



**INDAGINE GEOFISICA AD INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA  
ESEGUITA IN VIA ABRUZZETTI ZONA ZIPA PRESSO IL COMUNE DI JESI (AN)**

---

**Oggetto:** Indagine geofisica con tecnica *MASW*.

**Committente:** Studio Geologico Tecnico "Dott. Ricci & Dott. Stronati"

**Commessa:**

---

Monte San Vito, lì 30 Maggio 2011

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
2. INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	3
2.1 Strumentazione utilizzata.....	3
2.2 Indagine <i>MASW</i> : metodologia ed acquisizione .....	4
3. INTERPRETAZIONE E RISULTATI .....	6
3.1 Risultati delle analisi .....	7
3.2 Curva di dispersione .....	7
3.3 Profilo in sito.....	8
4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	11

## TAVOLE

TAV.1 Ubicazione stendimento sismico (scala 1:2.000)

Monte San Vito, 30 Maggio 2011

## **1. PREMESSA**

Su incarico dello Studio e per conto dello Studio Geologico Tecnico "Dott. Ricci & Dott. Stronati" è stata eseguita in data 24 Maggio 2011, una indagine geofisica mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW, in via Abruzzetti presso il Comune di Jesi (AN).

L'utilizzo di tale metodologia ha permesso di ricavare le velocità delle onde di taglio S, le quali sono state utilizzate per il calcolo del valore del parametro  $V_{S30}$ , necessario per la definizione della categoria di suolo di fondazione (Nuove NTC -D.M. 14 gennaio 2008 s.m.i.).

## **2. INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW.

### **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 8 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  $S_v$ , 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 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 prodotte da una specifica sorgente;
- sistema di acquisizione dati: Sismografo *Geometrix* ES-2401 con memoria dinamica a 12 bit composto da 12 *dataloggers* a 2 canali ciascuno per un totale di 24 canali, n° 2 cavi sismici telemetrici di 60 m ciascuno, il sistema è in grado

di registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di ricezione;

- un sistema di *trigger*: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la mazza colpisce la base di battuta (piastra metallica), consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato 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 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 2-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa tra i 10m ed i 50m, in funzione della rigidità del suolo e

delle caratteristiche della sorgente e presenta una maggiore affidabilità per profondità di circa 20m.

. Il risultato finale del processo di elaborazione è il profilo verticale delle velocità delle onde S.

I vantaggi della tecnica M.A.S.W. possono essere così riassunti:

- particolarmente indicata per terreni attenuanti ed ambienti rumorosi;
- è in grado di evidenziare inversioni di velocità nel profilo di velocità;
- buona risoluzione.

Tali caratteristiche ne hanno reso particolarmente indicato l'uso nel sito in oggetto, caratterizzato dalla presenza di terreni alluvionali in cui le inversioni di velocità sono possibili e situato in un'area urbanizzata e quindi tipicamente rumorosa.

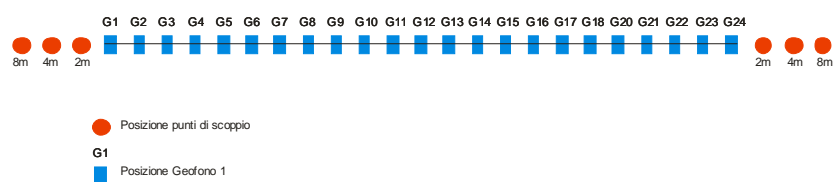
Schematicamente il processo di analisi è il seguente:

- Creazione dello spettro FK;
- Ricerca del miglior fittine fra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica;
- Profilo di velocità delle onde s.

I limiti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali ed omogenei, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata sia dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°. Nell'area indagata le condizioni sopra riportate sono quasi del tutto rispettate. Si rammenta in ogni caso che la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira generalmente attorno al 10-20 %.

La "copertura" dei tiri sulla base sismica è stata tale da consentire una corretta e dettagliata ricostruzione del campo di velocità locale fino alla profondità stabilita dall'indagine. L'elaborazione è stata eseguita tramite il *software MASW* (V. Roma, 2007). L'acquisizione è stata eseguita posizionando i 24 geofoni da 4.5 Hz, secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

- lunghezza stendimento ricevitori: 46.0 m
- n. geofoni: 24
- distanza intergeofonica: 2.0 m
- n. punti di energizzazione: 6
- offset sorgenti: 2.0 m, 4.0m e 8.0m
- durata acquisizione: 1024 ms e 2048ms
- intervallo di campionamento: 0.5 ms 1 ms



Schema 1 : geometria di acquisizione ed ubicazione punti di energizzazione.

### 3. INTERPRETAZIONE E RISULTATI

Nome del file delle tracce ..... 28801  
 Numero di ricevitori..... 24  
 Numero di campioni temporali ..... 1024  
 Passo temporale di acquisizione ..... 0,5ms  
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24  
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a ..... 0ms  
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a ..... 1024ms

Coordinate Topografiche verticale *MASW*: **43°31'58,72"N 13°15'48,41"E**

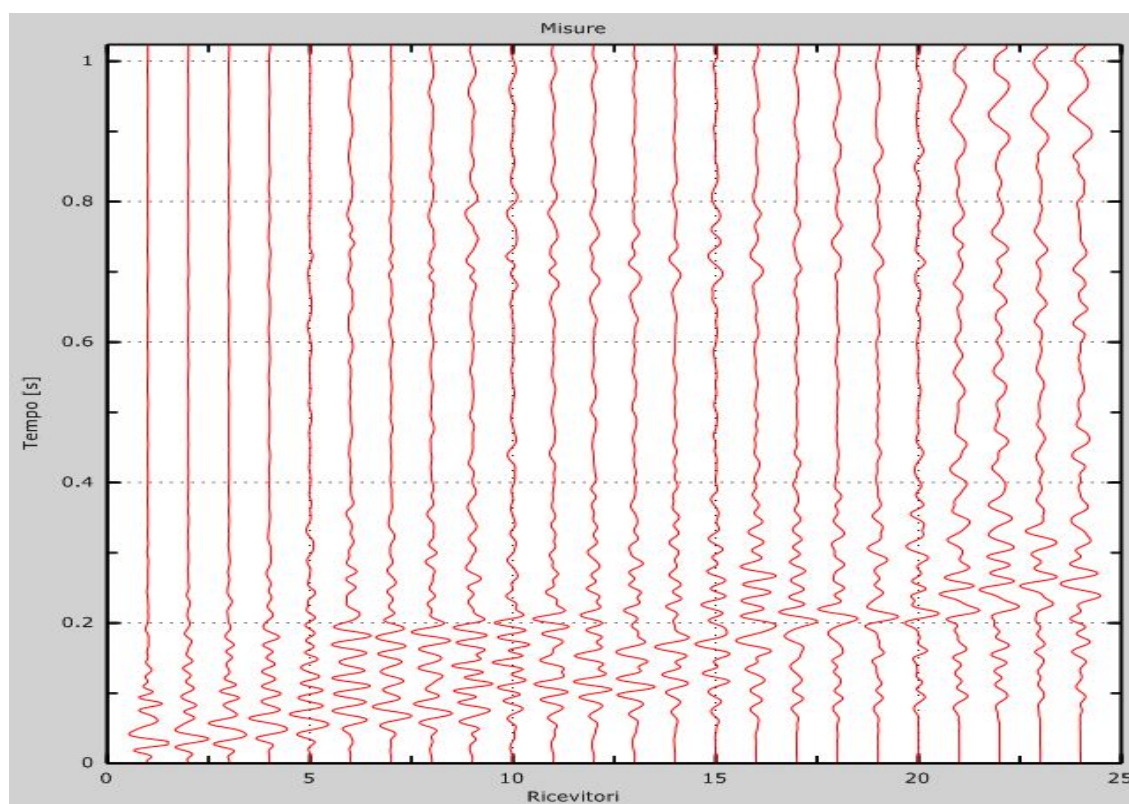


Figura 1: Tracce sperimentali

### 3.1 Risultati delle analisi

Frequenza finale .....45Hz

Frequenza iniziale .....02Hz

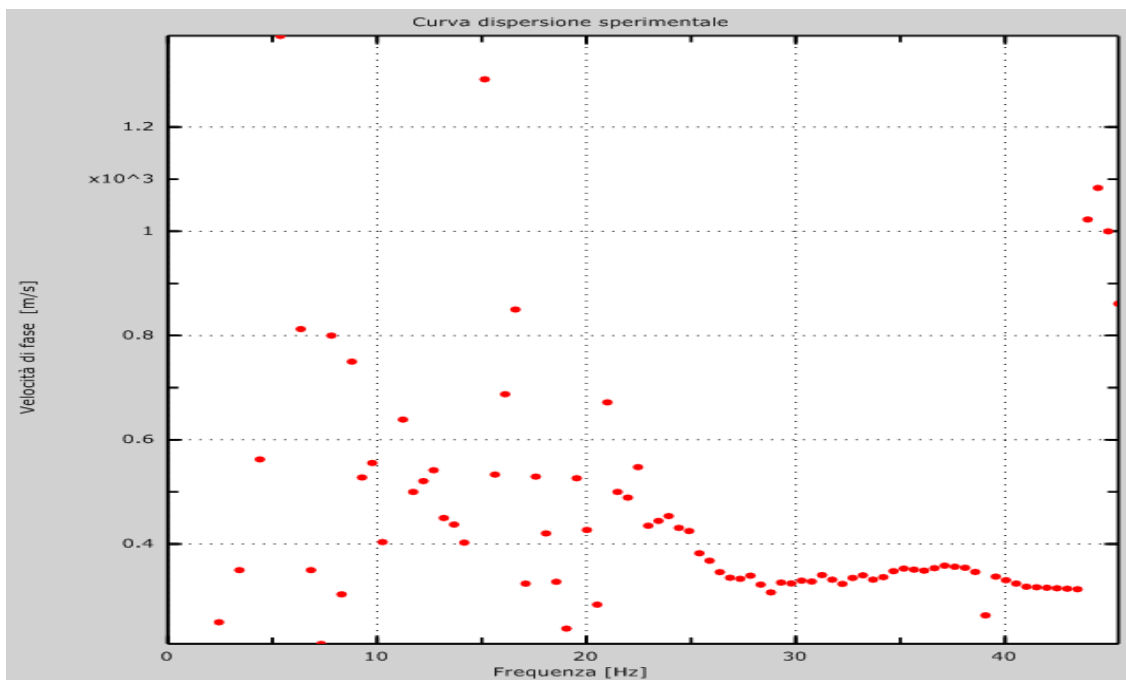


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

### 3.2 Curva di dispersione

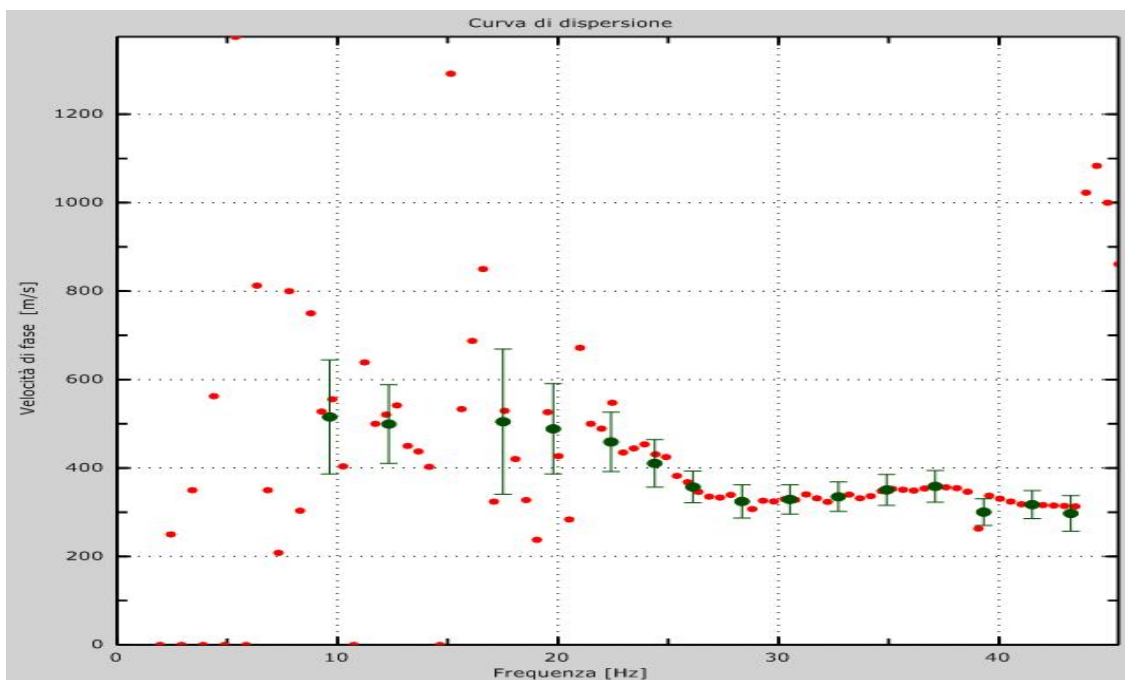


Figura 3: Curva di dispersione.

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
9.65159	515.500	386.262	644.739
12.3306	499.345	410.494	588.197
17.5139	504.730	340.490	668.971
19.7853	488.576	386.262	590.89
22.4061	458.958	391.647	526.270
24.3862	410.494	356.644	464.343
26.1230	357.105	321.394	392.815
28.3465	324.335	286.640	362.029
30.5176	328.956	296.061	361.852
32.7148	335.000	301.500	368.500
34.9121	350.490	315.441	385.539
37.1094	358.491	322.642	394.340
39.3066	300.329	270.296	330.362
41.5039	317.164	285.448	348.881
43.2558	297.410	257.023	337.797

Tabella 1: Curva di dispersione

### 3.3 Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) .....	5
Spaziatura ricevitori [m] .....	2
Numero ricevitori .....	24
Numero modi .....	5
Numero iterazioni .....	5
Errore tra curva e curva sperimentale [%] .....	10
Offset shot .....	4m



**Strato 1: Terreno vegetale e coltre superficiale**

h [m] .....	3,5
z [m] .....	-3.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1800
Poisson .....	0.2
Vs [m/s] .....	330
Vp [m/s] .....	539
Vs min [m/s] .....	165
Vs max [m/s] .....	661
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	330

**Strato 2: Limo argilloso a tratti sabbioso**

h [m] .....	8
z [m] .....	-11.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1850
Poisson .....	0.2
Vs [m/s] .....	398
Vp [m/s] .....	650
Vs min [m/s] .....	199
Vs max [m/s] .....	797
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	398

**Strato 3: Ghiaie con limo**

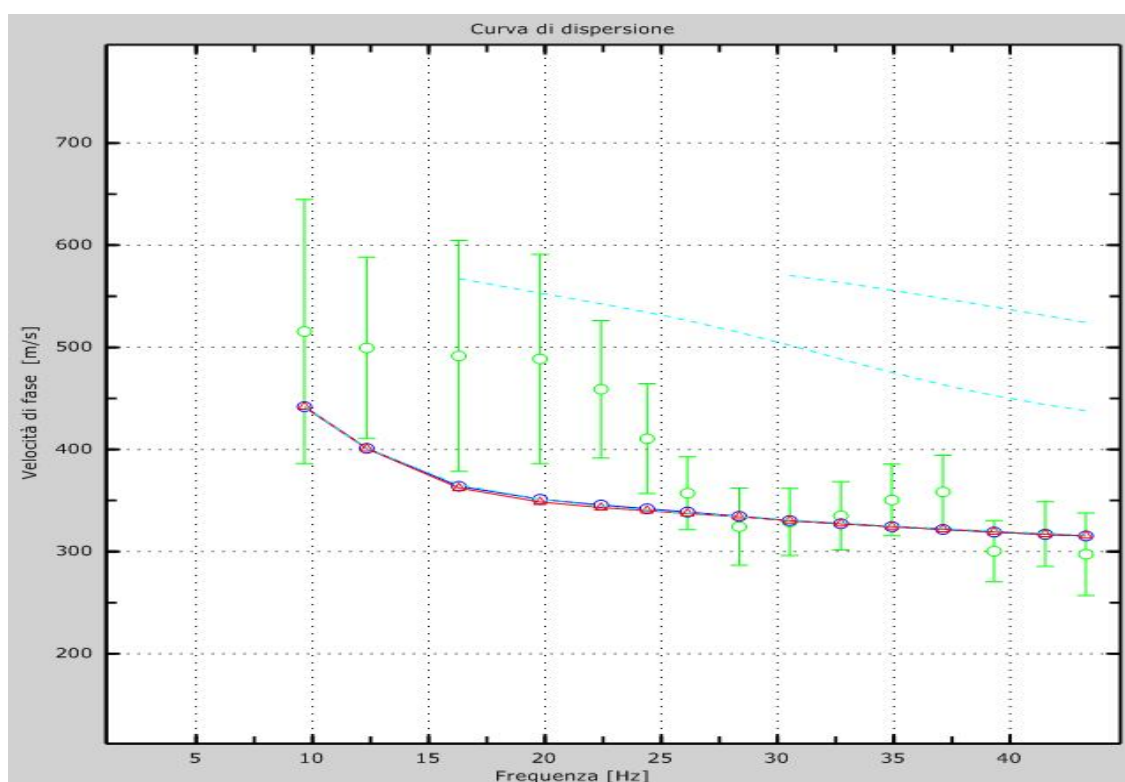
h [m] .....	3
z [m] .....	-14.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ] .....	1900
Poisson .....	0.48
Vs [m/s] .....	456
Vp [m/s] .....	2325
Vs min [m/s] .....	228
Vs max [m/s] .....	912
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	456

**Strato 4: Ghiaia con sabbia**

h [m].....	4
z [m] .....	-18.5
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1950
Poisson .....	0.48
Vs [m/s].....	543
Vp [m/s] .....	2769
Vs min [m/s].....	271
Vs max [m/s].....	1086
Falda presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	543

**Strato 5: Ghiaia con sabbia compatta**

h [m].....	11.5
z [m] .....	-30.0
Densità [kg/m <sup>3</sup> ].....	1950
Poisson .....	0.2
Vs [m/s].....	573
Vp [m/s] .....	936
Vs min [m/s].....	286
Vs max [m/s].....	1146
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s] .....	573



**Figura 4:** Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

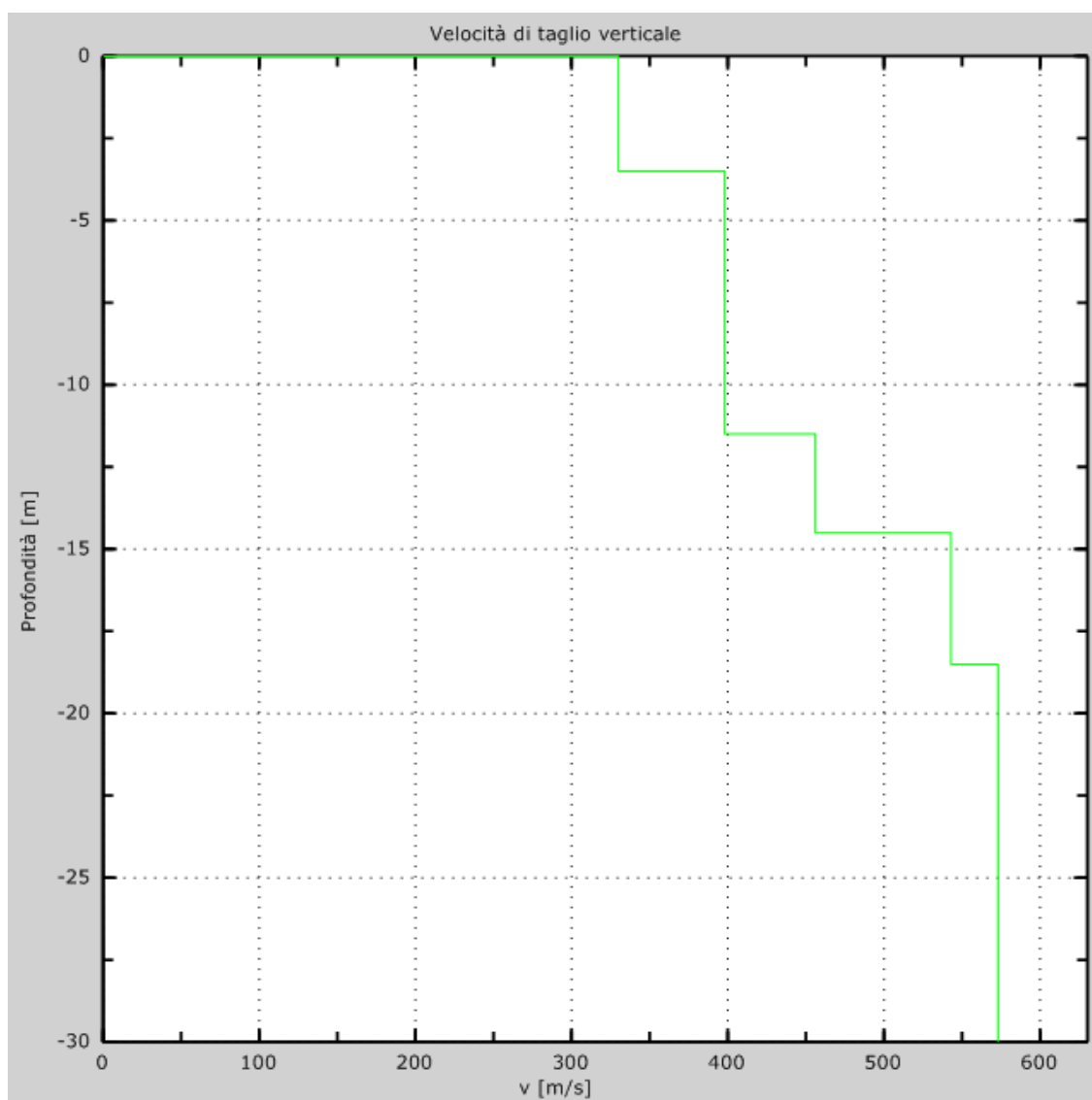


Figura 5: Velocità

#### 4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Su incarico dello Studio e per conto dello Studio Geologico Tecnico "Dott. Ricci & Dott. Stronati" è stata eseguita in data 24 Maggio 2011, una indagine geofisica mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW, in via Abruzzetti presso il Comune di Jesi (AN).

Tale indagine, scaturita da un'analisi comparativa su tutte le soluzioni disponibili, ha permesso di calcolare la velocità in Vs compresa nei primi 30,00 metri di profondità:

$$V_{s30} = 463 \text{ m/sec.}$$

- valore del parametro  $V_{s30}$  come previsto dalle Nuove NTC -D.M. 14 gennaio 2008 s.m.i..
- Il calcolo della velocità delle onde " $V_{s30}$ " è indicativo, non conoscendo la profondità esatta del piano di posa delle fondazioni.
- La categoria di sottosuolo calcolata, può essere S2 nel caso di terreno liquefacibile.
- Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

**Categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

- Monte San Vito, li 30 Maggio 2011

Il Responsabile  
(dott. geol. Angelo Curatolo)  


## Appendice

### Tipo di suolo

Tipo A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

Tipo B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Tipo C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o di terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina).

Tipo D: Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  inferiori a 180 m/s (ovvero  $NSPT_{30} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u30} < 70$  kPa nei terreni a grana fina).

Tipo E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s).

Tipo S1: Depositati costituiti da, o contenenti uno strato di almeno 10m di spessore, argille/limi soffici con un alto indice di plasticità ( $PI > 40$ ) e contenuto d'acqua

Tipo S2: Depositati di terreno liquefacibile o argille sensitive o altri profili di terreno non inclusi nei tipi A, B, C, D, E o S1. Attenzione: la nuova norma classifica come S2 una serie di siti che prima erano classificati come B, C, D, E.