

ALLEGATO 1

Indagine sismica mediante Tecnica M.A.S.W.

Dott. LORENZO CIULLI
GEOLOGO

57023 CECINA (LIVORNO)
VIA G. AMBROGIUCCI 55 TEL. 0586-359889

Part. IVA 01539230498
Cod. Fisc. CLL LNZ 75E14C415M

**INDAGINE MASW A SUPPORTO
DELL'INTERVENTO DI RECUPERO VOLUMETRICO
PER LA REALIZZAZIONE DI NUOVI FABBRICATI
IN LOCALITA' PODERE SAN MARTINO
NEL COMUNE DI POMARANCE**

PROVINCIA DI PISA

Relazione tecnica conclusiva

Committente: GEO-TEAM di Dott. Cugini & Dott. Righi

INDICE

1 - Premessa	pag. 1
2 - Generalità sul metodo MASW	pag. 1
3 - Attrezzature e metodologie impiegate	pag. 4
4 - Interpretazione dei dati	pag. 5

ALLEGATO n. 1 - Report di calcolo.

Settembre 2014

Il Geologo
Dott. Geol. Lorenzo Ciulli
Ordine dei Geologi della Toscana n. 1591

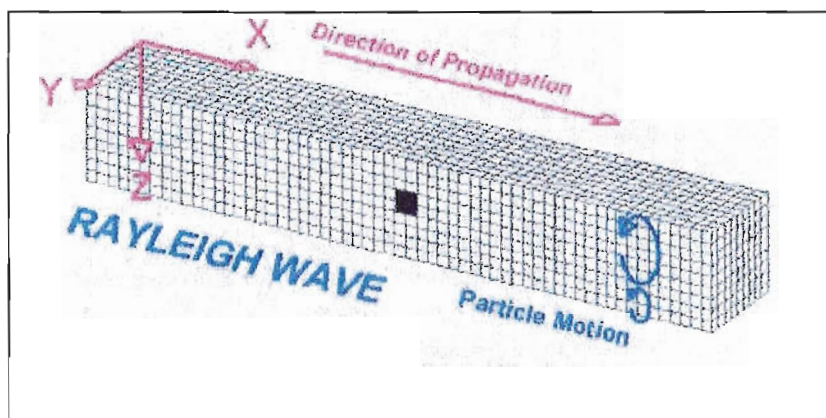


Premessa

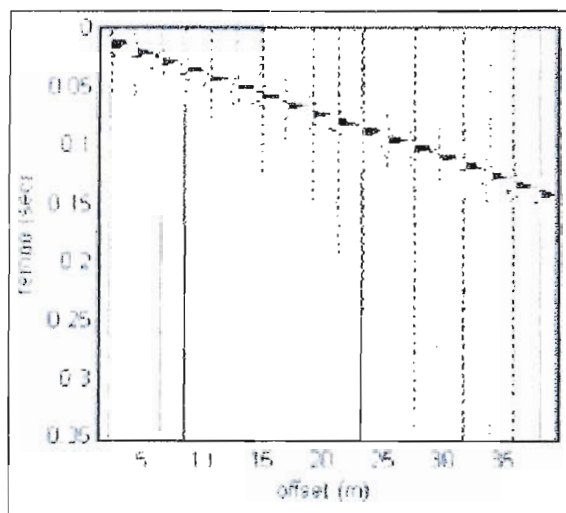
La presente relazione sintetizza ed illustra i risultati di un'indagine sismica effettuata, mediante il metodo MASW, in località Podere San Martino nel comune di Pomarance (Pisa). L'indagine MASW è stata effettuata per la caratterizzazione della velocità delle onde **Sh** dei terreni presenti, per determinare il parametro **V_{s30}**, necessario al fine della classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto, come richiesto dalle "Norme Tecniche per le costruzioni" (D.M. 14/01/2008). L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare una sequenza sismo-stratigrafica relativamente all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali. E' stato possibile, per ottimizzare l'interpretazione, riferirsi ai dati geolitologici noti per la zona.

Generalità sul metodo MASW

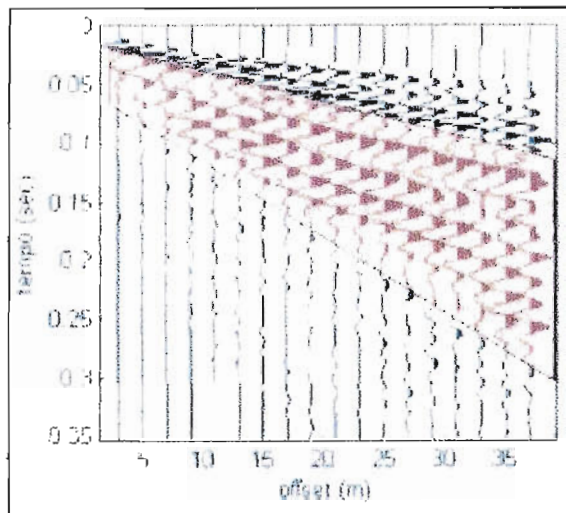
Le onde sismiche che si propagano in un mezzo si dividono, principalmente, in onde di corpo e onde di superficie. Fra queste ultime si hanno le onde di *Rayleigh*, le onde di *Love* e le onde di *Lamb*. Le onde di *Rayleigh*, in particolare, sono originate dall'interazione fra le onde di pressione e 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 e 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 delle frequenze, non si ha dispersione, cioè la deformazione di un treno di onde dovuta alla variazione della velocità di propagazione in funzione delle frequenze. 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.



Mezzo non stratificato



Mezzo stratificato = dispersione

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 4,5Hz). La distanza dalla sorgente di energizzazione e il primo ricevitore condiziona λ_{max} , e 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 dalla 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 V_s .

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando come riferimento la curva di dispersione precedentemente ottenuta. Per ottenere il profilo verticale V_s

della 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 interpolazione 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.

Attrezzature e metodologie impiegate

Per l'indagine è stata impiegata un'attrezzatura del tipo Ambrogeo "ECHO 12-24/2002 Sismic Unit" avente le seguenti caratteristiche:

- Channel: 24
- Sampler interval: 0,296msec
- A/D conversion: 16bit
- Input impedance: 1KOhm
- Gain: 10dB÷100dB (passo 1dB)
- Saturation tension: +/-2,3V
- Saturation level: 100dB
- Distorsion: 0,01%
- Sampler: 25msec (191 punti)
 - 50msec (383 punti)
 - 100msec (756 punti)
 - 200msec (1530 punti)
 - 400msec (3060 punti)
 - 1000msec (7560 punti)
- Sampling: 130msec
- Filter low pass: 50/950Hz, step 1Hz
- Digital filter low pass: 1000-50
- Digital filter high pass: 0-250
- Frequency response: 7-950Hz, filter at 950Hz
- Dynamic range: 93dB
- Noise: 0,66µV RMS, gain = 55dB
- Crosstalk: 52dB, gain = 55dB
- Power: 12V

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00. L'attrezzatura è composta da n. 2 cavi sismici a 12 takes out spaziatati a 5m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5Hz, piastra di battuta in acciaio, mazza di battuta da 8Kg con interruttore starter e cavo trigger da 200m montato su rullo.

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

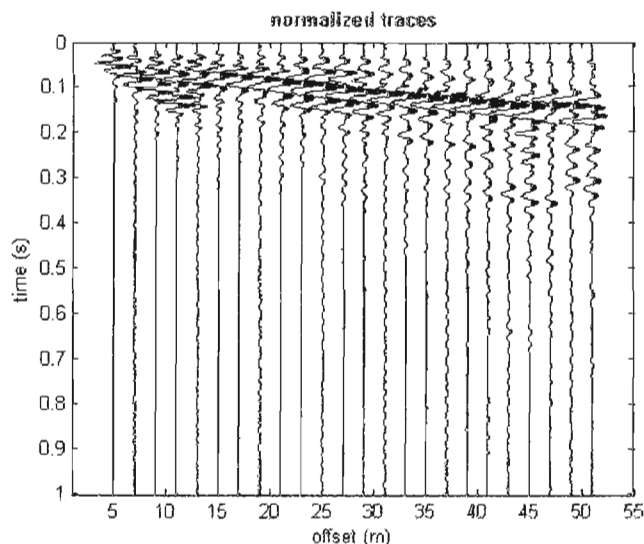
- ✓ numero geofoni: 24
- ✓ distanza intergeofonica: 2,00m
- ✓ numero punti di energizzazione (shots): n. 5 energizzazioni a 2m (offset) e n. 2 energizzazioni a 1m (offset) dal geofono n. 1 della linea geofonica; e n. 3 energizzazioni a 1m dal geofono n. 24 della linea. Tutte le energizzazioni sono state prodotte utilizzando la mazza di battuta da 8Kg.
- ✓ tempo di acquisizione: 1sec.

Il profilo morfologico lungo il quale è stata eseguito lo stendimento è pressoché pianeggiante e coincidente con la spianata esistente ad ovest del manufatto oggetto di intervento.

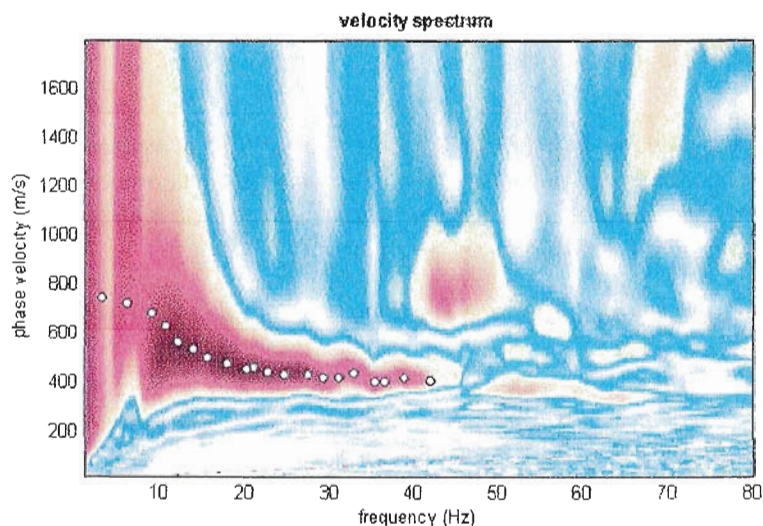
Interpretazione dei dati

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato 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

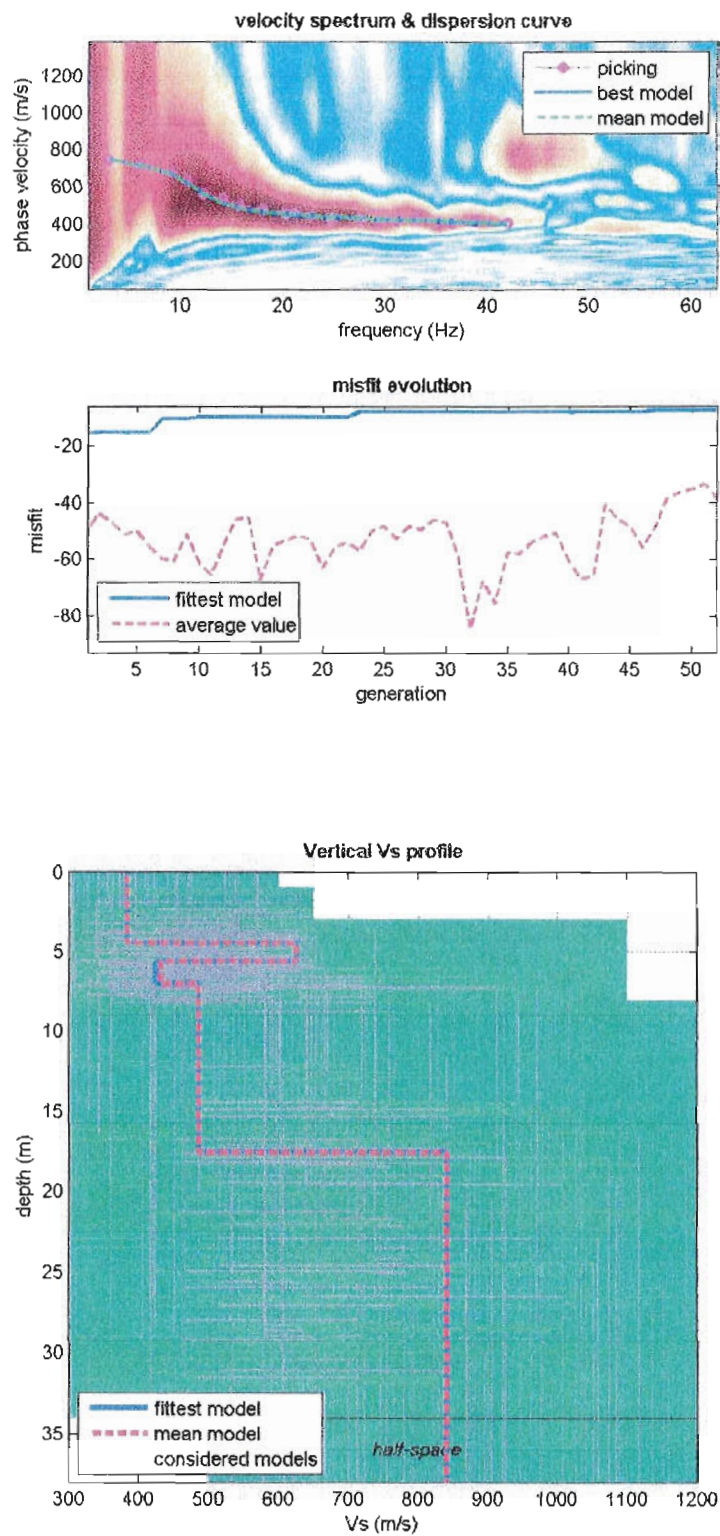
operare sui records in formato .SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo. E' stata utilizzata la curva di dispersione relativa allo "shot" posto all'offset di 5m dalla linea geofonica. La rappresentazione del file dei dati acquisiti ("common-shot gather" - segnale per i vari geofoni nel tempo di acquisizione di 1000msec.) è la seguente:



Quello che segue è lo spettro di velocità (velocità di fase in funzione della frequenza), con relativo picking della curva di dispersione delle onde di superficie, cioè la determinazione dei punti che si ritengono appartenere, in questo caso, al modo fondamentale di propagazione dell'onda superficiale di *Rayleigh*:



Per dare uno spazio di ricerca significativo al processo di inversione ci si è basati anche sul contesto geolitologico locale. In più, allo scopo di ottimizzare i risultati dell'elaborazione, durante le operazioni di picking della curva di dispersione, sono stati selezionati più modi di propagazione delle onde (first higher, second higher) oltre a quello fondamentale (fundamental mode). Una volta selezionati, gli stessi sono stati poi considerati totalmente durante la fase di inversione. Il report con i dati salienti relativi al procedimento di elaborazione ed inversione è allegato alla presente relazione. Il risultato dell'inversione è il seguente:



dataset: 5m-0_pIP.sgy
dispersion curve: 5mpicking1.cdp
VS30 (best model): 563 m/s
VS30 (mean model): 563 m/s

Sono stati cioè individuati 5 strati a diversa velocità Vsh, e precisamente:

- secondo il MODELLO MEDIO:

strato	1	2	3	4	5
VSh (m/sec)	384	626	432	485	841
spessore (m)	4,5	1,3	1,4	10,5	

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

strato	1	2	3	4	5
VSh (m/sec)	384,0695	626,3534	424,8287	485,0742	840,6856
spessore (m)	4,49566	1,14495	1,34348	10,5328	

Con i dati ottenuti, per la zona di indagine (da piano campagna) si ha:

- VS30 del modello medio: 563 m/sec
- VS30 del modello migliore: 563 m/sec

Il che, considerando la media ponderata delle velocità dei primi 30 metri da piano campagna, corrisponde ad una possibile categoria di suolo di fondazione "B". Nonostante il superamento degli 800m/sec da circa 17,50 metri di profondità in poi, si ritiene opportuno sottolineare che tale velocità (841), rispetto a quelle misurate al di sopra di essa, non rappresenti una vera e propria soglia oltre la quale si ha un netto contrasto di velocità potenzialmente correlabile con fenomeni di amplificazione della propagazione delle onde sismiche. L'indagine ha poi evidenziato la presenza di sismostrati superficiali aventi velocità relativamente elevate, correlabili con livelli più cementati di calcare (Calcare di Pomarance), confermando quanto di noto in Letteratura geologica.

Cecina 15 Settembre 2014

Il Geologo
Dott. Geol. Lorenzo Ciulli
Ordine dei Geologi della Toscana n. 1591



INDAGINE MASW "Podere San Martino" - Pomarance (PI)

winMASW 4.1.1 Pro

Software per la determinazione dello spettro di velocità e l'inversione della curva di dispersione secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves

Numero totale di punti (coppie frequenza-velocità) della curva di dispersione: 12

SECTION n. 1

=====

dataset: 5m-0_PIP.sgy
minimum offset (m): 5
geophone spacing (m): 2
sampling (ms): 0.131
Dispersion curve: 5mpicking1.cdp
Number of individuals: 30
Number of generations: 41

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 300 1 300 1 300 1 300 5 500
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 600 5 650 2 650 2 1100
25 1200
Adopted Poisson values: 0.45 0.25 0.45 0.35 0.35

SECTION n. 2

=====

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-49.681	-15.5065
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-43.9721	-15.2346
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-47.2187	-15.2346
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits:	-51.3654	-15.2346
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits:	-50.2917	-15.1379
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits:	-55.641	-15.1379
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits:	-59.839	-10.4248
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits:	-60.5571	-10.4248
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits:	-51.3216	-10.4248
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits:	-61.4582	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits:	-65.7247	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits:	-55.153	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits:	-45.9175	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits:	-45.3724	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits:	-67.3961	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits:	-55.4517	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits:	-53.601	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits:	-51.8505	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits:	-52.9586	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits:	-63.3983	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits:	-55.7002	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits:	-54.2408	-9.72631
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits:	-57.0797	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits:	-49.9424	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits:	-48.5095	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits:	-53.0942	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits:	-48.3953	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits:	-49.6391	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits:	-46.0005	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits:	-47.1221	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits:	-59.769	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 32; average & best misfits:	-84.5783	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 33; average & best misfits:	-67.5338	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 34; average & best misfits:	-75.4647	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 35; average & best misfits:	-57.6532	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 36; average & best misfits:	-57.9522	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 37; average & best misfits:	-54.0585	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 38; average & best misfits:	-52.0067	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 39; average & best misfits:	-50.6311	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 40; average & best misfits:	-60.1706	-8.01315
Optimizing Vs & Thickness - generation: 41; average & best misfits:	-66.8251	-7.91982
Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-65.8913	-7.91982
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-40.438	-7.91982
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-45.9018	-7.91982
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits:	-48.4685	-7.91982
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits:	-55.971	-7.91982
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits:	-49.0126	-7.3357
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits:	-38.4266	-7.3357
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits:	-36.3396	-7.3357

Dott. LORENZO CIULLI
GEOLOGO

Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -35.0325 -7.3357
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -33.3335 -7.3357
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -37.9169 -7.3357

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

Vs (m/s): 384 626 425 485 841
Poisson: 0.45 0.25 0.45 0.35 0.35
Thickness (m): 4.5 1.1 1.3 11

RESULTS winMASW Pro
#####

Dataset: 5m-0_PIP.sgy
Analyzed curve: 5mpicking1.cdp

SECTION n. 3

=====

MEAN MODEL

VS (m/s): 384 626 432 485 841
Standard deviations (m/s): 0 0 0 0 0

Thickness (m): 4.5 1.1 1.4 10.5
Standard deviations (m): 0.0 0.0 0.0 0.0

Approximate values for Vp, density & elastic moduli

Vp (m/s): 1274 1084 1433 1010 1751
Density (gr/cm3): 2.11 2.07 2.14 2.06 2.19
Vp/Vs ratio: 3.32 1.73 3.32 2.08 2.08
Poisson: 0.45 0.25 0.45 0.35 0.35
Young modulus (MPa): 903 2031 1159 1306 4182
Sjear modulus (MPa): 312 813 400 484 1549
Lamé (MPa): 2806 811 3598 1130 3617
Bulk modulus (MPa): 3014 1353 3864 1453 4649

Fundamental mode

Mean model

f (Hz)	VR (m/s)
3.05729	748.9504
6.01979	718.0977
8.98229	670.6617
10.6281	618.0416
12.1094	561.5816
13.9198	511.035
15.5656	483.872
17.8698	462.1694
20.174	449.6953
20.9969	446.438
22.6427	441.0657
24.6177	435.9187
27.4156	429.8946
29.226	426.3596
31.0365	422.9207
32.8469	419.491
35.3156	414.7577
36.4677	412.5233
38.7719	408.036
41.899	402.041

SECTION n. 4

=====

BEST MODEL

Vs (m/s): 384.0695 626.3534 424.8287 485.0742 840.6856
thickness (m): 4.49566 1.14495 1.34348 10.5328

Approximate values for Vp, density & elastic moduli

Vp (m/s): 1274 1085 1409 1010 1750
Density (gr/cm3): 2.11 2.07 2.14 2.06 2.19
Vp/Vs ratio: 3.32 1.73 3.32 2.08 2.08
Poisson: 0.45 0.25 0.45 0.35 0.35
Young modulus (MPa): 903 2032 1119 1306 4182
Shear modulus (MPa): 312 813 386 484 1549

Dott. LORENZO CIULLI
GEOLOGO

Lamé (MPa): 2806 816 3471 1130 3609
Bulk modulus (MPa): 3014 1358 3728 1453 4642

dispersion curve (frequency - Rayleigh phase velocity)

Fundamental mode)

best model

F (Hz)	VR (m/s)
3.05729	748.697
6.01979	717.8901
8.98229	670.9121
10.6281	618.8147
12.1094	562.3689
13.9198	511.3641
15.5656	483.84
17.8698	461.8026
20.174	449.1115
20.9969	445.7943
22.6427	440.3224
24.6177	435.0845
27.4156	428.977
29.226	425.4149
31.0365	421.9702
32.8469	418.5564
35.3156	413.8784
36.4677	411.6819
38.7719	407.2886
41.899	401.444

SECTION n. 5

=====

VS5 (mean model): 400 m/s
VS5 (best model): 400 m/s

VS20 (mean model): 483 m/s
VS20 (best model): 483 m/s

VS30 (mean model): 563 m/s
VS30 (best model): 563 m/s

SECTION n. 6

=====

Possible Soil Type: B

(based on the mean model)

Dalla normativa (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):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

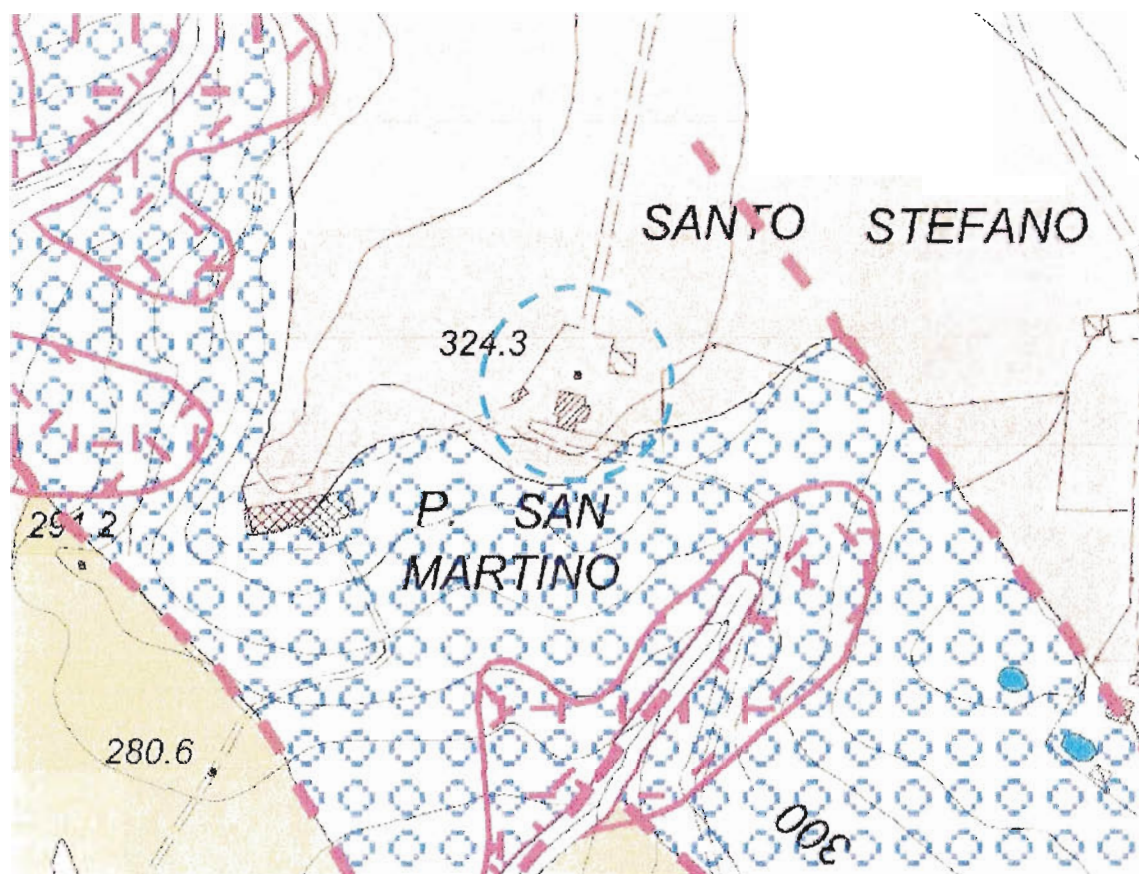
C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10 < cu30 < 20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.



Stralcio della cartografia geologica di supporto al vigente piano strutturale del comune di Pomarance – scala 1:5.000 (cerchiato in tratteggio azzurro il settore d'indagine).



Immagine satellitare del settore d'indagine (fuori scala).