
Dott. Marco Gaggiotti

Via Osoppo, 38
60015 Falconara M.ma (AN)

e-mail: gaggiotti_m@yahoo.it

C.F: GGGMRC68S12A271H

TEL. +39.328.20.40.857

P.IVA 02438320422



**INDAGINE GEOFISICA AD INTEGRAZIONE DELLA RELAZIONE GEOLOGICA
ESEGUITA IN VIA DELLA PINETA LOCALITA' MADONNA DEL PONTE
NEL COMUNE DI FANO (PU)**

Oggetto: Indagine geofisica con tecnica MASW.

Committente: Madonna del Ponte srl

Commessa: 077AM -10

Falconara M.ma, lì 15 Novembre 2010

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	3
2.1 Strumentazione utilizzata.....	3
2.2 Indagine MASW: 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.....	12

TAVOLE

TAV.1 Ubicazione stendimento sismico (scala 1:5.000)

Falconara M.ma, 15 Novembre 2010

1. PREMESSA

Su incarico e per conto della Società Madonna del Ponte srl, è stata eseguita in data 12 Novembre 2010, una indagine geofisica mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (*Rayleigh*) con tecnica *MASW*, eseguita in Via Della Pineta, località Madonna del Ponte presso il comune di Fano (PU).

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.

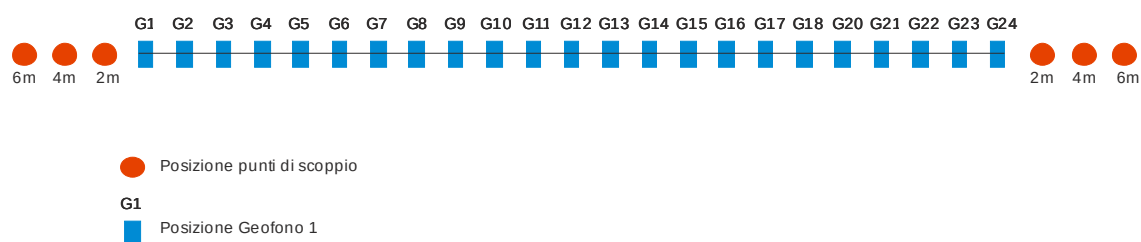
Schematicamente il processo di analisi è il seguente:

- 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 6.0m
- 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 20405
 Numero di ricevitori..... 24
 Numero di campioni temporali2048
 Passo temporale di acquisizione1ms
 Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
 L'intervallo considerato per l'analisi comincia a0ms
 L'intervallo considerato per l'analisi termina a2048ms
 Coordinate Topografiche verticale MASW: **43°49'34.69",13°02'44.56"**

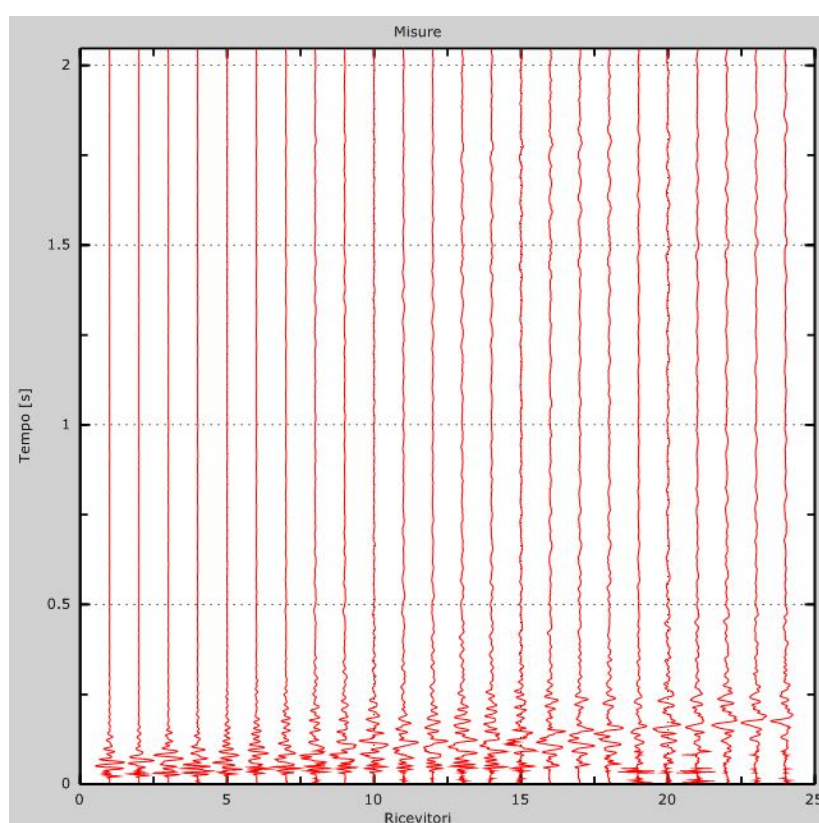


Figura 1:Tracce sperimentali

3.1 Risultati delle analisi

Frequenza finale64Hz

Frequenza iniziale02Hz

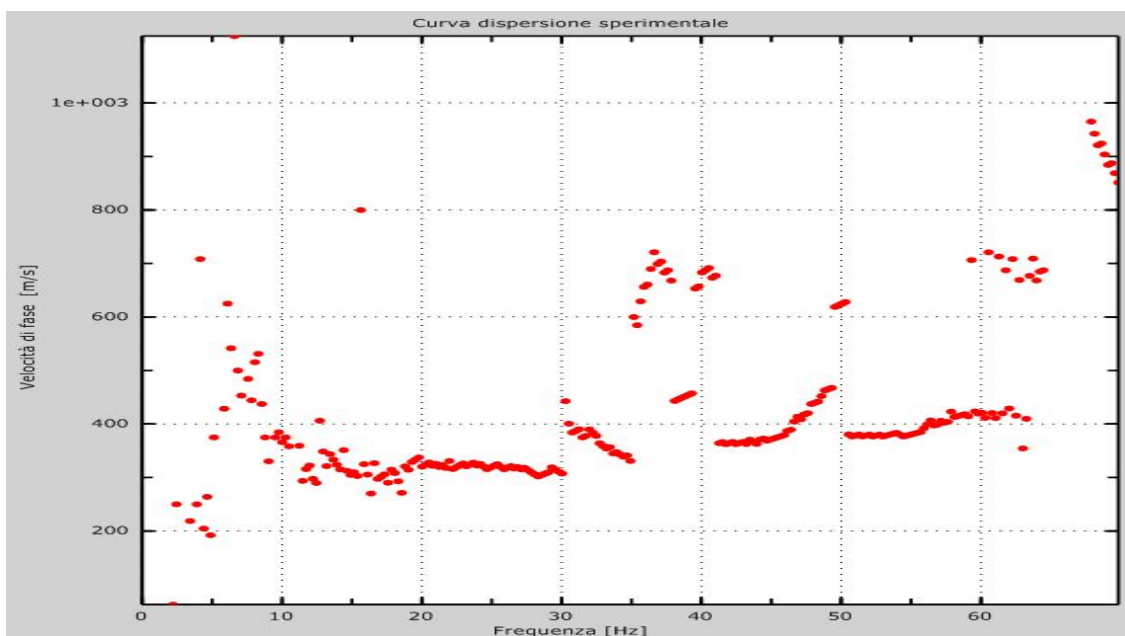


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3.2 Curva di dispersione

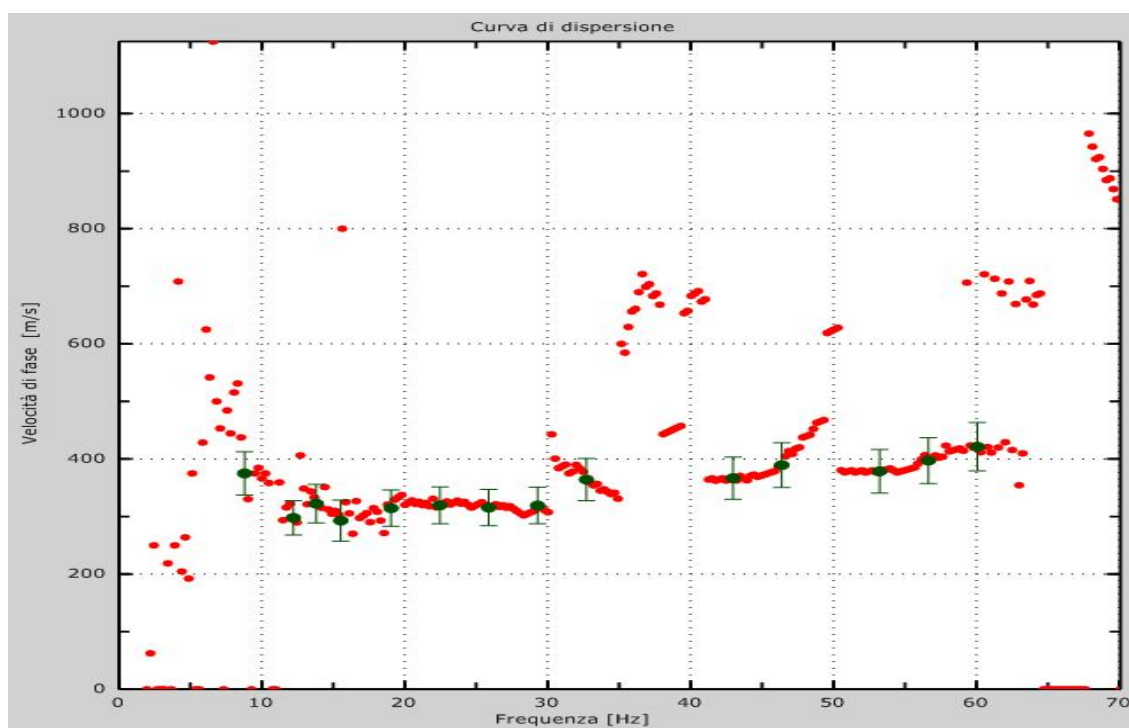


Figura 3: Curva di dispersione.

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
8.78906	375	337.5	412.5
12.207	297.619	267.857	327.381
13.8091	322.287	288.685	355.889
15.5262	292.885	257.184	328.587
19.043	314.516	283.065	345.968
22.4609	319.444	287.5	351.389
25.8789	315.476	283.929	347.024
29.2969	319.149	287.234	351.064
32.7148	364.13	327.717	400.543
42.9688	366.667	330	403.333
46.3867	389.344	350.41	428.279
53.2227	378.472	340.625	416.319
56.6406	397.26	357.534	436.986
60.0586	421.233	379.11	463.356

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 [%]	11

Strato 1: Terreno di riporto

h [m].....	1
z [m]	-1
Densità [kg/m ³].....	1800
Poisson	0.2
Vs [m/s].....	441.40
Vp [m/s]	720.80
Vs min [m/s].....	220.70
Vs max [m/s].....	882.80
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s]	441.400

Strato 2: Sabbia con ghiaia

h [m].....	1
z [m]	-2
Densità [kg/m ³].....	1850
Poisson	0.2
Vs [m/s].....	407.41
Vp [m/s]	665.30
Vs min [m/s].....	203.70
Vs max [m/s].....	814.82
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	407.410

Strato 3: Alternanze di ghiaia e sabbia con intercalazioni limo argillose

h [m].....	10
z [m]	-12
Densità [kg/m ³].....	1850
Poisson	0.48
Vs [m/s].....	349.46
Vp [m/s]	570.67
Vs min [m/s].....	174.73
Vs max [m/s].....	698.92
Falda presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	349.460

Strato 4: Alternanze di Sabbia e ghiaia

h [m].....	14
z [m]	-26
Densità [kg/m ^3].....	1850
Poisson	0.48
Vs [m/s].....	330.69
Vp [m/s]	540.01
Vs min [m/s].....	165.34
Vs max [m/s].....	661.38
Falda presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	330.690

Strato 5: Alternanze di ghiaia e sabbia

h [m].....	4
z [m]	-30
Densità [kg/m ^3].....	1900
Poisson	0.48
Vs [m/s].....	416.67
Vp [m/s]	680.42
Vs min [m/s].....	208.33
Vs max [m/s].....	833.33
Falda presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	416.670

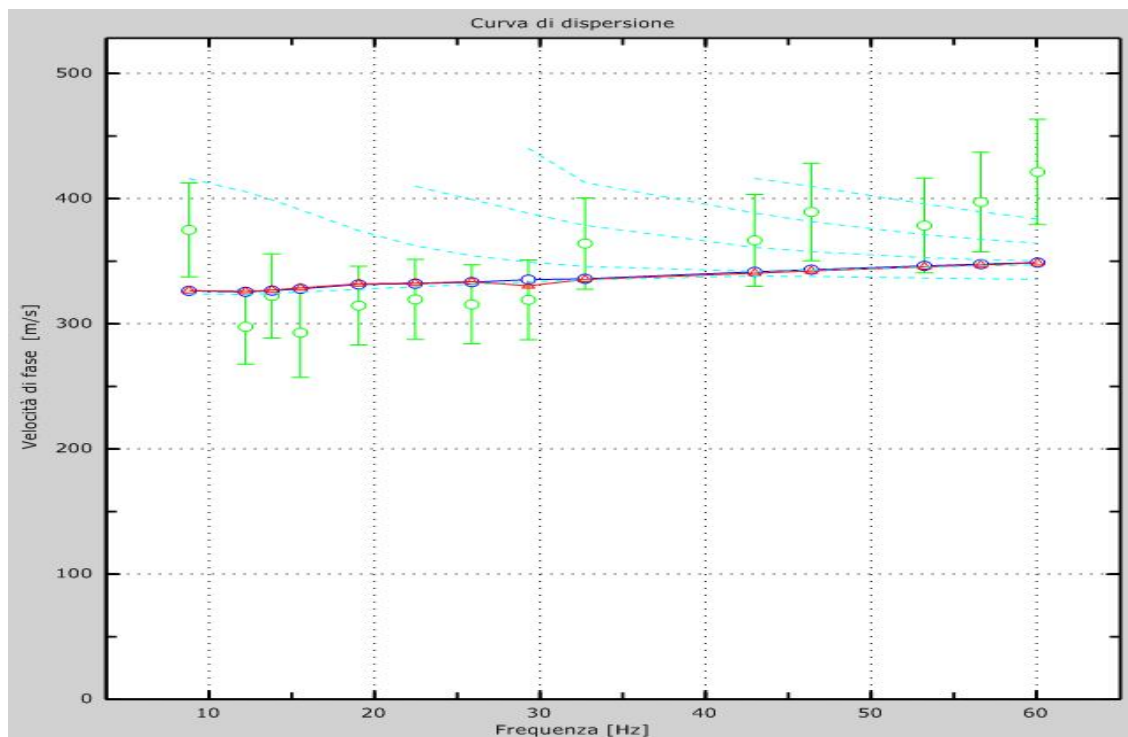


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

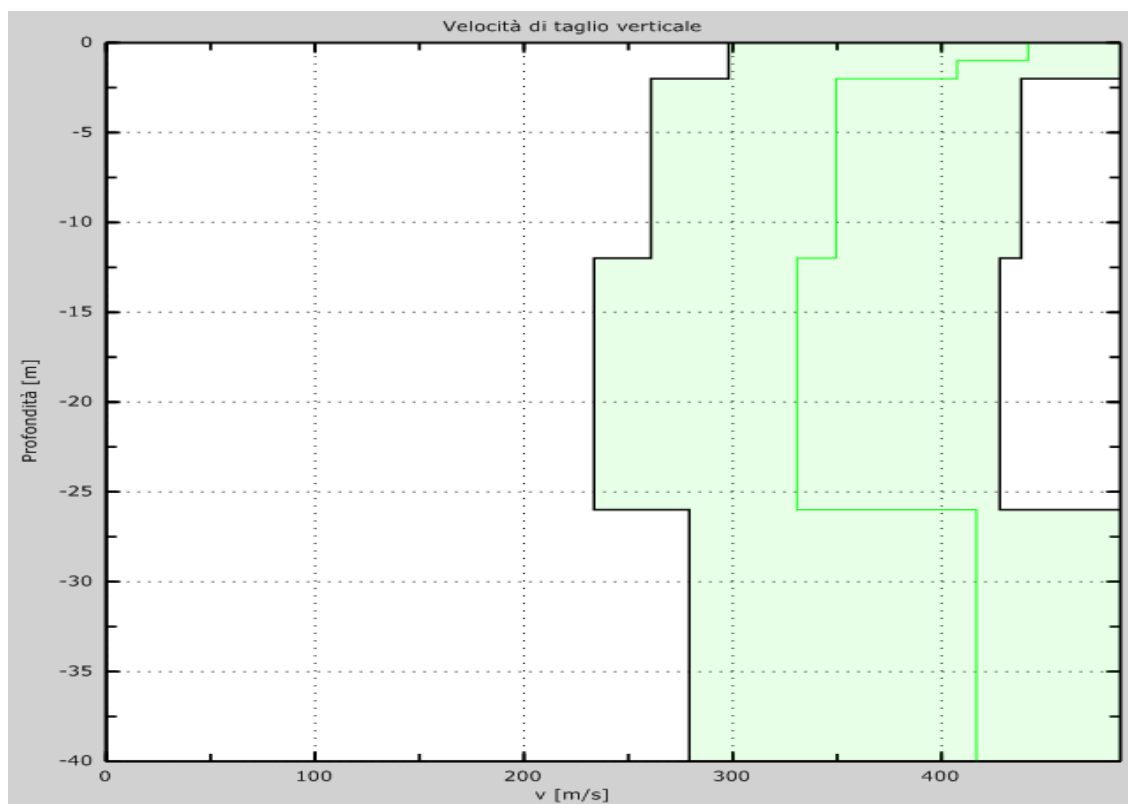


Figura 5: Velocità

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Su incarico e per conto della Società Madonna del Ponte srl, è stata eseguita in data 12 Novembre 2010, una indagine geofisica mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (*Rayleigh*) con tecnica MASW.

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:

$$V_{S30} = 351 \text{ m/sec.}$$

- valore del parametro V_{S30} come previsto dalle Nuove NTC -D.M. 14 gennaio 2008 s.m.i..
- La velocità delle onde " V_{S30} " è stata calcolata dall'attuale piano campagna, non conoscendo la profondità esatta del piano di posa delle fondazioni.
- 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 C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o 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 $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Falconara M.ma, li 12 Novembre 2010

Dott. Geol. Marco Gaggiotti



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).

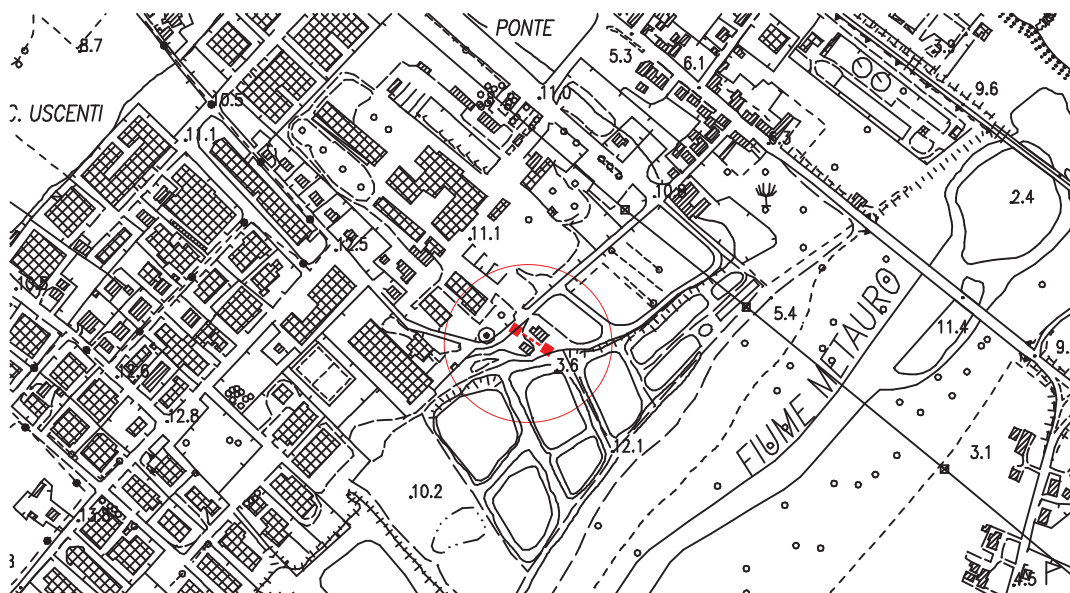
Tipo E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

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.

UBICAZIONE INDAGINE

LOCALITA' MADONNA DEL PONTE- FANO (PU)
Stralcio Sezione n°269130 C.T.R. Regione Marche



COORDINATA GEOGRAFICA: 43°49'34.69"N, 13°02'44.56"E
Scala 1:5.000

Legenda:

-----■ Ubicazione e direzione stendimento MASW

○ Area di Indagine