



REGIONE SICILIA

REGIONE SICILIANA

PROVINCIA DI TRAPANI

COMUNE DI MARSALA



PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56,00 MW DENOMINATO "Marsa-Allah"



PROGETTO DEFINITIVO

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
MRS	PD	P_04	0

ELABORATO				Relazione sulle indagini sismiche		SCALA
Novembre 2021	Prima emissione	DP	MD	LG		
DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO		

Richiedente
GRV WIND SICILIA 2 S.r.l.
 Sede Legale: Via Durini 9 , 20122 Milano
 PEC: grwindsicilia2@legalmail.it
 Cod. Fisc. e P.IVA 11643110965
 GRUPPO **GRvalue**

Progettazione





Sede legale: via Sabotino, 8 - 96013 Carlentini (SR)
 Uffici: via Jonica, 6 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR)
 web: www.antexgroup.it

Il Tecnico
 (Dott. Daniele Angelo Polizzi)

Responsabile Tecnico
 Arch. Luigi Giocondo

PROGETTO DI UN IMPIANTO EOLICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE DA REALIZZARE IN AGRO DI MARSALA (TP) IN LOCALITA' C.DA MESSINELLO DI POTENZA COMPLESSIVA DI 56,00 MW DENOMINATO "MARSA - ALLAH"

RELAZIONE SULLE INDAGINI SISMICHE

- RELAZIONE SULLE INDAGINI SISMICHE

Premessa

Il presente studio, a supporto di quello geologico, è stato redatto per l'attribuzione alla categoria di sottosuolo di fondazione (cfr punto 3.2.2 Categorie di Sottosuolo) così come previsto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018. A tal fine è stata eseguita un'indagine geofisica prevalentemente finalizzata alla determinazione della giacitura e potenza degli strati nel sito, ed alla individuazione di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale legati alle caratteristiche geologiche e fisiche dell'area mediante la misura diretta in sito della velocità delle onde sismiche Vs.

Attraverso l'indagine sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde superficiali di Rayleigh) effettuata, sono stati confermati:

- Le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi presenti (misura diretta in sito della velocità delle onde sismiche Vs fino ad una profondità ipotizzabile di circa 30 metri dal piano di posa delle fondazioni, delle Vs30 ovvero della media pesata della velocità delle onde sismiche trasversali per i primi 30 metri).
- La classificazione sismica del suolo dell'area oggetto di studio (categoria di suolo di fondazione – c.fr 3.2.2 - Categorie di Sottosuolo).

Indagini eseguite

L'indagine eseguita è stata condotta sulla base di n. 1 prospezione sismica MASW con stendimento geofonico di 28,00 m., ubicata in posizione ritenuta particolarmente significativa al fine di una completa individuazione delle caratteristiche del sottosuolo in area di progetto.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di **sismografo M.A.E. SYSMATRACK**, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor) - M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) - S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)] - Down-hole - Cross-hole.



Sismografo M.A.E. SYSMATRACK 24 bit 24 canali.

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale.

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'utilizzo di un piccolo computer portatile che permette di gestire l'intero sistema attraverso "sistema operativo Microsoft Windows XP".

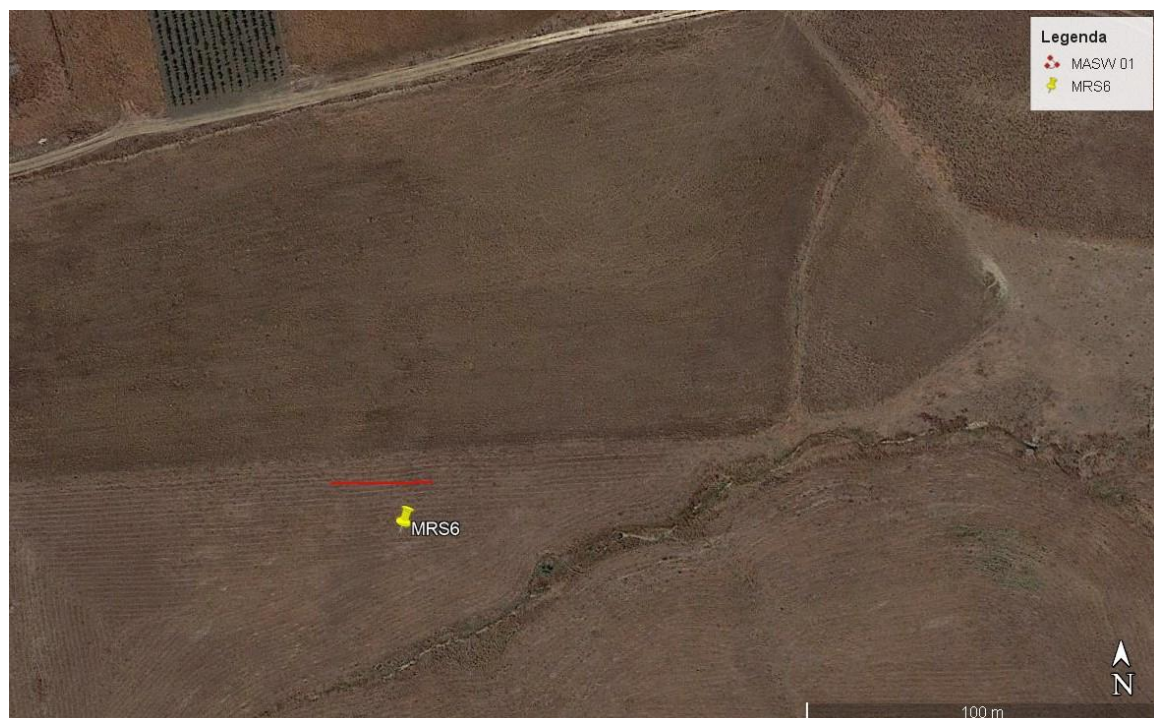
La sorgente sismica è costituita dalla suddetta massa battente (mazza dal peso di 8 kg) che batte su una piastra di alluminio.

Lo starter viene eseguito a mezzo "geofono starter" collegato a mezzo di trigger al sismografo.

La configurazione spaziale in sito, equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea", è stata così predefinita:

- 24 geofoni con interspazio (Gx) di 1.0 metri;
- n. 3 energizzazioni per stendimento ad offset (Dx) 28,00 m;
- passo di campionatura pari a 1000 Hz;
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 4.096 sec.

Tale configurazione ha consentito di mitigare gli effetti near-field dovuti alle onde di volume ed ha altresì consentito di avere le seguenti risoluzioni spazio-temporali: lungo i numeri d'onda k la risoluzione è di 0.261, mentre la risoluzione in frequenza è pari a 0.488 Hz. La taratura dello strumento è stata effettuata attribuendo lo stesso guadagno ad ogni geofono.



Ubicazione sondaggio MASW01

Elaborazione dati

Attraverso le elaborazioni, in funzione della frequenza, è possibile estrapolare la stratigrafia dei luoghi con particolare riferimento alle onde sismiche (onde di Rayleigh etc.).

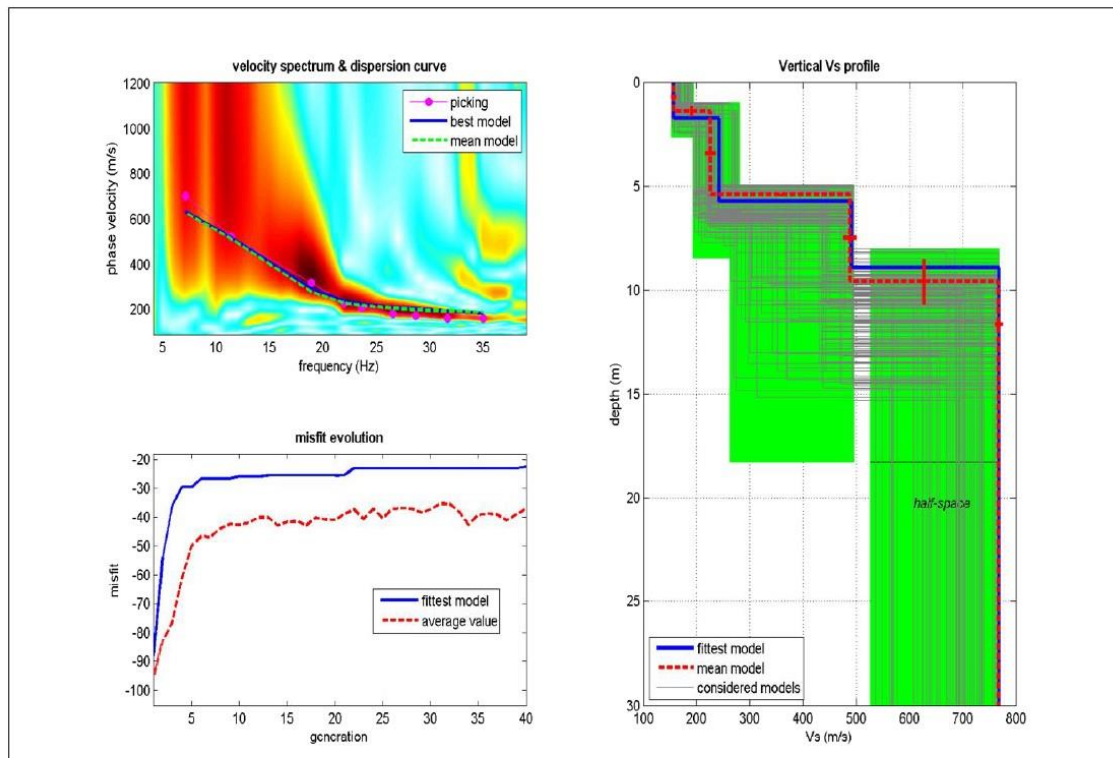
In particolare l'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f – numero d'onda K ;
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie f - k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec)–frequenza (**lentezza**) (s/m) – **frequenza** (Hz).
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo (fig. 3);
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

La sezione ottenuta nel sondaggio MASW è riportata nelle tabelle seguenti:

SONDAGGIO MW1

N. rifrattore	primo	secondo	terzo	quarto
Vs (m/s):	156.6401	242.4132	491.7686	769
thickness (m):	1.7386	3.9886	3.1712	
Approximate values for Vp, density & elastic moduli				
Vp (m/s):	326	505	1024	1439
Density (gr/cm3):	1.78	1.89	2.06	2.14
Vp/Vs ratio:	2.08	2.09	2.08	1.87
Poisson:	0.35	0.35	0.35	0.30
Young modulus (MPa):	119	299	1346	3294
Shear modulus (MPa):	44	111	499	1267
Lamé (MPa):	102	260	1163	1902
Bulk modulus (MPa):	131	334	1495	2747
dispersion curve (frequency - Rayleigh phase velocity) Fundamental mode)				
best model				
F (Hz)	VR(m/s)			
7.12396	634.5257			
11.4406	520.2322			
18.9177	293.8514			
22.001	238.9465			
23.6198	226.0719			
26.549	211.2612			
28.7073	203.4993			
31.6365	194.6663			
35.0281	185.4739			
VS30: 488 m/s				



-Spettro di risposta e curva di dispersione sondaggio Masw MW1

Definizione suolo tipo

La nuova normativa sismica italiana (*NTC 2018 – Nuove norme sismiche per il calcolo strutturale. Pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 20/02/2018*), definisce l'azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e della categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera.

La norma suddivide il territorio nazionale fino in 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore A_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità.

I valori convenzionali di A_g assegnati nelle 4 zone sismiche fanno riferimento all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido, per il quale il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali. In presenza di suoli di tipo B, C, D E, S1, S2 il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell'intensità e del contenuto in frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie.

In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l'accelerazione sismica spettrale in presenza di suoli di tipo B, C, D E la normativa introduce un fattore di amplificazione S e i periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%. In presenza di suoli speciali di tipo S1 e S2 la normativa impone uno studio specifico per determinare gli effetti di amplificazione sismica locale.

La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h}{V_i}}$$

Dove V_i e h sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato i -esimo.

Per il caso in esame, utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio ed estendendo il semispazio fino alla profondità di 30 metri, risulta che il tipo di suolo di fondazione, in riferimento alla tab. 3.2.II del paragrafo 3.2.2 delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) pubblicate in Gazzetta Ufficiale il 20/02/2018, ricade nella **categoria di suolo di tipo 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_{s30} 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)".

Novembre 2021

IL GEOLOGO

(Dott. Daniele Angelo Polizzi)



- RELAZIONE SULLE INDAGINI SISMICHE

Premessa

Il presente studio, a supporto di quello geologico, è stato redatto per l'attribuzione alla categoria di sottosuolo di fondazione (cfr punto 3.2.2 Categorie di Sottosuolo) così come previsto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018. A tal fine è stata eseguita un'indagine geofisica prevalentemente finalizzata alla determinazione della giacitura e potenza degli strati nel sito, ed alla individuazione di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale legati alle caratteristiche geologiche e fisiche dell'area mediante la misura diretta in sito della velocità delle onde sismiche Vs.

Attraverso l'indagine sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde superficiali di Rayleigh) effettuata, sono stati confermati:

- Le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi presenti (misura diretta in sito della velocità delle onde sismiche Vs fino ad una profondità ipotizzabile di circa 30 metri dal piano di posa delle fondazioni, delle Vs30 ovvero della media pesata della velocità delle onde sismiche trasversali per i primi 30 metri).
- La classificazione sismica del suolo dell'area oggetto di studio (categoria di suolo di fondazione – c.fr 3.2.2 - Categorie di Sottosuolo).

Indagini eseguite

L'indagine eseguita è stata condotta sulla base di n. 1 prospezione sismica MASW con stendimento geofonico di 28,00 m., ubicata in posizione ritenuta particolarmente significativa al fine di una completa individuazione delle caratteristiche del sottosuolo in area di progetto.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di **sismografo M.A.E. SYSMATRACK**, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor) - M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) - S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)] - Down-hole - Cross-hole.



Sismografo M.A.E. SYSMATRACK 24 bit 24 canali.

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale.

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'utilizzo di un piccolo computer portatile che permette di gestire l'intero sistema attraverso "sistema operativo Microsoft Windows XP".

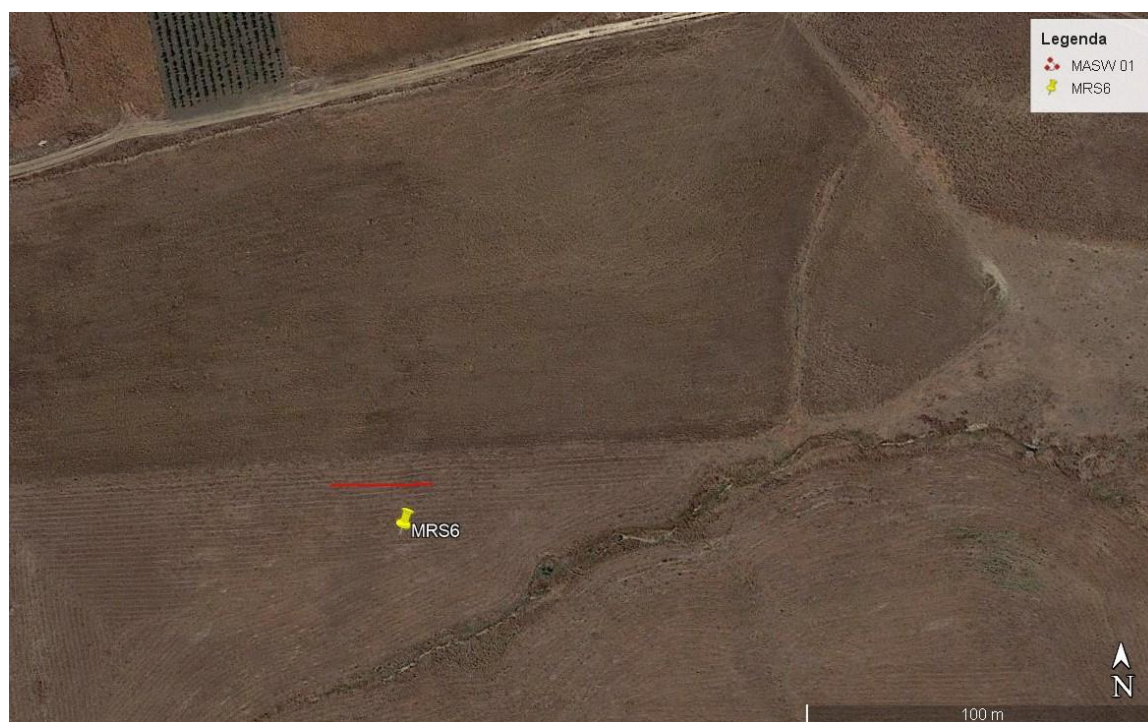
La sorgente sismica è costituita dalla suddetta massa battente (mazza dal peso di 8 kg) che batte su una piastra di alluminio.

Lo starter viene eseguito a mezzo "geofono starter" collegato a mezzo di trigger al sismografo.

La configurazione spaziale in sito, equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea", è stata così predefinita:

- 24 geofoni con interspazio (Gx) di 1.0 metri;
- n. 3 energizzazioni per stendimento ad offset (Dx) 28,00 m;
- passo di campionatura pari a 1000 Hz;
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 4.096 sec.

Tale configurazione ha consentito di mitigare gli effetti near-field dovuti alle onde di volume ed ha altresì consentito di avere le seguenti risoluzioni spazio-temporali: lungo i numeri d'onda k la risoluzione è di 0.261, mentre la risoluzione in frequenza è pari a 0.488 Hz. La taratura dello strumento è stata effettuata attribuendo lo stesso guadagno ad ogni geofono.



Ubicazione sondaggio MASW01

Elaborazione dati

Attraverso le elaborazioni, in funzione della frequenza, è possibile estrapolare la stratigrafia dei luoghi con particolare riferimento alle onde sismiche (onde di Rayleigh etc.).

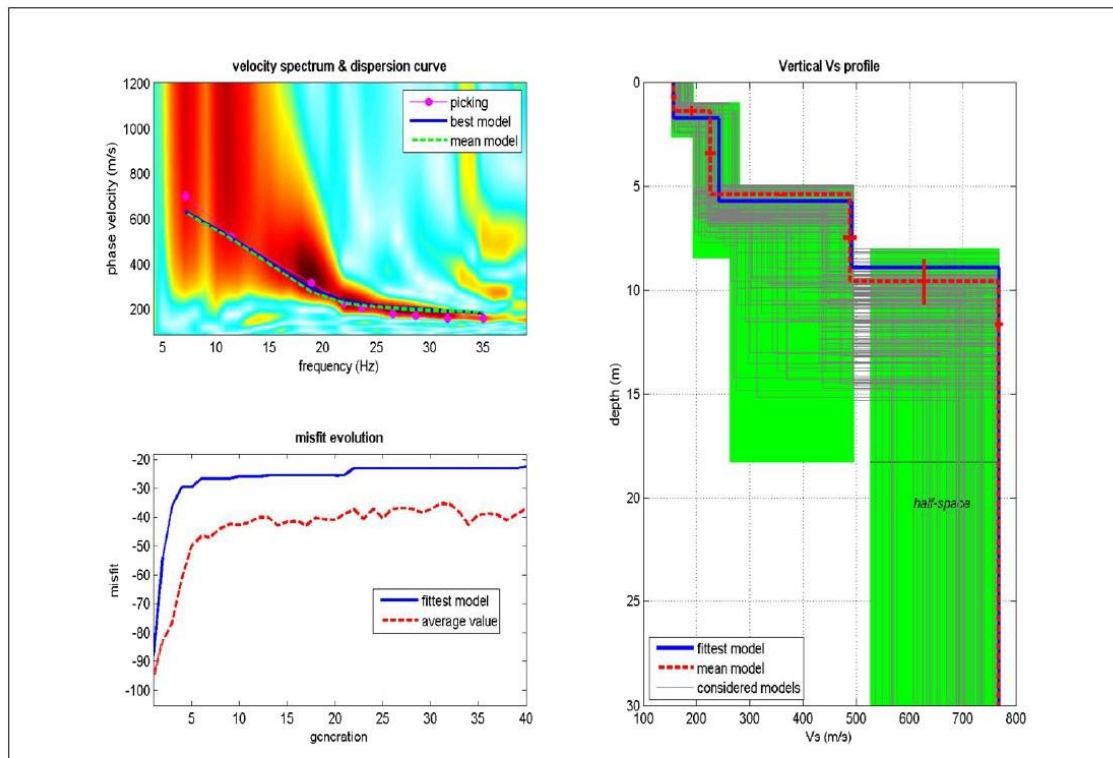
In particolare l'analisi MASW può essere ricondotta in quattro fasi:

- la prima fase prevede la trasformazione delle serie temporali nel dominio frequenza f – numero d'onda K ;
- la seconda fase consiste nella individuazione delle coppie f - k cui corrispondono i massimi spettrali d'energia (densità spettrale) consentono di risalire alla curva di dispersione delle onde di Rayleigh nel piano V_{fase} (m/sec)–frequenza (**lentezza**) (s/m) – **frequenza** (Hz).
- la terza fase consiste nel calcolo della curva di dispersione teorica attraverso la formulazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo (fig. 3);
- la quarta ed ultima fase consiste nella modifica della curva teorica fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo.

La sezione ottenuta nel sondaggio MASW è riportata nelle tabelle seguenti:

SONDAGGIO MW1

N. rifrattore	primo	secondo	terzo	quarto
Vs (m/s):	156.6401	242.4132	491.7686	769
thickness (m):	1.7386	3.9886	3.1712	
Approximate values for Vp, density & elastic moduli				
Vp (m/s):	326	505	1024	1439
Density (gr/cm3):	1.78	1.89	2.06	2.14
Vp/Vs ratio:	2.08	2.09	2.08	1.87
Poisson:	0.35	0.35	0.35	0.30
Young modulus (MPa):	119	299	1346	3294
Shear modulus (MPa):	44	111	499	1267
Lamé (MPa):	102	260	1163	1902
Bulk modulus (MPa):	131	334	1495	2747
dispersion curve (frequency - Rayleigh phase velocity) Fundamental mode)				
best model				
F (Hz)	VR(m/s)			
7.12396	634.5257			
11.4406	520.2322			
18.9177	293.8514			
22.001	238.9465			
23.6198	226.0719			
26.549	211.2612			
28.7073	203.4993			
31.6365	194.6663			
35.0281	185.4739			
VS30: 488 m/s				



-Spettro di risposta e curva di dispersione sondaggio Masw MW1

Definizione suolo tipo

La nuova normativa sismica italiana (*NTC 2018 – Nuove norme sismiche per il calcolo strutturale. Pubblicato in Gazzetta Ufficiale il 20/02/2018*), definisce l'azione sismica di progetto, in assenza di analisi specifiche, sulla base della zona sismica di appartenenza del sito e della categoria sismica di suolo su cui sarà realizzata l'opera.

La norma suddivide il territorio nazionale fino in 4 zone sismiche, contraddistinte dal valore A_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità.

I valori convenzionali di A_g assegnati nelle 4 zone sismiche fanno riferimento all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A, cioè roccia affiorante o suolo omogeneo molto rigido, per il quale il moto sismico al bedrock non subisce variazioni sostanziali. In presenza di suoli di tipo B, C, D E, S1, S2 il moto sismico in superficie in genere risulta modificato rispetto al moto sismico al bedrock, in funzione dell'intensità e del contenuto in frequenza dell'input sismico e delle caratteristiche geotecniche sismiche e dello spessore del suolo attraversato dalle onde sismiche per giungere in superficie.

In assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale per il suolo in esame, per valutare l'accelerazione sismica spettrale in presenza di suoli di tipo B, C, D E la normativa introduce un fattore di amplificazione S e i periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%. In presenza di suoli speciali di tipo S1 e S2 la normativa impone uno studio specifico per determinare gli effetti di amplificazione sismica locale.

La classificazione del suolo è convenzionalmente eseguita sulla base della velocità media equivalente di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h}{V_i}}$$

Dove V_i e h sono la velocità delle onde di taglio verticali e lo spessore dello strato i -esimo.

Per il caso in esame, utilizzando i valori del modello di velocità relativo alle onde di taglio ed estendendo il semispazio fino alla profondità di 30 metri, risulta che il tipo di suolo di fondazione, in riferimento alla tab. 3.2.II del paragrafo 3.2.2 delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) pubblicate in Gazzetta Ufficiale il 20/02/2018, ricade nella **categoria di suolo di tipo 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_{s30} 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)".

Novembre 2021

IL GEOLOGO

(Dott. Daniele Angelo Polizzi)

