

5. Elaborazione MASW

L'analisi MASW consiste essenzialmente in 4 fasi:

1. trasformazione delle serie temporali, nel dominio frequenza (f) - numero d'onda (k) (in cui è possibile cercare una correlazione tra le due grandezze);
2. individuazione delle coppie $f-k$ cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale), che consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh (e/o di Love) nel piano Velocità di fase (m/sec) – frequenza (esprimibile come lentezza (s/m), o frequenza (Hz));
3. calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio V_s , modificando opportunamente: lo spessore h , le velocità di taglio V_s e di volume V_p , la densità di massa ρ , degli strati che costituiscono il modello di sottosuolo;
4. modifica della curva teorica (calcolata dal modello del sottosuolo modellato) fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale con la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica (sovrapposizione del modello sperimentale e di quello teorico).

In alternativa al *picking* dei modi di velocità è possibile modellare in maniera diretta il profilo del sottosuolo e di conseguenza i sismogrammi sintetici corrispondenti, in modo da ottenere, attraverso il processo di inversione, una buona convergenza tra modello teorico e modello osservato. Con questa metodologia è possibile mantenere un controllo completo della definizione del modello geologico e dell'interpretazione dello spettro di velocità.

L'elaborazione è stata eseguita con il software WINMASW® versione Academy 2018, che permette di modellare quanto sopra, e generare un modello geologico-sismologico del sottosuolo, secondo metodi matematicamente rigorosi e robusti.

Dalla modellazione dei sismo-strati e delle loro velocità sismiche, si ricava il parametro della V_{s30} , necessario alla classificazione del terreno di fondazione. Si rammenta che il parametro V_{s30} va riferito al piano di posa delle fondazioni, oppure alla testa dei pali. Nel nostro caso, trattandosi di una fondazione superficiale, la V_{s30} viene calcolata a partire da 2.0 m dal piano di campagna.

L'area di progetto si trova in una zona pianeggiante, lungo un versante poco acclive; i terreni affioranti (sabbie prossimali con ciottoli arrotondati) mostrano stratificazione suborizzontale, per cui si può adottare un modello piano-parallelo. Considerate le caratteristiche del sito di indagine, sono state eseguite tre acquisizioni di sismogrammi utilizzando diversi parametri, e si sono eseguite diverse modellazioni, al fine di approssimare un modello il più possibile compatibile con i segnali osservati e con le conoscenze geologiche di sito e dell'area, e di conseguenza, rappresentativo delle caratteristiche dei terreni in esame.

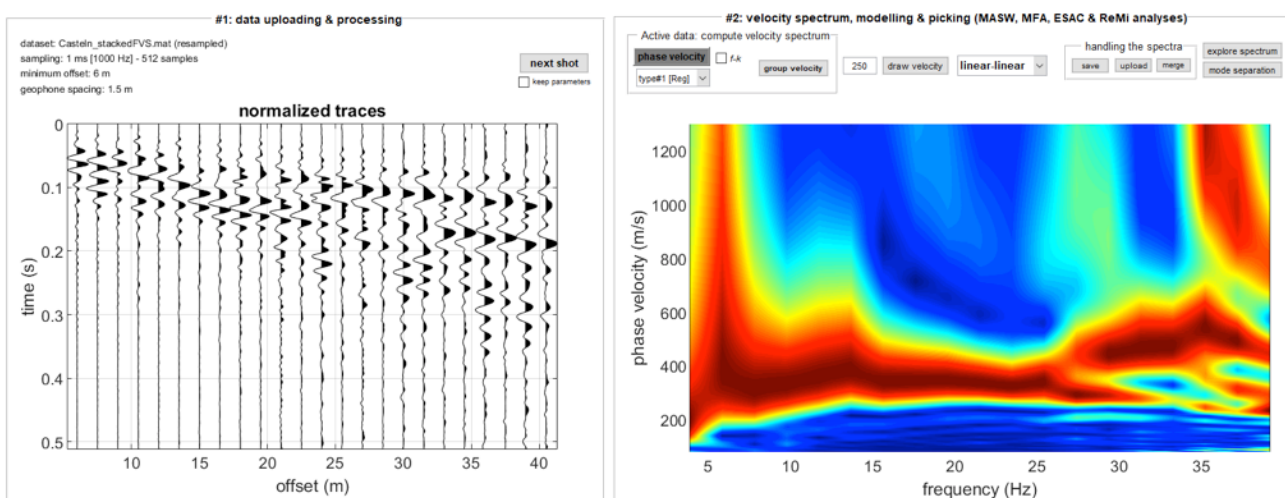


Figura 5- sismogramma e spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh; allo spettro delle velocità di fase è sovrapposto lo spettro sintetico del modello iniziale usato per la modellazione, e i relativi primi modi di velocità.

L'analisi dello spettro mette in evidenza una buona continuità del segnale, con velocità di fase tra 320 e 400 m/s, nell'intervallo 30-7 Hz.

Il modello di partenza, tarato sulla scorta delle informazioni geologiche disponibili, prevede quanto segue:

0.0-1.0 m: terreno di copertura (riporti). $V_s < 250$ m/s;
 1.0-6.0 m: sabbie con ciottoli; $V_s = 350$ m/s;
 6.0 - >70 m: argille e sabbie plioceniche; $V_s = 300-400$ m/s
 >70 m: bedrock sismico; $V_s > 800$ m/s.

Tale modello è compatibile con quanto proposto nel modello geologico; inoltre approssima i valori di V_s per il tratto a maggiore coerenza dello spettro f-k. A partire da questo modello, il processo di inversione dei dati affina la ricerca dei parametri di modellazione (modello geologico) che meglio soddisfano il profilo di velocità. L'algoritmo di ricerca -che fa parte della famiglia degli algoritmi genetici- è stato settato per effettuare 30 realizzazioni basate su 30 modelli genetici generati. Il risultato è una serie di modelli statisticamente validi, di cui viene evidenziato il modello "migliore" (in termini di scarti quadratici) ed il modello "medio" (statisticamente più rappresentativo).

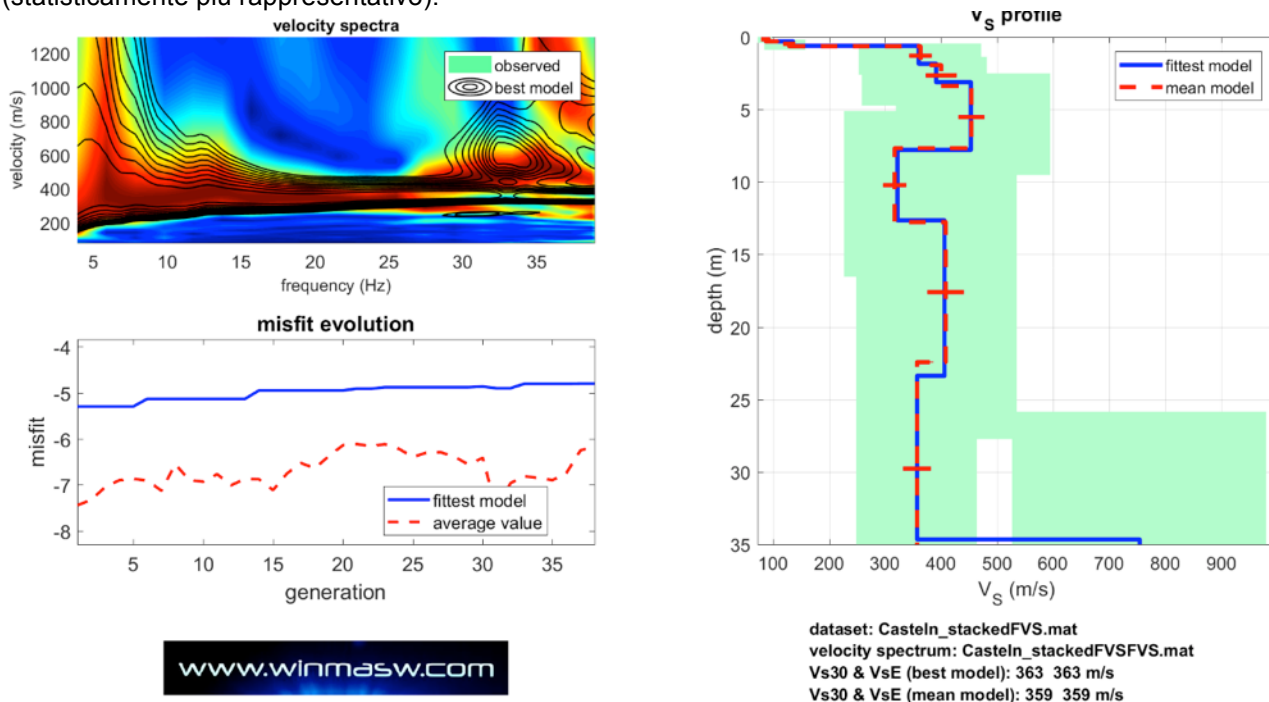


Figura 6 - Spettro di velocità di gruppo osservato e modello sintetico sovrapposto – velocità di gruppo; onde di Rayleigh componente verticale. A destra, profilo di velocità. In basso a sinistra è rappresentata la convergenza numerica dell'inversione attraverso i passaggi della modellazione.

Si riportano di seguito: il modello migliore e medio del sottosuolo ottenuti dall'inversione, il calcolo delle velocità sismiche, le densità modellate e la stima del modulo di taglio e del coefficiente di Poisson.

Best model

V_s (m/s): 91 136 360 391 453 322 406 357 754 1529 1522 961
 Thickness (m): 0.3 0.3 1.2 1.3 4.7 4.9 10.7 11.3 31.8 52.8 369.1
 V_{s30} and V_{sE} (m/s): 353
 Depth equivalent (m): 66.50

Approximate values for V_p and Poisson

V_p (m/s): 174 227 1317 789 1055 579 5261 752 1175 2799 2372 1542
 Poisson: 0.31 0.22 0.46 0.34 0.39 0.28 0.50 0.35 0.15 0.29 0.15 0.18

Mean model

V_s (m/s): 87 129 363 400 454 317 408 357 753 1427 1550 946
 V_s standard deviations (m/s): 8 11 20 27 23 21 33 25 56 146 135 112
 Thickness (m): 0.3 0.3 1.3 1.4 4.3 5.1 9.7 14.7 42.2 54.6 366.0
 V_{s30} and V_{sE} (m/s): 359

6. Definizione della Categoria di suolo

In base alla normativa vigente, la classificazione del suolo si basa sulla velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio, riferite a 30m di profondità, ottenibile come:

$$VS(eq) = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

dove V_i e h_i sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato i -esimo. H è la profondità del *bedrock* (per $H < 30$ si utilizza 30 m).

Per il caso in esame, utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio considerato fino alla profondità di 30 metri **a partire dal piano di posa delle fondazioni** (assunto a quota -2.0 m da p.c., in corrispondenza delle sabbie con buona compattezza), risulta:

$$Vs30 (m/s) \sim 375$$

il che, assieme alla considerazione che non vi sono importanti inversioni di velocità, e che il substrato è individuabile a circa 70 m dal p.c., porta alla classificazione del terreno come:

SUOLO DI TIPO 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”.

Come ulteriore riferimento, la seguente tabella indica i valori di $Vs30$ calcolati a diverse profondità.

Profondità da p.c. [m]	$Vs30$ [m/s]
0	353
1	375
2	375

In ogni caso, con la rimozione dei primi 0.6 m di copertura “lenta”, le velocità sismiche medie si attestano attorno ai 375 m/s, ad indicare un suolo di tipo B.

Asciano, Settembre 2019

Il Tecnico
Dr. Geologo Riccardo Aquè

