



## GARA CA 08/15 - NUOVA SS 554 CAGLIARITANA ADEGUAMENTO DELL'ASSE ATTREZZATO URBANO ED ELIMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI A RASO DAL KM 1+500 AL KM 11+850



Pregio tecnico



Caratteristiche ambientali



Cantierizzazione e fasi di lavoro

## OFFERTA TECNICA

### ASSE STRADALE PRINCIPALE

### GEOLOGIA E GEOTECNICA

#### GEOLOGIA

Documentaione indagini geofisiche integrative (PD offerto)

CODICE PROGETTO		CODICE ELABORATO						SCALA	DATA	CODICE ELABORATO DI OFFERTA
progetto	liv.	numero	campo 1	campo 2	campo 3	campo 4	rev			
D P C A 0 6	D	1 5 0 1	T 0 0	G E 0 0	G E O	R E 0 9	A	-	05/11/2017	

#### CONCORRENTE:



#### PROGETTISTA INDICATO COSTITUENDO R.T.P.

Capogruppo Mandataria R.T.P.



Mandante



Mandante

ING. FRANCESCA LEO

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE  
FRA LE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Paolo Cucino

RESPONSABILE ELABORATO

Ing. Paolo Cucino



**Anas SpA**  
Direzione Centrale Progettazione



# INDAGINI GEOFISICHE PROGETTO DEFINITIVO

Campagna indagini - 2016:

Prova sismica a rifrazione

MASW

## **ASTALDI S.P.A.**

# **NUOVA SS 554 "CAGLIARITANA" – ADEGUAMENTO DELL'ASSE ATTREZZATO URBANO ED ELIMINAZIONE DELLE INTERSEZIONI A RASO DAL KM 1+500 AL KM 11+850**

**INDAGINE GEOFISICA**

**MARZO 2016**

DATA	ID DOCUMENTO	II DIRETTORE DEL LABORATORIO
01/03/2016	V0651/16 PS22	



## INDICE

1	<b>INTRODUZIONE GENERALE</b>	PAG. 03
2	<b>INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE</b>	PAG. 04
	2.1 TOMOGRAFIA SISMICA	PAG. 04
	2.2 MASW	PAG. 07
3	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO SS1</b>	PAG. 10
4	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 1</b>	PAG. 15
5	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 2</b>	PAG. 19
6	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 3</b>	PAG. 22
7	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 4</b>	PAG.26
8	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 5</b>	PAG. 29
9	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 6</b>	PAG. 33
10	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 7</b>	PAG. 36
11	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 8</b>	PAG. 40
12	<b>RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 9</b>	PAG. 43
13	<b>CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE</b>	PAG. 47
14	<b>ALLEGATO 1_UBICAZIONE INDAGINI</b>	PAG. 50

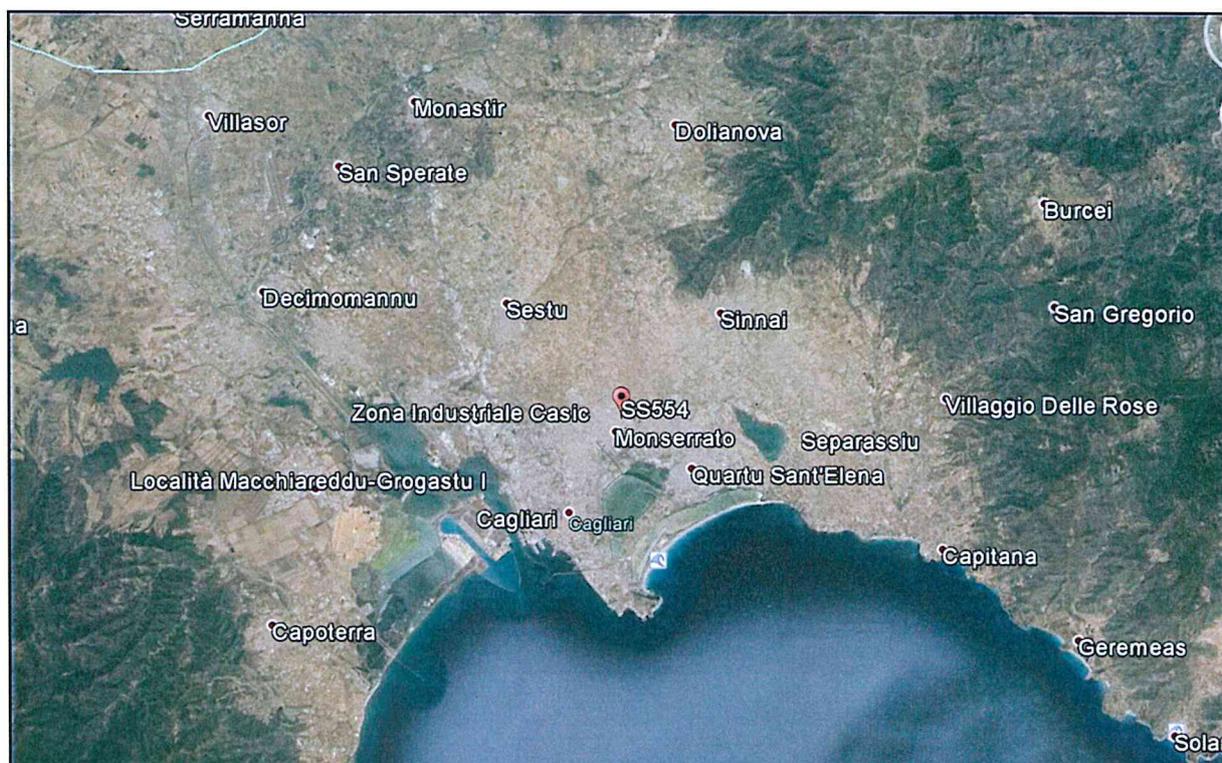
## 1. INTRODUZIONE

In questo ALLEGATO SISMICO si descrivono i risultati provenienti dalla campagna di indagini geofisiche nel mese di FEBBRAIO 2016.

Nel dettaglio, la campagna di indagini geofisiche eseguite nell'area è consistita in:

- N° 01 PROSPEZIONE GEOFISICA SUPERFICIALE CON METODOLOGIA DI INDAGINE DENOMINATA “SISMICA A RIFRAZIONE” E “TOMOGRAFIA SISMICA” ESEGUITE MEDIANTE INSTALLAZIONE DI N° 01 STENDIMENTO SISMICO DENOMINATO SS1 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 120,00 MT);
- N° 09 PROSPEZIONI GEOFISICHE SUPERFICIALI CON METODOLOGIA DI INDAGINE “MASW” MASW 1 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 34,50 MT); MASW 2 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 34,50 MT); MASW 3 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 34,50 MT); MASW 4 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 34,50 MT); MASW 5 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 34,50 MT); MASW 6 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 34,50 MT); MASW 7 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 34,50 MT); MASW 8 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 34,50 MT) e MASW 9 (LUNGHEZZA LINEARE PARI A 34,50 MT).

La corretta ubicazione delle indagini eseguite nell'area allo studio è riportata di seguito in **Figura 1**:



**Fig. 1: ubicazione delle indagini geofisiche .**

## 2. INTRODUZIONE ALLE METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE

### 2.1 TOMOGRAFIA SISMICA

L'obiettivo delle prospezioni geofisiche effettuate con metodologia di indagine TOMOGRAFICA SISMICA è stato quello di investigare attraverso metodologie geofisiche specifiche il sottosuolo allo scopo di creare un profilo sismo-stratigrafico di riferimento per ciascuna prova effettuata.

#### STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E FIGURE PROFESSIONALI UTILIZZATE DURANTE LE INDAGINI:

La strumentazione utilizzata nell'area è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S (Figura 2), avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- *capacità di campionamento dei segnali tra 0,002 e 0,00005 sec;*
- *sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);*
- *filtri High Pass e Band Reject;*
- *"Automatic Gain Control";*
- *convertitore A/D a 24 bit;*
- *24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;*
- *massa battente pesante di 10 Kg.*



**Fig. 2: sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S.**

Durante la fase di acquisizione dati la Ditta "GEOSECURE S.A.S." si è avvalsa delle seguenti figure professionali:

- n. 1 geofisico prospettore;
- n. 2 assistenti al geofisico prospettore.

Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità in uso presso la Ditta “**GEOSECURE S.A.S.**” sono tarati presso il laboratorio della “**M.A.E. s.r.l.**” di Frosolone (IS).

### **PRINCIPI DI BASE:**

La metodologia **sismica a rifrazione** utilizza la stima delle **velocità di propagazione** delle onde sismiche nel sottosuolo che sono generate quando il terreno è sottoposto a sollecitazioni artificiali o naturali (sisma).

La determinazione delle velocità viene ricavata misurando i **tempi di primo arrivo** delle onde sismiche generate in diversi punti sulla superficie topografica, considerando i seguenti *principi di base*:

- *le onde sismiche si propagano con velocità diverse in mezzi con caratteristiche meccaniche diverse*
- *quando il raggio sismico attraversa una discontinuità di velocità (passa da una mezzo più lento ad uno più veloce, o viceversa) cambia direzione come descritto dalla Legge di Snell.*

### **I CASI DI APPLICAZIONE DELLA SISMICA A RIFRAZIONE:**

I metodi di interpretazione della **sismica a rifrazione di superficie** si basano sull'analisi delle **onde P** o in alternativa **onde S** e trovano numerosi campi di applicazione:

- **Studi di carattere geotecnico (individuazioni delle proprietà fisiche dei mezzi investigati).**
- **Studi di carattere geologico (successioni stratigrafiche, individuazione di faglie, strutture sepolte, ecc.).**
- **Determinazione della profondità del substrato roccioso.**

- **Studi per la pianificazione del territorio (microzonazione sismica).**
- **Studi in campo ambientale (discariche).**

La tabella di seguito riportata illustra i casi di applicazione per ogni metodologia d'indagine.

<u>Metodi di interpretazione</u>	<u>Caso di applicazione</u>
<b>Delle intercette (o convenzionale)</b>	Strati paralleli e sub-orizzontali
Reciproco generalizzato (GRM)	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni < 20°
Reciproco di Hawkins o Delay time	Morfologie degli strati articolate e con inclinazioni < 20°
<b>Tomografico</b>	Morfologie complesse

Considerate le caratteristiche geologiche dell'area di studio, i metodi d'indagine sismica utilizzati sono stati il **metodo delle intercette** (o metodo convenzionale) ed il **metodo tomografico**.

Operativamente, ciò che è stato eseguito in campagna è una disposizione lungo una retta di **trasduttori velocimetrici (geofoni)** lungo la sezione specifica che si desiderava investigare; quindi, in funzione della risoluzione e delle profondità ricercate, si sono adeguatamente disposti i punti di produzione dell'energia elastica; leggendo i tempi dei primi arrivi delle onde sismiche ai geofoni, si sono ricostruite le **dromocrone** che permettono di individuare le variazioni verticali di velocità e le velocità reali dei diversi sismostrati.

Secondo i tempi di primo arrivo delle onde longitudinali **P** e le distanze relative alla configurazione geometrica adottata (**interspazio geofonico** e **offset di scoppio**) è stato possibile, inoltre,

dimensionare gli spessori dei sismo-strati attraversati dalla radiazione elastica e quindi ottenere una **dettagliata perizia sismica** della porzione di sottosuolo sottoposta ad indagine.

Per ciò che concerne la campagna di indagine del lavoro in oggetto, sono stati sviluppati in situ:

- **n° 01 stendimento sismico** - DENOMINATO SS1 - con l'utilizzo di n° 24 **geofoni** distanziati tra di loro su linea retta con distanza intergeofonica pari a 5,00 metri (LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO = 120,00 MT).

## 2.2 MASW

### INTRODUZIONE:

Il metodo **MASW** (***Multichannel Analysis or 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, IO., 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, inoltre, 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 (*geofoni*).

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 30,00-50,00 metri, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

#### **METODOLOGIA UTILIZZATA:**

Il metodo prevede lo svolgimento di **n° 4 fasi** successive e propedeutiche:

- 1) *calcolo della curva di dispersione sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;*
- 2) *calcolo della curva di dispersione apparente numerica mediante il metodo **Roma (2001)**;*
- 3) *calcolo della curva di dispersione effettiva numerica mediante il metodo **Lai-Rix (1998)**;*
- 4) *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.*

#### **STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E FIGURE PROFESSIONALI UTILIZZATE DURANTE LE INDAGINI:**

La fase di acquisizione dati è stata eseguita dalle seguenti figure professionali:

- **n. 1 geofisico prospettore;**
- **n. 2 assistenti al geofisico prospettore.**

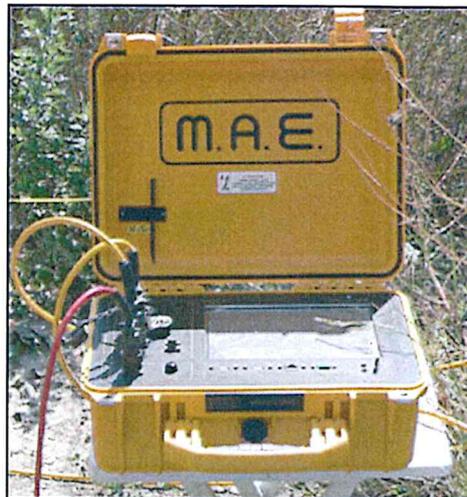
Tutti gli strumenti di misura, impiegati in accordo con il calendario di taratura imposto al sistema di qualità, sono verificati presso il laboratorio della “M.A.E. s.r.l.” di Frosolone (IS).

**L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata** nella zona di indagine è stata costituita da:

- un sistema di energizzazione : 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 ricezione costituito da 24 geofoni verticali monocomponente del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa (peso della massa 12.2 gr) con frequenza propria di 4.5 Hz, 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;
- un 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 Pane I 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.

Nello specifico, la **strumentazione utilizzata nell'area** è costituita da un sismografo multicanale **M.A.E. modello A 6000 S (Figura 3)**, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- *capacità di campionamento dei segnali tra 0,002 e 0,00005 sec;*
- *sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);*
- *filtri High Pass e Band Reject;*
- *"Automatic Gain Control";*
- *convertitore A/D a 24 bit;*
- *24 geofoni verticali (P) con periodo proprio di 4.5 Hz;*
- *massa battente pesante di 10 Kg.*

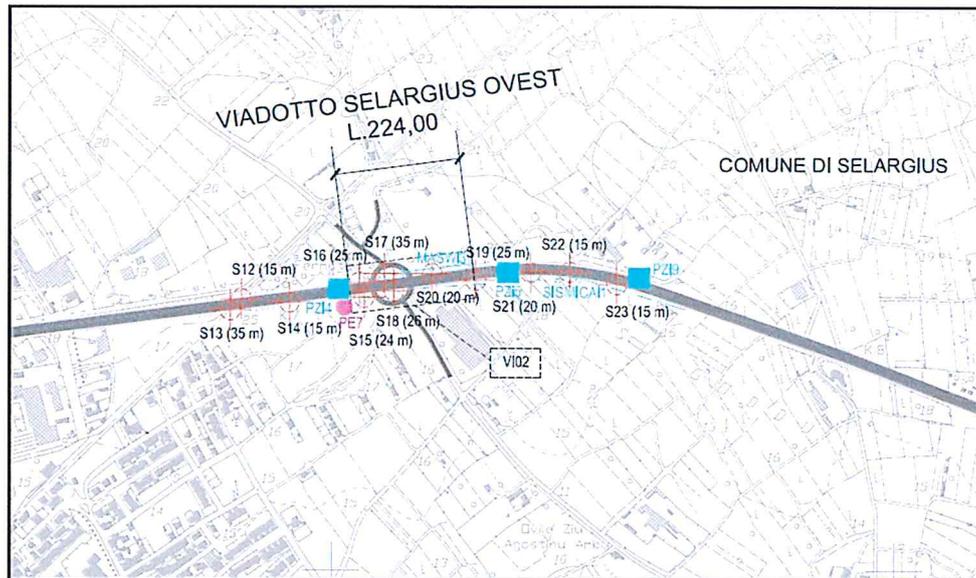


**Fig. 3: sismografo multicanale M.A.E. modello A 6000 S.**

### 3. **RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – STENDIMENTO SISMICO SS1**

**LUNGHEZZA TOTALE DEL PROFILO 120,00 Mt - DISTANZA INTERGEOFONICA = 5,00 Mt**

Il profilo sismico in oggetto è stato ubicato come mostrato, di seguito, in **Figura 4**:



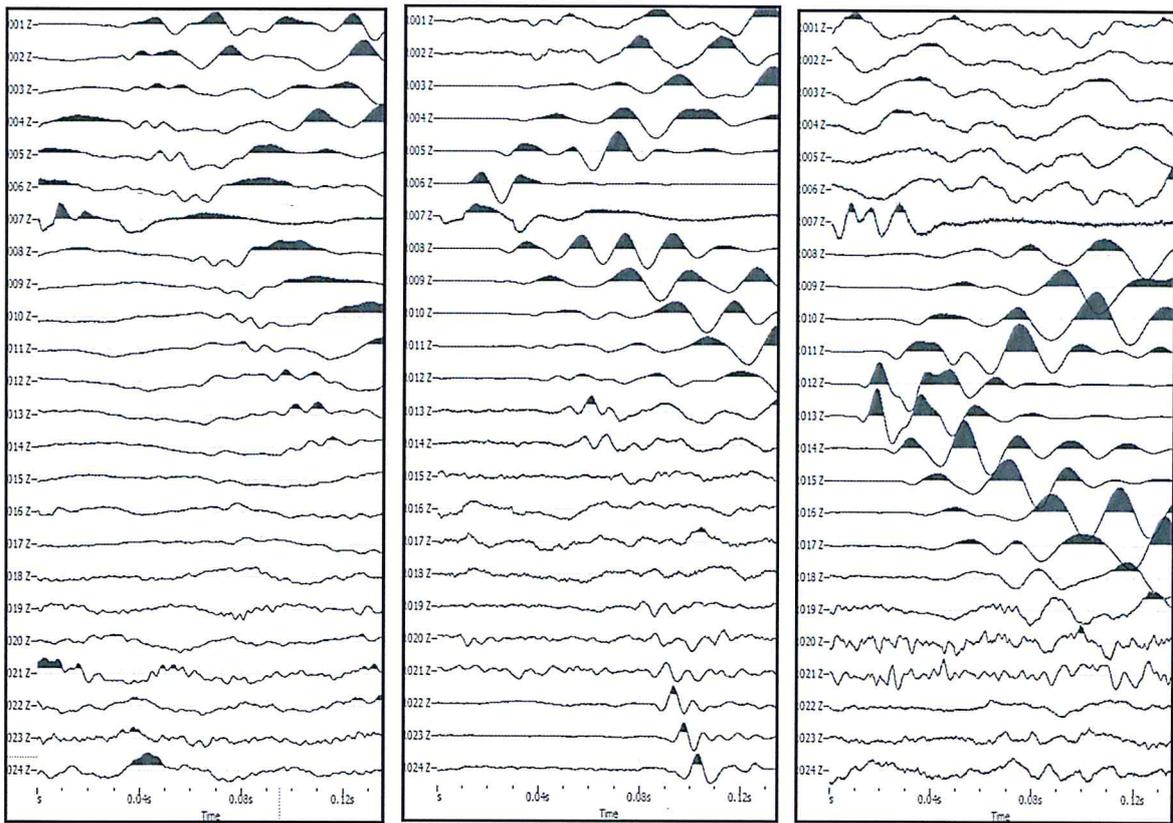
**Fig. 4: ubicazione del profilo sismico denominato SS1.**

Il terreno è stato energizzato mediante l'utilizzo di una mazza battente di massa pari a **10.00 kg** effettuando scoppi specifici ubicati in punti ben precisi lungo ciascuno stendimento stesso:

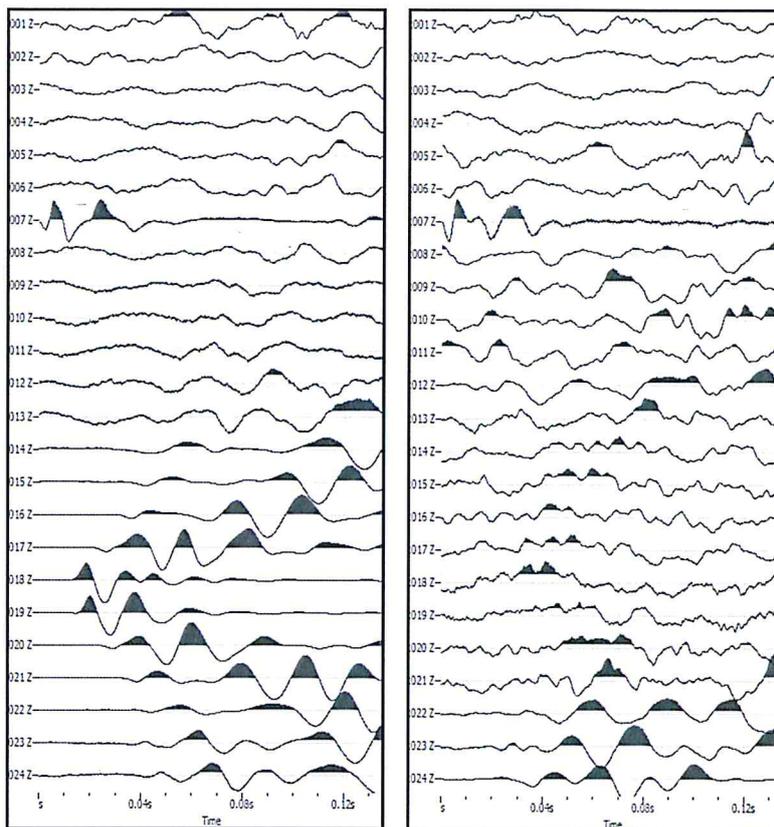
- *due scoppi simmetrici (**off-shots**) esterni allo stendimento ad una distanza di 10,00 metri dal geofono più vicino;*
- *uno scoppio (**mid-shot**) al centro dello stendimento stesso.*
- *due scoppi intermedi allo stendimento, il primo tra il 6° e il 7° geofono e il secondo tra il 18° e 19° geofono.*

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 15.000 campioni al secondo per un totale di 0.13 secondi di acquisizione.

Sono riportati le forme d'onda e i dati di picking che sono stati elaborati con il software "**Rayfract 3.18**" della **Intelligent Resources** (Copyright 1996-2010), relativi ai risultati dell'indagine sismica effettuata.



**Fig. 5: sismogrammi dello Scoppio 1,2 e 3.**

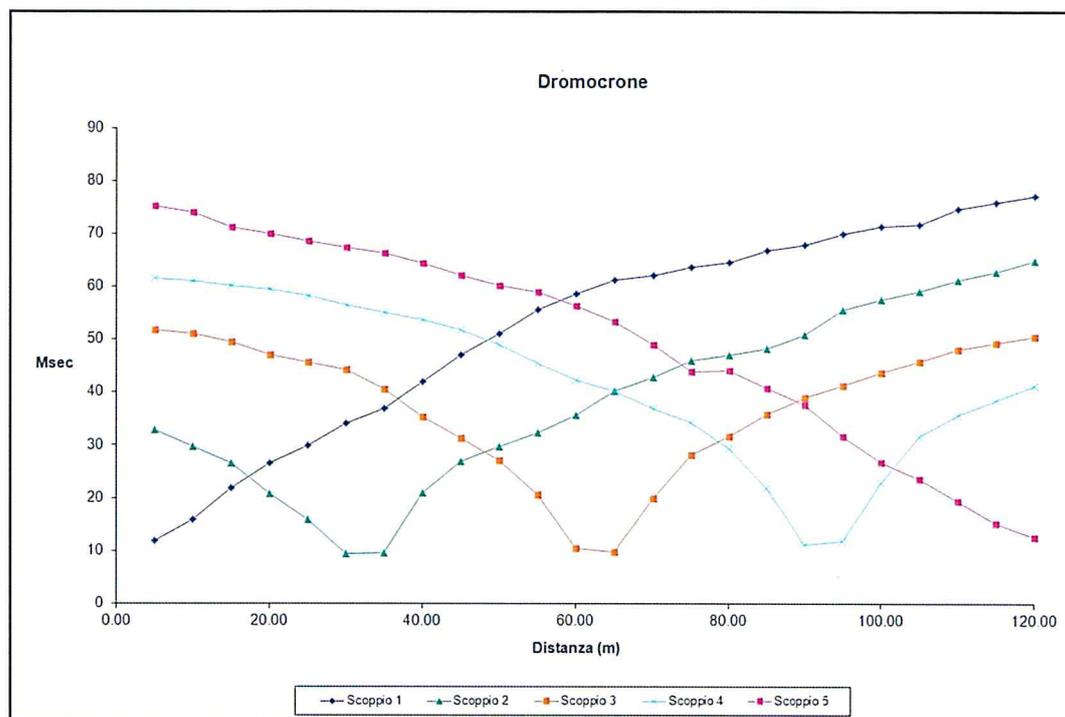


**Fig. 6: sismogrammi dello Scoppio 4 e 5.**

TABELLA PRIMI ARRIVI					
Scoppi	S1	S2	S3	S4	S5
Distanza (m)	-10.00	32.50	62.50	92.50	125.00
	msec	msec	msec	msec	msec
0.00	11.80	32.93	51.73	61.53	75.33
5.00	15.87	29.67	51.13	61.00	74.07
10.00	21.87	26.60	49.53	60.27	71.20
15.00	26.60	20.73	47.13	59.53	70.07
20.00	29.87	15.87	45.67	58.27	68.60
25.00	34.07	9.47	44.27	56.47	67.33
30.00	36.93	9.67	40.60	55.13	66.27
35.00	42.07	20.93	35.33	53.73	64.47
40.00	47.00	26.93	31.33	51.73	62.07
45.00	51.13	29.67	27.13	49.00	60.27
50.00	55.73	32.40	20.60	45.53	59.00
55.00	58.60	35.67	10.53	42.40	56.27
60.00	61.33	40.20	9.80	40.20	53.33
65.00	62.07	42.93	20.00	36.93	49.00
70.00	63.73	46.07	28.20	34.20	43.87
75.00	64.60	47.00	31.67	29.33	44.07
80.00	66.80	48.27	35.87	21.87	40.80
85.00	67.93	51.00	38.93	11.13	37.67
90.00	69.93	55.73	41.33	11.80	31.67
95.00	71.33	57.53	43.67	22.93	26.73
100.00	71.73	59.13	45.87	31.67	23.67
105.00	74.67	61.20	48.07	35.67	19.47
110.00	75.93	62.80	49.33	38.40	15.13
115.00	77.20	65.00	50.60	41.33	12.53

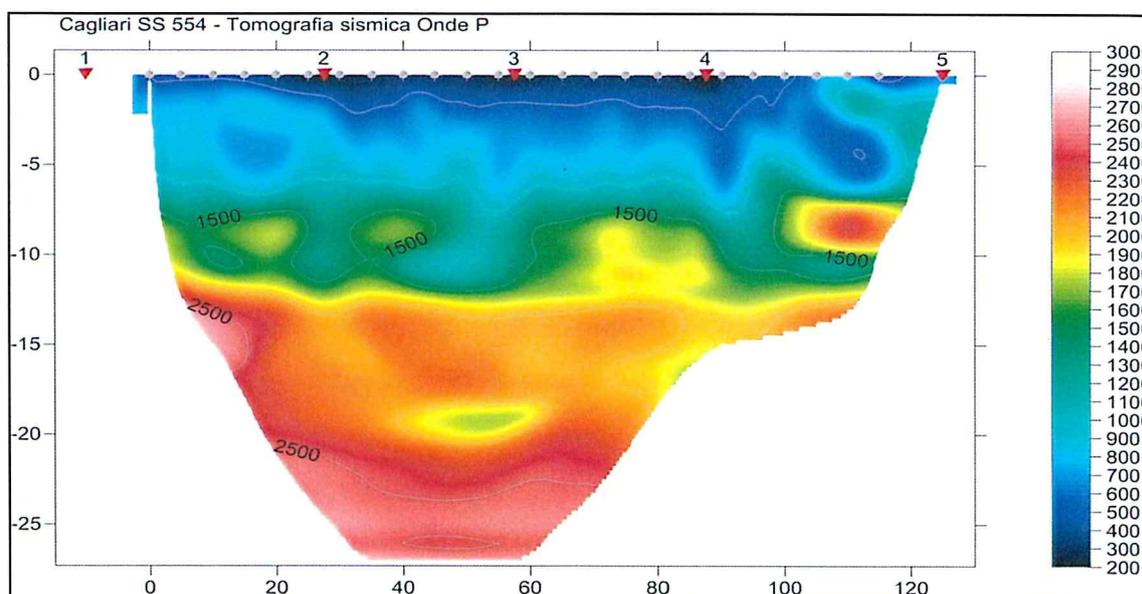
**Fig. 7: tabella dei primi arrivi.**

Nella **Figura 8** sono riportate le **dromocrone dei primi arrivi**.

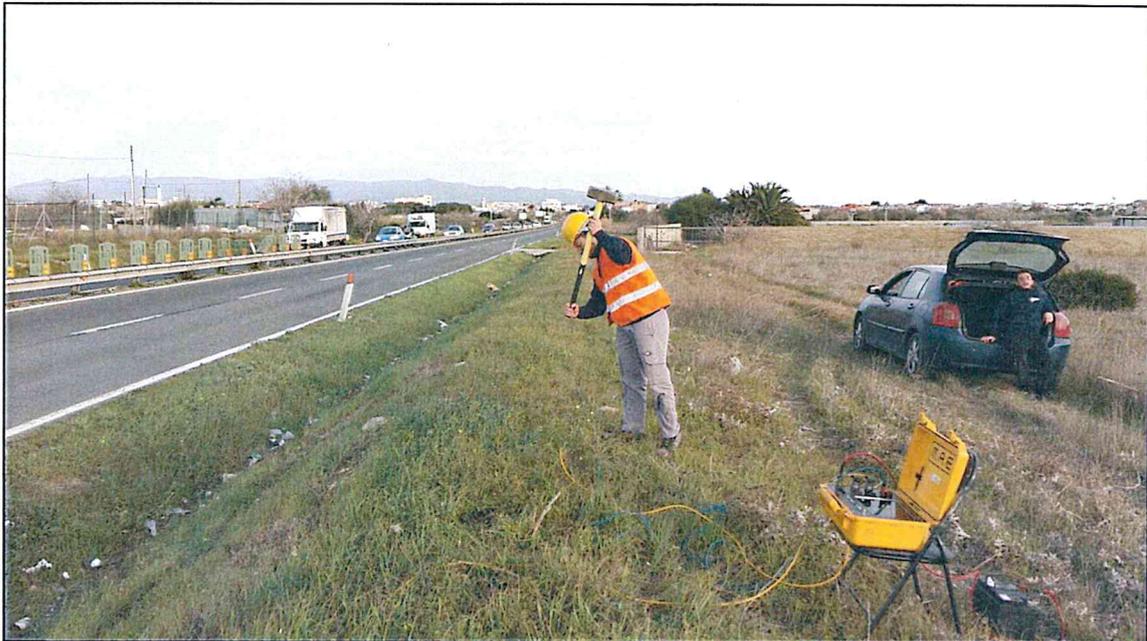


**Fig. 8: dromocrone dei primi arrivi.**

Nella figura seguente viene riportata la tomografia sismica relativa al sito di indagine, calcolata tramite software **Rayfract 3.18** con restituzione grafica ottenuta tramite software **Surfer 9.0**.



**Fig. 9: tomografia sismica.**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE**

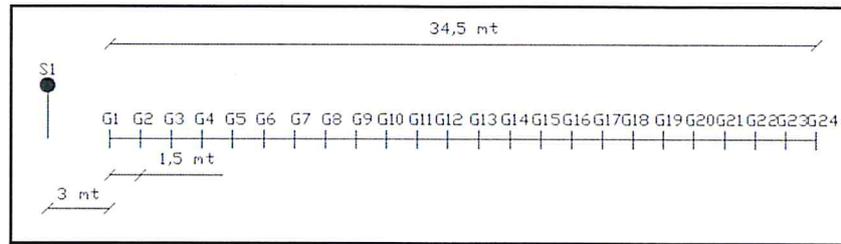
**FOTO 1: panoramica dello stendimento.**

**4. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 1**

Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il grafico di dispersione ed il software **Dinver** per l'elaborazione del profilo di  $V_{s30}$ .

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La **distanza intergeofonica** è stata stabilita in 1,50 metri, mentre lo **scoppio di energizzazione** è stato effettuato a 3,00 metri dal primo geofono, come mostrato di seguito in **Figura 10**.



**Fig. 10: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno.**

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:**

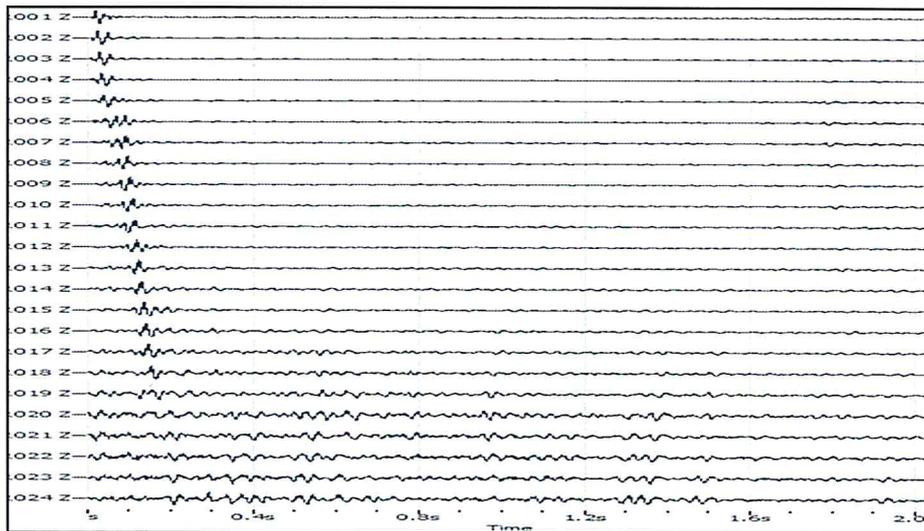
In **Fig. 11** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 12** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

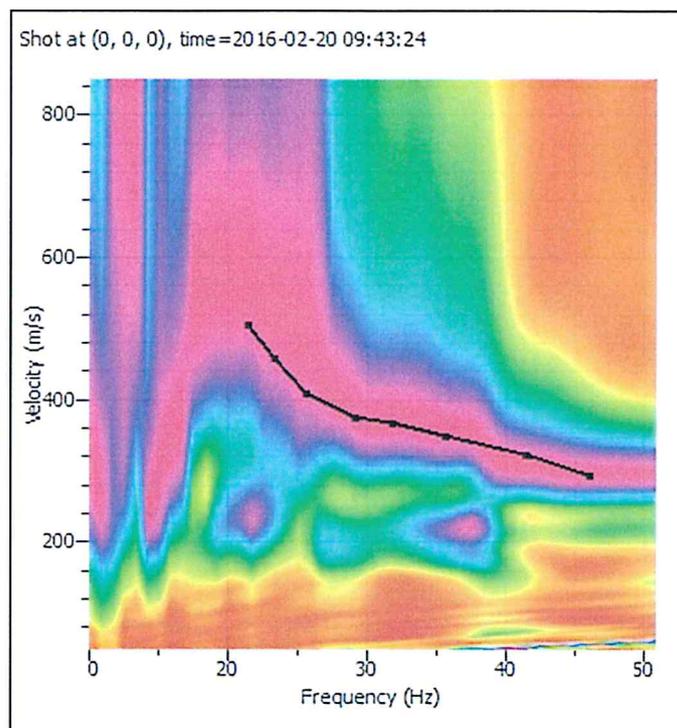
In **Fig. 13** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In **Fig. 14** è riportato il grafico mostrante i profili di  $V_{s30}$

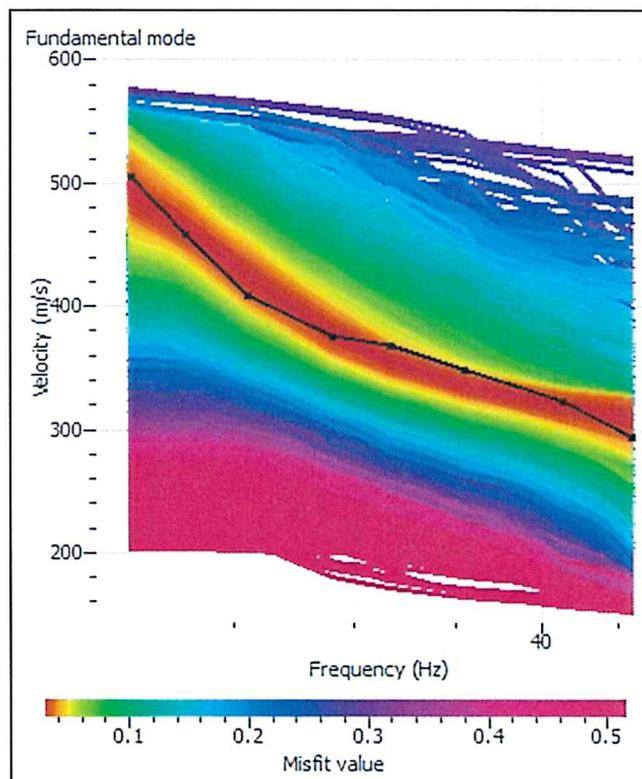
In **Fig. 15** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di  $V_{s30}$ .



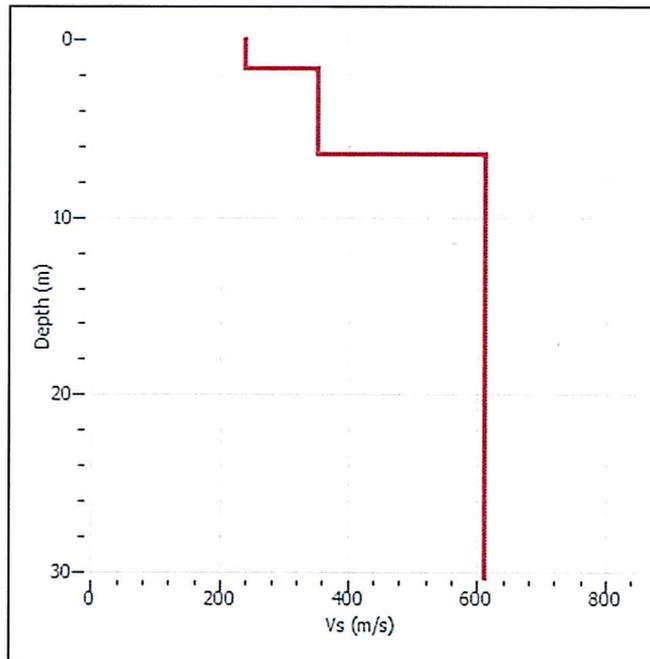
**Fig.11: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione.**



**Fig. 12: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale.**



**Fig. 13: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.**

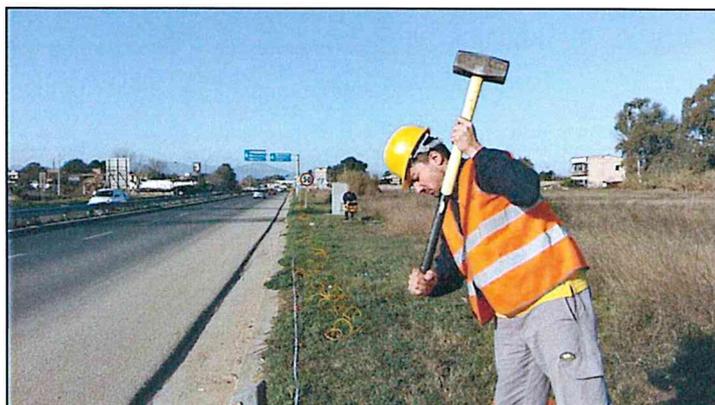


**Fig. 14: profili di Vs<sub>30</sub>.**

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	1.5	235	0.006
2	5	350	0.014
3	23.5	610	0.039
	30		
<b>Vs<sub>30</sub> (m/s)</b>	<b>506.8</b>	<b>Categoria Suolo: B</b>	

**Fig. 15: tabella per il calcolo di Vs<sub>30</sub>.**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW 1**



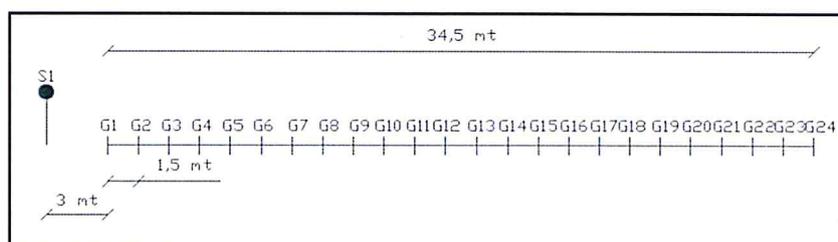
**FOTO 2: esecuzione del momento di energizzazione.**

## 5. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 2

Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il grafico di dispersione ed il software **Dinver** per l'elaborazione del profilo di  $V_{s30}$ .

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La distanza intergeofonica è stata stabilita in 1,50 metri, mentre lo scoppio di energizzazione è stato effettuato a 3,00 metri dal primo geofono, come mostrato di seguito in **Figura 16**.



**Fig. 16: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno**

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:**

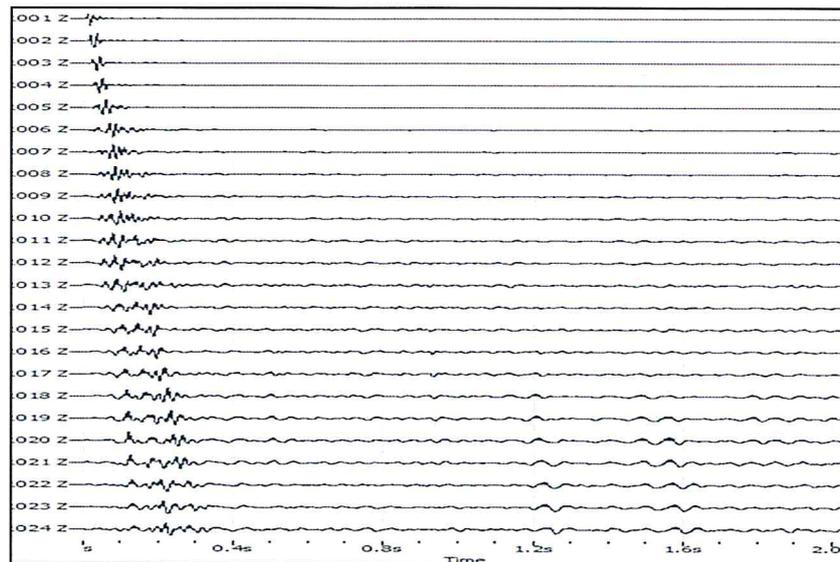
In **Fig. 17** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 18** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

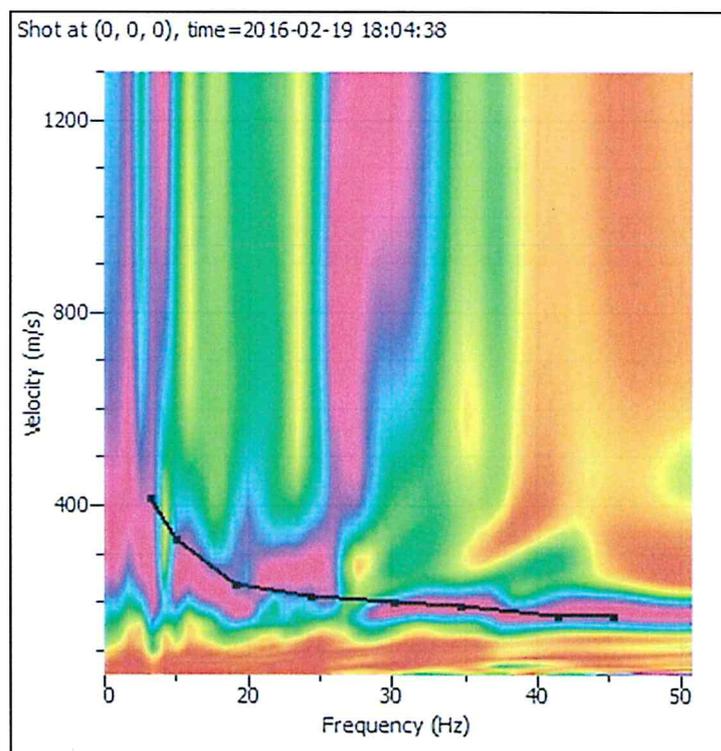
In **Fig. 19** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In **Fig. 20** è riportato il grafico mostrante i profili di  $V_{s30}$

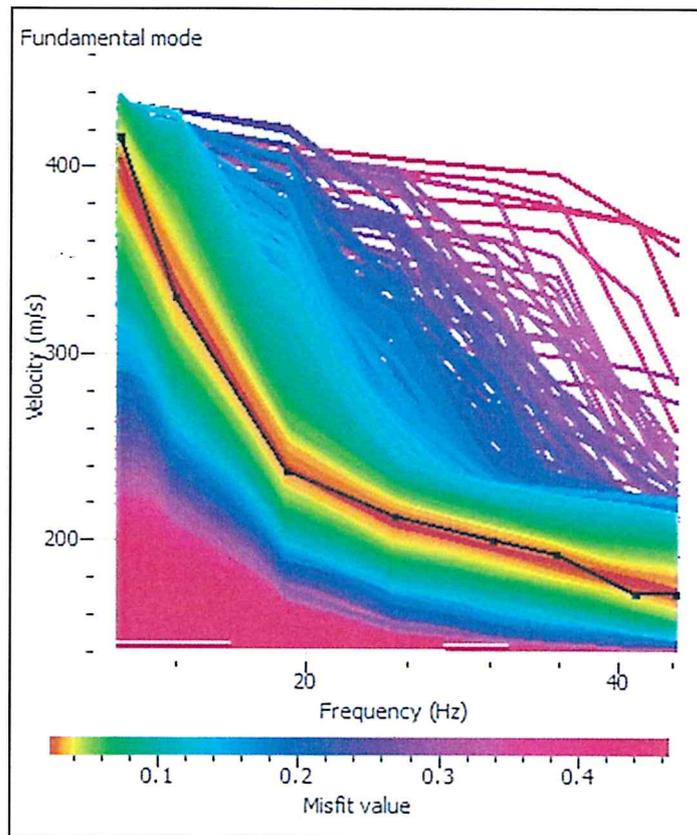
In **Fig. 21** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di  $V_{s30}$ .



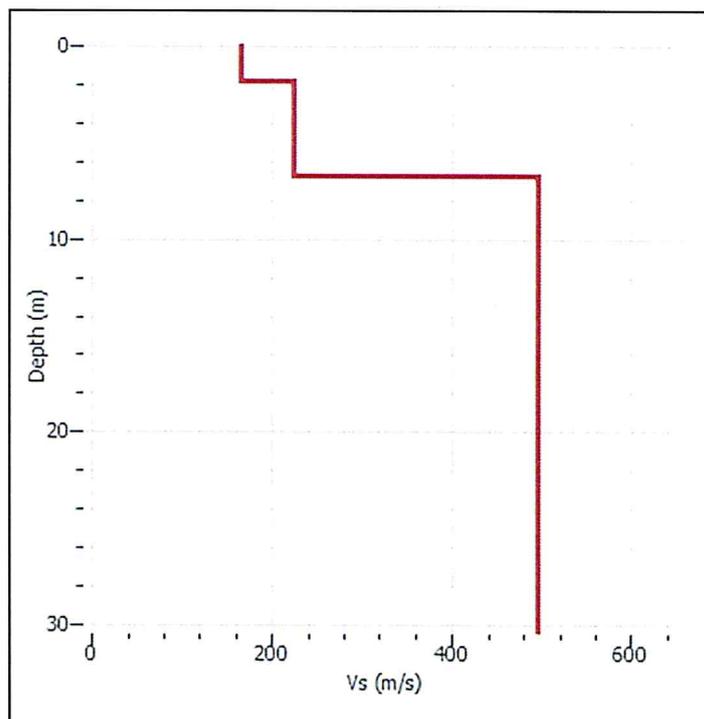
**Fig.17: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione.**



**Fig. 18: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale.**



**Fig. 19: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.**



**Fig. 20: profili di  $V_{s30}$ .**

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	1.8	175	0.010
2	5	230	0.022
3	23.2	505	0.046
	30		
<b>Vs30 (m/s)</b>	<b>384.8</b>	Categoria Suolo: B	

**Fig. 21: tabella per il calcolo di Vs<sub>30</sub>.**

## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW 2**



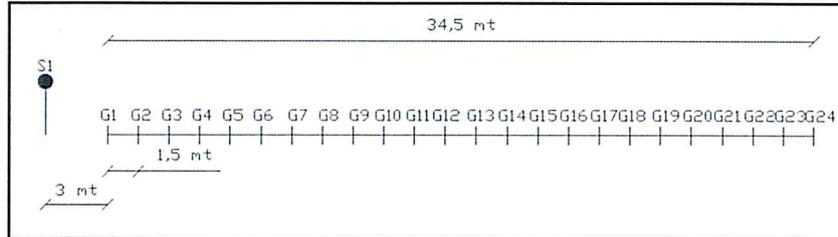
**FOTO 3: esecuzione del momento di energizzazione.**

## **6. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 3**

Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il grafico di dispersione ed il software **Dinver** per l'elaborazione del profilo di Vs<sub>30</sub>.

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La distanza intergeofonica è stata stabilita in 1,50 metri, mentre lo scoppio di energizzazione è stato effettuato a 3,00 metri dal primo geofono, come mostrato di seguito in **Figura 22**.



**Fig. 22: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno**

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:**

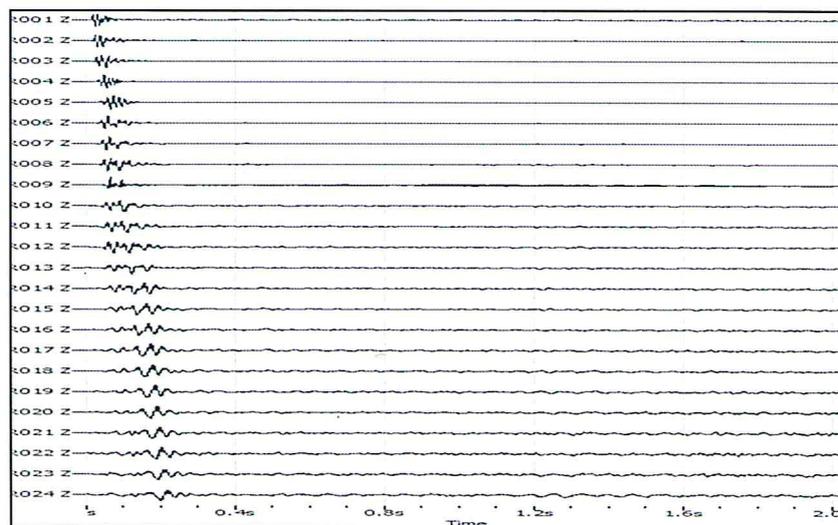
In **Fig. 23** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 24** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

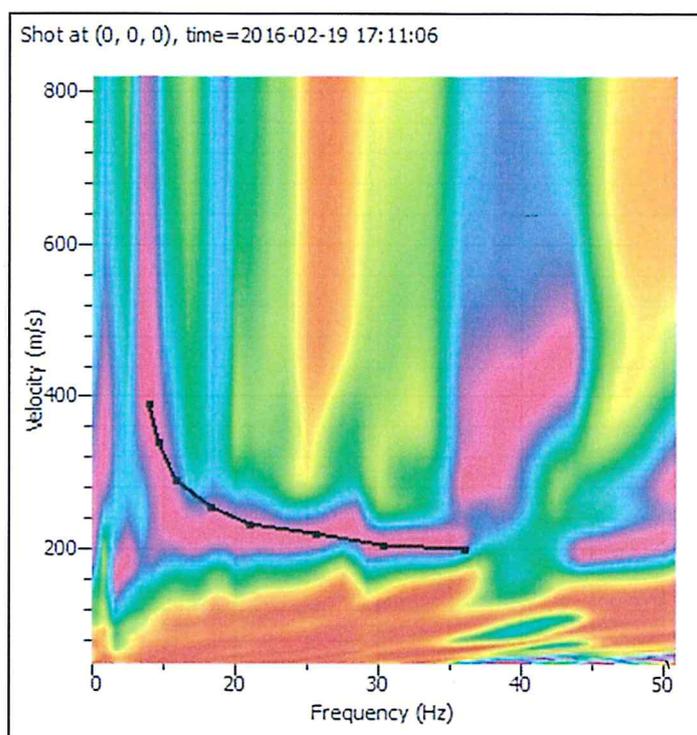
In **Fig. 25** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In **Fig. 26** è riportato il grafico mostrante i profili di  $V_{s30}$

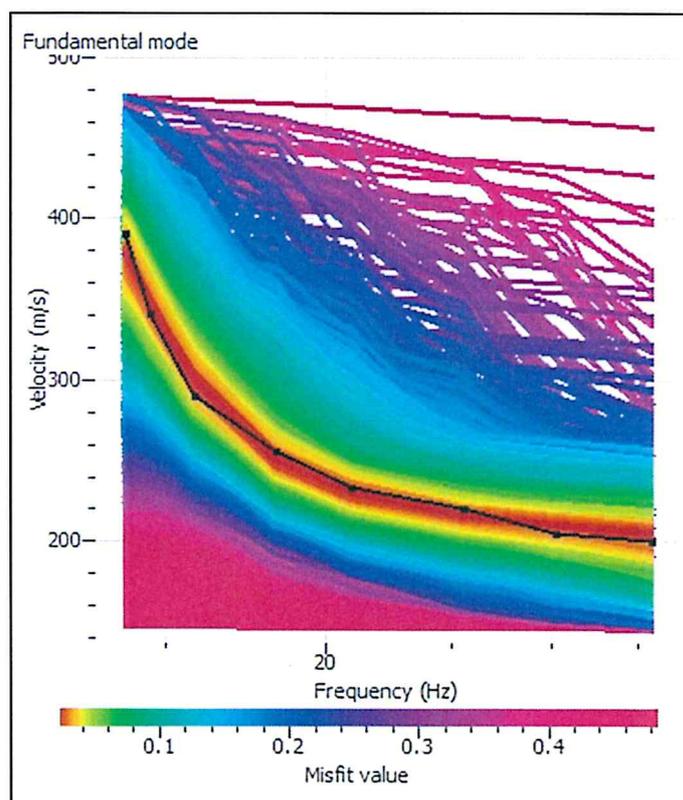
In **Fig. 27** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di  $V_{s30}$ .



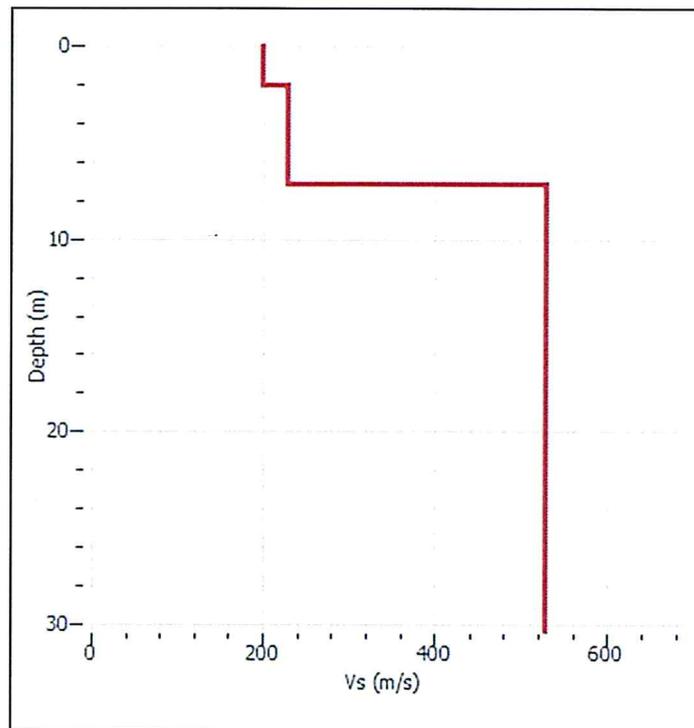
**Fig.23: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione.**



**Fig. 24: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale.**



**Fig. 25: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.**



**Fig. 26: profili di  $V_{s30}$ .**

Sismostrato	Spessore (m)	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$
1	2	200	0.010
2	5	225	0.022
3	23	530	0.043
	30		
<b><math>V_{s30}</math> (m/s)</b>	<b>396.7</b>	<b>Categoria Suolo: B</b>	

**Fig. 27: tabella per il calcolo di  $V_{s30}$ .**

### **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW 3**



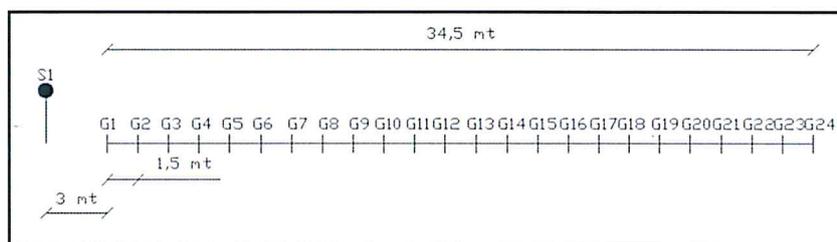
**FOTO 4: esecuzione del momento di energizzazione.**

## 7. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 4

Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il grafico di dispersione ed il software **Dinver** per l'elaborazione del profilo di  $V_{s30}$ .

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La **distanza intergeofonica** è stata stabilita in 1,50 metri, mentre lo **scoppio di energizzazione** è stato effettuato a 3,00 metri dal primo geofono, come mostrato di seguito in **Figura 28**.



**Fig. 28: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:

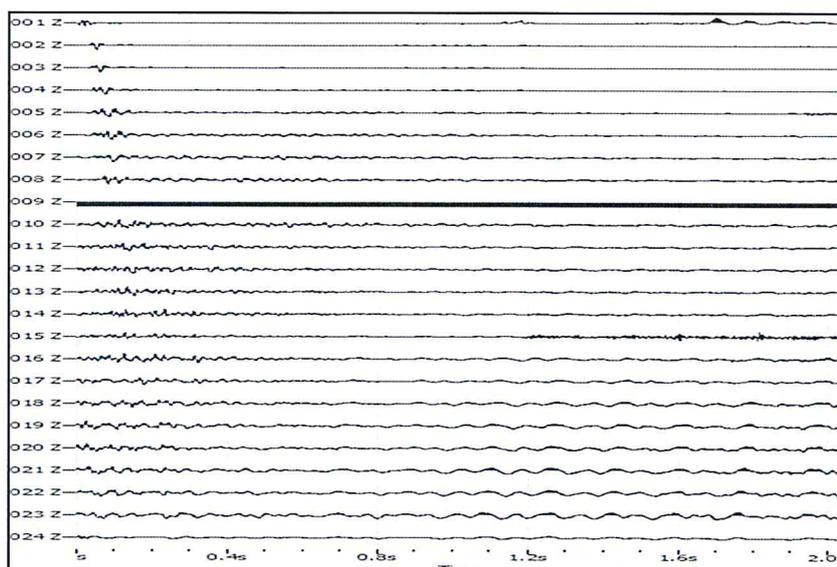
In **Fig. 29** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 30** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

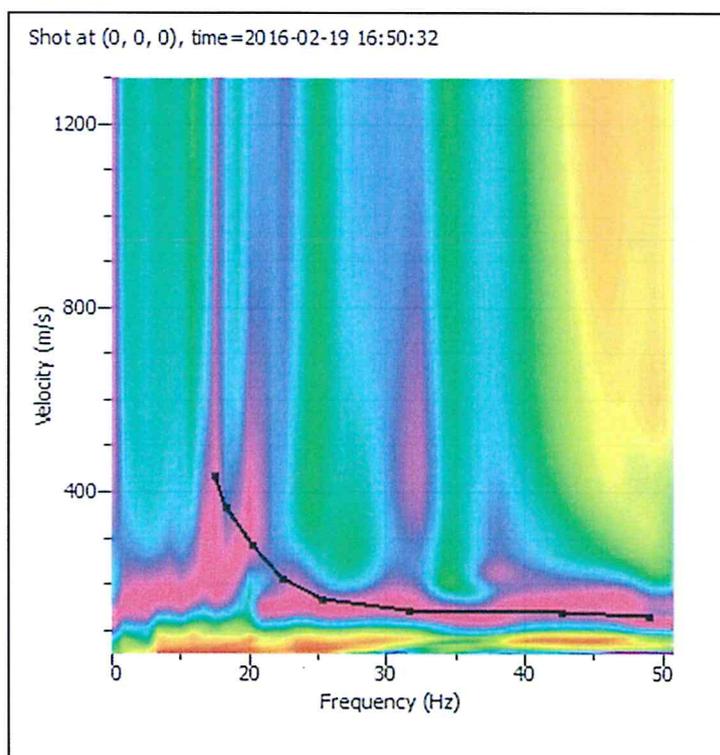
In **Fig. 31** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In **Fig. 32** è riportato il grafico mostrante i profili di  $V_{s30}$

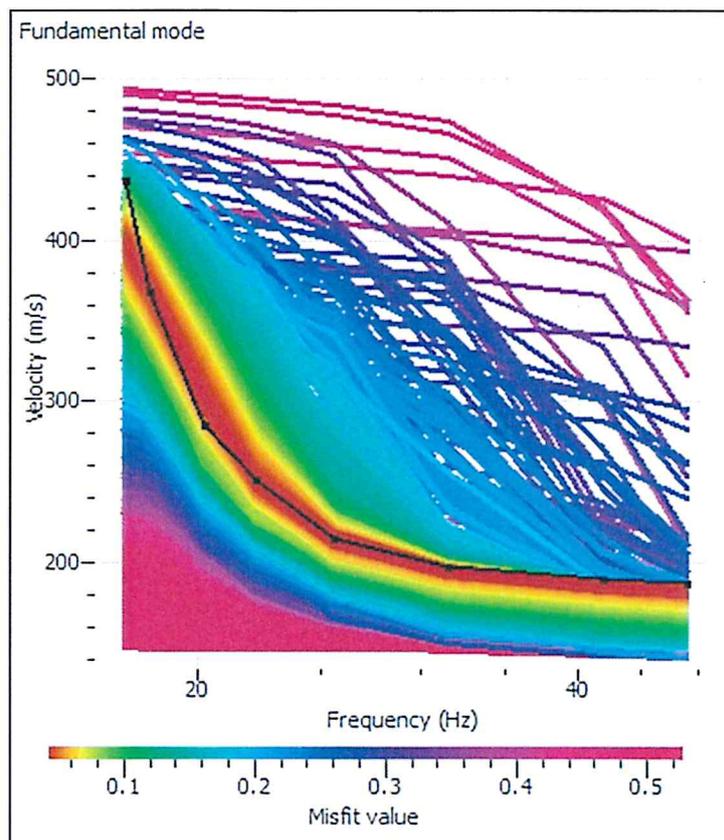
In **Fig. 33** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di  $V_{s30}$ .



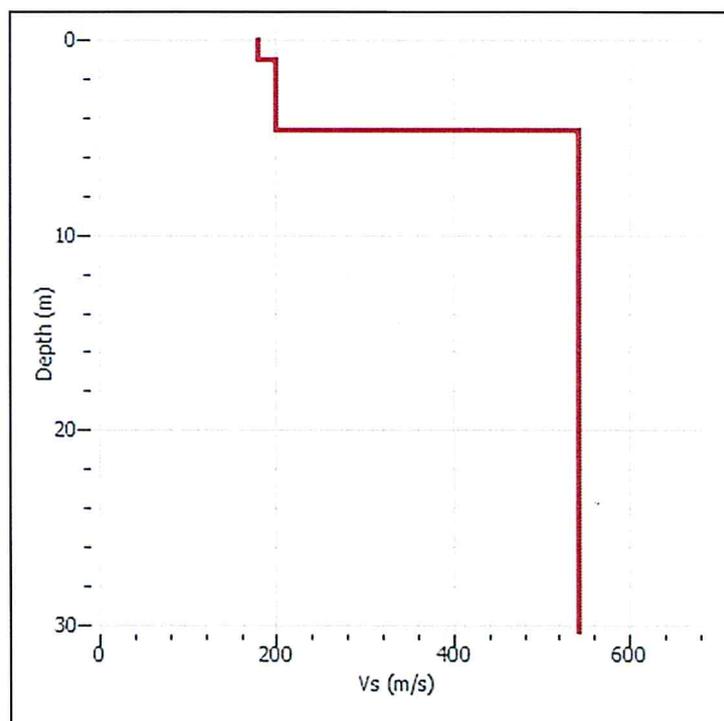
**Fig.29: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione.**



**Fig. 30: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale.**



**Fig. 31: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.**

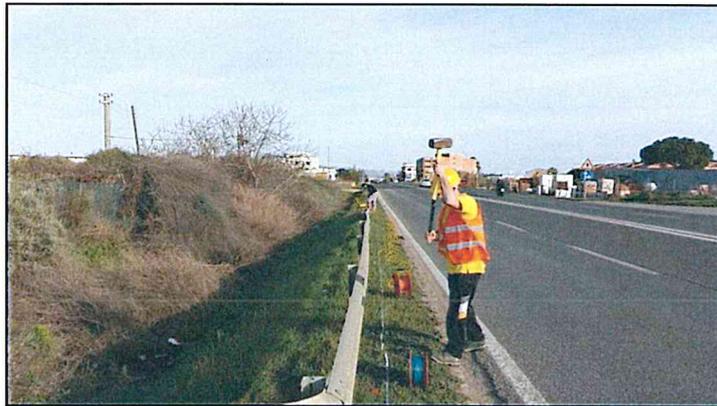


**Fig. 32: profili di  $V_{s30}$ .**

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	1	180	0.006
2	3.6	200	0.018
3	25.4	545	0.047
	30		
<b>Vs30 (m/s)</b>	<b>427.6</b>	Categoria Suolo: B	

**Fig. 33: tabella per il calcolo di Vs<sub>30</sub>.**

#### **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW 4**



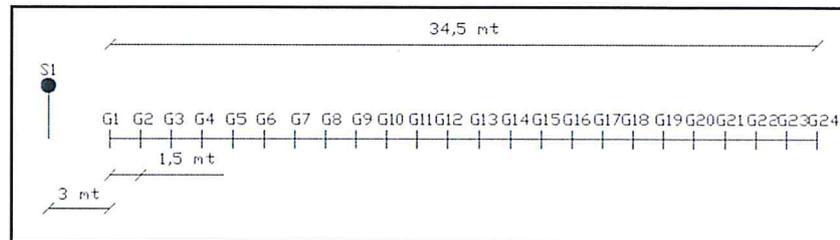
**FOTO 5: esecuzione del momento di energizzazione.**

### **8. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 5**

Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il grafico di dispersione ed il software **Dinver** per l'elaborazione del profilo di Vs<sub>30</sub>.

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La **distanza intergeofonica** è stata stabilita in 1,50 metri, mentre lo **scoppio di energizzazione** è stato effettuato a 3,00 metri dal primo geofono, come mostrato di seguito in **Figura 34**.



**Fig. 34: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno**

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:**

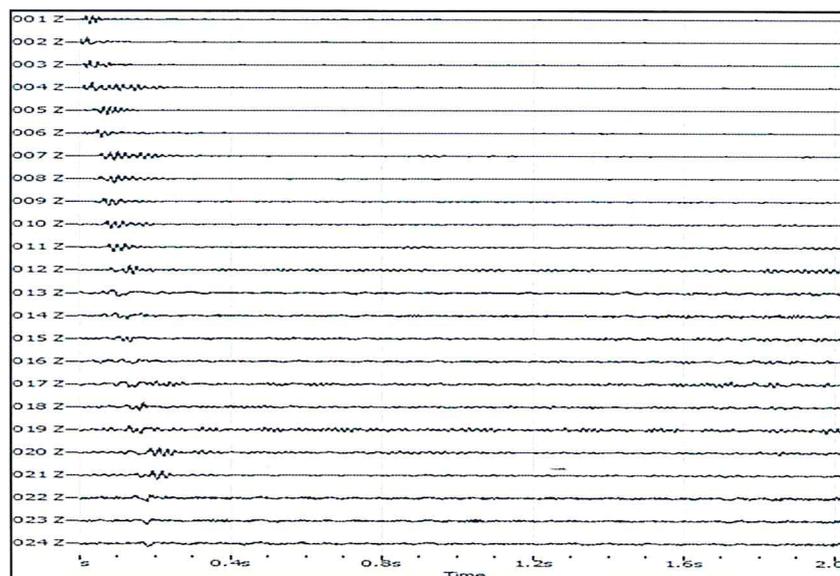
In **Fig. 35** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 36** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

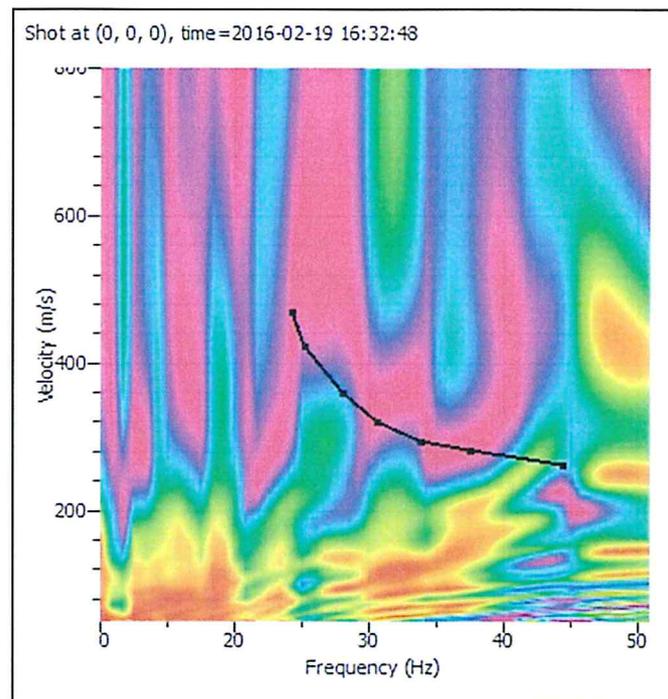
In **Fig. 37** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In **Fig. 38** è riportato il grafico mostrante i profili di  $V_{s30}$

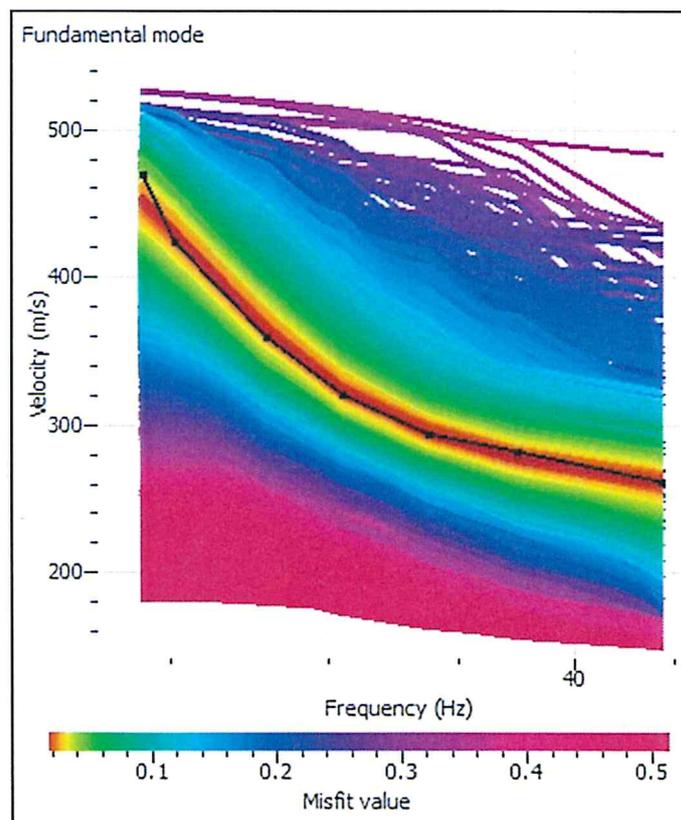
In **Fig. 39** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di  $V_{s30}$ .



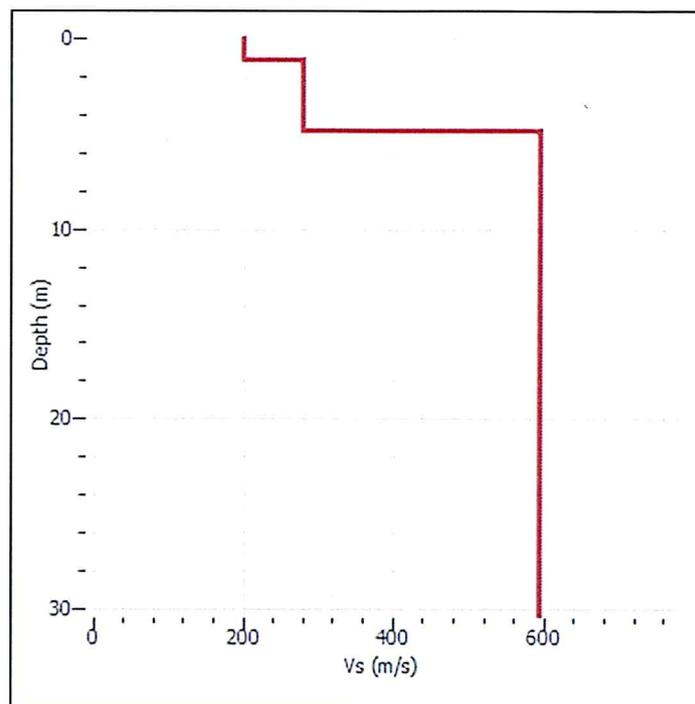
**Fig.35: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione.**



**Fig. 36: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale.**



**Fig. 37: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.**



**Fig. 38: profili di Vs<sub>30</sub>.**

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	1	200	0.005
2	3.8	275	0.014
3	25.2	595	0.042
	30		
<b>Vs<sub>30</sub> (m/s)</b>	<b>490.4</b>	Categoria Suolo: B	

**Fig. 39: tabella per il calcolo di Vs<sub>30</sub>.**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW 5**



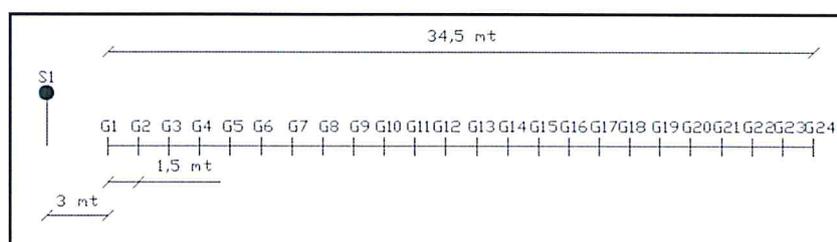
**FOTO 6: esecuzione del momento di energizzazione.**

## 9. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 6

Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il grafico di dispersione ed il software **Dinver** per l'elaborazione del profilo di  $V_{s30}$ .

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La **distanza intergeofonica** è stata stabilita in 1,50 metri, mentre lo **scoppio di energizzazione** è stato effettuato a 3,00 metri dal primo geofono, come mostrato di seguito in **Figura 40**.



**Fig. 40: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno.**

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:**

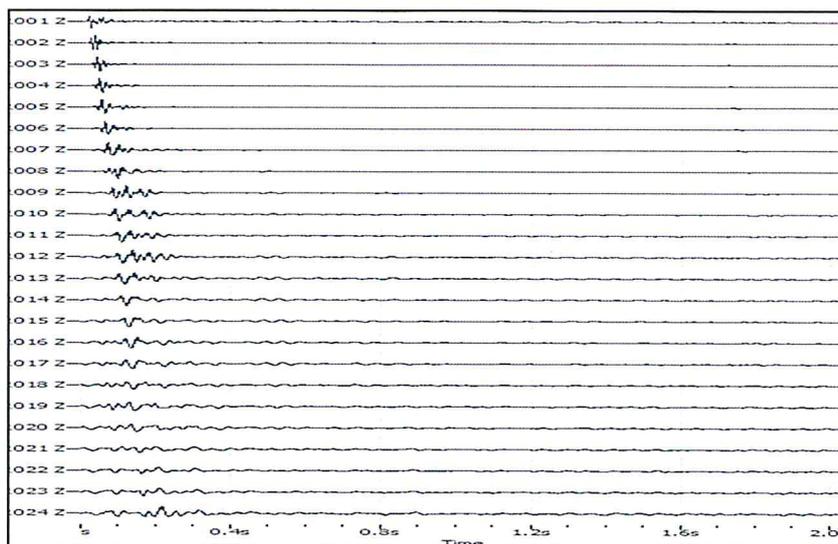
In **Fig. 41** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 42** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

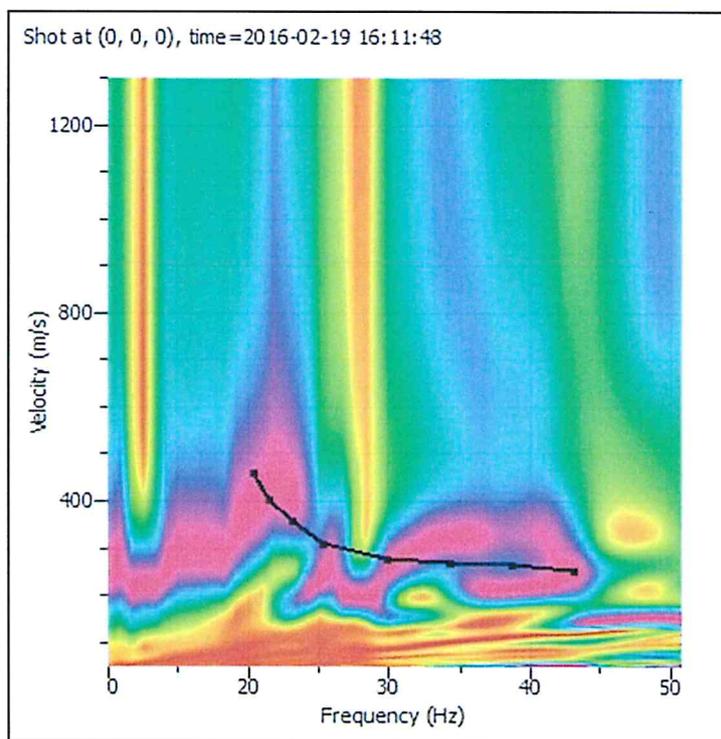
In **Fig. 43** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In **Fig. 44** è riportato il grafico mostrante i profili di  $V_{s30}$

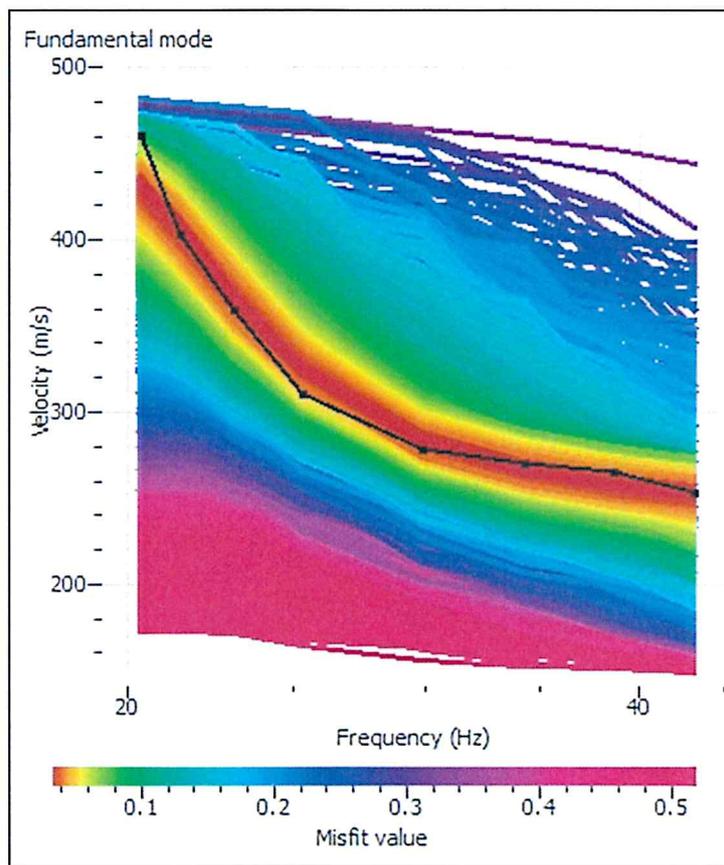
In **Fig. 45** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di  $V_{s30}$ .



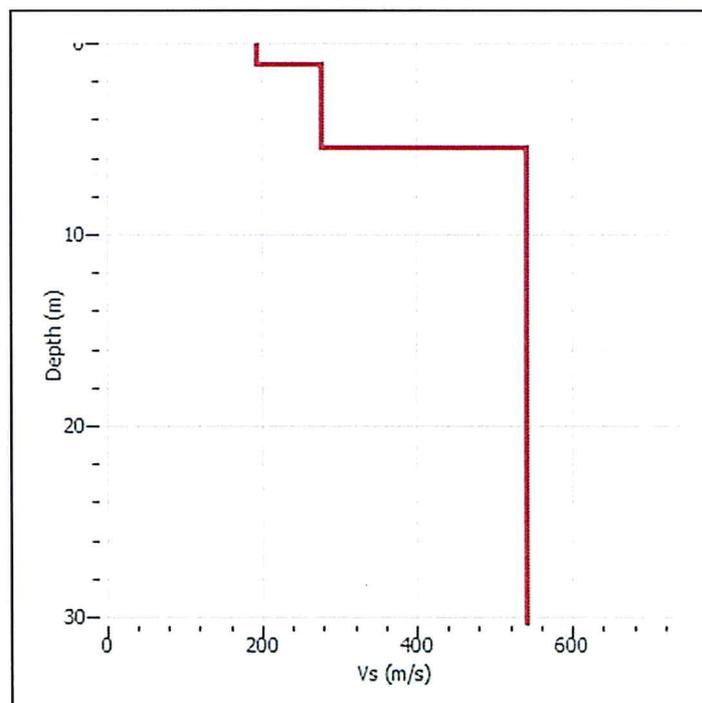
**Fig.41: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione.**



**Fig. 42: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale.**



**Fig. 43: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.**



**Fig. 44: profili di Vs<sub>30</sub>.**

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	1	195	0.005
2	4.5	280	0.016
3	24.5	545	0.045
	30		
<b>Vs30 (m/s)</b>	<b>453.5</b>	<b>Categoria Suolo: B</b>	

*Fig. 45: tabella per il calcolo di Vs<sub>30</sub>.*

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW 6



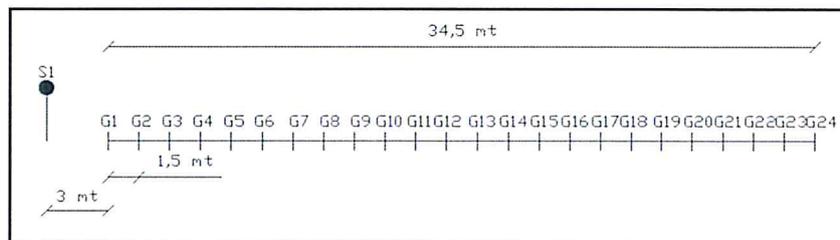
*FOTO 7: esecuzione del momento di energizzazione.*

## 10. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 7

Per ciò che riguarda l'**elaborazione dei dati** è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il **grafico di dispersione** ed il software **Dinver** per l'**elaborazione del profilo di Vs<sub>30</sub>**.

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La **distanza intergeofonica** è stata stabilita in 1,50 metri, mentre lo **scoppio di energizzazione** è stato effettuato a **3,00 metri dal primo geofono**, come mostrato di seguito in **Figura 46**.



**Fig. 46: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno**

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:**

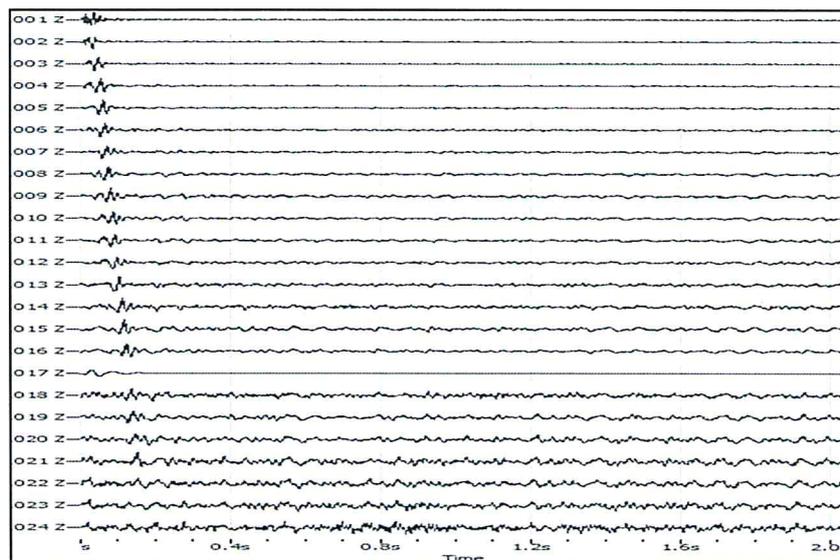
In **Fig. 47** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 48** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

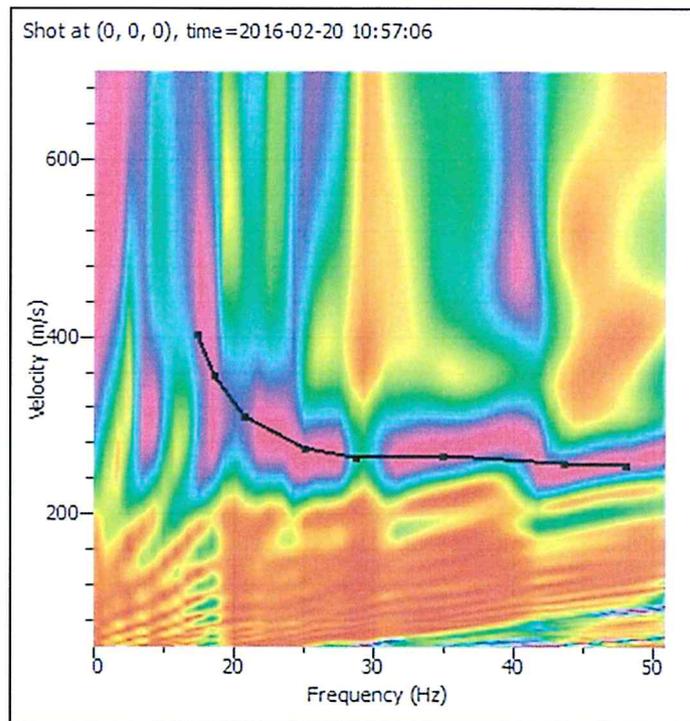
In **Fig. 49** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In **Fig. 50** è riportato il grafico mostrante i profili di  $V_{s30}$

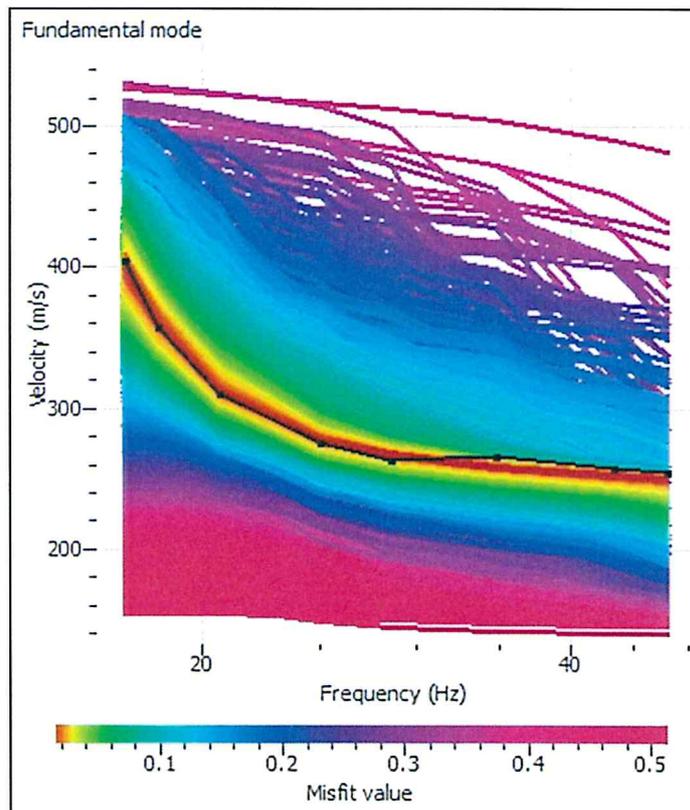
In **Fig. 51** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di  $V_{s30}$ .



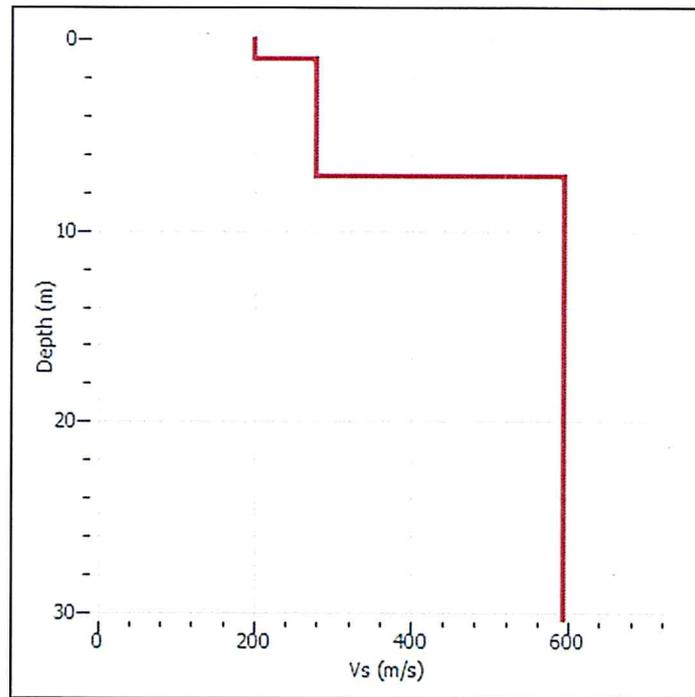
**Fig.47: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione.**



**Fig. 48: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale.**



**Fig. 49: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.**

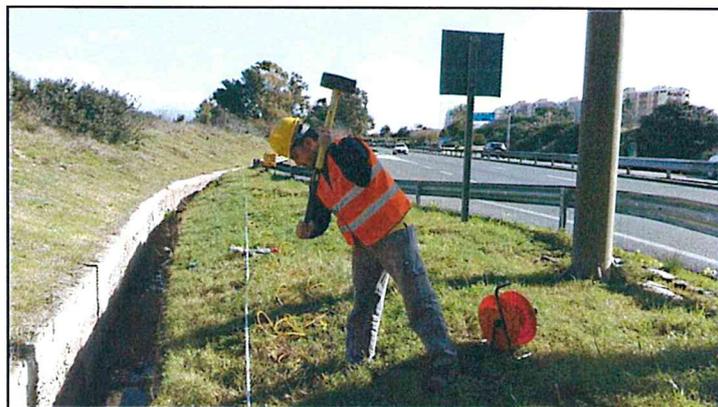


**Fig. 50: profili di Vs<sub>30</sub>.**

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	1	200	0.005
2	6	275	0.022
3	23	595	0.039
	30		
<b>Vs<sub>30</sub> (m/s)</b>	<b>458.2</b>	<b>Categoria Suolo: B</b>	

**Fig. 51: tabella per il calcolo di Vs<sub>30</sub>.**

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW 7**



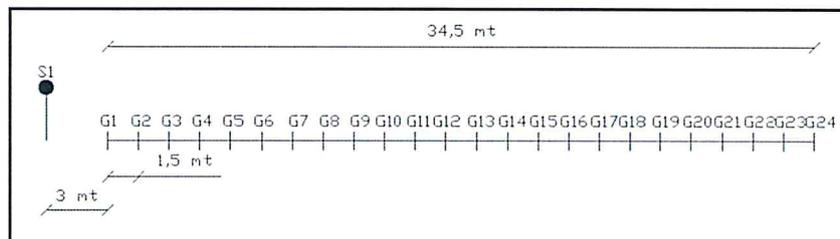
**FOTO 8: esecuzione del momento di energizzazione.**

## 11. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 8

Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il grafico di dispersione ed il software **Dinver** per l'elaborazione del profilo di  $V_{s30}$ .

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La distanza intergeofonica è stata stabilita in 1,50 metri, mentre lo scoppio di energizzazione è stato effettuato a 3,00 metri dal primo geofono, come mostrato di seguito in **Figura 52**.



**Fig. 52: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno**

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:**

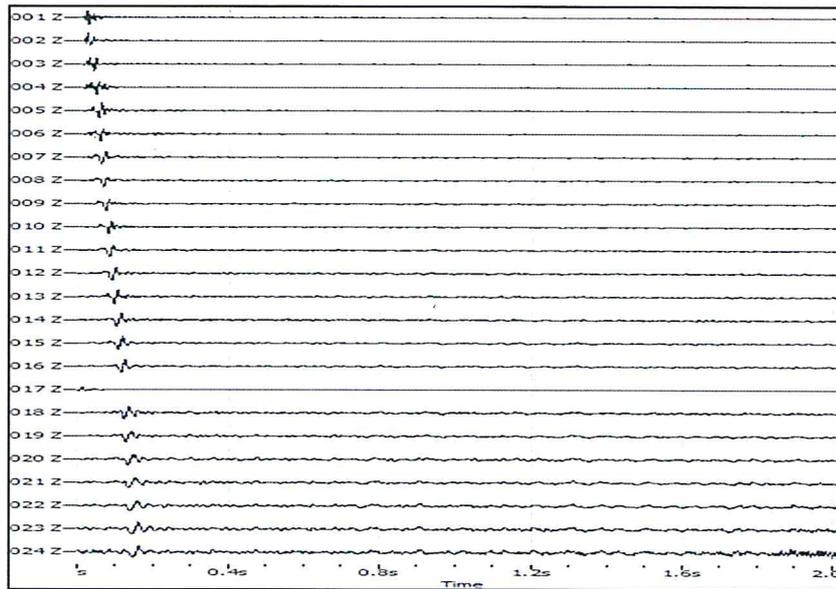
In **Fig. 53** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 54** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

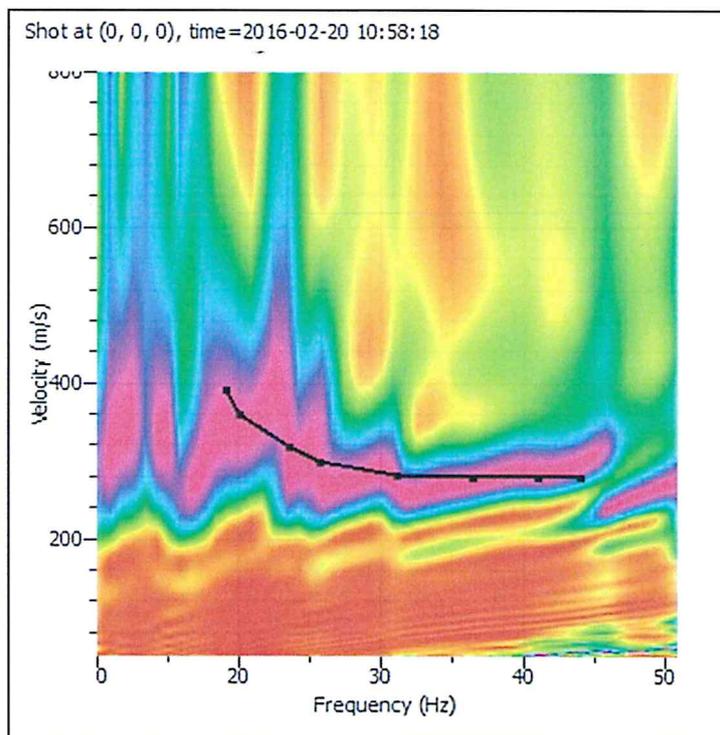
In **Fig. 55** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In **Fig. 56** è riportato il grafico mostrante i profili di  $V_{s30}$

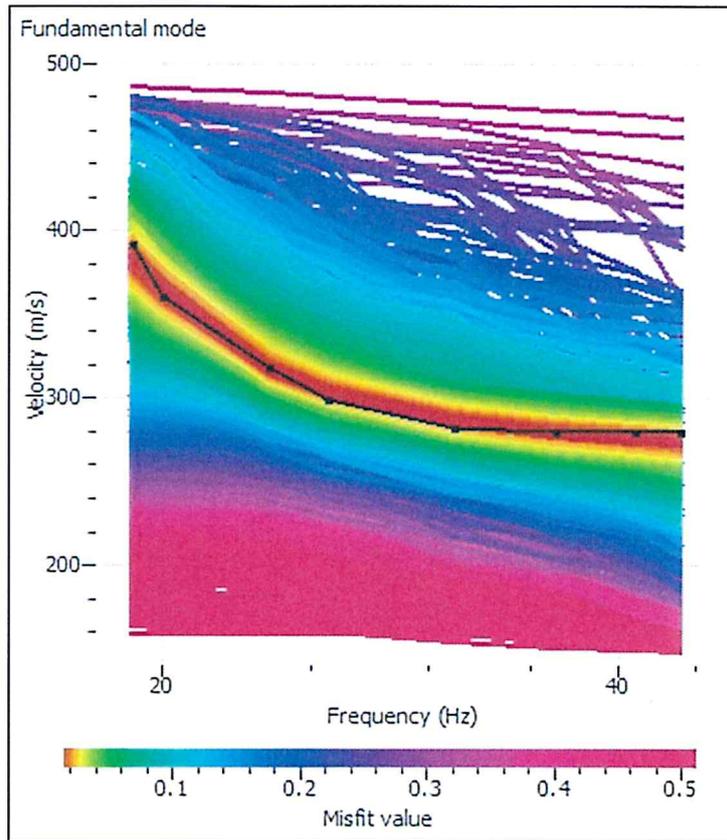
In **Fig. 57** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di  $V_{s30}$ .



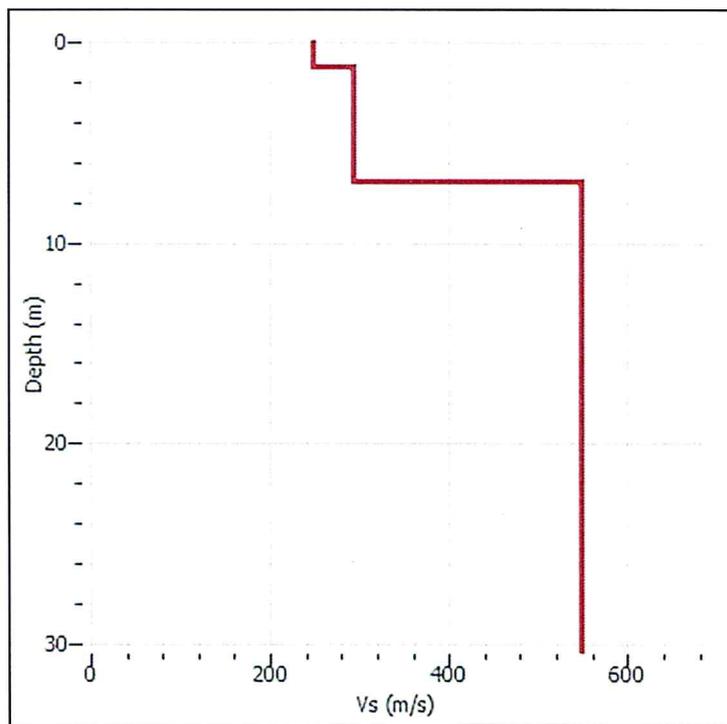
**Fig.53: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione.**



**Fig. 54: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale.**



**Fig. 55: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.**



**Fig. 56: profili di  $V_{s30}$ .**

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	h/Vs
1	1	245	0.004
2	5.9	285	0.021
3	23.1	550	0.042
	30		
<b>Vs30 (m/s)</b>	<b>449.2</b>	Categoria Suolo: B	

**Fig. 57: tabella per il calcolo di Vs<sub>30</sub>.**

### **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW 8**



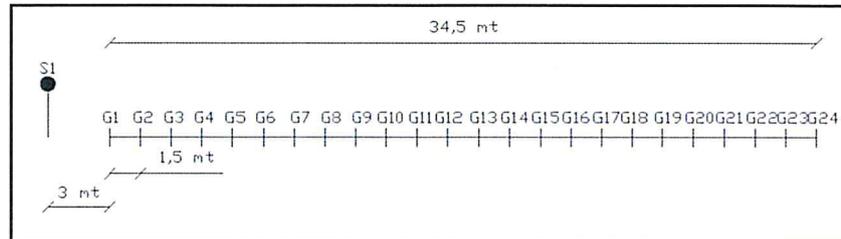
**FOTO 9: esecuzione del momento di energizzazione.**

## **12. RISULTATI DELLE PROSPEZIONI ESEGUITE – MASW 9**

Per ciò che riguarda l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software **Geopsy** per ottenere il grafico di dispersione ed il software **Dinver** per l'elaborazione del profilo di Vs<sub>30</sub>.

I sismogrammi sono stati acquisiti con campionatura pari a 1.000 campioni al secondo per un totale di 2 secondi di acquisizione.

La distanza intergeofonica è stata stabilita in 1,50 metri, mentre lo scoppio di energizzazione è stato effettuato a 3,00 metri dal primo geofono, come mostrato di seguito in **Figura 58**.



**Fig. 58: profilo sismico utilizzato e modalità di energizzazione del terreno**

**Di seguito si riportano i seguenti elaborati grafici riferiti alla stesa eseguita:**

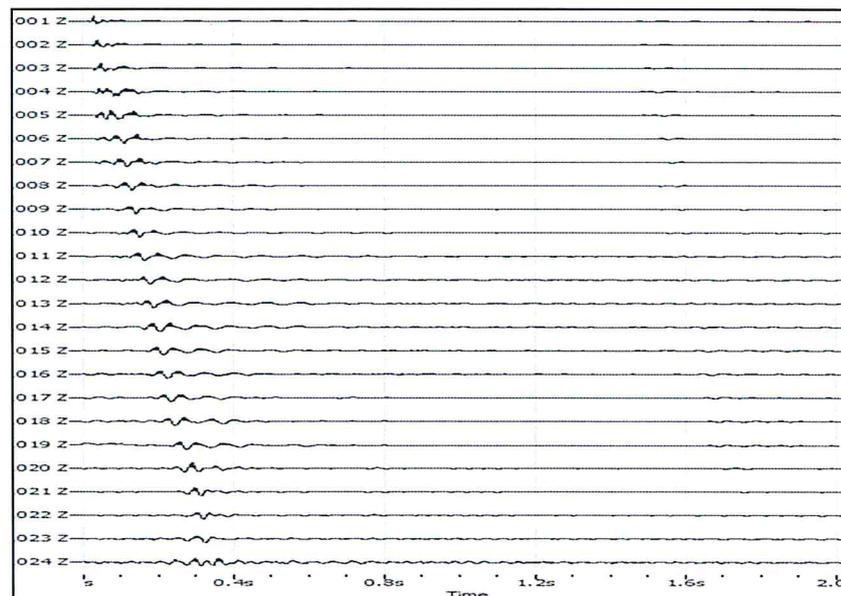
In **Fig. 59** è riportato il grafico mostrante i sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione;

In **Fig. 60** è riportato il grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale;

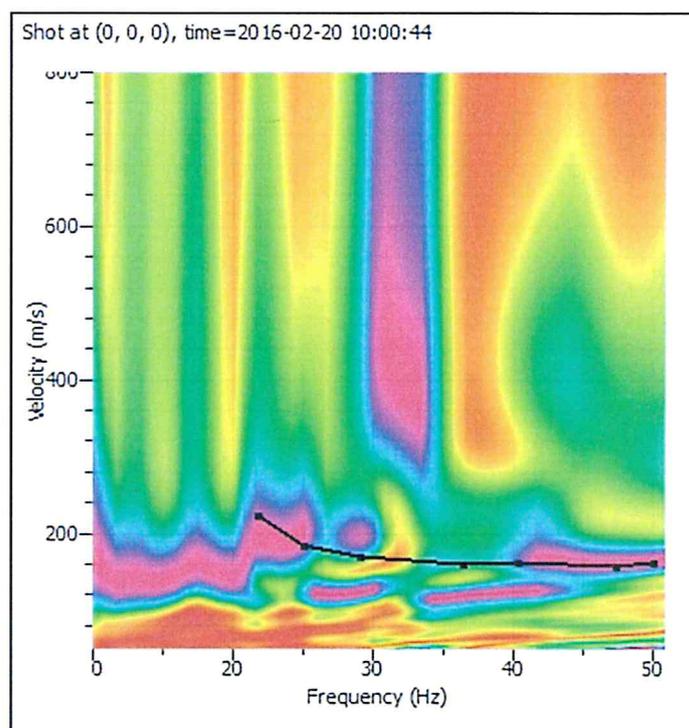
In **Fig. 61** è riportato il confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita;

In **Fig. 62** è riportato il grafico mostrante i profili di  $V_{s30}$

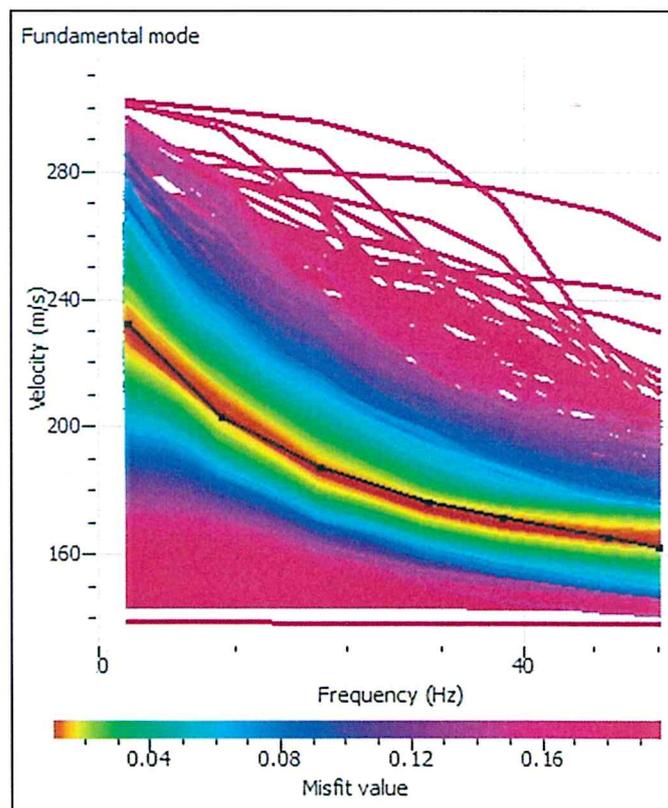
In **Fig. 63** è riportata la tabella utilizzata per il calcolo di  $V_{s30}$ .



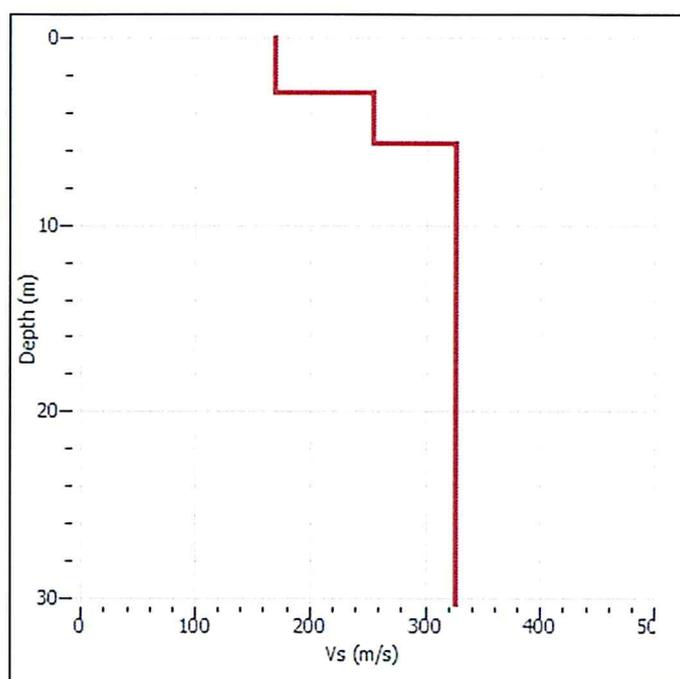
**Fig.59: sismogrammi acquisiti durante l'esecuzione della prospezione.**



**Fig. 60: grafico di dispersione con la curva del modo fondamentale.**



**Fig. 61: confronto tra la curva teorica e la curva sperimentale acquisita.**

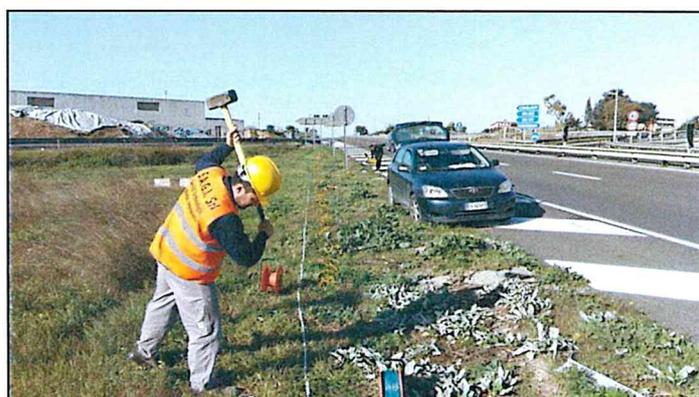


**Fig. 62: profili di  $V_{s30}$ .**

Sismostrato	Spessore (m)	$V_s$ (m/s)	$h/V_s$
1	3	175	0.017
2	2.5	260	0.010
3	24.5	340	0.072
	30		
<b><math>V_{s30}</math> (m/s)</b>	<b>303.6</b>	<b>Categoria Suolo: C</b>	

**Fig. 63: tabella per il calcolo di  $V_{s30}$ .**

### **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA RELATIVA ALLA PROVA MASW 9**



**FOTO 10: esecuzione del momento di energizzazione.**

### 13. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO DI INDAGINE

Riguardo alla classificazione sismica dei suoli di fondazione *in situ* prevista dalla Normativa in vigore (D.M. 14 Gennaio 2008, Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni), **vengono identificate n° 5 classi (denominate rispettivamente A, B, C, D e E) ad ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico.**

Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 m.
B	<u>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s30}</math>, compresi fra 360 m/s e 800 m/s (<math>N_{spt,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa o <math>c_{u30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</u>
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi fra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt,30} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati oppure di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30

	metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ( $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, giacenti su un substrato di riferimento ( $V_{s30} > 800$ m/s).

Per  $V_{s30}$  s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione.

Alle cinque categorie descritte se ne aggiungono altre due per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare.

Classe	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (o $10 < c_{u30} < 20$ ), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria non rientrante nelle classi precedenti.

Per il suolo di fondazione della zona di studio il parametro  $Vs30$  è caratterizzato dalle seguenti velocità rilevate:

- $Vs30$  MASW 1 pari a **506,8 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt**  
**= suolo categoria B,**
- $Vs30$  MASW 2 pari a **384,8 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt**  
**= suolo categoria B,**
- $Vs30$  MASW 3 pari a **396,7 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt**  
**= suolo categoria B,**

- Vs30 MASW 4 pari a **427,6 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt**  
**= suolo categoria B,**
- Vs30 MASW 5 pari a **490,4 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt**  
**= suolo categoria B,**
- Vs30 MASW 6 pari a **453,5 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt**  
**= suolo categoria B,**
- Vs30 MASW 7 pari a **458,2 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt**  
**= suolo categoria B,**
- Vs30 MASW 8 pari a **449,2 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt**  
**= suolo categoria B,**
- Vs30 MASW 9 pari a **303,6 m/s per l'intervallo di sottosuolo calcolato dal p.c. a -30,00 mt**  
**= suolo categoria C.**

Calcolato, quindi, con le prospezioni geofisiche **MASW** i valori di **V<sub>s30</sub>** validi per detto intervallo è stato possibile classificare il terreno del sito di indagine:

- **categoria di tipo B:** tale sottosuolo è definito come “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$ , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ( $N_{spt,30} > 50$  nei terreni a grana grossa o  $cu_{30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)”;
- **categoria di tipo C:** tale sottosuolo è definito come “Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi fra 180 e 360 m/s ( $15 < N_{spt,30} < 50$  nei terreni a grana grossa,  $70 < cu_{30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)”.



Dott.geol.Vincenzo Cortese

## **ALLEGATO 1**

### **UBICAZIONE INDAGINI**

