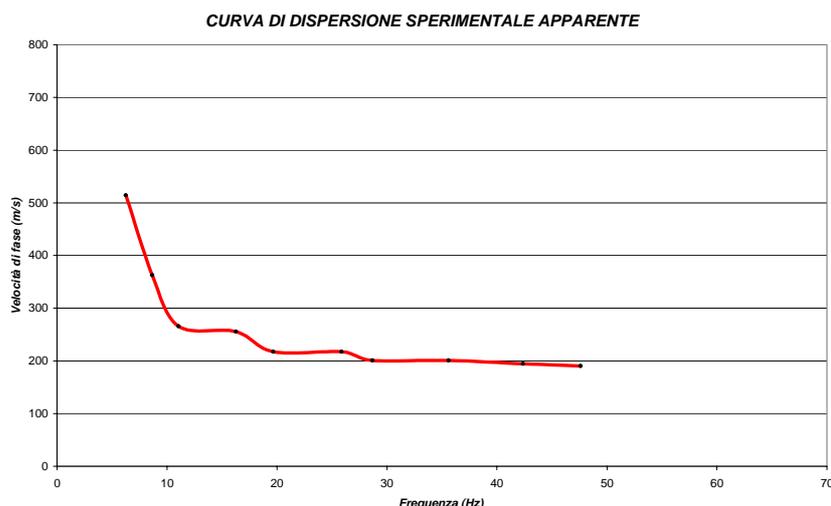


Di seguito si riporta la rappresentazione nel piano frequenza-velocità di fase dei picchi massimi relativi dello spettro fk:



L'elaborazione è stata condotta sulla curva di dispersione sperimentale acquisita all'estremità Sm1, in quanto meglio definita alla basse frequenze.

Di seguito si riporta la curva di dispersione sperimentale rappresentativa del sito:



### 3.2. SITO n. 2 - Terme

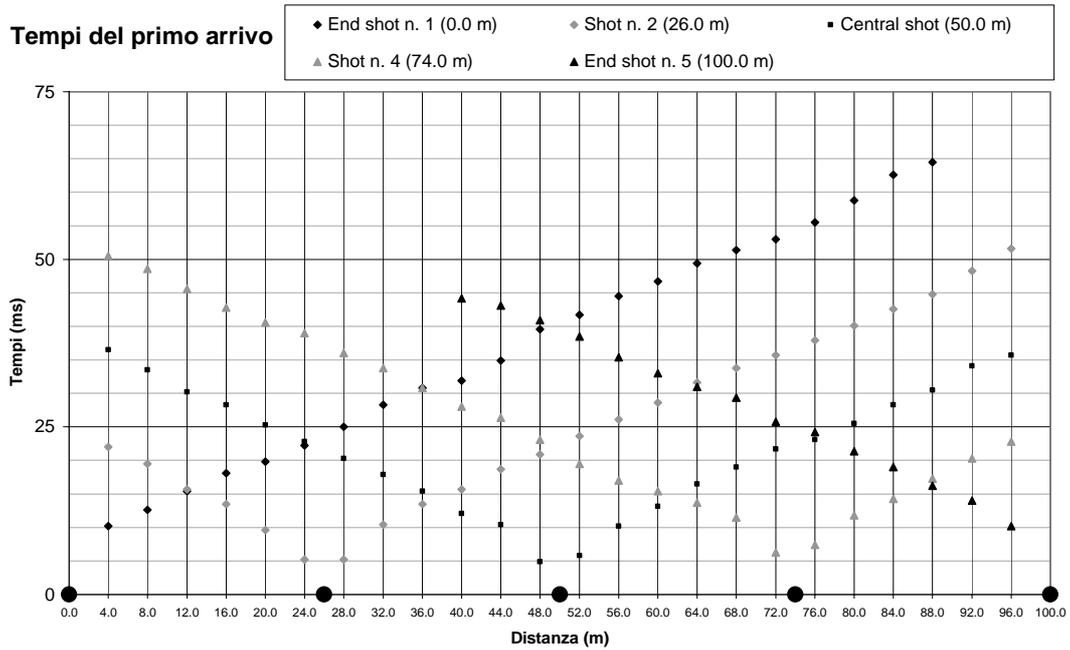
#### 3.2.1. Acquisizione ed analisi onde P

In allegato n. 4 si riporta il sismogramma multishot acquisito e trattato; di seguito si riportano i parametri di configurazione dello stendimento e il tempo di primo arrivo individuato su ciascun ricevitore per ciascun punto di scoppio:

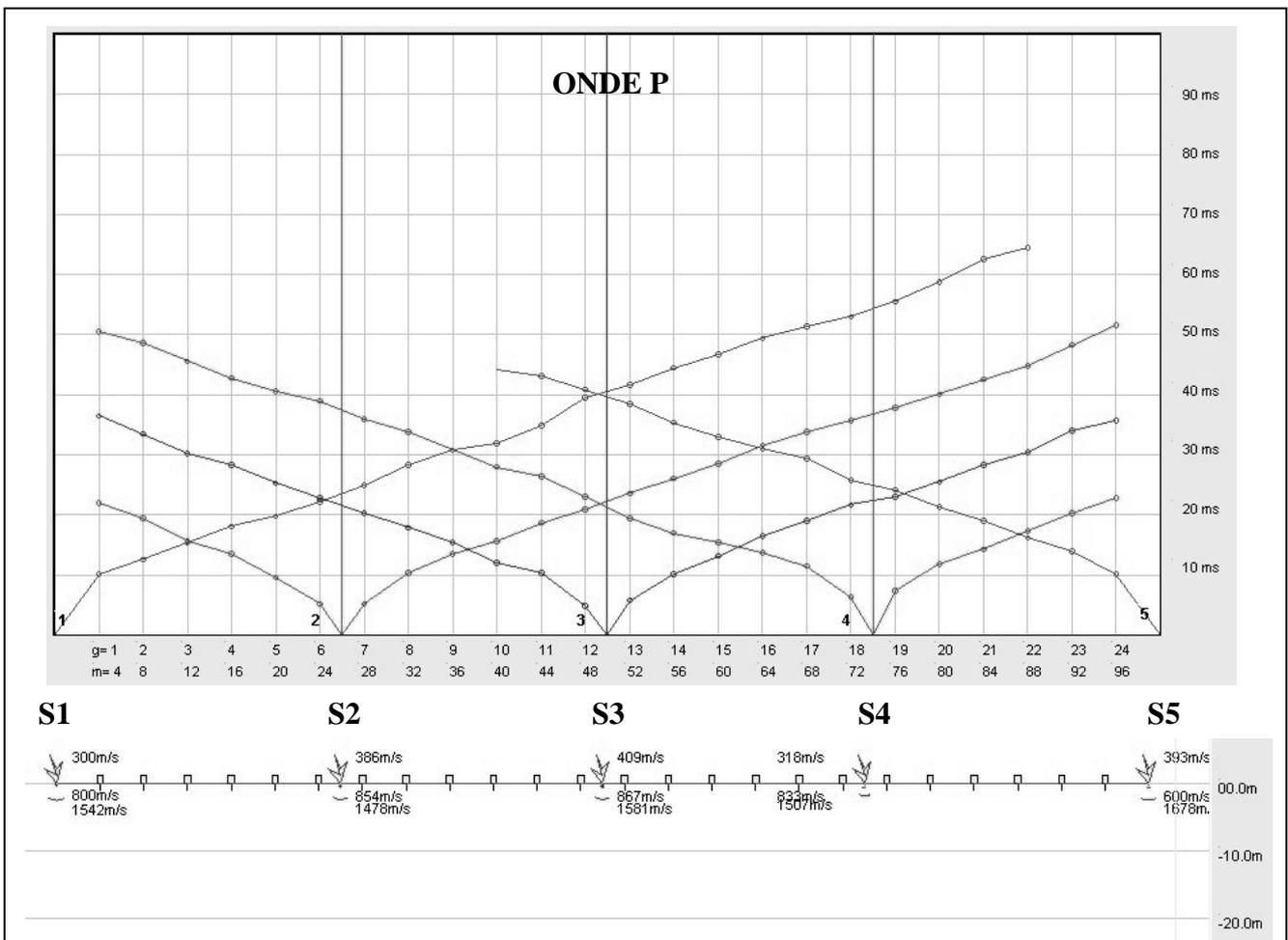
<i>N° shot</i>			<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Distanza relativa (m)</i>			0.0	26.0	50.0	74.0	100.0
<i>Quota relativa (m)</i>			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Geofono</i>	<i>Distanza relativa (m)</i>	<i>Quota relativa (m)</i>	<i>Tempi del primo arrivo per ciascun shot (ms)</i>				
			<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>1</i>	4.0	0.0	10.2	22.0	36.5	50.5	-
<i>2</i>	8.0	0.0	12.6	19.5	33.5	48.6	-
<i>3</i>	12.0	0.0	15.4	15.7	30.2	45.6	-
<i>4</i>	16.0	0.0	18.1	13.5	28.3	42.8	-
<i>5</i>	20.0	0.0	19.8	9.6	25.3	40.6	-
<i>6</i>	24.0	0.0	22.2	5.2	22.8	39.0	-
<i>7</i>	28.0	0.0	25.0	5.2	20.3	36.0	-
<i>8</i>	32.0	0.0	28.3	10.4	17.9	33.8	-
<i>9</i>	36.0	0.0	30.8	13.5	15.4	30.8	-
<i>10</i>	40.0	0.0	31.9	15.7	12.1	28.0	44.2
<i>11</i>	44.0	0.0	34.9	18.7	10.4	26.4	43.1
<i>12</i>	48.0	0.0	39.6	20.9	4.9	23.1	40.9
<i>13</i>	52.0	0.0	41.7	23.6	5.8	19.5	38.5
<i>14</i>	56.0	0.0	44.5	26.1	10.2	17.0	35.4
<i>15</i>	60.0	0.0	46.7	28.6	13.2	15.4	33.0
<i>16</i>	64.0	0.0	49.4	31.6	16.5	13.7	31.0
<i>17</i>	68.0	0.0	51.4	33.8	19.0	11.5	29.4
<i>18</i>	72.0	0.0	53.0	35.7	21.7	6.3	25.8
<i>19</i>	76.0	0.0	55.5	37.9	23.1	7.4	24.2
<i>20</i>	80.0	0.0	58.8	40.1	25.5	11.8	21.4
<i>21</i>	84.0	0.0	62.6	42.6	28.3	14.3	19.0
<i>22</i>	88.0	0.0	64.5	44.8	30.5	17.3	16.2
<i>23</i>	92.0	0.0	-	48.3	34.1	20.3	14.0
<i>24</i>	96.0	0.0	-	51.6	35.7	22.8	10.2

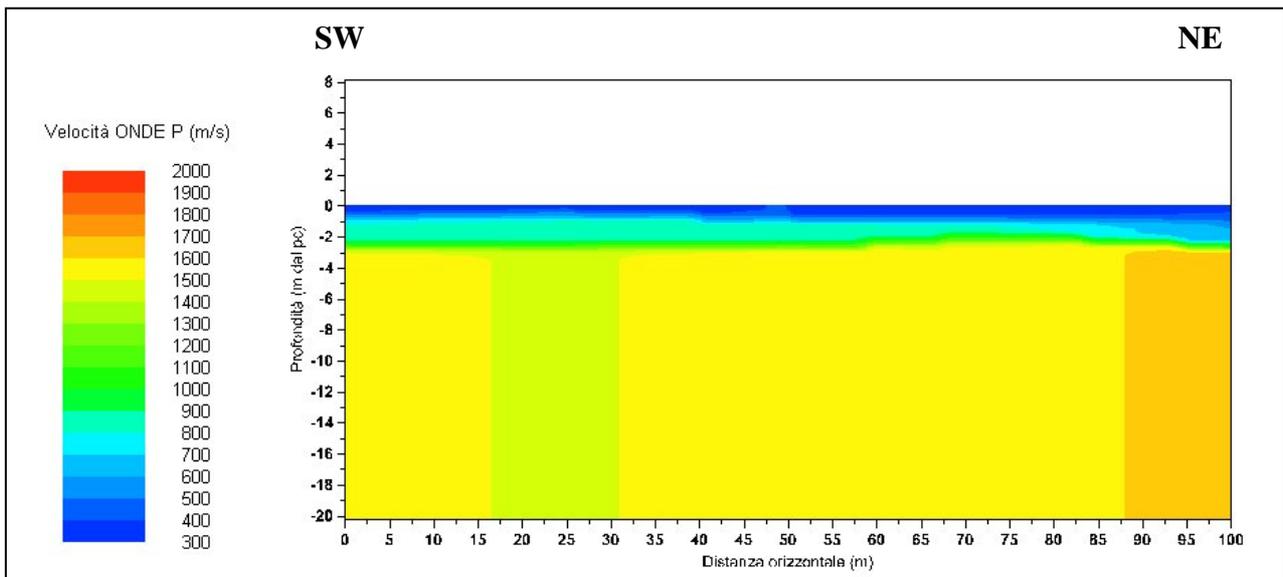
“-” indica che la traccia sismica ha un rapporto S/N troppo basso per fornire informazioni sufficientemente attendibili

Nel grafico distanza-tempo sono riportati i tempi del primo arrivo da cui si individuano le dromocrone e tramite linearizzazione si individuano i principali rifrattori al di sotto di ciascun shot:



Di seguito si riporta la sezione geofisica interpretativa ottenuta scegliendo un modello interpretativo a 3 strati ed applicando il metodo di interpretazione con il tempo di intercetta, computando la profondità dei rifrattori in corrispondenza dei soli punti di scoppio (griglia shot-point):





Si evidenziano pertanto 2 rifrattori principali:

- uno posto alla profondità variabile da 0.5-1.0 m da pc che separa il sismostrato superficiale caratterizzato da valori di  $V_P$  compresi tra 300 e 390 m/s da quello sottostante con  $V_P$  compresi tra 600 e 870 m/s;
- uno posto alla profondità variabile da 1.0 a 2.0 m da pc, che separa il secondo sismostrato dal terzo sismostrato caratterizzato da valori di  $V_P$  compresi tra 1480 e 1680 m/s.

### 3.2.2. Acquisizione ed analisi onde SH

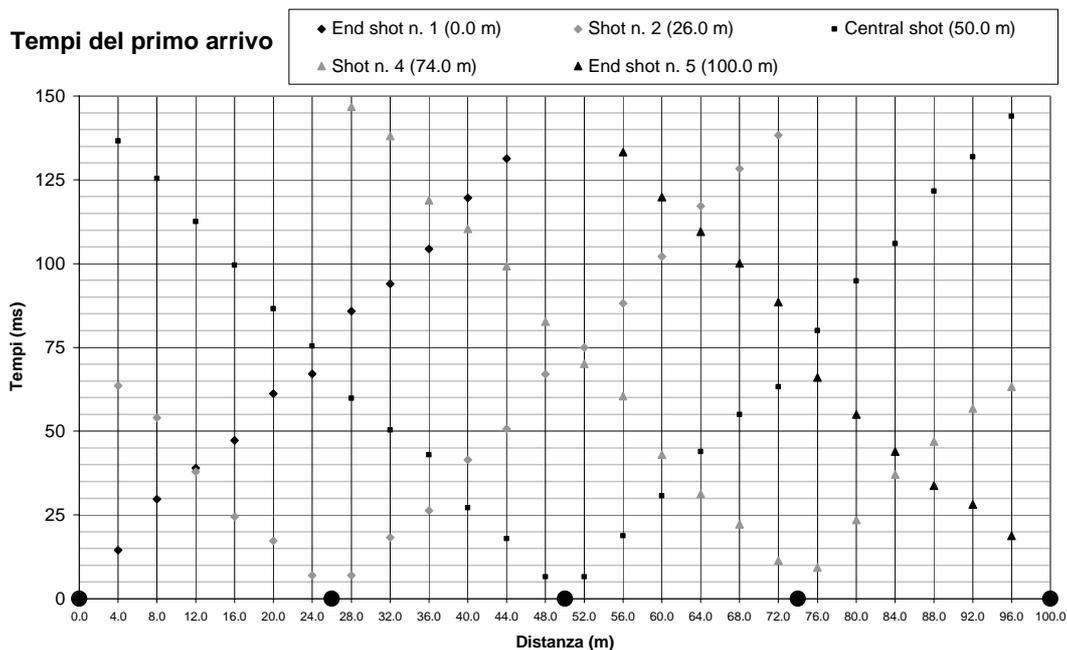
In allegato n. 5 si riporta il sismogramma multishot acquisito, da cui tramite amplificazione ed equalizzazione delle tracce si è estratto il sismogramma elaborato da sottoporre ad eventuali procedure di filtraggio digitale multiplo con filtro taglia alto, taglia basso e passa banda.

Per l'individuazione del primo arrivo dell'onda SH si è operato tramite inversione di polarità, energizzando la sorgente SH sia con polarizzazione diretta (S+) sia con polarizzazione inversa (S-), in modo da valutare con precisione il primo arrivo dell'onda di taglio, depurandolo dall'eventuale influenza dell'arrivo di onde longitudinali più veloci; queste ultime possono essere più o meno evidenti a seconda dell'efficienza della sorgente SH, in quanto legata, oltre che alla distanza dalla sorgente, anche all'aliquota energetica assegnata alle onde di compressione durante l'energizzazione della sorgente stessa.

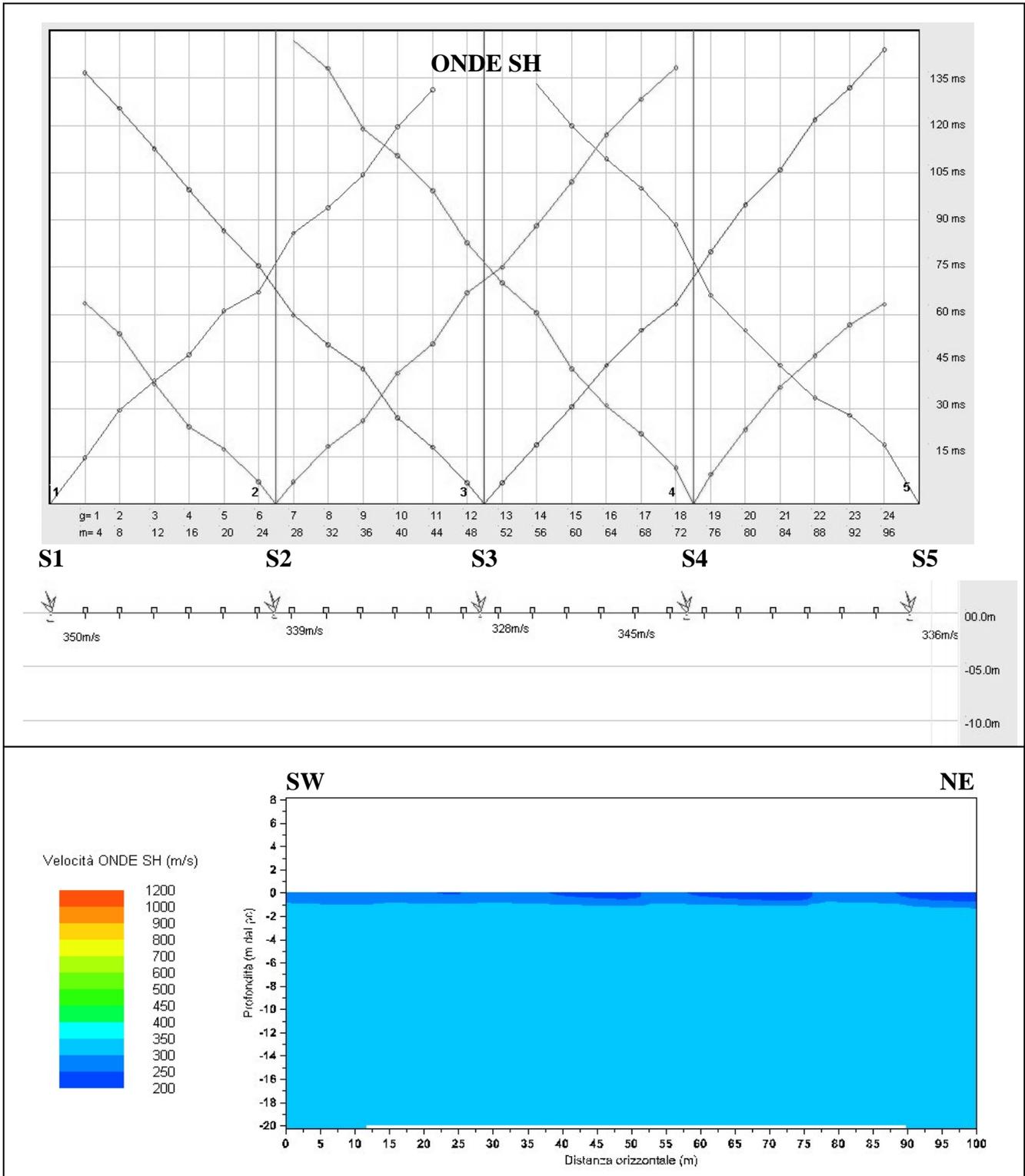
N° shot			1	2	3	4	5
Distanza relativa (m)			0.0	26.0	50.0	74.0	100.0
Quota relativa (m)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Geofono	Distanza relativa (m)	Quota relativa (m)	Tempi del primo arrivo per ciascun shot (ms)				
			1	2	3	4	5
1	4.0	0.0	14.5	63.6	136.6	-	-
2	8.0	0.0	29.7	54	125.4	-	-
3	12.0	0.0	39	37.9	112.5	-	-
4	16.0	0.0	47.2	24.5	99.5	-	-
5	20.0	0.0	61.2	17.3	86.5	-	-
6	24.0	0.0	67.1	7	75.4	-	-
7	28.0	0.0	85.8	7	59.8	146.8	-
8	32.0	0.0	93.9	18.2	50.4	138.1	-
9	36.0	0.0	104.4	26.3	42.9	118.9	-
10	40.0	0.0	119.6	41.4	27.2	110.4	-
11	44.0	0.0	131.3	50.7	17.88	99.2	-
12	48.0	0.0	-	67	6.6	82.7	-
13	52.0	0.0	-	75	6.6	70.1	-
14	56.0	0.0	-	88.1	18.79	60.5	133.2
15	60.0	0.0	-	102.1	30.7	42.9	119.8
16	64.0	0.0	-	117.1	43.9	31.2	109.5
17	68.0	0.0	-	128.3	55	22.2	100.1
18	72.0	0.0	-	138.3	63.29	11.39	88.5
19	76.0	0.0	-	-	80	9.3	66.08
20	80.0	0.0	-	-	94.8	23.5	55
21	84.0	0.0	-	-	106	37	43.9
22	88.0	0.0	-	-	121.69	46.9	33.7
23	92.0	0.0	-	-	131.88	56.79	28.1
24	96.0	0.0	-	-	144	63.29	18.79

“-“ indica che la traccia sismica ha un rapporto S/N troppo basso per fornire informazioni sufficientemente attendibili

Nel grafico distanza-tempo sono riportati i tempi del primo arrivo da cui si individuano le dromocrone e tramite linearizzazione si individuano i principali rifrattori al di sotto di ciascun shot:

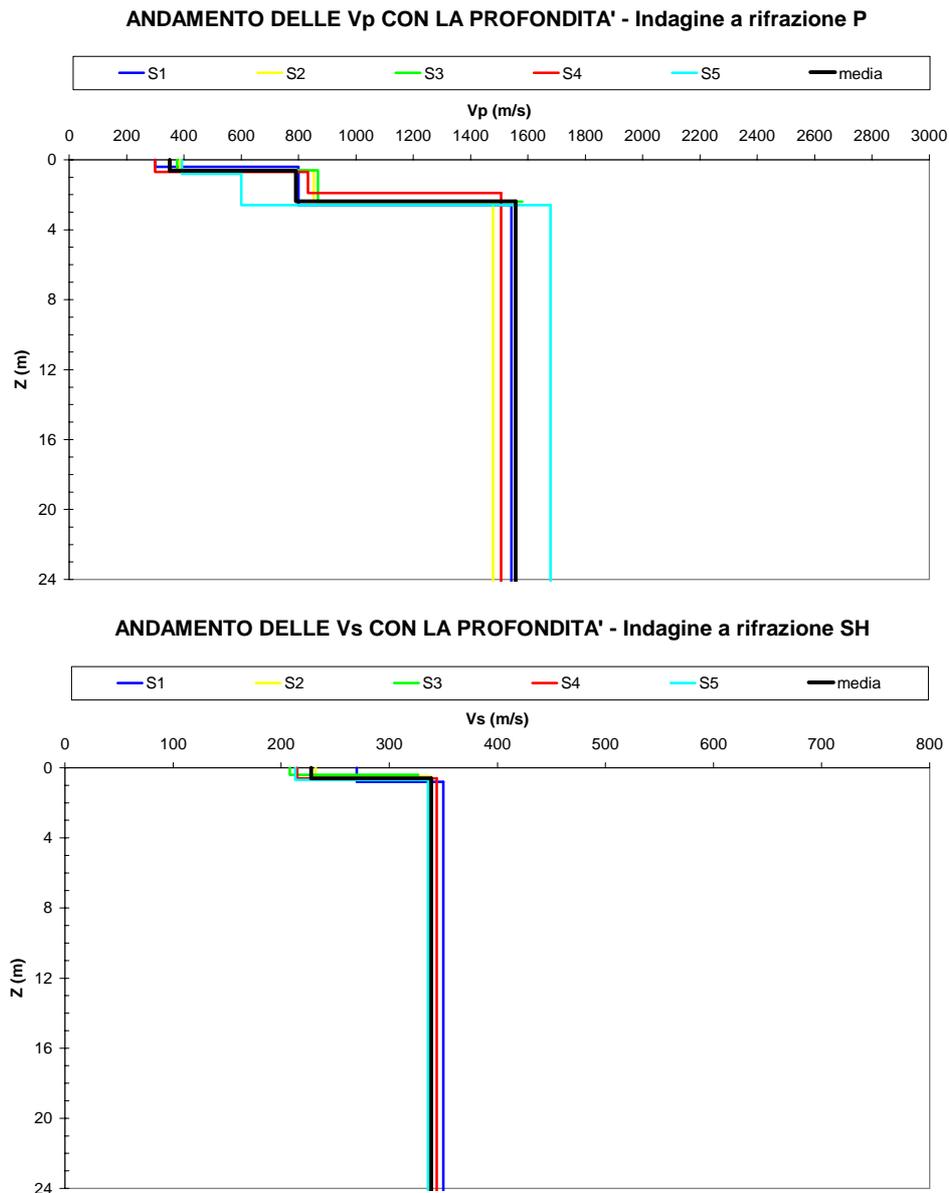


Di seguito si riporta lo schema interpretativo ottenuto scegliendo un modello a 2 strati ed applicando il metodo di interpretazione con il tempo di intercetta, computando la profondità dei rifrattori in corrispondenza dei soli punti di scoppio (griglia shot point):



Si evidenzia pertanto 1 unico rifrattore principale posto alla profondità variabile da 0.5 a 1.0 m da pc che separa il sismostrato superficiale con valori di  $V_S$  compresi tra 200 e 270 m/s da quello sottostante con valori di  $V_S$  compresi tra 320 e 350 m/s.

Di seguito si riportano i profili sperimentali di velocità ( $V_P$  e  $V_{SH}$ ) con la profondità, ottenuti dall'indagine di sismica a rifrazione:

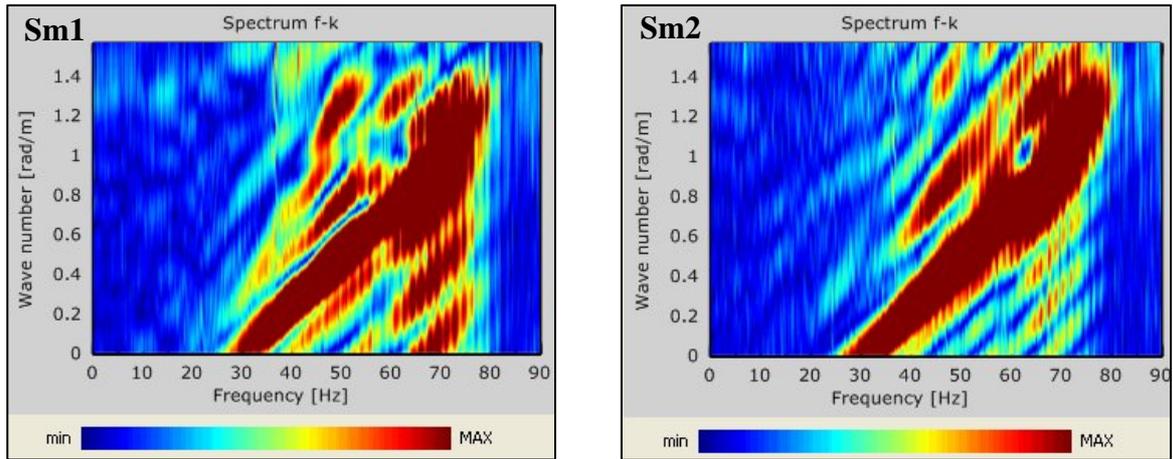


### 3.2.3. Acquisizione ed analisi onde superficiali (Onde di Rayleigh)

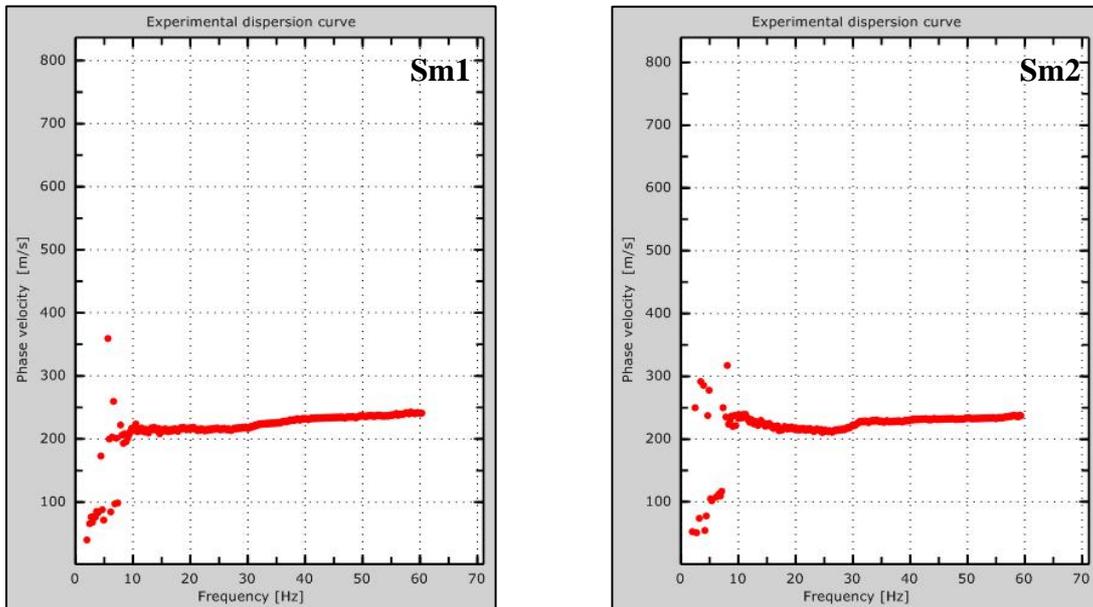
Durante la fase di acquisizione sono stati eseguiti diversi shots coniugati, al fine di valutare la stabilità della curva di dispersione sperimentale apparente, necessaria per verificare l'assenza di eccessive variazioni laterali e fondamentale prima di elaborare un modello di rigidità 1D rappresentativo della risposta del sito.

Per ciascuna acquisizione si è proceduto alla valutazione di coerenza del segnale su ciascun ricevitore per determinare la minima frequenza affidabile, a cui è legata la massima profondità di indagine.

Di seguito si riportano alcune acquisizioni in termini di spettro fk:

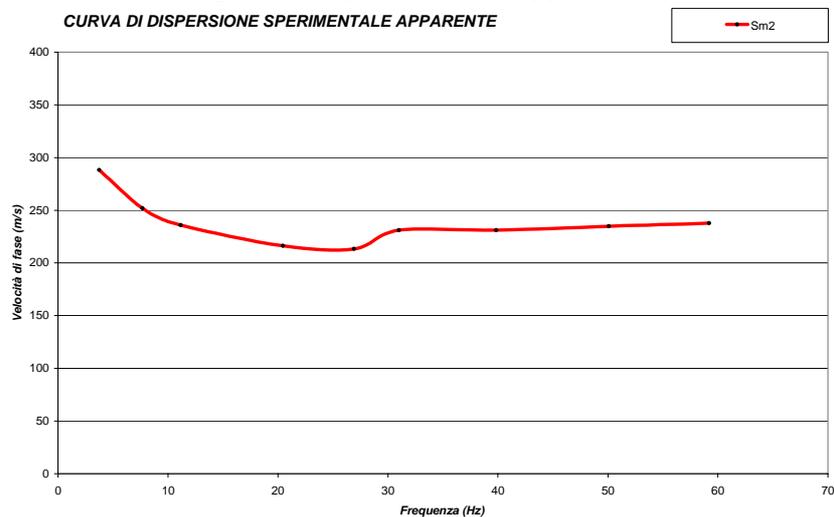


Di seguito si riporta la rappresentazione nel piano frequenza-velocità di fase dei picchi massimi relativi dello spettro fk:



L'elaborazione è stata condotta sulla curva di dispersione sperimentale acquisita all'estremità Sm2, in quanto meglio definita alla basse frequenze.

Di seguito si riporta la curva di dispersione sperimentale rappresentativa del sito:



#### 4. Modelli geofisici sismici interpretativi

Le sezioni sismiche ottenute dall'interpretazione (sismica a rifrazione) dei segnali acquisiti (rappresentati tramite tecnica di campitura cromatica) permettono di individuare le principali unità geofisiche costituenti il modello geofisico dell'area d'indagine.

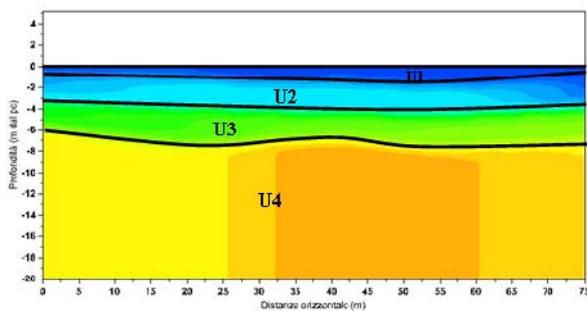
Si ricorda che qualunque tecnica di geofisica applicata ha un margine di errore intrinseco variabile in funzione del tipo di tecnica usata, di strumentazione adottata e di problematiche incontrate durante l'indagine e che solo l'operatore è in grado di quantificare in modo ottimale: nel caso in esame la risoluzione del metodo non permette precisioni in termini di spessore inferiori al metro e i valori di velocità  $V_P$  e  $V_S$  sono da intendere come velocità medie all'interno di ciascuna unità geofisica individuata.

Si è proceduto all'interpretazione geofisica:

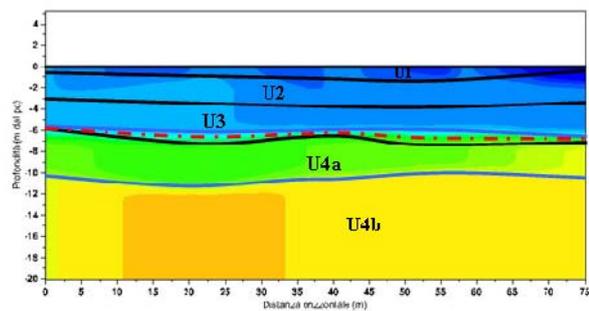
- individuando preliminarmente le unità geofisiche omogenee dal punto di vista delle onde P ( $V_P$ );
- sovrapponendo i limiti individuati sulle sezioni sismiche S, modificandoli ed integrandoli coerentemente con i valori di  $V_S$  e in rapporto con i valori di  $V_P$ , tenendo in considerazione i margini di errore dell'indagine.

Di seguito si riportano per i due siti di analisi le interpretazioni incrociate tra sezioni sismiche P e sezioni sismiche SH:

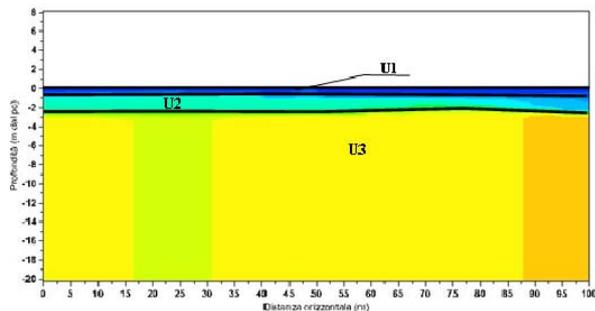
**ST1 – ONDE P**



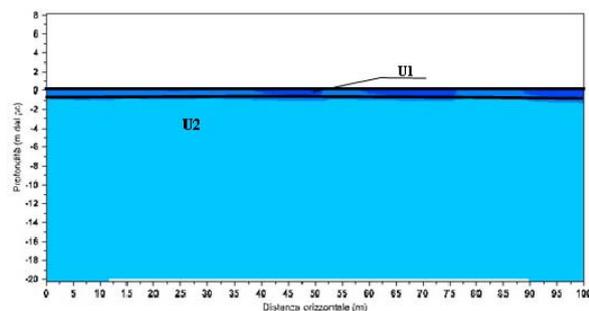
**ST1 – ONDE SH**



**ST2 – ONDE P**



**ST2 – ONDE SH**



Ciascuna unità geofisica così individuata è da intendersi costituita da materiale continuo, isotropo ed elastico, le cui proprietà elastiche variano verticalmente in modo lineare da un valore minimo ad un valore massimo definito dall'intervallo di valori ad essa associati: a ciascuna unità è possibile assegnare un unico valore di  $V_P$  e  $V_S$  pari al valore medio dell'intervallo assegnato, mentre a tutto il modello è possibile associare uno o più gradienti di  $V_P$  e  $V_S$  con la profondità, in funzione delle variabilità laterali.

Di seguito sono riportati in forma tabellare i valori sperimentali acquisiti:

<b>VALORI SPERIMENTALI – ST1 Campo da calcio</b>					
Distanza orizzontale lungo lo stendimento (m)	Valori sperimentali di $V_P$ (m/s) per ogni unità geofisica				
	U1	U2	U3	U4a-U4b	
S1 - Estremo N (0.0)	340	444	966	1733	
S2 - 19.5	355	540	1089	1708	
S3 - 37.5	337	526	1249	1980	
S4 - 55.5	344	560	1314	1933	
S5 - Estremo S (75.0)	325	366	1316	1797	
<b>MEDIE</b>	<b>340</b>	<b>487</b>	<b>1187</b>	<b>1830</b>	
Distanza orizzontale lungo lo stendimento (m)	Valori sperimentali di $V_S$ (m/s) per ogni unità geofisica				
	U1	U2-U3	U4a	U4b	
S1 - Estremo N (0.0)	250	270	411	489	
S2 - 19.5	203	270	378	598	
S3 - 37.5	215	241	402	534	
S4 - 55.5	191	255	414	551	
S5 - Estremo S (75.0)	139	246	485	512	
<b>MEDIE</b>	<b>200</b>	<b>256</b>	<b>418</b>	<b>537</b>	
Distanza orizzontale lungo lo stendimento (m)	Valori medi dello spessore (m) per ogni unità geofisica				Prof. U4a-U4b (m da pc)
	U1	U2	U3	U4a	
S1 - Estremo N (0.0)	0.6	2.4	2.8	4.1	9.9
S2 - 19.5	1.0	2.8	2.9	4.8	11.5
S3 - 37.5	1.3	3.0	2.0	3.9	10.2
S4 - 55.5	1.7	2.7	2.5	2.9	9.8
S5 - Estremo S (75.0)	0.7	3.0	3.0	3.8	10.5

<b>VALORI SPERIMENTALI – ST2 Terme</b>			
Distanza orizzontale lungo lo stendimento (m)	Valori sperimentali di $V_P$ (m/s) per ogni unità geofisica		
	U1	U2	U3
S1 - Estremo N (0.0)	300	800	1542
S2 - 26.0	385	853	1478
S3 - 50.0	376	867	1580
S4 - 74.0	300	833	1506
S5 - Estremo S (100.0)	393	600	1678
<b>MEDIE</b>	<b>351</b>	<b>791</b>	<b>1557</b>

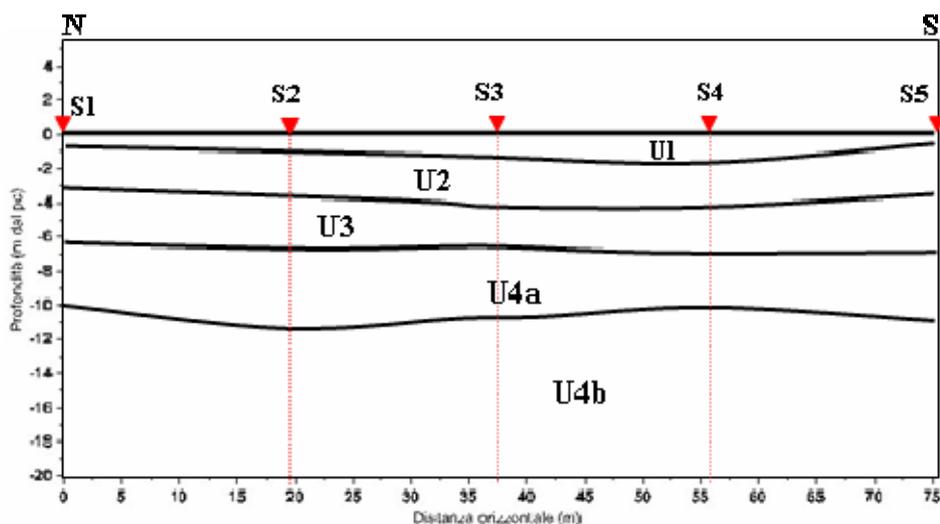
<b>VALORI SPERIMENTALI – ST2 Terme</b>			
<i>Distanza orizzontale lungo lo stendimento (m)</i>	<i>Valori sperimentali di <math>V_S</math> (m/s) per ogni unità geofisica</i>		
	U1	U2	U3
S1 - Estremo N (0.0)	270	350	-
S2 – 26.0	232	338	-
S3 – 50.0	208	327	-
S4 – 74.0	215	344	-
S5 - Estremo S (100.0)	213	336	-
<b>MEDIE</b>	<b>228</b>	<b>339</b>	-
<i>Distanza orizzontale lungo lo stendimento (m)</i>	<i>Valori medi spessore (m)</i>	<i>Prof. U1-U2 (m da pc)</i>	-
	U1		-
S1 - Estremo N (0.0)	0.8	0.8	-
S2 – 26.0	0.5	0.5	-
S3 – 50.0	0.4	0.4	-
S4 – 74.0	0.6	0.6	-
S5 - Estremo S (100.0)	0.7	0.7	-

Dai dati sopra riportati è stato ricostruito il modello geofisico sismico di ciascuna area, distinguendo le diverse unità geofisiche, a cui si associano intervalli di valori di  $V_P$  e  $V_S$  e dei relativi parametri elastici. Assegnando per ciascuna unità sismica individuata un intervallo di valore del peso di volume ricavato da dati di letteratura, ipotizzando pesi di volume gradualmente crescenti alle unità più profonde, è stato possibile calcolarne i principali parametri elastici.

*Le scelte interpretative sono volte nella direzione della maggior sicurezza e quindi in occasione di biunivocità sono state preferite condizioni cautelative in termini di spessori e valori di  $V_S$  che portano a situazioni più sfavorevoli dal punto di vista degli effetti sismici di sito.*

Di seguito si riportano per ciascun sito analizzato la sezione sismica interpretativa e la tabella dei parametri elastici di ciascuna unità geofisica, ove sono riportati i valori dei parametri elastici  $G$  (Modulo di taglio),  $E$  (Modulo di Young),  $K$  (Modulo di incompressibilità) e  $\nu$  (coefficiente di Poisson) validi per l'intervallo di densità assegnato e determinati sulla base dei risultati dell'indagine di sismica a rifrazione:

<b>MODELLO GEOFISICO SISMICO – ST1</b>								
Unità	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	$V_P$ (m/s)	$V_S$ (m/s)	$V_P/V_S$	$\nu$	$G$ (MPa)	$E$ (MPa)	$K$ (MPa)
U1	1.83-1.94	320-360	140-250	1.44-2.29	0.10-0.38	36-121	99-250	90-140
U2	1.83-1.94	440-560	250-270	1.76-2.07	0.26-0.35	115-141	289-381	202-419
U3	1.83-1.94	1000-1300	250-270	4.00-4.81	0.46-0.47	115-141	336-417	1682-3085
U4a	1.94-2.04	1700-2000	380-480	4.17-4.47	0.47	280-470	824-1380	5224-7529
U4b	2.04-2.14	1700-2000	500-600	3.33-3.40	0.45	510-771	1481-2236	5212-7535



MODELLO GEOFISICO SISMICO – ST2

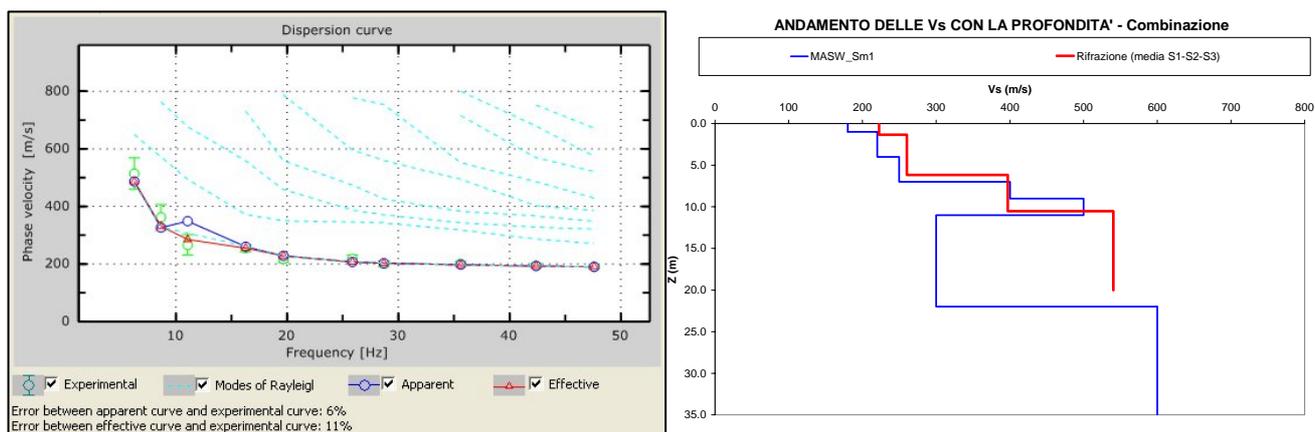
Unità	Densità (g/cm <sup>3</sup> )	V <sub>P</sub> (m/s)	V <sub>S</sub> (m/s)	V <sub>P</sub> /V <sub>S</sub>	ν	G (MPa)	E (MPa)	K (MPa)
U1	1.83-1.94	300-390	200-270	1.44-1.50	< 0.10	73-141	161-294	67-106
U2	1.94-2.04	600-870	320-350	1.88-2.49	0.30-0.40	198-250	516-701	433-1210

Non si è ritenuto utile riportare la sezione sismica interpretativa del sito ST2, in quanto sono state individuate solo le due unità più superficiali presenti nei primi 1-2 m di profondità: la presenza di orizzonti superficiali particolarmente induriti poggianti su depositi più soffici ha impedito l'approfondimento dell'indagine sismica a rifrazione.

*Si ricorda che i valori dei parametri elastici riportati in tabella sono validi per piccolissime deformazioni comprese nel tratto lineare elastico del legame costitutivo dei materiali (deformazioni tangenziali inferiore alla soglia elastica  $\gamma$  indicativamente dell'ordine di  $10^{-2}$ - $10^{-4}$  %).*

Al fine di verificare l'attendibilità dei modelli geofisici sismici sopra predisposti ed in particolare verificare la presenza di eventuali inversioni di velocità con la profondità, sono stati elaborati, tramite tecnica MASW, i seguenti profili di rigidezza medi, in cui i valori assoluti dello spessore e delle velocità di ciascuna unità sono affetti da una certa variabilità legata all'indeterminatezza del problema inverso e al fatto che tale profilo rappresenta una delle tante soluzioni possibili:

- **per l'area ST1** attraverso l'elaborazione è stato possibile individuare il seguente profilo di rigidezza medio:



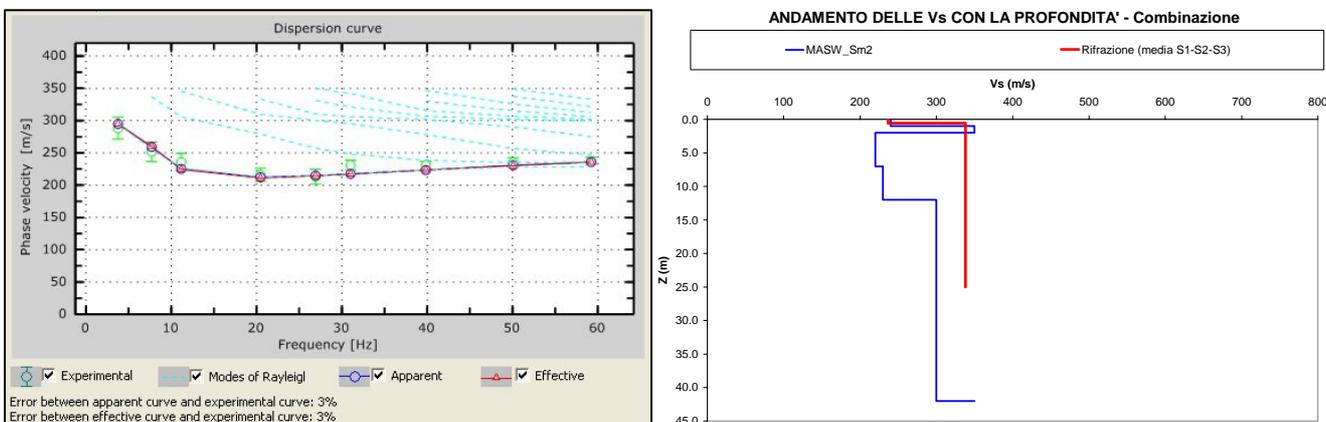
**Profilo medio Vs - Masw**

Unità	Spessore (m)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	V <sub>S</sub> (m/s)	$\nu$	V <sub>P</sub> (m/s)	Fonte del dato
U1	1.0	1.8	180	0.25	311	Dai risultati dell'indagine di sismica a rifrazione e masw
U2	3.0	1.9	220	0.35	458	
U3	3.0	1.9	250	0.47	1050	
U4a	3.0	2.0	400	0.47	1680	
U4b	2.0	2.1	500	0.45	1658	
U5	10.0	2.0	300	0.48	1530	
U6	18.0	2.1	600	0.45	1990	
U7	$\infty$	2.2	800	0.40	1960	

**$V_{s30} = 335 \text{ m/s}$**

Il profilo di rigidezza sopra riportato è coerente con i dati ottenuti con la tecnica della sismica a rifrazione fino alla profondità di circa 10-12 m, oltre la quale la probabile presenza di un orizzonte a più bassa velocità ostacola la penetrazione della prospezione a rifrazione.

- **per l'area ST2** attraverso l'elaborazione è stato possibile individuare il seguente profilo di rigidezza medio:



<b>Profilo medio Vs - Masw</b>						
Unità	Spessore (m)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	V <sub>S</sub> (m/s)	$\nu$	V <sub>P</sub> (m/s)	Fonte del dato
U1	1.0	1.9	240	0.10	360	Indagine masw
U2	1.0	2.0	350	0.40	857	
U3	5.0	1.7	220	0.49	1570	
	5.0	1.9	230	0.49	1640	
U4	30.0	2.0	300	0.48	1530	
	$\infty$	2.2	350	0.47	1470	
<b><math>V_{s30} = 269</math> m/s</b>						

Il profilo di rigidezza sopra riportato è coerente con i dati ottenuti con la tecnica della sismica a rifrazione e conferma la presenza di un'inversione di velocità con la profondità.

Si ricorda che i modelli 1D ottenuti dall'indagine Masw sono da considerarsi indicativi del modello di rigidezza del sottosuolo ed utilizzabili in modo opportuno solo per stime sull'ordine di grandezza del parametro  $V_{s30}$  e per verifiche di compatibilità con dati e conoscenze disponibili in altri siti limitrofi, nell'ambito di operazioni di estrapolazione di dati territoriali ai fini pianificatori.

## 5. Considerazioni finali

Dai modelli geofisici sismici generali sopra riportati e sulla base delle conoscenze stratigrafiche disponibili nelle aree investigate (stratigrafie pozzi per acqua) è possibile assegnare ad ogni unità geofisica sismica un significato litologico:

<b>SITO ST1 – Campo da calcio</b>	
<i>Unità geofisica</i>	<i>Correlazione litologica</i>
U1	riporto granulare (localmente anche addensato) e terreno naturale
U2	argilla con ghiaia e piccoli ciottoli poco consistente
U3	argilla con ghiaia e piccoli ciottoli mediamente consistente
U4a	argilla con ghiaia e piccoli ciottoli consistente
U4b	argilla scura plastica da consistente a molto consistente (probabilmente sovraconsolidata)
U5	argilla chiara sabbiosa da poco a mediamente consistente
U6	argilla sabbiosa con ciottoli e livelli argillosi plastici
U7	substrato rigido costituito da grossi trovanti e ciottoli e lenti di argilla (bedrock sismico)

<b>SITO ST2 – Terme</b>	
<i>Unità geofisica</i>	<i>Correlazione litologica</i>
U1	riporto granulare e terreno naturale
U2	ghiaia mediamente addensata
U3	argilla
U4	argilla con ghiaia ed elementi calcarei

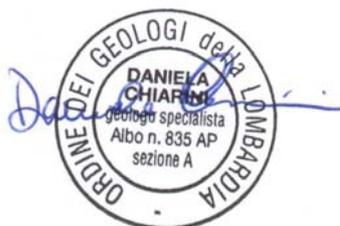
In considerazione delle forti inversioni di velocità con la profondità riscontrate nei due siti investigati non è possibile ritenere correttamente applicabile, al fine della definizione dell'azione sismica progettuale, la procedura semplificata proposta dalla NTC ai sensi del DM 14 gennaio 2008; questa procedura tiene in considerazione i fenomeni di amplificazione stratigrafica attraverso la definizione delle categoria di sottosuolo; in tal senso in riferimento al piano campagna e a condizioni di free field e trascurando la presenza delle inversioni di velocità con la profondità i siti esaminati potrebbero appartenere alla **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C**.

Per l'applicazione della procedura di valutazione dei fenomeni di amplificazione sismica contenuta nell'allegato 5 dei criteri regionali di cui alla D.G.R. 22 dicembre 2005, n. VIII/1566 "Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T., in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 12/2005" ed aggiornati con DGR 28 maggio 2008 n. VIII/7374, si possono utilizzare come valori di Vs quelli mediati nell'intervallo di ciascuna unità geofisica (validi per l'intera area investigata), oppure quelli sperimentali ottenuti direttamente dall'indagine di sismica a rifrazione in corrispondenza di ciascun punto di energizzazione (validi per analisi puntuali sulle 5 verticali di energizzazione di ciascun stendimento sismico) o ottenuti indirettamente dal processo di inversione eseguito sui dati masw.

Dr. Geol. Daniela Chiarini

Dr. Geol. Massimo Compagnoni

Dr. Geol. Alberto Peruzzini

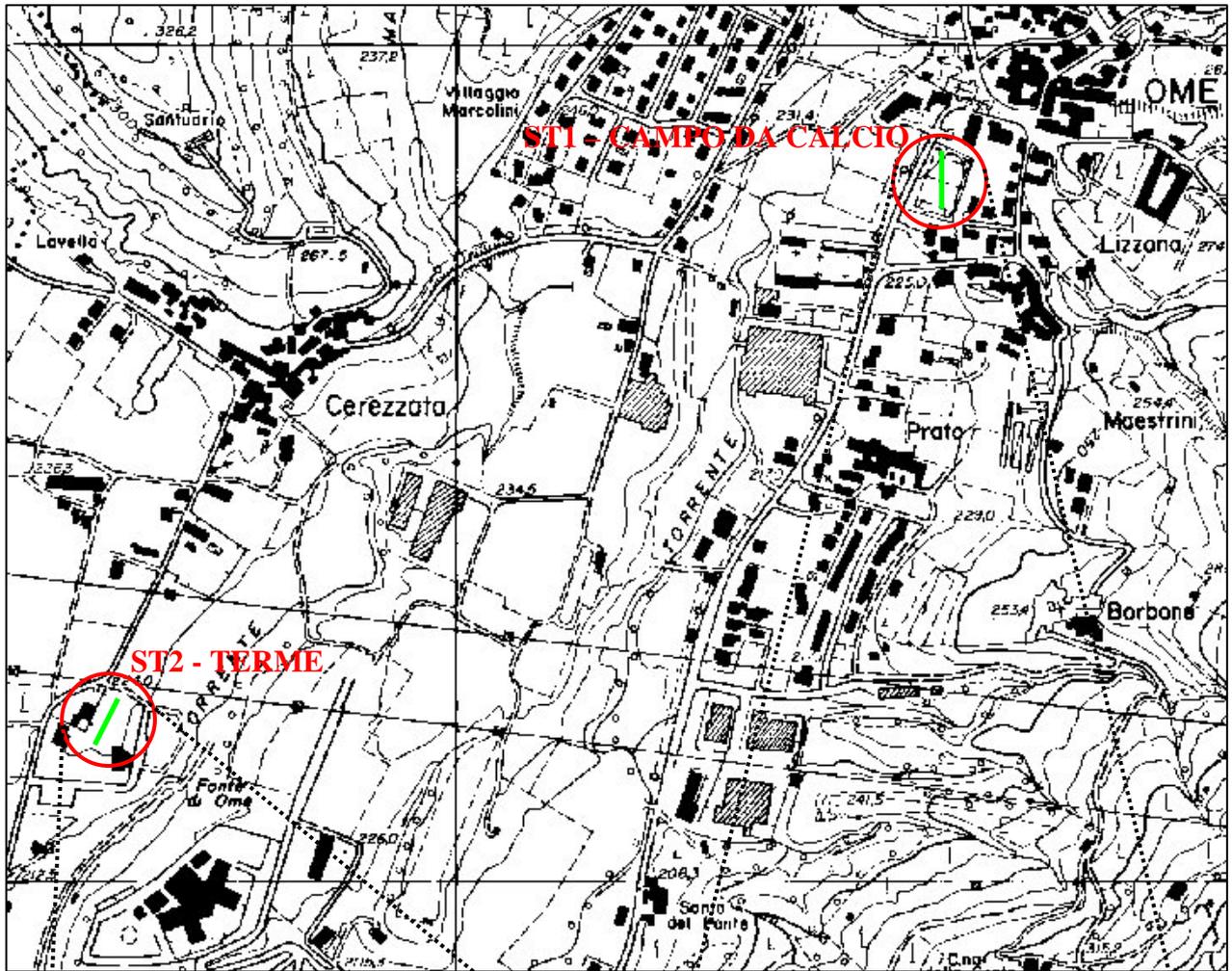


### ALLEGATI

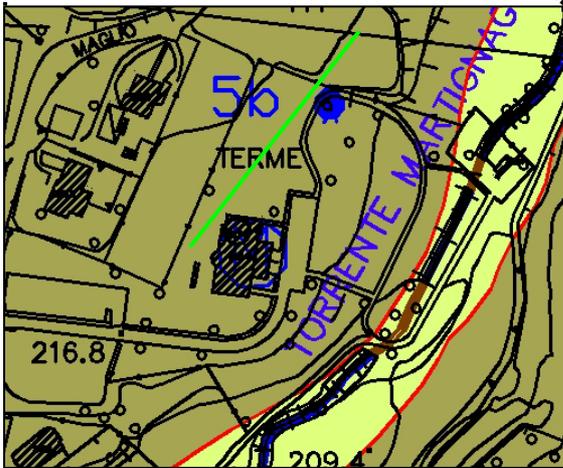
1. Ubicazione stendimenti sismici
2. Sismogramma multishots ed alcuni sismogrammi di singoli shot – acquisizione onde P – stendimento n. 1
3. Sismogramma multishots ed alcuni sismogrammi di singoli shot – acquisizione onde SH – stendimento n. 1
4. Sismogramma multishots ed alcuni sismogrammi di singoli shot – acquisizione onde P – stendimento n. 2
5. Sismogramma multishots ed alcuni sismogrammi di singoli shot – acquisizione onde SH – stendimento n. 2

ALLEGATO n. 1 – Ubicazione stendimenti sismici

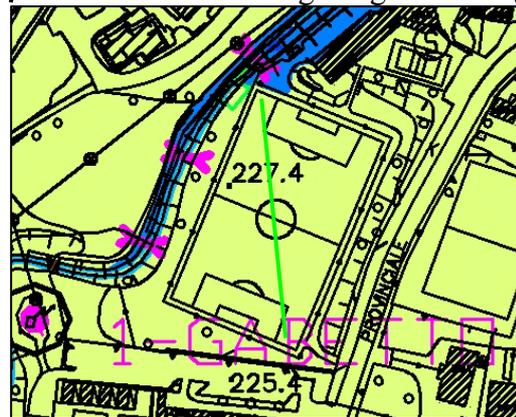
**INQUADRAMENTO DELL'INDAGINE SISMICA – non in scala**



Estratto carta geologica

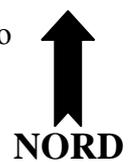


Estratto carta geologica

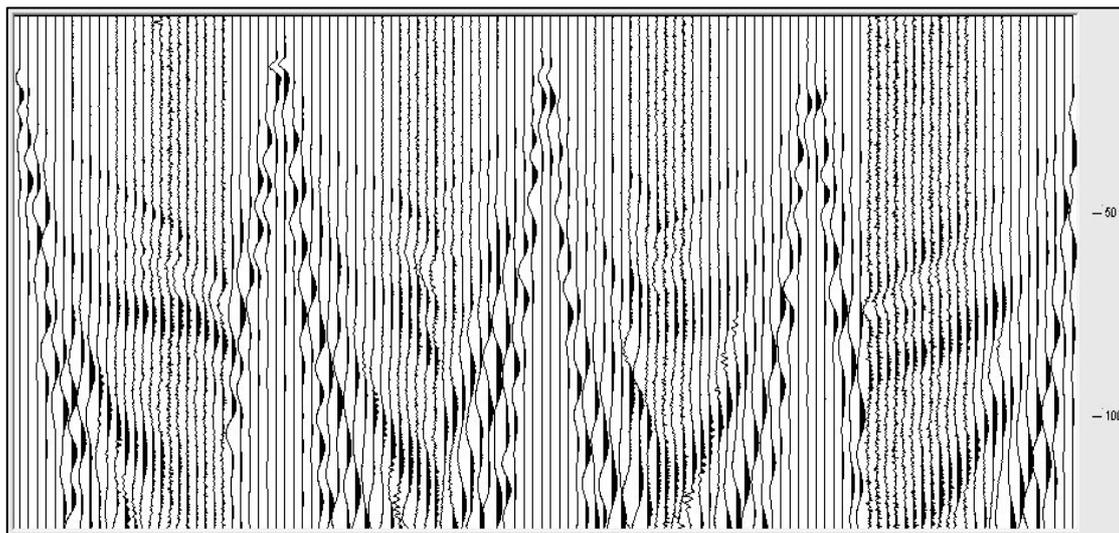


— Orientamento stendimento

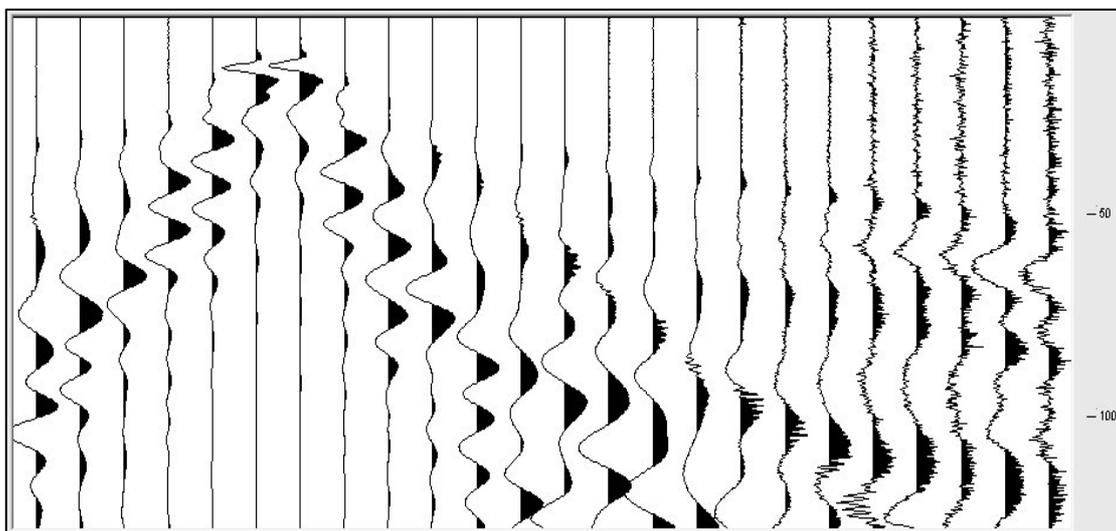
○ Area di indagine



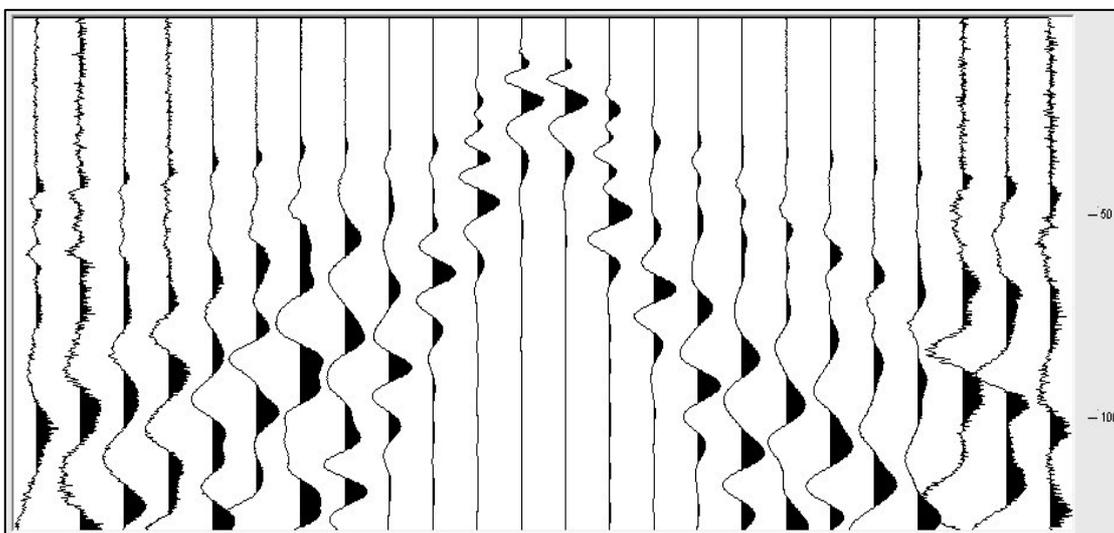
ALLEGATO n. 2 – Alcuni sismogrammi ONDE P – ST1



*Sismogramma multishots acquisito*

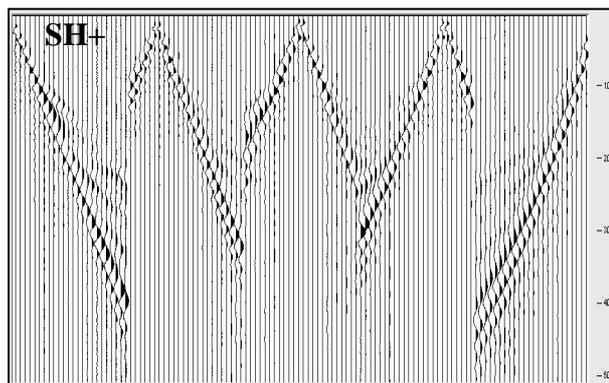
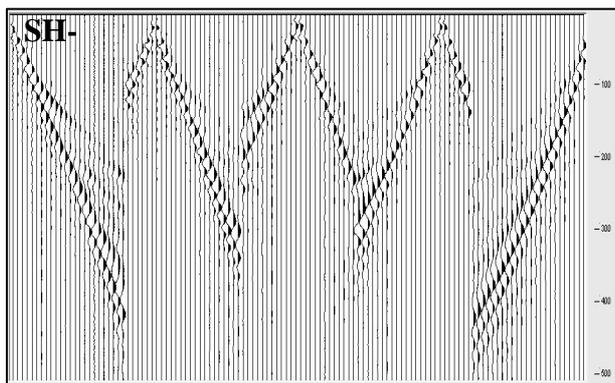


*Sismogramma shot S2*

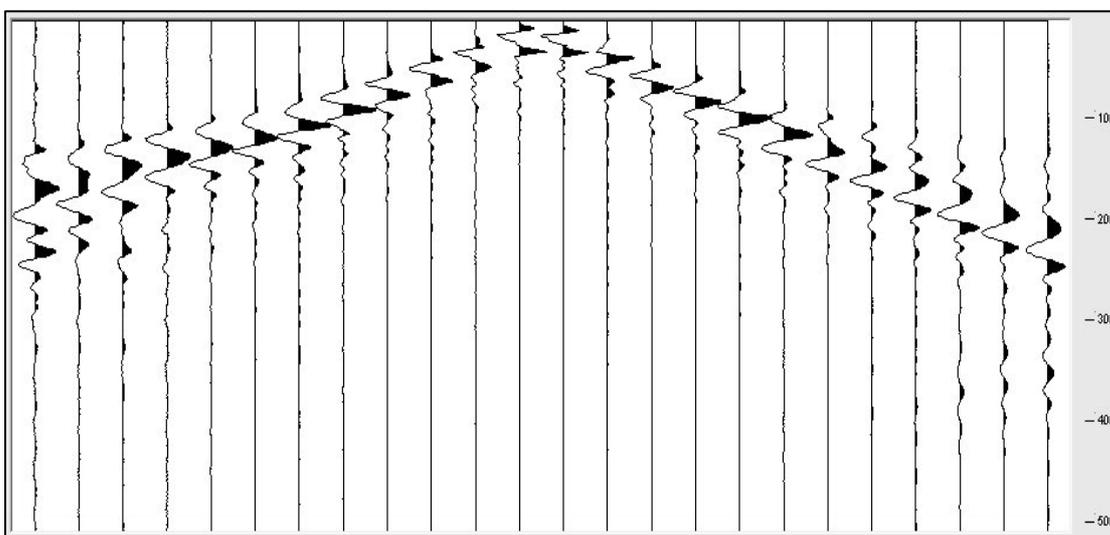


*Sismogramma shot S3*

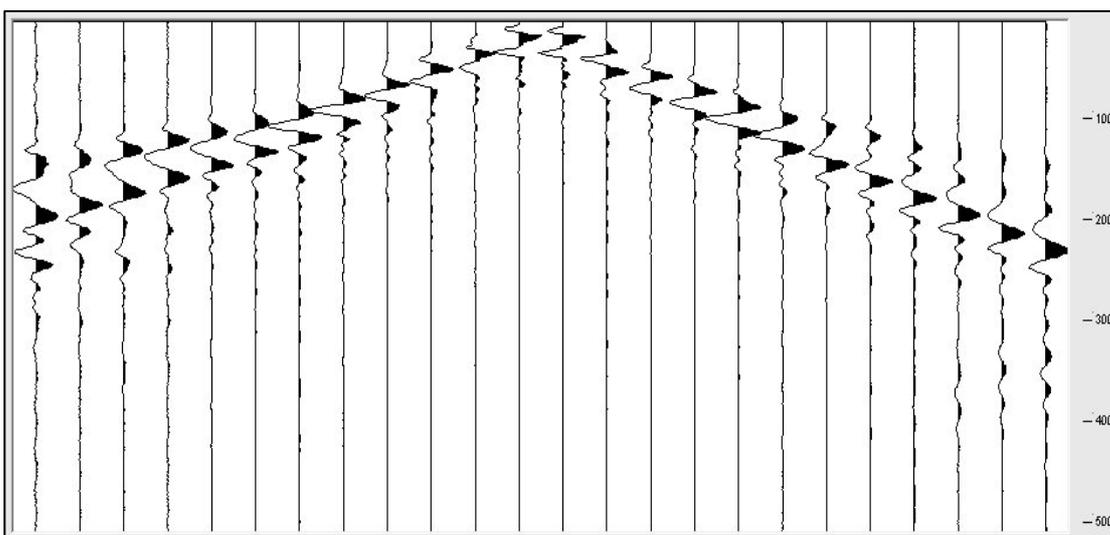
ALLEGATO n. 3 – Alcuni sismogrammi ONDE SH – ST1



*Sismogramma multishots acquisito con inversione di polarità*

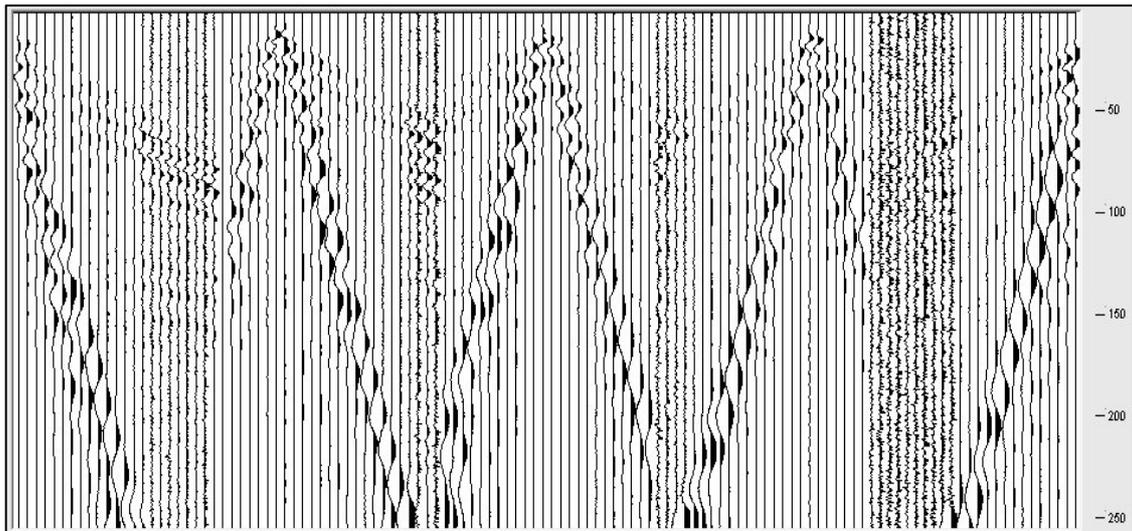


*Sismogramma shot S3+ \_ polarità diretta*

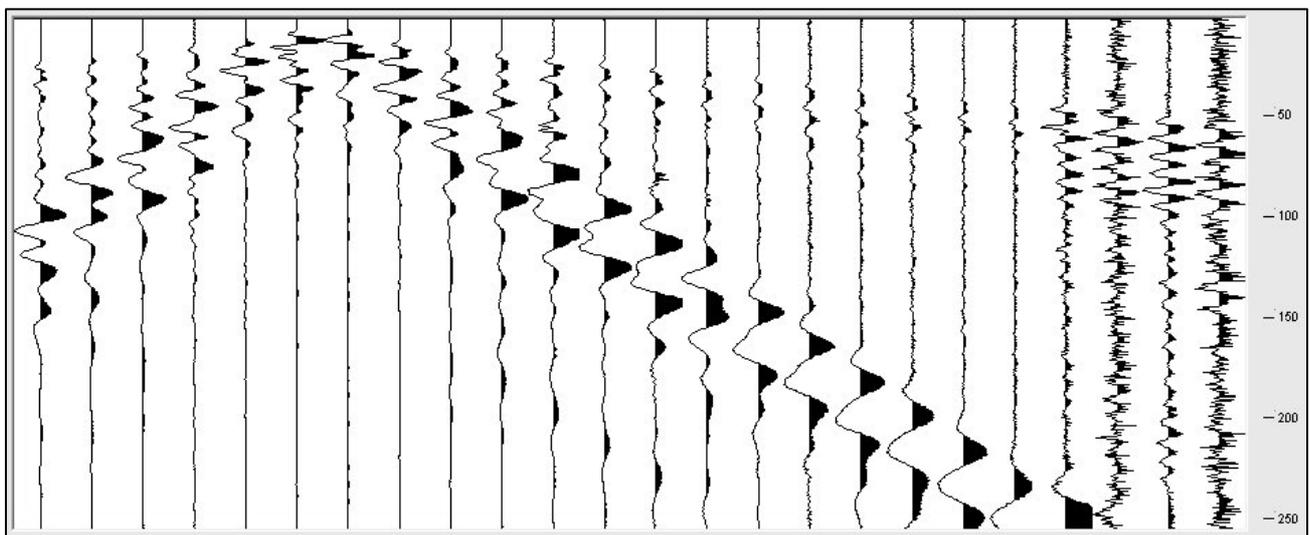


*Sismogramma shot S3- \_ polarità inversa*

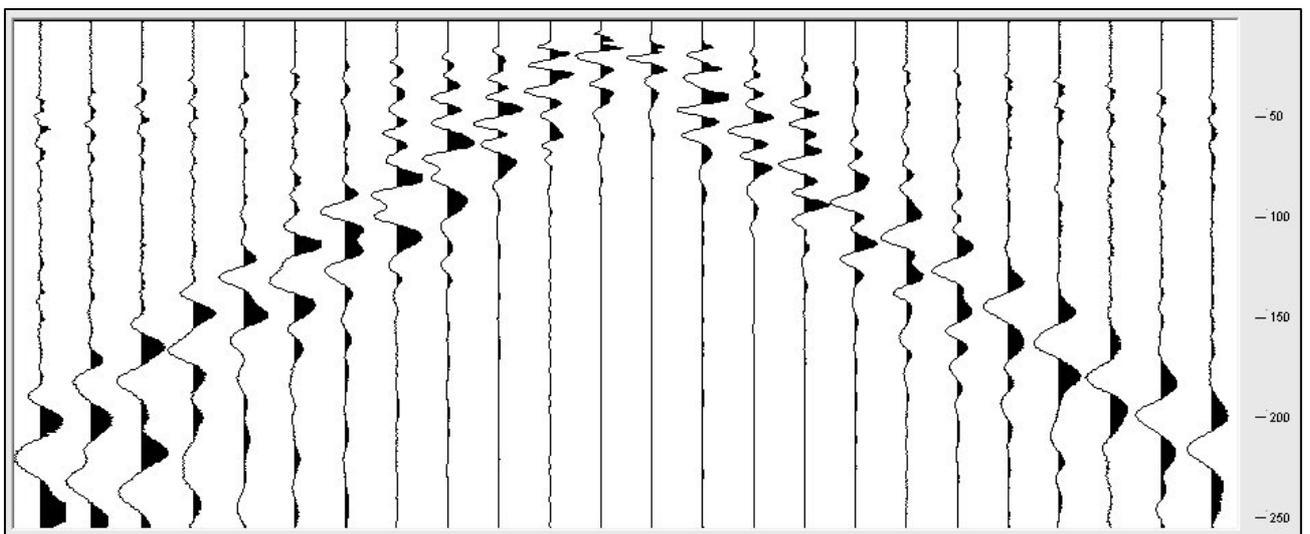
ALLEGATO n. 4 – Alcuni sismogrammi ONDE P – ST2



*Sismogramma multishots acquisito*

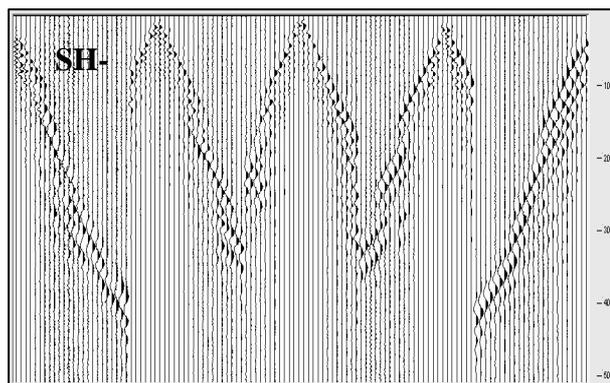
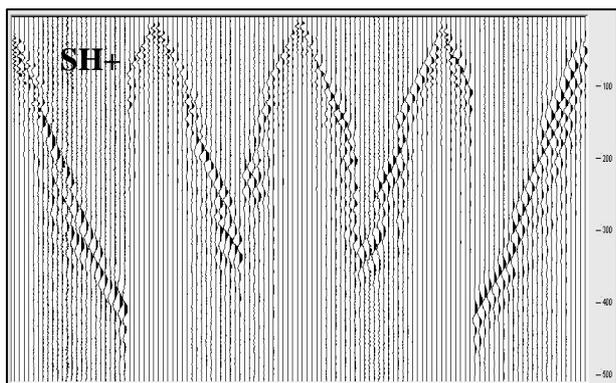


*Sismogramma shot S2*

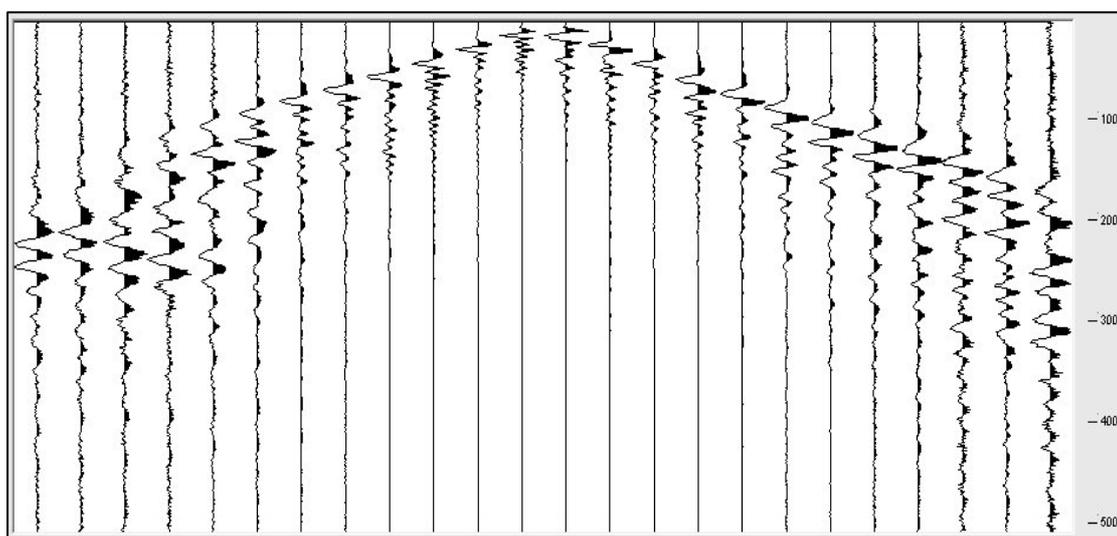


*Sismogramma shot S3*

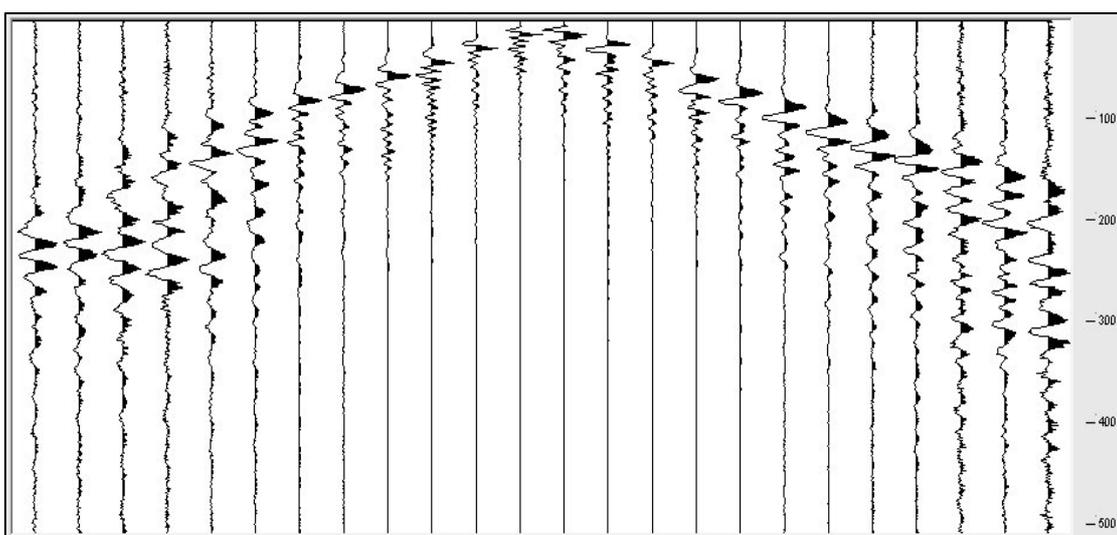
ALLEGATO n. 5 – Alcuni sismogrammi ONDE SH – ST2



*Sismogramma multishots acquisito con inversione di polarità*



*Sismogramma shot S3+ \_ polarità diretta*



*Sismogramma shot S3- \_ polarità inversa*