

REGIONE SICILIA PROVINCIA DI PALERMO COMUNE DI BOLOGNETTA



PROGETTO DEFINITIVO						
<sup>Descrizione</sup> Impianto agro-fotovoltaico denominato " <i>TUMMINIA"</i> ubicato nel comune di Bolognetta (PA), con potenza di picco pari a 28,469 MWp						
Titolo elaborato   REPORT INDAGINI GEOFISICHE   Codifica interna elaborato   Bol1-sol-FV-MA-EST-0001_00   Codice elaborato      A4-A3						
<image/> <section-header><section-header><section-header><section-header><section-header><section-header><section-header><section-header></section-header></section-header></section-header></section-header></section-header></section-header></section-header></section-header>	Progettazione GeoMeridia GEOMERIDIA S.T.P. A R.L. P.IVA/C.F.: 05962300876 Viale Vittorio Veneto, 161/scala L, 95127, Catania, IT geomeridia@pec.it	Dott. Geol. Graziano Patti Dott. Geol. Sergio Montalbano				

Data	n° revisione	Motivo della revisione	Redatto	Controllato	Approvato
08.05.2023	00	EMISSIONE	Dott. Geol. GRAZIANO PATTI	Dott. Geol. SERGIO MONTALBANO	Dott. Geol. GRAZIANO PATTI
			Dott. Geol. SERGIO MONTALBANO		



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 1 di 35

# SOMMARIO

1.	PREMESSA2
2.	INDAGINI GEOFISICHE4
2.1	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO4
2.2	PROSPEZIONE MASW5
2.2.1	Metodologia5
2.2.2	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E CONFIGURAZIONE STENDIMENTO
2.2.3	ELABORAZIONE DATI
2.3	RISULTATI INDAGINI
2.3.1	Prova MW1
2.3.2	Prova MW2
2.3.3	Prova MW315
2.3.4	Prova MW4
2.3.5	Prova MW5
2.3.6	Prova MW6
3.	DESCRIZIONE DEI RISULTATI27
BIBLIO	GRAFIA
TAVOL	E E ALLEGATI



Pag. 2 di 35

### 1. PREMESSA

Nel presente documento sono illustrati i risultati di indagini geofisiche effettuata tra gennaio e marzo 2023 su incarico della Ditta <u>SOLARIA PROMOZIONE E SVILUPPO FOTOVOLTAICO S.R.L</u>, a supporto del progetto di un impianto fotovoltaico da realizzare nel territorio del Comune di Bolognetta, in provincia di Palermo.

Sono state effettuate le seguenti indagini:

 ✓ N. 6 prospezioni MASW per la definizione della sismostratigrafia e della categoria del sottosuolo ai sensi del D.M. 17/01/2018.

Le prospezioni sono state effettuate all'interno delle aree di progetto, a quote comprese fra 320 e 470 m circa s.l.m.

L'area di progetto dal punto di vista cartografico, rientra nella **Tavoletta F° 259 IV N.O.,** denominata **"Ventimiglia di Sicilia",** edita dall'Istituto Geografico Militare (I.G.M.). a scala 1:25000.

L'ubicazione delle indagini è indicata nella tavola allegata, sulla base della Carta Tecnica Regionale (C.T.R), nelle sezioni **638020**, **608030** e **608060**, in scala 1:1000; e su ortofoto Google Earth in scala 1:2000.

Sotto il profilo geolitologico nell'area di interesse sono affioranti suoli pelitici di colore bruno, siltiti ed arenario-quarzose e coltri eluvio-colluviali<sup>1</sup>.

Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico, S.r.l. – Gruppo Solaria Energía y Medio Ambiente S.A.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>Catalano et al, 2010



Pag. 3 di 35



Figura 1 – Inquadramento geografico dell'Area di Studio.



### 2. INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini geofisiche appartengono alla categoria delle prove geognostiche indirette; ad esse fanno capo una molteplicità di metodologie non invasive che permettono di analizzare la variazione nel sottosuolo di vari parametri dei litotipi, quali ad esempio suscettibilità magnetica, elasticità, conducibilità/resistività elettrica ecc., di ricreare modelli del sottosuolo e di ricercare oggetti e strutture sepolte.

Queste variazioni possono essere determinate da diversi fattori, come ad esempio un cambiamento litologico o una variazione delle caratteristiche meccaniche anche all'interno di una stessa litologia (fratturazione); inoltre, a differenza delle indagini dirette che tendono a fornire informazioni puntuali, le metodologie geofisiche offrono la possibilità di ricavare informazioni riguardanti aree più ampie che possono essere riprodotte tramite elaborati, oltre che con monodimensionali, 2D e 3D.

### 2.1 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO

La nuova normativa tecnica per le costruzioni in aree sismiche, il D.M. del 17 gennaio 2018, conferma le importanti innovazioni del D.M. 14.01.08, introdotte in merito alla progettazione antisismica che ci adegua allo standard europeo e mondiale (Ordinanza 3274/2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri, Eurocodici EC7 ed EC8). Oltre alle importanti novità relative alle metodologie di calcolo ingegneristico è stata confermata la classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto in 5 categorie principali (dalla A alla E), eliminando invece le categorie S1 ed S2, sulla base del parametro Vs,<sub>eq</sub>. Questo rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde S dei terreni poggianti sul substrato rigido, a profondità H (m), con Vs pari o superiore ad 800 m/s, calcolati a partire dalla quota di base delle fondazioni, ed è calcolato mediante l'espressione:

#### $V_{S,eq} = H/\Sigma_{i=1..N}(h_i/V_{S,i})$

dove H rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore ad 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore o pari a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio Vs<sub>eq</sub> è definita dal parametro Vs<sub>30</sub>, ottenuto ponendo H=30 nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati del terreno fino a quella profondità. Viene in sostanza confermata l'importanza del parametro Vs che, com'è noto, è il parametro geofisico che meglio rappresenta la variabilità geotecnica dei materiali geologici presenti nel sottosuolo.

Nel caso specifico l'acquisizione del modello Vs nel sottosuolo è stata condotta tramite l'esecuzione di una prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) in corrispondenza dell'area progettuale.



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

#### Pag. 5 di 35

### 2.2 PROSPEZIONE MASW

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una indagine non invasiva che, tramite geofoni di adeguata frequenza posti sulla superficie del suolo, consente di individuare la curva di dispersione (o velocità di fase sperimentale apparente) delle onde di Rayleigh<sup>2</sup>, nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz. Dalla curva di dispersione ottenuta, tramite la risoluzione di un problema inverso, è possibile calcolare la variazione verticale, con la profondità, della velocità delle onde di taglio (Vs)<sup>3</sup> (Fig. 24).



Figura 2 - Flusso di lavoro per l'elaborazione dell'indagine MASW.

### 2.2.1 METODOLOGIA

Energizzando il sito in un punto della superficie libera si generano diversi tipi di onde in funzione della disposizione spaziale della sorgente rispetto la superficie. Se la sorgente è perpendicolare alla superficie libera le onde che vengono generate appartengono al piano verticale: onde P, onde SV, onde di Rayleigh.

Nel caso in cui la sorgente è parallela rispetto la superficie libera si originano onde appartenenti al piano orizzontale: onde SH e onde di Love.

Generalmente per il metodo MASW è preferibile utilizzare sorgenti perpendicolari alla superficie libera al fine di misurare le sole onde di Rayleigh.

Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico, S.r.l. – Gruppo Solaria Energía y Medio Ambiente S.A.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Rayleigh, 1885

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Park et al, 1999



Sebbene una sorgente perpendicolare alla superficie libera generi anche onde P e onde SV oltre alle onde Rayleigh, il contributo di quest'ultime è prevalente rispetto a quello degli altri due tipi di onda generati<sup>4</sup>. Questo perché le onde Rayleigh trasportano circa due terzi dell'energia generata dalla sorgente e inoltre, subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P e SV. La minore attenuazione è legata alle differenti modalità di propagazione dei diversi tipi di onde, le onde Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, invece, le onde P e SV si propagano secondo fronti d'onda sferici<sup>5</sup>.

Risulta quindi chiaro che Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, la cui velocità è strettamente correlata alla rigidezza delle porzioni di sottosuolo interessate dalla loro propagazione<sup>6</sup>.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh hanno un comportamento dispersivo, cioè la velocità di fase e velocità di gruppo delle onde che si propagano sono dipendenti dalla lunghezza d'onda e quindi dalla frequenza<sup>7</sup>. Onde con minor frequenza, quindi con una lunghezza d'onda maggiore, si propagano negli strati più profondi del sottosuolo indagato, mentre onde ad alta frequenza, con lunghezza d'onda minore, si propagano negli strati più superficiali.

#### 2.2.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E CONFIGURAZIONE STENDIMENTO

Le onde superficiali sono generate in un punto della superficie del suolo tramite una mazza dal peso compreso tra 8 e 10 kg o tramite sorgenti automatizzate (vibrodine) con frequenza di energizzazione modulabile.

Il segnale generato viene registrato da un set di geofoni, con frequenza propria di 4,5 Hz, disposti lungo uno stendimento lineare.

Per le operazioni di campo, inerenti allo svolgimento dell'indagine geofisica di tipo MASW effettuata per questo studio, è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- N. 2 Cavi sismici multipolari in Purex da 60 metri, 12 take-out;
- ✓ N. 24 geofoni verticali, frequenza 4.5 Hz;
- ✓ N. 24 supporti in acciaio;

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Dal Moro, 2021

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Stokoe and Santamarina, 2000

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Bolt, 1976

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Aki and Richards, 1980



Pag. 7 di 35

- ✓ Mazza battente strumentata con trigger e piastra di battuta in alufer;
- ✓ Un sismografo a memoria incrementale per sismica a rifrazione e riflessione della MAE, modello A6000-S a 24 canali con risoluzione del segnale a 24 bit per canale. Nella tabella seguente sono riassunte le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura utilizzata.

DATI TECNICI DELLA ST		
MODELLO SISMOGRAFO	N. CANALI	Mini Santa Manageria Additional Manageria Manageria
M.A.E. A-6000-S	24 (DIFFERENZIALI)	
CONVERSIONE A/D	CAMPIONI PER CANALE	
24 BIT A SINGOLO CANALE	10922	
CAMPIONAMENTO	LARGHEZZA DI BANDA	
50-50.000 CAMP./SEC.	0-25 KHZ	
BAND REJECT	AMPIEZZA MAX. IN INGRESSO	
110DB@50HZ	10VPP,0DB	
FORMATO DATI	SISTEMA OPERATIVO	
SEG-2 STANDARD	WINDOWS XP EMBEDDED	
IMPEDENZA D'INGRESSO	RUMORE	
220 KOHM@0DB	250NV/@2MS, 36DB	

La prova MASW fornisce il profilo di velocità Vs monodimensionale, fornendo un valore medio di velocità relativo alla porzione di sottosuolo sottesa allo stendimento dei ricevitori. La lunghezza dello stendimento dipende sia dal numero di ricevitori, sia dall'interdistanza geofonica utilizzata.

A parità di numero di ricevitori una interdistanza geofonica maggiore consente di avere uno stendimento più lungo e quindi una maggiore risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata numero d'onda k; tuttavia, si riduce il numero d'onda di Nyquist oltre cui non si ha certezza sull'affidabilità del segnale misurato. Viceversa, l'interspazio geofonico più piccolo consente un intervallo più ampio di numeri d'onda, ma comporta una minore risoluzione della curva di dispersione lungo i numeri d'onda. Il numero d'onda di Nyquist è pari a:

kNyquist =  $\pi / \Delta x$ 



dove  $\Delta x$  è il minimo interasse tra i ricevitori. La risoluzione della curva di dispersione lungo la coordinata k è pari a:

$$\Delta k = \frac{2\pi}{N * \Delta x}$$

dove N è il numero di ricevitori dello stendimento<sup>8</sup>.

Al fine di mitigare l'effetto delle onde P e S nel Near-Field<sup>9</sup>, la scelta della distanza tra il punto di energizzazione e il primo ricevitore dipende dalla spaziatura intergeofonica adottata.

### 2.2.3 ELABORAZIONE DATI

Operativamente l'elaborazione dei dati MASW può essere suddivisa in tre fasi principali<sup>10</sup>:

- 1. calcolo della curva di dispersione;
- 2. calcolo della velocità di fase apparente numerica;
- 3. individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson u ), la densità di massa r degli strati che costituiscono il modello del suolo, 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 assegnato.

Il modello di sottosuolo e di conseguenza il profilo di velocità delle onde di taglio possono essere individuati con procedura manuale, con procedura automatica, o con una combinazione delle due.

Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson u, la densità di massa r e si variano lo spessore h e la velocità Vs degli strati.

Nella procedura manuale l'operatore assegna diversi valori delle velocità Vs e degli spessori h, cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica<sup>11</sup> la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva teorica.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Roma, 2001;2002

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Roy and Jakka, 2017

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Roma, 2002

<sup>&</sup>lt;sup>11</sup> Roma, 2001; 2002



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 9 di 35

# 2.3 RISULTATI INDAGINI

DENOMINAZIONE:						
2.3.1 Prova MW1						
N. GEOFONI:	Step	LUNGHEZZA	Passo di	OFFSET	CAMPIONI ACQUISITI PER	QUOTA
	INTERGEOFONICO	STENDIMENTO	CAMPIONAMENTO		CANALE	
24	1,5 m	34,5 m	2 millisec.	5.0 m	2048	320 m. s.l.m.



Figura 3 – Immagine dello stendimento durante la fase di acquisizione



Figura 4 – Serie tracce temporali acquisite (sn.); spettro f-k (dx.)



TUMMINIA

BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

Pag. 10 di 35



Figura 5 – Curva di dispersione sperimentale



Figura 6 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), Curva apparente (blu), curva numerica (magenta); modi di Rayleigh (ciano)



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 11 di 35

La modellazione del sottosuolo con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale dell'andamento delle Vs in sottosuolo.



Figura 7 – Modello Vs del sottosuolo

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	152	0,007
2	1.0-3.0	2,0	168	0,012
3	3.0-6.0	3,0	179	0,017
4	6.0-10.0	4,0	283	0,014
5	10.0-14.0	4,0	351	0,011
6	14.0-19.0	5,0	363	0,014
7	19.0-24.0	5,0	382	0,013
8	26.0-30.0	6,0	394	0,015
Σ		30,0	Σ	0,103
			Vs, <sub>eq</sub> =	291,64

Il sottosuolo in oggetto è riconducibile alla Categoria C di cui al D.M. 17/01/2018.



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 12 di 35

DENOMINAZIONE:						
2.3.2 Prova MW2						
N. GEOFONI:	Step	LUNGHEZZA	Passo di	Offset	CAMPIONI ACQUISITI PER	QUOTA
	INTERGEOFONICO	STENDIMENTO	CAMPIONAMENTO		CANALE	
24	1,5 m	34,5 m	2 millisec.	5.0 m	2048	382 m. s.l.m.



Figura 8 – Immagine dello stendimento durante la fase di acquisizione



Figura 9 – Serie tracce temporali acquisite (sn.); spettro f-k (dx.)



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 13 di 35



Figura 10 – Curva di dispersione sperimentale



Figura 11– Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), Curva apparente (blu), curva numerica (magenta); modi di Rayleigh (ciano)



Pag. 14 di 35

La modellazione del sottosuolo con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale dell'andamento delle Vs in sottosuolo.



Figura 12 – Modello Vs del sottosuolo

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	175	0,006
2	1.0-3.0	2,0	272	0,007
3	3.0-6.0	3,0	309	0,010
4	6.0-10.0	4,0	253	0,016
5	10.0-14.0	4,0	386	0,010
6	14.0-19.0	5,0	457	0,011
7	19.0-24.0	5,0	506	0,010
8	26.0-30.0	6,0	512	0,012
Σ		30,0	Σ	0,081
			Vs, <sub>eq</sub> =	368,14

Il sottosuolo in oggetto è riconducibile alla Categoria B di cui al D.M. 17/01/2018.



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 15 di 35

DENOMINAZIONE:							
2.3.3 Prova MW3							
N. GEOFONI:	Step	LUNGHEZZA	Passo d	DI	Offset	CAMPIONI ACQUISITI PER	QUOTA
	INTERGEOFONICO	STENDIMENTO	CAMPIONAMENTO			CANALE	
24	1,5 m	34,5 m	2 millisec.		5.0 m	2048	420 m. s.l.m.



Figura 13 – Immagine dello stendimento durante la fase di acquisizione



Figura 14 – Serie tracce temporali acquisite (sn.); spettro f-k (dx.)



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 16 di 35



Figura 15 – Curva di dispersione sperimentale



Figura 16 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), Curva apparente (blu), curva numerica (magenta); modi di Rayleigh (ciano)



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

### TUMMINIA

Pag. 17 di 35

La modellazione del sottosuolo con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale dell'andamento delle Vs in sottosuolo.



Figura 17 – Modello Vs del sottosuolo

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	234	0,004
2	1.0-3.0	2,0	343	0,006
3	3.0-6.0	3,0	407	0,007
4	6.0-10.0	4,0	505	0,008
5	10.0-14.0	4,0	609	0,007
6	14.0-19.0	5,0	673	0,007
7	19.0-24.0	5,0	701	0,007
8	26.0-30.0	6,0	707	0,008
Σ		30,0	Σ	0,055
			Vs, <sub>eq</sub> =	545,33

Il sottosuolo in oggetto è riconducibile alla Categoria B di cui al D.M. 17/01/2018.



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 18 di 35

DENOMINAZIONE:							
2.3.4 Prova MW4							
N. GEOFONI:	Step	LUNGHEZZA	Passo	DI	Offset	CAMPIONI ACQUISITI PER	QUOTA
	INTERGEOFONICO	STENDIMENTO	CAMPIONAMENTO			CANALE	
24	1,5 m	34,5 m	2 millisec.		5.0 m	2048	460 m. s.l.m.



Figura 18 – Immagine dello stendimento durante la fase di acquisizione



Figura 19 – Serie tracce temporali acquisite (sn.); spettro f-k (dx.)



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 19 di 35



Figura 20 – Curva di dispersione sperimentale



Figura 21 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), Curva apparente (blu), curva numerica (magenta); modi di Rayleigh (ciano)



Pag. 20 di 35

La modellazione del sottosuolo con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale dell'andamento delle Vs in sottosuolo.



Figura 22 – Modello Vs del sottosuolo

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	231	0,004
2	1.0-3.0	2,0	272	0,007
3	3.0-6.0	3,0	281	0,011
4	6.0-10.0	4,0	422	0,009
5	10.0-14.0	4,0	443	0,009
6	14.0-19.0	5,0	450	0,011
7	19.0-24.0	5,0	454	0,011
8	26.0-30.0	6,0	460	0,013
Σ		30,0	Σ	0,076
			Vs <sub>,eq</sub> =	394,56

Il sottosuolo in oggetto è riconducibile alla Categoria B di cui al D.M. 17/01/2018.



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 21 di 35

DENOMINAZIONE:								
2.3.5 PROVA MW5								
N. GEOFONI:	Step	LUNGHEZZA	Passo	DI	Offset	CAMPIONI ACQUISITI PER	QUOTA	
	INTERGEOFONICO	STENDIMENTO	CAMPIONAMENTO			CANALE		
24	1,5 m	34,5 m	2 millisec.		5.0 m	2048	470 m. s.l.m.	



Figura 23 – Immagine dello stendimento durante la fase di acquisizione



Figura 24 – Serie tracce temporali acquisite (sn.); spettro f-k (dx.)



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

### TUMMINIA

Pag. 22 di 35



### Figura 25 – Curva di dispersione sperimentale



Figura 26 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), Curva apparente (blu), curva numerica (magenta); modi di Rayleigh (ciano)



Pag. 23 di 35

La modellazione del sottosuolo con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale dell'andamento delle Vs in sottosuolo.



Figura 27 – Modello Vs del sottosuolo

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	209	0,005
2	1.0-3.0	2,0	287	0,007
3	3.0-6.0	3,0	406	0,007
4	6.0-10.0	4,0	435	0,009
5	10.0-14.0	4,0	358	0,011
6	14.0-19.0	5,0	417	0,012
7	19.0-24.0	5,0	465	0,011
8	26.0-30.0	6,0	477	0,013
Σ		30,0	Σ	0,075
			Vs <sub>,eq</sub> =	400,89

Il sottosuolo in oggetto è riconducibile alla Categoria B di cui al D.M. 17/01/2018.



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 24 di 35

DENOMINAZIONE:								
2.3.6 Prova MW6								
N. GEOFONI:	Step	Lunghezza	Passo d	OFFSET	CAMPIONI ACQUISITI PER	QUOTA		
	INTERGEOFONICO	STENDIMENTO	CAMPIONAMENTO		CANALE			
24	1,5 m	34,5 m	2 millisec.	5.0 m	2048	458m. s.l.m.		



Figura 28 – Immagine dello stendimento durante la fase di acquisizione



Figura 29 – Serie tracce temporali acquisite (sx); spettro f-k (dx)



TUMMINIA

BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

Pag. 25 di 35



Figura 30 – Curva di dispersione sperimentale



Figura 31 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), Curva apparente (blu), curva numerica (magenta); modi di Rayleigh (ciano)



Pag. 26 di 35

La modellazione del sottosuolo con il metodo MASW ha consentito la ricostruzione di un profilo monodimensionale dell'andamento delle Vs in sottosuolo.



Figura 32- Modello Vs del sottosuolo

Intervallo	Profondità (m)	H (m)	Vs (m/s)	H/Vs
1	0.0-1.0	1,0	179	0,006
2	1.0-3.0	2,0	248	0,008
3	3.0-6.0	3,0	319	0,009
4	6.0-10.0	4,0	458	0,009
5	10.0-14.0	4,0	532	0,008
6	14.0-19.0	5,0	547	0,009
7	19.0-24.0	5,0	559	0,009
8	26.0-30.0	6,0	579	0,010
Σ		30,0	Σ	0,068
			Vs <sub>,eq</sub> =	442,77

Il sottosuolo in oggetto è riconducibile alla **Categoria B** di cui al D.M. 17/01/2018.



### 3. DESCRIZIONE DEI RISULTATI

Le prospezioni eseguite all'interno dell'area d'impianto hanno fornito modelli di sottosuolo piuttosto differenti fra loro. Solamente il sottosuolo del sito di prova 1 ricade in categoria C, mentre tutti gli altri ricadono nella categoria B di cui alle NTC 2018. Pur tuttavia, anche in questi modelli sono emerse significative differenze. Allo scopo di permettere un più agevole confronto, i cinque profili sono stati riuniti all'interno del medesimo grafico, di seguito allegato.



## Vs Model

### Shear-Wave Velocity, m/s

Come è possibile osservare, il profilo a maggiore rigidezza è risultato il n. 3, il quale mostra un andamento delle Vs gradualmente crescente verso il basso, con valori di Vs che si stabilizzano intorno a 700



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

#### TUMMINIA

Pag. 28 di 35

m/s a 14 m di profondità; il valore di Vs,eq è il più alto osservato, pari a 545 m/s. Al contrario, il sottosuolo meno rigido è risultato essere in corrispondenza del sito n. 1, in cui fino alla profondità di 6 m si hanno terreni poco rigidi, con Vs inferiori a 200 m/s. Questo piuttosto lento del tratto profilo ha notevolmente condizionato il valore del Vs,eq, che giunge solamente a 291 m/s; pertanto, il sottosuolo ricade in piena Categoria C. Inoltre, i profili 1, 2, 4, e 5, a partire dalla profondità di 10 m circa mostrano un andamento similare, pur nelle differenti velocità osservate. Di estrema



importanza è pertanto la prima parte del profilo, che di fatto condiziona sensibilmente il valore complessivo della media equivalente nei trenta metri analizzati. In particolare, il profilo 4, pur rientrando in Categoria B, mostra delle similitudini con il profilo 1 per la presenza di uno strato superficiale più tenero e meno addensato, spesso circa 6 m, che si sovrappone ad un substrato più rigido. Nei profili 2 e 5, invece, si possono osservare alcune inversioni di velocità (a -6 m nella prova 2, a -10 m nella prova 5), che indicano la sovrapposizione di uno strato più compatto al di sopra di uno più tenero. Normalmente, per via dell'incremento del carico litostatico, le Vs aumentano gradualmente verso il basso; l'esistenza di un'inversione di velocità potrebbe essere correlata o a fattori stratigrafici, oppure alla presenza di orizzonti di taglio. Entro i 30 metri non viene mai raggiunta la soglia degli 800 m/s, per cui, nell'espressione della velocità equivalente Vs introdotta dal D.M. 17.01.18, il termine H assume sempre il valore di 30 m.





Pag. 29 di 35

A seguire viene esposto anche un grafico riassuntivo dei valori di Vs<sub>eq</sub> ottenuti attraverso le prospezioni MASW, dove vengono riportati valori di velocità delle onde di taglio (Vs) nei primi dieci metri di profondità secondo gli intervalli 0-1 m, 1-3 m, 3-6 m e 6-10 m. Per questi intervalli vi è indicata una stima della consistenza e dei parametri elasto-dinamici, in particolare i moduli di rigidità e di volume, nonché il modulo di elasticità sia dinamico che statico (Tab. 1). I terreni ad elevata consistenza, con valore di Vs superiore a 600 m/s, presentano generalmente caratteristiche simili a rocce compatte, a consistenza litoide.

Consistenza/rigidezza del terreno	Bassa	Media	Medio-alta	Elevata
Velocità delle onde di taglio Vs (m/s)	<180	180-300	300-600	>600
Modulo di Rigidità (Kg/cmq)	<526,0	526,0-1800,3	1800,3-7143,1	>7143,1
Modulo di Volume (Kg/cmq)	<1896,2	1896,2-26403,9	26403,9-36938,6	>36938,6
Modulo di elasticità dinamico (Kg/cmq)	<1444,44	1444,44-5280,8	5280,8-21107,8	>21107,8
Modulo di elasticità statico (Kg/cmq)	<37,38	37,38-282,5	282,5-2452,8	>2452,8

Taballa	1	Daramat	ri alacta	dina	mici
IdDella	Τ-	raiamet	II Elasic	-una	IIICI.

Tabella	2 –	Consistenza,	/rigidezza	dei	terreni.
---------	-----	--------------	------------	-----	----------

MASW N°.	Vs, <sub>eq</sub> (m/s)	Categoria sottosuolo	Vs (m/s) 0 -1m	Vs (m/s) 1 - 3m	Vs (m/s) 3 - 6m	Vs (m/s) 6 - 10m
1	292	С	152	168	179	283
2	368	В	175	272	309	253
3	545	В	234	343	407	505
4	395	В	231	272	281	422
5	441	В	209	287	406	435
6	443	В	179	248	319	458



Dalla tabella 2 sopra esposta si osserva che i terreni analizzati ricadono nella Categoria B e C, cui alle N.T.C. 2018, con prevalenza dei terreni di tipo B. Inoltre, per quanto sopraindicato, nei primi 10 m di profondità in nessuna delle indagini MASW eseguite vengono intercettati terreni caratterizzati da consistenza/rigidezza elevata (Vs > 600m/s); mentre prevalgono suoli distinti da valori medi e medio/bassi. L'indagine 1 è chiaramente contrassegnata dalla presenza di terreni con consistenza/rigidezza bassa fino a 6 m di profondità. Per le diverse prospezioni è stata indicata in tabella anche la tipologia della formazione affiorante riportata nella Carta Geologica d'Italia, scala 1:50000, Foglio "Caccamo"<sup>12</sup>.

L'indagine 6 è stata eseguita in corrispondenza di un'area di progetto e ricadente nell'area comunale di Villafrati (PA), a circa 4 km a sud dall'area di impianto (area in cui sono state eseguite le precedenti 5 MASW). Sotto il profilo geolitologico quest'area è caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari costituiti da ghiaie, ciottoli e massi in matrice siltosa-argillosa e da coltri eluvio-colluviali.

Il profilo Vs 1-D della MASW numero 6 è caratterizzato dalla presenza di un sottosuolo poco rigido nei primi 6 metri di profondità. Il primo metro, poco compatto, è caratterizzato da valori di VS bassi, pari a 179 m/s. Successivamente, tra 1 e 6 metri, le velocità aumentano e si collocano nel range dei valori medio e medio-elevati (248 e 319 m/s). A partire da circa 6 m di profondità, si osserva un gradino di crescita più netto e le velocità passano da 319 m/s a 458 m/s, dunque, nella parte superiore del range dei valori medio-elevati; ciò è indice di un chiaro passaggio ai litotipi più competenti (limi, sabbie, ghiaie e ciottoli). All'aumentare della profondità i valori di Vs continuano ad aumentare ulteriormente, raggiungendo il valore massimo di 579 m/s a partire da 26 m di profondità, ciò è associabile sia alla presenza di litotipi sempre più rigidi e compatti, sia al progressivo incremento del carico litostatico.

Il geologo (Dott. Graziano Patti) DELGA RAZIANO 3500

<sup>12</sup> Catalano et al, 2010



### **BIBLIOGRAFIA**

- Aki, K., & Richards, P. G. (1980). Quantitative Seismology, Theory and Methods, Vol. 1 WH Freeman & Co. New York.
- Bolt, B.A. (1976) "Nuclear Explosions and Earthquakes", W.H. Freeman and company.
- Catalano, R., Avellone, G., Basilone, L., Gasparo Morticelli, M., & LO, C. G. (2010). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 50.000. Foglio 608 "Caccamo" e carta geologica allegata. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- Dal Moro, G. (2012). Onde di superficie in geofisica applicata: acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR. Dario Flaccovio.Editore
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, 64(3), 800-808.
- Rayleigh, J.W.S. (1885), "On Waves propagated along the Plane Surface of an Elastic Solid," Proceedings of the London mathematical Society, Vol. 17, pp. 4-11.
- Roma, V. (2001). Soil properties and site characterization by means of Rayleigh waves. PhD Degree in Geotechnical Engineering, Department of Structural and Geotechnical Engineering, Technical University of Turin (Politecnico), Italy.
- Roma, V. (2002, April). Automated inversion of Rayleigh geometrical dispersion relation for geotechnical soil identification. In 3rd World Conference on Structural Control (pp. 7-12).
- Roma, V., Hebeler, G., Rix, G., & Lai, C. G. (2002, September). Geotechnical soil characterization using fundamental and higher Rayleigh modes propagation in layered media. In XII European Conference on Earthquake Engineering, London (pp. 9-13).
- Roy, N., & Jakka, R. S. (2017). Near-field effects on site characterization using MASW technique. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 97, 289-303.
- Stokoe, K. H., & Santamarina, J. C. (2000, November). Seismic-wave-based testing in geotechnical engineering. In ISRM International Symposium. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.



BOL1-SOL-FV-MA-EST-0001\_00

TUMMINIA

Pag. 32 di 35

**TAVOLE E ALLEGATI** 

Solaria Promozione e Sviluppo Fotovoltaico, S.r.l. – Gruppo Solaria Energía y Medio Ambiente S.A.





Ubicazione prospezioni Masw su base CTR in scala 1:10.000 e dettaglio su ortofoto in scala 1:2.000











