

AUTOSTRADA (A14): BOLOGNA - BARI -TARANTO TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE INTERMEDIA DI PIANURA

PROGETTO DEFINITIVO


DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOLOGIA INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO

PROSPEZIONI SISMICHE ENTI (MASW-HVSR)

IL GEOLOGO Dott. Massimo Roberto Campana Ord. Geol. Toscana N. 1709	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Piero Bongio Ord. Ingg. Sondrio N. A538 T.A. - Geologia e Geotecnica
---	---	---

CODICE IDENTIFICATIVO											ORDINATORE -- SCALA -
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111443	0000	PD	DG	GEO	SI000	00000	R	GEO	0025	-0	

	ENGINEER COORDINATOR: Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
							n.	data
							0	DICEMBRE 2021
REDATTO:				VERIFICATO:				

	VISTO DEL COMMITTENTE  IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Fabio Visintin	VISTO DEL CONCEDENTE  Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibile DIPARTIMENTO PER LA PROGRAMMAZIONE, LE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO A RETE E I SISTEMI INFORMATIVI
--	---	--

MASW-HVSR
(DA REGIONE EMILIA ROMAGNA)

SIGLA	IMPRESA	ANNO
-	-	-

Consulenze su Ambiente e Territorio Via Farolfi 3, 40033 Casalecchio di Reno - (BO)		Relazione G029-11 Data: 15/03/2012	Pagina
		Settore: studio geologico	13 di 25
Committenza Lavori	Geom. Maresca	Curatore del presente studio: Dott. Caiffa Cosimo	
Rif. Tecnico	Ing. Di Capua	Ristrutturazione di un edificio in via Aldina Calderara di Reno	

ACQUISIZIONE DATI

I parametri di campionamento utilizzati nella presente indagine e la geometria del profilo sono riportati di seguito.

Identificazione	Modello sismografo	Apertura stendimento	n° geofoni verticali (4.5 Hz)	sorgente	Distanza intergeofonica	Frequenza di campionamento
Profilo masw in array	Digitale Dolang 24 bit	33.00 m	12	Mazza 10 Kg	3.00 m	4000 Hz

Tabella 1 - Caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata e parametri di acquisizione (metodo in array MASW).

RISULTATI: MODELLO DI SOTTOSUOLO PROPOSTO

Nella sottostante tabella è riportato il modello di sottosuolo proposto, ottenuto mediante interpretazione delle prova masw in array (si veda rapporto in allegato).

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	145
3.00	1.50	200
8.00	5.00	290
18.00	10.00	390
58.00	40.00	590

Tabella 3 – Profilo verticale delle onde di taglio S relativo al modello di sottosuolo ottenuto da fit congiunto prova MASW in array e misura HVSR.

Sulla base di quanto riportato in tabella, la Categoria di suolo determinata unicamente sulla base dei risultati delle prove geofisiche descritte (media ponderata della velocità equivalente di propagazione delle onde S entro i primi 30 m di profondità) secondo approccio semplificato da NTC 2008 è risultata:

- da quota p.c. su cui è stato eseguito il profilo: C ($V_{s30} = 370$ m/s)

L'incertezza sul valore calcolato di V_{s30} è dell'ordine del 20% (cfr. Mulargia e Castellaro, 2009, Seism. Res. Lett., 80, 985-989).

La categoria di suolo così determinata dovrà essere comunque valutata e verificata dal tecnico progettista sulla base dei dati e delle informazioni di carattere litostratigrafico ottenute mediante le indagini geognostiche eseguite.

Consulenze su Ambiente e Territorio Via Farolfi 3, 40033 Casalecchio di Reno - (BO)		Relazione G029-11 Data: 15/03/2012	Pagina
		Settore: studio geologico	23 di 25
Committenza Lavori	Geom. Maresca	Curatore del presente studio: Dott. Caiffa Cosimo	
Rif. Tecnico	Ing. Di Capua	Ristrutturazione di un edificio in via Aldina Calderara di Reno	

Rapporto indagine geofisica eseguita per la determinazione del parametro V_{s30} mediante tecnica masw

1 – Dati sperimentali tecnica MASW e risultati ottenuti

Strumentazione utilizzata.....Sismografo digitale 24 canali – 24 bit modello Dolang
Numero di geofoni verticali (frq. Propria 4.5 Hz).....12
Spaziatura tra i geofoni.....3.00 m
Frequenza di campionamento.....4000 Hz
Lunghezza traccia acquisita.....1 sec
Sorgente.....mazza (10 Kg)

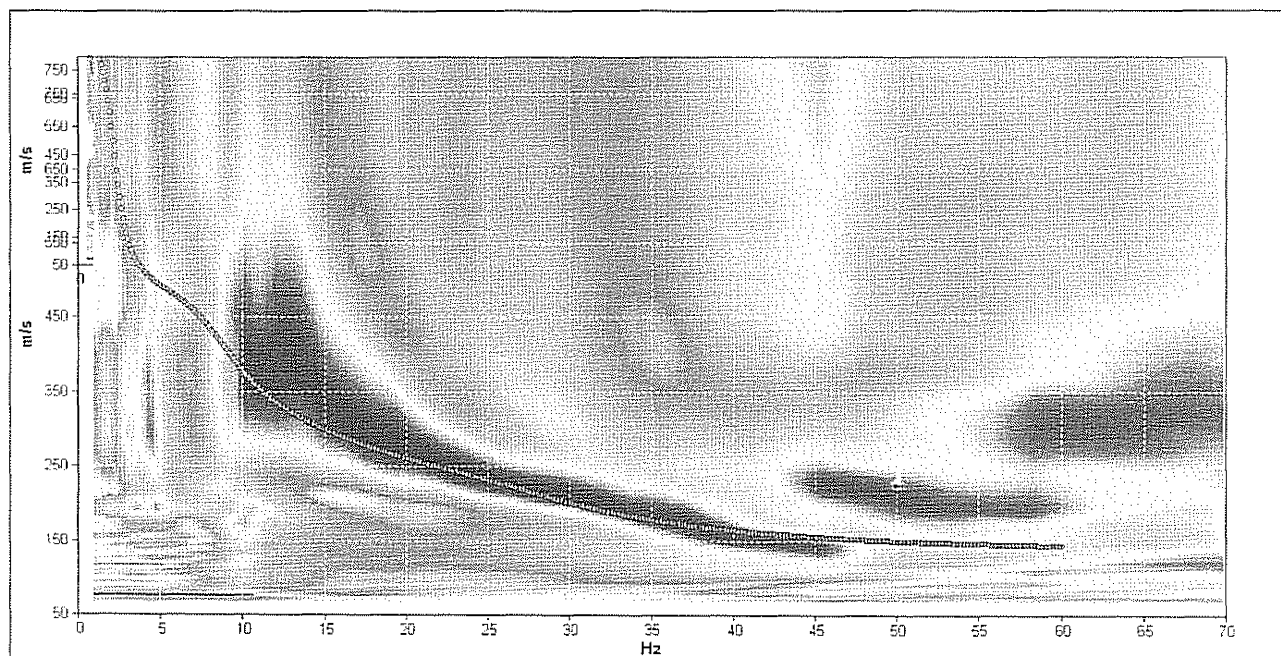


Figura 1 - Spettro di velocità di fase dell'onda di Rayleigh per il profilo sismico eseguito in array con tecnica MASW mediante sismografo digitale Dolang (energizzazione ottenuta mediante mazza battente del peso di 10Kg). In blu il modo fondamentale della curva di dispersione teorica per il modello di sottosuolo proposto per il sito.

Consulenze su Ambiente e Territorio Via Farolfi 3, 40033 Casalecchio di Reno - (BO)		Relazione G029-11 Data: 15/03/2012	Pagina
		Settore: studio geologico	24 di 25
Committenza Lavori	Geom. Maresca	Curatore del presente studio: Dott. Caiffa Cosimo	
Rif. Tecnico	Ing. Di Capua	Ristrutturazione di un edificio in via Aldina Calderara di Reno	

3 – Modello di sottosuolo ottenuto da fit congiunto prova in array (masw)

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	145
3.00	1.50	200
8.00	5.00	290
18.00	10.00	390
58.00	40.00	590

$V_s(0.0-30.0)=370$ m/s (misurata da p.c. su cui è stato eseguito lo stendimento sismico)

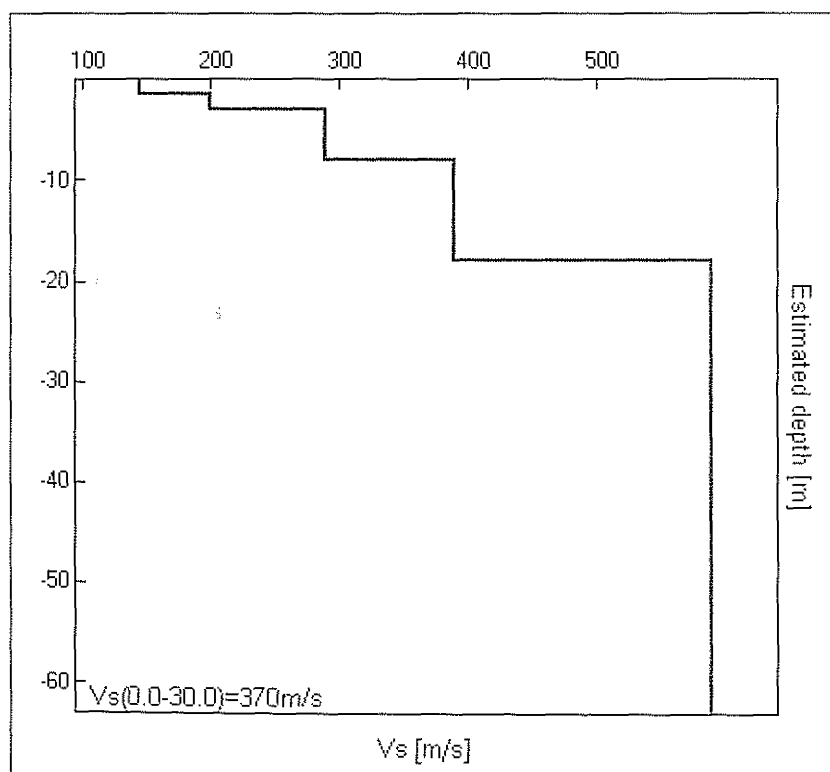


Figura 7 - Modello di velocità delle onde di taglio S (modello medio sotto il profilo effettuato) derivato da fit congiunto tecnica masw

CALDERARA, R088

Inizio registrazione: 21/04/13 08:52:17 Fine registrazione: 21/04/13 09:06:18

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".

Analizzato 62% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

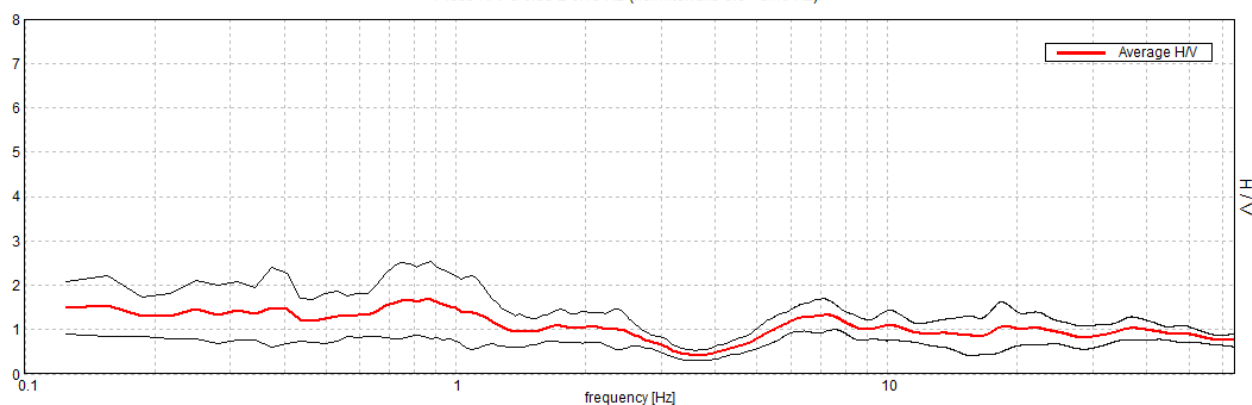
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

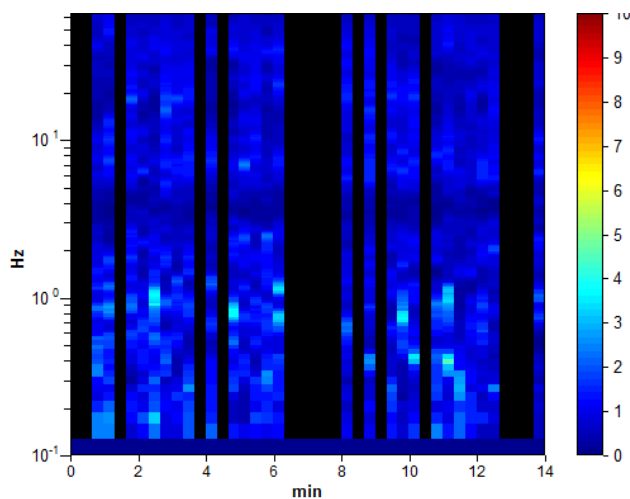
Lisciamento: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

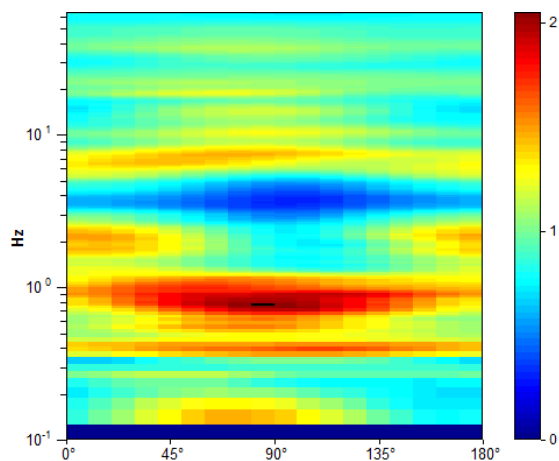
Picco H/V a 0.88 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



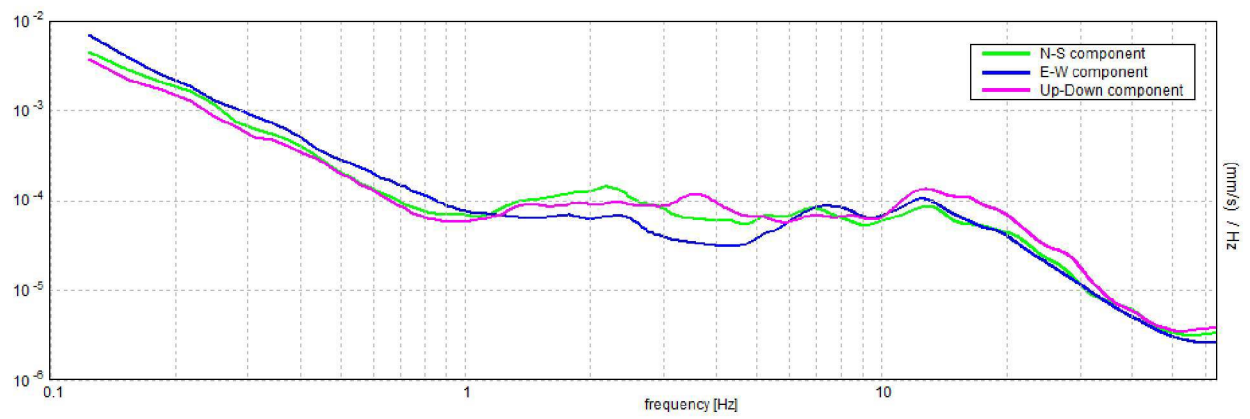
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



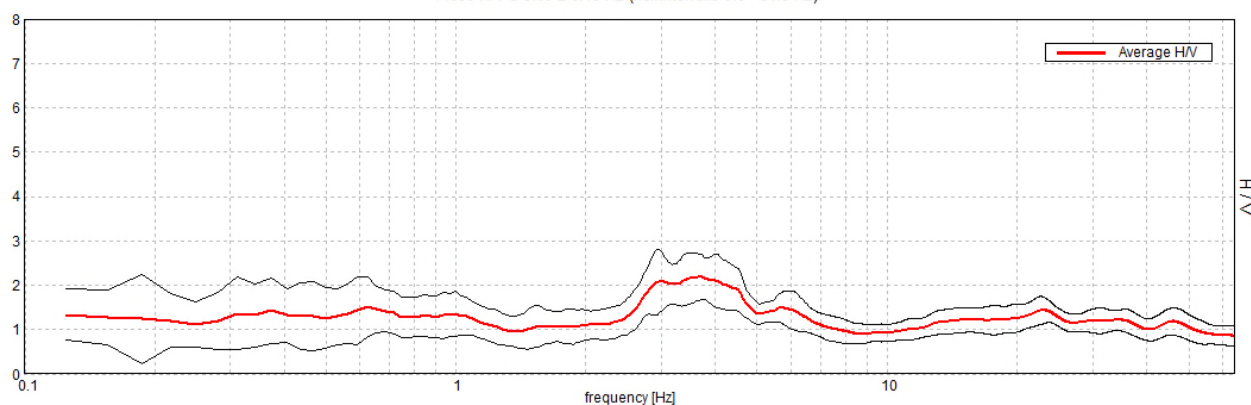
CALDERARA, R028

Inizio registrazione: 21/03/13 16:23:55 Fine registrazione: 21/03/13 16:37:56
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

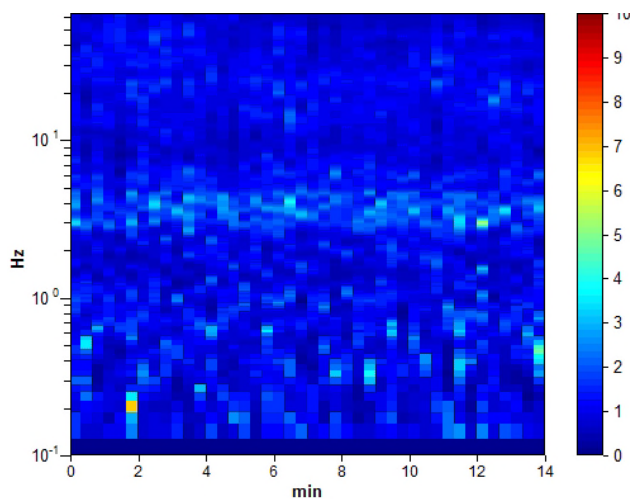
Durata registrazione: 0h14'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

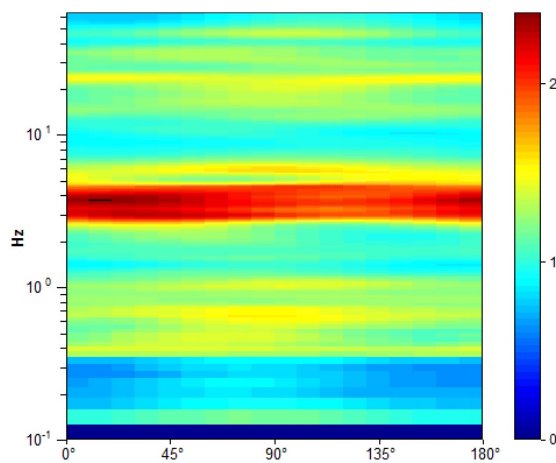
Picco H/V a 3.69 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



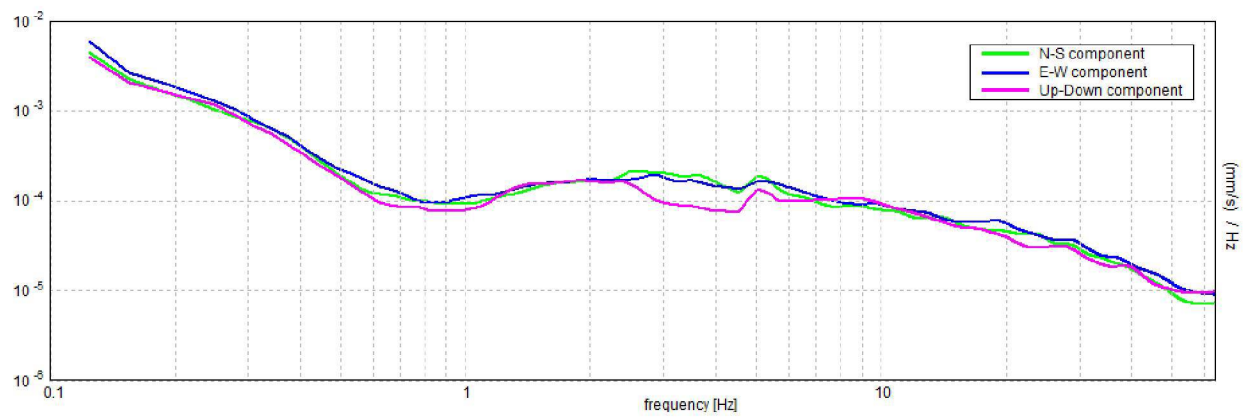
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



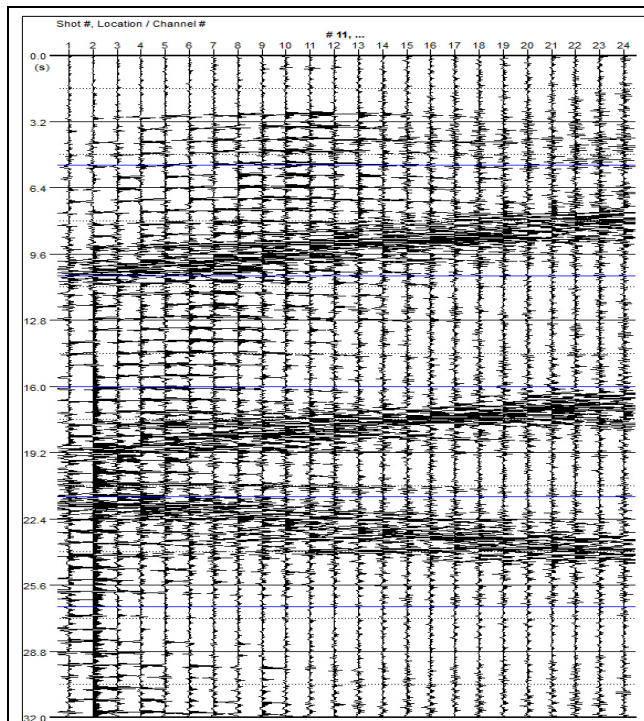
MASW
(DA CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA)

SIGLA	IMPRESA	ANNO
-	-	-

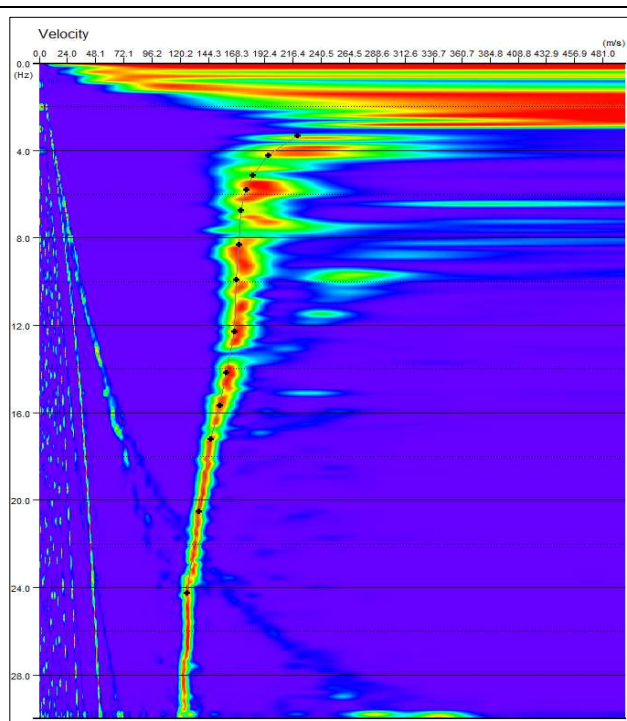
Ciclopedonale Reno Galliera – Tratto 1

n° tracce	Δx (m)	L tot (m)	Δt (ms)	T (s)
25	3,0	69,0	0,5/2,0	2,0/32,0

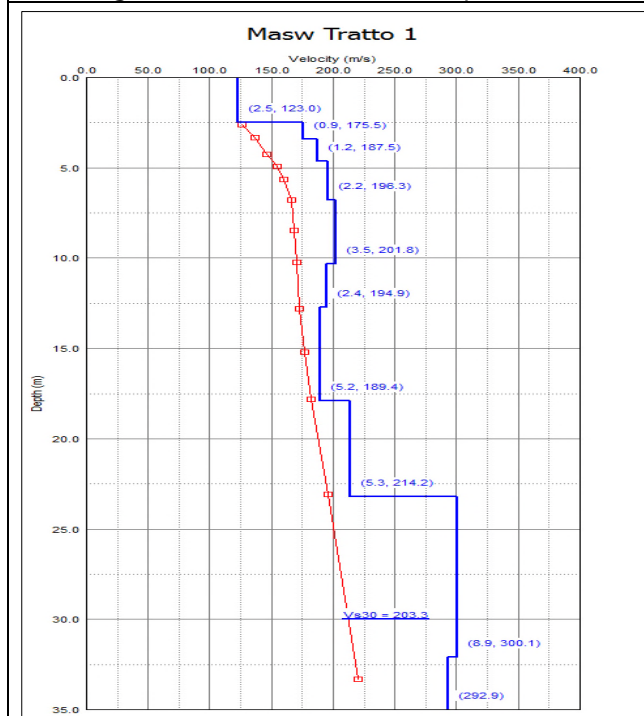
Δx : interdistanza geofonica; L tot: lunghezza profilo; Δt : passo di campionamento; T: durata registrazione.



Sismogramma registrato durante le acquisizioni di microtremore sismico. In ascissa la distanza tra i geofoni (m), in ordinata il tempo (ms).



Spettro di potenza nel dominio $f-v$ e Picking della curva sperimentali delle onde R (croci nere).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di V_s e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	V_s (m/s)
1	2.5	2.5	123.0
2	3.4	0.9	175.5
3	4.6	1.2	187.5
4	6.8	2.2	196.3
5	10.3	3.5	201.8
6	12.7	2.4	194.9
7	17.9	5.2	189.4
8	23.2	5.3	214.2
9	32.1	8.9	300.1
10	∞	∞	292.9

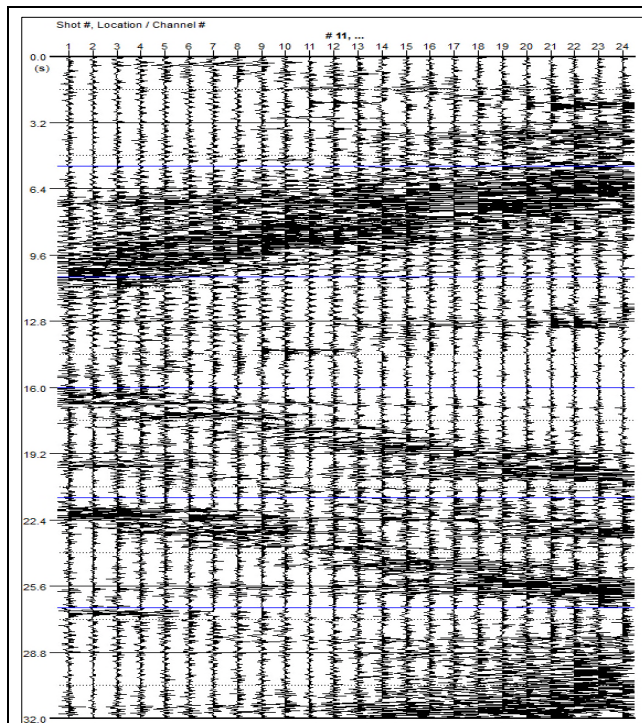
$$V_{s30} = 203.3 \pm 10 \text{ [m/s]}$$

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di V_{s30} calcolato.

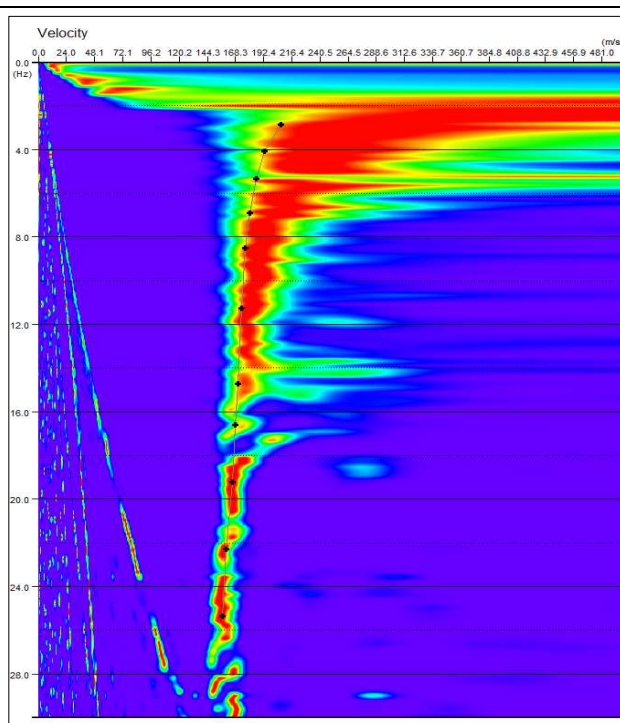
Ciclopedonale Reno Galliera – Tratto 2

n° tracce	Δx (m)	L tot (m)	Δt (ms)	T (s)
25	2,5	57,5	0,5/2,0	2,0/32,0

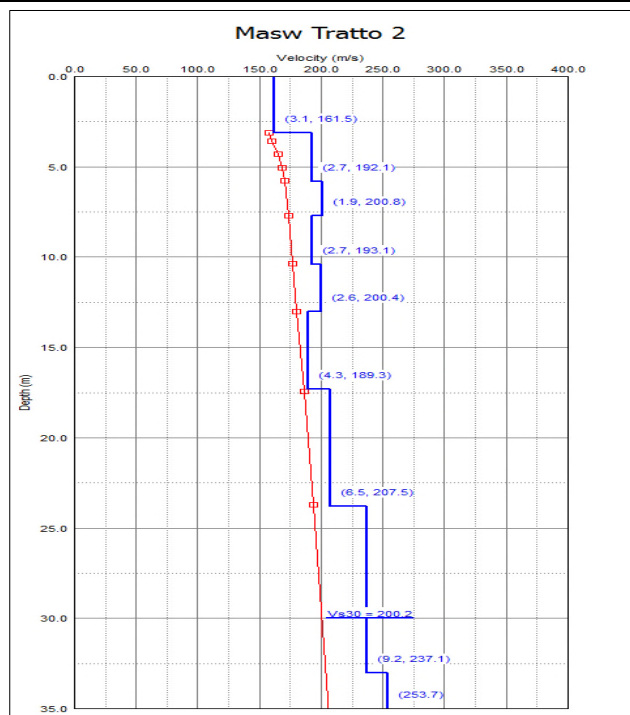
Δx : interdistanza geofonica; L tot: lunghezza profilo; Δt : passo di campionamento; T: durata registrazione.



Sismogramma registrato durante le acquisizioni di microtremore sismico. In ascissa la distanza tra i geofoni (m), in ordinata il tempo (ms).



Spettro di potenza nel dominio f - v e Picking della curva sperimentali delle onde R (croci nere).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di Vs e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	V_s (m/s)
1	3.1	3.1	161.5
2	5.8	2.7	192.1
3	7.7	1.9	200.8
4	10.4	2.7	193.1
5	13.0	2.6	200.4
6	17.3	4.3	189.3
7	23.8	6.5	207.5
8	33.0	9.2	237.1
9	∞	∞	253.7

$$V_{s30} = 200.2 \pm 10 \text{ [m/s]}$$

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di Vs30 calcolato.

MASW
(DA CONSORZIO BONIFICA RENANA)

SIGLA	IMPRESA	ANNO
-	INDAGO	2009



IND.A.G.O. s.n.c.

Indagini e Opere Ambientali e Geologiche

via Balzan, 1 - 45100 Rovigo - tel. 0425-25185

www.indago-rovigo.it

Rapporto Tecnico:

Indagine sismica mediante la tecnica Masw attiva e passiva in un sito a Trebbo di Reno (BO)
ai sensi delle NTC (DM 14/01/08) e dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c.1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"

Dott. Geol. Enrico Farinatti

Rovigo, Giugno 2009

Committente : Dott. Geol. Stefano Marabini

Via S. Martino, 1

48018 – Faenza (RA)

Premessa

Lo scrivente, su incarico del Dott. Geol. Stefano Marabini, ha eseguito un'indagine sismica con due stendimenti, mediante il metodo Masw (Multi Channel Analysis Surface Waves) attivo e passivo in un sito a Trebbo di Reno (BO), ai sensi del DM 14/01/2008.

Il metodo utilizzato sfrutta le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza).

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Il metodo passivo sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo attivo sfrutta sorgenti sismiche (massa battente).

Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

Modalità esecutive

Si è optato per l'analisi delle onde di superficie dal momento che tale tecnica ha dimostrato ampiamente la sua affidabilità e la capacità risolutiva. Il metodo prevede l'utilizzo di strumentazione classica per sismica a rifrazione ad elevata dinamica (24 bits di conversione A/D), con geofoni a bassa frequenza (preferibilmente da 4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure è stato utilizzato un sismografo a 24 canali mod. RAS24 a 24 bits con scarico dei dati direttamente su p.c..

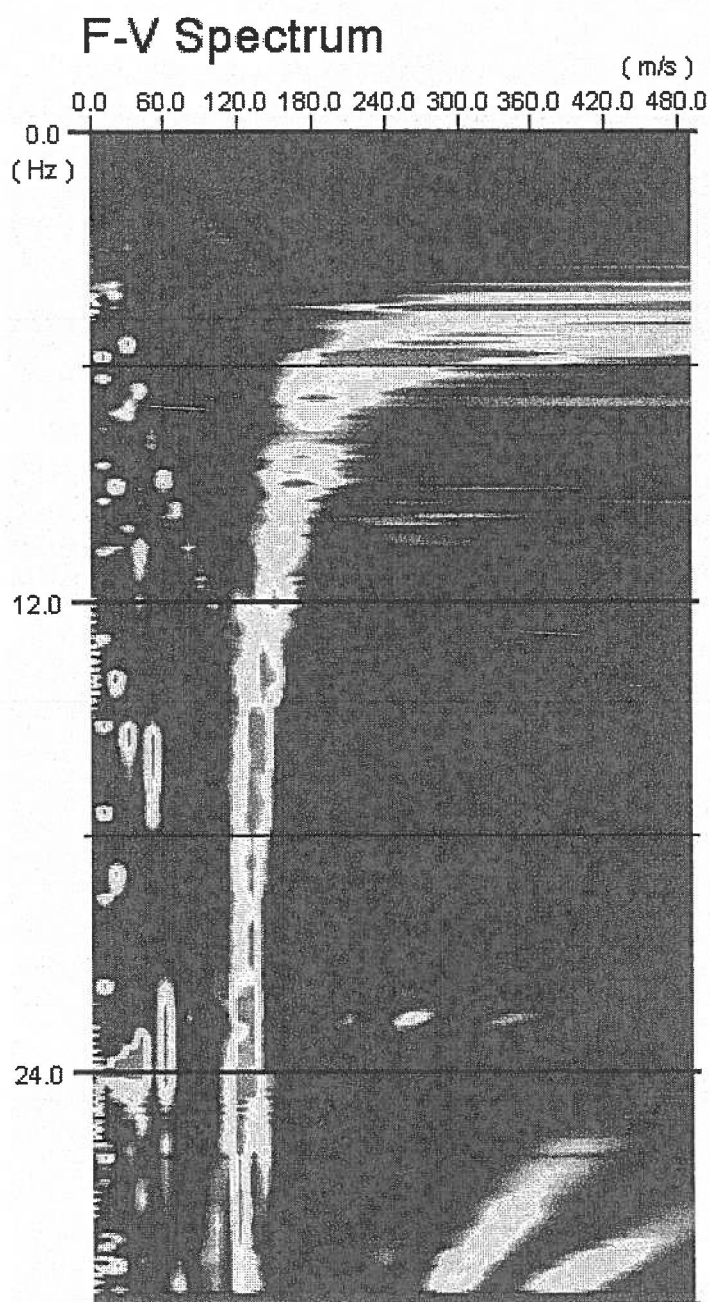
Sono state effettuate 10 registrazioni da 30 secondi ciascuna, per il metodo passivo e una registrazione da 2 secondi, per il metodo attivo. I geofoni usati sono di tipo verticale da 4.5 Hz e grazie alla dinamica dello strumento (24 bits, range dinamico 117 dB), consentono la registrazione delle onde di superficie con contenuto in frequenza fino a circa 2 Hz.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello $V_s/\text{profondità}$ attendibile.

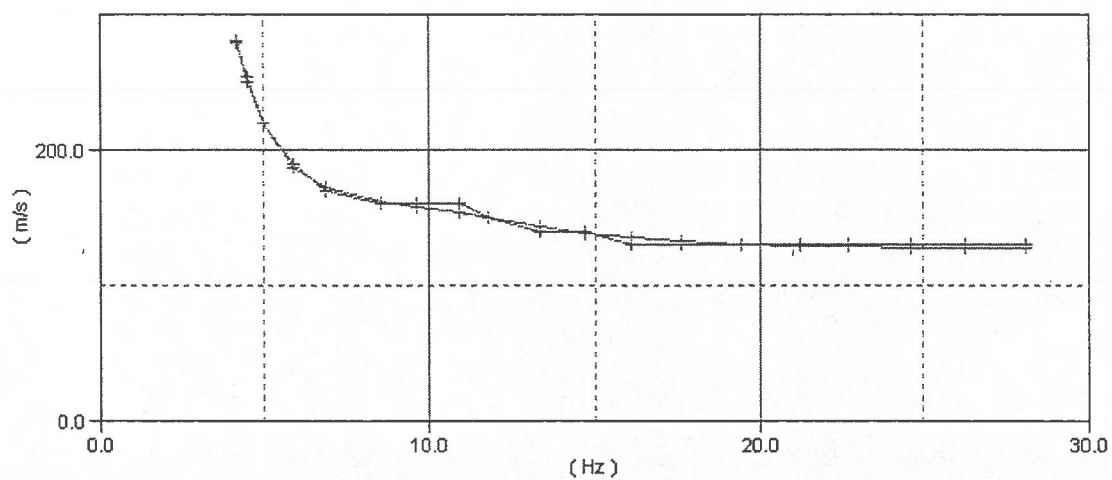
Stendimento 1 : risultati e conclusioni

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a circa 33 m di profondità.

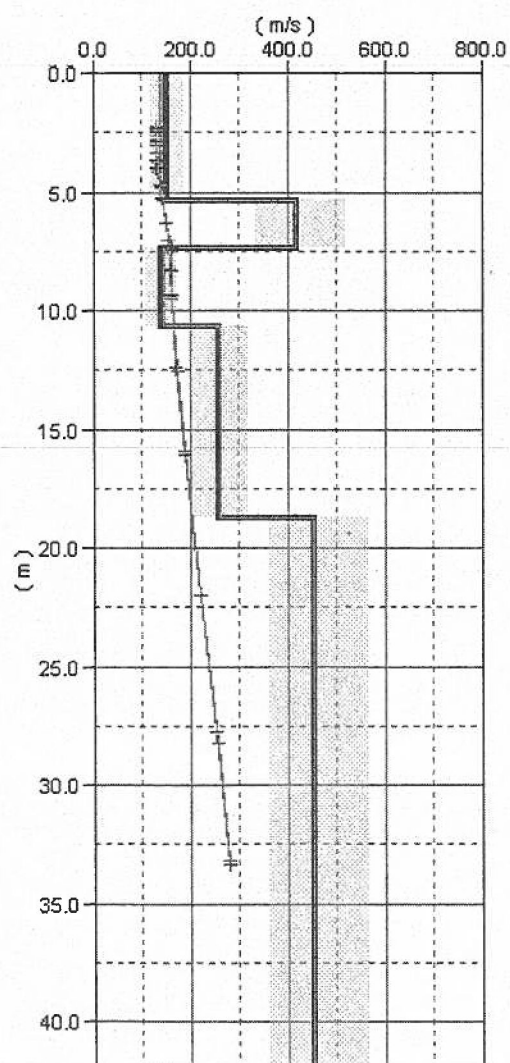
Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati. L'errore RMS calcolato è inferiore al 1%.



CURVA DI DISPERSIONE CUMULATIVA METODI ATTIVO E PASSIVO



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)



MODELLO RISULTANTE DALL'INVERSIONE DEI DATI

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 12 geofoni in linea con interdistanza di 5 m.

La V_{s30} è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$$V_{s30} = 245 \text{ m/s}$$

Si tratta quindi di un suolo tipo C ($S = 1.46$ secondo le NTC).

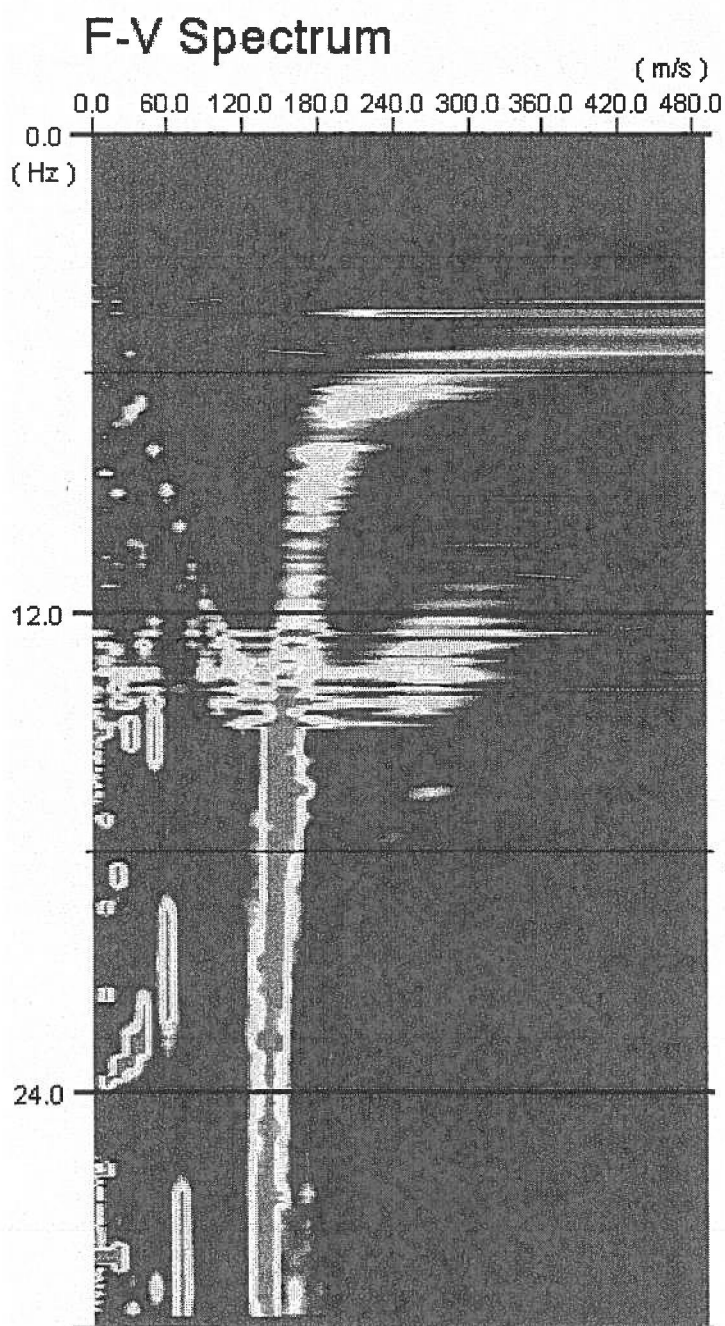
Vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo **stato limite ultimo di salvaguardia della vita** (secondo NTC). E' inoltre stata inserita la classificazione del sito in base alle vigenti normative regionali.

Dalle prove geognostiche eseguite e dalla risposta sismica del terreno, sono stati evidenziati due livelli di materiale grossolano: il primo tra i 5 e gli 8 m di profondità da p.c., il secondo sotto i 18 m da p.c.. In entrambi i casi non è stata eseguita alcuna verifica alla liquefazione in quanto, per il primo livello si tratta di materiale fuori falda (la falda si trova a circa 10 m di profondità da p.c.), per il secondo perché situato oltre i 15 m di profondità, limite questo indicato da tutte le linee guida, al di sotto del quale non si ritiene più necessaria la verifica alla liquefazione.

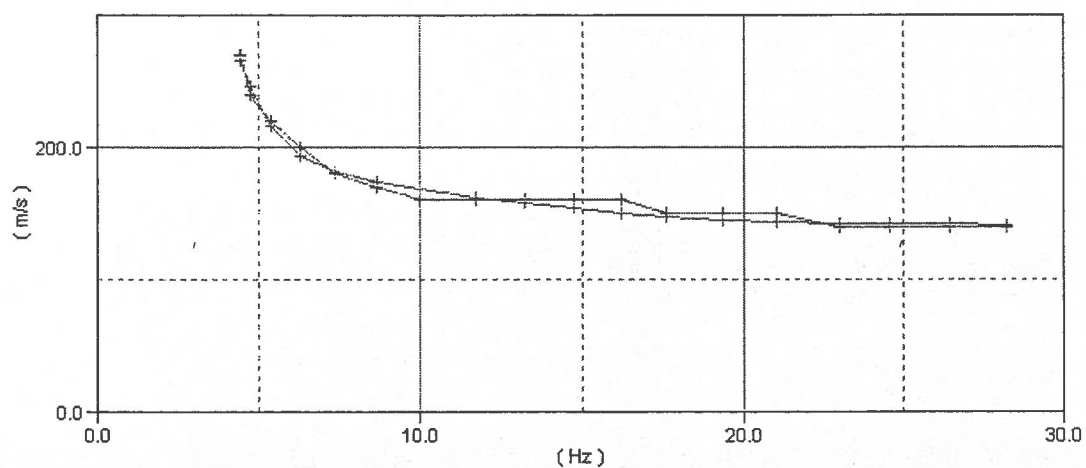
Stendimento 2 : risultati e conclusioni

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a circa 31 m di profondità.

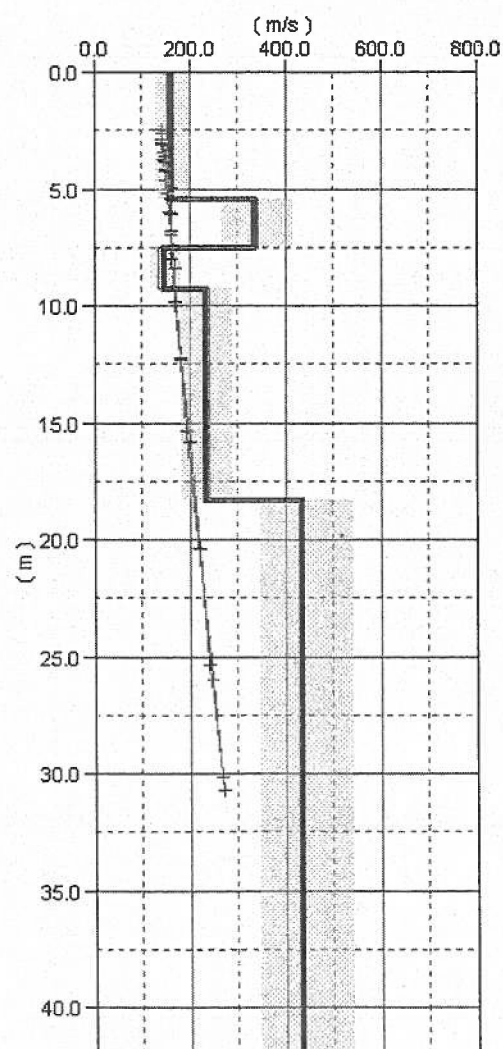
Di seguito si riportano le immagini relative alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh e del modello che ne deriva previa inversione dei dati. L'errore RMS calcolato è inferiore al 1%.



CURVA DI DISPERSIONE cumulativa metodi ATTIVO E PASSIVO



CURVA DI DISPERSIONE MISURATA (BLU) E CALCOLATA (ROSSO)



MODELLO RISULTANTE DALL'INVERSIONE DEI DATI

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 12 geofoni in linea con interdistanza di 5 m.

La V_{s30} è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$$V_{s30} = 251 \text{ m/s}$$

Si tratta quindi di un suolo tipo C ($S = 1.46$ secondo le NTC).

Vengono inoltre fornite tabelle recanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo **stato limite ultimo di salvaguardia della vita** (secondo NTC). E' inoltre stata inserita la classificazione del sito in base alle vigenti normative regionali.

Anche in questo caso sono stati evidenziati due livelli di materiale grossolano alle stesse profondità dello stendimento 1. Per gli stessi motivi non viene eseguita la verifica alla liquefazione.

Rovigo, Giugno 2009

Dott. Geol. Enrico Farinatti