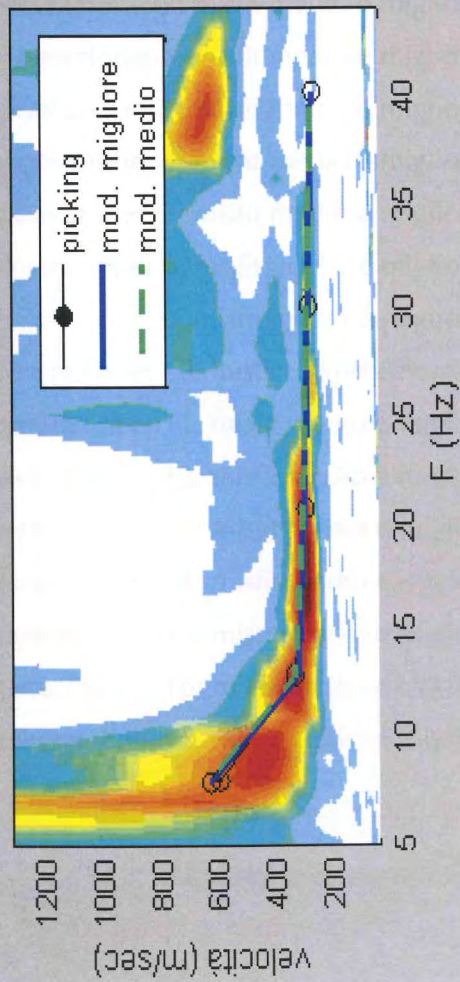


ALLEGATO 4

*Indagini sismiche reperite
presso l'archivio comunale
(pratiche 2006-2013)*

spettro di velocità e curve di dispersione



profilo verticale onde S

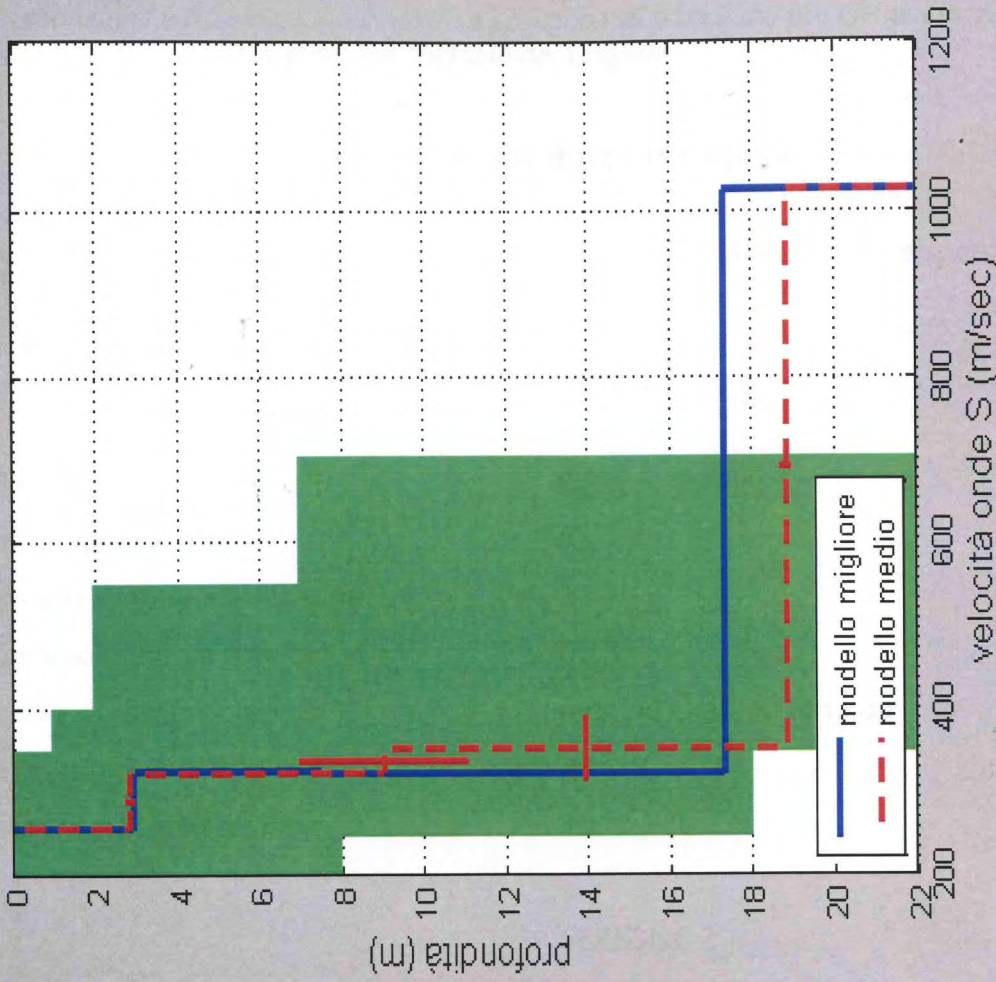
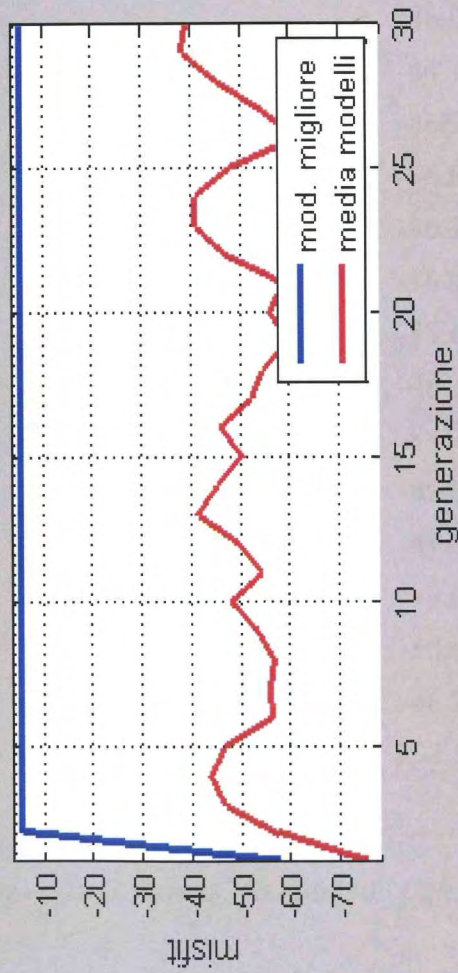


grafico misfit - generazione



dataset: Galleno 8m.sgy
 curva di dispersione: picking Galleno 8m.cdp
 modello migliore VS30: 439 m/sec
 modello medio VS30: 436 m/sec

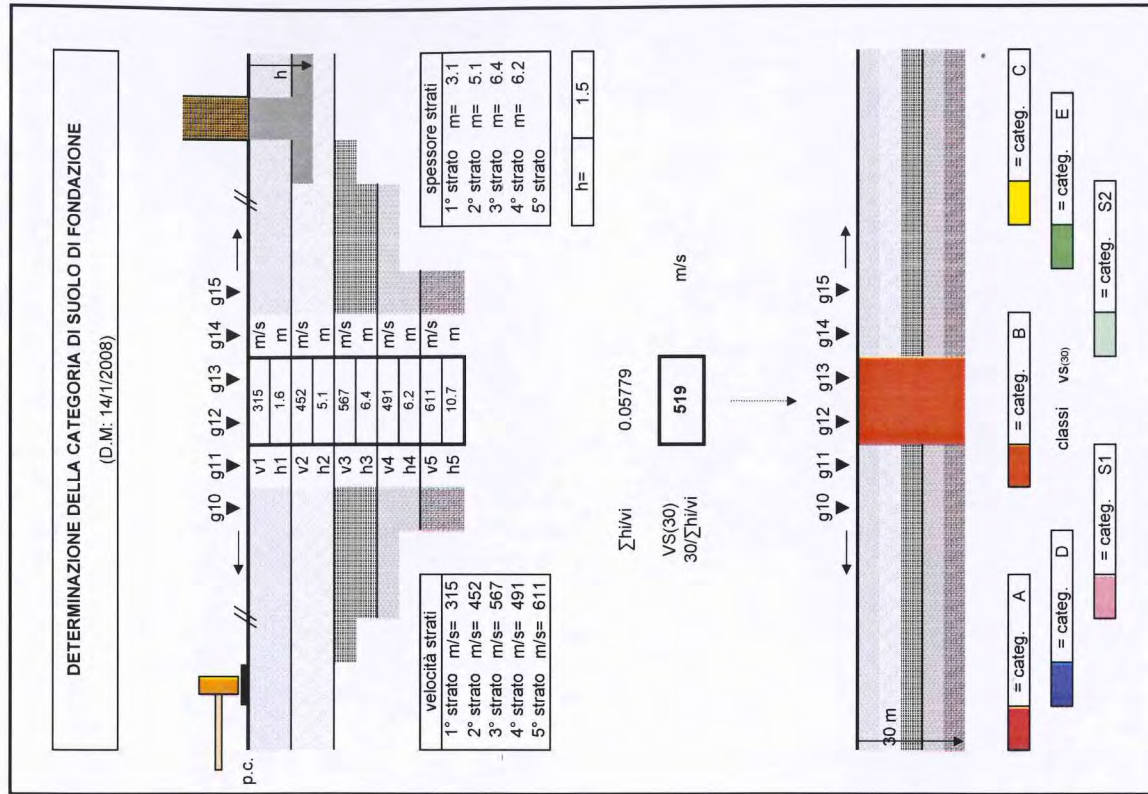


4. Conclusioni

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (MASW) ha consentito di determinare il profilo verticale della V_s (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro V_{s30} , risultato - considerando come riferimento il piano campagna - pari a 499 m/s (considerando invece come riferimento la profondità di progetto pari a 1.5m dal piano campagna la V_{s30} assume un valore di 519 m/s).

Rispetto le Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14 gennaio 2008, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella 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 $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)."



4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	5
Spaziatura ricevitori [m]	1.5m
Numero ricevitori	24
Numero modi	4

Strato 1: terreno pedologico alterato

h [m]	1.50
z [m]	-1.5
Densità [kg/m ³]	1870
Poisson	0.35
Vs [m/s]	150
Vp [m/s]	312.25
Vs min [m/s]	117.35
Vs max [m/s]	225.000000
Falda non presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s]	150.000

Strato 2: sabbia limosa debolmente addensata

h [m]	2.90
z [m]	-4.4
Densità [kg/m ³]	1890
Poisson	0.48
Vs [m/s]	180
Vp [m/s]	917.82
Vs min [m/s]	162.56
Vs max [m/s]	270.000000
Falda presente nello strato	
Strato non alluvionale	
Vs fin.[m/s]	180.000

Strato 3: sabbia ghiaiosa

h [m]	6.30
z [m]	-10.7
Densità [kg/m ³]	2050
Poisson	0.48
Vs [m/s]	280
Vp [m/s]	1427.73

Vs min [m/s] 127.56
 Vs max [m/s]..... 420.000000
 Falda presente nello strato
 Strato non alluvionale
 Vs fin.[m/s] 280.000

Strato 4: sabbia ghiaiosa

h [m]..... 20
 z [m] -30.7
 Densità [kg/m³]..... 2100
 Poisson 0.48
 Vs [m/s]..... 380
 Vp [m/s] 1937.63
 Vs min [m/s] 149.43
 Vs max [m/s]..... 570.000000
 Falda presente nello strato
 Strato non alluvionale
 Vs fin.[m/s] 380.000

Strato 5

h [m]..... 0
 z [m] -00
 Densità [kg/m³]..... 2100
 Poisson 0.48
 Vs [m/s]..... 400
 Vp [m/s] 2039.61
 Vs min [m/s] 149.43
 Vs max [m/s]..... 600.000000
 Falda presente nello strato
 Strato non alluvionale
 Vs fin.[m/s] 400.000

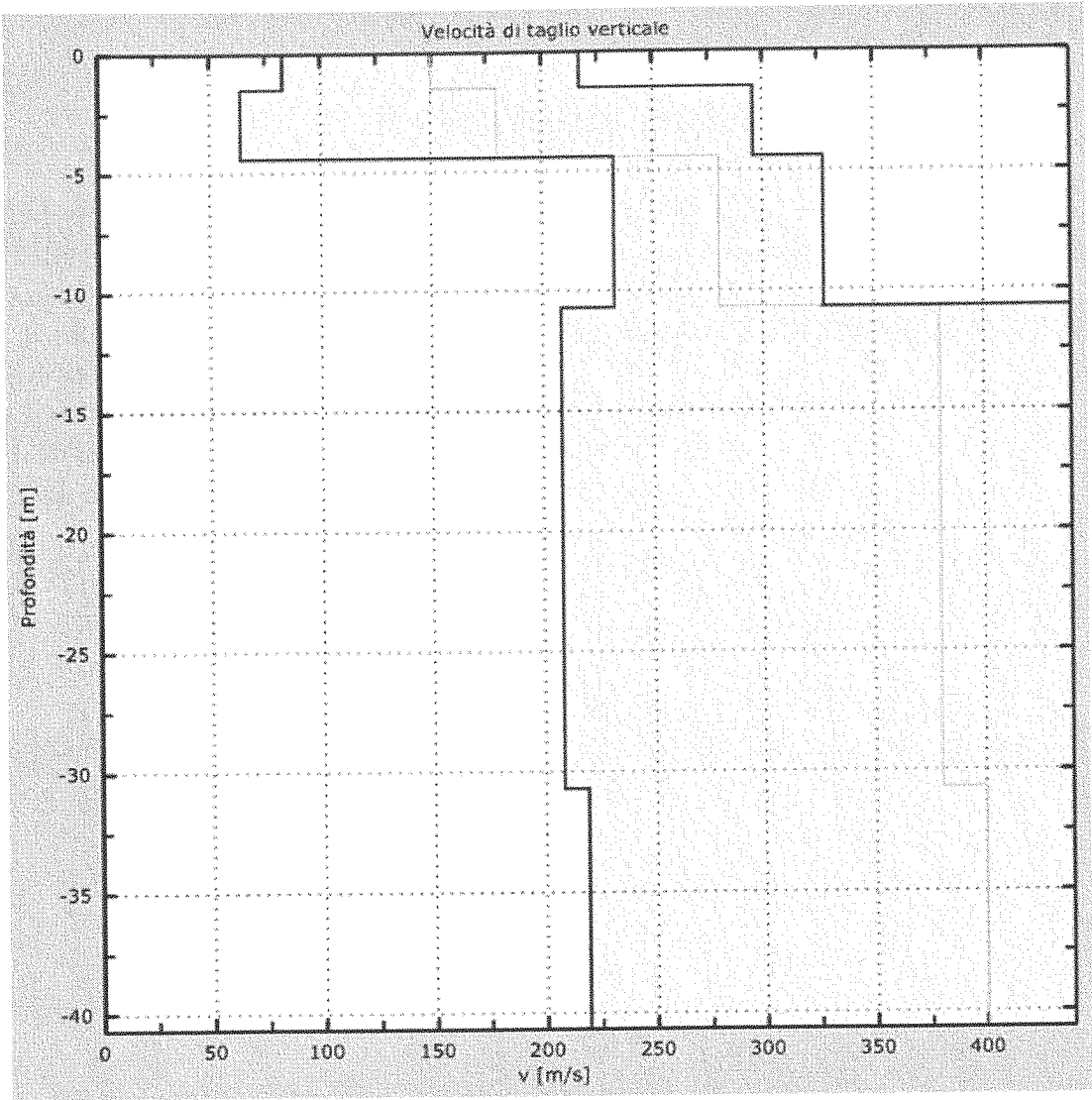


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Offset [m].....0

Vs30 [m/s].....301

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

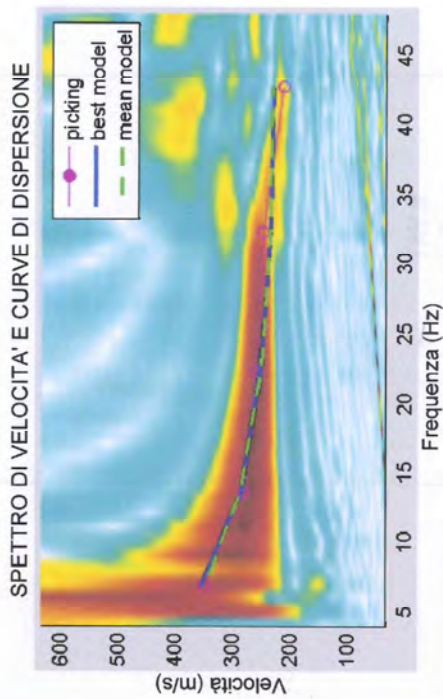
Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

L'unità geotecnica dello strato rigido è la numero 4

Tipo di suoloC

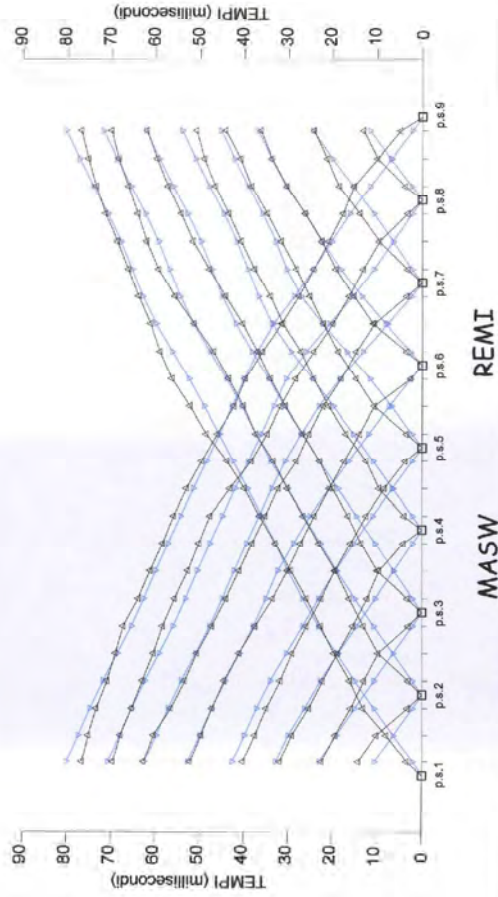
Prova MASW



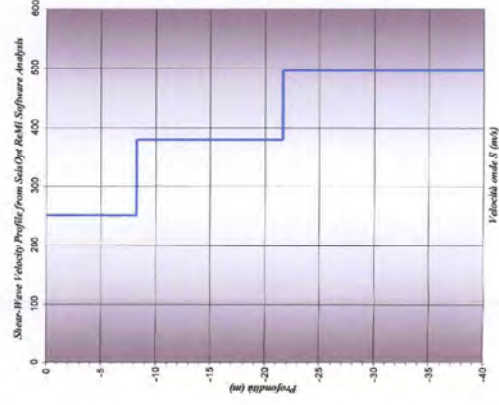
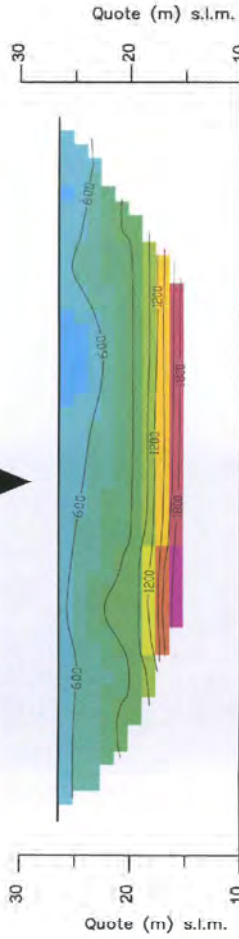
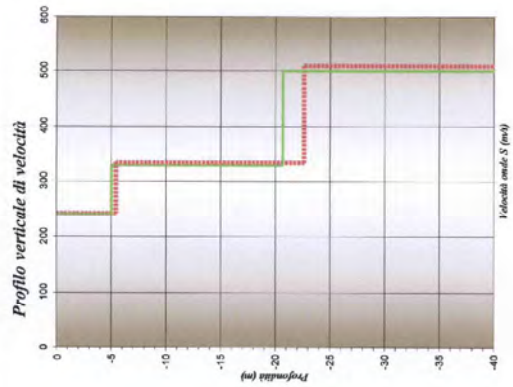
best model
 $V_{s30} = 344 \text{ m/s}$
 Site Class C

mean model
 $V_{s30} = 340 \text{ m/s}$
 Site Class C

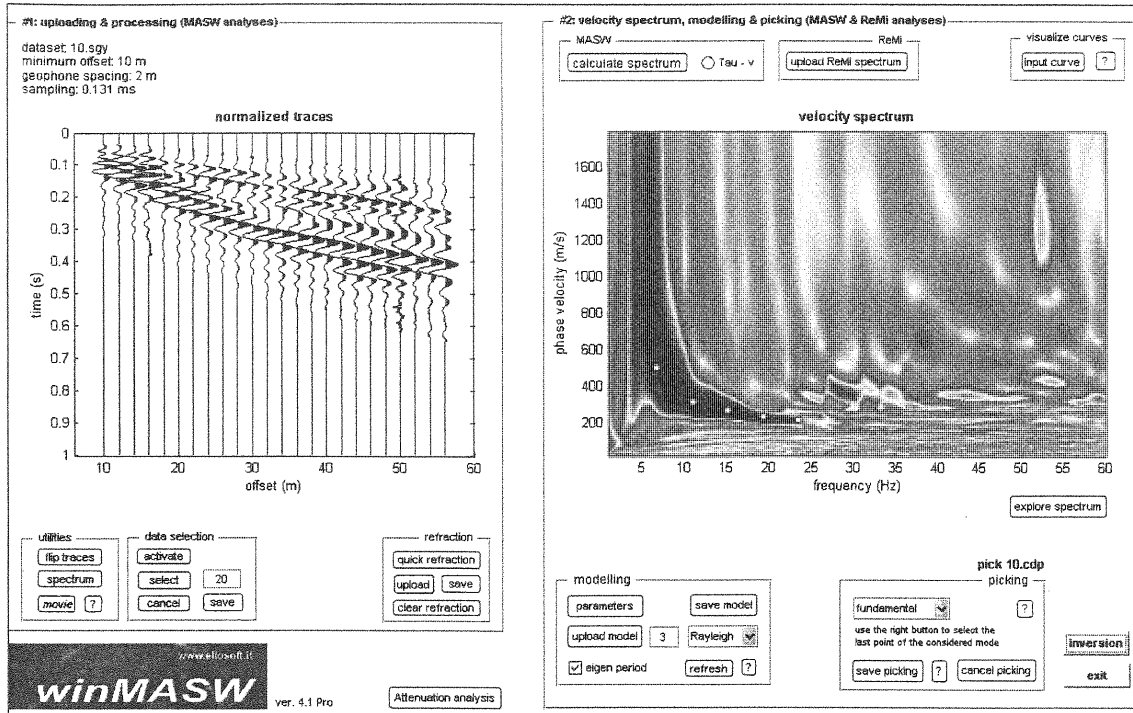
Prova Re.Mi



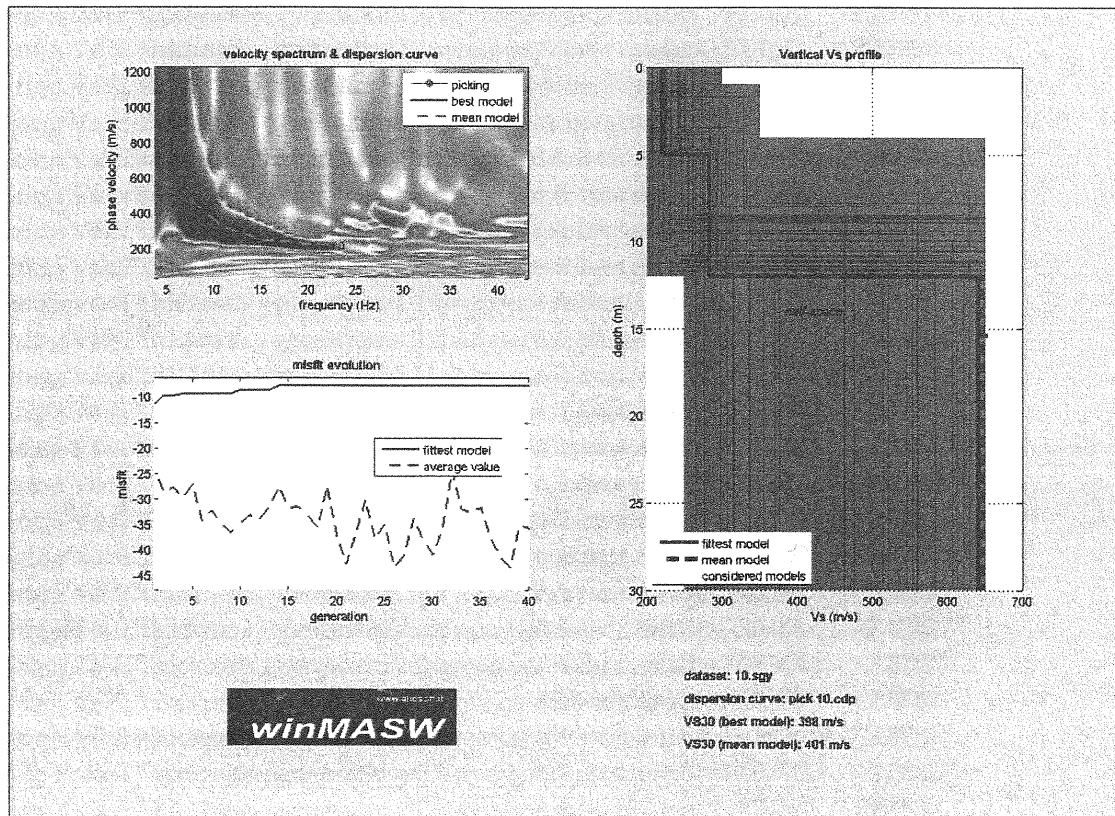
V_s Refraction Microtrem
 $V_{s30} = 356 \text{ m/s}$
 Site Class C



GRAFICI INDAGINE SISMICA MASW

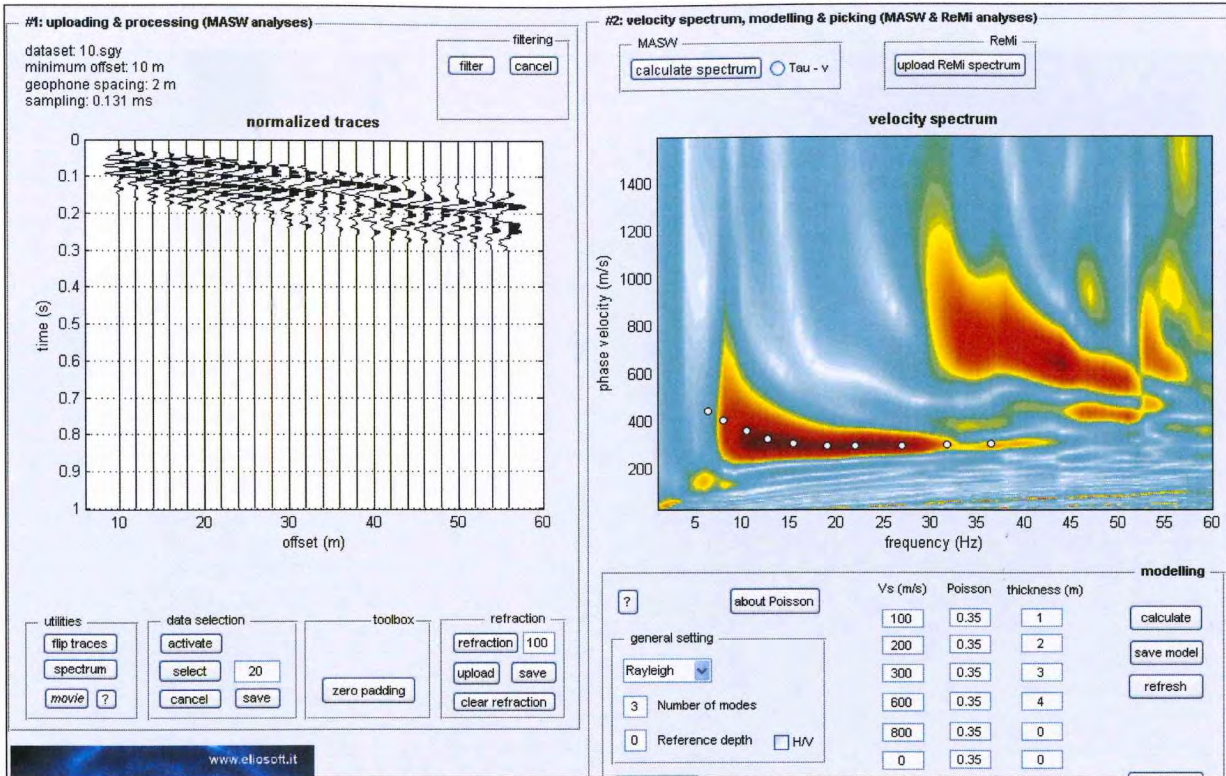


Common-shot gather e spettro di velocità

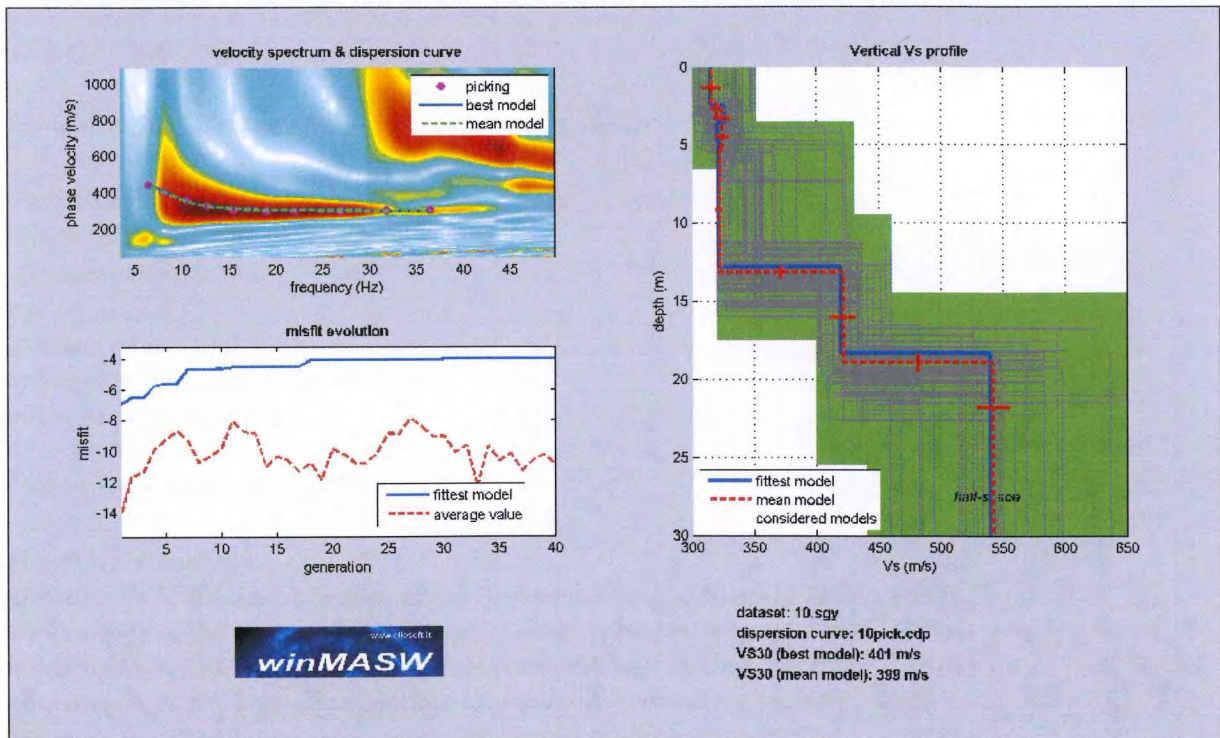


Risultato inversione

GRAFICI INDAGINE SISMICA MASW



Common-shot gather e spettro di velocità



Risultato inversione

Geognostica
Monitoraggio
idrogeologico



Geofisica
Indagini
ambientali

Richiedente: Dott. Geol. Simone Buonaccorsi

Località d'indagine: Pienete - Galleno- Fucecchio (FI)

data: 19 / 5 / 2010



A L L E G A T I e F I G U R E

Sismogramma acquisito in campagna
Spettro di velocità e curva di dispersione e picking
Profilo verticale delle Vs
Determinazione parametro V_{s30}
Modello stratigrafico

indagine: MASW

strumentazione: Ambrogeo Echo 12/24 2002

software di elaborazione: WinMASW 4.1 std

per la geoLUK s.r.l.,
l'Amministratore

geOLUK S.r.l.
GEOGNOSTICA E GEOFISICA
www.geoluk.com info@geoluk.com

sede legale: Via Merici, 176 Sant'Anna 55100 Lucca
sede operativa: Via San Marco, 224 - 55100 Lucca - sede legale: Via Merici, 176 55100 Lucca
codice fiscale e numero di iscrizione al registro delle imprese di Lucca: 0206940465
R.E.A. Lucca n. 194371 - capitale sociale € 10.000,00 i.v.
tel 393 9371580 - fax 0583 956364 - www.geoluk.com - info@geoluk.com

1. Premessa

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto del sito in esame, ubicato in località Pienete, nel Comune di Fucecchio (FI), è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW utili a definire il profilo verticale della V_s (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo a quanto riportato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005); queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) entro i primi 30m di profondità.

1.1. Introduzione al metodo

La Metodologia M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) adottata per il presente lavoro è una tecnica di investigazione sismica non invasiva del sottosuolo di tipo attivo, presentata nel 1999 in seguito agli studi effettuati dal Kansas Geological Survey (Park et al., 1999). Attraverso l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh questa tecnica mira a ricostruire un profilo sismostratigrafico in onde di taglio lungo la verticale in asse col centro dello stendimento (profilo V_s -z).

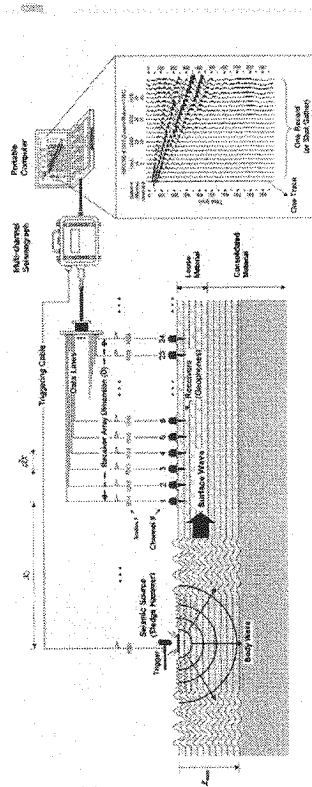


Figura 1. Illustrazione della tecnica di indagine eseguita (SurfSeis - Active Masw, 2006)

La propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più una unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie

lunghezze d'onda (fenomeno detto della dispersione in frequenza). Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie.

Come tutte le tecniche di investigazione del sottosuolo, anche il M.A.S.W. presenta dei limiti nella sua applicabilità e dei vantaggi che devono essere tenuti ben presente nel momento in cui si pianifica e commissiona una campagna di investigazione geofisica. Brevemente i principali limiti della metodologia sono la necessità di operare in condizioni geologiche particolari (strati circa piano paralleli e lateralmente isotropi), la necessità di disporre di una taratura stratigrafica di riferimento fino alla profondità di interesse per ottimizzare il modello finale e la necessità di effettuare lo stendimento su superfici che non presentino brusche irregolarità morfologiche (salti, scalinati...)

Per contro, i principali vantaggi della metodologia sono per esempio, a parità di profondità di investigazione, la possibilità di lavorare in ambienti con ingombri limitati, oppure al fine di poter ottimizzare il modello sismostratigrafico finale la possibilità di intervenire attivamente nel software di elaborazione in virtù delle conoscenze geologiche/geotecniche dell'area indagata. Inoltre, la tecnica M.A.S.W riesce, come ad es. il downhole, a rilevare il fenomeno dell'inversione di velocità.

2. Acquisizione

2.1.1. Strumentazione impiegata

Hardware

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali (mod. Echo 12-24 della Ambrogeo), collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz.

Di seguito vengono brevemente elencate le caratteristiche tecniche del sismografo:

- Registrazione a 24 canali
- Impedenza di ingresso 20 Kohm
- Range dinamico: 93 dB
- Conversione A/D a 16 bit
- Intervallo di campionamento selezionabile a: 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1000, 30000 ms
- Guadagno 10 dB – 100 dB, passo 1 dB
- Tensione di saturazione +/- -2,3 V

- Distorsione 0,01%
- Campionamento 130 ms
- Filtro passa basso da 50 a 950 Hz, passo 1 Hz
- Alimentazione 12V

Software

Per la registrazione in campagna del segnale sismico è stato utilizzato il software Ambrogeo v 7.1.1. Segy mentre, per le analisi dei dati acquisiti, è stato adottato il software winMASW 4.1.1 Std.

3. Elaborazione

I dati MASW sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s) e stimare quindi il valore del parametro V_{s30} utile alla classificazione del terreno (determinazione della categoria di sottosuolo).

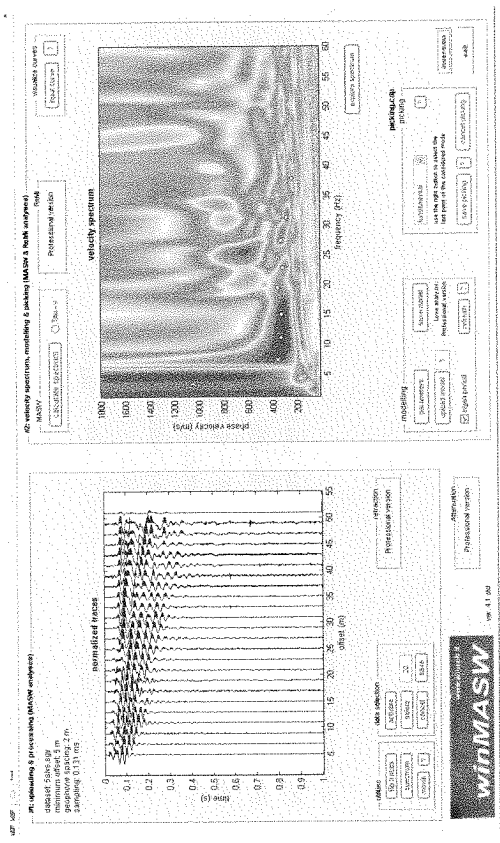


Fig. 2. Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato.

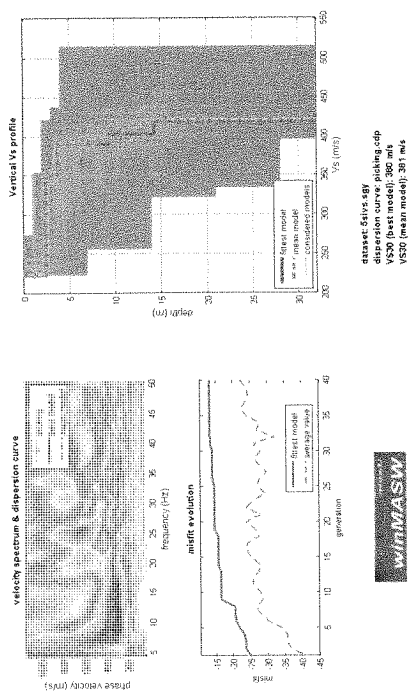


Fig. 3. Risultati dell'inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi dei dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione "piccate" e curve del modello individuato dall'inversione. Sulla destra il profilo verticale V_s identificato. In basso a sinistra l'evoluzione del modello al passare delle "generazioni" (l'algoritmo utilizzato per l'inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici - Dal Moro et al., 2007).

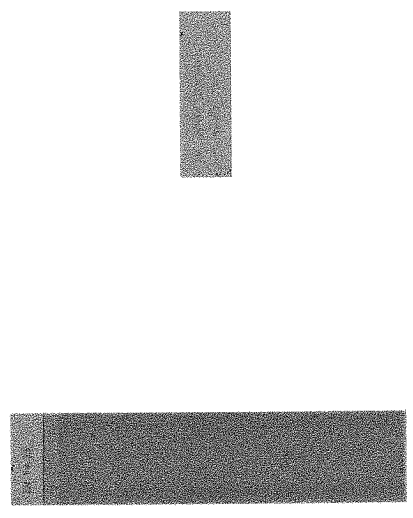


Fig. 4. Colonna sismo-stratigrafica di massima del sito. Per ciascun strato indicate V_s , densità (stimate) e spessori.

4. Conclusioni

Dall'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh, a partire da dati di sismica attiva (MASW) e in riferimento alla ricostruzione stratigrafica (modello di partenza) ricavabile dalle indagini puntuali a taratura messe a disposizione dalla Committenza, è stato elaborato un profilo sismostratigrafico della V_s monodimensionale al di sotto del centro dello stendimento effettuato.

Sulla base dei dati disponibili viene pertanto fornito il calcolo della $V_{s,30}$ - a partire dal piano campagna attuale - secondo le modalità di calcolo indicate nella Normativa vigente (D.M. 14/1/2008) "Norme Tecniche per le costruzioni":

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad [\text{m/s}]$$

dove:

h_i = spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30m di profondità;

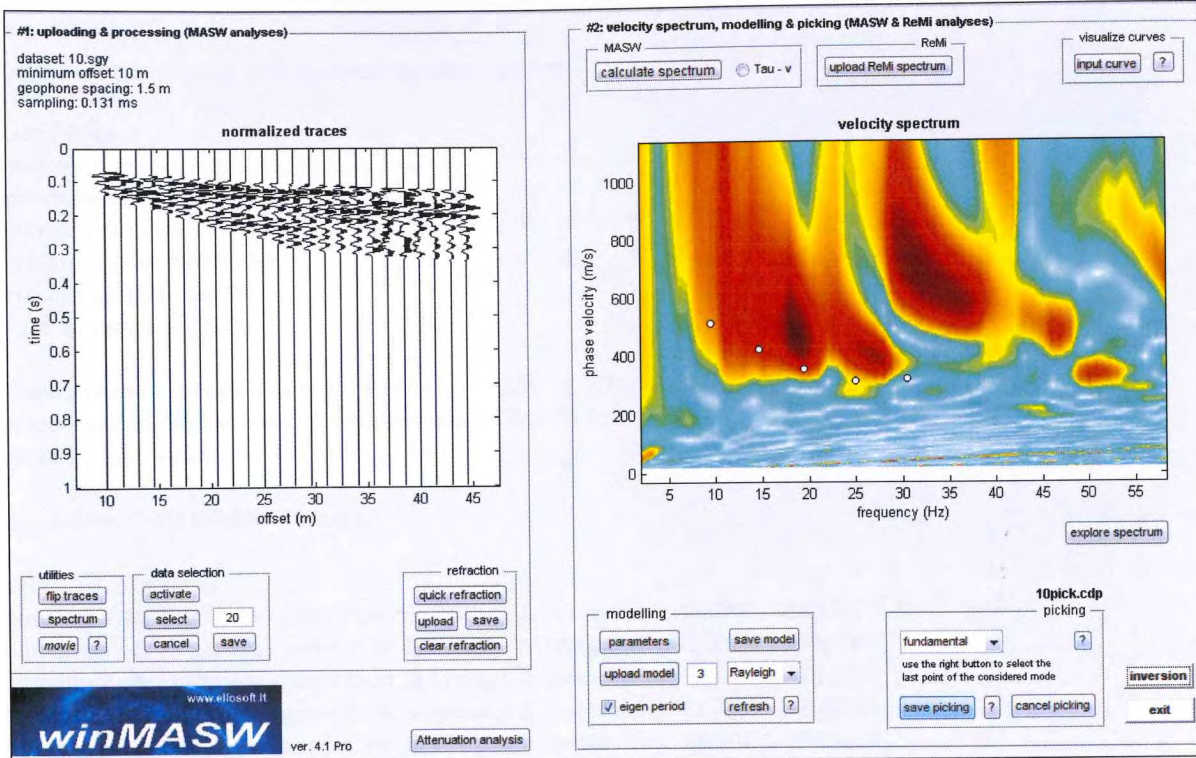
$V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati compresi nei 30m di profondità.

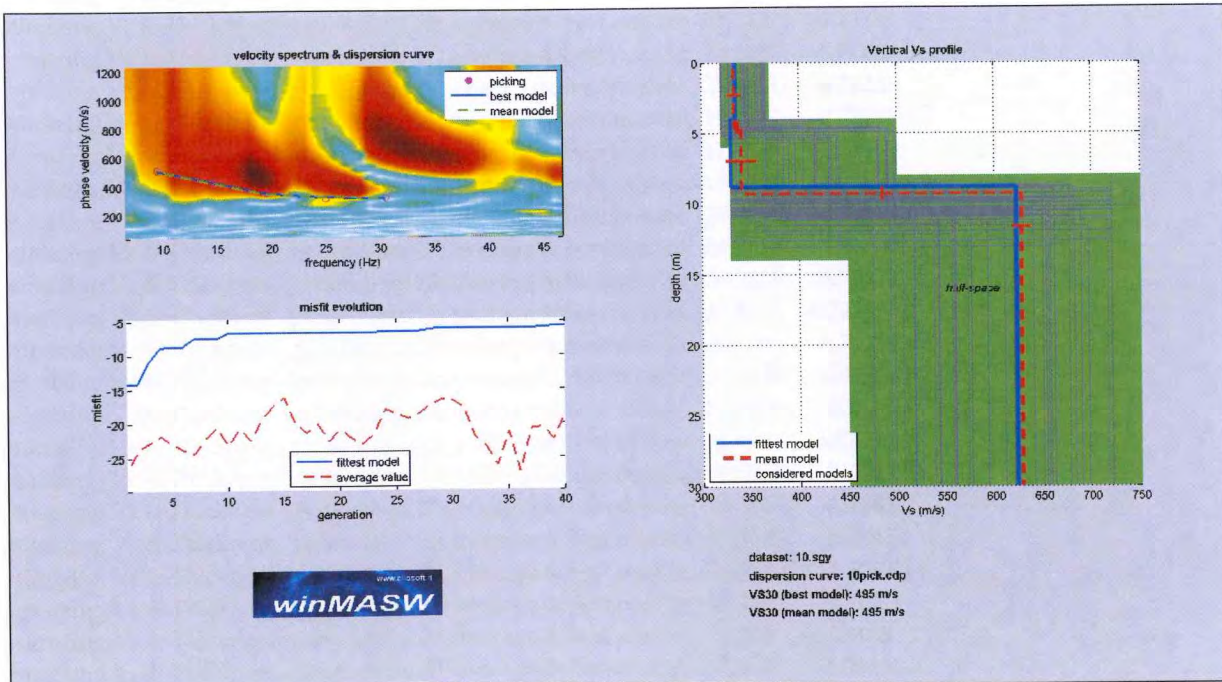
$$V_{s,30} = 381 \text{ m/s}$$

Tuttavia si ricorda che, sempre in ottemperanza alla Normativa, per la determinazione della $V_{s,30}$ si deve far riferimento alla profondità di imposta delle fondazioni previste nel progetto: 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. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

GRAFICI INDAGINE SISMICA MASW



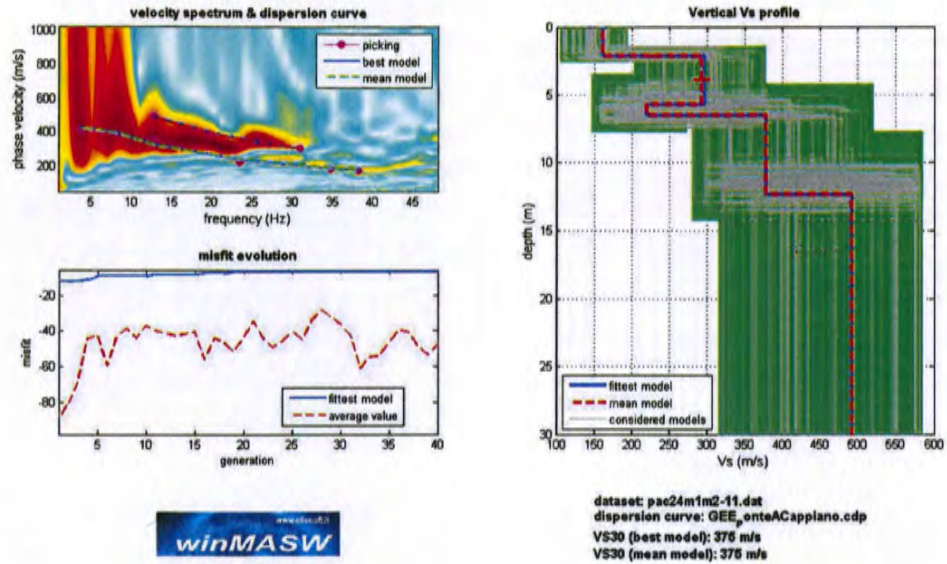
Common-shot gather e spettro di velocità



Risultato inversione

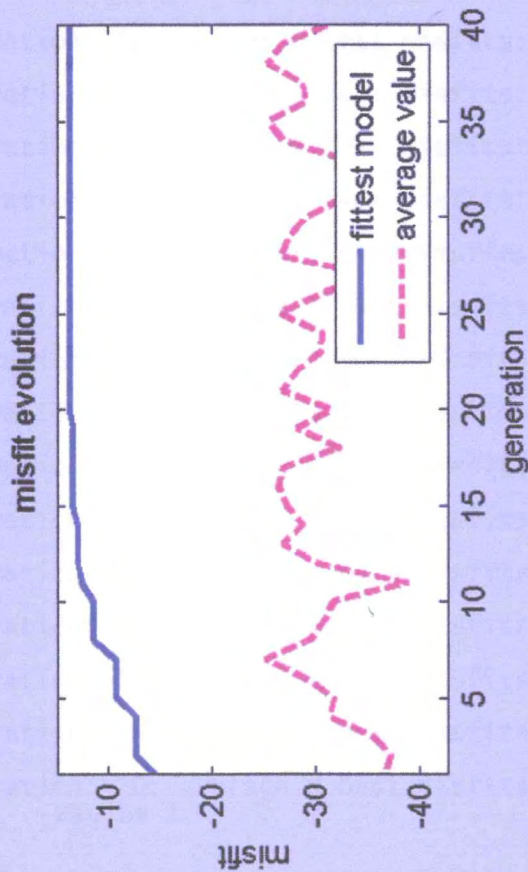
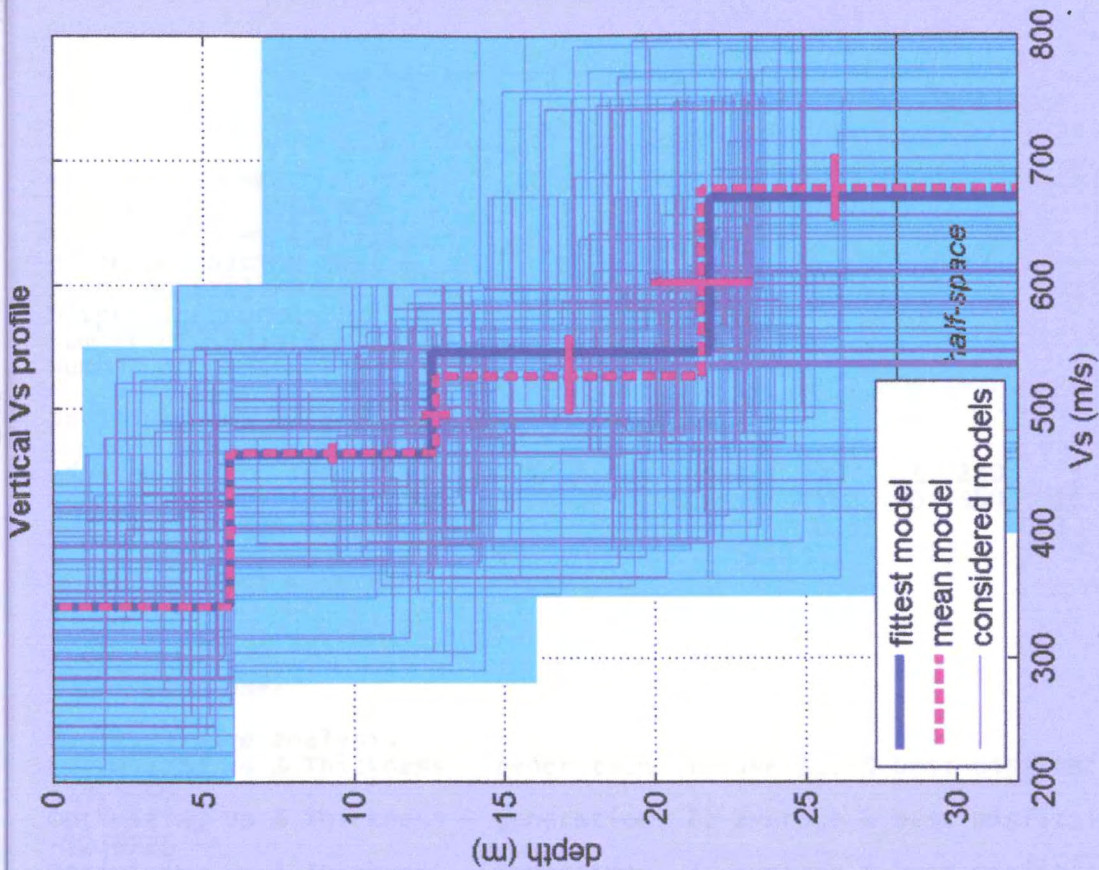
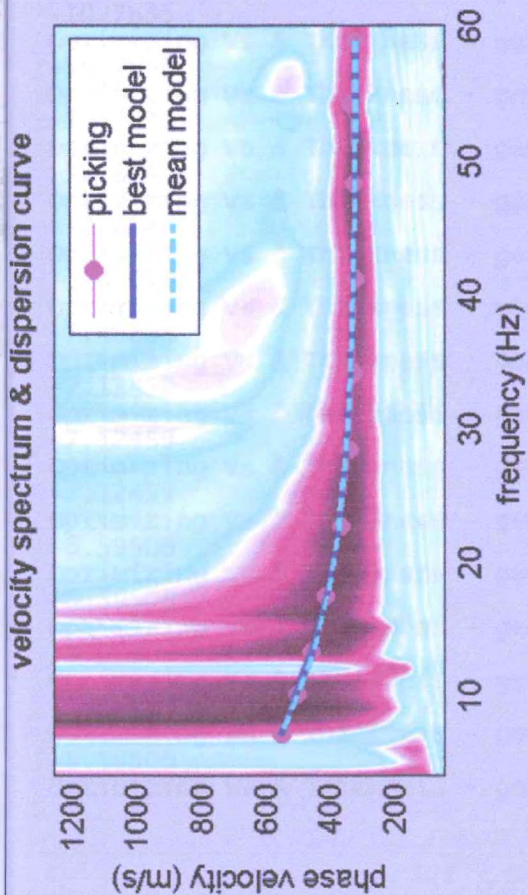
MASW

Curva di dispersione e modello del sottosuolo



Profilo verticale Vs

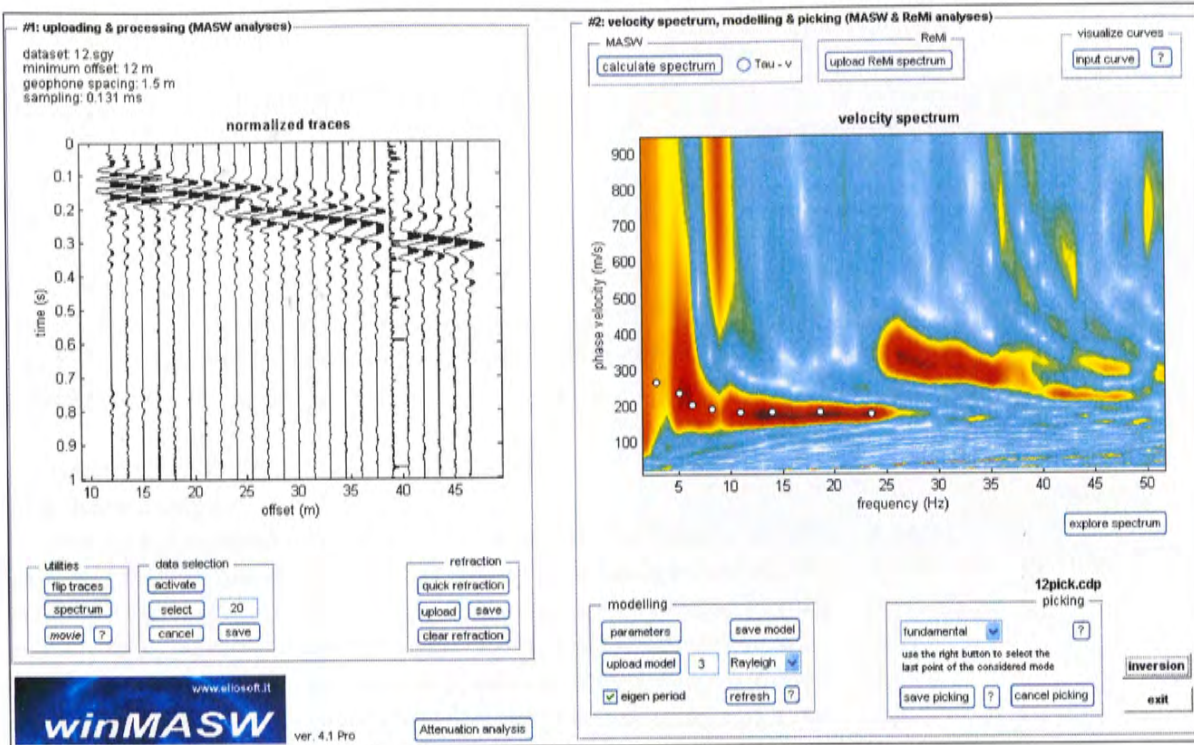




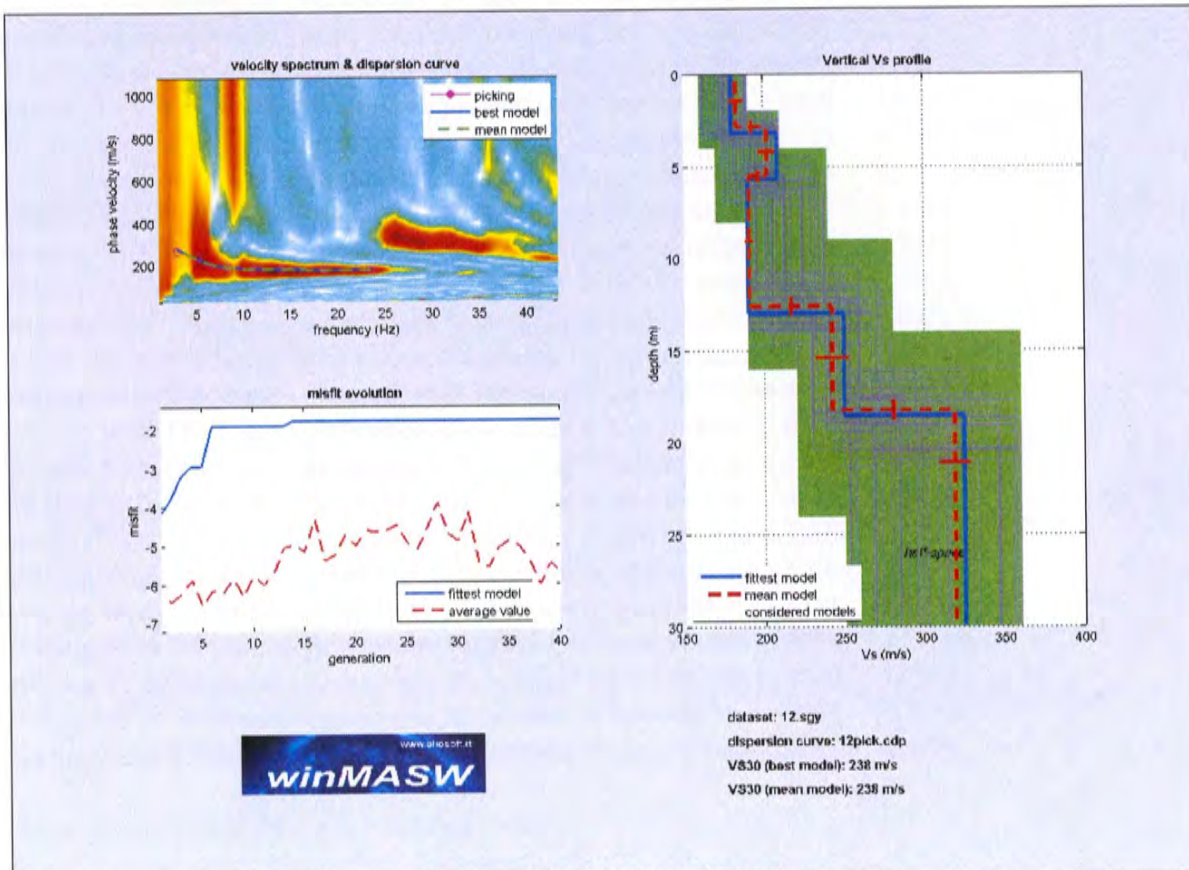
dataset: 11m sp1m.SGY
 dispersion curve: 11m.cdp
 VS30 (best model): 494 m/s
 VS30 (mean model): 490 m/s



GRAFICI INDAGINE SISMICA MASW

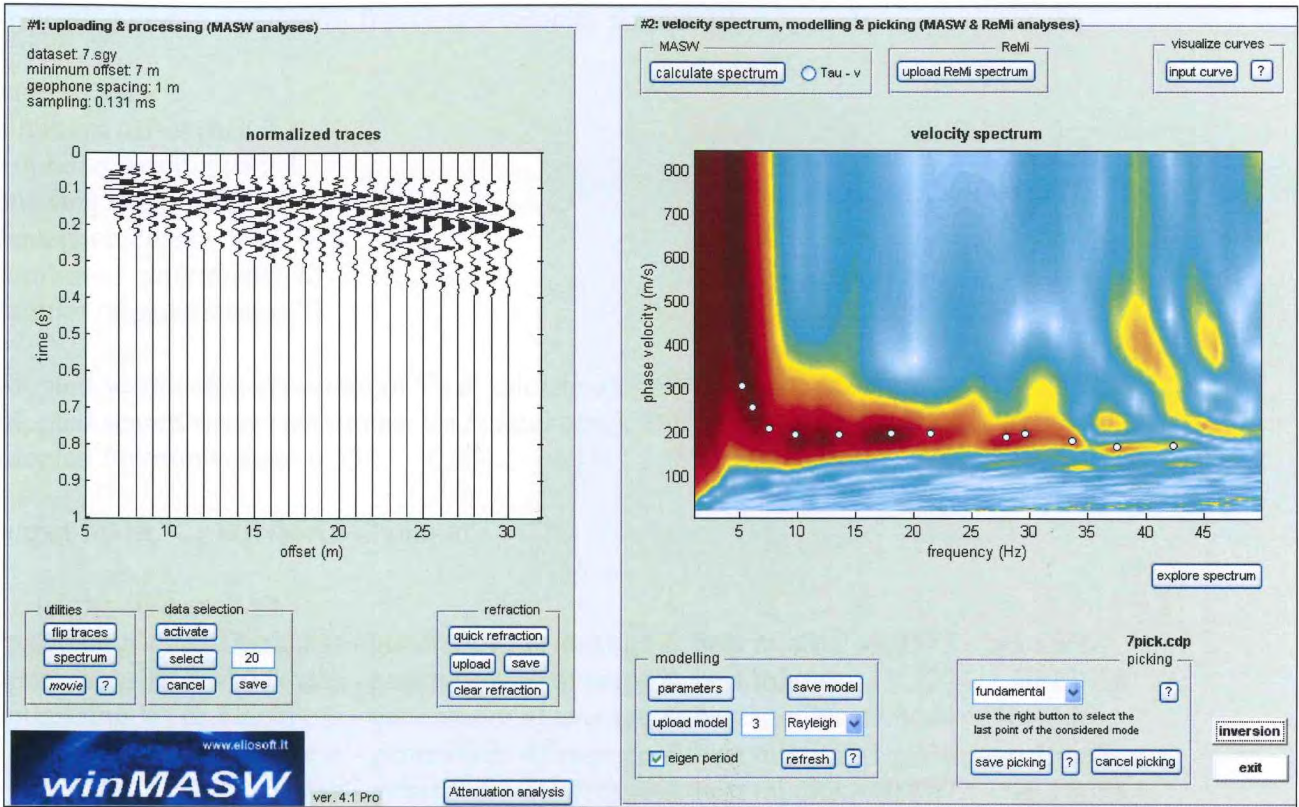


Common-shot gather e spettro di velocità

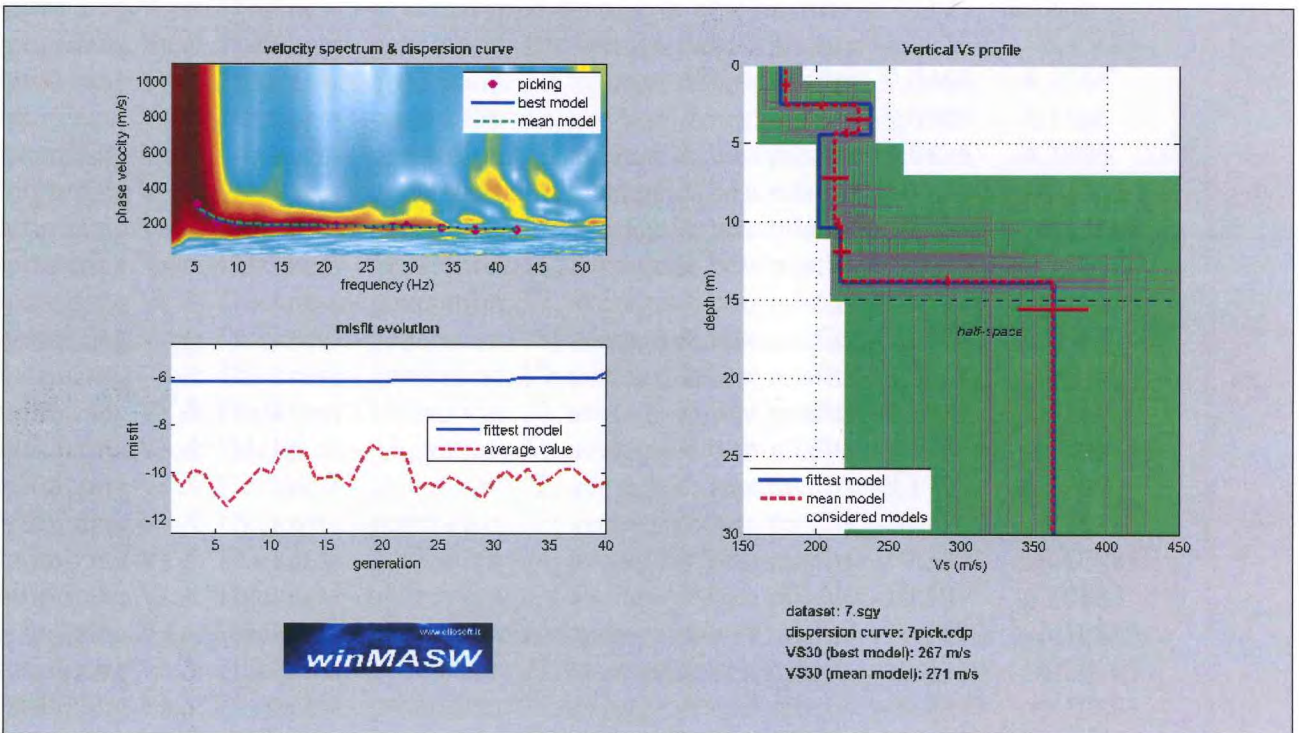


Risultato inversione

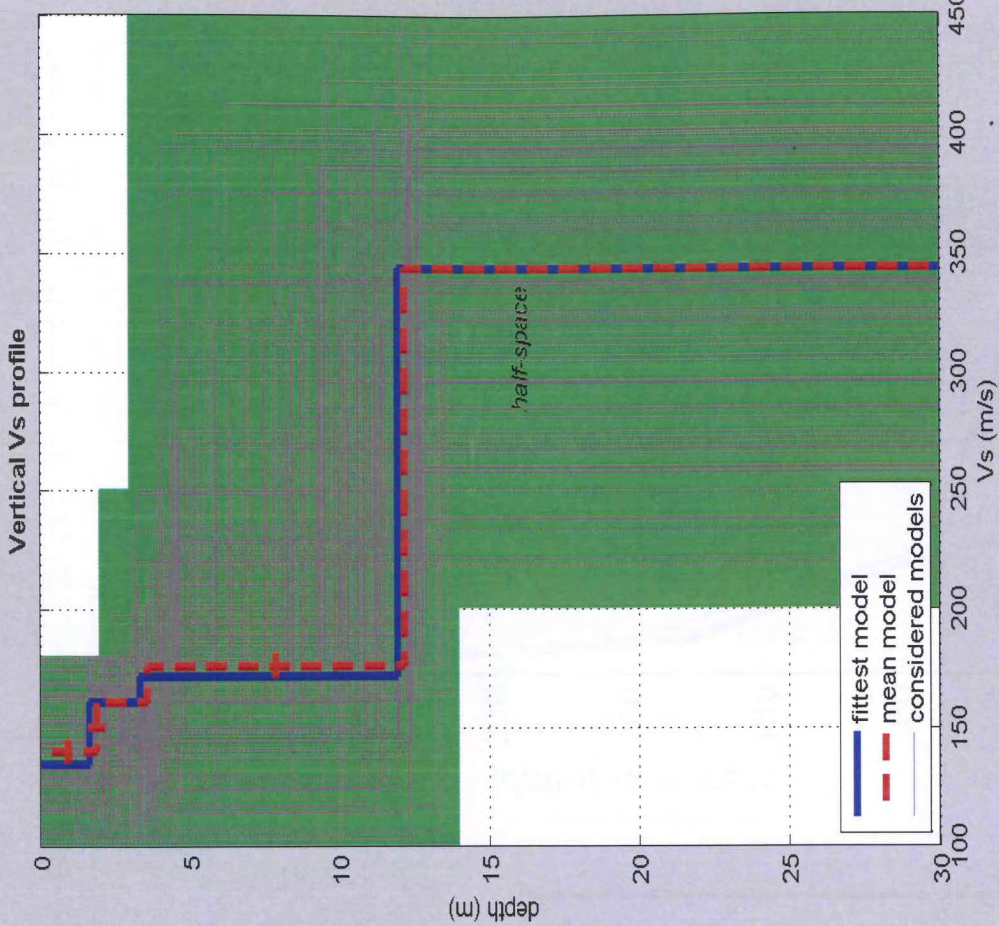
GRAFICI INDAGINE SISMICA MASW DI RIFERIMENTO



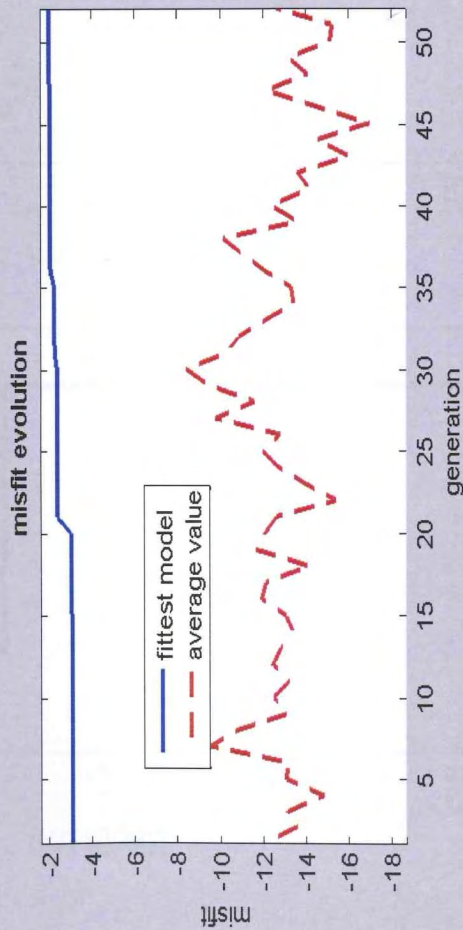
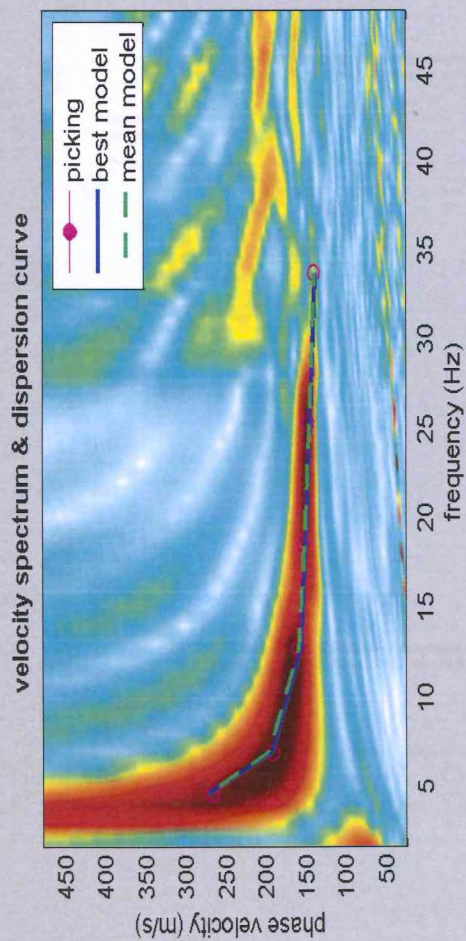
Common-shot gather e spettro di velocità



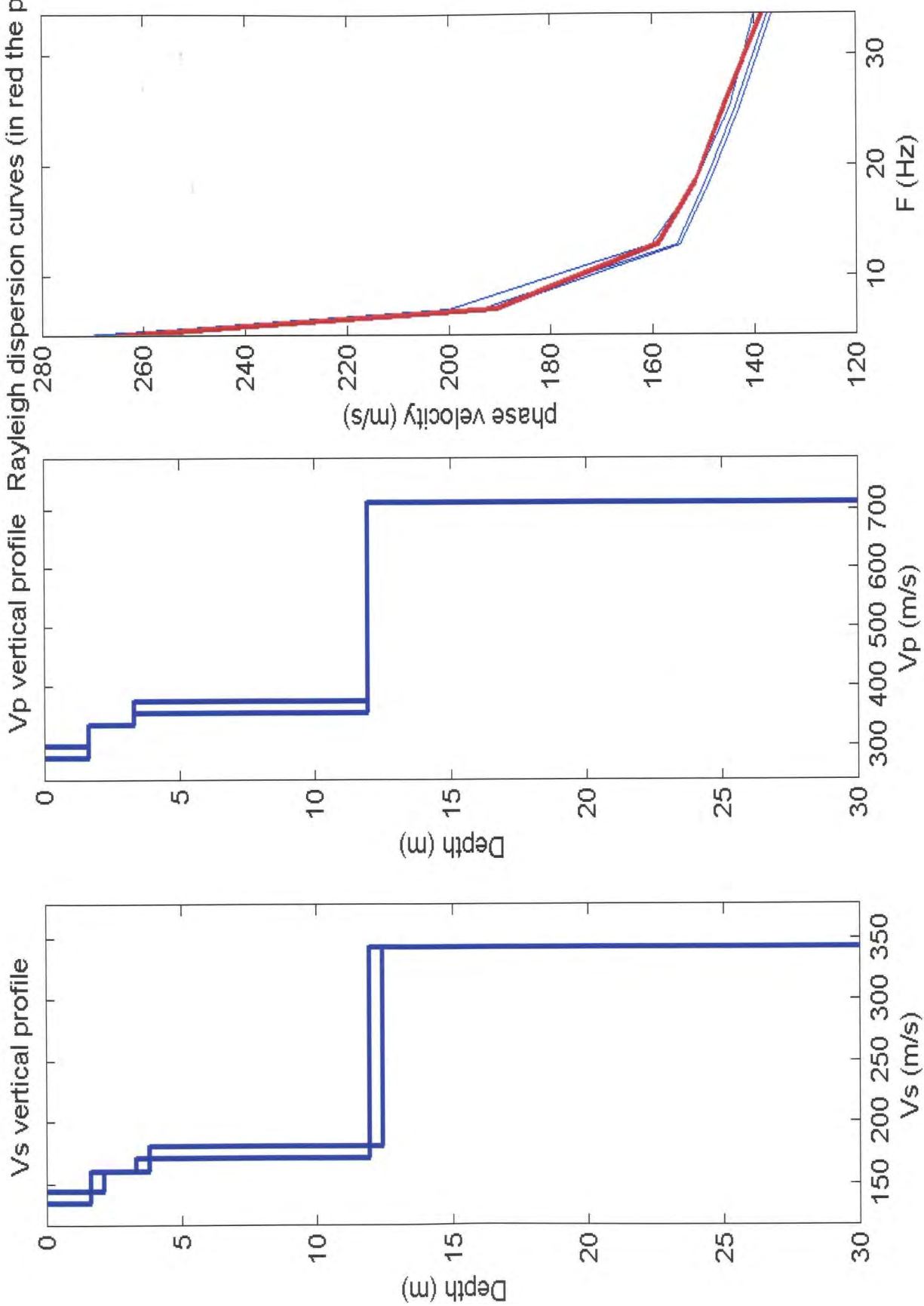
Risultato inversione

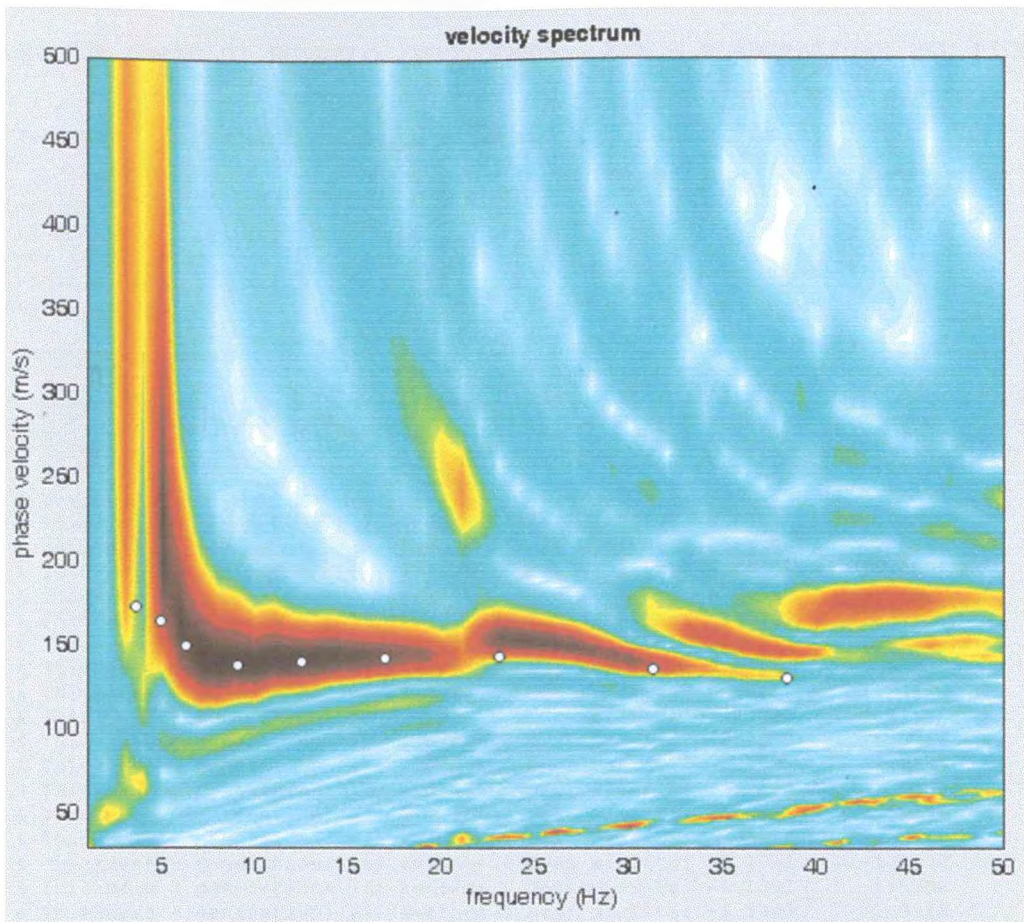


dataset: Fucecchio via Ronzinello 5 m.sgy
 dispersion curve: Fucecchio via Ronzinello 5 m pick.cdp
 VS30 (best model): 239 m/s
 VS30 (mean model): 240 m/s

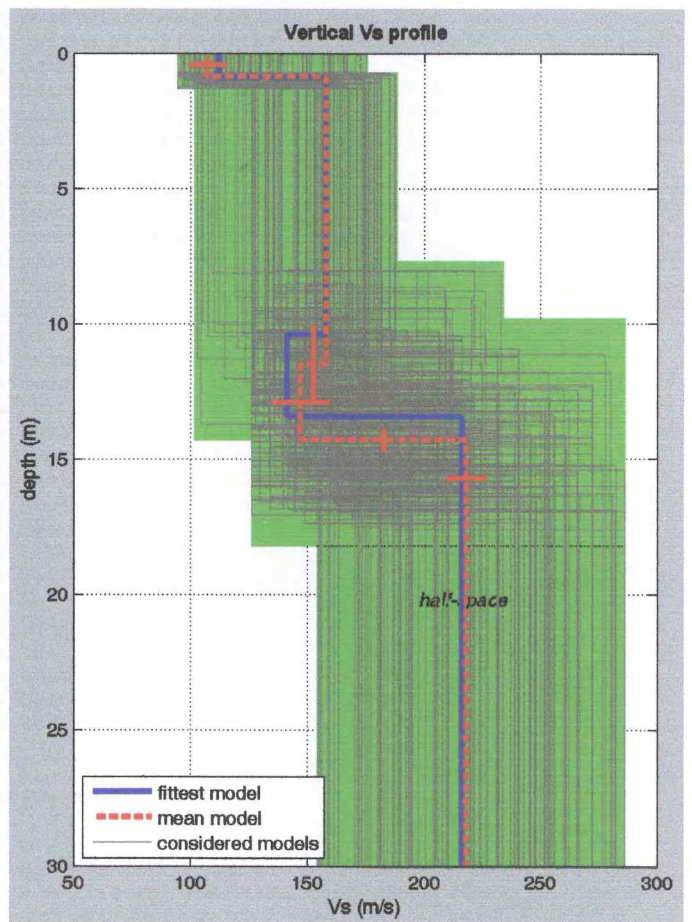
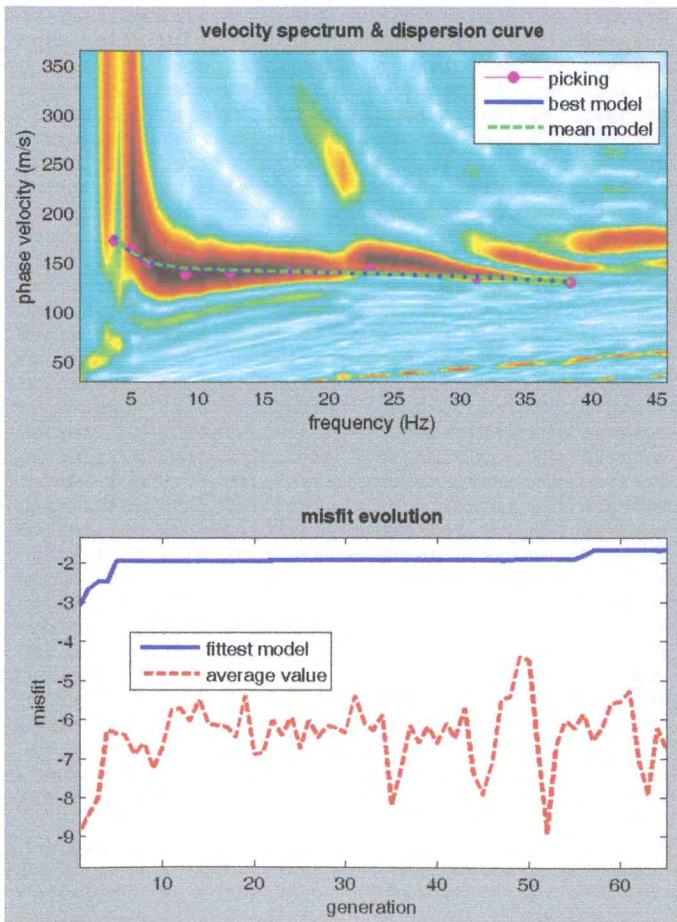


Vs vertical profile Rayleigh dispersion curves (in red the picked one)





spettro di velocità con picking del modo fondamentale



risultati elaborazione

INDAGINE MASW VIA PORTO DI BURELLO (FUCECCHIO - FI) - ELABORAZIONE PER PICKING E
INVERSIONE

Dispersion curve: number of frequency-velocity points=9
dataset: 4m.sgy
minimum offset (m): 4
geophone spacing (m): 2
sampling (ms): 0.131
Dispersion curve: 4m-pick.cdp
Number of individuals: 40
Number of generations: 51

Rayleigh-wave dispersion analysis

Adopted search space (minimum Vs & thickness):	94.5	0.7	101.5	7	126	2.1	154
Adopted search space (maximum Vs & thickness):	175.5	1.3	188.5	13	234	3.9	286
Adopted Poisson values:	0.35		0.35		0.35		0.35

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-8.894	-3.0908
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-8.4338	-2.665
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-8.0517	-2.4753
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits:	-6.2758	-2.4753
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits:	-6.3574	-1.9417
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits:	-6.4017	-1.9417
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits:	-6.9029	-1.9417
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits:	-6.6065	-1.9417
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits:	-7.2758	-1.9354
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits:	-6.7399	-1.9354
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits:	-5.7532	-1.9354
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits:	-5.7164	-1.9354
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits:	-6.0361	-1.9354
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits:	-5.4976	-1.9354
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits:	-6.1011	-1.9354
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits:	-6.1391	-1.9354
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits:	-6.1843	-1.9342
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits:	-6.4572	-1.9342
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits:	-5.3931	-1.9342
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits:	-6.9015	-1.9342
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits:	-6.8495	-1.9341
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits:	-6.0216	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits:	-6.3935	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits:	-5.9485	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits:	-6.7446	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits:	-6.0246	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits:	-6.4629	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits:	-6.156	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits:	-6.2111	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits:	-6.3342	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits:	-5.391	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits:	-6.0785	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits:	-6.2837	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits:	-5.8753	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits:	-8.1863	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits:	-7.3471	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits:	-6.1497	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits:	-6.5834	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits:	-6.167	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits:	-6.5994	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits:	-6.0988	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 42; average & best misfits:	-6.4922	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 43; average & best misfits:	-5.7049	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 44; average & best misfits:	-7.3991	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 45; average & best misfits:	-7.9258	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 46; average & best misfits:	-7.1293	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 47; average & best misfits:	-5.4934	-1.9326
Optimizing Vs & Thickness - generation: 48; average & best misfits:	-5.4212	-1.9208
Optimizing Vs & Thickness - generation: 49; average & best misfits:	-4.402	-1.8947
Optimizing Vs & Thickness - generation: 50; average & best misfits:	-4.4796	-1.8947
Optimizing Vs & Thickness - generation: 51; average & best misfits:	-6.793	-1.8947

Checking the new search space (for the finer search)

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-8.8865	-1.8947
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-6.7023	-1.8947
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-6.03	-1.8947
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits:	-6.2228	-1.8947
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits:	-5.8606	-1.7879
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits:	-6.5464	-1.6742
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits:	-6.2161	-1.6742

Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -5.5716 -1.6742
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -5.5486 -1.6742
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -5.2608 -1.6742
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -7.1165 -1.6742
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -7.9554 -1.6742
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -6.2161 -1.6742
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -6.7711 -1.6687

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 112 158 141 216
 Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35
 Thickness (m): 0.92 9.5 3

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -1.7182 -1.6568
 Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -1.7095 -1.6568
 Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -1.696 -1.6568
 Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -1.7005 -1.6568
 Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -1.6946 -1.6486
 Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -1.6907 -1.6486
 Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -1.6893 -1.6486
 Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -1.6975 -1.6486
 Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -1.7021 -1.6486
 Optimizing Vp & Density - generation: 10; average & best misfits: -1.6971 -1.6486
 Optimizing Vp & Density - generation: 11; average & best misfits: -1.6953 -1.6486
 Optimizing Vp & Density - generation: 12; average & best misfits: -1.6879 -1.6486
 Optimizing Vp & Density - generation: 13; average & best misfits: -1.6878 -1.6486
 Optimizing Vp & Density - generation: 14; average & best misfits: -1.6876 -1.6486
 Number of models considered to calculate the average model: 53

 RESULTS winMASW Pro
 #####

Dataset: 4m.sgy
 Analyzed curve: 4m-pick.cdp

=====
 MEAN MODEL

VS (m/s): 107 158 147 218
 Standard deviations (m/s): 8 1 12 9
 Thickness (m): 0.9 10.6 2.8
 Standard deviations (m): 0.1 1.4 0.4

Approximate values for Vp, density & elastic moduli

Vp (m/s): 230 331 297 453
 Density (gr/cm3): 1.70 1.79 1.76 1.86
 Vp/Vs ratio: 2.15 2.09 2.02 2.08
 Poisson: 0.36 0.35 0.34 0.35
 Young modulus (MPa): 53 121 102 239
 Shear modulus (MPa): 19 45 38 89
 Lamé (MPa): 51 107 79 205
 Bulk modulus (MPa): 64 136 105 264

Fundamental mode

Mean model
 f(Hz) VR(m/s)
 3.6216 177.2357
 4.95623 160.294
 6.29086 150.8647
 9.05545 144.7258
 12.4874 142.7897
 16.9679 141.4167
 23.0691 139.5427
 31.2675 136.1817
 38.4173 131.7089

==o== SECTION#4

=====
 BEST MODEL

Vs (m/s): 112 158 141 216
 thickness (m): 0.92423 9.4695 3.0414

Approximate values for Vp, density & elastic moduli

Vp (m/s): 236 312 305 428
 Density (gr/cm3): 1.71 1.77 1.77 1.85
 Vp/Vs ratio: 2.11 1.97 2.16 1.98
 Poisson: 0.35 0.33 0.36 0.33

Young modulus (MPa):	58	117	96	229
Shear modulus (MPa):	21	44	35	86
Lamé (MPa):	52	84	94	166
Bulk modulus (MPa):	66	114	118	224

dispersion curve (frequency - Rayleigh phase velocity)

Fundamental mode)

best model

F (Hz)	VR (m/s)
3.6216	176.2044
4.95623	159.7532
6.29086	150.0075
9.05545	143.8508
12.4874	142.2309
16.9679	141.1485
23.0691	139.4095
31.2675	136.0566
38.4173	131.709

Inversion quality: very good

VS5 (mean model): 146 m/s

VS5 (best model): 147 m/s

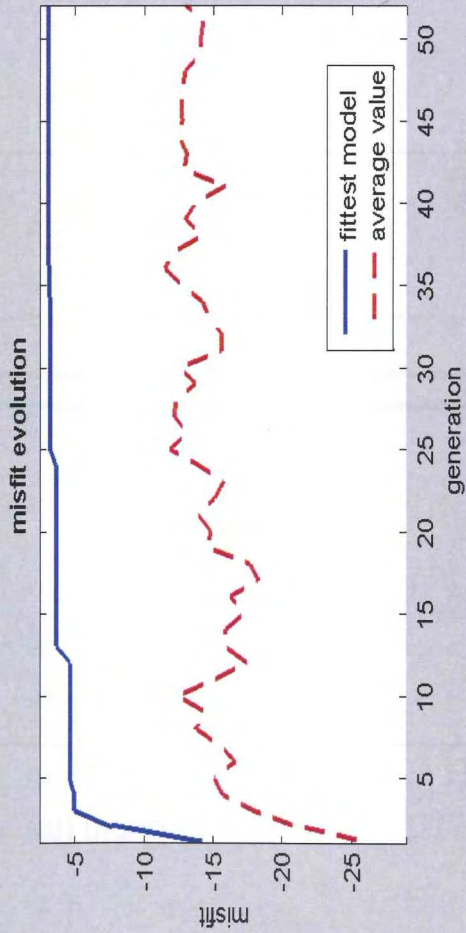
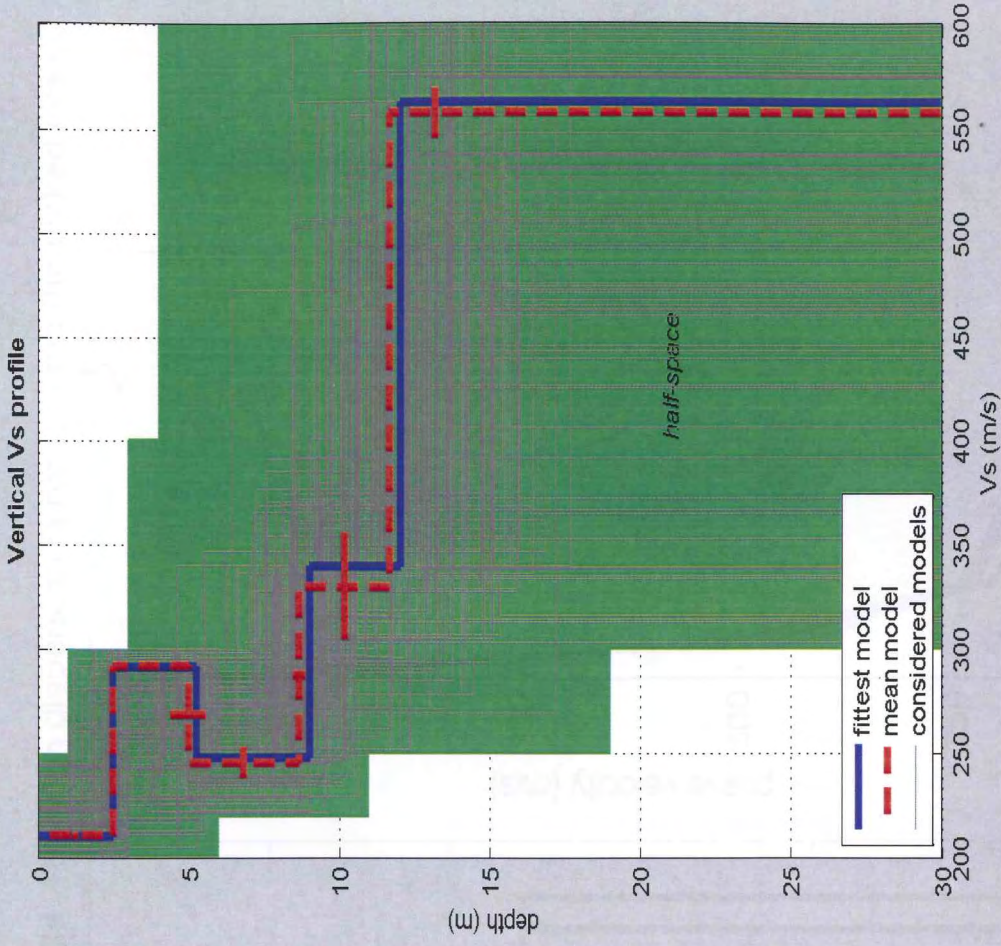
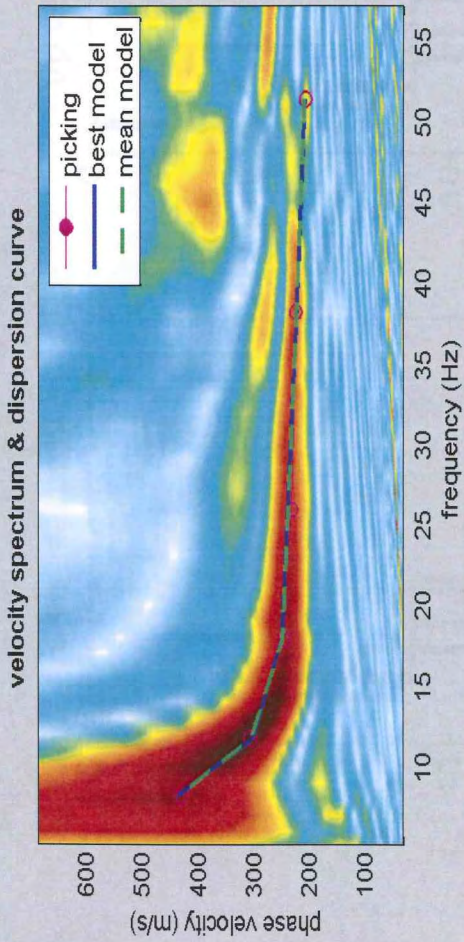
VS20 (mean model): 166 m/s

VS20 (best model): 166 m/s

VS30 (mean model): 180 m/s
VS30 (best model): 180 m/s

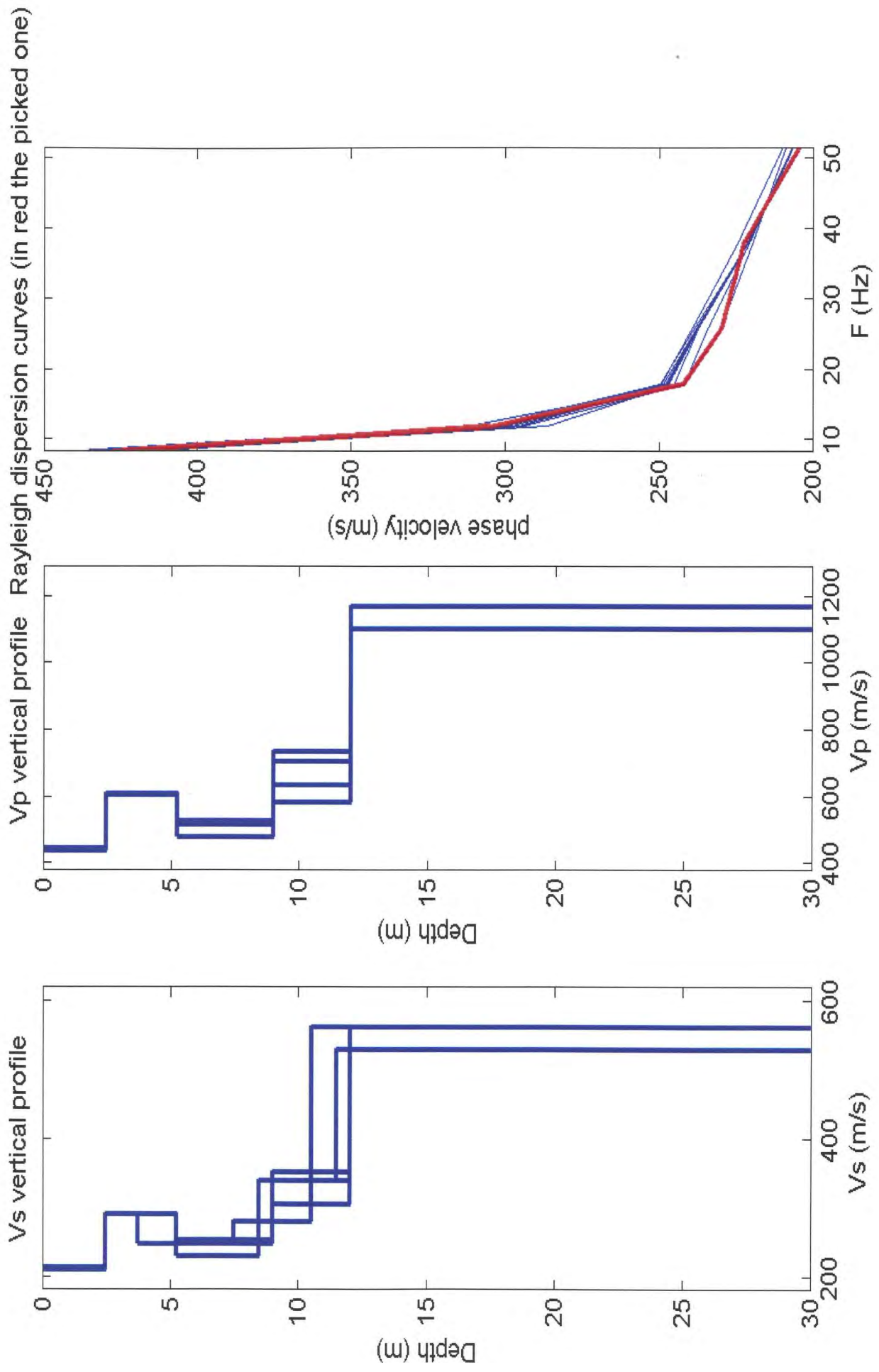
=====
winMASW Pro Surface Wave Analysis
www.eliosoft.it





dataset: Cinelli Arrigoni 4m Vscope.sgy
 dispersion curve: cinelli arrigoni 4 m pick.k.cdp
 VS30 (best model): 388 m/s
 VS30 (mean model): 388 m/s





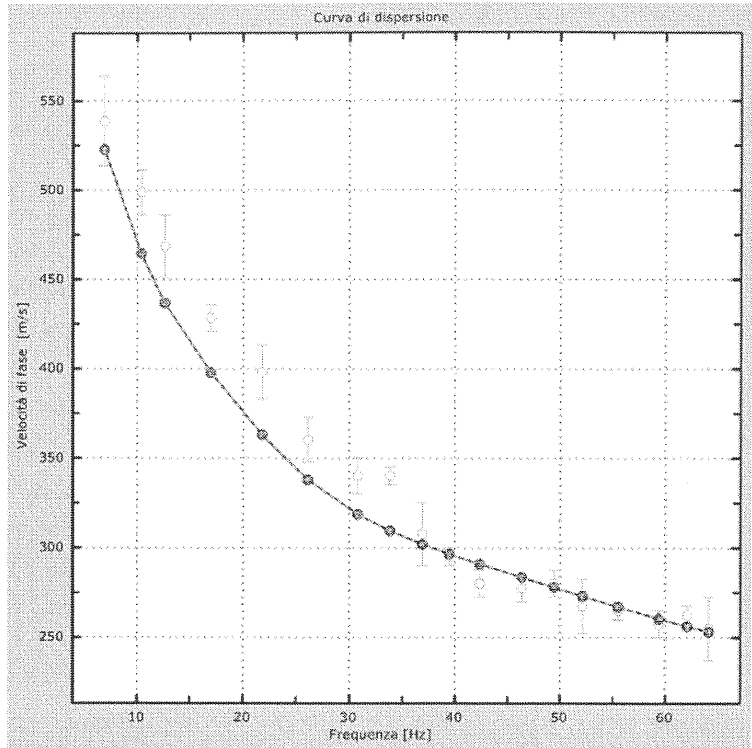


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

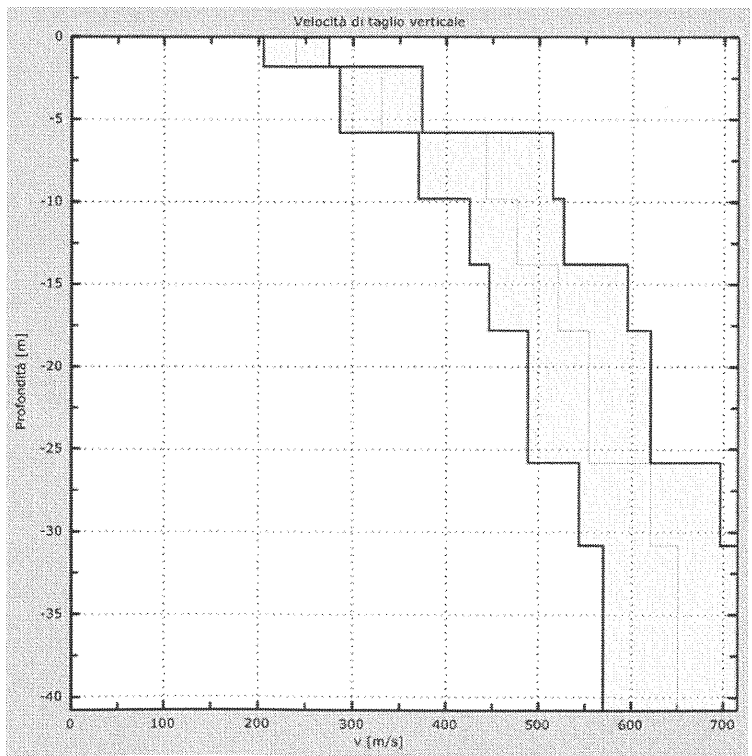


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Offset [m].....2 m

Vs30 [m/s]454

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

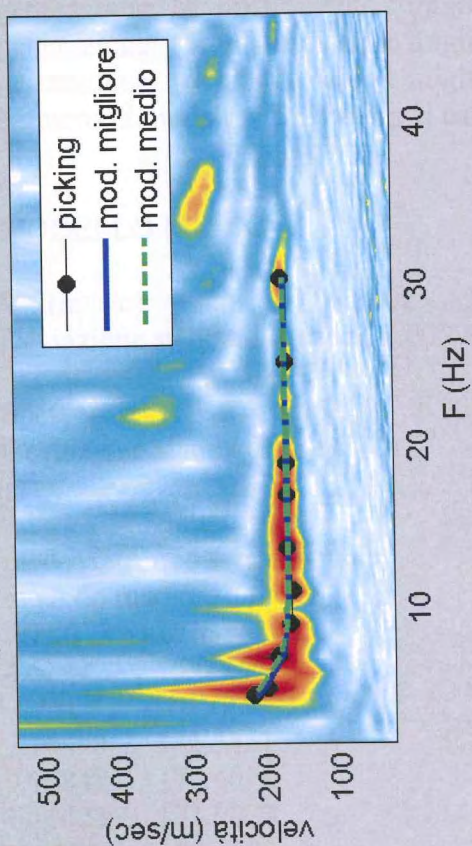
Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

L'unità geotecnica dello strato rigido è la numero 8

Tipo di suolo B

spettro di velocità e curve di dispersione



profilo verticale onde S

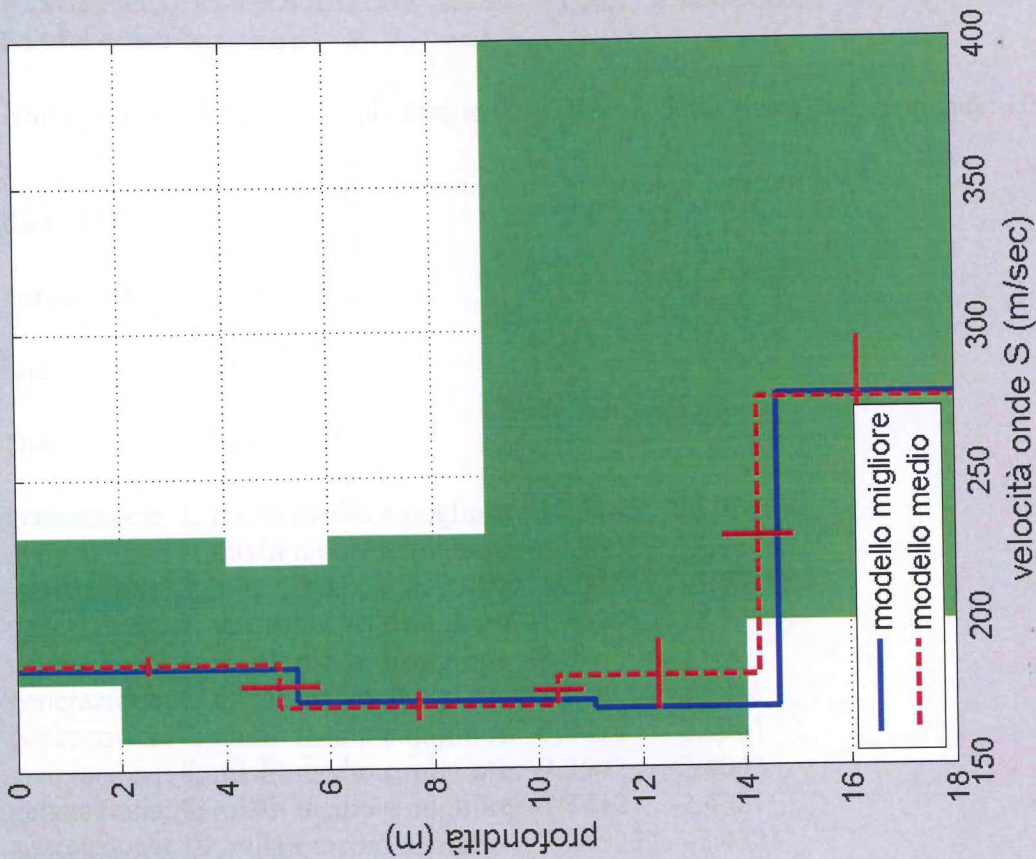
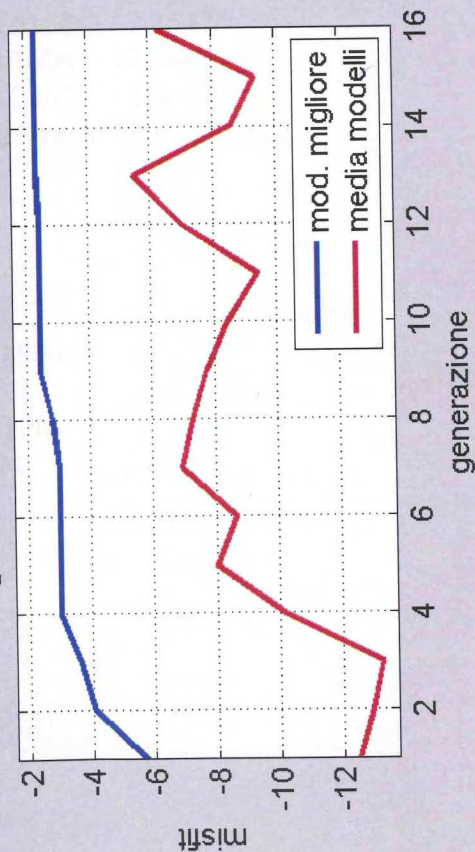


grafico misfit - generazione



dataset: 10.sgy
 curva di dispersione: 10pick.cdp
 modello migliore VS30: 217 m/sec
 modello medio VS30: 220 m/sec



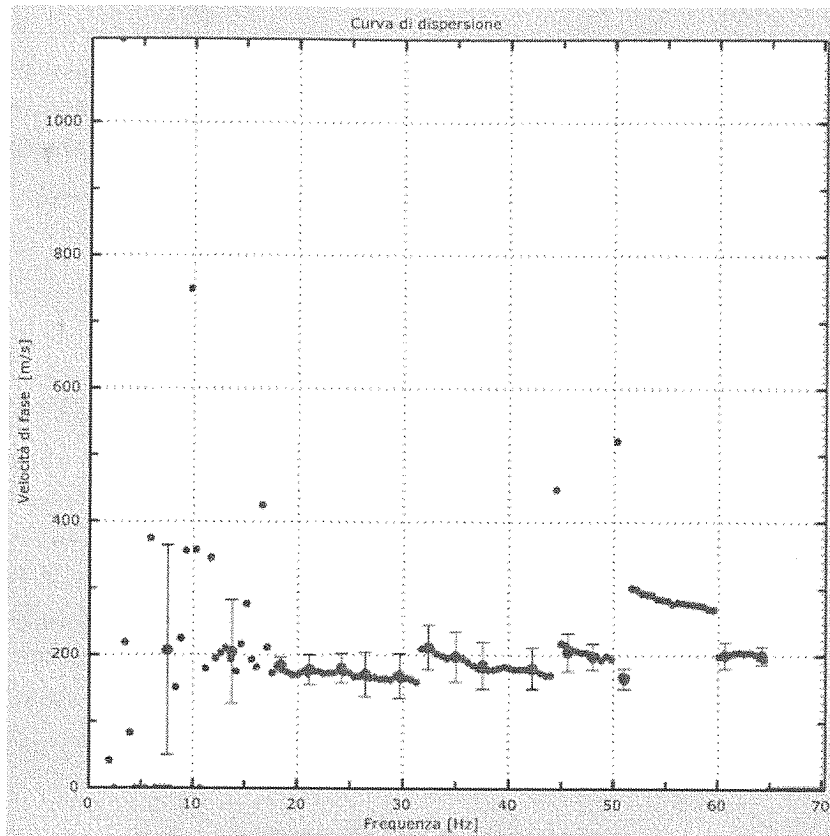


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio)	8
Spaziatura ricevitori [m]	1.5m
Numero ricevitori	24
Numero modi	1
Numero iterazioni	10
Massimo errore [%]	5.000000e-002
Consenti forti contrasti di rigidezza tra 2 strati consecutivi	

Strato 1: terreno vegetale

h [m]	0.80
z [m]	-0.8
Densità [kg/m ³]	1700
Poisson	0.35
Vs [m/s]	200
Vp [m/s]	416.33

Vs min [m/s]	180
Vs max [m/s].....	250
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	200.000

Strato 2: argilla

h [m].....	2.20
z [m].....	-3
Densità [kg/m ³].....	2100
Poisson	0.35
Vs [m/s].....	198.10
Vp [m/s]	412.38
Vs min [m/s]	180
Vs max [m/s].....	250
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	198.100

Strato 3: limo sabbioso

h [m].....	6
z [m].....	-9
Densità [kg/m ³].....	2000
Poisson	0.35
Vs [m/s].....	227.65
Vp [m/s]	473.89
Vs min [m/s]	200
Vs max [m/s].....	300
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	227.650

Strato 4

h [m].....	6
z [m].....	-15
Densità [kg/m ³].....	2000
Poisson	0.35
Vs [m/s].....	230.11
Vp [m/s]	479.01

Vs min [m/s]	200
Vs max [m/s].....	300
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	230.110

Strato 5

h [m].....	6
z [m].....	-21
Densità [kg/m ³].....	1900
Poisson	0.35
Vs [m/s].....	230.11
Vp [m/s]	479.01
Vs min [m/s]	200
Vs max [m/s].....	300
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	230.110

Strato 6

h [m].....	6
z [m].....	-27
Densità [kg/m ³].....	1900
Poisson	0.35
Vs [m/s].....	230
Vp [m/s]	478.78
Vs min [m/s]	200
Vs max [m/s].....	300
Falda non presente nello strato	
Strato alluvionale	
Vs fin.[m/s]	230.000

Strato 7

h [m].....	6
z [m].....	-33
Densità [kg/m ³].....	2000
Poisson	0.35
Vs [m/s].....	230
Vp [m/s]	478.78

Vs min [m/s]200
 Vs max [m/s]300
 Falda non presente nello strato
 Strato alluvionale
 Vs fin.[m/s]230.000

Strato 8

h [m]0
 z [m]-00
 Densità [kg/m^3]2000
 Poisson0.35
 Vs [m/s]230.11
 Vp [m/s]479.01
 Vs min [m/s]200
 Vs max [m/s]300
 Falda non presente nello strato
 Strato alluvionale
 Vs fin.[m/s]230.110

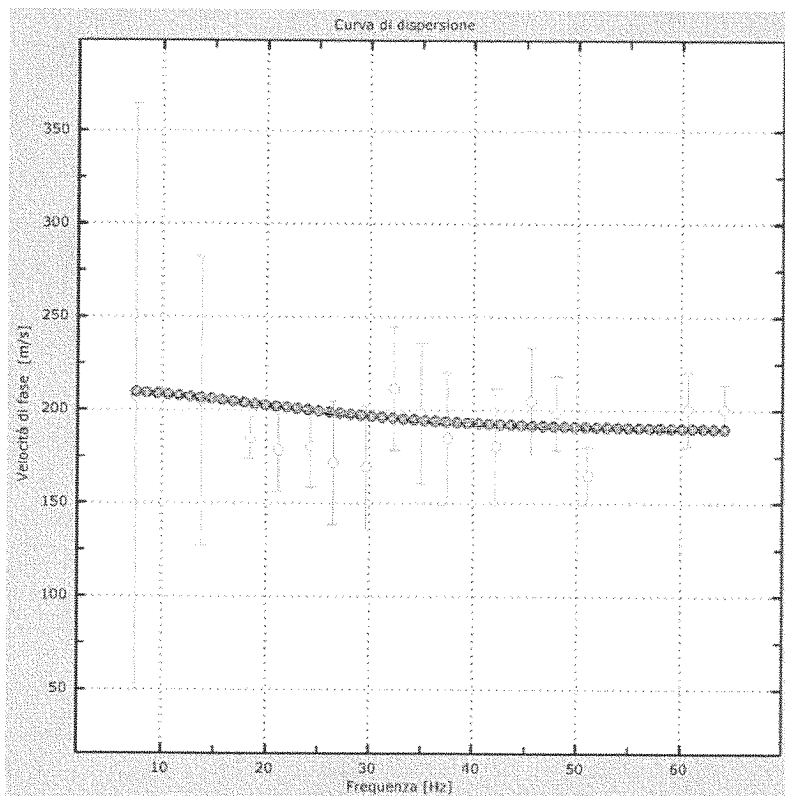


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

5 - Risultati finali

Offset [m]0

Vs30 [m/s]226

La normativa applicata è il DM 14 gennaio 2008

Il sito appartiene alle classi A, B, C, D, E o S1 (alluvionale, ghiaia, sabbia, limo, argilla, roccia).

Il sito non è suscettibile di liquefazione e non è argilla sensitiva.

L'unità geotecnica dello strato rigido è la numero 7

Tipo di suoloC



OGGETTO:	INDAGINI GEOFISICHE	
TIPOLOGIA:	INDAGINE MASW PER IL CALCOLO DEL PARAMETRO VS30 INDAGINE HVSR PER IL CALCOLO DELLA FREQUENZA DI RISONANZA DI SITO	DATA INDAGINE: Settembre 2010
LOCALITA':	COMUNE DI FUCECCHIO (FI) – CAPOLUOGO	
COMMITTENTE:	Dott. Geol. CARLO FERRI	

codice documento:	j196.10.09.30_fuc.doc
versione /revisione:	01
stato documento:	definitivo
autore:	a.benvenuti
revisione:	v.carnicelli
approvazione:	v.carnicelli
data:	05 Ottobre 2010

SOMMARIO

1	PREMESSA	2
2	TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	2
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	2
2.2	INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE.....	3
2.3	INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE.....	4
3	ANALISI DEI RISULTATI	6

1 PREMESSA

Su incarico del dott. geol. Carlo Ferri è stata eseguita un'indagine geofisica nel Capoluogo del Comune di Fucecchio, finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S), al calcolo del parametro Vs30 e al calcolo della frequenza di risonanza caratteristica del sito.

L'indagine, svolta in data 30 Settembre 2010, è stata condotta conformemente alla vigente normativa sismica e in particolare ai contenuti dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., al D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" e alla Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2 TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro Vs30 si è deciso di eseguire n. 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves").

Per il calcolo della frequenza di risonanza caratteristica di sito e per verificare i risultati ottenuti dal MASW sono stati eseguiti n.2 sondaggi in sismica passiva a stazione singola; di questi uno (TR2) è stato eseguito in lungo la stesa MASW mentre l'altro (TR1), a una decina di metri di distanza, a est dello stendimento.

In particolare l'elaborazione delle prove HVSR ha consentito, unitamente ai risultati ottenuti dall'indagine MASW, di investigare il sottosuolo fino a profondità superiore rispetto a quella richiesta dalla normativa.

2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l'indagine MASW sono costituite da:

un sistema di energizzazione ad impatto verticale per le onde di Rayleigh costituito da una mazza del peso di 10 kg battente verticalmente su piastra quadrata in alluminio di dimensioni di 20 x 20 x 5 cm posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde Rayleigh;

un sistema di ricezione costituito da 24 geofoni verticali monocomponente con frequenza propria di 4.5 Hz;

un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo P.A.S.I. modello 16S24U; due cavi sismici telemetrici di 55 m ciascuno; un notebook PC Windows XP con software di acquisizione P.A.S.I. a 24 canali;

un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati

La strumentazione utilizzata per le misure dei microtremori ambientali, elaborati attraverso la tecnica HVSR, è costituita da un tromografo digitale (Tromino della Micromed) dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e UP-DOWN.

2.2 INDAGINE MASW: METODOLOGIA E 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, 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; 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 allineata all'array geofonico) 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 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in quattro fasi:

- acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;
- determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;
- calcolo della curva di dispersione attraverso il picking o la modellazione diretta;
- inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s e il parametro V_{s30} .

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software winMASW (della eliosoft).

Le acquisizioni sono state eseguite secondo le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW	
Coordinate GB centro stendimento	1645543; 4843303
Orientazione	NW-SE (N165)
Lunghezza stendimento	34.5 m
Numero Geofoni	24
Distanza intergeofonica	1.5 m
Numero punti di energizzazione per estremo	G1: 3; G24: 2
Off-sets sorgenti (da ciascun estremo)	G1: 2 m, 5 m, 10 m; G24: 4 m, 6 m
Durata acquisizione	1024 ms
Intervallo di campionamento	500 μ s

Per valutare la validità delle ipotesi di monodimensionalità (strati piani e paralleli) sono state eseguite acquisizioni coniugate: 3 acquisizioni con sorgenti a distanze crescenti (2 m, 5 m e 10 m) dal primo geofono (G1) dello stendimento e 2 acquisizioni con offsets minimi di 4 m e 6 m dall'ultimo geofono dello stendimento (G24).

Durante il processo di elaborazione, al fine di minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra lo spettro di velocità sperimentale e le curve di dispersione teoriche che possono generare tale spettro, ci si è avvalsi dei dati acquisiti con i sondaggi in sismica passiva.

2.3 INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma un ruolo fondamentale nella produzione dei microtremori è rivestito dalle onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

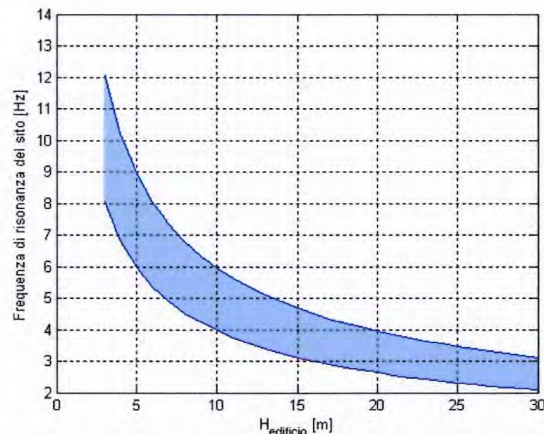
- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la

stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio V_s ;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Per quanto concerne il fenomeno della "doppia risonanza" (cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico, così come trasmesso in superficie, e quelle dei manufatti ivi edificati) è noto che, dal punto di vista empirico, la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza.

Nella figura seguente (tratta da Masi et al., 2007) si riporta, a titolo esemplificativo, una possibile relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza di sito. La fascia azzurra indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.



La quantificazione della frequenza caratteristica di sito attraverso misure dirette di microtremore sismico può quindi essere di estremo aiuto nella fase di progettazione.

Durante questa campagna geofisica sono state eseguite due misure di microtremore ambientale (sondaggi in sismica passiva a stazione singola) secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE HVSR				
Denominazione	Coordinate Gauss Boaga		Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
TR1	1645553	4843319	14 min	128 Hz
TR2	1645544	4843298	14 min	128 Hz

Le misure dei microtremori ambientali, orientate secondo il Nord e della durata di 14 minuti ciascuna, sono state effettuate con il tromografo digitale Tromino.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

3 ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo dell'analisi della prova MASW e della prova H/V, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro Vs30: il modello di sottosuolo in termini di Vs è stato ottenuto dal fit congiunto delle curve H/V e delle curve di dispersione ricavate dall'indagine MASW.

Il profilo verticale delle Onde S, in corrispondenza della prova MASW, ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna è risultato il seguente:

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	175
4.70	2.70	260
11.00	6.30	230
18.00	7.00	360
27.00	9.00	390
inf.	inf.	440

$$Vs(0.0-30.0)=304\text{m/s}$$

La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i 30 metri di profondità (Vs30) è calcolata con la seguente espressione:

$$Vs30 = 30/(\sum h_i/V_i)$$

Il profilo MASW indica una **Vs30, riferita al piano di campagna, pari a 304 m/s.**

Come risulta dai relativi grafici allegati, entrambe le misure dei microtremiti ambientali, effettuate attraverso i sondaggi a stazione singola, hanno rilevato massimi diffusi del rapporto H/V alla frequenze comprese tra 1 Hz e 2.5 Hz con un picco predominante a circa **1 Hz** (1.09 TR1 e 1.19 TR2), tale da poter definire questa frequenza, come **frequenza fondamentale di sito.**

Per quanto sopra, ai fini della definizione delle azioni sismiche secondo le nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008) i risultati dell'indagine geofisica, dal punto di vista prettamente numerico, **in riferimento al p.d.c.**, concorrono ad ascrivere il sito come appartenente alla **Categoria C** di sottosuolo.

L'esatta attribuzione ad una specifica categoria di sottosuolo per il sito indagato deve essere accompagnata da considerazioni di carattere litologico, basate sulle conoscenze stratigrafiche del sito (che potrebbero peraltro modificare la categoria ivi proposta).

Pisa, 05 Ottobre 2010

P3 s.n.c.
P3 s.n.c.
 Via delle Sette Volte, 21 - 56126 PISA
 C.F./P.IVA 01923910507

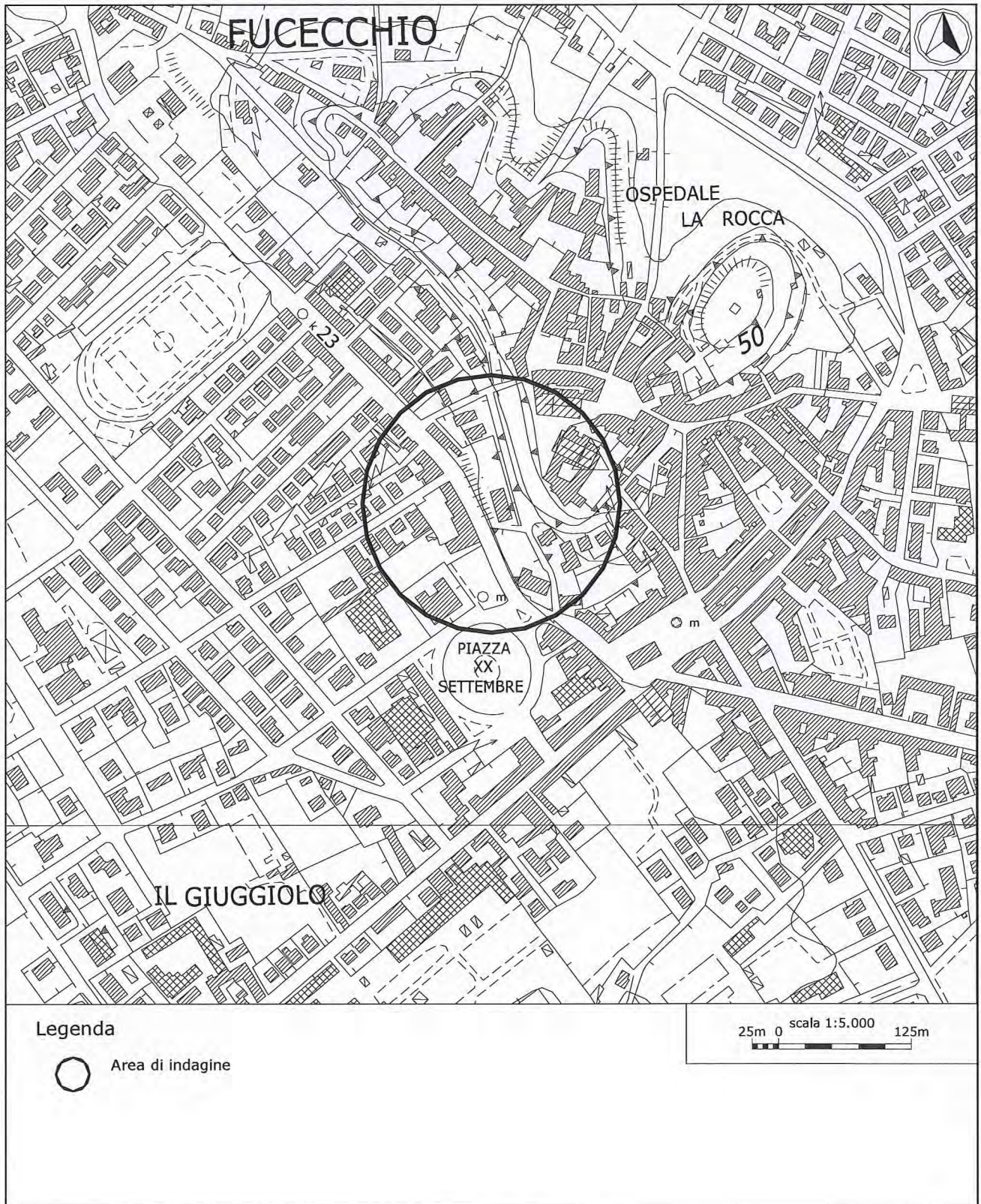



Figura1. Ubicazione indagini.

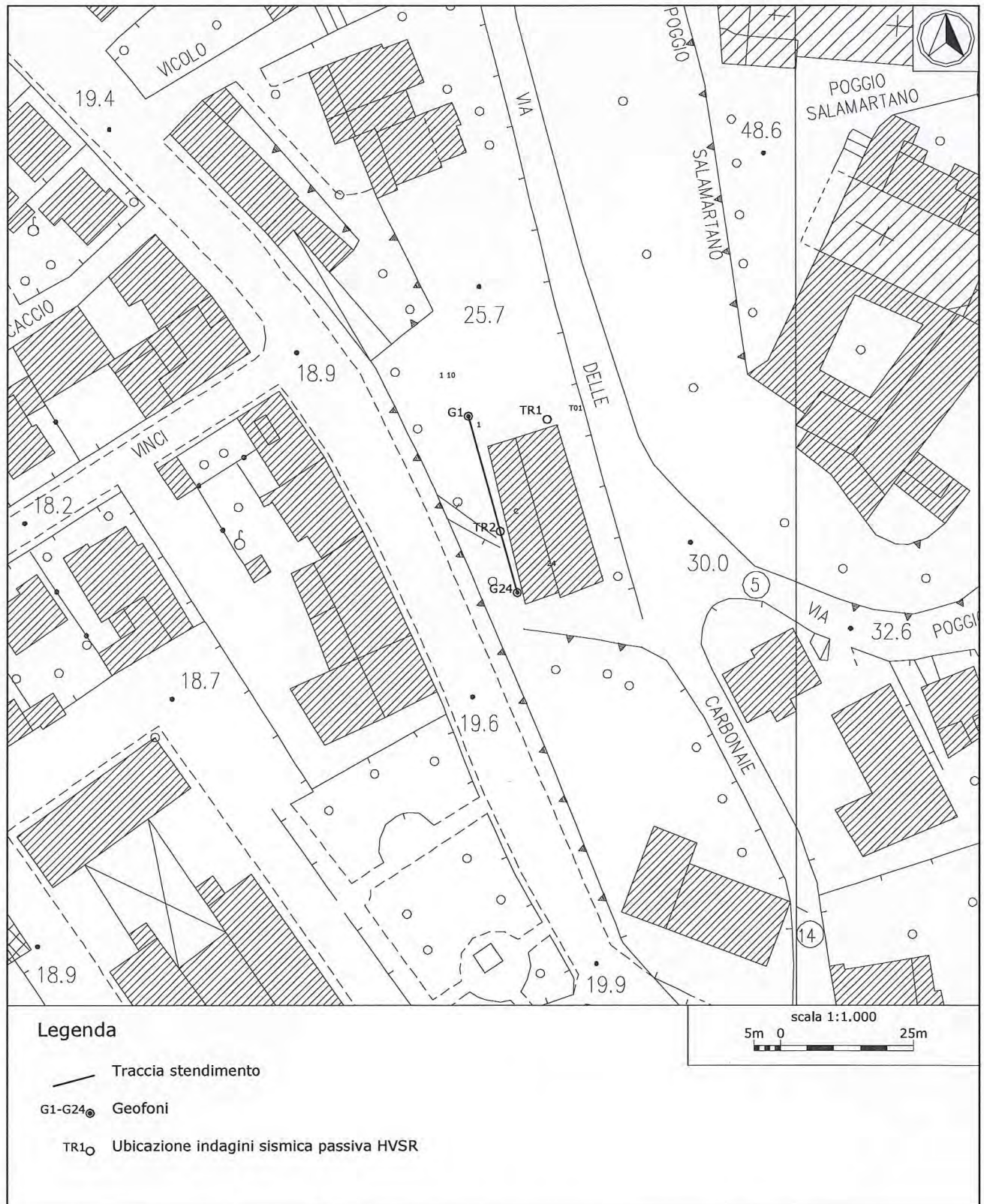
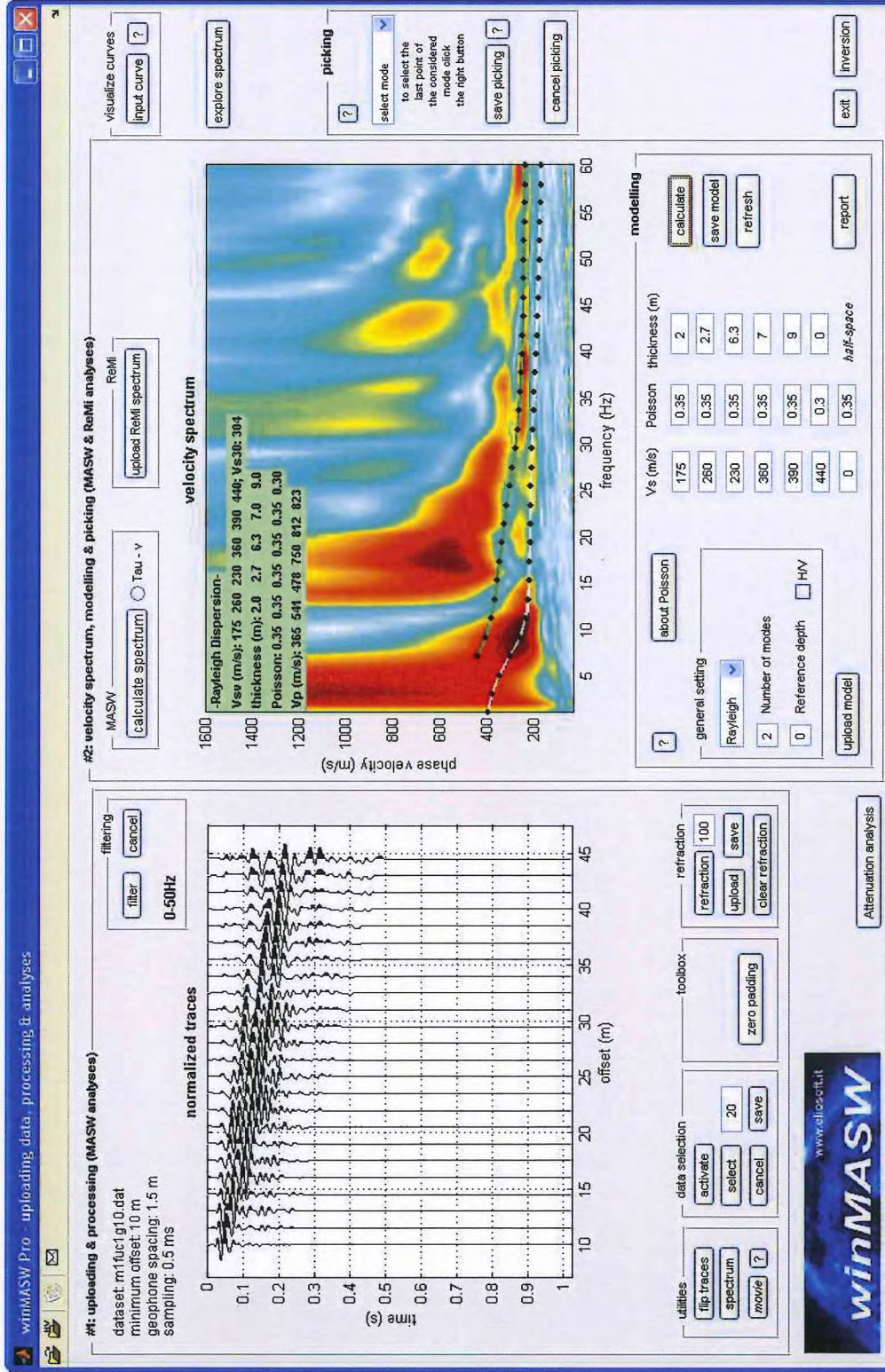


Figura 2. Dettaglio indagine MASW e ubicazione indagini in sismica passiva HVSR.

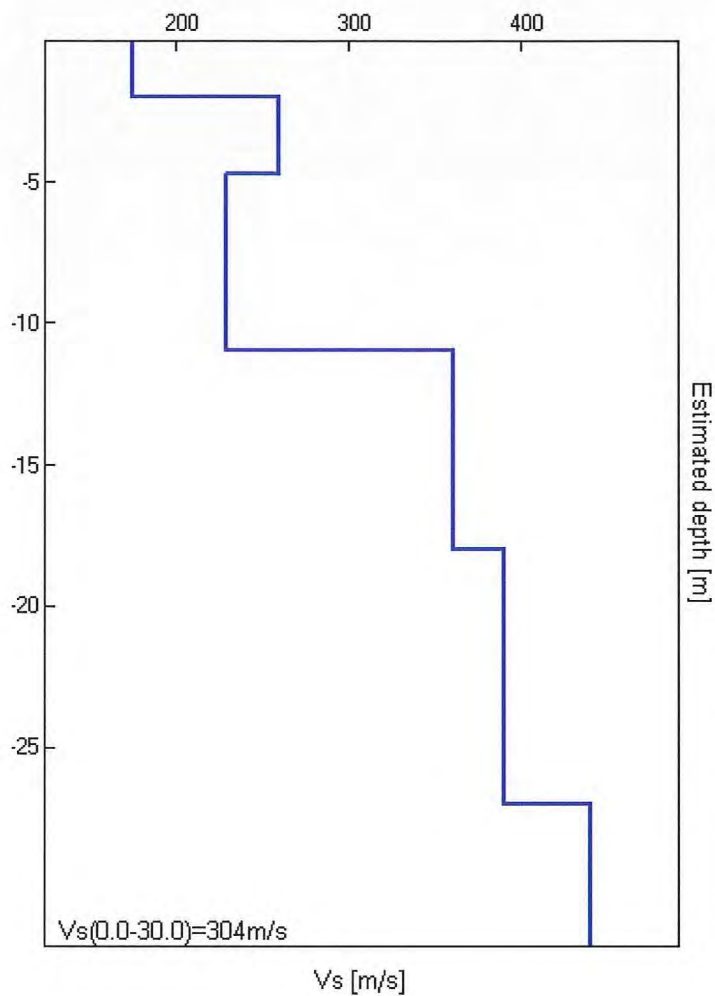


Indagine MASW. Sismogramma, spettro di velocità e modello di dispersione.

P3 s.n.c

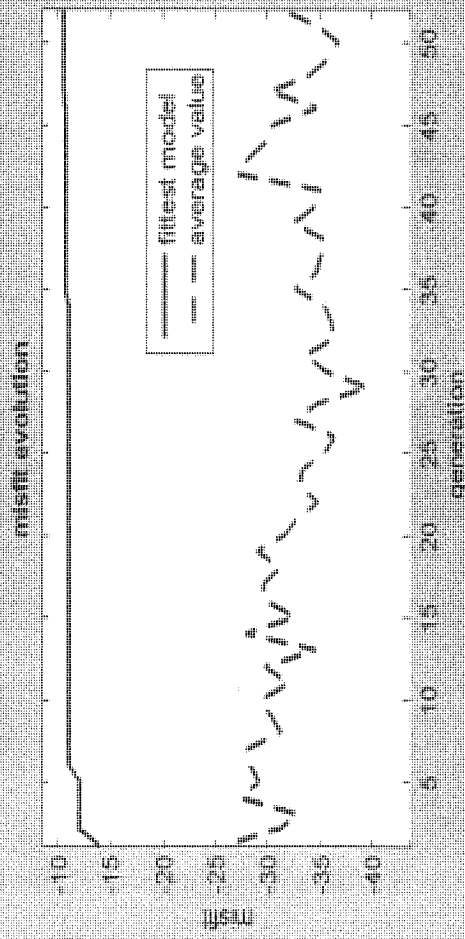
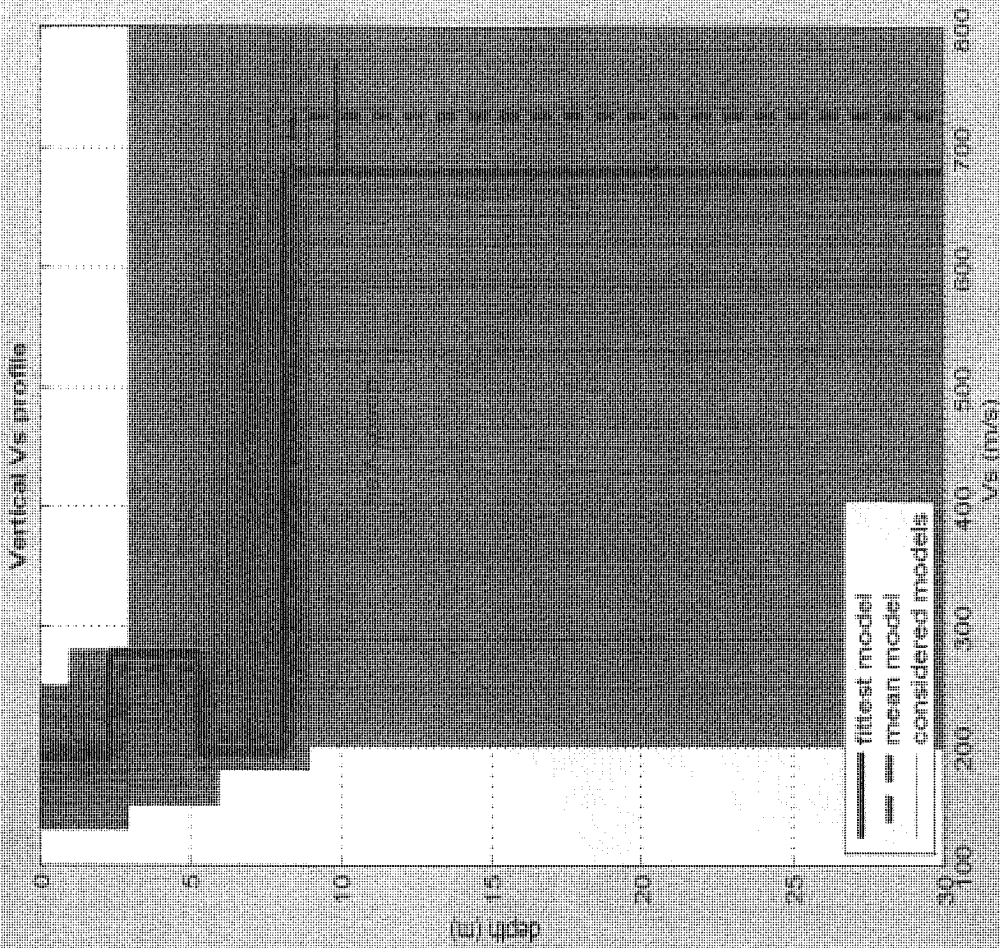
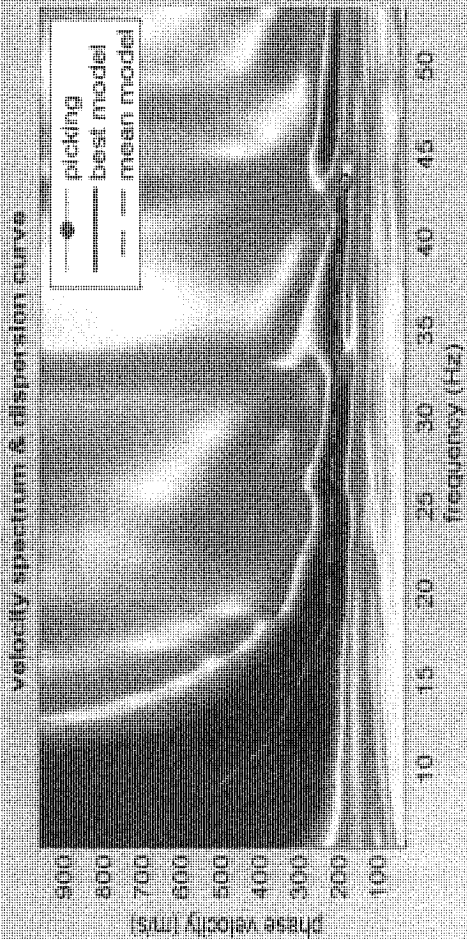
Via delle Sette Volte, 21
56126 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e-mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu



Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

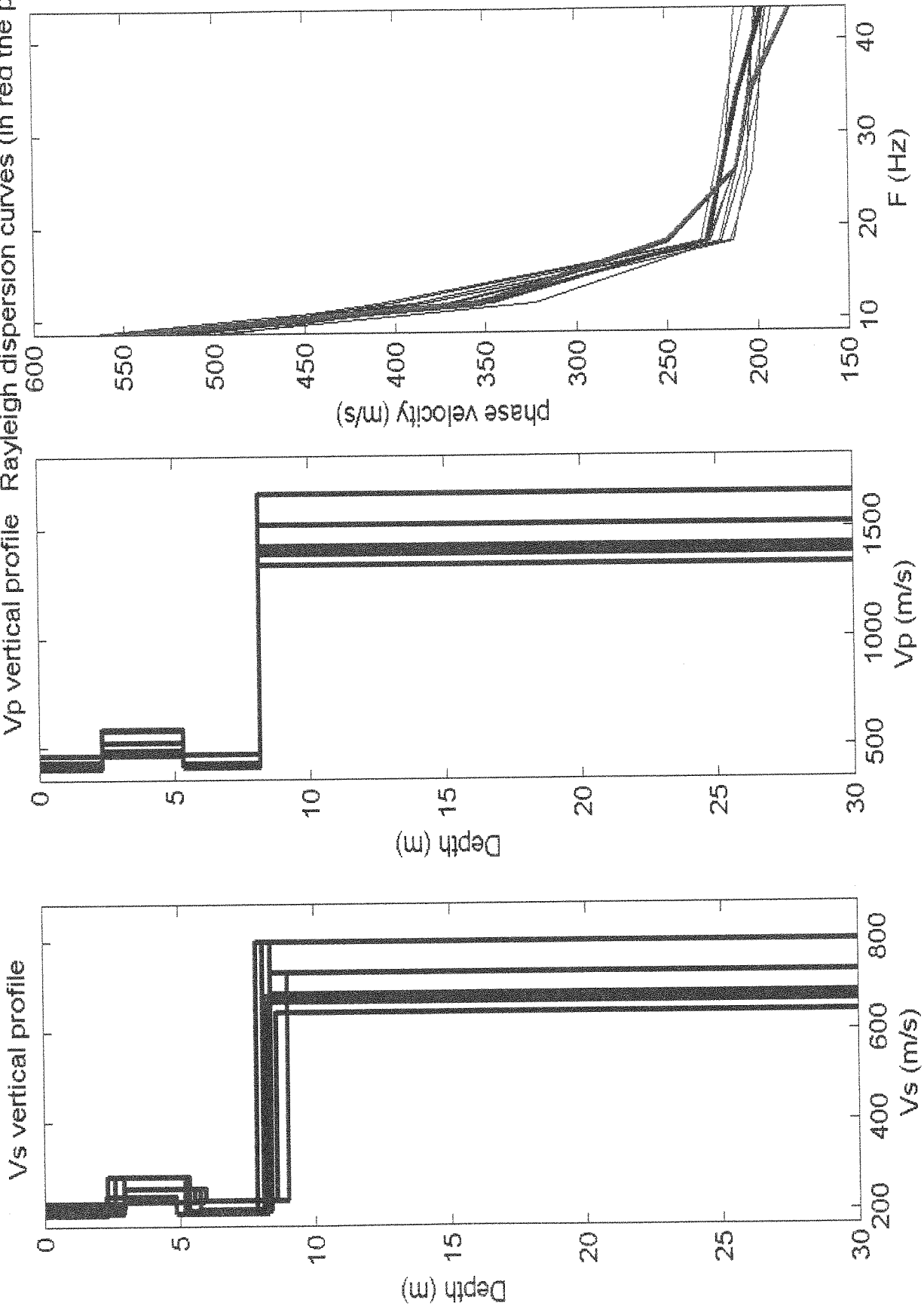
Seguono: schede indagini HVSR – Oltre ai grafici della curva sperimentale H/V e agli spettri delle tre componenti del moto in velocità, si riportano, per ogni verticale di misura, a titolo esplicativo, il confronto fra curva sperimentale H/V e curva teorica relative al modello di sottosuolo proposto (e, conseguentemente, il profilo delle Vs calcolato su ogni verticale)

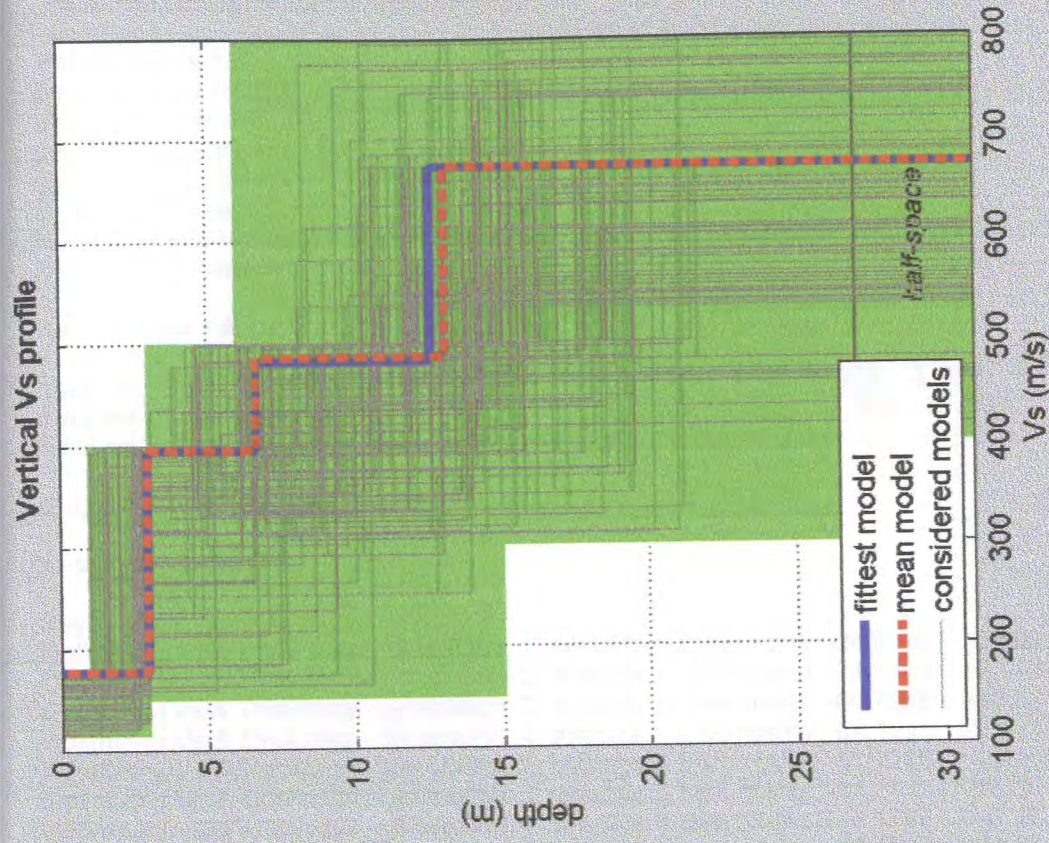
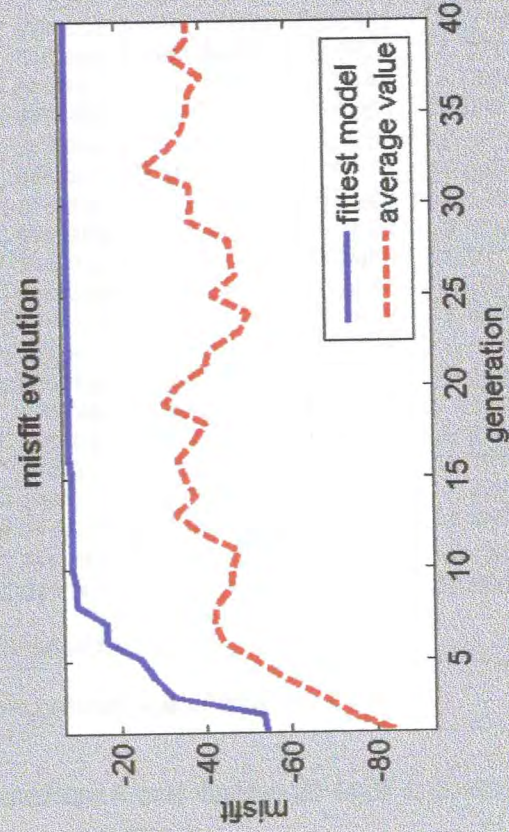
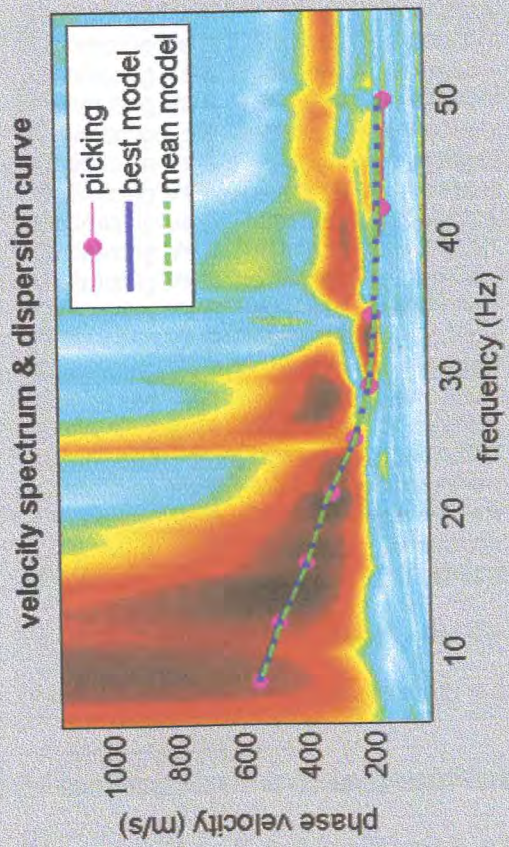


dataset: Massarella 6 m.sgv
 dispersion curve: Massarella 6 m.cdp
 VS30 (best model): 432 m/s
 VS30 (mean model): 442 m/s



Vs vertical profile Vp vertical profile Rayleigh dispersion curves (in red the picked one)





dataset: 2m sp1m.SGY
 dispersion curve: 2m.cdp
 VS30 (best model): 467 m/s
 VS30 (mean model): 466 m/s



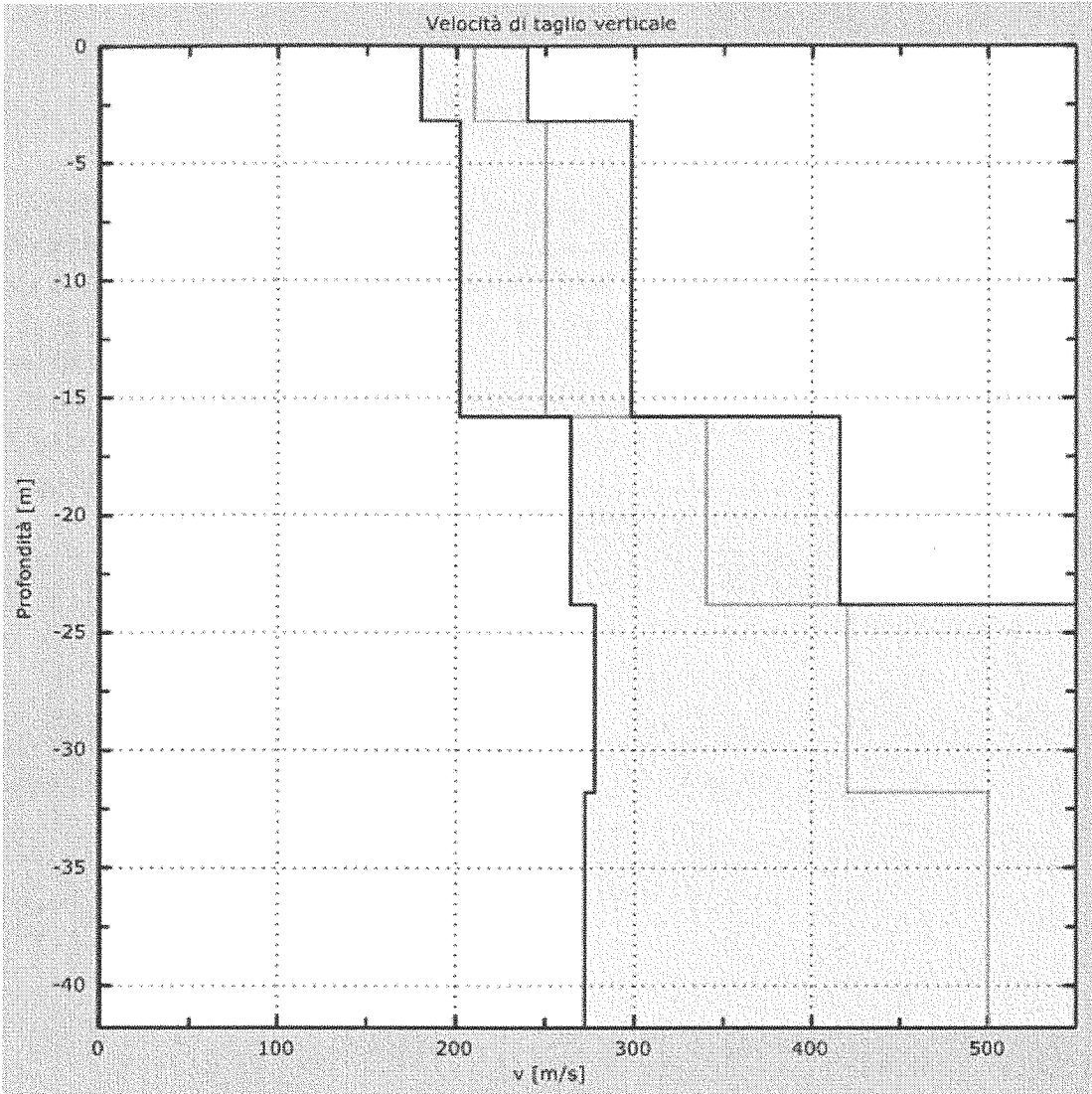
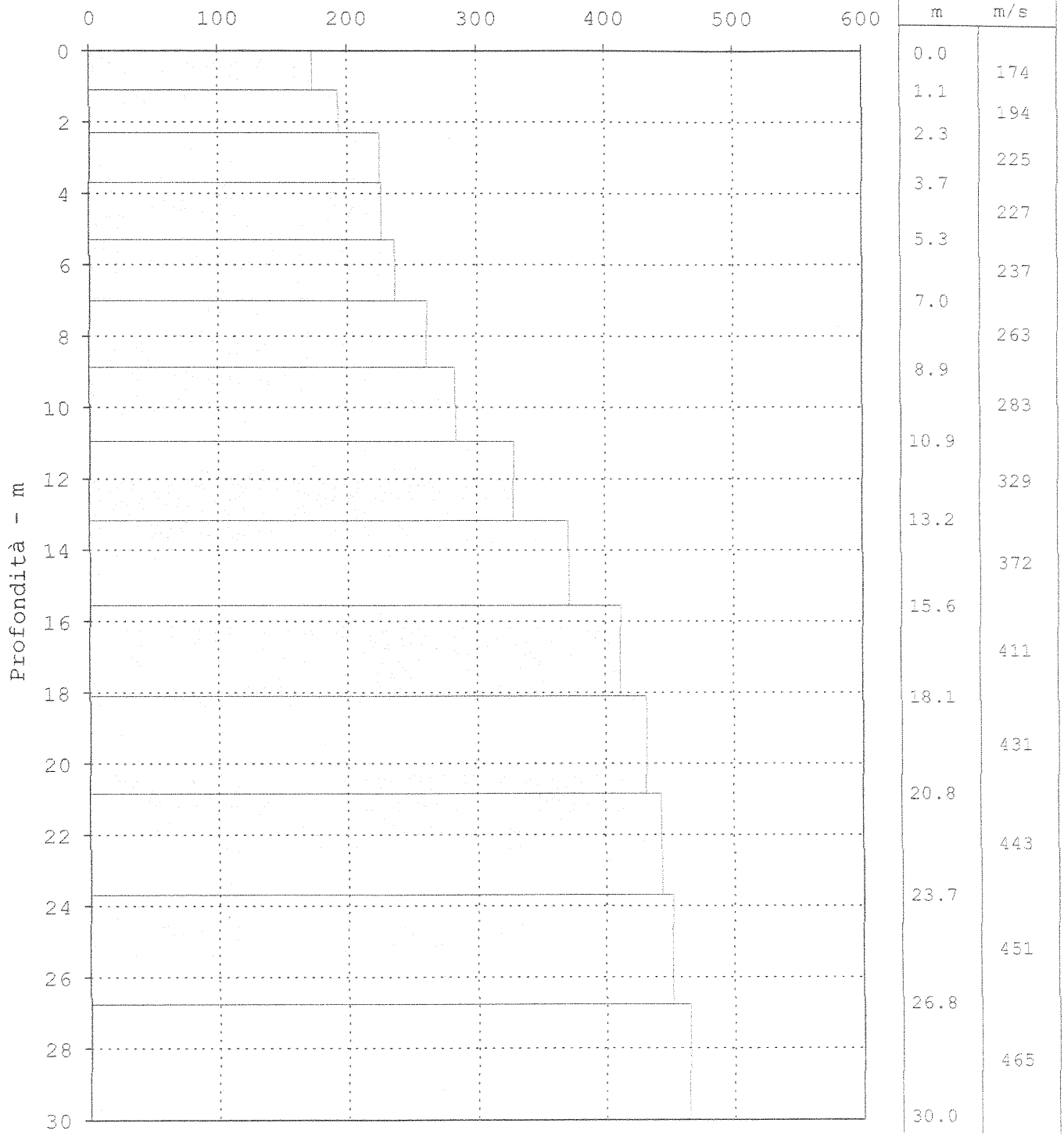


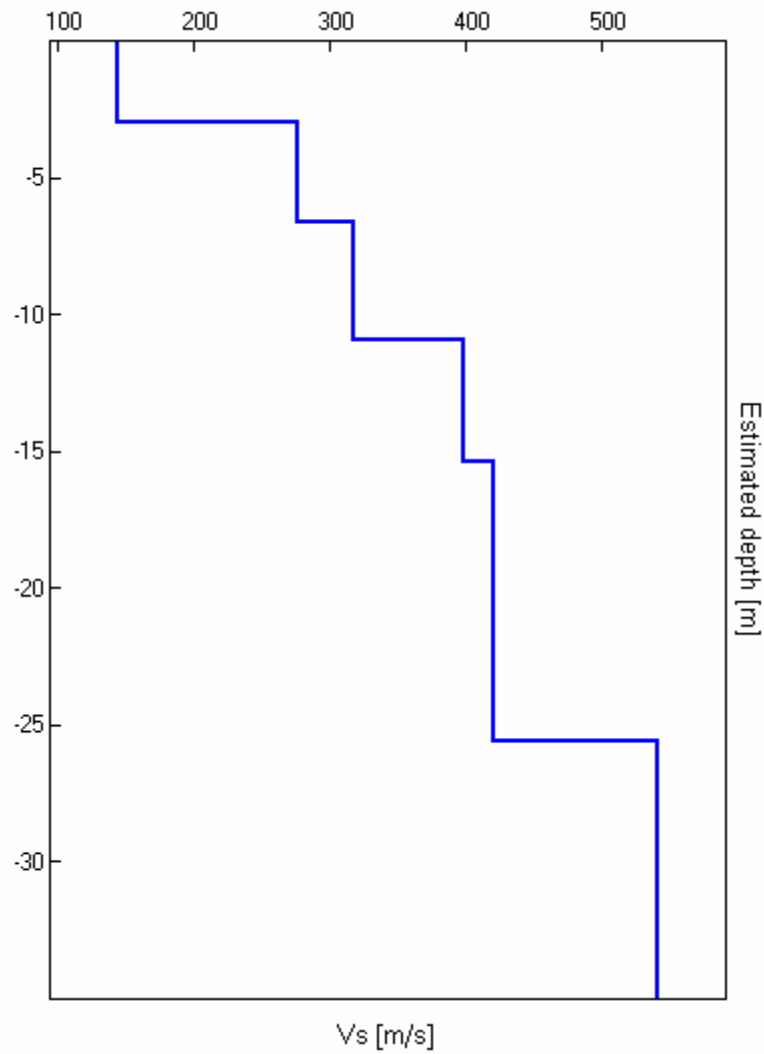
Figura 5: Velocità

$$Vs_{30}=288\text{m/s}$$

Velocità onde S - m/s

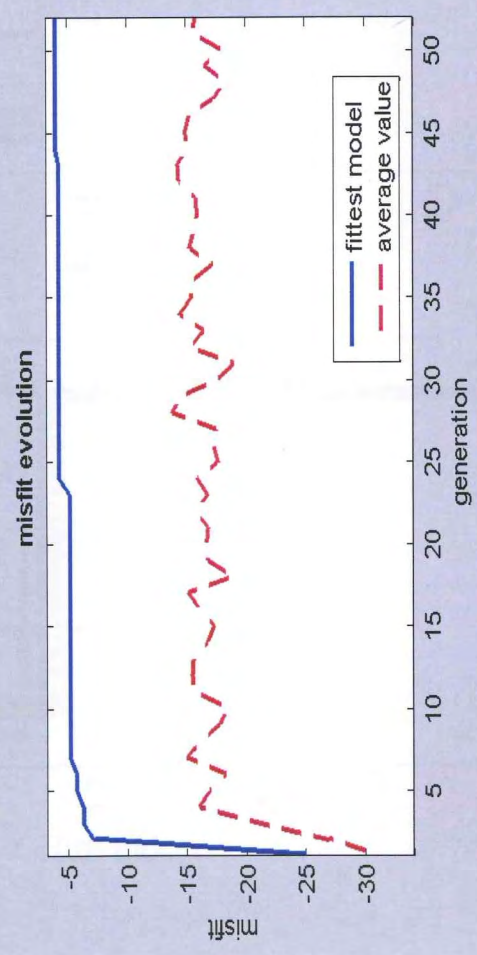
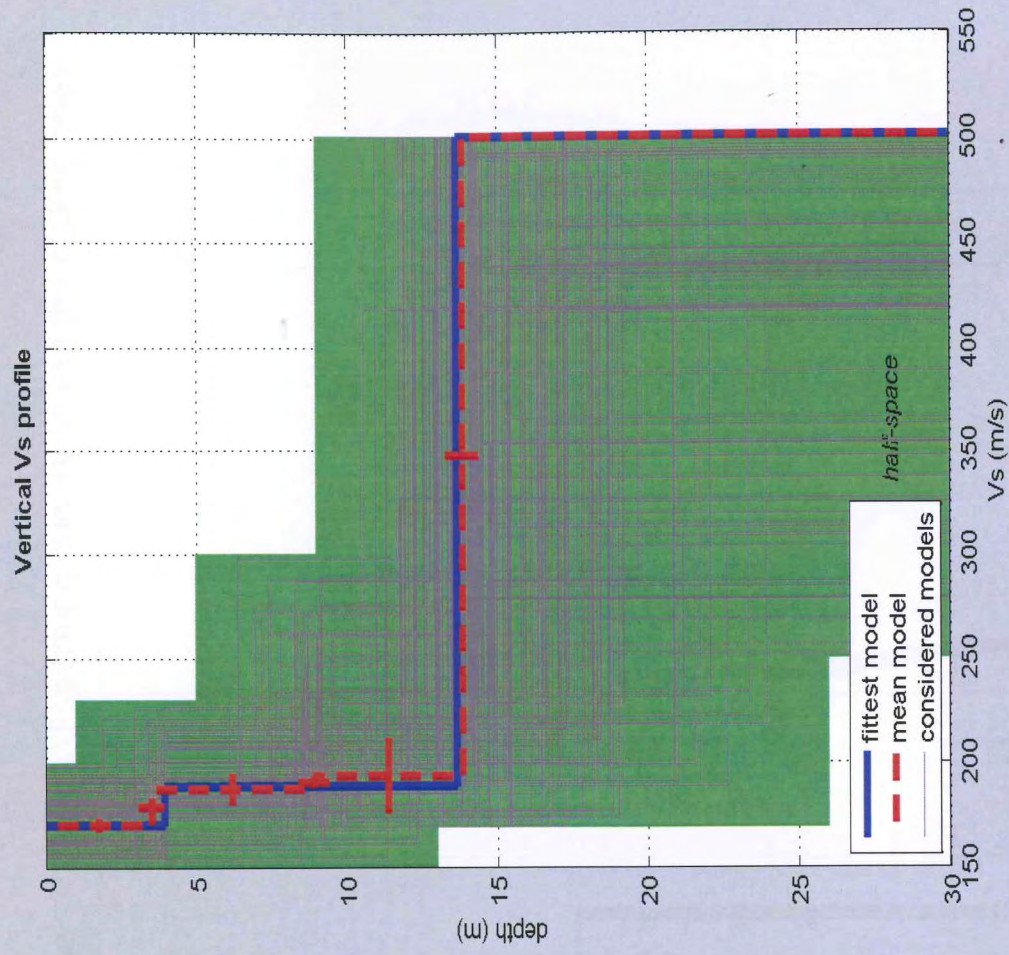
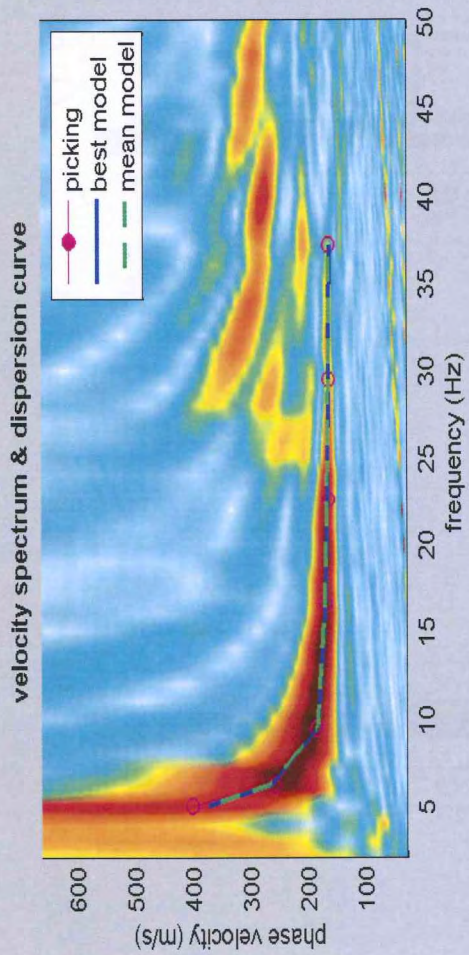


Vs30 = 321 m/s - Categoria C



Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

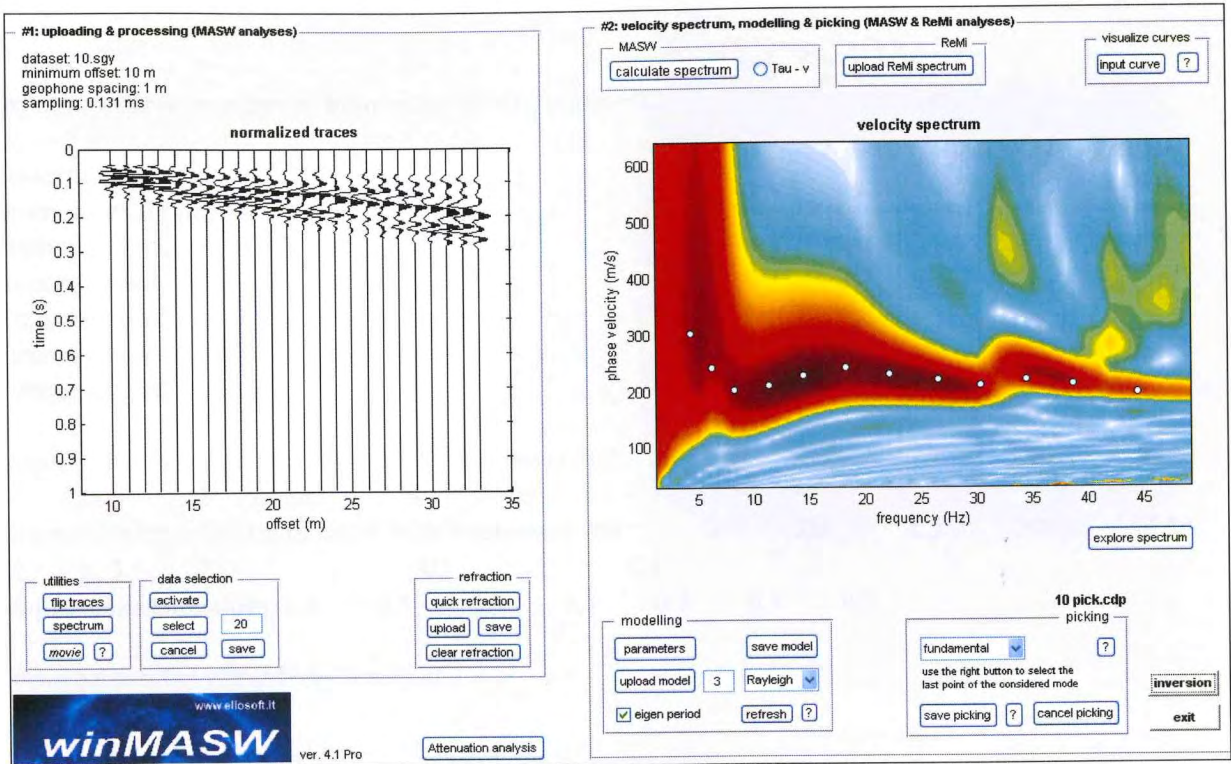
$$Vs_{30} = 330\text{m/s}$$



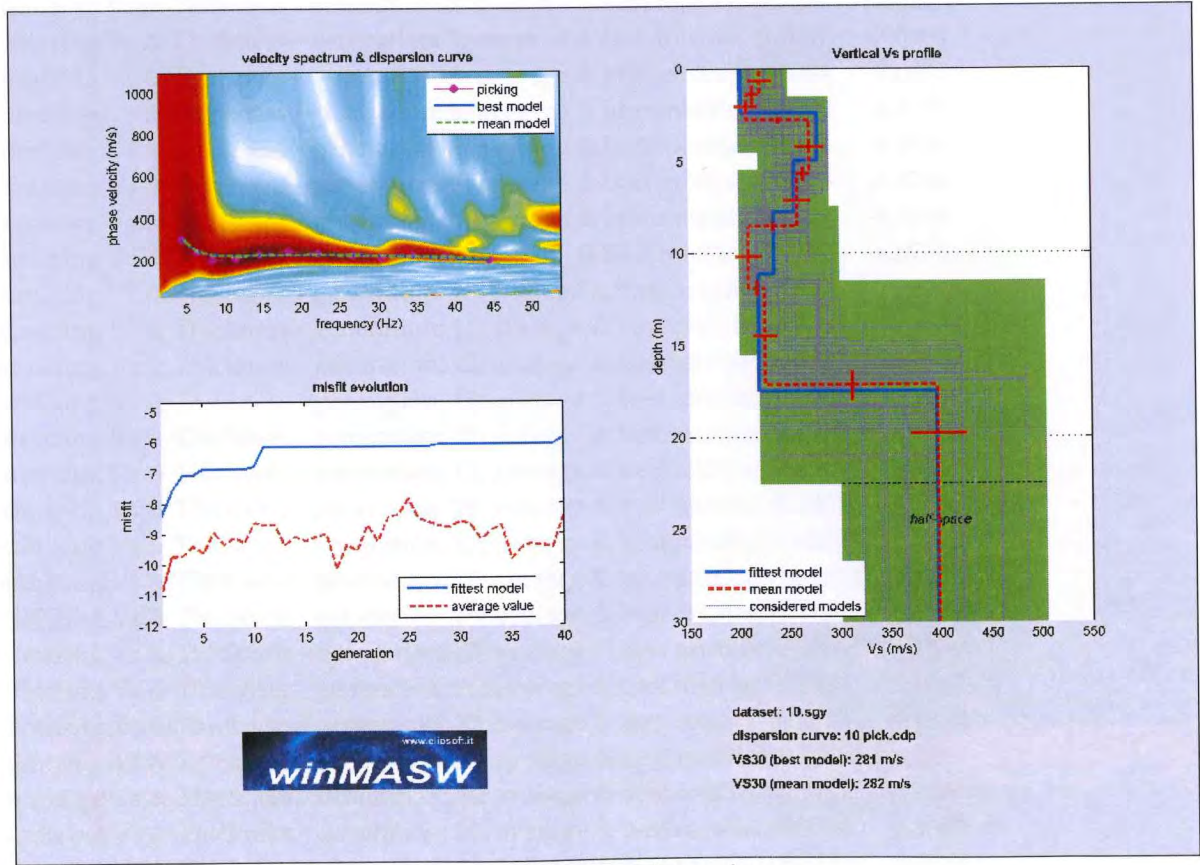
dataset: Riccioni 8 m.sgy
 dispersion curve: Le Botteghe Riccioni 8 m pick.cdp
 VS30 (best model): 280 m/s
 VS30 (mean model): 280 m/s



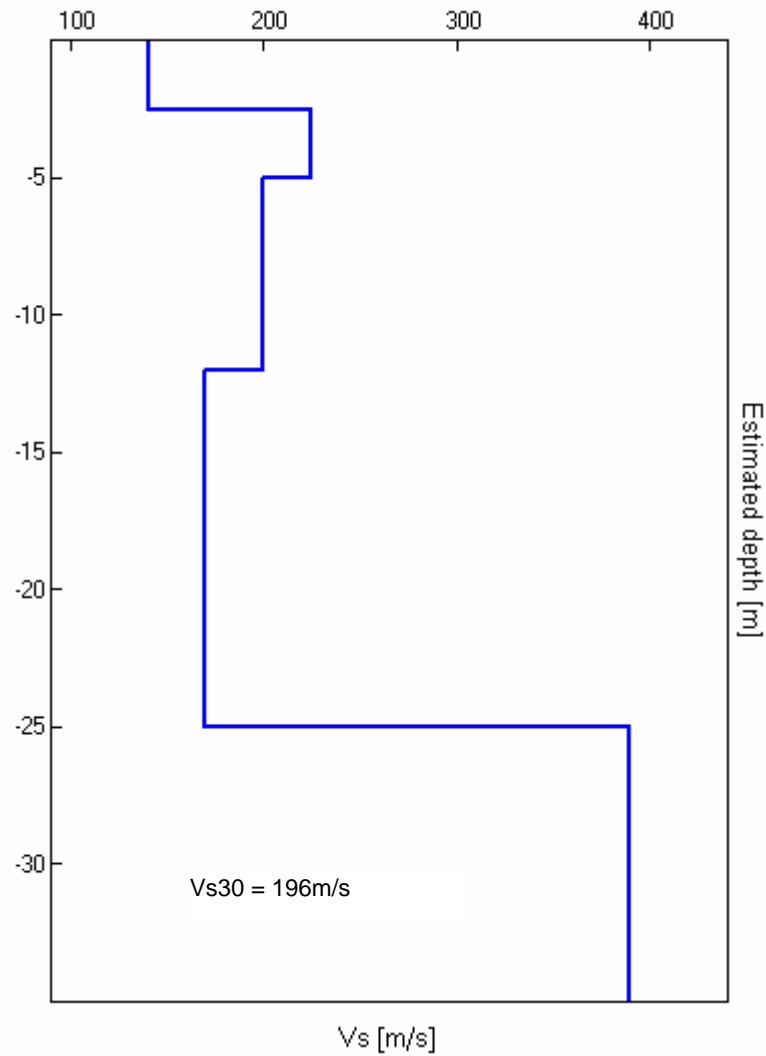
GRAFICI INDAGINE SISMICA MASW



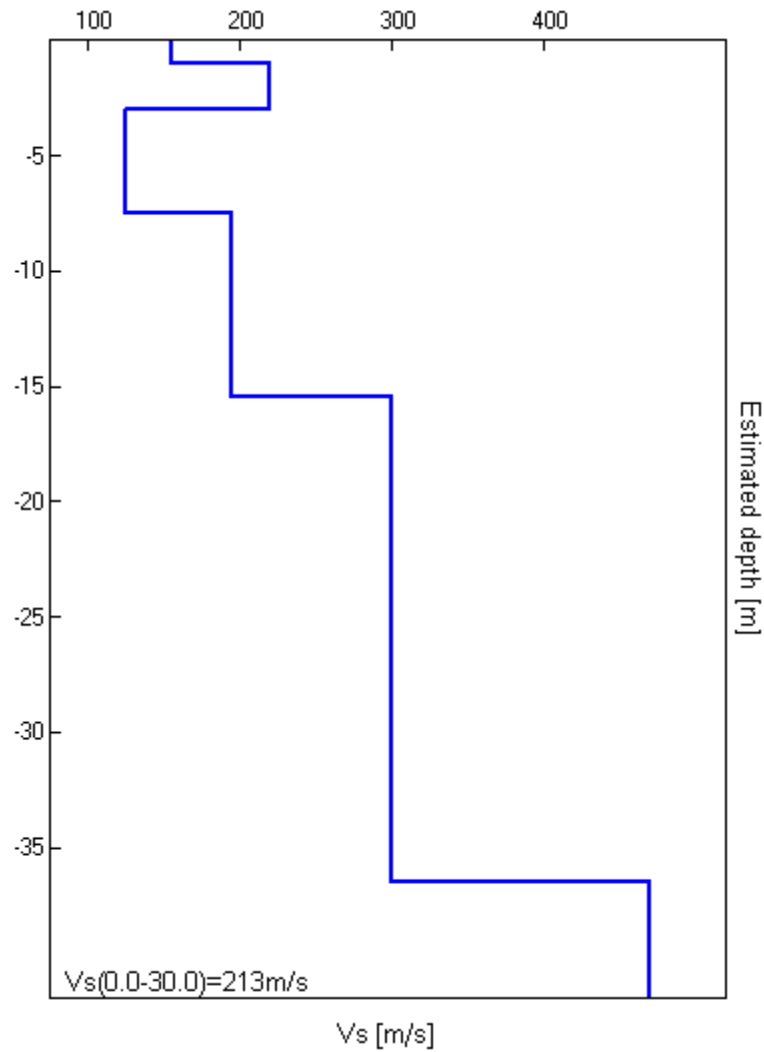
Common-shot gather e spettro di velocità



Risultato inversione



Indagine MASW. Profilo verticale delle V_s .



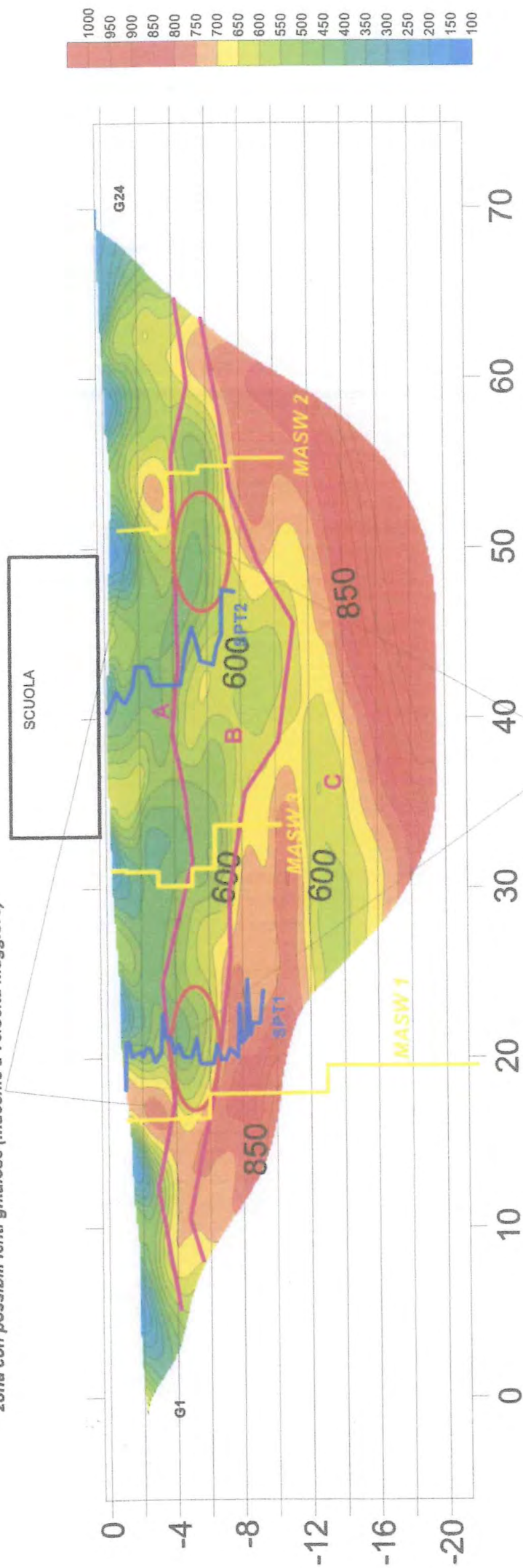
Indagine MASW. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	155
3.00	2.00	220
7.50	4.50	125
15.50	8.00	195
36.50	21.00	300
inf.	inf.	470

Vs(0.0-30.0)=213m/s

TOMOGRAFIA SISMICA - loc. QUERCE, (FI)

zona con possibili lenti ghiaiose (macchie a velocità maggiore)

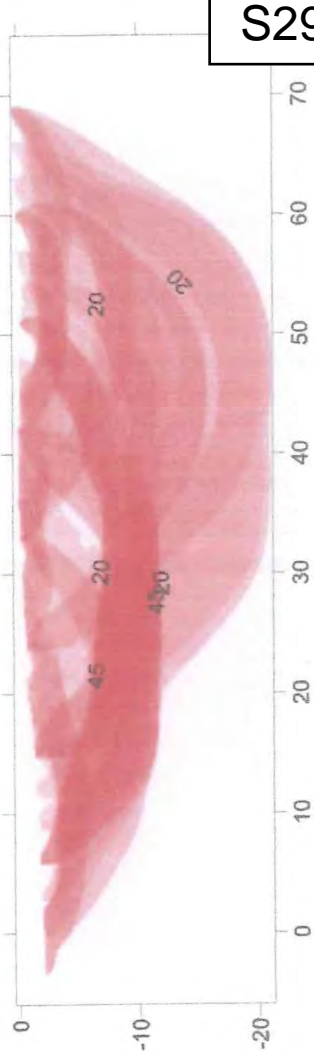


possibili zone con qualità geotecniche basse

INTERPRETAZIONE PROFILO

- Si sono riscontrati tre livelli
- A = fascia caratterizzata da dei massimi delle Vp non continui, con zone maggiormente addensate o lenti di ghiaia
- B = graduale aumento delle Vp, con volumi a velocità piuttosto basse (sia in P che Sh)
- C = aumento delle velocità, rifrazione maggiore (bedrock sismico)

COPERTURA RAGGIO SISMICO



MODELLO MIGLIORE

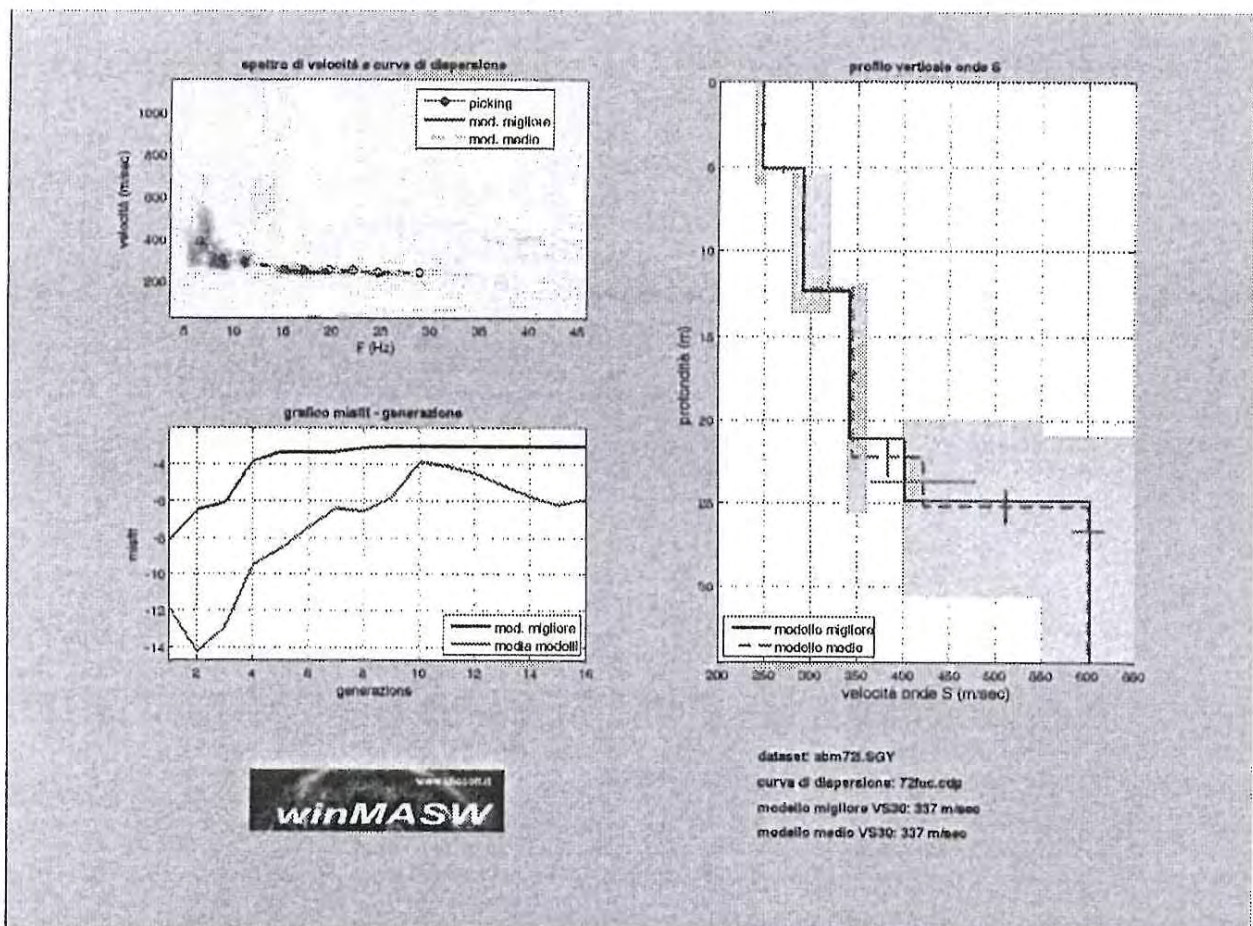
VS (m/sec): 247.5038 291.5706 342.4847 401.6555 601.5606
 spessore (m): 5.1001 7.2631 8.7589 3.7182

curva di dispersione (frequenza - velocità di fase onde di Rayleigh)

modo: 0 (modo fondamentale)

modello migliore

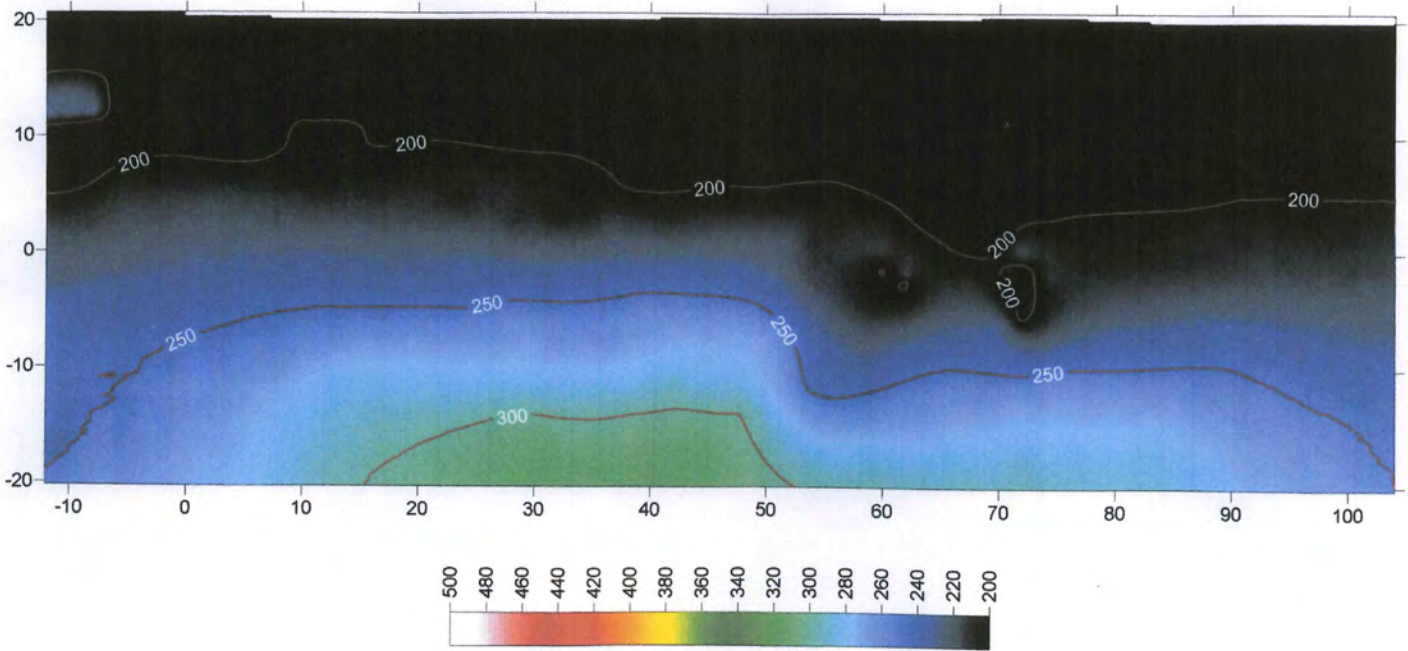
f(Hz)	VR(m/sec)
6.4805	390.4811
8.91628	306.3512
11.0814	283.3643
17.0356	258.5793
19.6067	252.7286
22.0424	248.4012
24.6135	244.8178
28.8085	240.651



MASW 1

Località: SAN PIERINO (Comune di FUCECCHIO)

SEZIONE SISMICA CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA



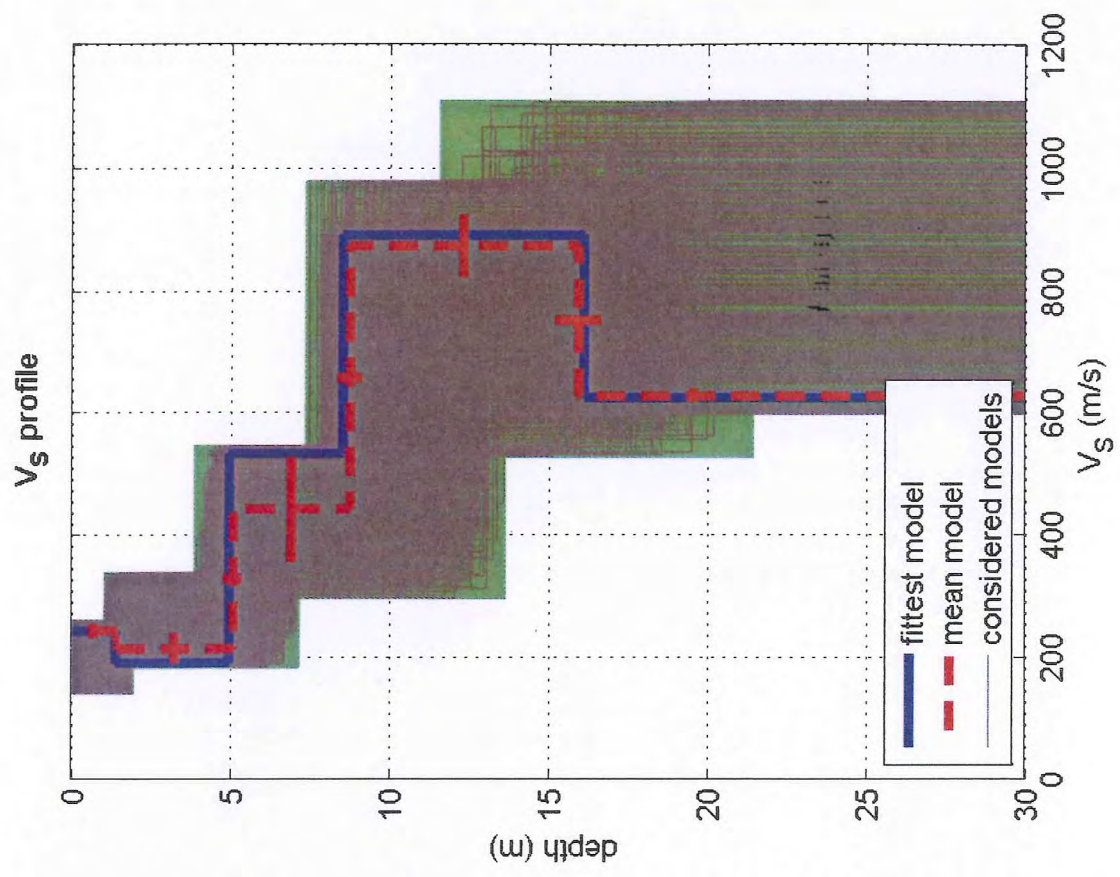
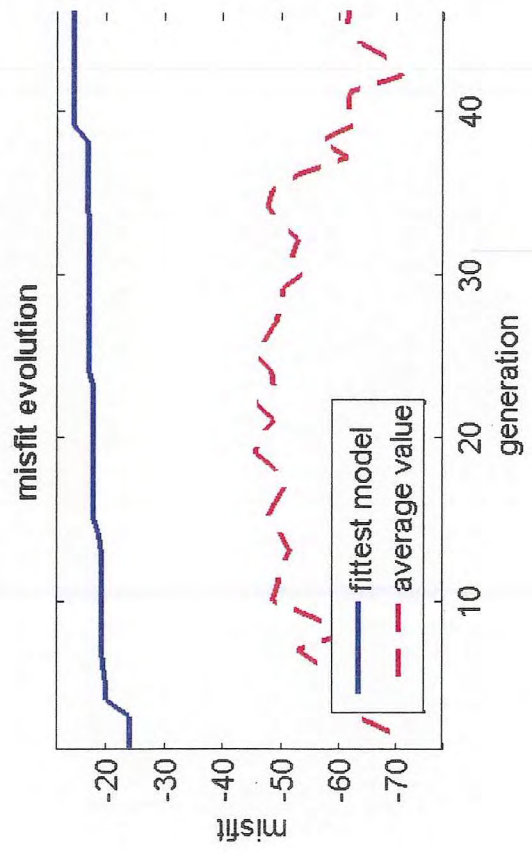
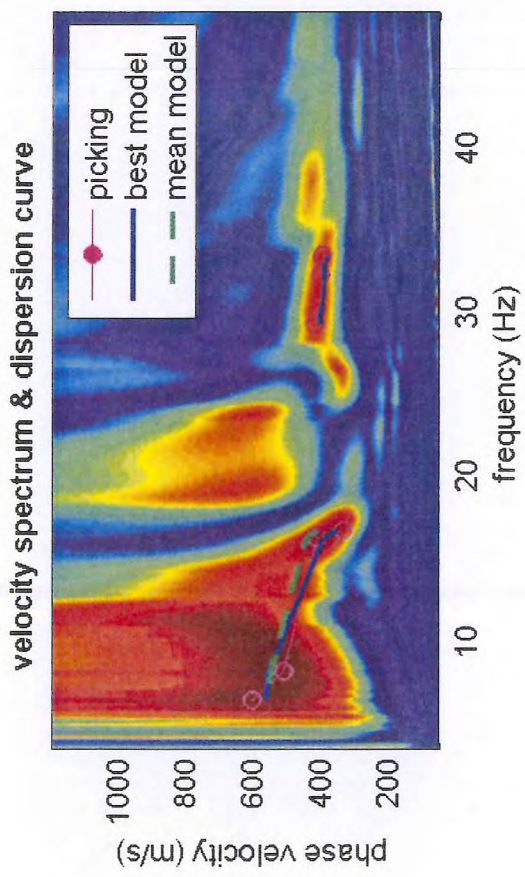
Località: " SAN PIERINO "

Comune: FUCECCHIO

Tabella riassuntiva spessori-velocità

Geofono n°	Ubicazione geofoni		1° Strato		2° Strato		3° Strato		4° Strato	
	Posizione relativa	Quota (m s.l.m.)	Profondità (m)	Velocità (m/s)	Profondità (m)	Velocità (m/s)	Profondità (m)	Velocità (m/s)	Profondità (m)	Velocità (m/s)
1	2,0	20,5	1,1	140	7,3	170	31,3	200	320	320
2	6,0	20,4	1,2	140	7,6	170	31,2	200	320	320
3	10,0	20,3	1,2	140	8,1	170	31,2	200	320	320
4	14,0	20,3	1,2	140	8,5	170	31,2	200	320	320
5	18,0	20,3	1,2	140	9,1	170	31,2	200	320	320
6	22,0	20,3	1,2	140	9,1	170	31,1	200	320	320
7	26,0	20,3	1,3	140	9,0	170	31,2	200	320	320
8	30,0	20,3	1,4	140	9,0	170	31,1	200	320	320
9	34,0	20,3	1,5	140	9,2	170	31,0	200	320	320
10	38,0	20,3	1,6	140	9,4	170	31,0	200	320	320
11	42,0	20,3	1,6	140	9,4	170	30,9	200	320	320
12	46,0	20,4	1,5	140	9,5	170	30,9	200	320	320
13	50,0	20,4	1,5	140	9,5	170	30,8	200	320	320
14	54,0	20,4	1,4	140	9,4	170	30,9	200	320	320
15	58,0	20,5	1,3	140	9,3	170	30,8	200	320	320
16	62,0	20,3	0,9	140	9,1	170	30,7	200	320	320
17	66,0	20,3	0,8	140	9,0	170	30,6	200	320	320
18	70,0	20,3	1,0	140	8,9	170	30,6	200	320	320
19	74,0	20,5	1,2	140	9,1	170	30,7	20	320	320
20	78,0	20,4	1,2	140	9,3	170	30,4	200	320	320
21	82,0	20,2	1,1	140	9,2	170	30,2	200	320	320
22	86,0	20,1	1,1	140	9,1	170	30,0	200	320	320
23	90,0	20,1	1,1	140	9,1	170	29,7	200	320	320
24	94,0	20,1	1,1	140	9,2	170	29,6	200	320	320

Tabella n. 2



dataset: 1zhf12.DAT
 dispersion curve: 1zvf12.cdp
 Vs30 (best model): 484 m/s
 Vs30 (mean model): 484 m/s