

L90

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE SISMICA MASW
EFFETTUATA NEL COMUNE DI POMARANCE (PI)
LOCALITÀ LAGONI ROSSI**

Committente: *Sig. Maurizio Ducci*

Dicembre 2018

PREMESSA

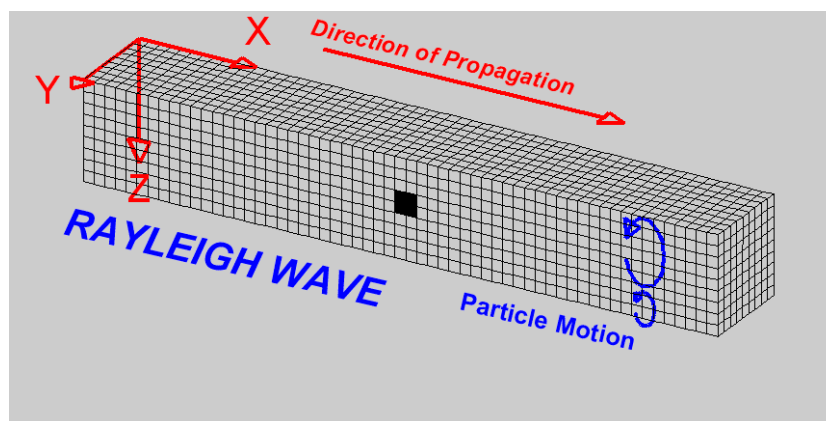
L'indagine MASW è stata effettuata per la determinazione della velocità delle onde Sh, al fine di definire il parametro V_{seq} (velocità equivalente) necessario per la classificazione del suolo di fondazione, come richiesto dalle “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare, relativamente all'area di indagine, una sequenza sismo-stratigrafica con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali. E' stato possibile, per ottimizzare l'interpretazione, riferirsi al locale assetto geolitologico-geotecnico.

GENERALITÀ

Le onde sismiche che si propagano in un mezzo si dividono, principalmente, in onde di corpo e onde di superficie. Fra queste ultime si hanno le onde di Rayleigh, le onde di Love e le onde di Lamb.

Le onde di Rayleigh, in particolare, sono originate dall'interazione fra le onde di pressione e le onde di taglio verticali quando esista una superficie libera in un mezzo omogeneo e isotropo.

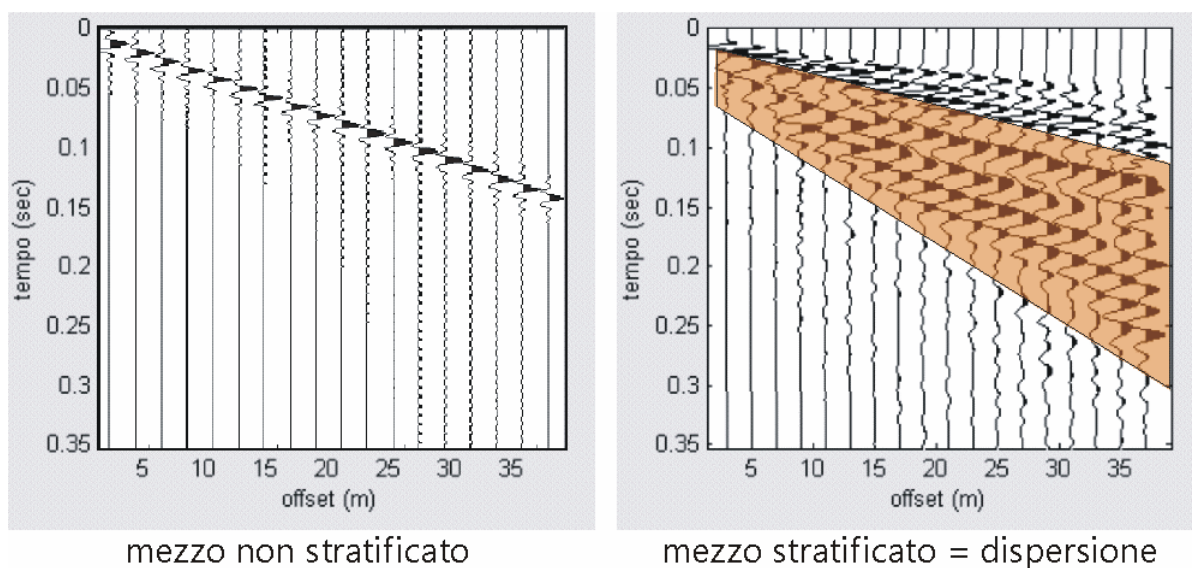


Il moto delle particelle è di tipo ellittico retrogrado, il quale si inverte a una profondità di $\lambda/2\pi$. L'ampiezza dello spostamento decresce secondo una legge esponenziale.

L'energia convertita in onde di Rayleigh è, in percentuale, molto maggiore rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P ed S. Inoltre, l'ampiezza delle onde di superficie varia con la radice quadrata di r , e non con r come avviene per le onde di corpo. Le onde di Rayleigh presentano una velocità del 90% circa rispetto a

quella delle onde di taglio.

In presenza di un semispazio omogeneo, la velocità di tali onde non varia in funzione della frequenza, non si ha cioè dispersione, la deformazione di un treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione della frequenza. Questa deformazione si manifesta invece quando il terreno presenti una stratificazione; la velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda viene influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino a una profondità dell'ordine di $\lambda/2$ circa.



Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Quindi, una metodologia che utilizzi le onde superficiali è in grado di rilevare variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità.

Nel caso che l'obiettivo sia di verificare le caratteristiche delle velocità delle onde S nel terreno, questo tipo di indagine è molto utile, in quanto la V_s è il fattore che governa le caratteristiche della dispersione. Inoltre il metodo non è limitato dalla presenza di inversioni di velocità e presenta una buona risoluzione.

L'indagine secondo la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) prevede l'energizzazione mediante sorgente attiva, con registrazione simultanea su 12 o più canali. Vengono utilizzati geofoni a componente verticale sensibili alle basse frequenze (un valore tipico sono 4,5 Hz). La distanza dalla sorgente di energizzazione e il primo ricevitore condiziona Δ_{max} , quindi la profondità di indagine. Anche la lunghezza dello stendimento geofonico è in relazione alla profondità di indagine,

mentre la distanza intergeofonica condiziona lo spessore dello strato più sottile rilevabile.

E' importante osservare che nel sismogramma possono comparire diversi tipi di onde: onde di corpo, onde superficiali non piane, onde riverberate dalle disomogeneità superficiali, oltre al rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Questo comporta una difficoltà aggiuntiva nella "lettura" dello spettro di velocità e quindi nella successiva individuazione della curva di dispersione.

Le onde di corpo sono di solito riconoscibili; le onde superficiali riverberate (back scattered) possono risultare prevalenti in un sismogramma quando siano presenti discontinuità orizzontali. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. In sintesi l'indagine comporta:

- l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- la determinazione di uno spettro di velocità con velocità di fase in funzione della frequenza;
- l'identificazione della curva di dispersione, cioè la determinazione dei punti che, sullo spettro di velocità, appartengono a un certo modo di propagazione dell'onda superficiale di Rayleigh;
- l'inversione della curva di dispersione, al fine di ottenere il profilo verticale delle Vs.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta. Per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione è necessaria l'assunzione di valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità. La procedura di inversione utilizzata dal software winMASW è legata agli "algoritmi genetici", il quale approccio consente di ottenere risultati più affidabili rispetto ai metodi di inversione basati sulla matrice Jacobiana.

E' estremamente utile, per una interpretazione affidabile, poter disporre di dati di riferimento, sia per fornire uno spazio di ricerca iniziale al processo di inversione, sia per effettuare una "modellazione diretta" di ausilio a un corretto "picking" della curva di dispersione.

ATTREZZATURA E METODOLOGIE IMPIEGATE

Per l'indagine di riferimento si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO 12-

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)
 - 1000 msec (7560 punti)
- . 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”. L’attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spaziatati 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 ha le seguenti caratteristiche:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 2 m
- n. shots: 2 rilevazioni impiegando esclusivamente la mazza di battuta, a distanze di 4 e 8 metri dalla linea geofonica.
- tempo di acquisizione : 1.000 msec.

Il profilo è assimilabile ad orizzontale, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono non significativi.

INTERPRETAZIONE DEI DATI

Per il processo di interpretazione/inversione è stata utilizzata la curva di dispersione relativa allo “shot” posto a offset di 8 m dalla linea geofonica, impiegando il software winMASW, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite l’inversione delle curve di dispersione ottenute (effettuata con algoritmi “genetici”). Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY secondo la procedura specifica descritta nel capitolo introduttivo.

Come già accennato, per dare uno spazio di ricerca significativo al processo di inversione ci si è basati anche sul contesto geolitologico locale. Sono stati individuati 3 strati a differente velocità Vsh:

- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3
VSh (m/sec)	278	452	696
Spessore (m)	5.3	9.6	

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

strato	1	2	3
VSh (m/sec)	278.01	443.03	700
Spessore (m)	5.0	9.14	

La velocità equivalente (Vseq) viene calcolata utilizzando una media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio mediante la seguente espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove

hi = spessore dell’i-esimo strato

VS,i = velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato

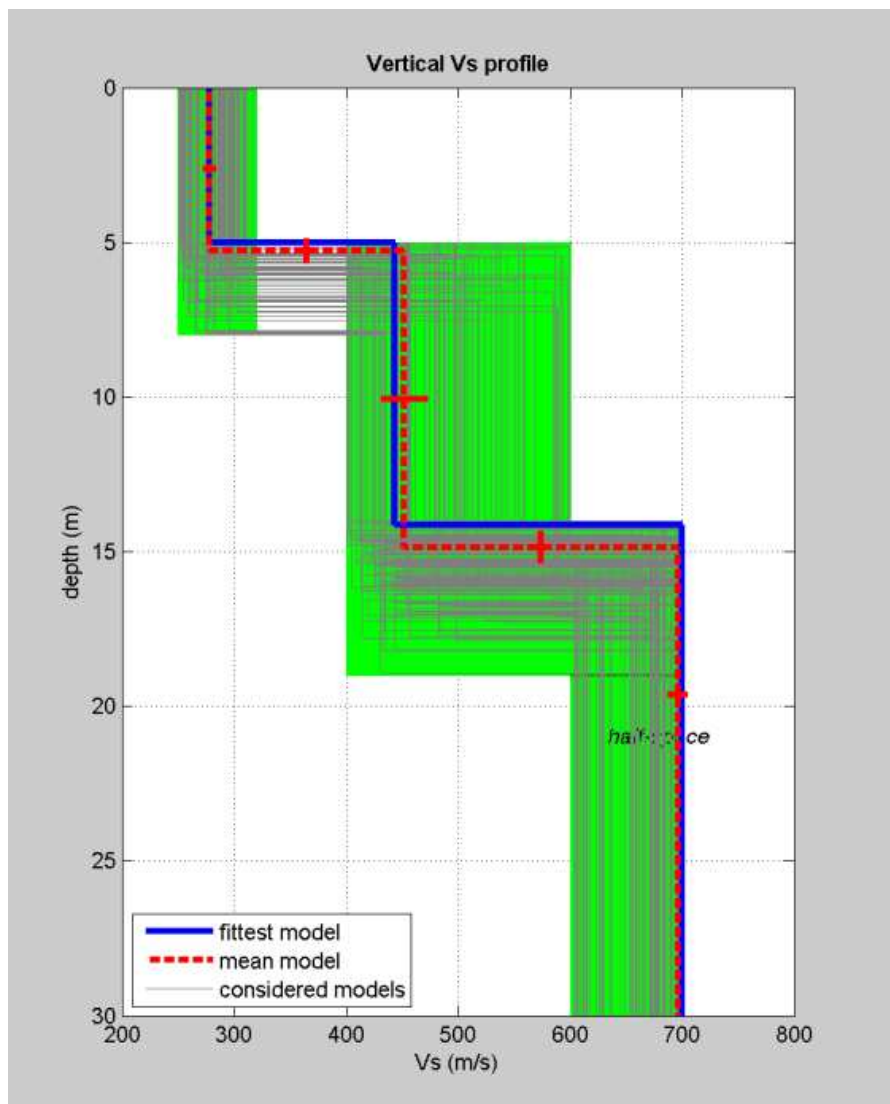
N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

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

- VSeq del modello medio: 484 m/sec
- VSeq del modello migliore: 490 m/sec

La categoria attribuibile al suolo di fondazione è la “**B**”, corrispondente a “*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*”.



Vada, li Dicembre 2018

REPORT DI CALCOLO

SECTION#1

dataset: 8 m.sgy

minimum offset (m): 8

geophone spacing (m): 2

sampling (ms): 0.131

Dispersion curve: somma-st1st2.cdp

Number of individuals: 40

Number of generations: 31

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 250 5 400 9 600

Adopted search space (maximum Vs & thickness): 320 8 600 11 700

Adopted Poisson values: 0.45 0.3 0.3

SECTION#2

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-50.8351	-44.8489
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-43.8218	-29.58
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-37.5387	-27.232
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits:	-35.5581	-26.9275
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits:	-33.5601	-26.7697
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits:	-33.9076	-26.2562
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits:	-32.8641	-26.0461
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits:	-32.8084	-26.0461
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits:	-31.0285	-26.0461
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits:	-31.0491	-26.0461
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits:	-30.4101	-26.0461
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits:	-30.7502	-26.0461
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits:	-31.0322	-26.0461
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits:	-30.519	-26.0461
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits:	-30.7362	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits:	-30.8128	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits:	-31.7244	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits:	-31.2972	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits:	-30.8134	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits:	-30.3781	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits:	-31.053	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits:	-31.4985	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits:	-31.9561	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits:	-32.0603	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits:	-31.2034	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits:	-31.3598	-25.9921
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits:	-32.5843	-25.9921

Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -32.6307 -25.9921
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -32.4495 -25.9921
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -32.4332 -25.9921
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -33.3393 -25.9921

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: -30.7588 -25.9921
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -32.5931 -25.9921
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -31.6545 -25.9921
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -31.0427 -25.7329
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -31.4421 -25.7329
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -31.0933 -25.7329
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -32.152 -25.7329
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -31.1488 -25.7329
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -32.5434 -25.7329

SECTION#3

MEAN MODEL

VS (m/s): 278 452 696
 Standard deviations (m/s): 6 21 9
 Thickness (m): 5.3 9.6
 Standard deviations (m): 0.4 0.5
 Approximate values for Vp, density & elastic moduli
 Vp (m/s): 922 846 1302
 Density (gr/cm3): 2.03 2.01 2.12
 Vp/Vs ratio: 3.32 1.87 1.87
 Poisson: 0.45 0.30 0.30
 Young modulus (MPa): 456 1070 2668
 Sjeear modulus (MPa): 157 411 1026
 Lamé (MPa): 1415 618 1538
 Bulk modulus (MPa): 1520 892 2222

Fundamental mode

Mean model

f(Hz)	VR(m/s)
7.5	564.7056
10.9	514.4919
13	469.1569
16.5	405.4568
20	361.7761
21.4	346.8098
25	315.1369

27.5	300.1176
32.5	282.794
39	272.8247
46	268.215
51	266.5469
54	265.8882
57	265.3977

SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 278.011 443.0339 700
 thickness (m): 5 9.1495
 Approximate values for Vp, density & elastic moduli
 Vp (m/s): 922 829 1310
 Density (gr/cm3): 2.03 2.01 2.12
 Vp/Vs ratio: 3.32 1.87 1.87
 Poisson: 0.45 0.30 0.30
 Young modulus (MPa): 456 1025 2700
 Shear modulus (MPa): 157 394 1039
 Lamé (MPa): 1415 592 1560
 Bulk modulus (MPa): 1520 855 2252

Fundamental mode)

best model

F(Hz)	VR(m/s)
7.5	569.3211
10.9	521.353
13	475.5454
16.5	408.8257
20	366.4996
21.4	352.6397
25	322.08
27.5	306.1833
32.5	286.5925
39	274.8533
46	269.3182
51	267.2864
54	266.4763
57	265.8685

SECTION#5

Maximum penetration depth according to the "Steady State Rayleigh Method": 34 m

Inversion quality: very good

Possible Soil Type: B