



REGIONE  
PUGLIA



PROVINCIA  
LECCE



COMUNE NARDÒ

OGGETTO:

Progetto di un impianto agrivoltaico denominato "CSPV LEVERANO", di potenza pari a 19.578 MWp e delle relative opere di connessione alla RTN, da realizzarsi nel comune di Nardò (LE)

ELABORATO:

## INDAGINI GEOGNOSTICHE



PROPONENTE:



ABEI ENERGY GREEN ITALY VI S.R.L.  
VIA VINCENZO BELLINI, 22  
00198- ROMA (RM)  
P.IVA 16335531006

PROGETTAZIONE:

Ing. Carmen Martone  
Iscr. n. 1872  
Ordine Ingegneri Potenza  
C.F. MRTCMN73D56H703E



Geol. Raffaele Nardone  
Iscr. n. 243  
Ordine Geologi Basilicata  
C.F. NRDRFL71H04A509H

EGM PROJECT S.R.L.  
VIA VERRASTRO 15/A  
85100- POTENZA (PZ)  
P.IVA 02094310766  
REA PZ-206983

Livello prog.	Cat. opera	N° . prog.elaborato	Tipo elaborato	N° foglio	Tot. fogli	Nome file	Scala
PD	I.IF	A.03.1	R				

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	DICEMBRE 2022	Emissione	Dott. Maria A. Ruggiero	Geol. Raffaele Nardone EGM Project	Geol. Raffaele Nardone EGM Project
01	GENNAIO 2023	Emissione	Dott. Maria A. Ruggiero	Geol. Raffaele Nardone EGM Project	Geol. Raffaele Nardone EGM Project

## Sommario

1. Premessa.....	2
2. Prospezioni sismiche di tipo Masw .....	3
2.1. Elaborazione dati .....	5
2.2. Interpretazione.....	5
2.2.1 Interpretazione della MASW 01 .....	7

## 1. Premessa

Nell’ambito delle “Progetto per l’impianto fotovoltaico Leverano della potenza nominale 19,58 MWp in provincia di Lecce – Comune di Nardò (Le) -” sono state effettuate le seguenti lavorazioni:

- Esecuzione di n° 1 Indagine sismica di tipo MASW;

Tali indagini sono state eseguite in conformità a quanto disposto da D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le Costruzioni”, oltre che secondo le modalità tecnologiche dell’ANISIG.

Si riportano in allegato alla presente:

1. Carta ubicazione delle indagini.

## **2. Prospezioni sismiche di tipo Masw**

MASW è l'acronimo di Multi-channel Analysis of Surface Waves (Analisi Multi-canale di Onde di Superficie). Ciò indica che il fenomeno che si analizza è la propagazione delle onde di superficie, essa consiste nella registrazione della propagazione di una classe di onde di superficie (specificatamente delle onde di Rayleigh). Più in dettaglio, le onde di Rayleigh vengono generate da una sorgente ad impatto verticale (in genere mediante massa battente del peso di 10 Kg su piastra in alluminio) o da un cannoncino sismico e vengono poi registrate tramite geofoni a componente verticale a frequenza propria di 4.5 Hz.

Pertanto, si analizza la dispersione delle onde di superficie sapendo che frequenze diverse - e quindi lunghezze d'onda diverse - viaggiano a velocità diversa. Il principio di base quindi è piuttosto semplice: le varie componenti (frequenze) del segnale (cioè della perturbazione sismica che si propaga) viaggiano ad una velocità che dipende dalle caratteristiche del mezzo.

In particolare, le lunghezze d'onda più ampie (cioè le frequenze più basse) sono influenzate dalla parte più profonda (in altre termini “sentono” gli strati più profondi), mentre le piccole lunghezze d'onda (le frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale.

Poiché tipicamente la velocità delle onde sismiche aumenta con la profondità, ciò si rifletterà nel fatto che le frequenze più basse (delle onde di superficie) viaggeranno ad una velocità maggiore rispetto le frequenze più alte.

La strumentazione utilizzata è il sismografo W2Z a 24 canali Wireless della DOLANG GEOPHYSICAL dalle seguenti caratteristiche tecniche: gestione a microprocessore, Sampling Frequency 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz, 16000 Hz; Number of samples in trigger mode 256, 516, 1024, 4096, 8192, 16384; risoluzione a 24 bit; acquisizione dei dati e codifica dei file in formato Seg-2-Y E DAT.

INDAGINI GEOGNOSTICHE

I geofoni sono connessi al pc in modalità wireless con range massimo di 500 m in campo aperto con la possibilità di inserire in serie 256 geofoni con frequenza propria di 4,5 Hz, il sensore trigger è inserito all'interno della mazza battente di 10 kg.



Le indagini si sono svolte secondo la seguente geometria:

- Numero di geofoni:12
- Spaziatura tra i geofoni: 2 m
- Numero di offset: 2 rispettivamente a 9, 10; m dal primo geofono.

Per l'interpretazione dei dati è stato utilizzato il software WinMasw Pro 4.4.2 della EliaSoft. I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (.sgy format file). Il software a questo punto permette di sommare due dataset acquisiti con offset diversi in modo da ottenere un unico dataset equivalente ad un'acquisizione effettuata con 24 canali e spaziatura tra i geofoni pari a B/2 rispetto a quella utilizzata in campagna.



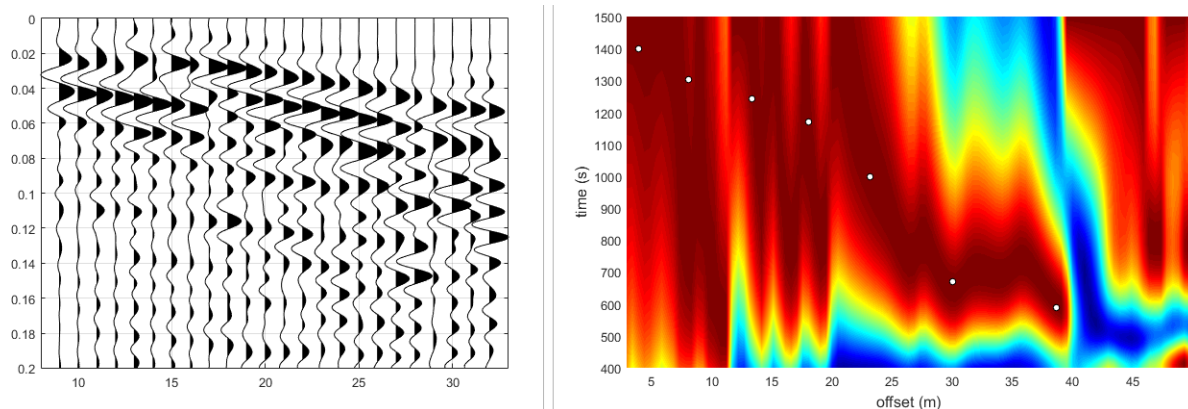
**Nota bene:** si ottiene un dataset in cui la spaziatura dei geofoni è pari a B/2

## 2.1. Elaborazione dati

L’analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale “phase velocity-frequency (c-f)” che analizza l’energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. Dallo spettro bidimensionale ottenuto dalle registrazioni è possibile distinguere il “modo fondamentale” delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple). Sullo spettro di frequenza viene eseguito un “picking” attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l’analisi della curva di dispersione e l’ottimizzazione di un modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon “fitting” con i valori sperimentali.

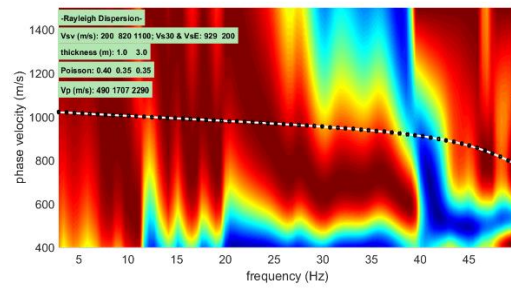
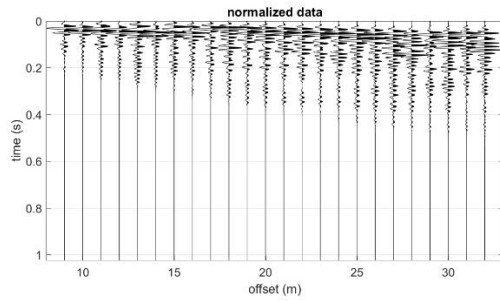
## 2.2. Interpretazione

### Masw 01.



Nelle figure sottostanti sono riportati i risultati dell’inversione della curva di dispersione determinata tramite analisi di dati MASW. In alto a sinistra: spettro osservato, curve di dispersione piccate e curve del modello individuato dall’inversione. Sulla destra il profilo verticale  $V_s$  identificato (vedi anche Tabella 1). In basso a sinistra l’evolversi del modello al passare delle “generazioni” (l’algoritmo utilizzato per l’inversione delle curve di dispersione appartiene alla classe degli Algoritmi Genetici – Dal Moro et al., 2007).



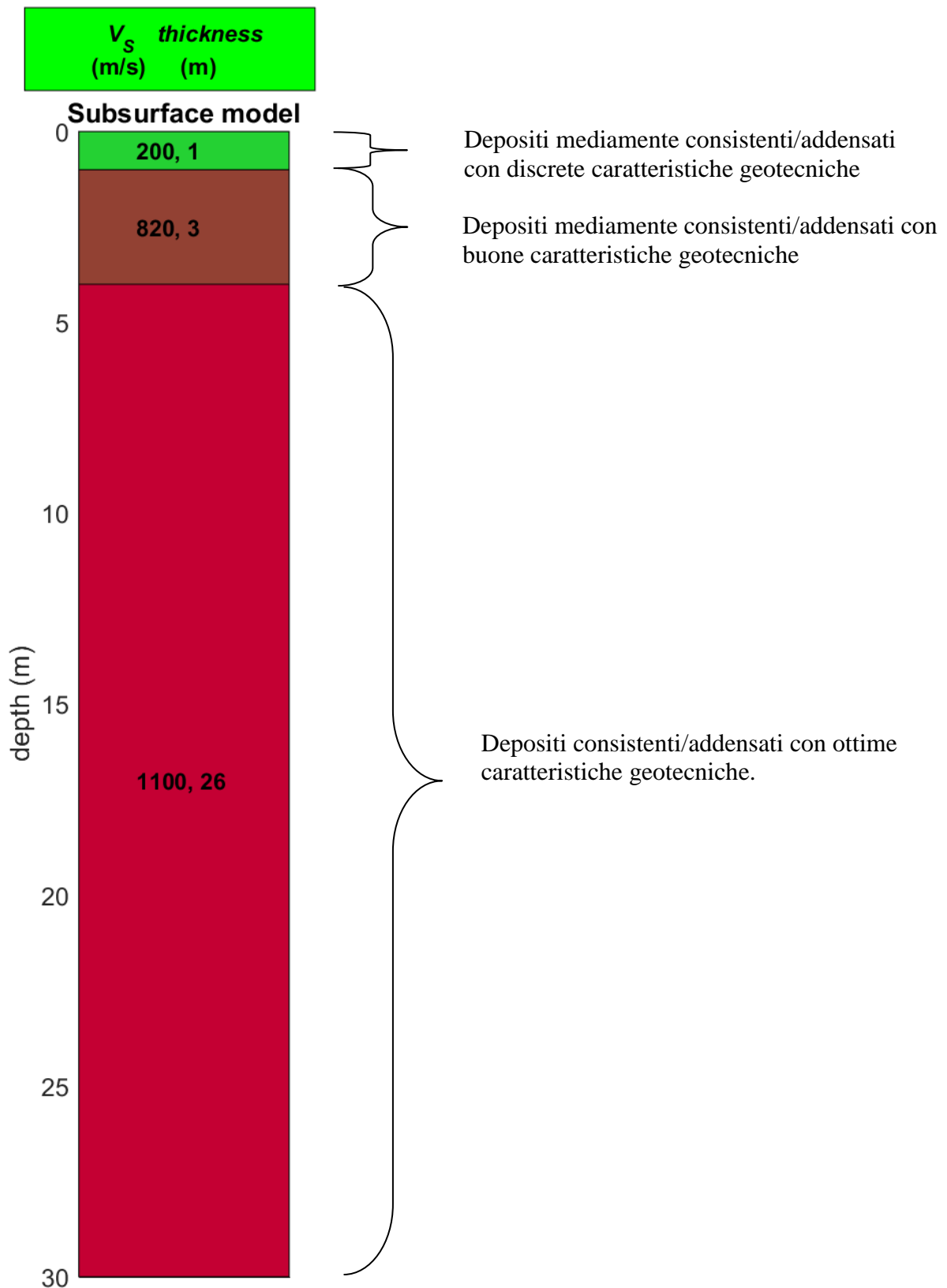


## 2.2.1 Interpretazione della MASW 01

In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una  $V_{seq} > 800$  m/s a partire dal p.c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”.

Spessore (m)	VS (m/s) e deviazioni standard
1.0	200±1.2
3.0	820±2.6
<i>semi-spazio</i>	1100±8





La stratigrafia del sottosuolo può essere assimilata ad un modello costituito da tre sismostrati in cui:

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 1.00 m, con velocità media delle onde di taglio di 200 m/s e corrisponde a depositi poco consistenti e con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 3.00 m, con velocità media delle onde di taglio di 820 m/s e corrisponde a depositi con buone caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 4.00 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione presenta velocità  $V_{seq}$  media di 1100 m/s ed è riferibile a depositi con ottime caratteristiche geotecniche.

### **Calcolo dei parametri elastici dinamici dei terreni**

A partire dai valori di velocità delle onde sismiche  $V_S$  (m/s), ed adottando opportuni valori del Peso di volume  $\gamma$  ( $g/cm^3$ ) e del rapporto di Poisson rappresentativo dei litotipi presenti, è possibile inoltre stimare attraverso relazioni empiriche, la velocità delle onde di compressione  $V_P$  e i moduli dinamici del sottosuolo per ogni orizzonte sismico individuato.

La velocità delle onde P è stata ricavata empiricamente attraverso la seguente relazione:

$$V_P^2 = V_S^2 * (2-2\lambda)/(1-2\lambda)$$

Sono stati definiti inoltre i seguenti moduli dinamici:

### - Modulo di taglio dinamico (G)

È definito dalla seguente equazione:

$$G = \gamma \cdot V_s^2$$

Dove  $\gamma$  = densità

Tale parametro è fortemente dipendente dalla porosità e dalla pressione; assume valori più bassi in litotipi ad alta porosità, sottoposti a basse pressioni e saturati in acqua.

### - Modulo di Young (E<sub>a</sub>)

È definito dalla seguente equazione:

$$E_a = [V_p^2 \cdot \gamma \cdot (1+\lambda) \cdot (1-2\lambda)] / (1-\lambda)$$

Con  $\lambda$  = coeff. di Poisson

### Rigidità sismica

$$R_s = \gamma V_s$$

Tale modulo dipende dalla porosità e dalla pressione litostatica.

### Modulo di incompressibilità dinamica

È definito dalla seguente equazione:

$$K = \gamma[V_p^2 - 4/3 \cdot V_s^2]$$

ed è detto *Bulk Modulus*.

### Calcolo dei parametri elastici statici dei terreni

I moduli elastici dinamici sono misurati per piccole deformazioni (<10<sup>-4</sup>) e si osserva che i loro valori decrescono con l'aumentare delle deformazioni. I moduli elastici statici misurati in laboratorio sono pertanto più piccoli di quelli misurati in sito e delle correlazioni empiriche permettono di ottenerli partendo da quelli elastici dinamici.

Nelle misure di laboratorio il rapporto Ed/Es (Ed modulo di Young o elastico dinamico -Es modulo di Young o elastico statico) è comunemente 2.0 ( Cheng and Johnston, 1981), ma per misure in sito questo rapporto varia fra 1.5 e 9.1 (Gudmundsson, 1990; Link, 1968).

Rzhevsky e Novik hanno proposto le seguente relazione:

$$E_{din}=8.3 E_{stat}+0.97 \quad E_{stat}= (E_{din}-0.97)/8.3$$

Massarch (1984) ha proposto la seguente relazione per passare dal modulo di taglio dinamico a quello statico :

$$G_{stat}=R \cdot G$$

Dove R è un parametro che 0.18 per le ghiaie, 0.15 per le sabbie mediamente dense e 0.11 per le argille, dai due parametri si ricavano gli altri parametri elastici.

Modulo di Poisson  $\nu=(E-2G)/(2G)$

Modulo di compressibilità volumetrico  $K=G \cdot E/[3(3G-E)]$

Modulo edometrico  $E_{ed}=G \cdot (4G-E)/(3G-E)$

Modulo di carico su piastra  $M_e=16G^2/[\pi(4G-E)]$

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 01**

STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma$ g/c m <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG E Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/c m <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO G Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità K Kg/cm <sup>2</sup>
1	1,00	346	200	1,88	0,25	1880	0,376	752	1253
2	3,00	1420	820	2,18	0,25	36646	1,788	14658	24431
3	26,00	1905	1100	2,26	0,25	68365	2,486	27346	45577

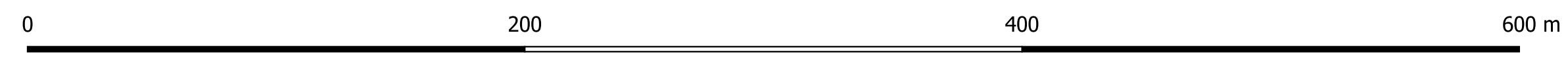
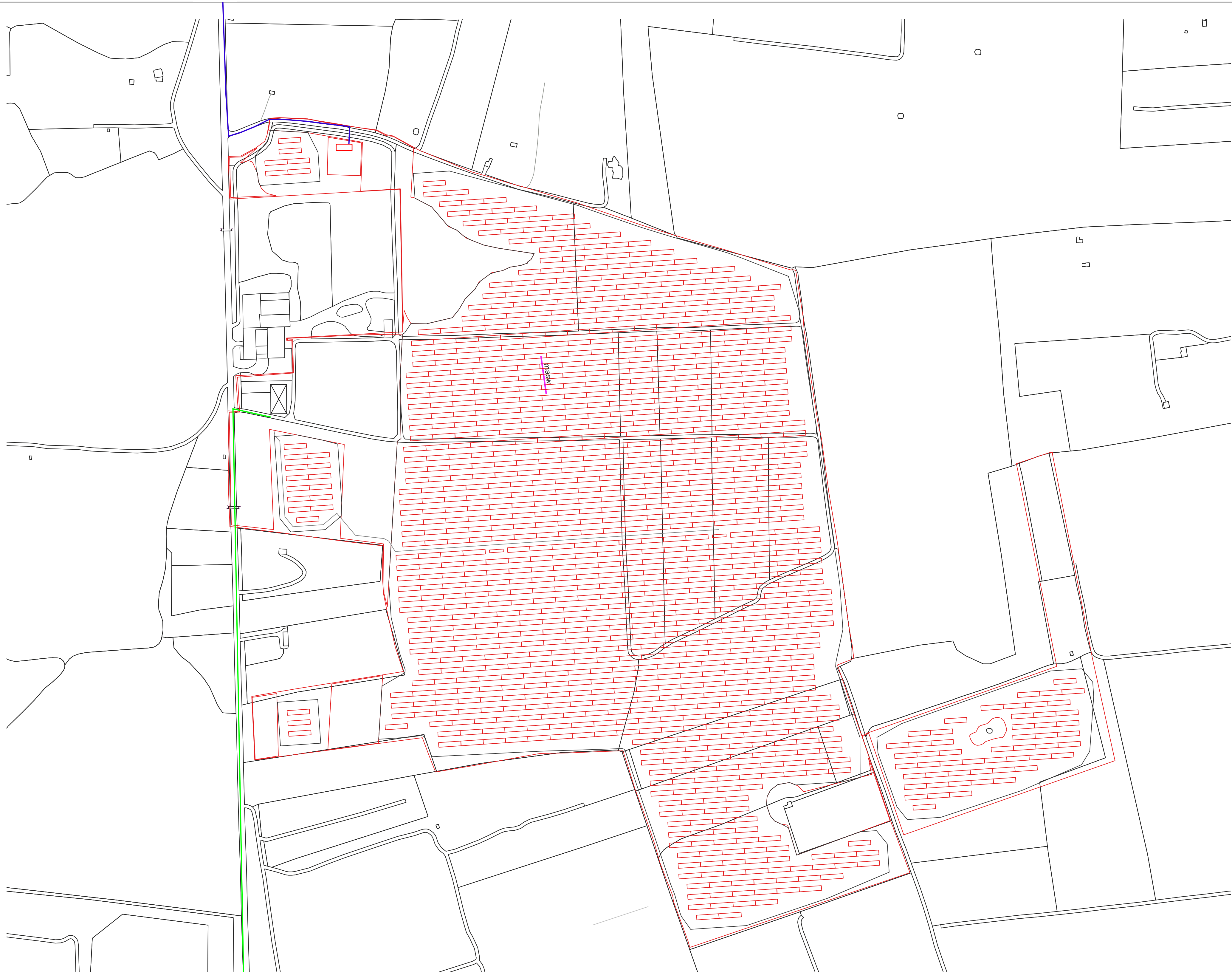
**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 01**

STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	1,00	346	1,88	0,25	295,77	226,39	241	97,76	276
2	3,00	1420	2,18	0,25	5769,19	4415,06	4695	1905,54	10773
3	26,00	1905	2,26	0,25	8303,47	8236,63	8759	3554,98	13398

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018), il sito in esame rientra quindi nella categoria **A** ovvero:

- **Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.**

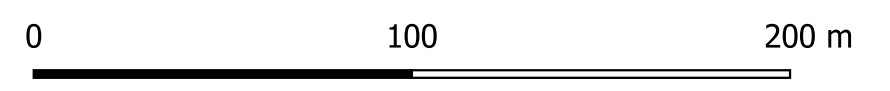
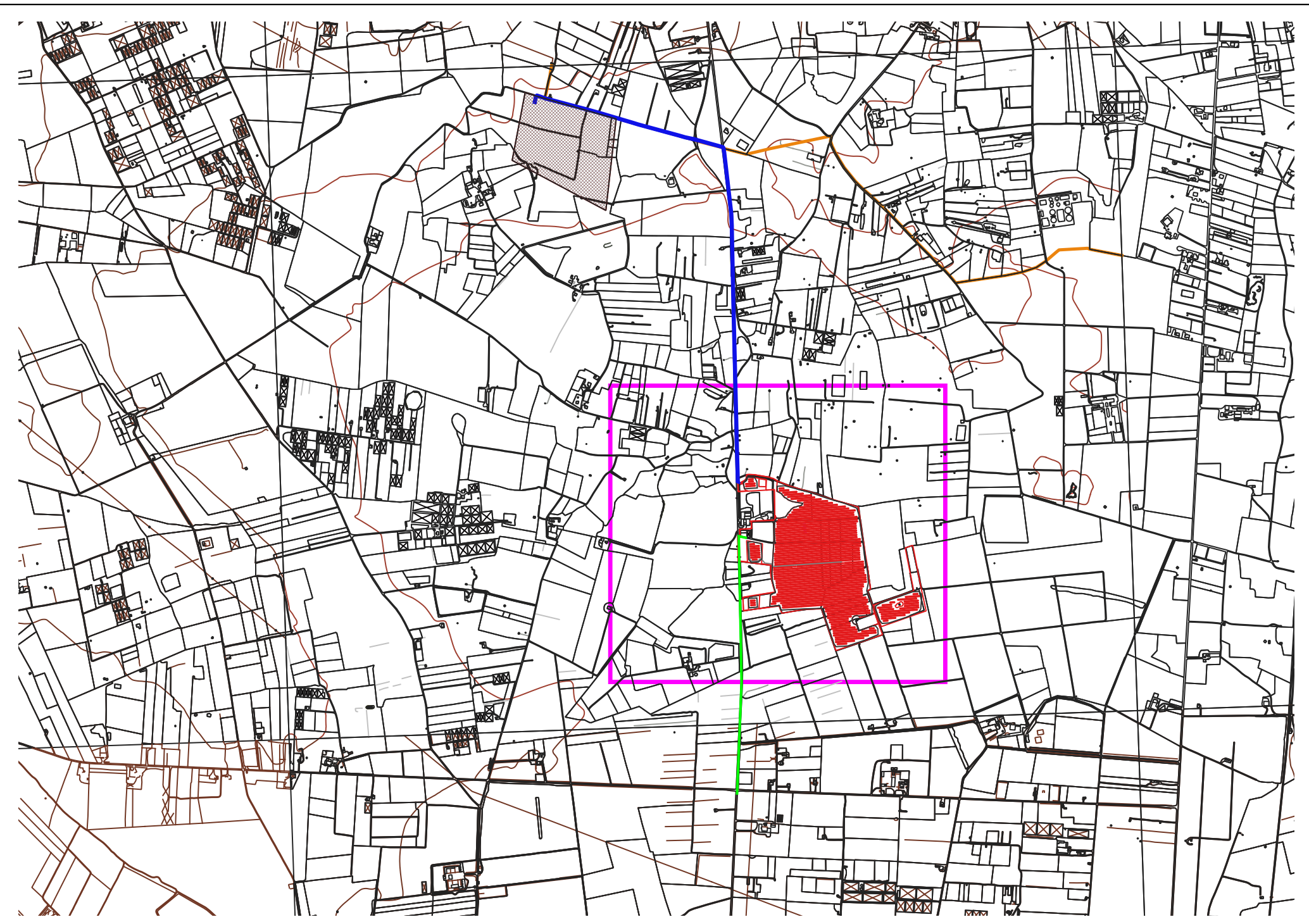




**LEGENDA**

Area impianto fotovoltaico.

Indagine sismica di tipo MASW



**OGGETTO:**  
 Progetto di un impianto agrivoltaico denominato "CSPV LEVERANO", di potenza pari a 19.578 MWp e delle relative opere di connessione alla RTN, da realizzarsi nel comune di Nardò (LE)

**ELABORATO:**  
**CARTA GEOMORFOLOGICA**



**PROPRONTE:**  
**ABEI ENERGY GREEN ITALY VI S.R.L.**  
 16335531006  
 VIA VINCENZO BELLINI, 22  
 00198 - ROMA (RM)

**PROGETTAZIONE:**  
 Ing. Carmine Martone  
 Iscr. n.1872  
 Ordine Ingegneri Potenza  
 C.F. MRTCMN73D56H703E  
**EGM PROJECT**  
 Geol. Raffaele Nardone  
 Iscr. n.2248  
 Ordine Geologi Basilicata  
 C.F. NRDRFL11H4AS09H  
**EGM PROJECT S.R.L.**  
 VIA VERRASTRO 15/A  
 85100 - POTENZA (PZ)  
 P.IVA 02094310766  
 REA PZ-206983

Livello prog.	Cat. opera	N° prog.elaborato	Tipo elaborato	N° foglio	Tot. fogli	Nome file	Scala
PD	I.IF	A.37	R				1: 2000

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO
00	DICEMBRE 2022	Emissione	Dot. Maria A. Ruggieri	Geol. Raffaele Nardone	Geol. Raffaele Nardone