

PENETRATIO s.n.c.

di Lotti Giuseppe e Giani Paolo

Via Paolo Maioli 37, San Miniato 56027 (PI)

COMUNE DI POMARANCE

RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W.

ESEGUITA IN LOC. SANTA BARBARA



Per informazioni e richieste

SETTEMBRE 2022

COMMITTENTE: COMUNE DI POMARANCE

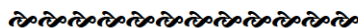
INDICE

1 PREMESSE	3
2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH.....	3
3 IL METODO M.A.S.W.....	5
4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE	6
5 INTERPRETAZIONE DEI DATI	7

ALLEGATI:

- *Grafici “common-shot gather”, spettro di velocità, e profilo verticale onde S*
- *Report di calcolo*

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W. ESEGUITA
NEL COMUNE DI POMARANCE IN LOCALITA' SANTA BARBARA**



1 PREMESSA

La presente relazione descrive i risultati della prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) eseguita nel Comune di Pomarance in località Santa Barbara.

L'indagine M.A.S.W. è stata condotta con l'obiettivo di determinare il parametro VSeq, necessario al fine della classificazione dei suoli, per la definizione dell'azione sismica di progetto, volendo procedere secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH

Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a $0.92V_s$.

In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e $0.92 V_s$.

La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

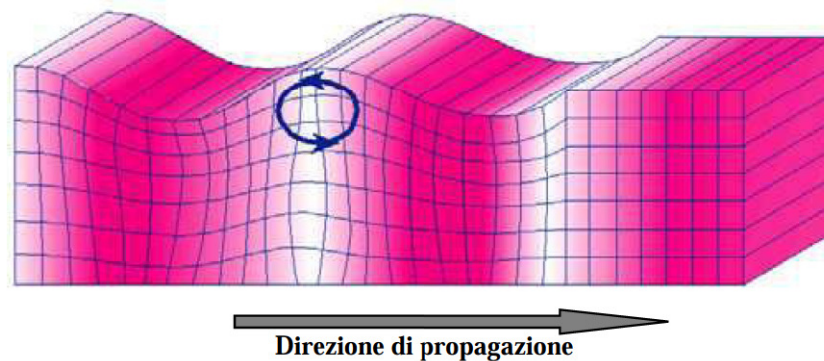


Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.

La determinazione della velocità delle onde di taglio V_S tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dal DM 17/01/2018, mentre la velocità delle onde P misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde S è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde P , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle V_s , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. In caso di variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga a una diversa velocità (velocità di fase) che a sua volta corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. (Fig. 2)

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.

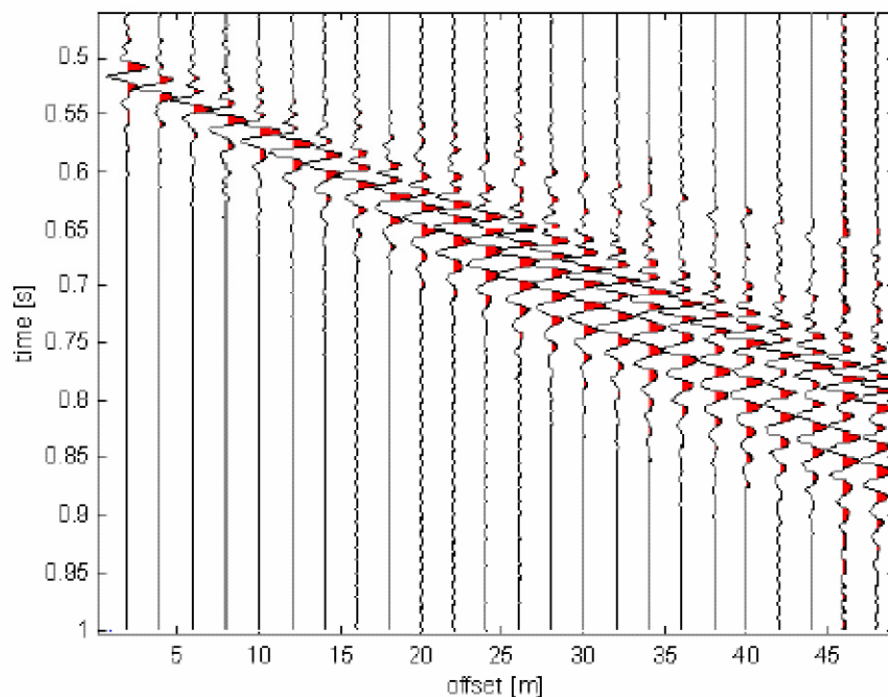


Fig. 2 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato. Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

3. IL METODO M.A.S.W.

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio V_S .

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 fasi fondamentali:

- acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
- estrazione del modo fondamentale dalla curva di dispersione (grafico velocità di fase rispetto alla frequenza) delle onde superficiali di Rayleigh;

- inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle V/S .

Per ottenere un profilo V_s vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume (P e S), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni.

Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella possibilità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni. Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico.

4. STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO12-24/2002 Sismic Unit", avente le seguenti caratteristiche:

- . numero di canali: 24
- . sampler interval: 0,296 msec
- . A/D conversion: 16 bit
- . input impedance: 1KOhm
- . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- . saturation tension: +/- 2,3 V
- . saturation level: 100 dB
- . distortion: 0,01%
- . sampler:
25 msec (191 punti)

50 msec (383 punti)

100 msec (756 punti)

200 msec (1530 punti)

400 msec (3060 punti)

800 msec (6121 punti)

1000 msec

- . sampling: 130 microsec
- . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- . digital filter low pass: 1000-50
- . digital filter high pass: 0-250
- . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- . dynamic range: 93 dB
- . noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- . crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- . power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00.

L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spazati a 5 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo MASW in oggetto ha le seguenti caratteristiche:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 1,5 m
- n. shots: sono state effettuate 5 rilevazioni, impiegando la massa battente, a distanze di 2 m, 3,0 m, 4,0 m, 5,0 m e 6,0 m dalla linea geofonica.
- tempo di acquisizione : 1.000 msec.

Il profilo è da considerare orizzontale, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono modesti (nell'ordine del centimetro).

5 INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW versione 6.0 professional, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs. tramite il processo d'inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh acquisite con la tecnica masw.

Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo.

Il processo si articola in due fasi:

- 1) determinazione dello spettro di velocità dove è possibile identificare la curva di dispersione, mediante il picking riconoscendo il solo modo fondamentale o anche i modi superiori.
- 2) Inversione della curva di dispersione mediante algoritmi genetici.

Per il processo d'inversione si procede definendo un intervallo di ricerca sia per quanto riguarda le velocità che per gli spessori, all'interno del quale il software valuta tutte le possibili soluzioni fornendo quella più rispondente al picking eseguito.

Risulta evidente che la rispondenza tra modello reale del sito e quello ottenuto dal processo d'inversione risente fortemente degli intervalli impostati all'interno dei quali il software esegue la ricerca.

Il modello calcolato sarà più prossimo a quello reale tante più informazioni del sito si avranno a disposizione e quindi tanto più gli intervalli di ricerca saranno stringenti.

È possibile inoltre procedere con la modellazione diretta inserendo un modello di partenza del sito e confrontando la curva sintetica calcolata dal software con quella di dispersione ottenuta dalle rilevazioni con tecnica masw.

Nel caso in esame il picking della curva di dispersione è stato eseguito riconoscendo il solo modo fondamentale utilizzando il grafico spettro di velocità/velocità di fase relativo allo shot con offset di 3 m, che è risultato con sufficiente grado di definizione. Anche gli spettri relativi agli altri shots sono risultati confrontabili con quello preso in esame.

I profili di velocità delle onde S ottenuti sono profili semplificati a 4 strati derivanti da parametri di partenza quali spessori e ranges di velocità.

Tali parametri son stimabili con indagini aggiuntive quali sondaggi geognostici prove penetrometriche, indagini sismica in foro o a rifrazione.

In assenza di tali approfondimenti non è possibile ottenere il modello reale sismo-stratigrafico, ma sarà comunque possibile fornire un valore di Vs30 affidabile.

Il software winMasw presenta come soluzione due modelli: il modello migliore cioè quello che presenta la differenza minore tra la curva osservata e calcolata, e un modello medio calcolato secondo un'operazione statistica, fornendo per ciascun modello il valore di Vs30.

Di seguito sono riportate le velocità Vs e gli spessori dei livelli sismici costituenti i due modelli.

- secondo il MODELLO MEDIO

strato n.	1	2	3
VS (m/s):	229	365	1298
spessori (m):	2.5	3.1	

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

strato n.	1	2	3
VS (m/s):	229	365	1302
spessori (m):	2.54	3.1	

Con i dati ottenuti, per la zona di indagine si ha:

- VS30 del modello medio: 782 m/s

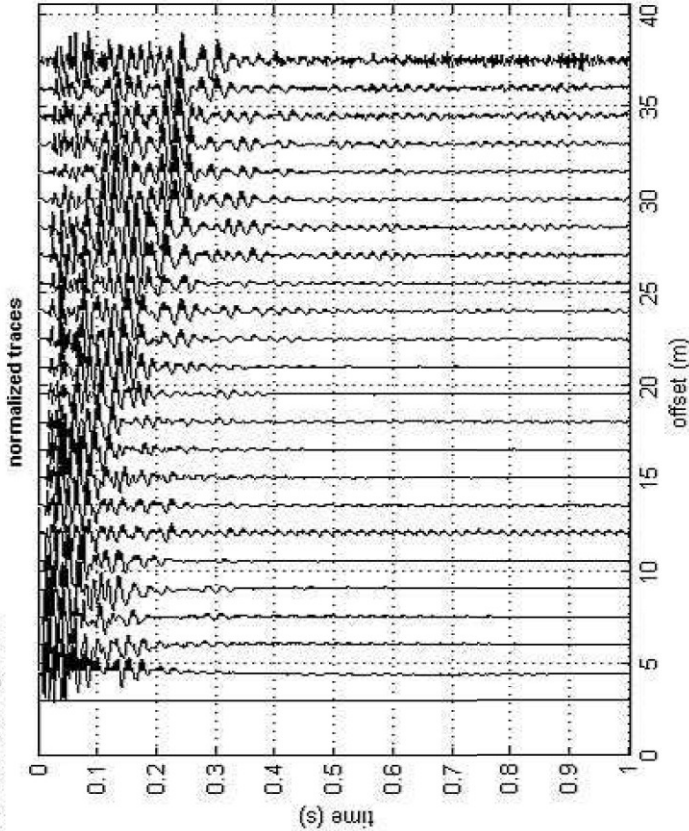
Fermo restando che la scelta della corretta categoria di sottosuolo spetta al Progettista, sulla base delle proprie conoscenze e valutazioni geologiche del sito oltre ai risultati della presente indagine sismica, si osserva che il valore della V_{seq} determinato identifica una categoria di sottosuolo di tipo E secondo la tabella 3.2.II del DM 17 gennaio 2018 (aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni), corrispondente a “*“Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.”*”.

Castel del Bosco 21/09/2022

Geol. Giani Paolo

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 3m.SGY
sampling: 0.131 ms
minimum offset: 3 m
geophone spacing: 1.5 m



resampling

1
resample
accept

data selection

activate

select
cancel

60
save

filtering & spectra

filter

spectrum
spectrogram

cancel

refraction

refraction

upload

clear refraction

100
save

other tools & setting

time length to visualize (s)
1.00215

done

flip traces

zero padding

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMI analyses)

MASW: compute velocity spectrum

phase velocity ☐ f-k

group velocity

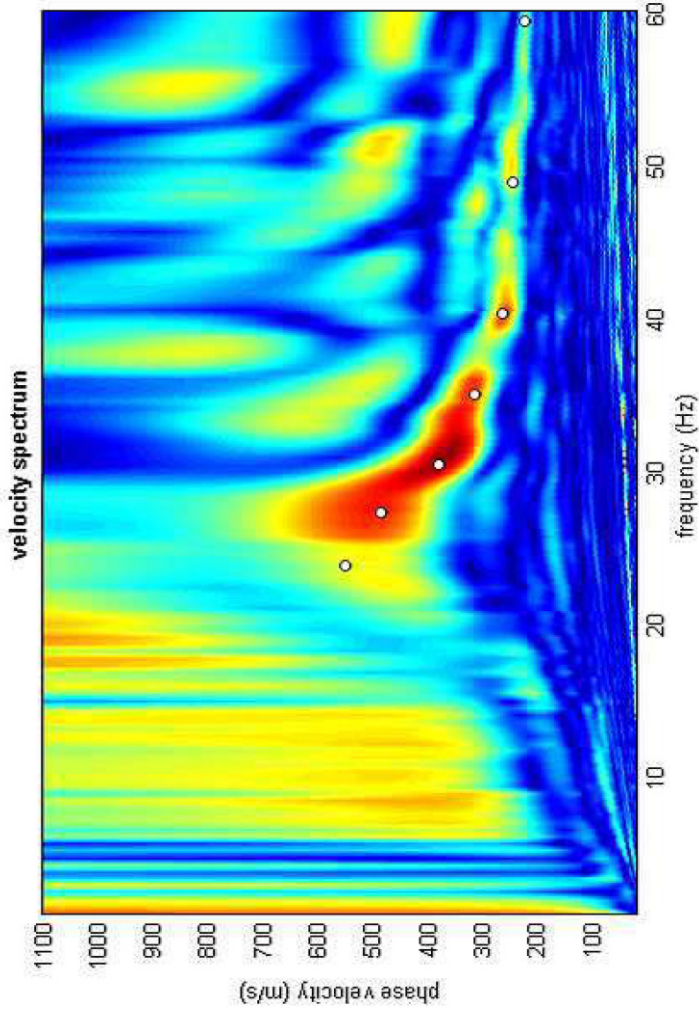
save

upload

merge

explore spectrum

mode separation



general setting

?

Rayleigh 3
Reference depth ☐ Refraction
☐ HV body waves
0 HV modes (SW ellipticity)

about Poisson

0 0.35 0.2

100 0.4 0.35 0.35 0.35 0.35 0.3

180 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.2

260 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.2

400 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.2

600 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.2

800 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.2

1200 0.3 0.2

0 0.2

modelling

calculate

upload mod.

save model

refresh

report

synthetics

ZVF
☐ elastic
☐ shows DC
synthetics

visualize curves

input curve ?

picking

show f-k

fundamental

to select the last point of the considered mode click the right button

save picking ?

3m.cdp

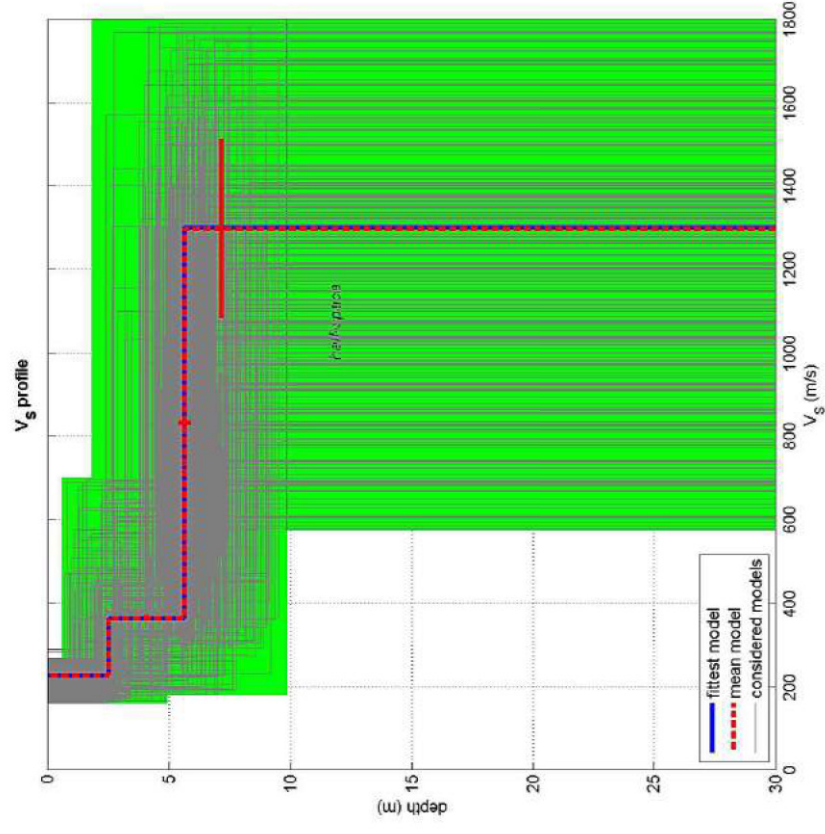
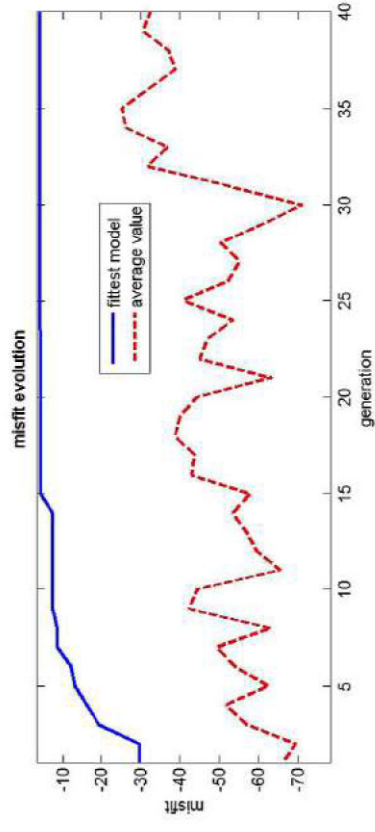
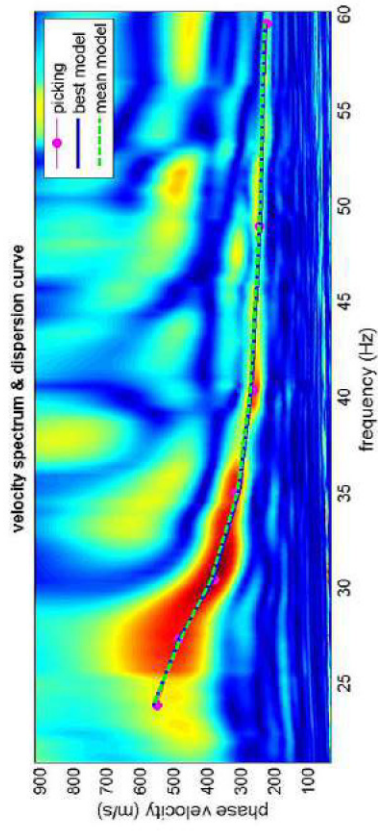
cancel picking

inversion

inversion

Joint DC-HV inv.

WWW.WINSEW.COM



dataset: 3m.SGY
dispersion curve: 3m.cdp
 V_{s30} (best model): 784 m/s
 V_{s30} (mean model): 782 m/s

Analyzing phase velocities

==o== SECTION#1

dataset: 3m.SGY

minimum offset (m): 3

geophone spacing (m): 1.5

sampling (ms): 0.131

Dispersion curve: 3m.cdp

Number of individuals: 30

Number of generations: 31

Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase Velocities

Adopted search space (minimum Vs & thickness):	161	0.6161582	182	1.232316	575
Adopted search space (maximum Vs & thickness):	255	4.9292653	700	4.9292653	1800
Adopted Poisson values:	0.4	0.35	0.35		

Output folder: C:\Users\Beppe\Desktop\output_disp

==o== SECTION#2

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-66.3067	-29.7661
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-69.5449	-29.7661
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-57.1087	-19.4304
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits:	-51.7655	-16.2149
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits:	-62.5286	-13.0742
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits:	-54.1007	-12.1483
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits:	-49.3181	-8.64935
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits:	-63.094	-8.64935
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits:	-42.4303	-7.47488
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits:	-44.2913	-7.47488
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits:	-65.578	-7.47488
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits:	-59.5498	-7.47488
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits:	-57.15	-7.47488
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits:	-53.5002	-7.47488
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits:	-57.9467	-4.35591
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits:	-42.8921	-4.35591
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits:	-43.821	-4.35591
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits:	-38.8594	-4.35591
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits:	-40.1077	-4.35591
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits:	-44.357	-4.35591
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits:	-63.4323	-4.35591
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits:	-45.1394	-4.35591
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits:	-47.1385	-4.35591
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits:	-53.5135	-4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits:	-40.9569	-4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits:	-52.3355	-4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits:	-55.2018	-4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits:	-50.4022	-4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits:	-61.1406	-4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits:	-71.1774	-4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits:	-52.4303	-4.17849

Forcing search space

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-31.6599	-4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-37.0061	-4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-26.3218	-4.17849

Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -25.3401 -4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -32.0356 -4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -38.8942 -4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -37.2321 -4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -30.6304 -4.17849
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -32.4636 -4.17849

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

Vs (m/s): 229 365 1302

Thickness (m): 2.5 3.1

Poisson: 0.4 0.35 0.35

Vp & Density Optimization

p14 =

0

p15 =

7

p16 =

0.4006	0.4587	0.5111	0.5879	0.6778	0.8221	1.0000
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -10.7111 -3.70359

Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -9.6797 -3.7036

Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -8.3459 -3.68

Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -6.6845 -3.68

Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -6.5526 -3.68

Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -7.0036 -3.6485

Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -6.0395 -3.6485

Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -6.5096 -3.6485

Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -6.8533 -3.6485

Number of models considered to calculate the average model: 11

#####

RESULTS

#####

Dataset: 3m.SGY

Analyzed curve/spectrum: 3m.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

=====

MEAN MODEL

Vs (m/s): 229 365 1298

Standard deviations (m/s): 1 6 215

Thickness (m): 2.5 3.1
Standard deviations (m): 0.0 0.2

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 1007 776 4057
Density (gr/cm3): 2.06 1.99 2.40
Vp/Vs ratio: 4.40 2.13 3.13
Poisson: 0.47 0.36 0.44
Shear modulus (MPa): 108 265 4036
Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 1061

Fundamental mode

Mean model

f(Hz)	VR(m/s)
23.8344	561.5979
27.2893	481.6202
30.4099	388.9465
34.9792	311.0245
40.3287	272.0575
48.9102	244.0939
59.4977	230.1249

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 229 365 1302
thickness (m): 2.538 3.0906

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s): 715 712 2881
Density (gr/cm3): 1.97 1.97 2.31
Vp/Vs ratio: 3.12 1.95 2.21
Poisson: 0.44 0.32 0.37
Shear modulus (MPa): 103 263 3919
Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 1098

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

F(Hz)	VR(m/s)
23.8344	559.5804
27.2893	484.801
30.4099	381.9712
34.9792	306.4342
40.3287	269.1496
48.9102	242.1803
59.4977	228.6897

===== SECTION#5

Inversion quality: very good

Vs5 (mean model): 280 m/s
Vs5 (best model): 280 m/s

Vs20 (mean model): 653 m/s
Vs20 (best model): 654 m/s

Vs30 (mean model): 782 m/s
Vs30 (best model): 784 m/s

==o== SECTION#6

For Italian Users:

Dalla normativa vigente (aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanato con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n 8 del 20/02/2018):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo le azioni sismiche sono definite come descritto al § 3.2.3. del D.M.

17.01.2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale per la determinazione delle azioni sismiche.