

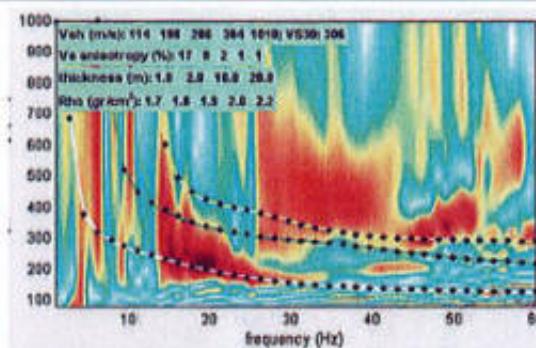


**Allegato 5:**

Geologo Dott. Ercolini Luca

Studio: Via Monte Sella n°7, 06034 Foligno (PG)

Cel. 339-4520697 Email: [lucaerc@alice.it](mailto:lucaerc@alice.it) - P.I. 02953810542



## **INDAGINI GEOFISICHE**

**INDAGINI SISMICHE PER LA RICOSTRUZIONE DEL PROFILO  
VERTICALE DELLE VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO Vs  
E PER LA DETERMINAZIONE DELLA VELOCITA' EQUIVALENTE Vs30**

**COMMITTENTE:** Geologo Dott. Cantarelli Giancarlo

**LOCALITA':** Foligno (Paciana)

**COMUNE:** Foligno

**PROVINCIA:** Perugia

**Geologo  
Dott. ERCOLINI LUCA**



Settembre 2010

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	Pag. 1
<b>2. METODOLOGIA M.A.S.W.</b>	Pag. 2
<b>3. METODO DI ACQUISIZIONE</b>	Pag. 3
<b>4. ELABORAZIONE DATI OTTENUTI</b>	Pag. 4
<b>5. RISULTATI</b>	Pag. 5
<b>6. DEFINIZIONE SUOLO TIPO</b>	Pag. 5
<b>7. CONCLUSIONI</b>	Pag. 6

## **ALLEGATI**

- ◆ TAVOLA 1 UBICAZIONE PROFILO SISMICO
  - ◆ TAVOLA 2 SISMOGRAMMI E ANALISI SPETTRALE
  - ◆ TAVOLA 3 MODELLO DI INPUT ED ANALISI DELLE FREQUENZE
  - ◆ TAVOLA 4 CURVE DI DISPERSIONE E MODELLO INVERTITO
  - ◆ DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

## 1. PREMESSA

Su incarico del Geologo Dott. CANTARELLI GIANCARLO è stata eseguita un'indagine con metodologia sismica M.A.S.W. in località Foligno (Via Paciana), nel Comune di Foligno.

L'indagine è finalizzata alla ricostruzione del profilo verticale delle velocità delle onde di taglio Vs e alla determinazione della velocità equivalente Vs30 per la definizione del suolo tipo ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 "NTC08 Norme Tecniche per le Costruzioni" e della Circolare del Ministero delle Infrastrutture e Trasporti n.617 del 2 febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008".

## **2. METODOLOGIA M.A.S.W. ( Multichannel Analysis of Surface Waves)**

La metodologia sismica adottata è quella sintetizzata dall'acronimo M.A.S.W. ovvero "analisi multicanale delle onde superficiali". Tale metodo di analisi dei dati sismici sfrutta alcune proprietà delle componenti superficiali (Rayleigh e di Love) delle onde generate, a differenza della classica sismica a rifrazione, nella quale come noto si misurano i tempi di primo arrivo delle onde energizzate rifratte in compressione o di taglio  $V_p$  che  $V_s$ .

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  $V_s$ ; ma la proprietà fondamentale delle onde superficiali è costituita dal fenomeno della dispersione nei mezzi stratificati.

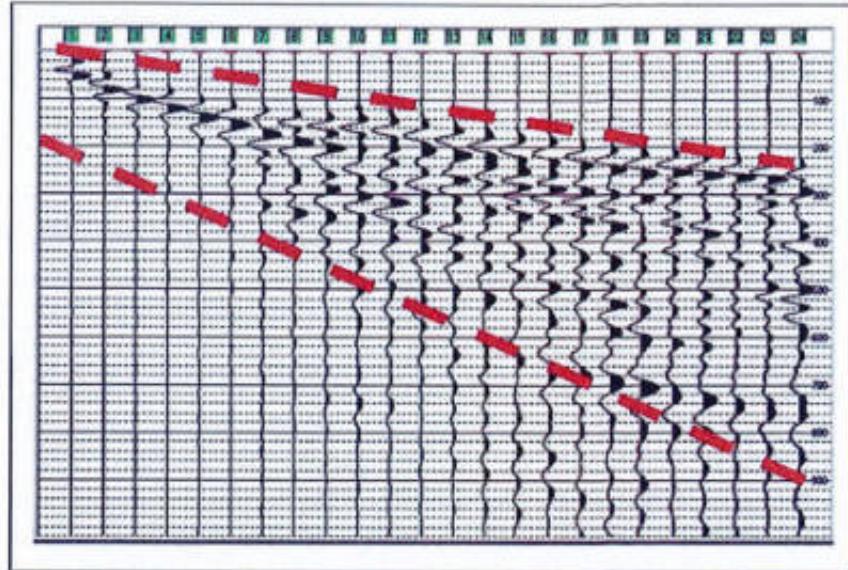


TABELLA N°1  
TRACCIATO SISMICO A 24 CANALI IN ONDE S. L'AREA RACCHIUSA NEL TRATTEGGIO EVIDENZIA IL FENOMENO DI DISPERSIONE CON L'AUMENTARE DELLA PROFONDITÀ DELLE onde SUPERFICIALI DI LOVE IN UN MEZZO STRATIFICATO

Dall'analisi delle curve di dispersione dei due tipi di onde; curve di dispersione ottenibili dalle variazioni della velocità di fase, in funzione delle lunghezze d'onda o delle frequenze (inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità, tramite l'adozione di processi analitici di inversione, consistenti nell'adozione di un modello teorico di partenza numero strati/ velocità/spessori, e successiva ottimizzazione dei dati tramite processi di raffinamento).

### 3. METODO DI ACQUISIZIONE

L'indagine in oggetto è stata eseguita tramite l'acquisizione strumentale, lungo un profilo di misura lineare, della componente superficiale di onde generate in compressione (onde di Rayleigh) e della componente superficiale di onde generate di taglio (onde di Love).

Nel caso specifico è stato utilizzata una stesa di costituita da 12 geofoni verticali da 4.5 Hz per l'acquisizione delle onde di Rayleigh; 12 geofoni orizzontali da 10 Hz per l'acquisizione delle onde di Love; tutti con equidistanza di 2.0 m, per una lunghezza complessiva di 22,0 m.

Sono stati effettuati tre shot per ciascun tipo di acquisizione, in "compressione" tramite battuta con mazza su piastra e di "taglio" tramite battuta con mazza sulla faccia di un trave. Gli offset posti a distanze crescenti dal geofono n°1 sono stati i seguenti: 5,0 m e 10,0 m, 15,00 e 20,00m per una distanza complessiva di 42,0 m.

Per la taratura del modello di input vengono utilizzate i dati ricavati da sondaggi eseguiti in situ con la seguente situazione stratigrafica:



## **S1**

---

- 0.00 – 0.60 m Suolo vegetale
- 0.60 – 2.70 m Sabbie fini debolmente argillose
- 2.70 – 5.80 m Sabbie con ghiaia fine
- 5.80 - 7.70 m Sabbie grossolane limose
- 7.70 - 10.00 m Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa

## **S2**

---

- 0.00 – 0.50 m Suolo vegetale
- 0.50 – 3.10 m Sabbie fini debolmente argillose
- 3.10 – 7.70 m Sabbie con ghiaia fine
- 7.70 – 10.00 m Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa

## **S3**

---

- 0.00 – 0.50 m Suolo vegetale
- 0.50 – 3.20 m Sabbie fini debolmente argillose
- 3.20 – 9.00 m Sabbie con ghiaia fine
- 9.00 – 10.00 m Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa

## **S4**

---

- 0.00 – 0.50 m Suolo vegetale
- 0.50 – 2.80 m Sabbie fini debolmente argillose
- 2.80 – 7.50 m Sabbie con ghiaia fine
- 7.50 – 10.00 m Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa

## **S5**

---

- 0.00 – 0.50 m Suolo vegetale
- 0.50 – 2.60 m Sabbie fini debolmente argillose
- 2.60 – 8.00 m Sabbie con ghiaia fine
- 8.00 – 10.00 m Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa

## **S6**

---

- 0.00 – 0.60 m Suolo vegetale
- 0.60 – 2.60 m Sabbie fini debolmente argillose
- 2.60 – 10.00 m Ghiaia medio fine in matrice sabbiosa



#### **4. ELABORAZIONE DATI OTTENUTI**

---

I dati così ottenuti sono stati analizzati scegliendo la serie di curve più idonee e sottoponendole alla successive fasi di elaborazione:

- A) Caricamento sismogrammi onde di Rayleigh e onde di Love.
- B) Calcolo degli spettri di velocità Frequenza Hz – Velocità fase m/s.
- C) Modellazione diretta delle curve di dispersione del modo fondamentale e di quelli superiori tramite assunzione di modelli Velocità/Spessori via via più soddisfacenti, attribuiti a partire da dati geologico stratigrafici dell'area e da valori di Vs degli strati più superficiali, questi ultimi calcolati tramite i risultati del profilo a rifrazione eseguito.
- D) Piccaggio delle curve di dispersione ottimizzate.
- E) Inversione delle curve di dispersione.
- F) Modello finale della variazione della velocità Vs con la profondità.

#### **5. RISULTATI**

---

Dal calcolo degli spettri di velocità Frequenza (Hz) / Velocità di fase (m/s) (*tavola n°2*) , si rileva come la massima dispersione della velocità di fase risulta compresa nell' intervallo di frequenza tra i 5 e i 10 Hz, mentre la corrispondente velocità risulta compresa tra 720 m/s e 85 m/s. Nella *tavola n°3* viene presentato il modello teorico di partenza, assunto per l'elaborazione nel processo di inversione , ricondotto a cinque sismostrati sovrastanti il semispazio, aventi i seguenti valori di velocità e spessore:

Spessore ( m )	Vp (m/s)	Vs(m/s)
0.50	219	105
3.00	343	165
5.80	624	300
10.00	1145	550
Semispazio	1457	700

Nella *tavola 3* viene riportato il risultato finale del processo di inversione, nei grafici è evidente come la curva teorica calcolata attraverso l'inversione del modello di velocità è in buon accordo con la curva di dispersione sperimentale. Nella *tavola 4* è riportato il grafico velocità onde S (m/s)/profondità (m) con la rappresentazione della distribuzione delle velocità.

Nelle tabelle seguenti sono riportati tutti i valori di input e output del modello:

MODELLO RICAVATO					
	Vsv (m/s)	Vsh (m/s)	Spessore	Densità (gr/cm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio (Mpa)
STRATO 1	102	105	0.50	1.70	18
STRATO 2	170	170	3.50	1.82	52
STRATO 3	326	350	7.30	1.98	210
STRATO 4	497	596	7.40	2.05	506
STRATO 5	841	812	-	2.16	1525

Valori stimati di Vp e dei moduli elasticici					
	Vp (m/s)	Poisson	Bulk (Mpa)	Young's (Mpa)	Lamè (Mpa)
STRATO 1	229	0.38	66	49	54
STRATO 2	374	0.37	184	144	149
STRATO 3	737	0.38	795	580	655
STRATO 4	981	0.33	1297	1344	960
STRATO 5	1528	0.28	3002	3914	1985

## 6. DEFINIZIONE DEL SUOLO TIPO

Nel caso specifico tale valore risulta pari a 394 m/s. In base alle normative vigenti O.P.C.M. 3274/2003 e alla normativa "NTC" 14 Gennaio 2008, deve essere definita l'azione sismica di progetto, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria di suolo su cui sarà realizzata l'opera.

Il valore di Vs30 equivalente restituito dal modello di calcolo, pari a 394 m/s, fa ricadere il sottosuolo di interesse progettuale nella **categoria B**.

Suolo	Descrizione geotecnica	V <sub>s30</sub> (m/s)
A	Fomazioni fiori e vuoli onnipene molto rigidi caratterizzate da valori di V <sub>s30</sub> >600m/s, comprendenti eventuali strati di sabbie con spessori di spessore massimo pari a 5m.	>600
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addense o argille molto consistenti con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V <sub>s30</sub> compresi tra 200m/s e 600m/s	360-600 (N <sub>60</sub> >50) (Cu>250 kPa)
C	Depositi di sabbie o ghiaie medianamente addense o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V <sub>s30</sub> compresi tra 100m/s e 360m/s	180-360 (15< N <sub>60</sub> < 50) (30< Cu< 250 kPa)
D	Depositi di pisolini da scisti a poco adenserati o coesiti da poco a medianamente consistenti, caratterizzati da valori di V <sub>s30</sub> <180m/s	<180 (N <sub>60</sub> <15) (Cu<70 kPa)
E	Profili di terreno costituiti da una superficie silvicolari, con valori di V <sub>s</sub> simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5m e 20m, giacenti su di un substrato di matrice più rigido con V <sub>s</sub> >600m/s	
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10m di argille lisce di bassa consistenza, con elevata infusione di plasticità (IP>40) e contenuto d'acqua, caratterizzati da valori di V <sub>s30</sub> <100m/s	<100 (30< Cu<20 kPa)
S2	Depositi di terreni soggetti a lignificazione, di argille sensibili, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti	

TABELLA N°2 - Range di Vs30 da normativa O.P.C.M. 3274/2003

## 7. CONCLUSIONI

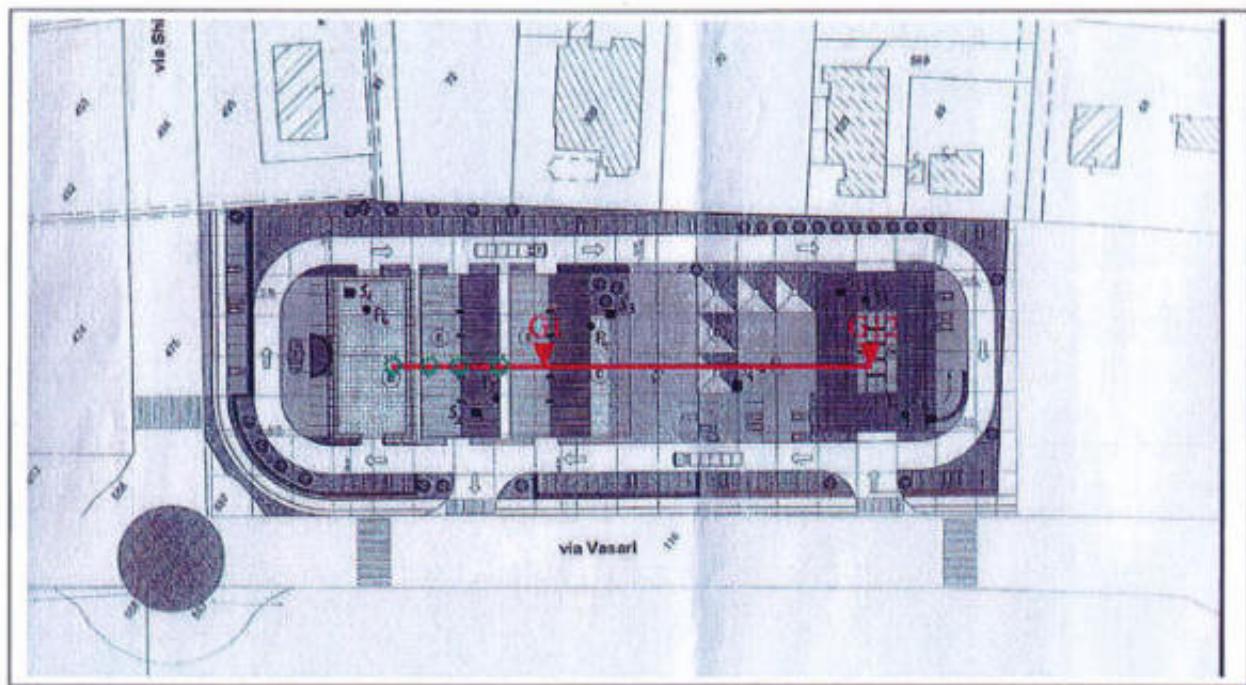
L'indagine sismica condotta con metodi di analisi M.A.S.W. ha permesso una ricostruzione sismostratigrafica dei terreni interessati dal progetto, evidenziando la presenza di una successione di strati a velocità Vs gradualmente crescente con la profondità.

L'inversione del modello restituisce un valore Vs30 equivalente di 394 m/s, che fa ricadere, secondo l'approccio di tipo semplificato, i terreni in oggetto nella categoria di sottosuolo B.

Foligno il, Settembre 2010

Geologo Dott. ERCOLINI LUCA





● Shot

TAVOLA N°1 - UBICAZIONE DEL PROFILO SISMICO

Indagini sismiche M.A.S.W./località Paciana /Comune di Foligno

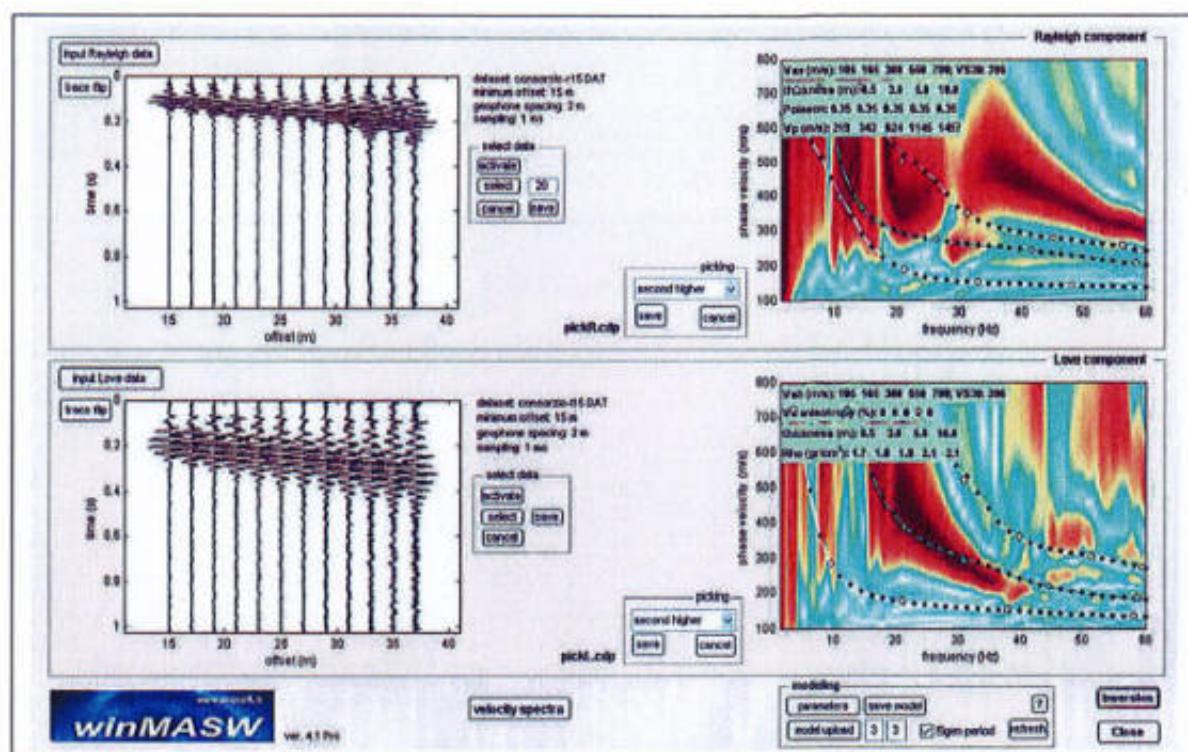


TAVOLA N°2 - SISMOGRAMMI ACQUISITI ED ANALISI SPETTRALE

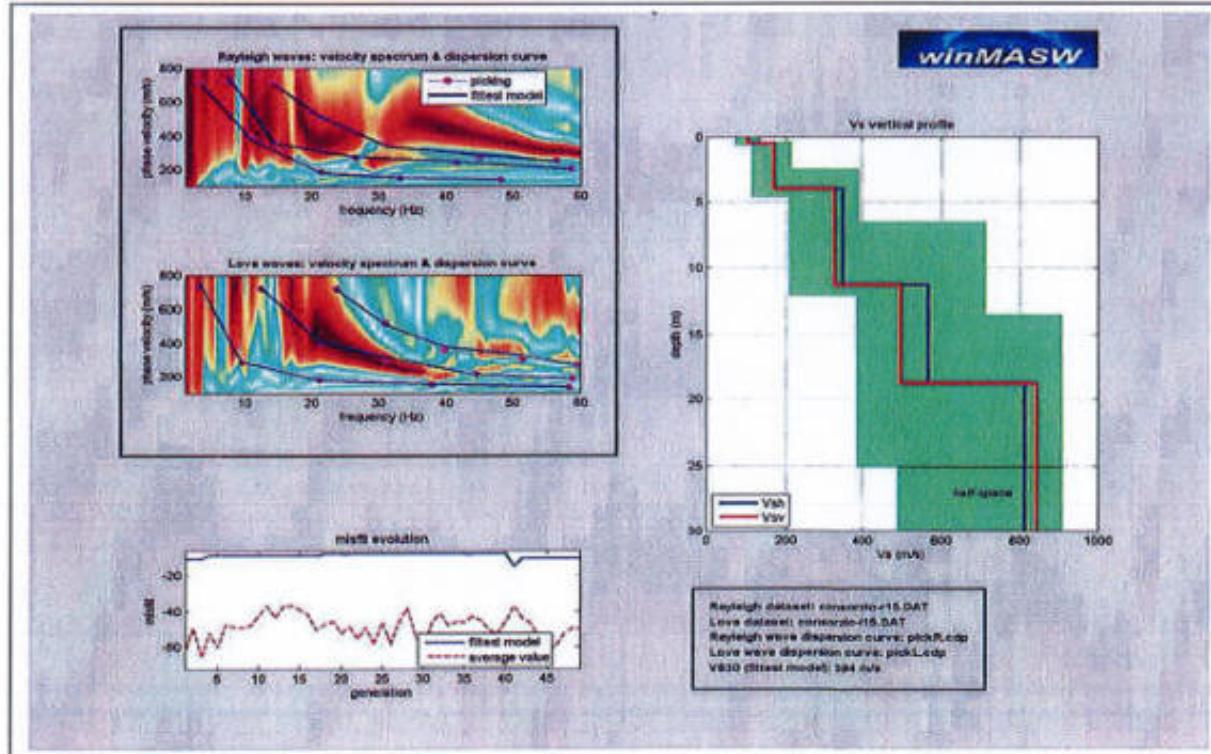


TAVOLA N°3 - CURVE DI DISPERSIONE E MODELLO INVERTITO

Indagini sismiche M.A.S.W./località Paciana /Comune di Foligno



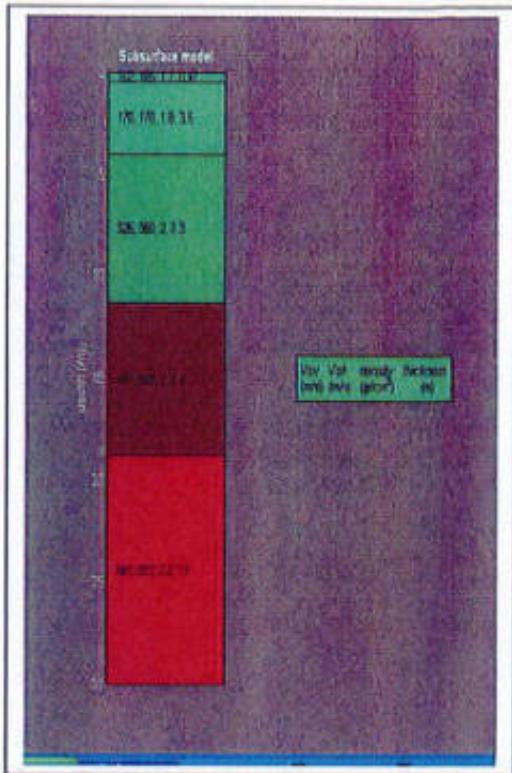


TAVOLA N°3 - SUDDIVISIONE SISMOSTRATI

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



FOTO N°1 - UBICAZIONE INDAGINE SISMICA MASW

---

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

---



---

FOTO N°2 - ENERGIZZAZIONE ONDE DI COMPRESSIONE

---



---

FOTO N°3 - ENERGIZZAZIONE ONDE DI TAGLIO PER ATTRITO RADENTE

---

**COMUNE DI FOLIGNO MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3**  
**ESTRATTO CARTA DELLE INDAGINI**  
**SCALA 1:5.000**

