

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Allegato 2 – Prove MASW

Regione Emilia-Romagna

Comune di Rubiera



Regione	Soggetto realizzatore	Data
	<b>Dott. geol. Stefano Castagnetti</b>	<b>MAGGIO 2013</b>

**COMMITTENTE:**

Dr. Stefano Castagnetti  
Via Argini Sud, 24  
43030 Basilicanova (PR)

**COMMESSA:**

Microzonazione Sismica  
Misura  $V_{s30}$  con metodologia MASW

**LOCALITA':**

Rubiera (RE)

**TITOLO:**

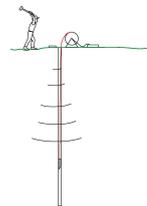
Relazione Tecnica

**DATA:**

Maggio 2013

Via S. Cattania, 1/a  
41012 Carpi (MO)

[info@tecnogeofisica.com](mailto:info@tecnogeofisica.com)  
[www.tecnogeofisica.com](http://www.tecnogeofisica.com)



## INDAGINE GEOFISICA

**Committente:** Dr. Geol. Stefano Castagnetti  
Via Argini Sud, 24 – 43030 Basilicanova (PR)

**Intervento:** Microzonazione Sismica  
Misura parametro  $V_{s30}$  con metodologia MASW

**Località:** Rubiera (RE)

### INDICE

Premessa	2
Caratteristiche attrezzatura	3
Metodologia d'indagine	4
Interpretazione dati acquisiti	6
Schede indagini MASW	9

---

## Premessa

Su commissione di:

*Dr. Geol. Stefano Castagnetti, via Argini Sud, 24 – Basilicanova (PR)*

sono eseguite cinque prove sismiche tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves) per la misura delle onde Vs e la valutazione del parametro Vs<sub>30</sub>, in merito allo studio per la microzonazione sismica del comune di Rubiera.

Le indagini sono state ubicate come indicato in figura, ed hanno le caratteristiche elencate in tabella.



Fig.1 Ubicazione area di indagine

Nome	Num Geofoni	Spaziatura geofoni	Lunghezza stesa	Distanza shot	Lunghezza totale	Ubicazione		Vs <sub>30</sub> m/sec	Categoria suolo
						Latitudine N	Longitudine E		
MW_1	24	2,0	46	10	56	44°40'37,4"	10°46'44,0"	193	C
MW_2	24	2,0	46	10	56	44°39'51"	10°47'26,2"	262	C
MW_3	24	1,5	34,5	12,5	47	44°39'05"	10°46'55,8"	208	C
MW_4	24	2,0	46	10	56	44°38'49,5"	10°46'22,6"	214	C
MW_5	24	2,0	46	10	56	44°38'01,8"	10°46'28,5"	309	C

Lo scopo dell'indagine è di misurare le velocità sismiche (Vs) del sottosuolo e la valutazione della Vs<sub>30</sub> come prescritto da:

- *Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003*
- *D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".*

Si ricorda che la normativa richiede l'azione sismica di progetto sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e la categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera. All'interno del territorio nazionale sono state individuate 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore ag dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità (v. Allegato 1 ord. 3274 del 2003 e succ. modifiche). La classificazione del suolo (tabella 1) è invece convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

dove  $V_{s_i}$  e  $h_i$  sono la velocità delle onde di taglio e lo spessore dello stato  $i$ -esimo.

Suolo	Descrizione geotecnica	$V_{s30}$ (m/sec)
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 3m	>800
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 $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	360-800 ( $N_{spt} > 50$ ) ( $C_u > 250$ KPa)
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 $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	180-360 ( $15 < N_{spt} < 50$ ) ( $70 < C_u < 250$ KPa)
D	Depositi 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 $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	<180 ( $N_{spt} < 15$ ) ( $C_u < 70$ KPa)
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_{s30} > 800$ m/s)	
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < C_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.	<100 ( $10 < C_u < 20$ Kpa)
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

**Tabella1:** classificazione del tipo di suolo secondo le "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14/01/2008 Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive) mod.

## Caratteristiche attrezzatura

La prova MASW in sito è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24 a 24 canali,

Le specifiche tecniche dello strumento sono:

-processore:	Pentium 200 MMx Intel,
-Trattamento dati:	Floating Point 32-Bit,
-Ambiente operativo:	Windows 3.11,
-Canali:	24
-Display:	VGA colori LCD_TFT 10,4"
-Supporto memorizz.:	Hard Disk 2,1 Gb
-Risoluzione acquisizione:	6/24 bit
-Sonde ambiente interne:	temperatura, umidità relativa
-Formato dati:	Pasi (.osv) e SEG-2 (.dat),
-Durata acquisizioni:	Rifrazione, 32÷2048 ms      Riflessione, 32÷16384 ms,
-Tempi campionamento:	da 16 µs a 2 ms
-Filtri digitali:	Passa alto (25÷400 Hz)      Passa Basso (100÷250 Hz) Notch (50÷180 Hz)
-Attivazione filtri:	in acquisizione o manualmente
-Trigger:	inibizione impulsi dovuti a rimbalzi

- Ricevitori – 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da un cavo di lunghezza 46 m.
- Sorgente impulsiva: mazza battente da 10 Kg con piastra metallica 15x15 cm su cui battere, da disporre sul terreno.
- Bindella metrica per posizionare i ricevitori

## Metodologia d'indagine

L'indagine sismica di tipo MASW, consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in esame in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica, del sottosuolo dell'area in oggetto.

L'indagine sismica adottata, Masw (in sismica attiva) è stata scelta in funzione delle limitazioni che affliggono in genere misure di onde Sh in metodi a rifrazione tradizionali (come ad es. difficoltà di generazione di onde polarizzate Sh o inversioni di velocità identificabili con difficoltà e/o valutabili con costosi lunghi ed impegnativi metodi sismici in foro es. Cross-Hole e Down-Hole).

La tecnica sismica Masw, è stata ampiamente testata (perfezionata già dal 1999) ed è contemplata fra le indagini per la definizione rigorosa del profilo di Vs per caratterizzazione sismica del sito (*NTC-08 e ad es. Lai, Foti e Rota "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti di costruzione - IUSS Press Eucentre 2009*) e risulta migliore per la caratterizzazione del primo sottosuolo; le tecniche basate su utilizzo di registrazioni di microtremiti di origine naturale e/o antropica (tecniche passive) possono caratterizzare infatti il sottosuolo più in profondità, da diverse decine, sino alle volte, anche a centinaia di metri (*Lai et alii - IUSS Press Eucentre 2009*) ma con minor risoluzione per la zona prossima alla superficie che invece più ci interessa.

Inoltre diversi autori (*Lachet e Bard 94, Bard 99, De Ferrari et alii - Università studi di Genova 2008*), segnalano che sistemi d'acquisizione in sismica passiva sono poco idonei per terreni alluvionali, in quanto l'utilizzo di tecniche passive, è possibile o consigliabile nel caso di:

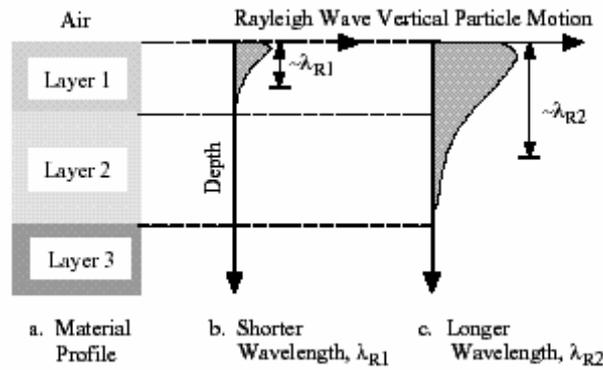
- intenso "rumore antropico" (che impedisce o maschera l'acquisizione dei dati in sismica attiva)
- discreto contrasto di impedenza sismica (>2,5-3) fra il substrato (sismico) ed il materasso alluvionale sovrastante
- è importante l'interramento del sensore sismico passivo (per migliorare l'accoppiamento sensore-terreno), quindi altri autori (*Konno e Ohmachi 98, Bard 99, Bindi et alii 2000, Parolai et alii 2002*) consigliano di evitare terreni caratterizzati da: erba, fango, terreno saturo, neve, ghiaccio, materiali incoerenti in superficie (ghiaia, ciottoli, quindi piazzali rilevati ecc.), coperture artificiali con piastrelle, superfici sintetiche, ecc.

Si ricorda che data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 20 Hz), la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Quindi le basi teoriche della tecnica di Acquisizione delle Masw, (analisi ed elaborazione delle onde di superficie di Rayleigh) sono completamente diverse dalle onde P od S degli stendimenti di sismica a riflessione o rifrazione). Perciò nell'acquisizione con tecnica Masw, non è possibile caratterizzare la tecnica con un classico coefficiente geometrico che esprime la profondità di investigazione in funzione della lunghezza della stesa sismica, (come nella riflessione o nella rifrazione), ove infatti le metodiche di interpretazione si basano sui tempi di arrivo ai geofoni delle onde riflesse o rifratte (quindi si misurano dei tempi). Nella tecnica Masw non si misurano dei tempi, ma viene eseguita una trattazione spettrale dei sismogrammi e mediante trasformata di Fourier si restituisce lo spettro del segnale sismico nel dominio frequenza (f) n° d'onda (k) detto anche dominio f-k. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori utilizzabili, sia dallo spazio disponibile.

Normalmente si dispongono i ricevitori ad interasse costante compreso tra 0,5 m e 3,0 m. (con array a parità di numero di ricevitori un interasse di 3,0m consente di avere uno stendimento di ricevitori più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; tuttavia si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato.

Viceversa un interasse piccolo può essere necessario in piccoli spazi e consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda.



La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende più propriamente dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio  $V_s$  e dalla frequenza. (Stokoe II and Santamarina, 2000).

La relazione quindi che meglio consente di valutare la profondità di indagine di un indagine masw, è legata più che alla dimensione dello stendimento, al valore della  $V_s$  assegnata ad una determinata profondità  $z$  dal piano campagna, calcolata in funzione della lunghezza d'onda, cioè :

$$z = \frac{\lambda}{(1,5 / 2,0)}$$

Inoltre si evidenzia che:

Con la tecnica Masw (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti (Foti, 2000; Lai e Wilmanski, 2005) rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori (Prova Sasw - Stoke et al., 1994).

Queste prove (masw-sasw) sfruttano la proprietà della dispersione geometrica, che rende la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) dipendente dalla frequenza di eccitazione in mezzi verticalmente eterogenei.

L'onda di Rayleigh, costituisce un particolare tipo d'onda sismica ed è facilmente individuabile in quanto ha una velocità differente dai treni d'onda delle onde P ed S risultando più lenta anche di queste ultime, con una velocità di propagazione  $V_R \approx 0,9 \div 0,96 V_s$  (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO)

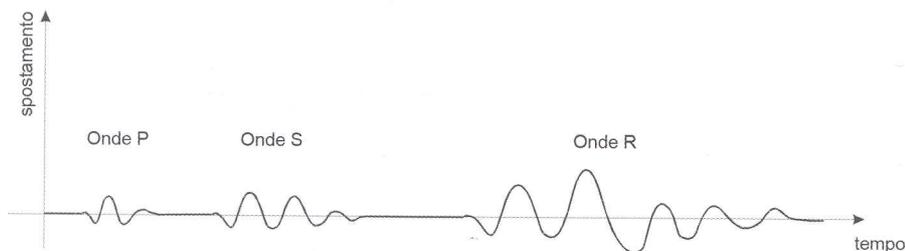


Fig. 2 : sismogramma che evidenzia l'arrivo distinto di onde P, S e di Rayleigh (da Crespellani e Facciorusso "Dinamica dei terreni")

L'onda di Rayleigh si trasmette infatti sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo ed è il risultato dell'interferenza e della combinazione d'onde sismiche di pressione (P-waves) e onde di taglio polarizzate verticalmente (Sv-waves).

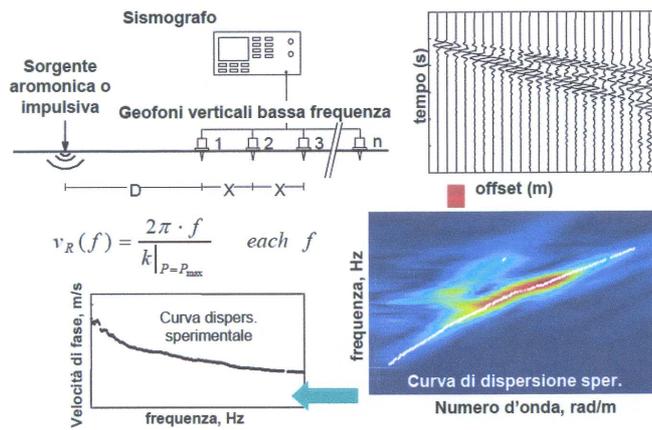
La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione (piccolo sisma) e nel registrare le vibrazioni prodotte sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo di  $V_s$  viene determinato attraverso la soluzione di un problema matematico di inversione della curva di dispersione ( $V_R$  in funzione della frequenza).

In un mezzo reale stratificato avviene una dispersione delle onde prodotte; in altre parole, una deformazione del treno d'onda, dovuto alla variazione della velocità di propagazione, con la frequenza, che varia in relazione alle caratteristiche di "rigidezza" di ogni singolo strato.

Nella figura sotto esposta (da V. Socco Lab. Geofisica Appl. Dip. Ing Territorio Politecnico di TORINO) è ben riassunto il processo di acquisizione ed il passaggio alla curva di dispersione:

### tecniche attive - Metodi multistazione



Gli elementi a bassa frequenza penetrano quindi più in profondità, con velocità di fase in genere più alta, rispetto alle componenti ad alta frequenza.

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, visualizzato dai grafici  $V(fase)/f(frequenza)$ , tramite elaborazioni e programmi dedicati, è convertito in profili  $V_s$  / profondità.

### Interpretazione dati acquisiti

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto come sopra accennato dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) che per primi hanno presentato il metodo SASW che utilizzava una sorgente d'impulso e 2 soli sismometri di rilevazione (1 Hz).

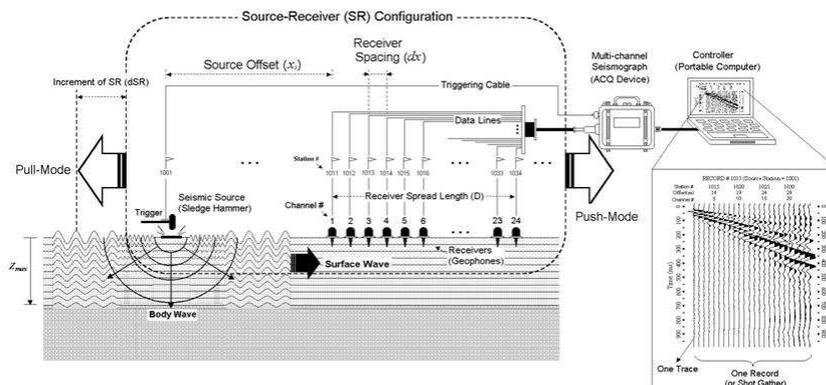
Tale tecnica come d'altronde anche la Masw, è basata sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno studiato e sviluppato il metodo MASW, per sopperire alle difficoltà d'applicazione, della tecnica Sasw in diverse situazioni.

La differenza principale è l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente - frequenza max 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità  $V_s$ , ricavati dallo studio delle velocità di fase, dei numerosi treni d'onda di Rayleigh che sono registrati ai sismometri.

I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un max di circa 8-10 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase, avvalorandone quindi la veridicità (rispetto al metodo Sasw che si basava solo su di un'unica misura).

Le tracce dei sismogrammi, possono essere salvate nel dominio temporale, permettendo quindi di distinguere ed evidenziare (nel record di registrazione) le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale (la quasi totalità dell'energia prodotta si ripartisce nelle onde di Rayleigh).



Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio, **frequenza (f) – numero d'onda (k)**, le tracce cui corrispondono i massimi spettrali (senza trascurare i modi superiori se presenti) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:

$$V_R(f) = f/k.$$

che consente di individuare il segnale proprio, relativo alle onde superficiali che interessano tale metodologia.

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software (**SWAN®** vers. 2008) seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione, eseguendo una "analisi spettrale" si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici, secondo il seguente schema:

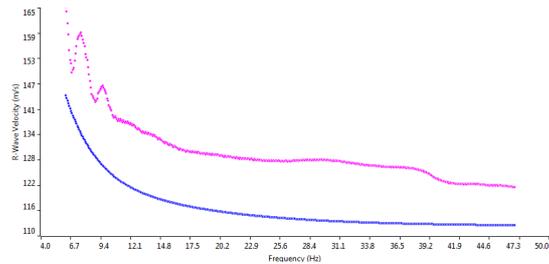
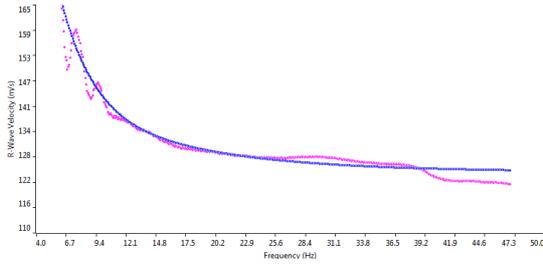
- Concatenazione dei file contenenti i record di registrazione in situ.
- fase di pre-processing per "ottimizzare" i record stessi in modo da migliorare la qualità dell'interpretazione cioè eventuale filtraggio o "pulizia" dei dati grezzi.
- Passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK.
- Picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori.
- Estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK.
- Inversione: tale procedura è avviata allo scopo di ottimizzare un modello stratigrafico che sia relativo e sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale propria del sito; in tale procedura il programma **SWAN®** utilizza una tecnica di inversione lineare tipo OCCAM che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici. In linea generale come in gran parte dei processi di inversione (definiti "try and error") l'inversione viene fermata quando un determinato parametro, definito  $\epsilon$  (cioè la differenza fra dato osservato e dato calcolato) è in genere  $< 2-3\%$ . L'inversione OCCAM, utilizzando differenze quadratiche medie, da risultati ancora migliori, di un'inversione lineare classica, dato che quando si raggiunge lo stop dell'inversione ( $\epsilon_{MIN}$ ) cioè un valore percentualmente molto piccolo, la sovrapposizione delle curve è davvero buona.
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati sino ad un max di 30, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.) ed eseguendo ulteriori processi di inversione allo scopo di raffinare il risultato ottenuto, cioè una curva di dispersione teorica finale molto ben sovrapposta a quella sperimentale.

L'obiettivo finale cioè l'ottenimento di un profilo verticale delle Vs, minimizzando le imprecisioni (risultati random), ottenendo quindi un modello finale ad elevata attendibilità e fortemente rappresentativo, mediante le tarature, del reale profilo Vs/profondità del sito in analisi, come d'altronde suggerito anche da ricercatori in ambito geofisico (es. Dal Moro et alii Gruppo Esplor. Geofisica - Dip. Geol e Scienze Marine Univ. Trieste "cosa migliore è confrontare lo spettro di velocità osservato, con le curve teoriche di dispersione di un modello che riteniamo plausibile per l'area sotto esame.").

Considerazioni sulle tecniche di inversione:

- Le tecniche d'inversione possono fornire soluzioni non univoche, ma proprio ovviare a questa possibilità, si eseguono TARATURE, con dati reali del sito (prove cpt, stratigrafie ecc) utilizzando anche parametri che esprimono la "rigidezza" degli strati individuati (es. coeff. Poisson), proprio per indirizzare l'inversione verso un modello molto vicino a quello reale.
- La funzione obiettivo (il misfit tra dato osservato e dato calcolato) è prossima a zero, solo in caso ideale in assenza di rumore; per questo motivo il sismogramma può essere trattato o filtrato per ridurre al minimo od eliminare eventuali rumori o disturbi esterni, che non hanno nulla a che fare con l'onda sismica che stiamo analizzando.

- E' fuorviante e sbagliato attribuire una percentuale di errore eseguendo una operazione di alterazione delle velocità sismiche, ottenute dall'esecuzione dei dettagliati processi di inversione sopra esposti (esempio attribuendo un errore globale del  $\pm 10\%$ , quindi alterando ad es. le velocità sismiche ottenute moltiplicando \*0,9 le Vs dei singoli strati), perché in tal modo si **vanificherebbe** completamente l'elaborazione Masw, che è stata fatta con cura ed esperienza secondo principi codificati e consolidati. Infatti ipotizzando possa esistere un modello Vs/profondità analogo a quello definito con l'interpretazione corretta della prova Masw, ma con velocità alterate (cioè diminuite/aumentate del 10%) si otterrebbe un Match fra curva sperimentale e teorica **completamente non attendibile**. A titolo di esempio si allegano alcune figure che illustrano tale erronea operazione di alterazione delle Vs calcolate:



<p>Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica (blu) ottenuta dal processo inversione Masw dominio frequenza/velocità. Si noti la quasi perfetta corrispondenza del fitting fra le due curve</p>	<p>Grafico con sovrapposizione fra curva dispersione sperimentale (magenta) e curva teorica "alterata" modificando le Vs diminuendole erroneamente del 10% (blu) dominio frequenza/velocità. Si noti la completa "sfasatura" della curva teorica sinonimo di un allontanamento dalla reale stratigrafia sismica che caratterizza il sito quindi un modello NON ACCETTABILE</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Le curve di dispersione sopra esposte sono da considerare indicative e non riferite alla indagine Masw della presente relazione; sono riferite ad un generico sito con una stratificazione di 5 strati, mantenuti identici nelle 2 simulazioni, con analoghi coefficienti di Poisson assegnati (variabili fra 0.45-0.48) e  $V_{S30} \approx 190$  m/sec (grafico a sinistra) e  $V_{S30} \approx 170$  m/sec (grafico a destra).

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (come previsto da art. 3.2 del DM 14-1-08) sono stati esaminati i dati ottenuti dalle prospezioni sismiche di superficie opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche Cpt, Cptu, ecc.), e delle misure di frequenza (HVSr) eseguite in sito.

## Schede indagini MASW

### Scheda Masw\_1



Microzonazione sismica

Comune di Rubiera (RE)

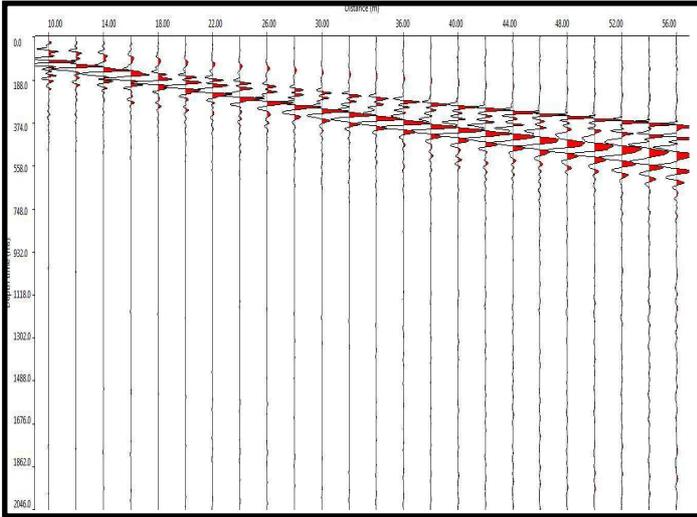
Ubicazione Masw\_MW\_1

0 Punto di Shot  
56 ubicazione geofono 24

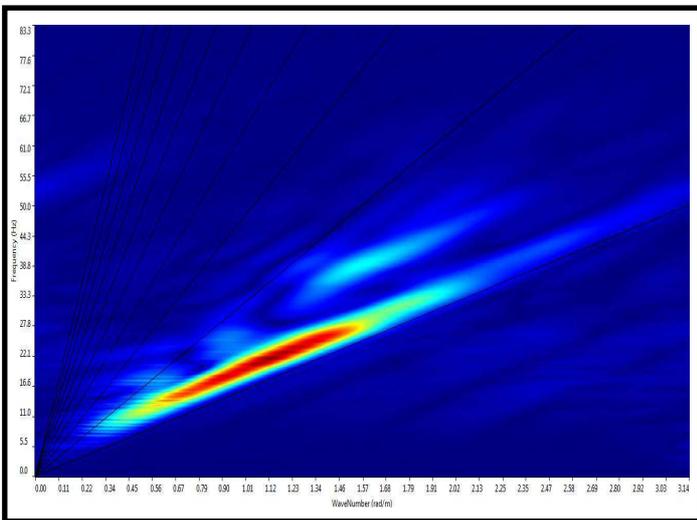
Nome	Num Geofoni	Spaziatura geofoni	Lunghezza stesa	Distanza shot	Lunghezza totale	Ubicazione		Vs <sub>30</sub> m/sec	Categoria suolo
						Latitudine N	Longitudine E		
MW_1	24	2,0	46	10	56	44°40'37,4"	10°46'44,0"	193	C



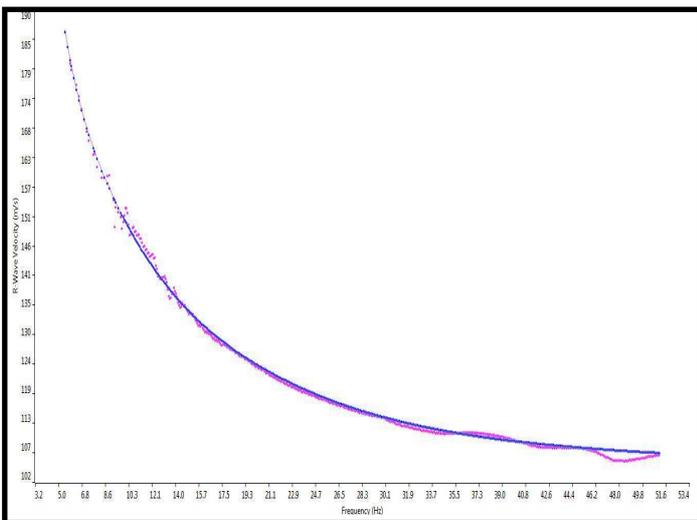
Piazzamento Masw\_1



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

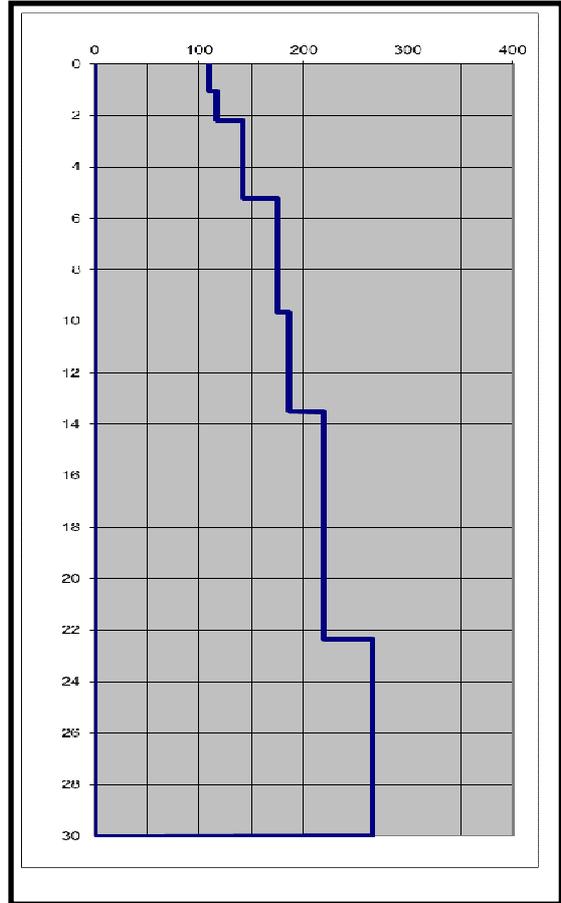


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati Elaborazione MW_1				
Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0,0	1,05	1,05	110
Strato2	1,05	2,20	1,15	117
Strato3	2,20	5,22	3,02	142
Strato4	5,22	9,64	4,42	175
Strato5	9,64	13,50	3,86	186
Strato6	13,50	22,34	8,84	219
Strato7	22,34	30	7,66	266

**$V_{s30} = 193 \text{ m/sec}$**

Che corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **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  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s*)

Scheda Masw\_2



Microzonazione sismica

Comune di Rubiera (RE)

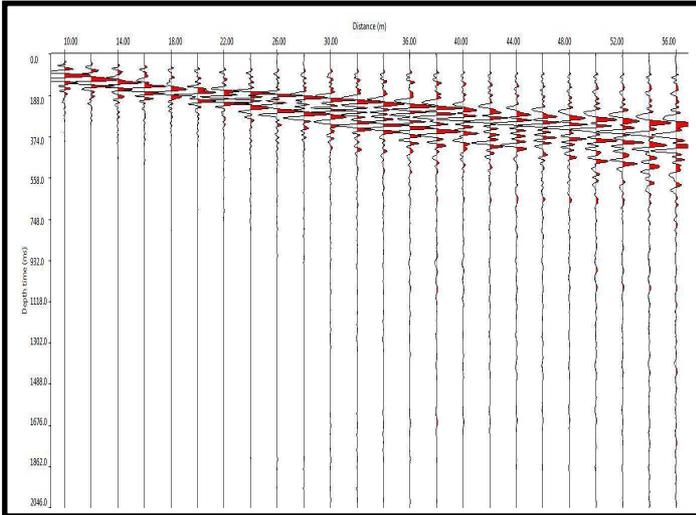
Ubicazione Masw\_MW\_2

0 Punto di Shot  
56 ubicazione geofono 24

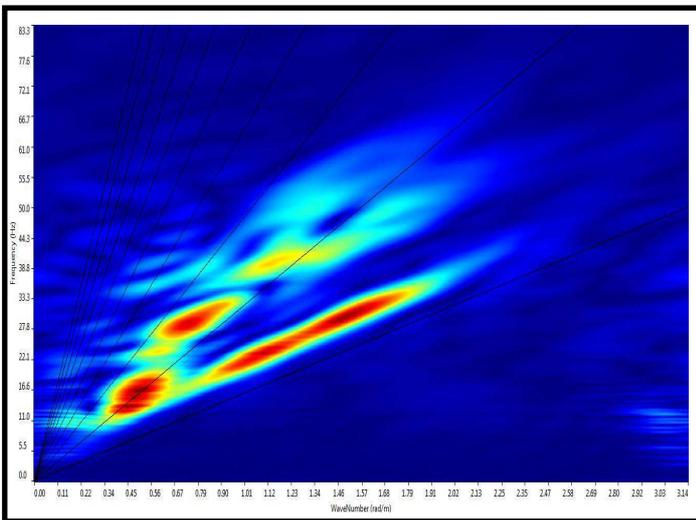
Nome	Num Geofoni	Spaziatura geofoni	Lunghezza stesa	Distanza shot	Lunghezza totale	Ubicazione		Vs <sub>30</sub> m/sec	Categoria suolo
						Latitudine N	Longitudine E		
MW_2	24	2,0	46	10	56	44°39'51"	10°47'26,2"	262	C



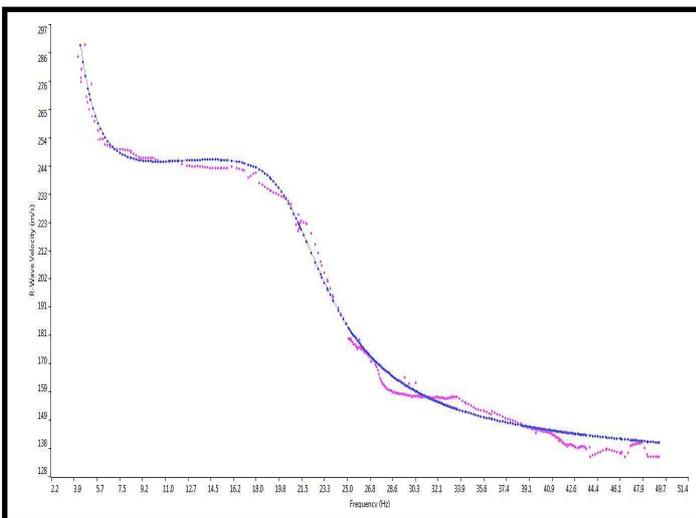
Piazzamento Masw\_2



Sismogramma nel dominio spazio/tempo



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

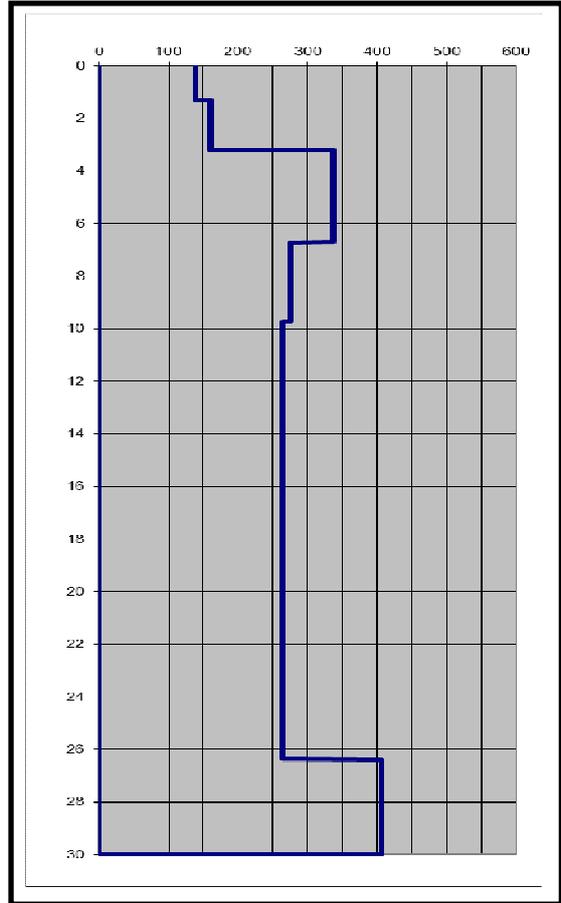


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs

Risultati Elaborazione MW_2				
Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0,0	1,29	1,29	139
Strato2	1,29	3,20	1,91	160
Strato3	3,20	6,71	3,51	338
Strato4	6,71	9,72	3,01	276
Strato5	9,72	26,37	16,65	264
Strato6	26,37	30	3,63	406

**V<sub>s30</sub> = 262 m/sec**

Che corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **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<sub>s30</sub> compresi tra 180 m/s e 360 m/s*)

Scheda Masw\_3



Microzonazione sismica

Comune di Rubiera (RE)

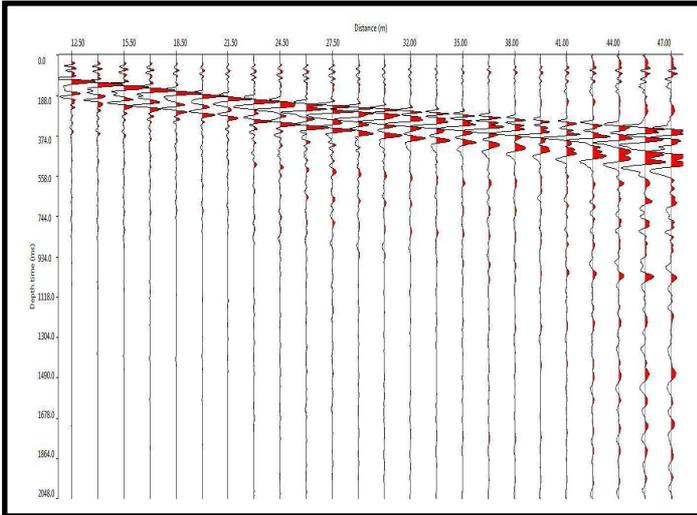
Ubicazione Masw\_MW\_3

0 Punto di Shot  
44,5 ubicazione geofono 24

Nome	Num Geofoni	Spaziatura geofoni	Lunghezza stesa	Distanza shot	Lunghezza totale	Ubicazione		Vs <sub>30</sub> m/sec	Categoria suolo
						Latitudine N	Longitudine E		
MW_3	24	1,5	34,5	12,5	47	44°39'05"	10°46'55,8"	208	C



Piazzamento Masw\_3



Sismogramma nel dominio spazio/tempo

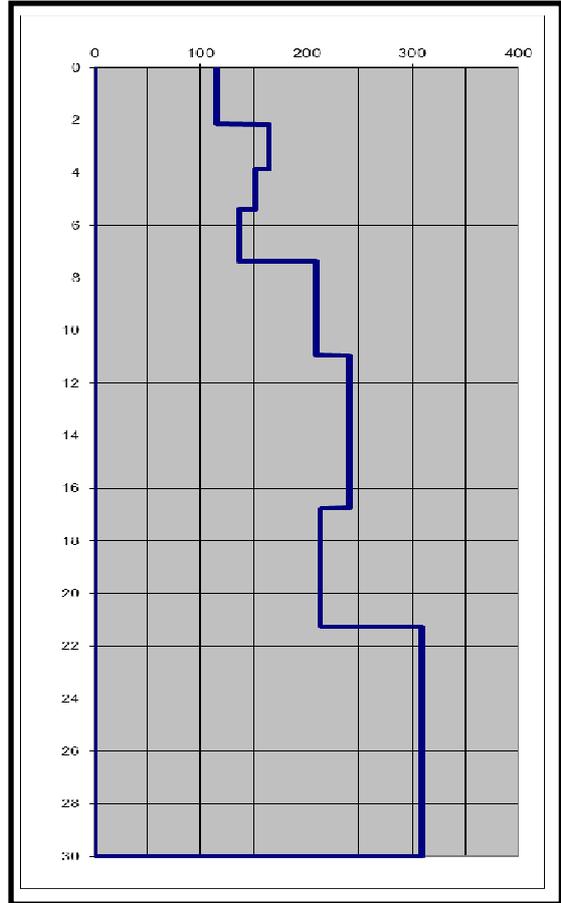
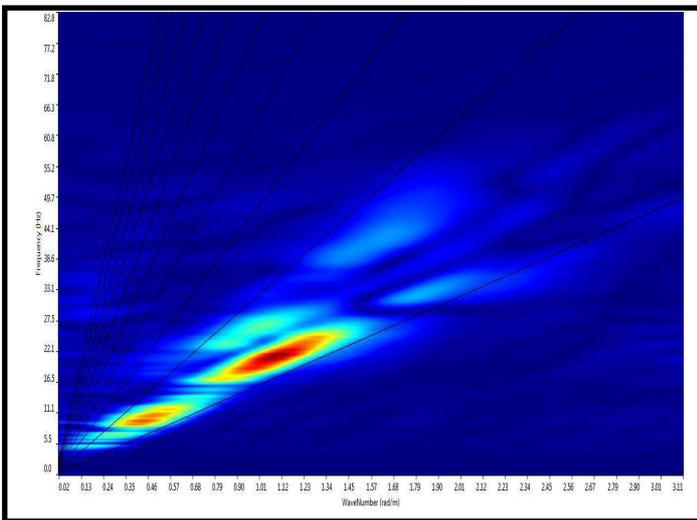
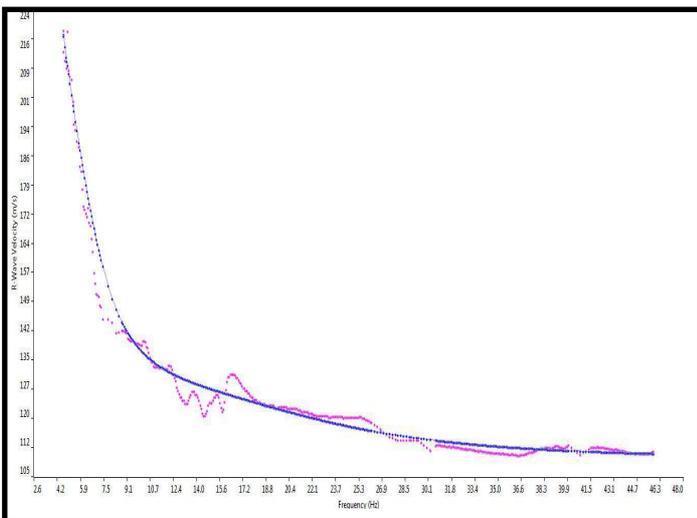


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

**Risultati Elaborazione MW\_3**

Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0,0	2,15	2,15	115
Strato2	2,15	3,86	1,71	165
Strato3	3,86	5,39	1,53	152
Strato4	5,39	7,35	1,96	137
Strato5	7,35	10,93	3,58	209
Strato6	10,93	16,74	5,81	241
	16,74	21,26	4,52	214
	21,26	30	8,74	309

**V<sub>s30</sub> = 208 m/sec**

Che corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **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<sub>s30</sub> compresi tra 180 m/s e 360 m/s*)

Scheda Masw\_4



Microzonazione sismica

Comune di Rubiera (RE)

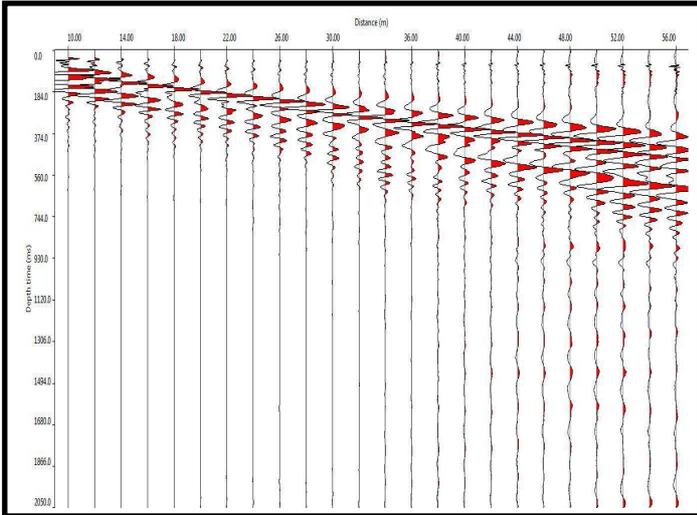
Ubicazione Masw\_MW\_4

1 Punto di Shot  
56 ubicazione geofono 24

Nome	Num Geofoni	Spaziatura geofoni	Lunghezza stesa	Distanza shot	Lunghezza totale	Ubicazione		Vs <sub>30</sub> m/sec	Categoria suolo
						Latitudine N	Longitudine E		
MW_4	24	2,0	46	10	56	44°38'49,5"	10°46'22,6"	214	C



Piazzamento Masw\_4



Sismogramma nel dominio spazio/tempo

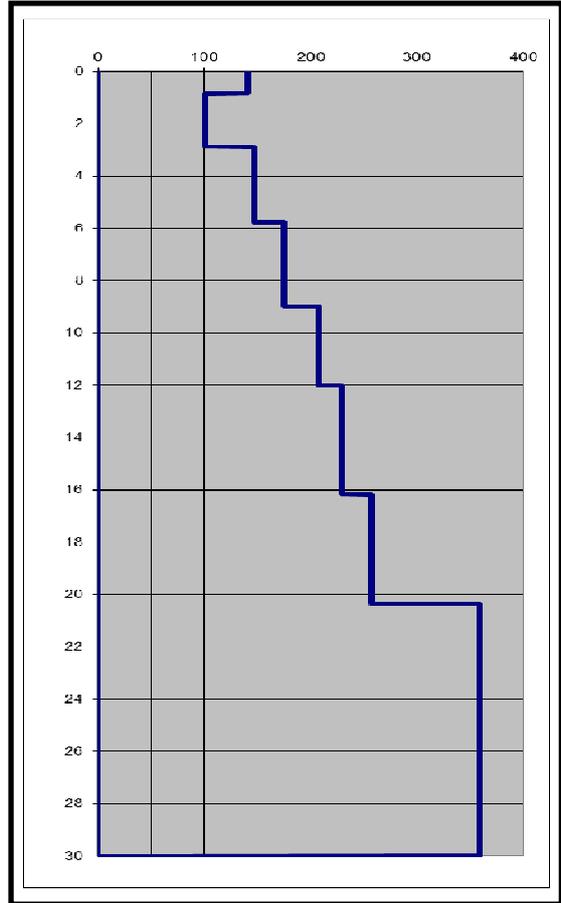
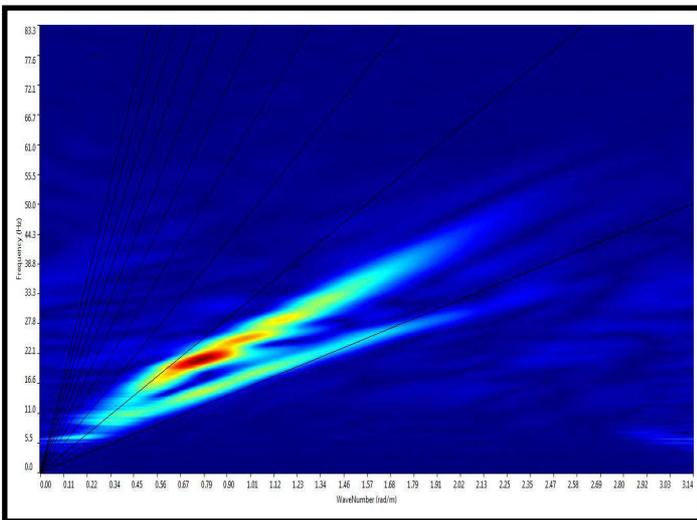
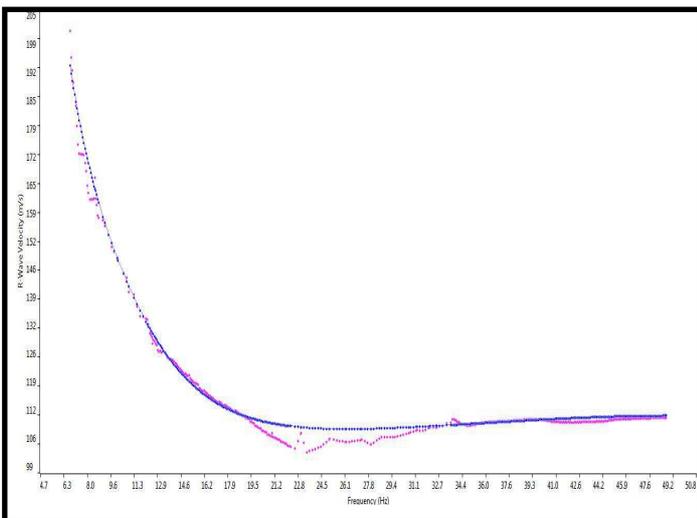


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

Risultati Elaborazione MW_4				
Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0,0	0,84	0,84	141
Strato2	0,84	2,89	2,05	101
Strato3	2,89	5,76	2,87	147
Strato4	5,76	8,98	3,22	175
Strato5	8,98	12,01	3,03	208
Strato6	12,01	16,17	4,16	230
	16,17	20,36	4,19	258
	20,36	30	9,64	359

**$V_{s30} = 214 \text{ m/sec}$**

Che corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **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  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s*)

Scheda Masw\_5

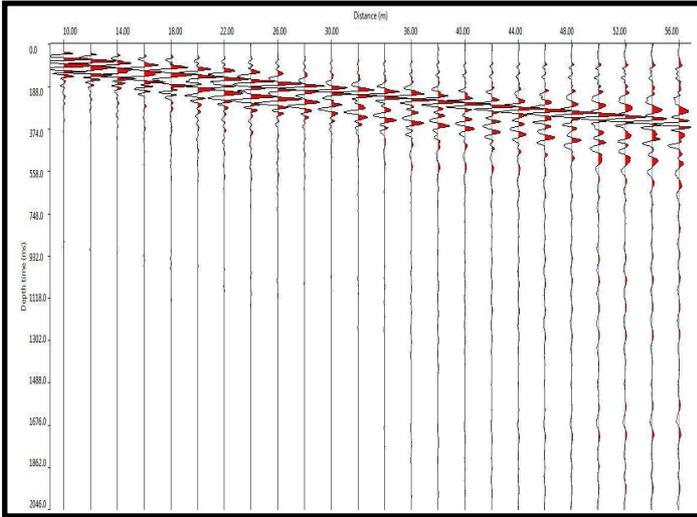


Microzonazione sismica  
 Comune di Rubiera (RE)  
 Ubicazione Masw\_MW\_5  
 2 Punto di Shot  
 56 ubicazione geofono 24

Nome	Num Geofoni	Spaziatura geofoni	Lunghezza stesa	Distanza shot	Lunghezza totale	Ubicazione		Vs <sub>30</sub> m/sec	Categoria suolo
						Latitudine N	Longitudine E		
MW_5	24	2,0	46	10	56	44°38'01,8"	10°46'28,5"	309	C



Piazzamento Masw\_5



Sismogramma nel dominio spazio/tempo

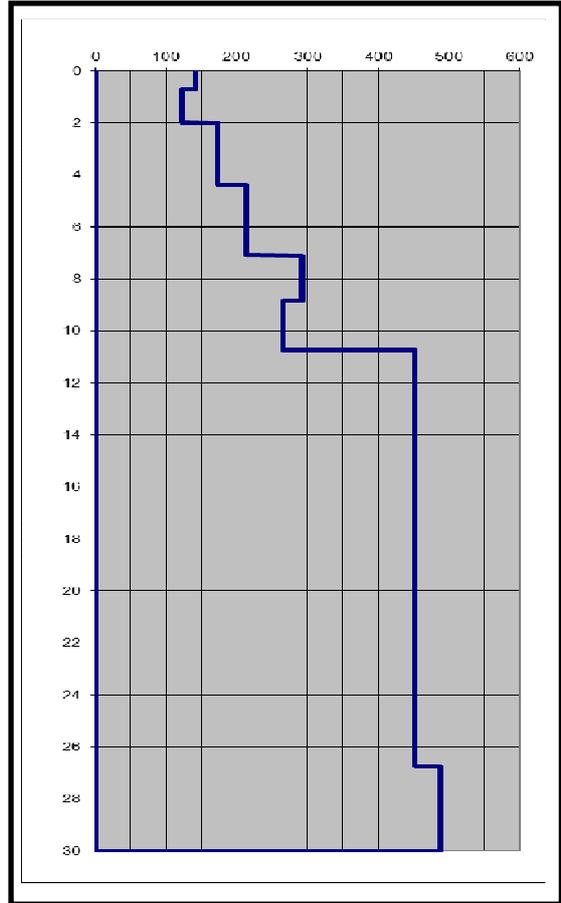
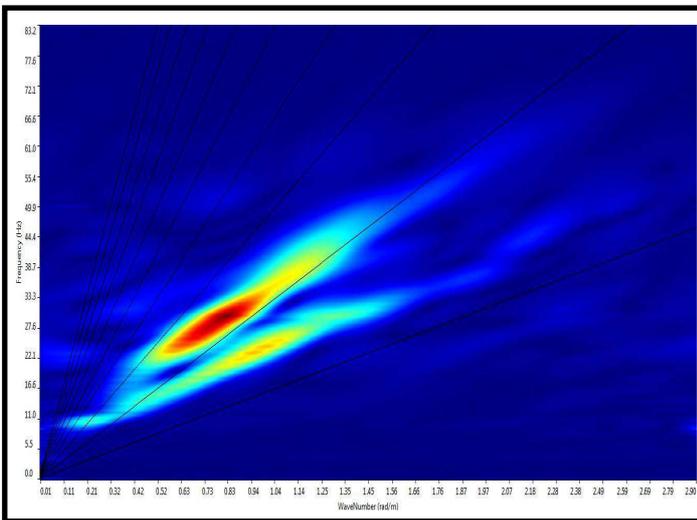
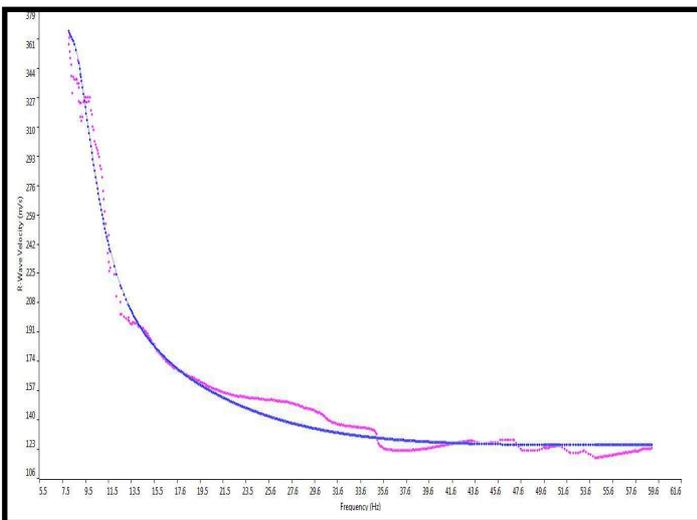


Grafico velocità/profondità onde di taglio Vs



Spettro FK - Rappresentazione del sismogramma nel dominio numero d'onda - frequenza



Sovrapposizione curva di dispersione calcolata / curva teorica rappresentata nel dominio Frequenza/Velocità

**Risultati Elaborazione MW\_5**

Strato	profondità		Spessore m	Vel. m/sec
	da	a		
Strato1	0,0	0,70	0,70	142
Strato2	0,70	1,99	1,29	122
Strato3	1,99	4,37	2,38	173
Strato4	4,37	7,09	2,72	213
Strato5	7,09	8,85	1,76	292
Strato6	8,85	10,73	1,88	266
Strato7	10,73	26,73	16,00	453
Strato8	26,73	30	3,27	488

**$V_{s30} = 309 \text{ m/sec}$**

Che corrisponde alla categoria del suolo di fondazione di tipo **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  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s*)