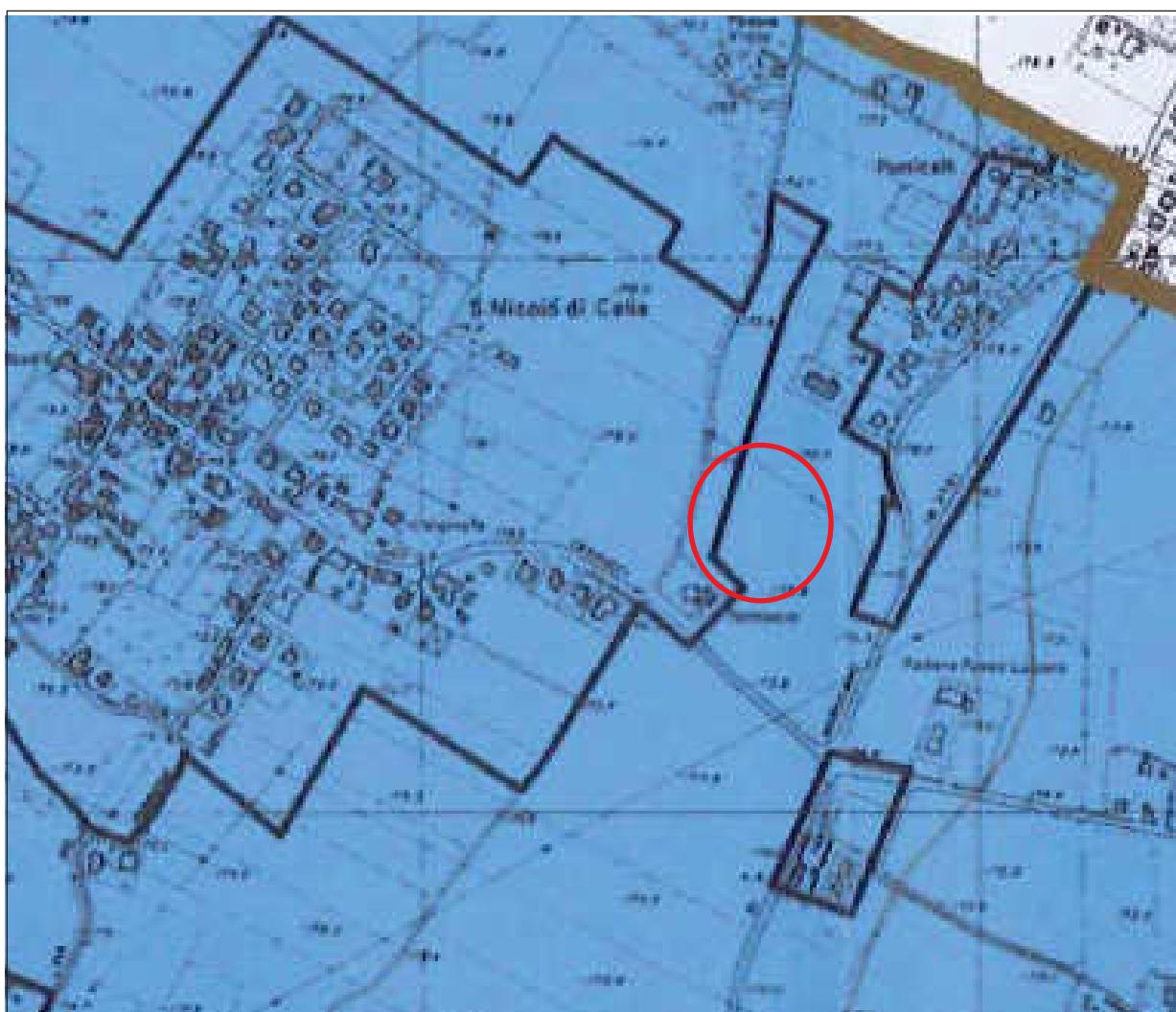


# ESTRATTO DALLA CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA TAV GEO 04 NORD

NON IN SCALA



Comune di Deruta  
Località S. Nicolò di Celle

○ Sito progettuale

#### Elementi fissari

- > 10 - Zone stabili noncoltivati di spongiosissimi fiumi - Zone di risulta in fondo con diversificazione molto elevata
- > 11 - Zone stabili noncoltivati di spongiosissimi fiumi - Zone di risulta con il fiume principale con parate relativamente
- > 12 - Zone stabili noncoltivati di spongiosissimi fiumi - Zone di risulta effette
- > Zone di acquazzone
- > Zone di concrezione

#### Elementi instabili

- 1 - Zone instabili di insorgente - Area caratterizzata da movimenti fiumei attivi
- 2 - Zone instabili di insorgente - Area caratterizzata da movimenti fiumei apparenti
- 3 - Zone instabili di insorgente - Area potenzialmente fiume in regresso o risalto di fiume
- 4 - Zone instabili di insorgente - Area sui fiumi di formazione particolarmente instabile - Pienze poco estese, terreni gravosi (terre rosse, laterite, argille)
- 5 - Zone instabili di insorgente - Area interessata da fenomeni idrogeologici e fiume
- 6 - Zone instabili di spongiosissimi fiumi - Area in fondovalle con depositi alluvionali
- 7 - Zone instabili di spongiosissimi fiumi - Area periferica di fondo di valle e zone di transizione
- 10 - Zone stabili

#### Elementi scavi

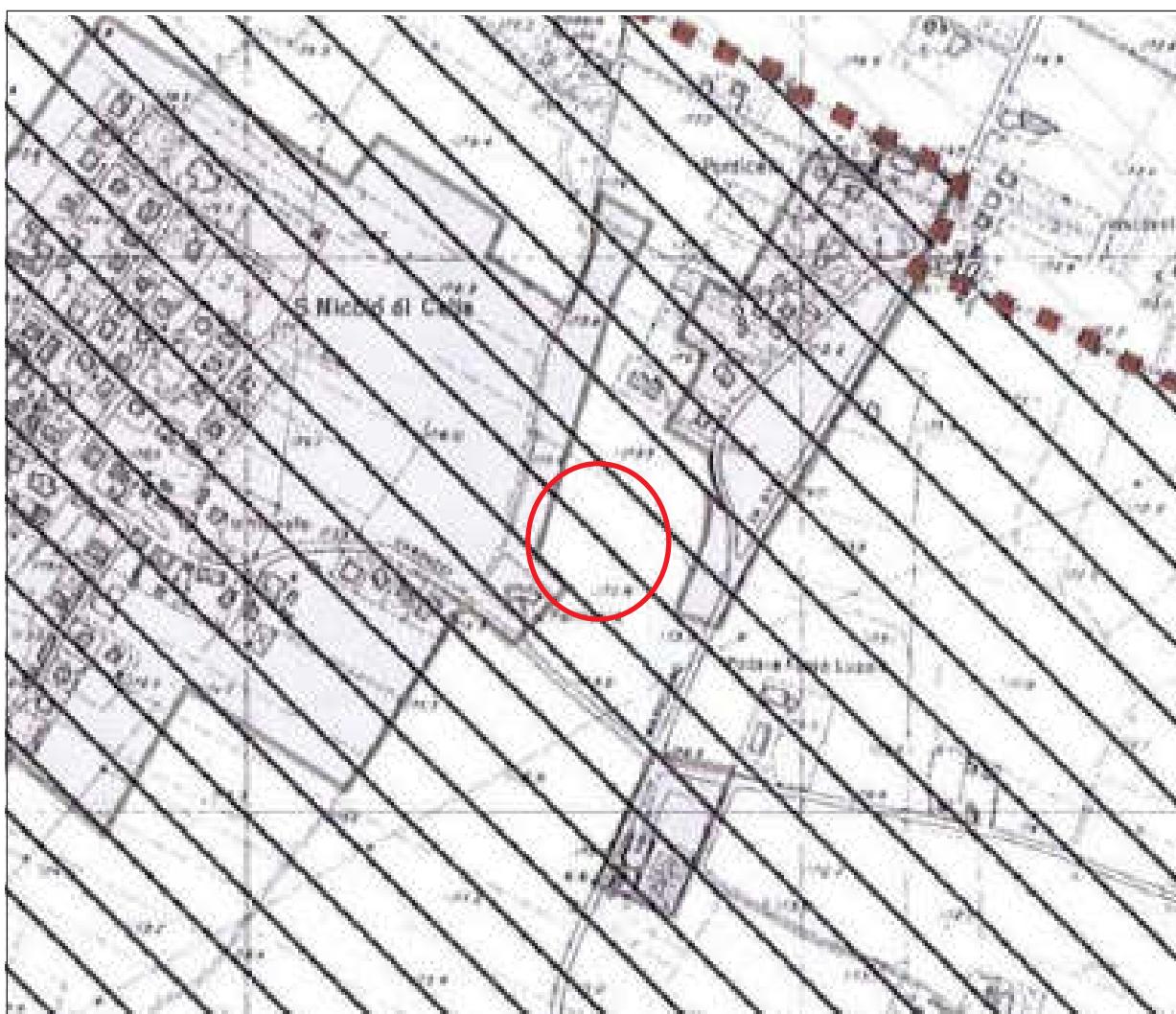
- a - Zone stabili noncoltivati di spongiosissimi fiumi - Zone con risulta non ricoperte da altre zone
- b - Zone stabili paurose di spongiosissimi fiumi - Zone del risulta sotto direttamente con risulta scarsa
- 10 - Zone stabili

Continua concrezione

Movimento

ESTRATTO DALLA CARTA ZONING GEOLOGICO TECNICO  
TAV GEO 05 NORD

NON IN SCALA



Comune di Deruta  
Località S. Nicolò di Celle

○ Sito progettuale

AREE AD ALTA PERICOLOSIÀ GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA ED IDRUAULICA

- Aree a Rischio frana elevato R3 (fonte PAG)
- Inventario movimenti franosi attivi e quiescenti
  - Fasce A ( $T_r=50$ )
  - Fasce B ( $T_r<200$ )
- Zone di risulta dei punti di captazione idropotabile

AREE A MEDIA PERICOLOSIÀ GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA ED IDRUAULICA

- Inventario movimenti franosi instabili
- Aree a rischio frana medio R2 (fonte PAG)
- Aree esposte a rischio frana o in erosione
- Acquiferi artesiani di interesse regionale (fonte PTA)

AREE A BASSA PERICOLOSIÀ GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA ED IDRUAULICA

- Fasce C ( $T_r>500$ )
- Macchie
- Confine comunale

# CARTA DI ALLAGABILITA' FOSSO NON DENOMINATO - S. NICOLO' DI CELLE



COMUNE di DERUTA  
Provincia di Perugia

**REPORT INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW - MASW2D - HVSR**

LOCALITÀ: San Nicolò di Celle.

PROPRIETÀ: ARMET s.r.l.

Deruta, 21 luglio 2023

IL TECNICO.

(Dott. Geol. Maurizio Battistoni)



## **1. PREMESSA**

Su incarico del sig. Gambini, è stata eseguita una prospezione sismica M.A.S.W. , una di tipo M.A.S.W 2D (Multichannel Analysis of Surface Waves) ed una di tipo H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) in località San Nicolò di Celle, nel comune di Deruta in data 19/07/2023.

Lo scopo di queste indagini è la caratterizzazione sismica del sottosuolo in accordo alla normativa vigente (D.M. 17.01.2018).

Si allegano i seguenti elaborati:

- Stralcio Ortofoto con ubicazione indagini sismiche;
- Sismogramma di campagna (M.A.S.W. – M.A.S.W 2D);
- Spettro osservato con curva di dispersione piccata (M.A.S.W. – M.A.S.W 2D);
- Profilo verticale Vs identificato (M.A.S.W. – M.A.S.W 2D);
- Grafico rapporto H/V – Frequenza (H.V.S.R.);
- Profilo verticale Vs – Vp identificato (H.V.S.R.).

## **2. INDAGINE GEOFISICA MASW – DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Le principali proprietà utilizzate sono le seguenti: la maggior parte dell'energia generata sia in compressione che di taglio è convertita in onde di superficie (circa il 90%); la propagazione delle onde di superficie è influenzata in misura minore dalle onde P e dalla densità del mezzo, mentre è funzione delle Vs; ma la proprietà fondamentale delle onde superficiali è costituita dal fenomeno della dispersione nei mezzi stratificati.

L'indagine è stata svolta mediante l'utilizzo di un sismografo PASI con geofoni da 4,5 Hz marca PASI. Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg, battente su un piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 4 m dal primo geofono e 4 m dall'ultimo geofono (tiro coniugato).

La spaziatura tra i geofoni è stata di 2 metri per 24 canali per una lunghezza totale dello stendimento geofonico di 46 metri..

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (Easy Masw - Geostru ) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.

## **2. INDAGINE GEOFISICA MASW 2D – DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

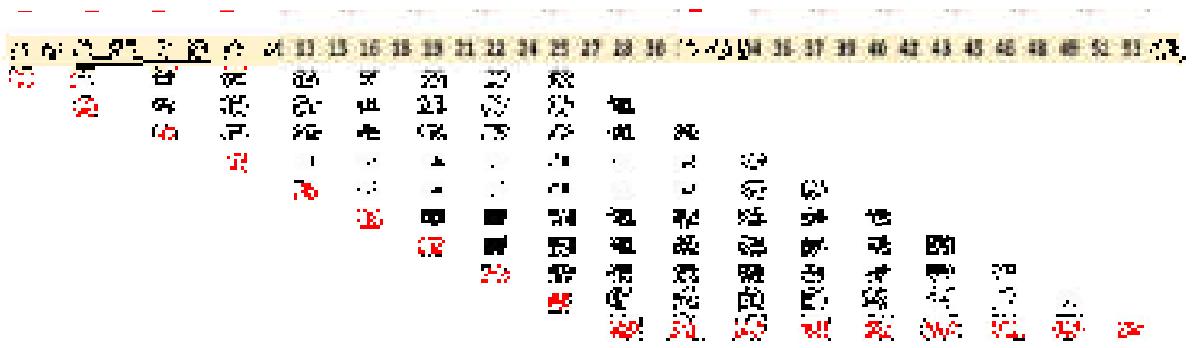
La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh.

Le principali proprietà utilizzate sono le seguenti: la maggior parte dell'energia generata sia in compressione che di taglio è convertita in onde di superficie (circa il 90%); la propagazione delle onde di superficie è influenzata in misura minore dalle onde P e dalla densità del mezzo, mentre è funzione delle Vs; ma la proprietà fondamentale delle onde superficiali è costituita dal fenomeno della dispersione nei mezzi stratificati.

L'indagine è stata svolta mediante l'utilizzo di un sismografo DO.RE.MI.a 16 bit con geofoni da 4,5 Hz marca Sara instruments. Nell'esecuzione della prova MASW 2D attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg, battente su un piattello in polizene.

La spaziatura tra i geofoni è stata di 3 metri per 8 canali, l'acquisizione secondo il metodo walk away prevede shot susseguenti per tutto lo stendimento, il primo geofono viene spostato all'ultimo posto, ad ogni spostamento corrisponde uno shot. Lo spostamento geofonico termina quando sono stati spostati una volta tutti i geofoni. La lunghezza totale dello stendimento con il metodo walk away è stata di 53 metri. Sono state eseguite 18 energizzazioni S1 – S18 (vedi fig. A)

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SeisImagerSW) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.



*Fig. A : stendimento sismico di tipo M.A.S.W. 2D acquisizione walk-away*

Il grafico in fig.A mostra la disposizione geofonica (G1-G8) e le energizzazioni (S1 – S18) che hanno costituito la base sismica per l'analisi MASW 2D metodo walk away.



Foto n.1: stendimento MASW 2D

### **3. INDAGINE GEOFISICA HVSR – DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

Il rilievo dei microtremori con stazione singola (HVSR) consiste nella misurazione del “noise” o rumore ambientale, attraverso un apparato di registrazione dotato di n.3 velocimetri (o accelerometri) disposti nelle tre direzioni dello spazio, ed intesi a determinare la forma dello spettro risultante dalla struttura del sottosuolo. L’analisi del segnale viene effettuata rapportando lo spettro verticale a quello medio orizzontale risultante dalla registrazione, variabili in relazione alla anisotropia del mezzo attraversato e dei gradienti di impedenza presenti nel sottosuolo.

$$\text{Rapporto di impedenza sismica } RI = \left( \frac{\rho_s * v_s}{\rho_b * v_b} \right)$$

Dove  $\rho$  è la densità del terreno e  $V$  è la velocità delle onde di Rayleigh.

Il valore massimo del rapporto HVSR risulta relazionato allo spessore  $H$  dei sedimenti sottesi dalle superfici qualificate da rapporti di impedenza superiori a 25%; le condizioni occorrono in corrispondenza di frequenze di risonanza caratteristiche del sito. L’assenza di gradienti di impedenza sismica non permettono risoluzioni adeguate delle geometrie del sottosuolo.

Disponendo della lettura del valore di frequenza per la quale risulta massimo il rapporto  $H/V$  delle componenti spettrali del moto, valore che corrisponde alla **frequenza di sito ( $f_0$ )**, la determinazione delle incognite relative alla geometria del sottosuolo ( $V_s$  e  $H$ ) necessita di informazioni ulteriori che devono essere acquisite attraverso differenti prospezioni o dati stratigrafici altrimenti noti nell’area (es.: indagini sismiche tipo M.A.S.W.).

L’indagine è stata svolta mediante l’utilizzo di un digitalizzatore sismico 3 canali 24 bit versione SS-45. Nell’esecuzione della prova HVSR si è registrato per un tempo di 30 min., lo strumento è stato posizionato ad una distanza sufficiente da edifici, alberi o strutture in elevazione, per evitare risentimenti di risonanze non dipendenti dalle geometrie di sottosuolo, è stato verificato la presenza di rumore ambientale anche a basse frequenze (tipo mareggiate / tempo perturbato) e l’assenza di sorgenti dominanti di rumore o sorgenti di alta densità (quali impianti industriali in attività prossima al sito di rilievo).

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (Geopsy) per la determinazione della frequenza di sito e attraverso dati ricavati dall’indagine M.A.S.W. anche la sismostratigrafia del sottosuolo.



Foto n.2 : stazione sismica di tipo H.V.S.R.

#### 4. ELABORAZIONE DATI

I dati acquisiti dall'indagine M.A.S.W. sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di quest'ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Le fasi di elaborazione eseguite sono:

1. Caricamento sismogrammi ;
2. Calcolo degli spettri di velocità Frequenza Hz – Velocità fase m/sec ;
3. Modellazione diretta delle curve di dispersione del modo fondamentale mediante l'elaborazione di vari modelli Velocità / Spessori via via più soddisfacenti;
4. Piccaggio delle curve di dispersione ottimizzate;
5. Inversione delle curve di dispersione;
6. Modello finale della variazione delle Velocità  $V_s$  con la profondità .

I dati acquisiti dalle indagini M.A.S.W. 2D (n.18 shot corrispondenti a 18 verticali M.A.S.W. 1D) sono state elaborate singolarmente mediante software SeisImager (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di quest'ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) di ogni singola verticale. Successivamente, le elaborazioni delle singole M.A.S.W. sono state unite nel software Surfer per creare un sezione 2D sismostratigrafica in onde  $V_s$ .

Le fasi di elaborazione eseguite sono:

1. Caricamento sismogrammi ;
2. Calcolo degli spettri di velocità Frequenza Hz – Velocità fase m/sec di ogni singola M.A.S.W. ;
3. Modellazione diretta delle curve di dispersione del modo fondamentale mediante l'elaborazione di vari modelli Velocità / Spessori via via più soddisfacenti;
4. Piccaggio delle curve di dispersione ottimizzate, per ogni singola M.A.S.W. ;
5. Inversione delle curve di dispersione;
6. Modello finale della variazione delle Velocità Vs con la profondità di ogni singola M.A.S.W. ;
7. Unione di ogni singola verticale elaborata tramite software Surfer .

I dati acquisiti dall'indagine H.V.S.R. sono stati elaborati (analisi del segnale attraverso la definizione delle finestre di calcolo, del range di frequenza) per ottenere la frequenza di sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

Le fasi di elaborazione eseguite sono:

1. Il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine di 30 min.;
2. La registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche secondo ciascuno;
3. Per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale dello stesso nelle sue tre componenti;
4. Vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

La sovrapposizione degli spettri sismici acquisiti (fig.4) mostra una andamento con un picco relativo alla frequenza di 0,82 Hz ovvero il valore corrisponde alla frequenza di sito.

## 5. INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

Le indagini sismiche sono state interpretate singolarmente e correlate insieme prendendo le caratteristiche principali di ciascun metodo (MASW precisione strati

superficiali, HVSR prospezioni profonde) e ottenendo una sismostratigrafia fino a buone profondità.

Il calcolo del Vs<sub>30</sub> è stato ottenuto, come da normativa (D.M. 14/01/2008), dalla relazione:

$$Vs = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{Hi}{Vi}}$$

dove H= 30 metri e Hi e Vi indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato i- esimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri di profondità.

### Risultati indagine MASW

N. STRATO	VELOCITA' Vs (m/sec)	VELOCITA' Vp (m/sec)	Mod. deform. Taglio – G0 (Mpa)	Mod. Edometrico – Ed (Mpa)	Mod. di Young – Ey (Mpa)	PROFONDITA' H (metri)
1	140	262	35,45	124,08	92,17	1,0
2	273	530	134,26	507,20	354,45	3,2
3	399	832	287,71	1246,75	776,82	12,5
4	450	962	364,50	1666,29	991,44	Da 12,5 mt in poi

$$Vs_{30} = 388 \text{ m/sec}$$

### Risultati indagine MASW2D verticale a 7 mt

N. STRATO	VELOCITA' Vs (m/sec)	PROFONDITA' H (metri)
1	213	1.6
2	342	3.7
3	517	6.2
4	503	9.1
5	491	12.5
6	474	16.2
7	468	20.4
8	461	25
9	470	Da 25 mt in poi

$$Vs_{30} = 437 \text{ m/sec}$$

### Risultati indagine MASW2D verticale a 28 mt

N. STRATO	VELOCITA' Vs (m/sec)	PROFONDITA' H (metri)
1	213	1.6
2	382	3.7
3	397	6.2
4	496	9.1
5	438	12.5
6	443	16.2
7	458	20.4
8	453	25
9	463	Da 25 mt in poi

$$Vs_{30} = 420 \text{ m/sec}$$

### Risultati indagine MASW2D verticale a 43 mt

N. STRATO	VELOCITA' Vs (m/sec)	PROFONDITA' H (metri)
1	230	1.6
2	303	3.7
3	480	6.2
4	480	9.1
5	438	12.5
6	480	16.2
7	480	20.4
8	480	25
9	480	Da 25 mt in poi

$$Vs_{30} = 432 \text{ m/sec}$$

## Risultati indagine HVSR

N. STRATO	VELOCITA' Vs (m/sec)	VELOCITA' Vp (m/sec)	DENSITA' (t/mc)	PROFONDITA' H (metri)
1	196	313	1802	0,6
2	350	798	1818	3,4
3	360	969	1874	11,3
4	375	1054	1911	42,7
5	639	1149	2135	195
6	1291	2137	2156	Da 195 in poi

$$Vs_{30} = 362 \text{ m/sec}$$

Alla luce dei risultati sopra citati, in base alla normativa vigente (D.M. 17/01/2018) si può classificare il sito come segue:

Prospezione sismica	V <sub>Seq</sub> (m/sec)	Categoria di sottosuolo di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
MASW	388 - 437	B

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

Prospezione sismica	V <sub>Seq</sub> (m/sec)	Categoria di sottosuolo di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
HVSR	362	B

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

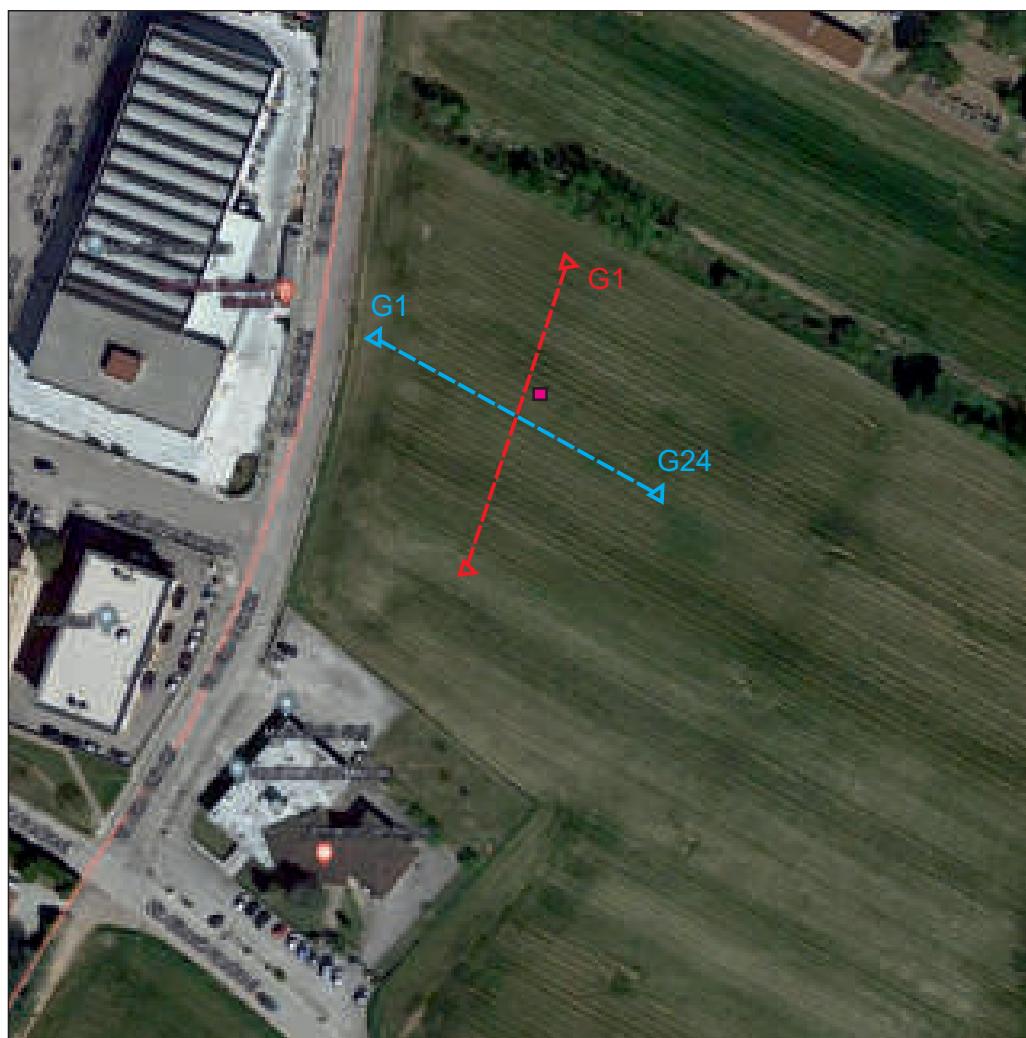
Deruta, li 21 luglio 2023

IL TECNICO.  
(Dott. Geol. Maurizio Battistoni)



# STRALCIO ORTOFOTO CON UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE

Non in scala



→ Stendimento sismico  
di tipo M.A.S.W. 2D

■ Indagine sismica  
di tipo H.V.S.R.

→ Stendimento sismico  
di tipo M.A.S.W.

# STENDIMENTO M.A.S.W 2D ACQUISIZIONE WALK AWAY

## FIG. 1

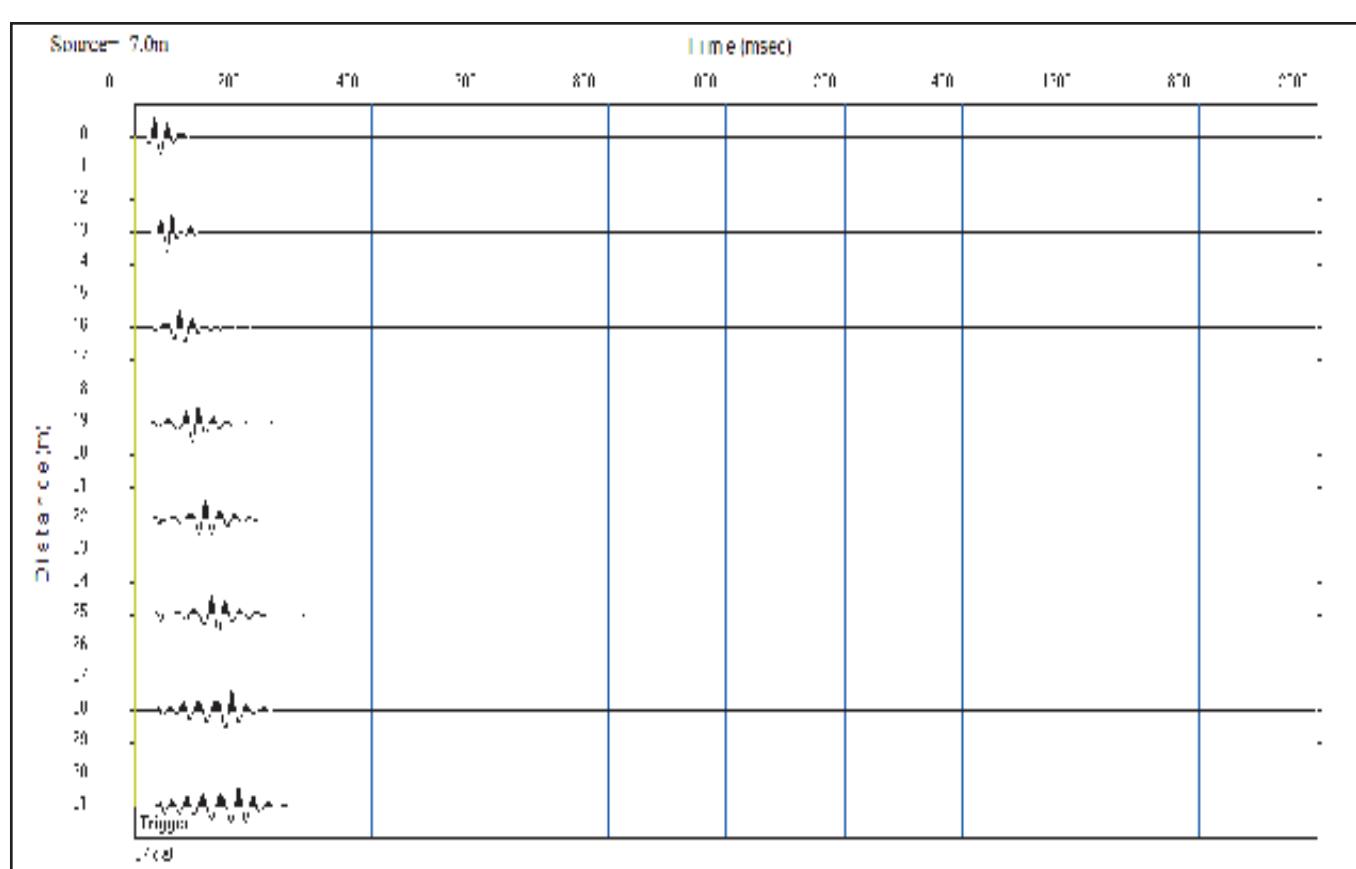
0	3	4	5.5	7	9	10	12	13	15	16	18	19	21	22	24	25	27	28	30	31	33	34	36	37	39	40	42	43	45	46	48	49	51	53	MT
S1		G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		G8																			
S2				G2		G3		G4		G5		G6		G7		G8		G1																	
S3						G3		G4		G5		G6		G7		G8		G1		G2															
S4								G4		G5		G6		G7		G8		G1		G2		G3													
S5										G5		G6		G7		G8		G1		G2		G3		G4											
S6											G6		G7		G8		G1		G2		G3		G4		G5										
S7												G7		G8		G1		G2		G3		G4		G5		G6									
S8													G8		G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7								
S9														G1		G2		G3		G4		G5		G6		G7		G8							
S10																																			
S11																																			
S12																																			
S13																																			
S14																																			
S15																																			
S16																																			
S17																																			
S18																																			
S19																																			
S20																																			
S21																																			
S22																																			
S23																																			
S24																																			
S25																																			
S26																																			
S27																																			
S28																																			
S29																																			
S30																																			
S31																																			
S32																																			
S33																																			
S34																																			
S35																																			
S36																																			
S37																																			
S38																																			
S39																																			
S40																																			
S41																																			
S42																																			
S43																																			
S44																																			
S45																																			
S46																																			
S47																																			
S48																																			
S49																																			
S50																																			
S51																																			
S52																																			
S53																																			
MT																																			

Spazio Intergeofonico 3 mt

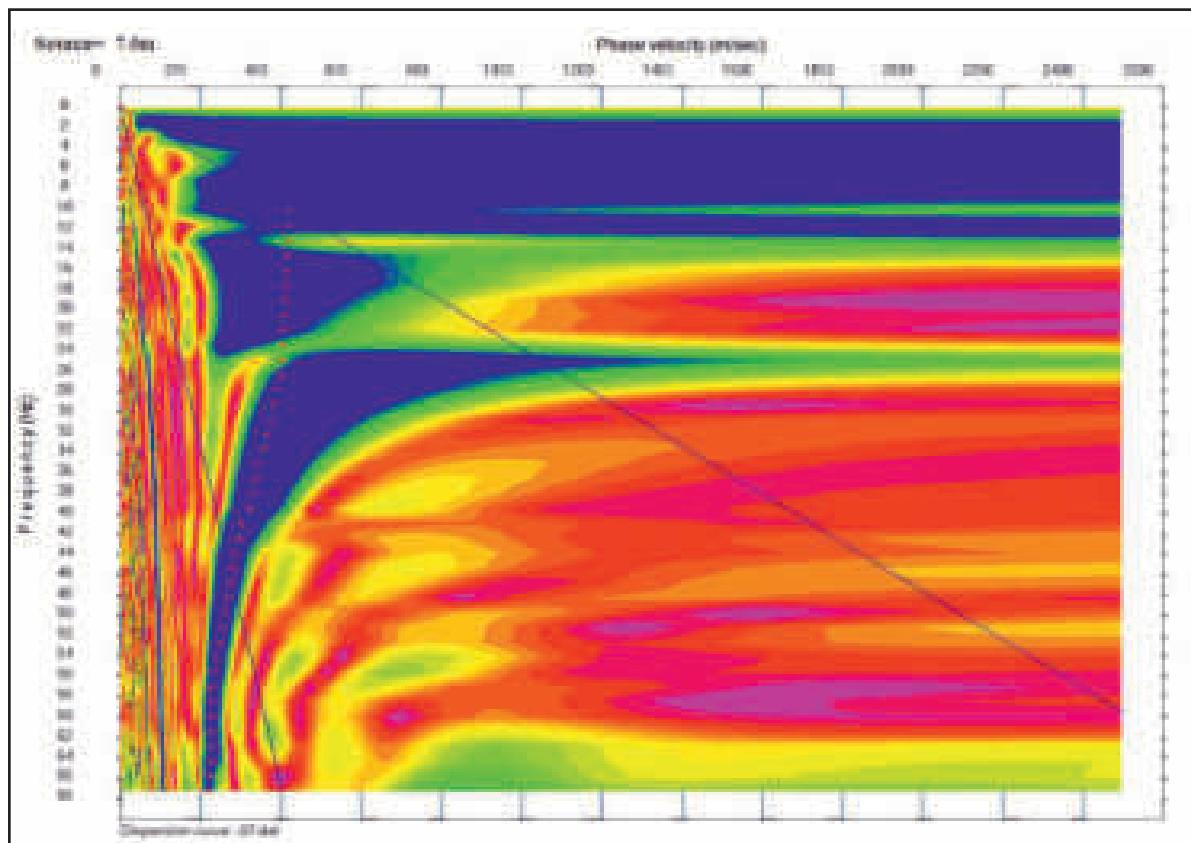
S1 : shot

G1: geofono

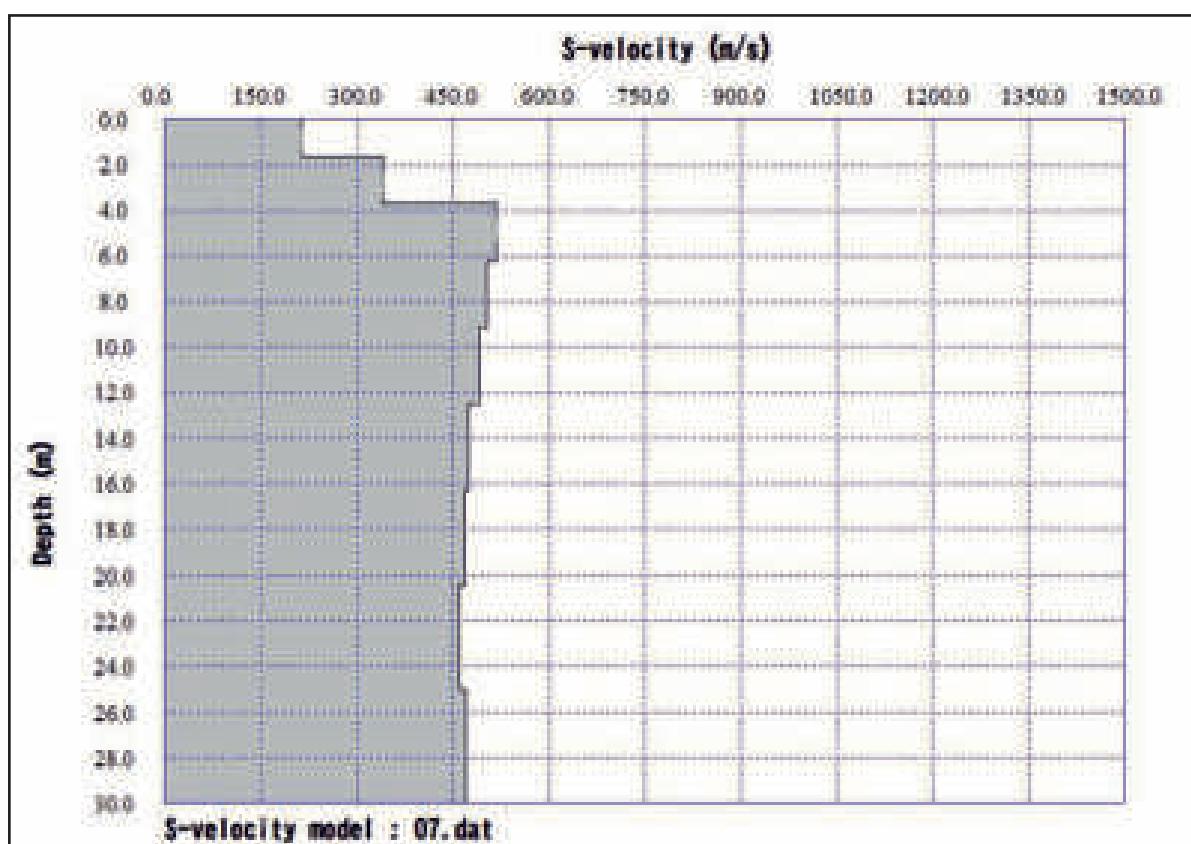
## SISMOGRAMMA DI CAMPAGNA (M.A.S.W. 2D) SHOT S3 FIG.2



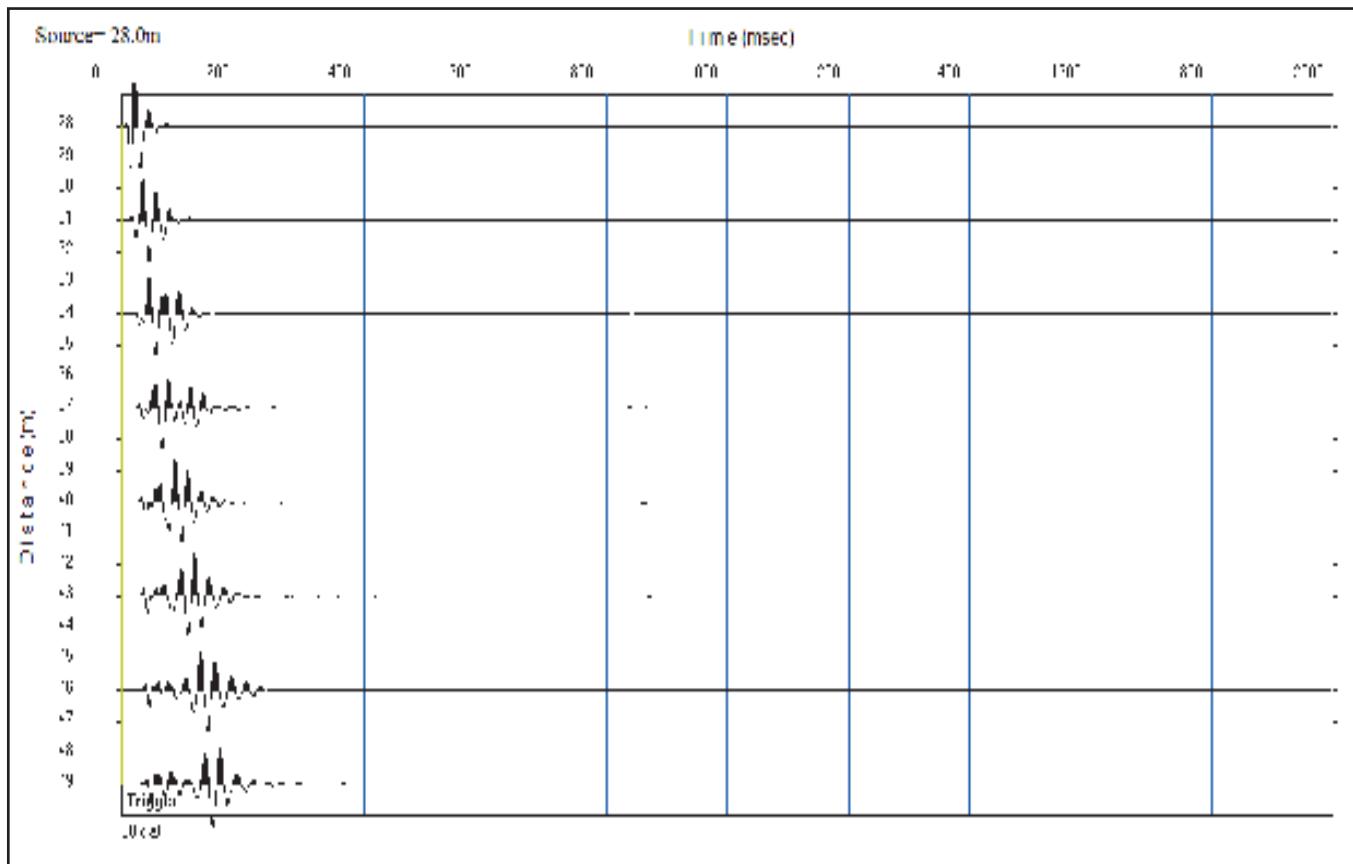
SPETTRO OSSERVATO CON CURVA DI  
DISPERSIONE PICCATA (M.A.S.W. 2D)  
SHOT S3  
FIG.3



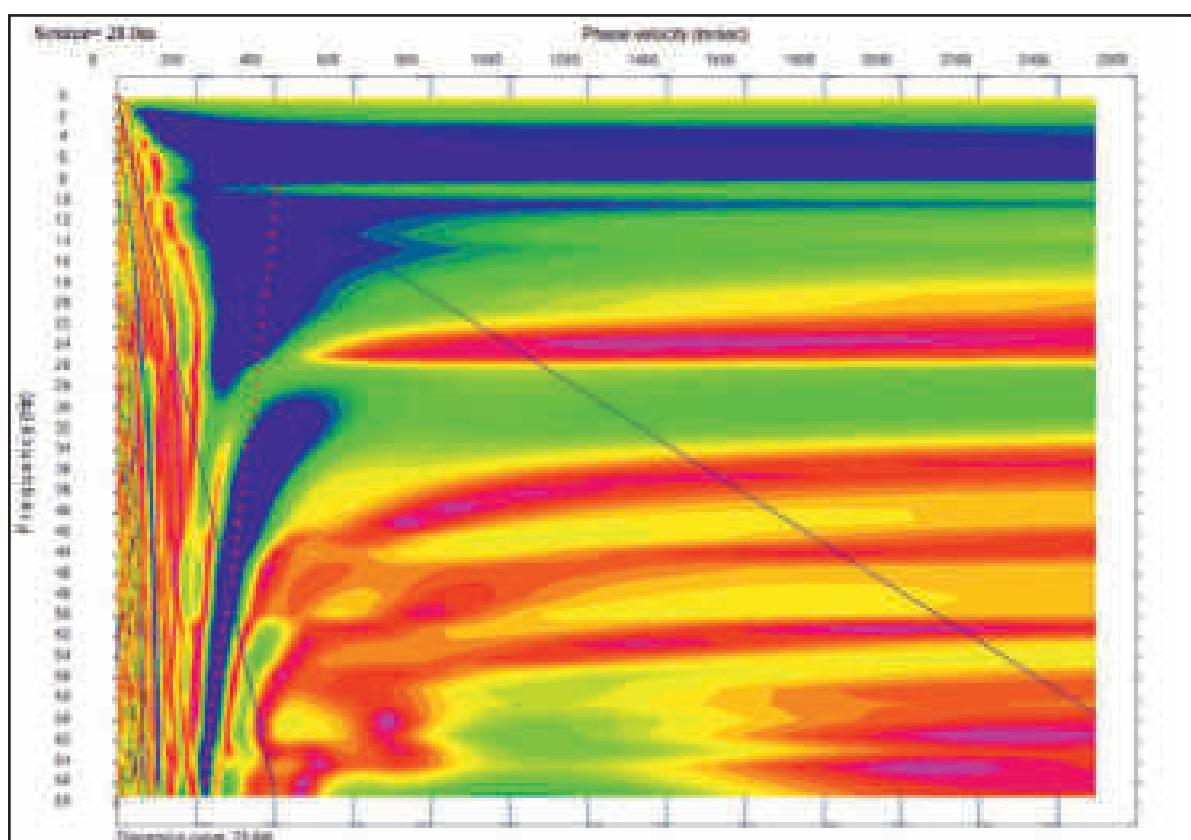
PROF VELOCITA (M.A.S.W. 2D)  
SHOT S3  
FIG.4



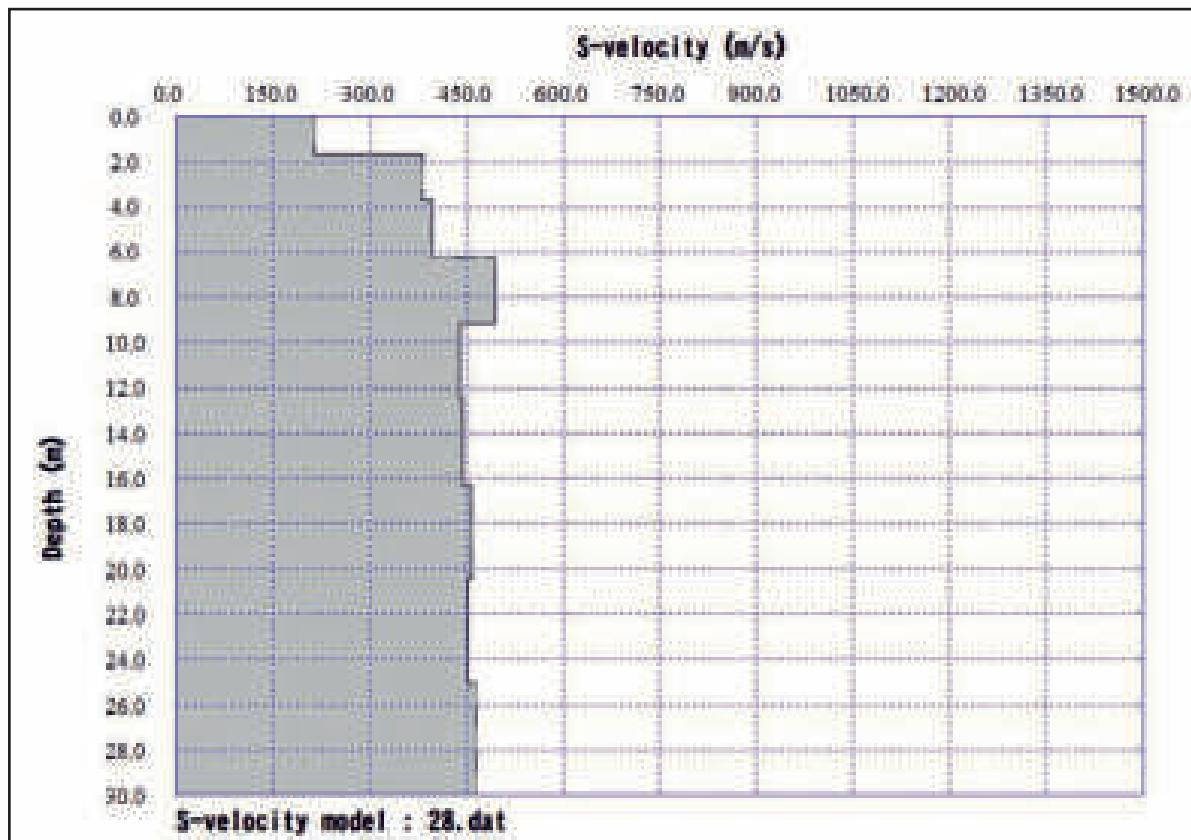
SISMOGRAMMA DI CAMPAGNA (M.A.S.W. 2D)  
SHOT S10  
FIG.5



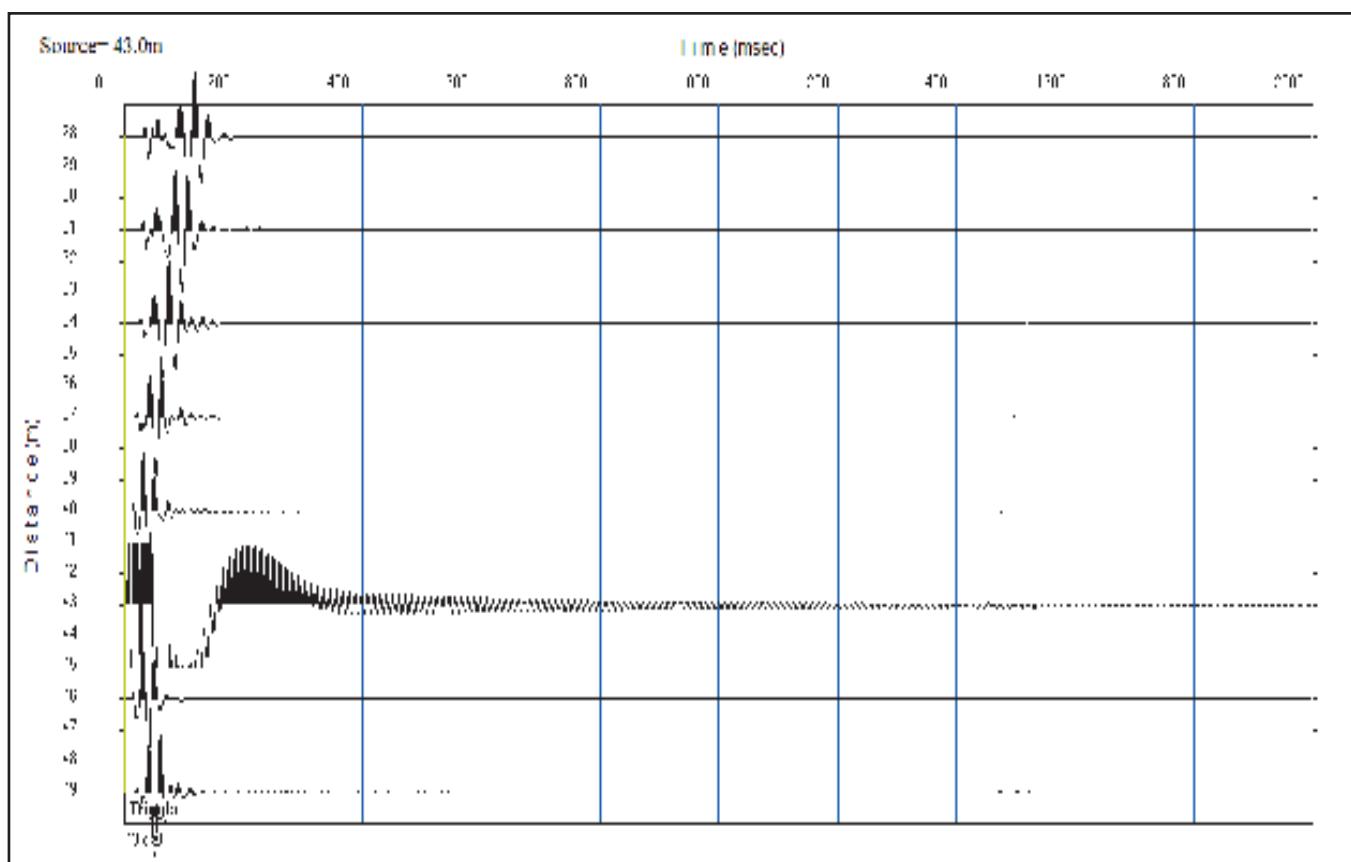
SPETTRO OSSERVATO CON CURVA DI  
DISPERSIONE PICCATA (M.A.S.W. 2D)  
SHOT S10  
FIG.6



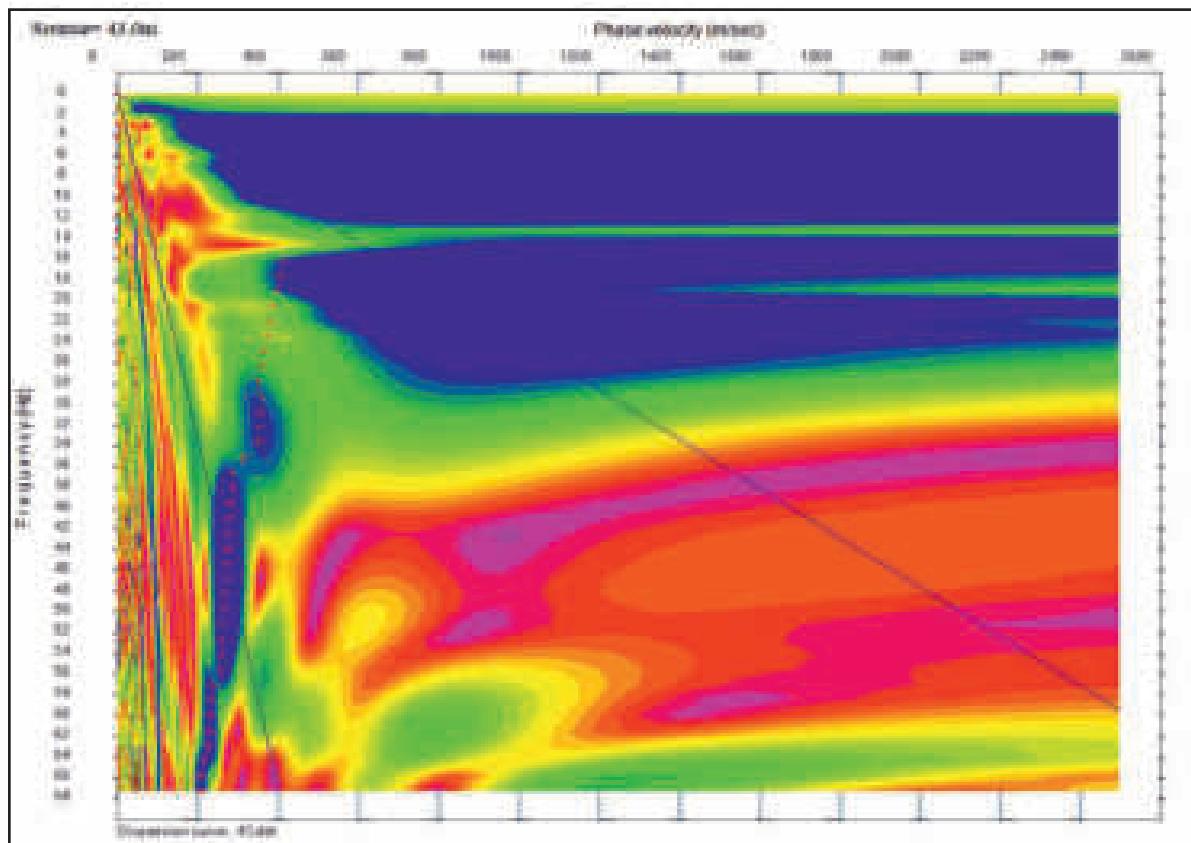
PROF VELOCITA (M.A.S.W. 2D)  
SHOT S10  
FIG.7



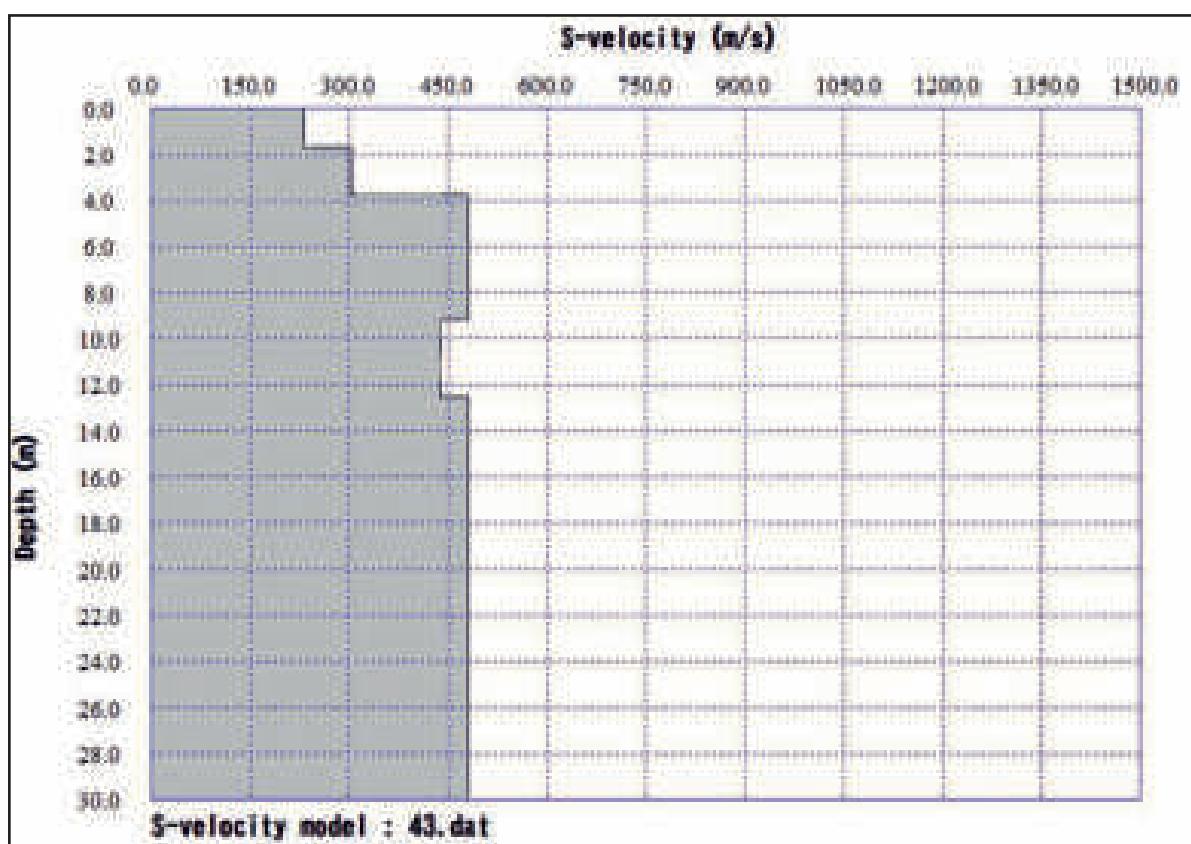
SISMOGRAMMA DI CAMPAGNA (M.A.S.W. 2D)  
SHOT S15  
FIG.8



SPETTRO OSSERVATO CON CURVA DI  
DISPERSEIONE PICCATA (M.A.S.W. 2D)  
SHOT S15  
FIG.9

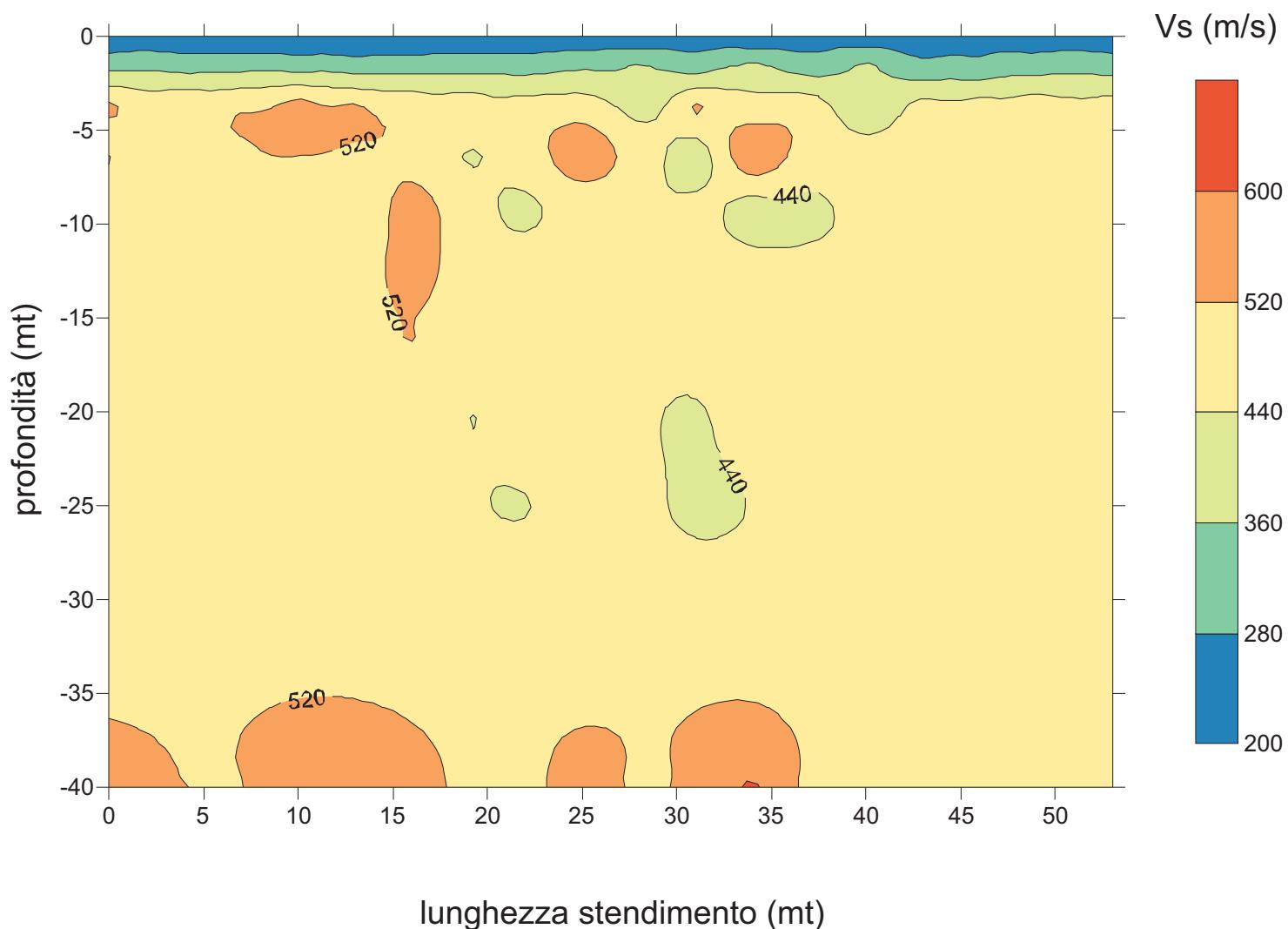


PROF VELOCITA (M.A.S.W. 2D)  
SHOT S15  
FIG.10

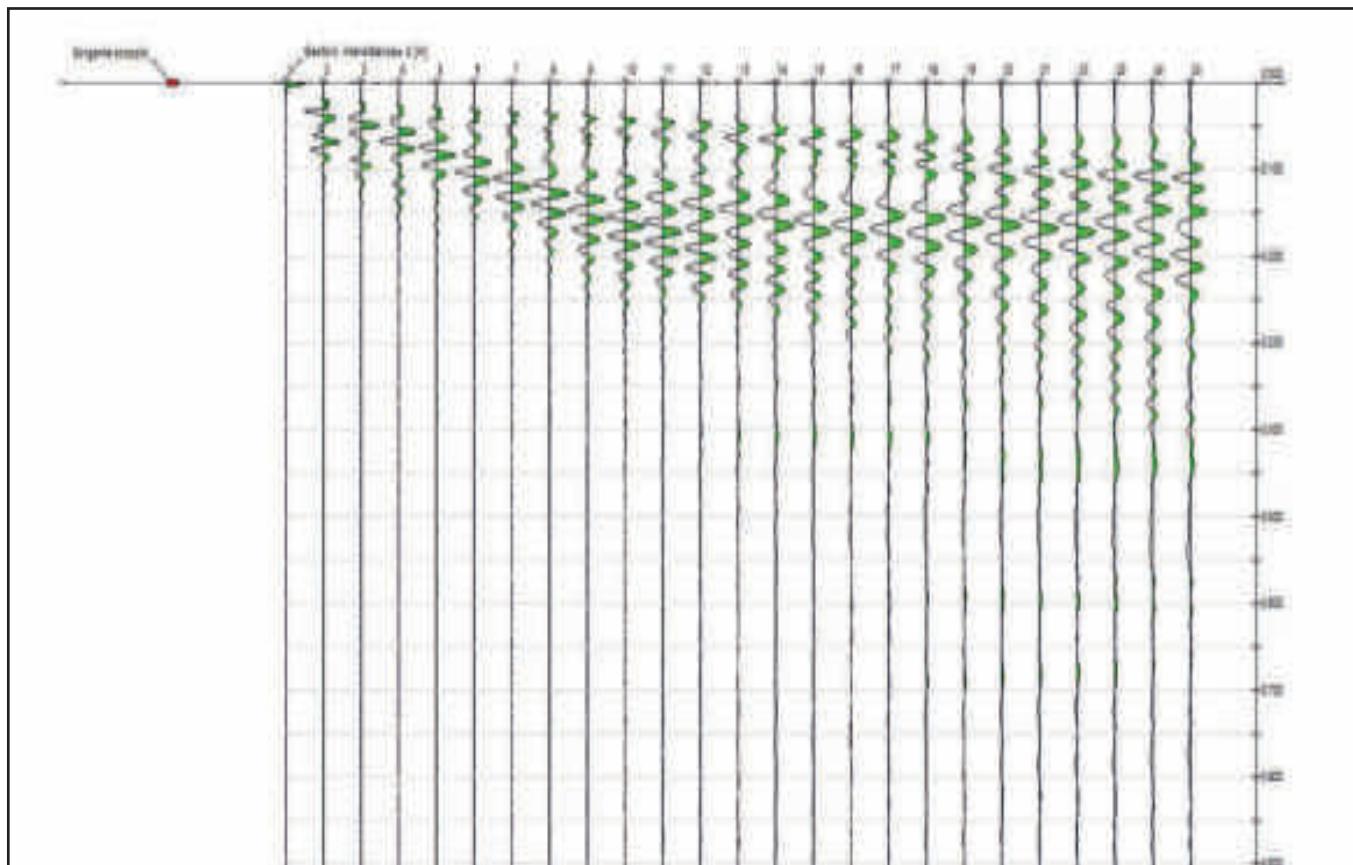


# SEZIONE ELABORATA MASW 2D

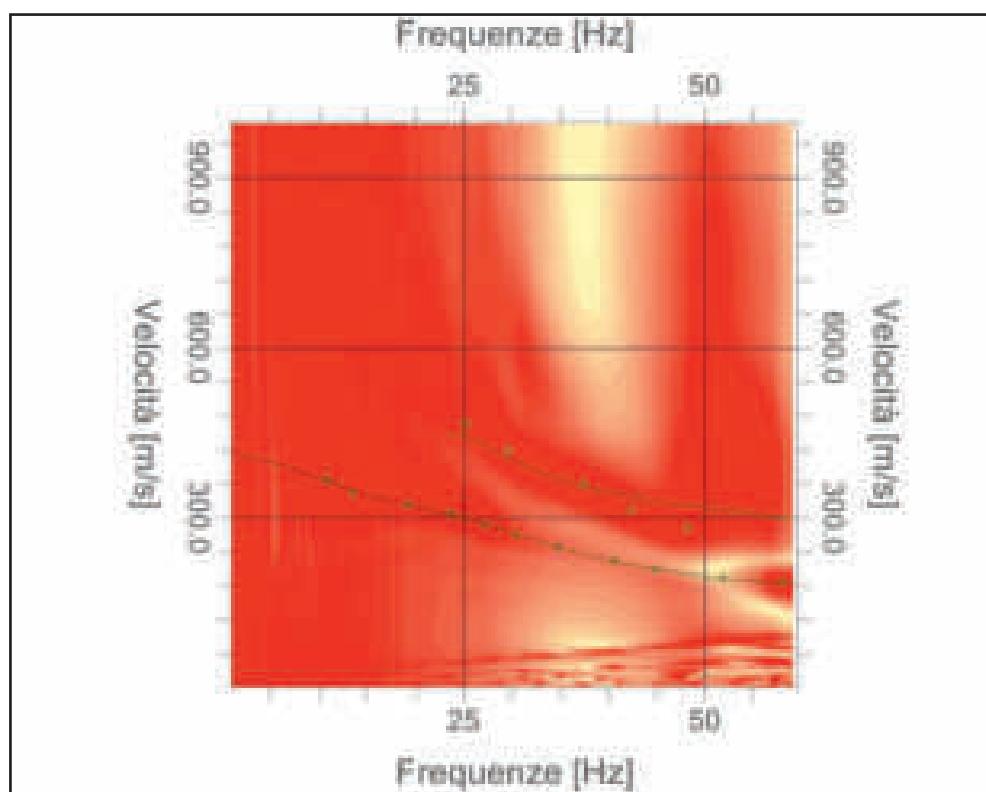
## FIG.11



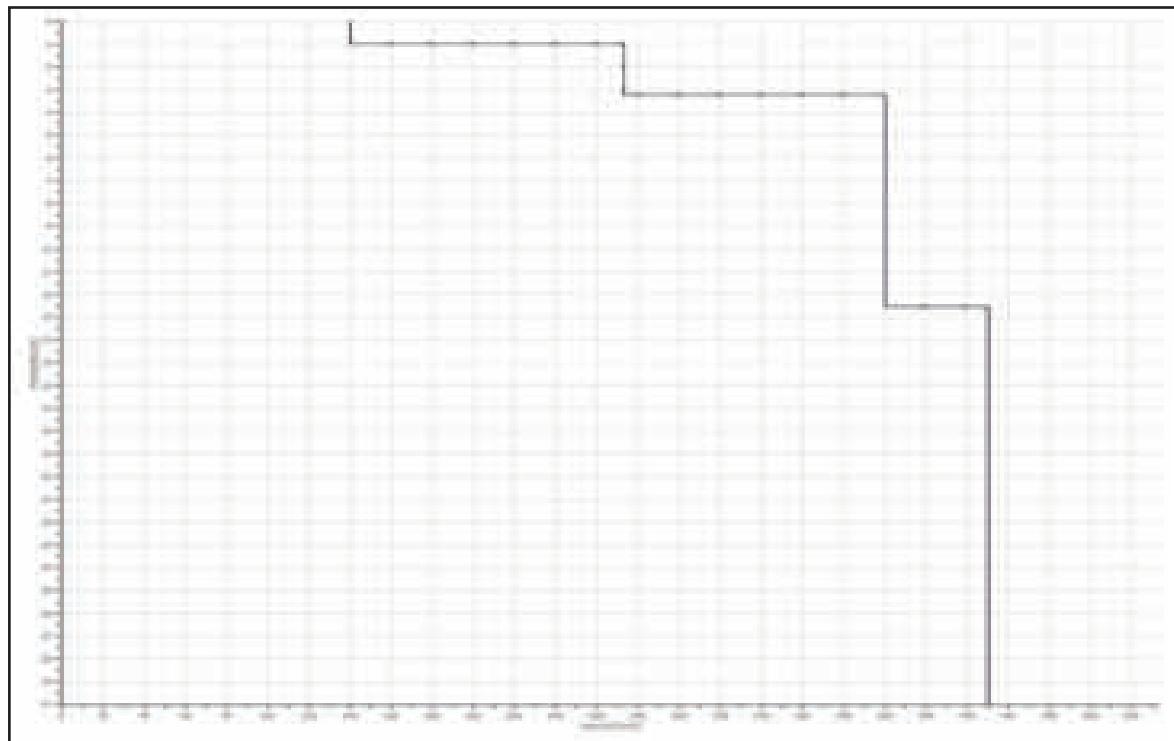
SISMOGRAMMA DI CAMPAGNA (M.A.S.W.)  
FIG. 12



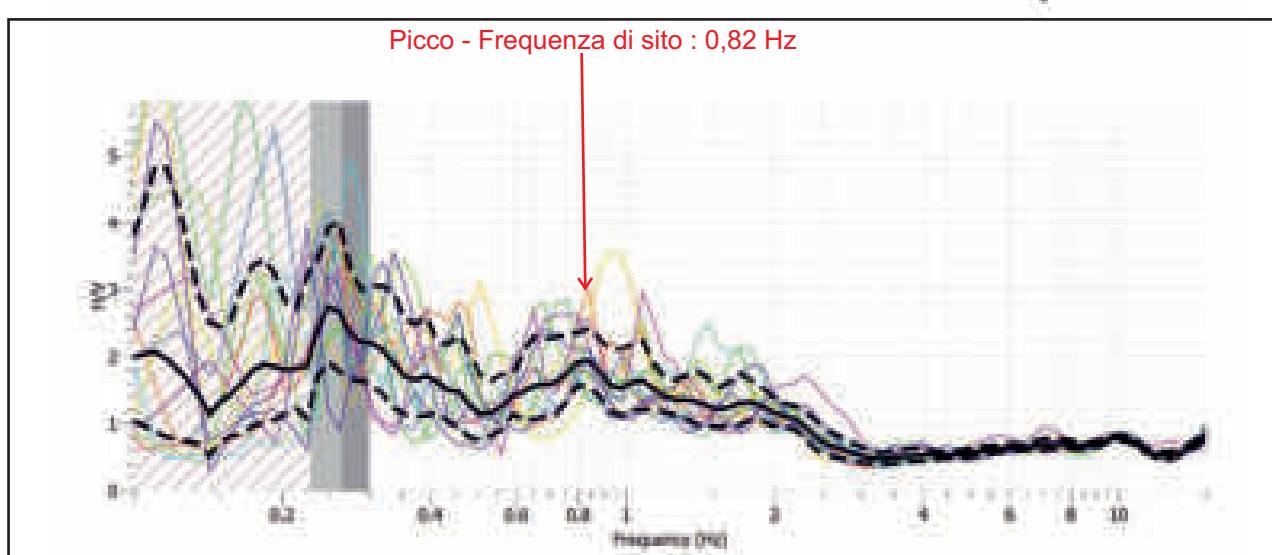
SPETTRO OSSERVATO CON CURVA DI  
DISPERSSIONE PICCATA (M.A.S.W.)  
FIG. 13



**PROFILO VERTICALE Vs IDENTIFICATO (M.A.S.W.)**  
**FIG. 14**



## GRAFICO RAPPORTO H/V - FREQUENZA (H.V.S.R.) FIG. 15



## PROFILO VERTICALE Vs - Vp IDENTIFICATO (H.V.S.R.) FIG. 16

