

# PROVINCIA DI MATERA

## COMUNE DI SALANDRA E DI SAN MAURO FORTE

LOCALITA':

PROGETTO:

**INTERVENTO PER L'ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE"**

TITOLO DOCUMENTO:

### RAPPORTO DELLE INDAGINI

REFERENTE PER LO SVILUPPO DEL PROGETTO



**ENERGY CONSULTING & SERVICES ITALY s.r.l.**

N. REA 2639769 C.C.I.A.A. di Milano  
Corso Matteotti, 1 - 20121 Milano (MI)  
energyconsultingervicesitaly srl@legalmail.it  
CF/P.IVA 12085480965

SOGGETTO RICHIEDENTE



**CLEAN ENERGY BASILICATA S.R.L.**

N. REA 2587685 C.C.I.A.A. di Milano  
Via Santa Sofia, 22 - 20122 Milano (MI)  
PEC: cleanenergyragosrl@legalmail.it  
CF/P.IVA 11210080963

GRUPPO DI PROGETTAZIONE



**Ing. Carmen Martone**  
**Geol. Raffaele Nardone**

Via Verrastro 15/A, 85100 Potenza  
P.Iva 02094310766



**Ing. Domenico Ivan CASTALDO**

Iscr. n°8630 Y Ordine Ingegneri di Torino  
C.F. CST DNC 73M18 H355W -  
Via Treviso n. 12 CAP 10144 - Torino  
Tel. 011/217.0291

PEC: info@pec.studioingcastaldo.it

Codice lavoro	Livello projet	Cat. Op.	Tipologia	Numero	Rev.	Pag.	di	Nome file	Scala	Progressivo
C261	PD	I.FV_IF	R	A.2.1	/00	1	1	A.2.1_Rapporto_indagini		
Rev.	Data	Descrizione						Redazione	Controllo	Approvazione
00	Aprile 2024	Emissione						ing. Domenico Castaldo EGM Project	ing. Domenico Castaldo EGM Project	ing. Domenico Castaldo EGM Project

## INDICE

1. Premessa.....	2
2. Indagini sismiche tipo Masw.....	3
2.1. Premessa.....	3
2.2. Generalità sulle prospezioni sismiche di tipo Masw .....	3
2.3. Attrezzatura e metodologia utilizzata.....	4
2.4. Elaborazione dati .....	5
2.5 Interpretazione.....	6
2.6 Interpretazione dati MASW-01 .....	6
2.7 Interpretazione dati MASW-02 .....	13
2.8 Interpretazione dati MASW-03 .....	20
2.9 Interpretazione dati MASW-04 .....	27
2.10 Interpretazione dati MASW-05 .....	34
2.11 Interpretazione dati MASW-06 .....	41
2.12 Interpretazione dati MASW-07 .....	48
2.13 Interpretazione dati MASW-08 .....	55
2.14 Interpretazione dati MASW-09 .....	62
2.15 Interpretazione dati MASW-10 .....	69
2.16 Interpretazione dati MASW-11 .....	76
2.17 Interpretazione dati MASW-12 .....	83
2.18 Interpretazione dati MASW-13 .....	90
2.19 Interpretazione dati MASW-14 .....	97
2.20 Interpretazione dati MASW-15 .....	104
2.21 Interpretazione dati MASW-16 .....	111
2.22 Interpretazione dati MASW01 – Sottostazione Elettrica .....	118
2.23 Interpretazione dati MASW02– Sottostazione Elettrica .....	124
3.Rapporto Fotografico .....	130
3.1 indagini sismiche di tipo Masw.....	130

## **1. PREMESSA**

Nell’ambito del “ PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE, DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche con lo scopo di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo in corrispondenza delle aree di sedime dei pannelli fotovoltaici e del cavidotto, distinguere geotecnicamente i vari orizzonti litostratigrafici rinvenuti e caratterizzare sismicamente i terreni di fondazione in corrispondenza di ciascun’area pannellata.

La campagna di indagine programmata ed eseguita è consistita in:

- Esecuzione di n° **18** stendimenti sismici tipo MASW, di cui n° **2** in prossimità della Sottostazione Elettrica.

Tali indagini sono state eseguite in conformità a quanto disposto da D.M. 14/01/2008 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”, oltre che secondo le modalità tecnologiche dell’ANISIG.

Per un maggior approfondimento dello studio dell’area sono state consultate indagini pregresse realizzate in prossimità dell’area parco in oggetto; in allegato viene riportata:

- N° 1 elaborazione DPSH con acquisizione di n°1 campione indisturbato.

## **2. INDAGINI SISMICHE TIPO MASW**

### **2.1. PREMESSA**

La presente relazione sintetizza ed illustra il risultato di un’indagine geofisica di tipo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999), eseguita nei comuni di Garaguso e San Mauro Forte (MT).

Lo scopo dell’indagine è stato quello di definire il profilo verticale della  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio) e di classificare i terreni sulla base del valore della  $V_{s30}$  (il valore medio della  $V_s$  nei primi 30m di profondità).

Il modello sismico monodimensionale costituisce infatti l’aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell’azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l’incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica).

Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito-specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (D.M. 14.01.2008).

### **2.2. GENERALITÀ SULLE 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.

La MASW classica/standard 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 4.5Hz.

Più specificatamente 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.

### 2.3. ATTREZZATURA E METODOLOGIA UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata è il sismografo 16SG24 a 24 canali della PASI dalle seguenti caratteristiche tecniche: gestione a microprocessore, intervalli di campionamento 250  $\mu$ s, 500  $\mu$ s, 1 ms, 2 ms; tempo di campionamento da un min. di 0.2 ms ad un max. di 2 ms; lunghezza di acquisizione da un min. di 32 ms ad un max. di 4096 ms; filtri passa basso 250 Hz; notch 50/60 Hz; risoluzione a 24 bit; acquisizione dei dati e codifica dei file in formato Seg-2 .

L’attrezzatura è completata da un cavo sismico a 12 takes out spaziatati a 10 m, con connettore cannon, montato su bobina, geofoni verticali “Pasi” con frequenza propria di 4,5 Hz, geofono trigger avente funzione di interruttore starter, cavo trigger montato su bobina e fucile sismico armato con cartucce industriali calibro 8 a carica ridotta o massa battente del peso di 10 Kg su piastra in alluminio.

Le indagini si sono svolte secondo la seguente geometria:

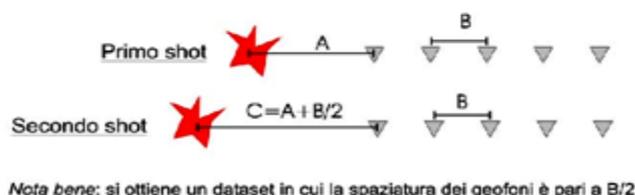
Numero di geofoni:12

Spaziatura tra i geofoni: 2 m

Numero di offset : 3 rispettivamente a 6,0; 7,0; 8,0; m dal primo geofono.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

Per l’interpretazione dei dati è stato utilizzato il software *WinMasw Pro 4.4.2* della *Eliosoft*. I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (.sgy format file). Il software permette 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.



#### 2.4. ELABORAZIONE DATI

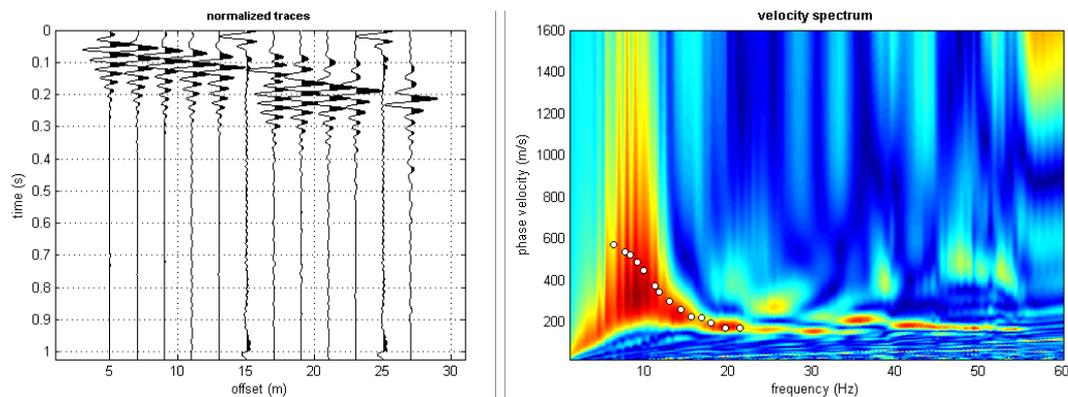
L’analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale “phase velocity-frequency (c-f)” che analizza l’energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. Dallo spettro bidimensionale ottenuto dalle registrazioni è possibile distinguere il “modo 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.

## 2.5 INTERPRETAZIONE

Di seguito i dati di campagna acquisiti e lo spettro di velocità calcolato per ogni indagine effettuata.

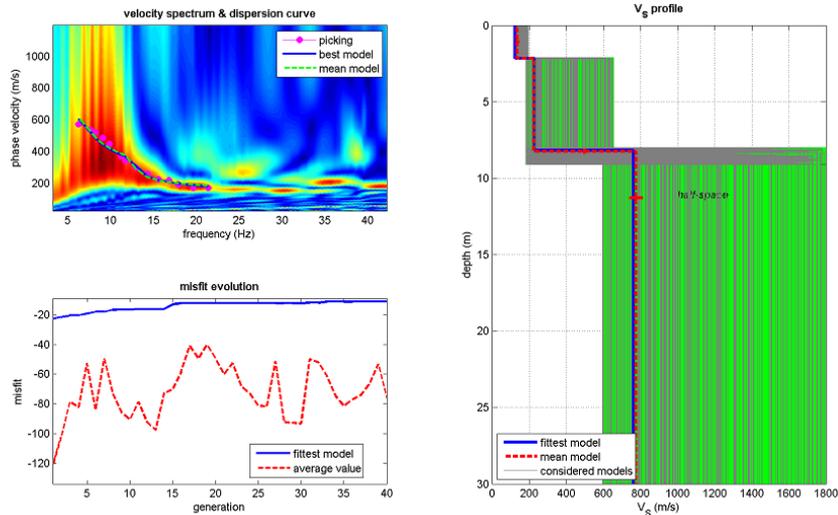
## 2.6 INTERPRETAZIONE DATI MASW-01

### 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).

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



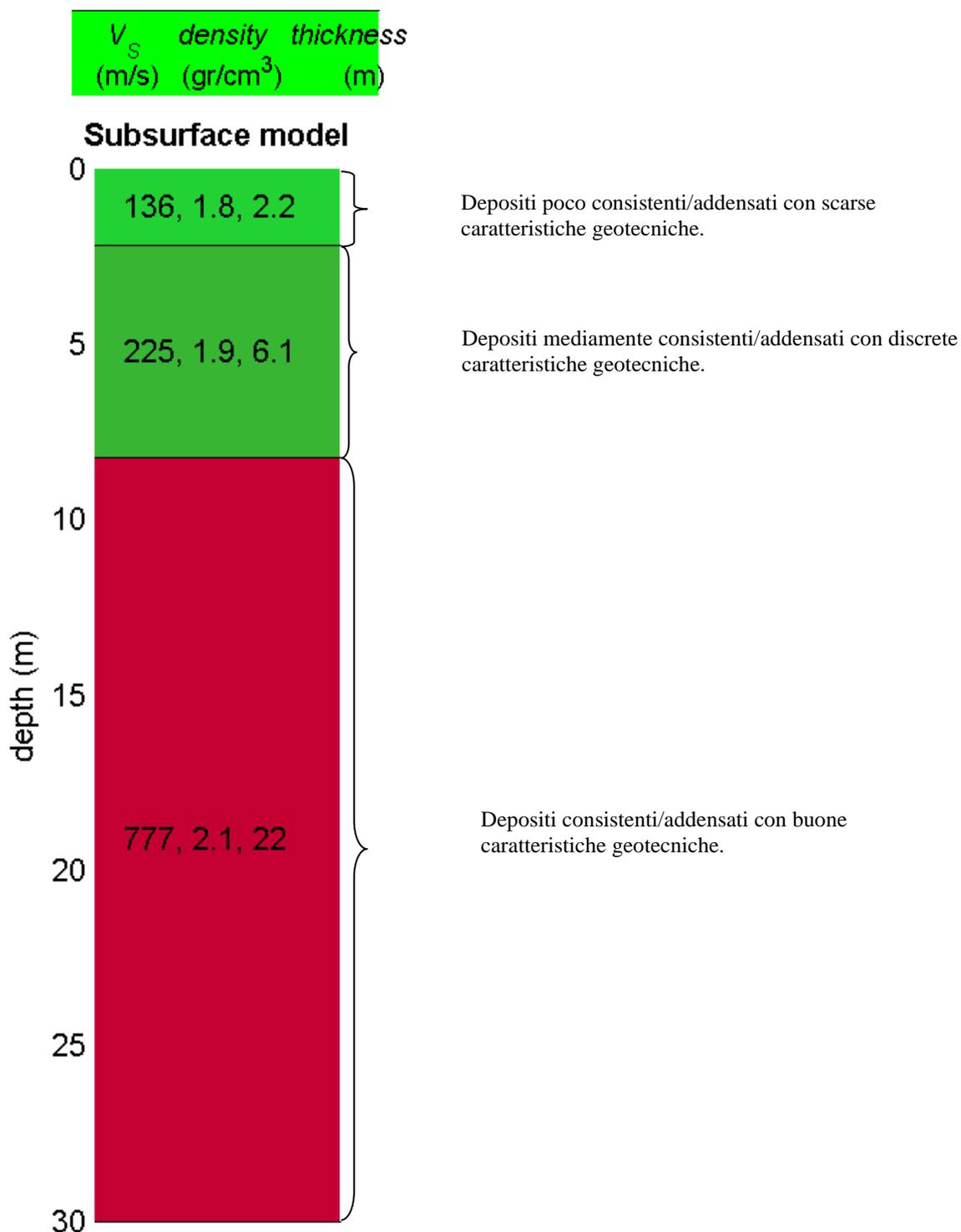
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **Vs<sub>30</sub> di 419 m/s** a partire dal p.c.

Spessore (m)	Vs (m/s) e deviazioni standard
2.2	136±10
6.1	225± 2
<i>semi-spazio</i>	<i>777± 35</i>

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa** molto addensati o terreni a grana fine 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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



### RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 2.2 m, con velocità media delle onde di taglio di 136 m/s a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 6.1 m, con velocità media delle onde di taglio di 225 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 8 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 25 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 777 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  ( $\text{Kg/m}^3$ ) 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)**

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 ( $E_d$ )**

È definito dalla seguente equazione:

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

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**

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 seguenti relazioni:

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

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

$$G_{stat} = R * G$$

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  $K = G * E / [3(3G - E)]$

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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

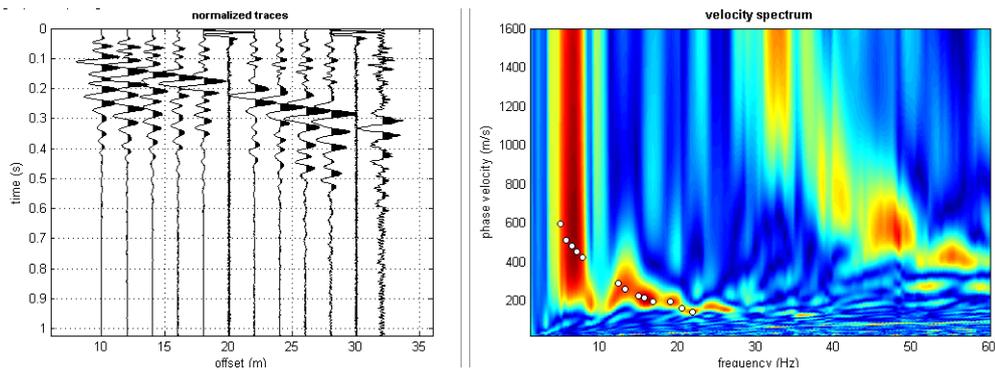
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2.2	333	136,00	1,8	0.4	932	0,245	333	1554
2	6.1	468	225	1,9	0.35	2597	0,428	962	2886
3	22	1454	777	2,1	0.3	32964	1,632	12678	27470

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

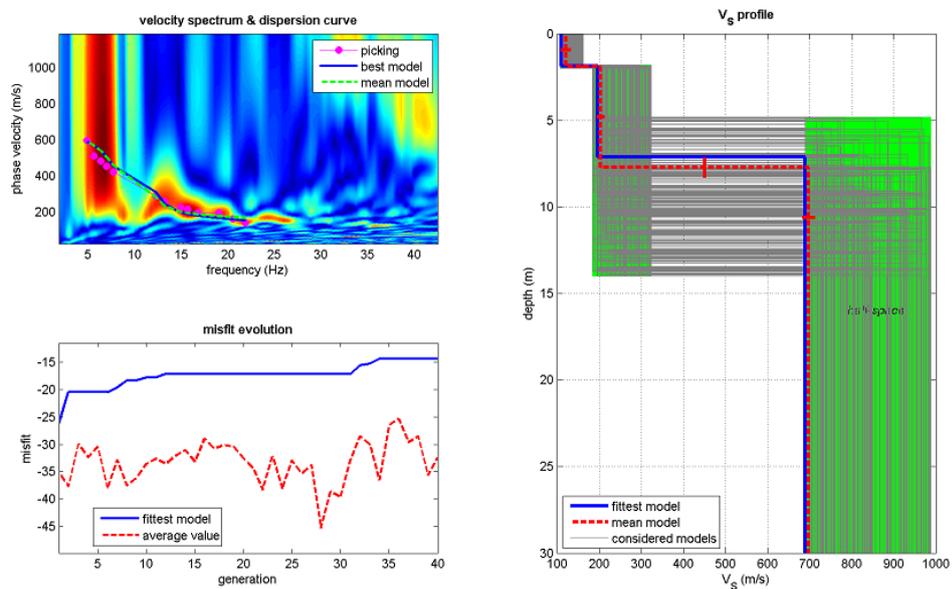
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2.2	333	1,8	0.4	156,58	112,17	149	43,29	229
2	6.1	468	1,9	0.35	425,11	312,77	376	125,06	1045
3	22	1454	2,1	0.3	4074,07	3971,45	4440	1648,14	7475

2.7 INTERPRETAZIONE DATI MASW-02

**Masw- 02**



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).



	<p align="center"> <b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b> </p> <p align="center"> <b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b> </p>	<p align="right"> <b>DATA: FEBBRAIO 2024</b>  <b>Pag. 14 di 140</b> </p>
---	---	--

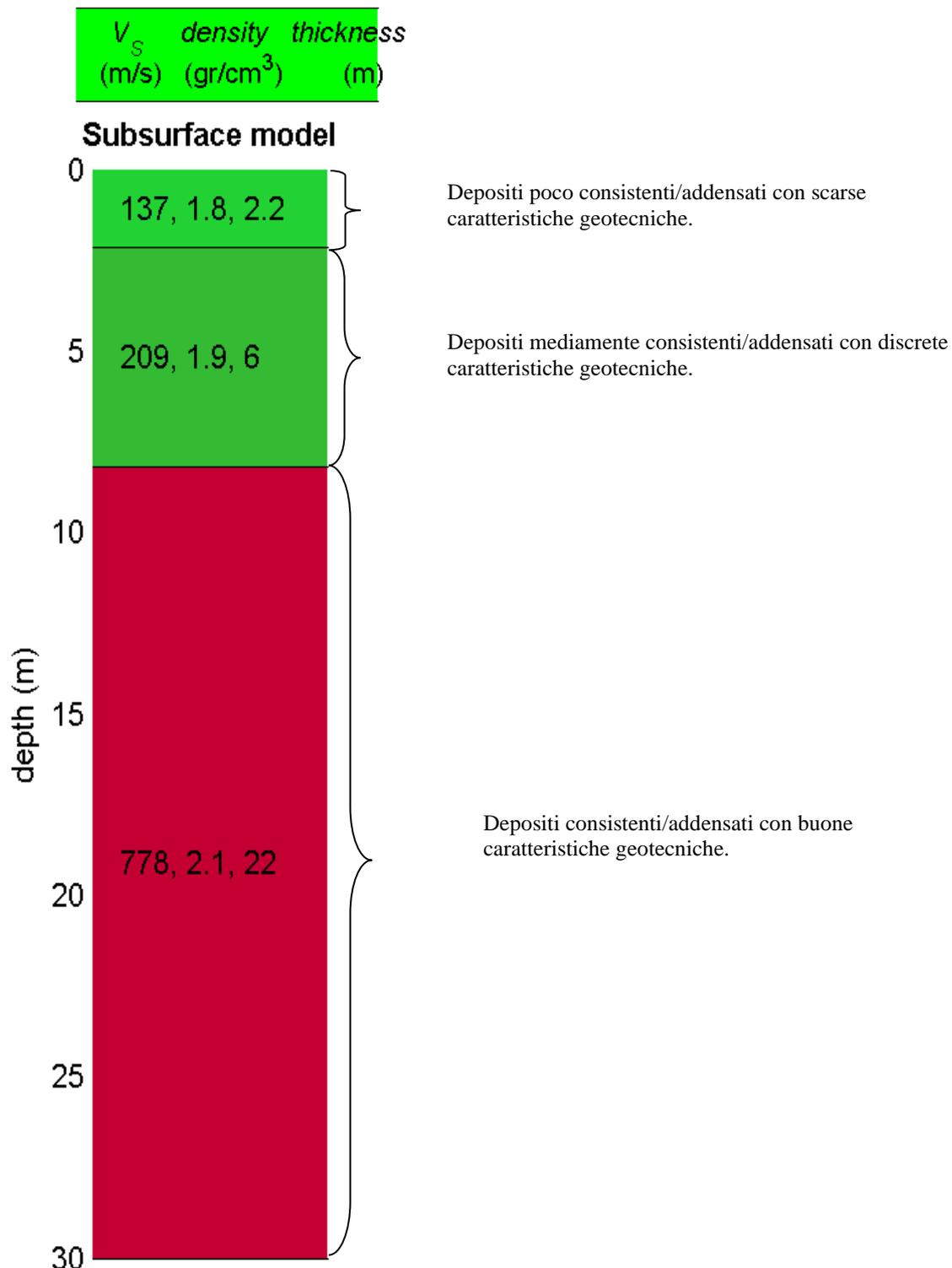
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una  $V_{s30}$  di **410,7 m/s** a partire dal p.c.

Spessore (m)	$V_s$ (m/s) e deviazioni standard
2.2	137±9
6	209± 3
<i>semi-spazio</i>	778± 63

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- ***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa*** molto addensati o terreni a grana fine 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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 2.2 m, con velocità media delle onde di taglio di 137 m/s a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 6.0 m, con velocità media delle onde di taglio di 209 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 8 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 25 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 778 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  ( $\text{Kg/m}^3$ ) 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)**

	<p style="text-align: center;">“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 17 di 140</p>
---	--	--

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di Young o elastico dinamico -  $E_s$  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 seguenti relazioni:

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

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

$$G_{stat} = R * G$$

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  $K = G * E / [3(3G - E)]$

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 02**

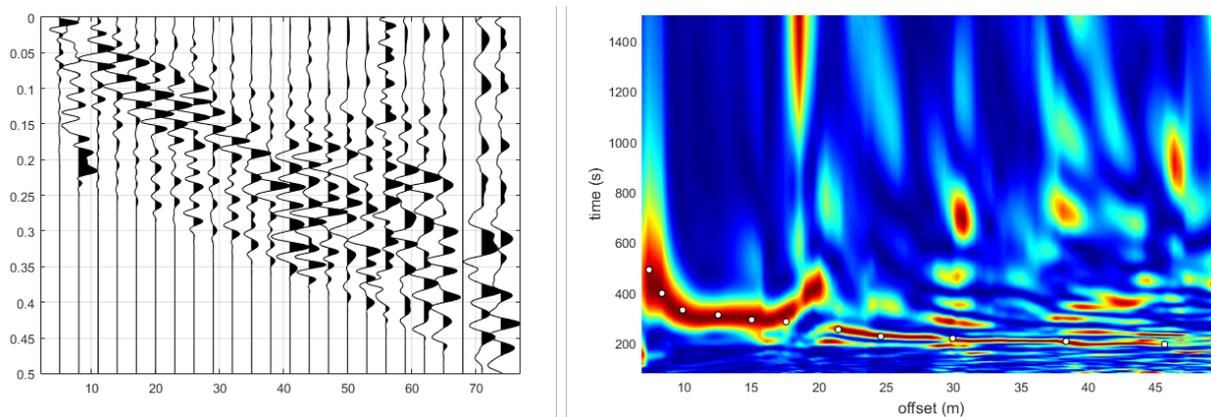
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2.2	336	137,00	1,8	0,4	946	0,247	338	1577
2	6.0	512	209	1,9	0,4	2324	0,397	830	3873
3	22	1906	778	2,1	0,4	35591	1,634	12711	59318

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 02**

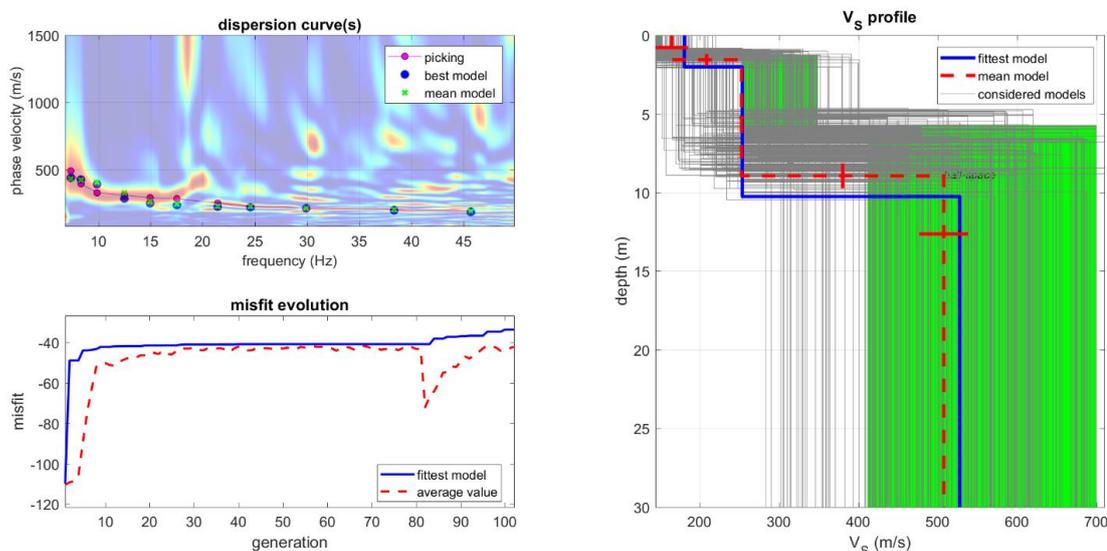
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2.2	336	1,8	0,4	158,93	113,86	151	43,94	232
2	6.0	512	1,9	0,4	391,02	279,88	374	107,90	1149
3	22	1906	2,1	0,4	4623,32	4287,96	5732	1652,43	11762

## 2.8 INTERPRETAZIONE DATI MASW-03

### Masw- 03



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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

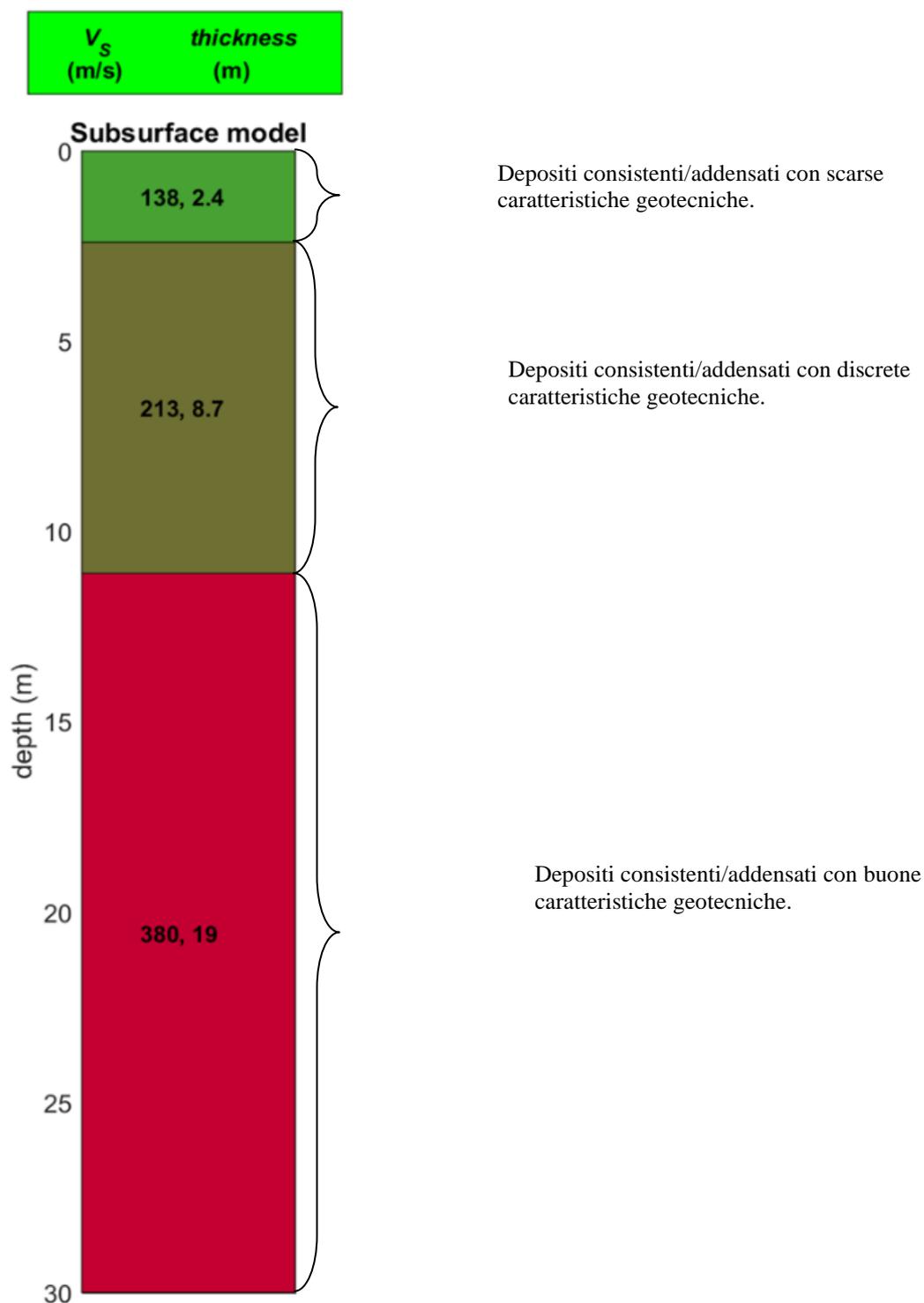
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **Vs30 di 277,2 m/s** a partire dal p.c secondo la **D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le Costruzioni”**.

Spessore (m)	VS (m/s) e deviazioni standard
2.4	138±4
8.7	213±6
semi-spazio	380±10

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **C** ovvero:

- **Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti** con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



### RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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

- Il **primo sismostrato** presenta uno spessore di circa 2.4 m, con velocità media delle onde di taglio di 138 m/s a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il **secondo sismostrato** presenta uno spessore di circa 8.7 m, con velocità media delle onde di taglio di 213 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il **terzo sismostrato**, che si rinviene a profondità maggiori di 11 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 380 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) 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)

	<p style="text-align: center;">“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 24 di 140</p>
---	--	--

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di Young o elastico dinamico -  $E_s$  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 seguenti relazioni:

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

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

$$G_{stat} = R * G$$

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  $K = G * E / [3(3G - E)]$

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

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

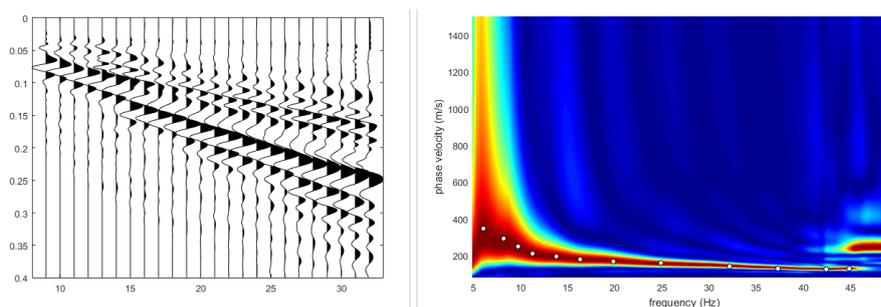
**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

<b>PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 03</b>									
<b>STRATO</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>Vp</b>	<b>Vs</b>	<b><math>\gamma'</math></b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>MODULO DI YOUNG</b>	<b>R</b>	<b>MODULO DI TAGLIO</b>	<b>Mod.di Incompressibilità</b>
	m	m/s	m/s	g/cm <sup>3</sup>	(-)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>1</b>	2,4	458	138,00	1,87	0,45	1033	0,258	356	3443
<b>2</b>	8,7	522	213	1,88	0,4	2388	0,400	853	3980
<b>3</b>	19,0	931	380	2,04	0,4	8248	0,775	2946	13747

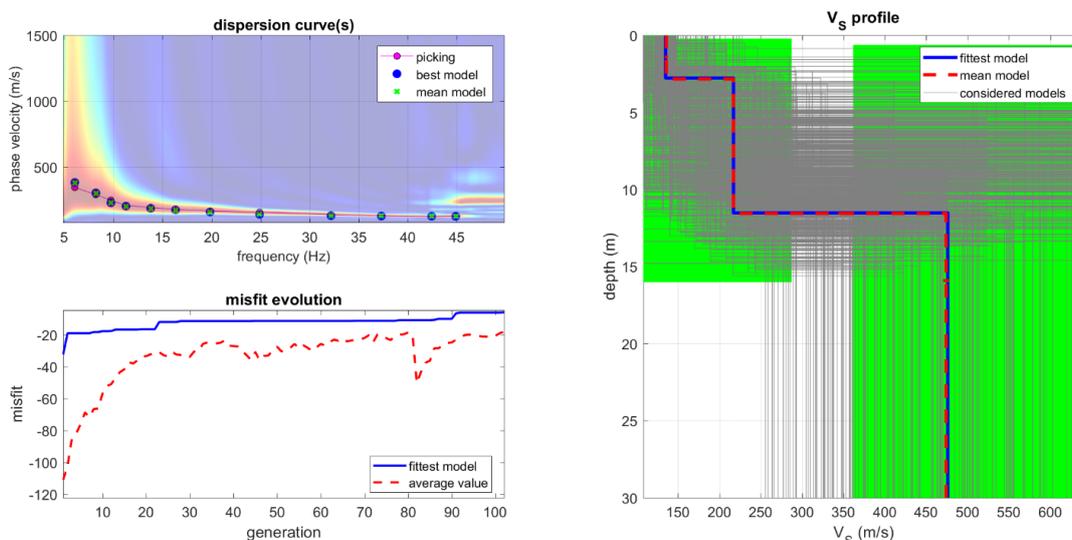
<b>PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 03</b>									
<b>STRATO</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>Vp</b>	<b><math>\gamma'</math></b>	<b><math>\lambda</math></b>	<b>Modulo di carico su piastra</b>	<b>MODULO DI YOUNG</b>	<b>Modulo Edometrico</b>	<b>MODULO DI TAGLIO</b>	<b>Mod.di Incompressibilità</b>
	m	m/s	g/cm <sup>3</sup>	(-)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>1</b>	2,4	458	1,87	0,45	179,57	124,34	194	46,28	331
<b>2</b>	8,7	522	1,9	0,4	401,74	287,59	384	110,89	1179
<b>3</b>	19,0	931	2,04	0,4	1071,15	993,62	1327	382,98	2722

## 2.9 INTERPRETAZIONE DATI MASW-04

### Masw- 04



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).



	<p align="center"> <b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b> </p> <p align="center"> <b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b> </p>	<p align="right"> <b>DATA: FEBBRAIO 2024</b>  <b>Pag. 28 di 140</b> </p>
---	---	--

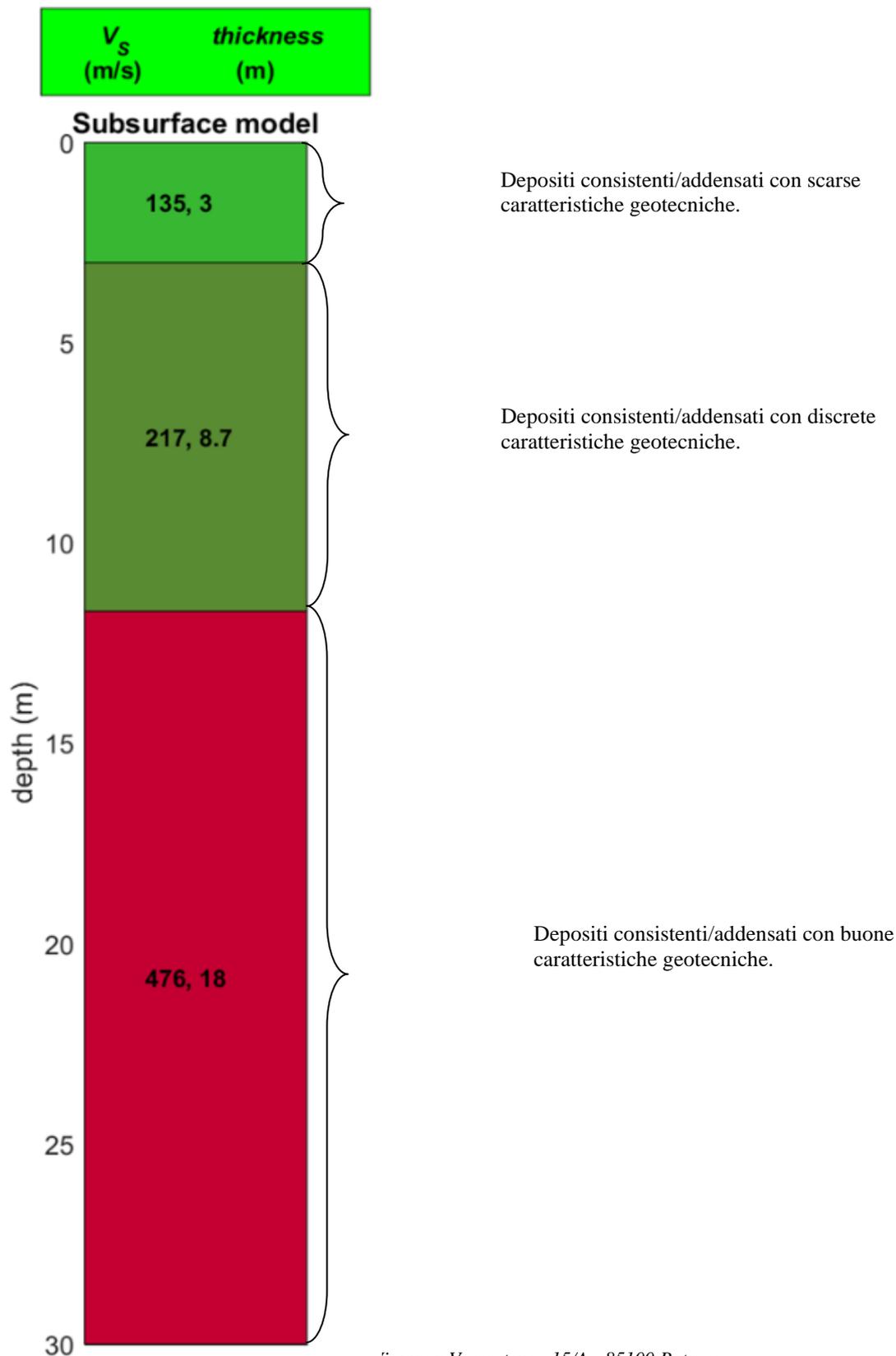
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **Vs30 di 299,6 m/s** a partire dal p.c secondo la **D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le Costruzioni”**.

Spessore (m)	VS (m/s) e deviazioni standard
3	135±2
8.7	217±0
semi-spazio	476±4

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **C** ovvero:

- **Depositi di terreni a grana grossa** mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI



	<p align="center"> <b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b> </p> <p align="center"> <b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b> </p>	<p align="right"> <b>DATA: FEBBRAIO 2024</b>  <b>Pag. 30 di 140</b> </p>
---	---	--

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

- Il **primo sismostrato** presenta uno spessore di circa 3 m, con velocità media delle onde di taglio di 135 m/s a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il **secondo sismostrato** presenta uno spessore di circa 8.7 m, con velocità media delle onde di taglio di 217 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il **terzo sismostrato**, che si rinviene a profondità maggiori di 12,7 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 476 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  ( $\text{Kg/m}^3$ ) 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)**

	<p style="text-align: center;">“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 31 di 140</p>
---	--	--

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di Young o elastico dinamico -  $E_s$  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 seguenti relazioni:

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

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

$$G_{stat} = R * G$$

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  $K = G * E / [3(3G - E)]$

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

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

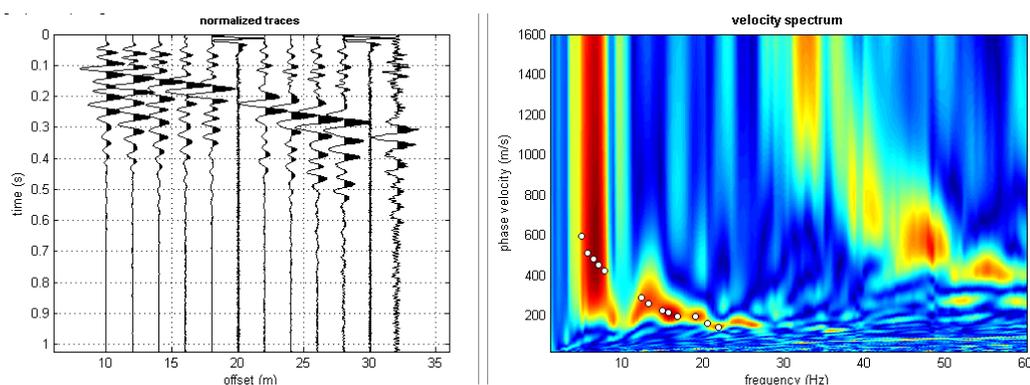
**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

<b>PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 04</b>									
<b>STRATO</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>Vp</b>	<b>Vs</b>	$\gamma$	$\lambda$	<b>MODULO DI YOUNG</b>	<b>R</b>	<b>MODULO DI TAGLIO</b>	<b>Mod.di Incompressibilità</b>
	m	m/s	m/s	g/cm <sup>3</sup>	(-)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>1</b>	3,0	281	138,00	1,75	0,35	861	0,236	319	957
<b>2</b>	8,7	532	213	1,9	0,4	2505	0,412	895	4175
<b>3</b>	18,0	1166	380	2,09	0,4	13259	0,995	4735	22099

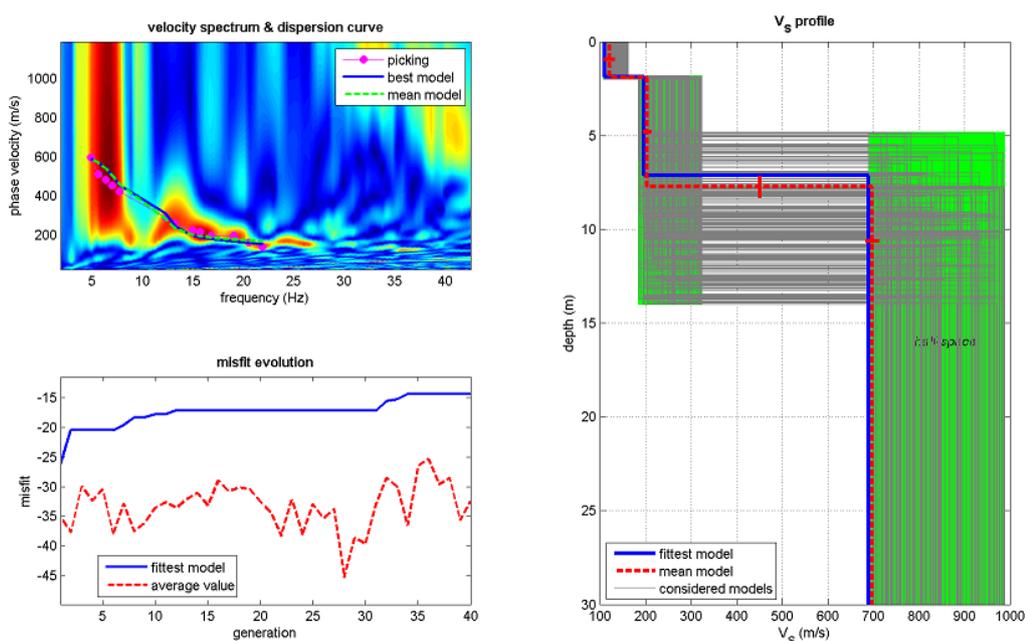
<b>PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 04</b>									
<b>STRATO</b>	<b>SPESSORE</b>	<b>Vp</b>	$\gamma$	$\lambda$	<b>Modulo di carico su piastra</b>	<b>MODULO DI YOUNG</b>	<b>Modulo Edometrico</b>	<b>MODULO DI TAGLIO</b>	<b>Mod.di Incompressibilità</b>
	m	m/s	g/cm <sup>3</sup>	(-)	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>1</b>	3,0	281	1,75	0,35	140,75	103,62	124	172	172
<b>2</b>	8,7	532	1,9	0,4	421,36	301,69	402	1235	1235
<b>3</b>	18,0	1166	2,09	0,4	1722,32	1597,35	2135	4382	4382

## 2.10 INTERPRETAZIONE DATI MASW-05

### Masw- 05



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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

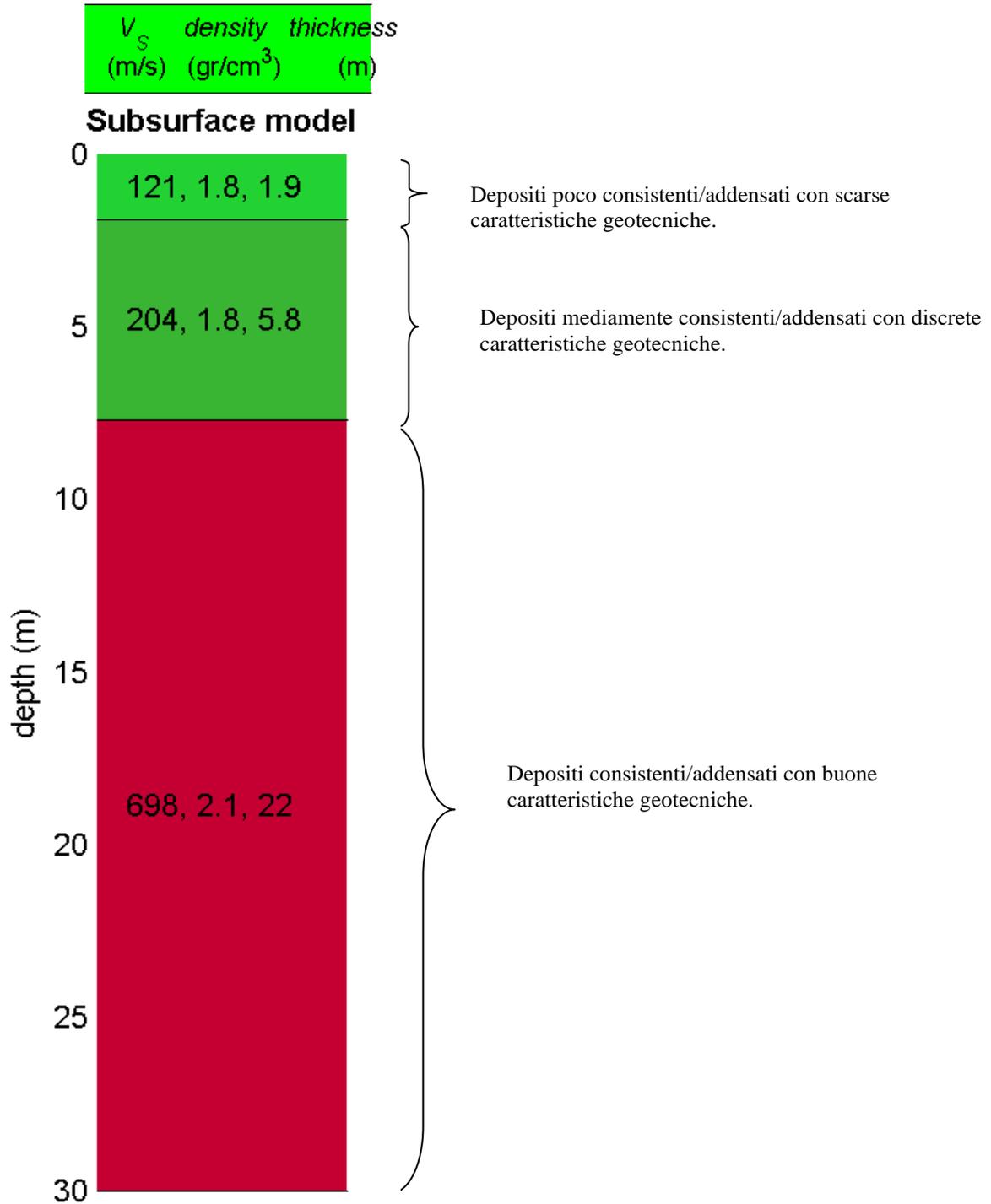
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **V<sub>s30</sub> di 396,6 m/s** a partire dal p.c.

<b>Spessore (m)</b>	<b>V<sub>s</sub> (m/s) e deviazioni standard</b>
1.9	121±12
5.8	204± 9
<i>semi-spazio</i>	698± 15

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa** molto addensati o terreni a grana fine 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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 1.9 m, con velocità media delle onde di taglio di 121 m/s a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 5.8 m, con velocità media delle onde di taglio di 204 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 7 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 25 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 698 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  ( $\text{Kg/m}^3$ ) 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)**

	<p style="text-align: center;">“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 38 di 140</p>
---	--	--

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di Young o elastico dinamico -  $E_s$  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 seguenti relazioni:

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

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

$$G_{stat} = R * G$$

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  $K = G * E / [3(3G - E)]$

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 05**

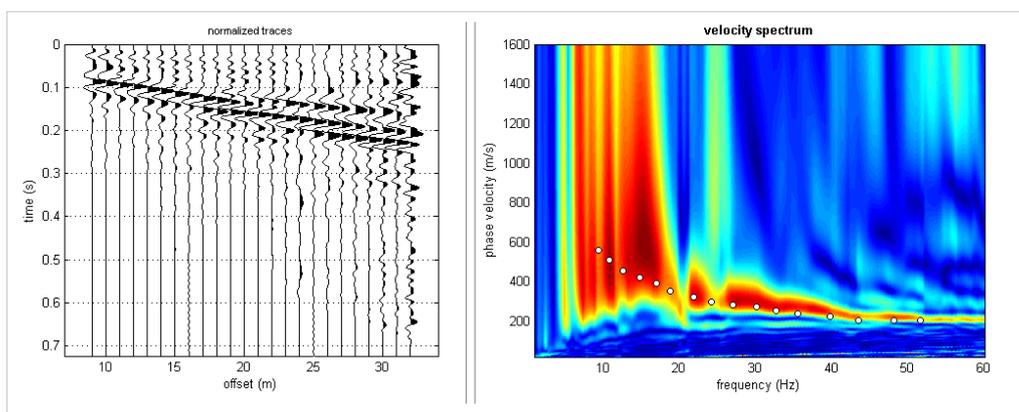
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	1,9	296	121,00	1,8	0,4	738	0,218	264	1230
2	5,8	500	204	1,8	0,4	2097	0,367	749	3496
3	22,0	1710	698	2,1	0,4	28648	1,466	10231	47746

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 05**

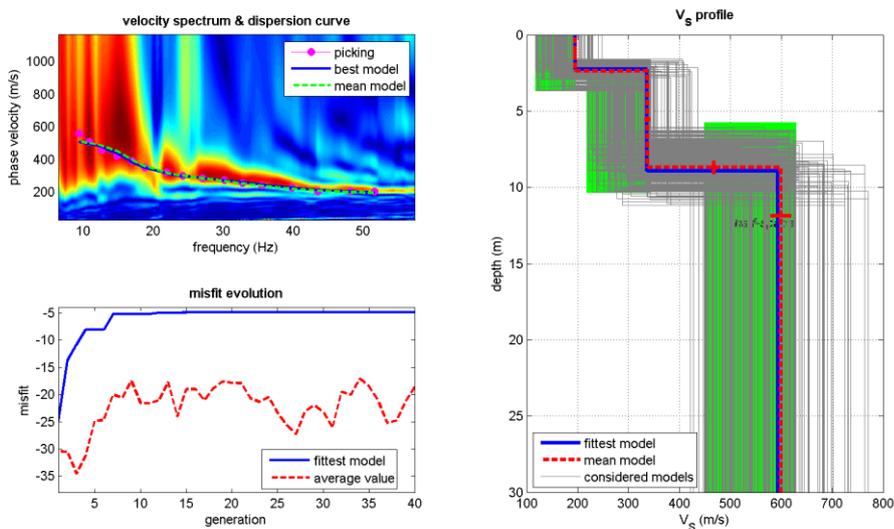
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	1,9	296	1,8	0,4	123,80	88,80	117	34,32	179
2	5,8	500	1,8	0,4	338,58	252,53	290	103,22	760
3	22,0	1710	2,1	0,4	3721,48	3451,45	4614	1330,03	9469

2.11 INTERPRETAZIONE DATI MASW-06

**Masw- 06**



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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **V<sub>s30</sub> di 454,1 m/s** a partire dal p.c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”

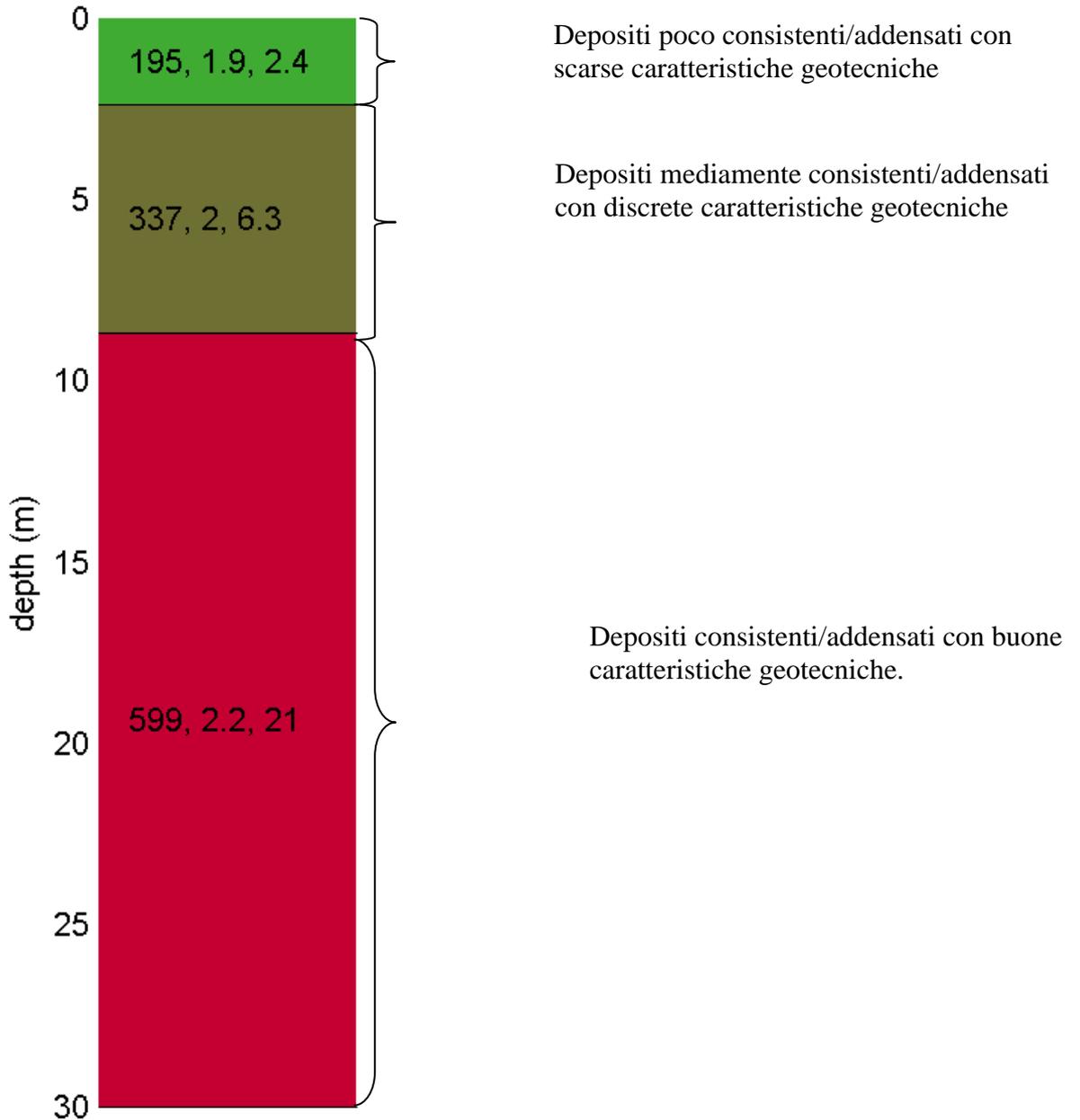
<b>Spessore (m)</b>	<b>V<sub>s</sub> (m/s) e deviazioni standard</b>
2.4	195±3
6.3	337±5
<i>semi-spazio</i>	599± 20

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa** molto addensati o terreni a grana fine 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.

$V_s$  density thickness  
(m/s) (gr/cm<sup>3</sup>) (m)

**Subsurface model**



	<p style="text-align: center;"> <b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b> </p> <p style="text-align: center;"> <b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b> </p>	<p style="text-align: right;"> <b>DATA: FEBBRAIO 2024</b>  <b>Pag. 44 di 140</b> </p>
---	---	---

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 2,4 m, con velocità media delle onde di taglio di 195 m/s e corrisponde a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 6,3 m, con velocità media delle onde di taglio di 337 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 8 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 599 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) 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:

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

## RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 seguenti relazioni:

$$\mathbf{Edin=8.3 Estat+0.97 Estat= (Edin-0.97)/8.3}$$

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

$$\mathbf{Gstat=R*G}$$

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  $\mathbf{v=(E-2G)/(2G)}$

Modulo di compressibilità volumetrico  $\mathbf{K=G*E/[3(3G-E)]}$

Moulo edometrico  $\mathbf{Eed=G*(4G-E)/(3G-E)}$

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 06**

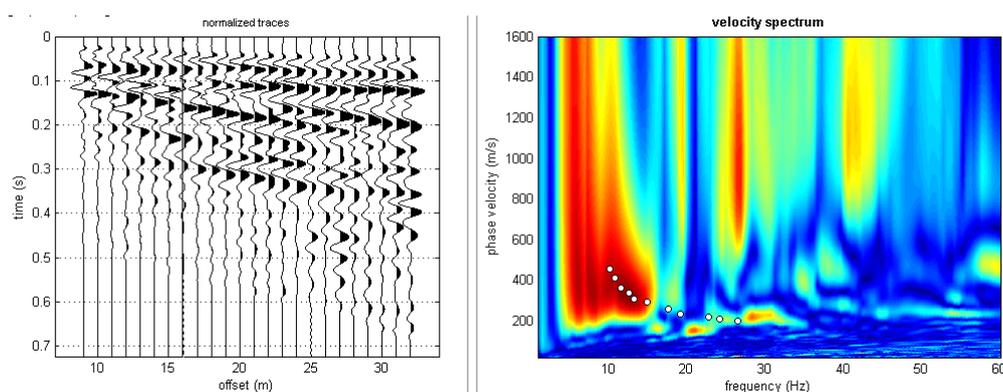
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2,4	478	195,00	1,9	0,4	2023	0,371	722	3372
2	6,3	825	337	2	0,4	6360	0,674	2271	10600
3	21,0	1467	599	2,2	0,4	22102	1,318	7894	36837

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 06**

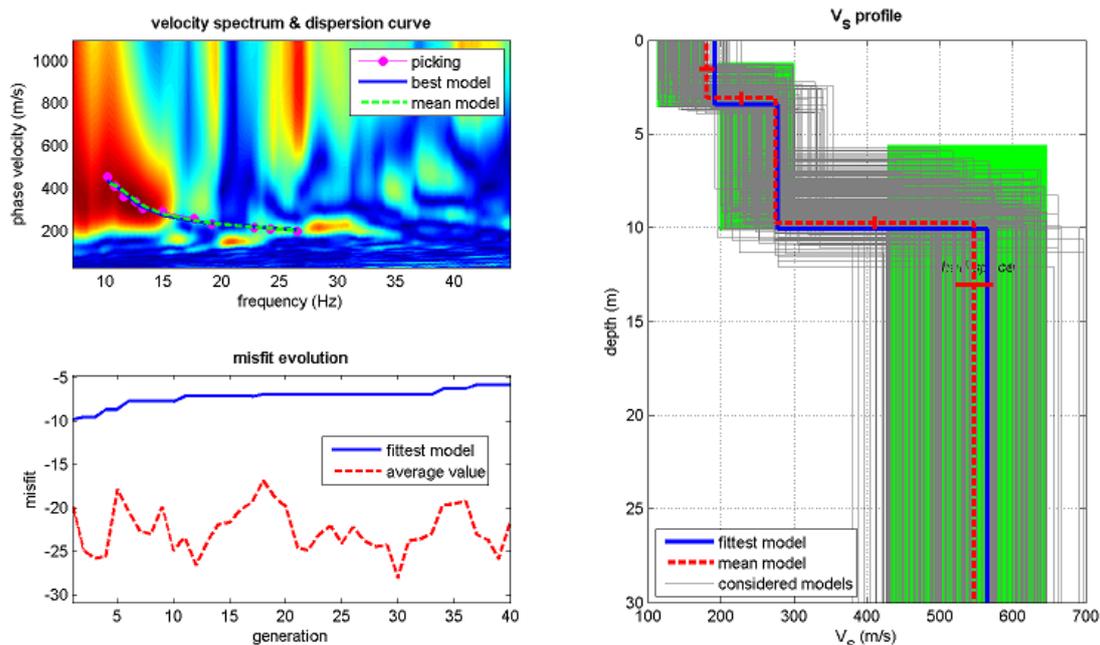
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2,4	478	1,9	0,4	340,54	243,62	326	93,86	502
2	6,3	825	2	0,4	1070,78	766,15	1024	295,23	3154
3	21,0	1467	2,2	0,4	2870,84	2662,77	3558	1026,22	7301

## 2.12 INTERPRETAZIONE DATI MASW-07

### Masw- 07



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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

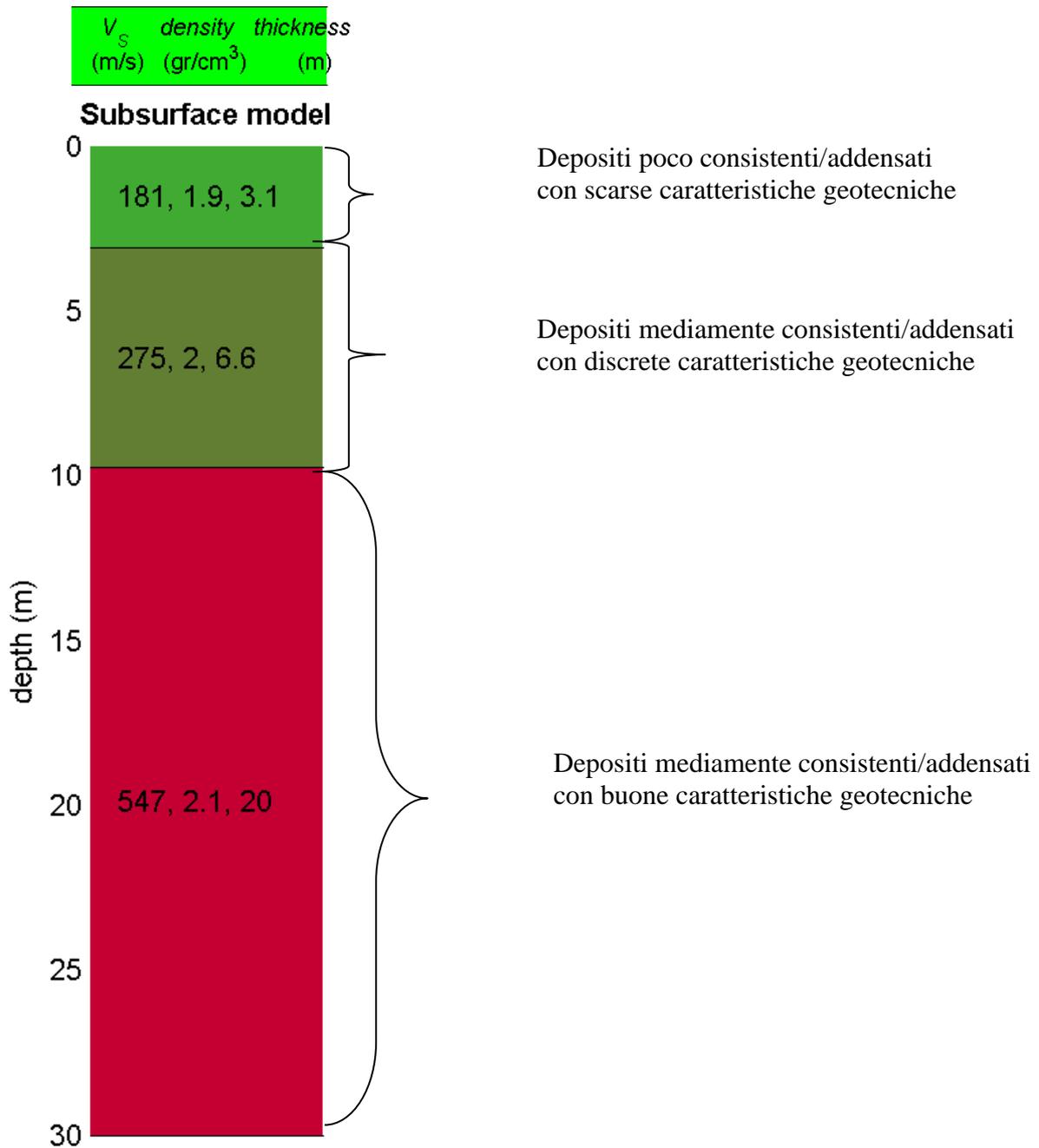
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **Vs30 di 386,1 m/s** a partire dal p.c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”

<b>Spessore (m)</b>	<b>Vs (m/s) e deviazioni standard</b>
3.1	181±10
6.6	275±3
<i>semi-spazio</i>	547± 25

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa** molto addensati o terreni a grana fine 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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 3,1 m, con velocità media delle onde di taglio di 181 m/s e corrisponde a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 6,6 m, con velocità media delle onde di taglio di 275 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 9,7 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 547 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  ( $\text{Kg/m}^3$ ) 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:

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

## RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 seguenti relazioni:

$$\mathbf{Edin=8.3 Estat+0.97 Estat= (Edin-0.97)/8.3}$$

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

$$\mathbf{Gstat=R*G}$$

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  $\mathbf{v=(E-2G)/(2G)}$

Modulo di compressibilità volumetrico  $\mathbf{K=G*E/[3(3G-E)]}$

Modulo edometrico  $\mathbf{Eed=G*(4G-E)/(3G-E)}$

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 07**

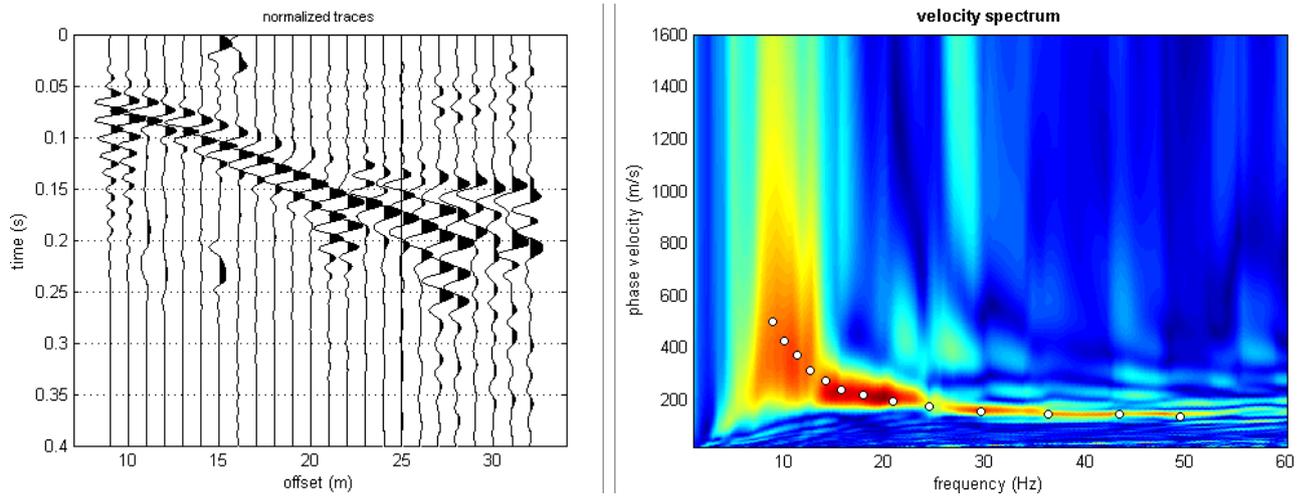
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	3,1	443	181,00	1,9	0,4	1743	0,344	622	2905
2	6,6	674	275	2	0,4	4235	0,550	1513	7058
3	20,0	1340	547	2,1	0,4	17593	1,149	6283	29322

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 07**

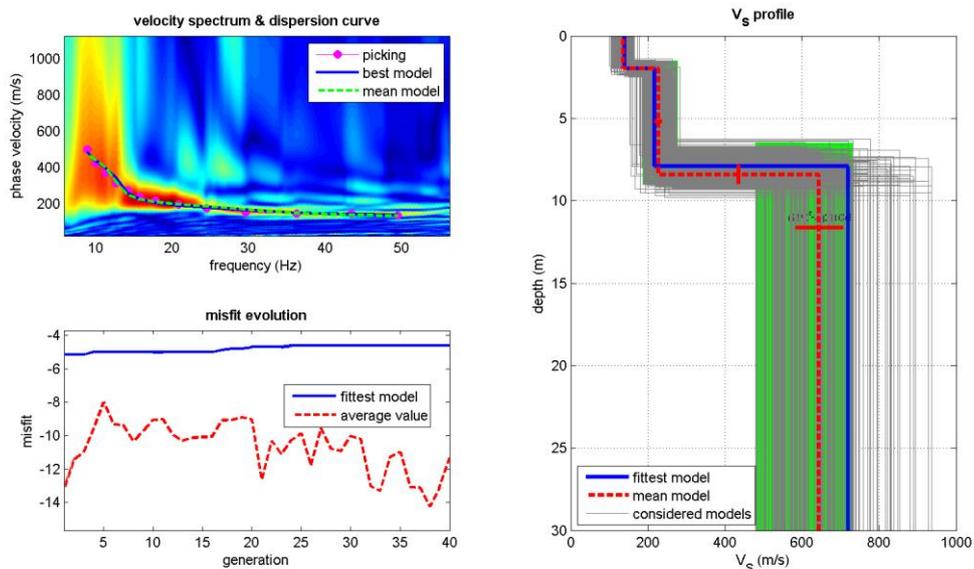
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	3,1	443	1,9	0,4	293,39	209,88	281	93,86	433
2	6,6	674	2	0,4	712,60	510,12	681	295,23	2092
3	20,0	1340	2,1	0,4	2285,29	2119,52	2833	1026,22	5814

2.13 INTERPRETAZIONE DATI MASW-08

**Masw- 08**



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 VS 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).



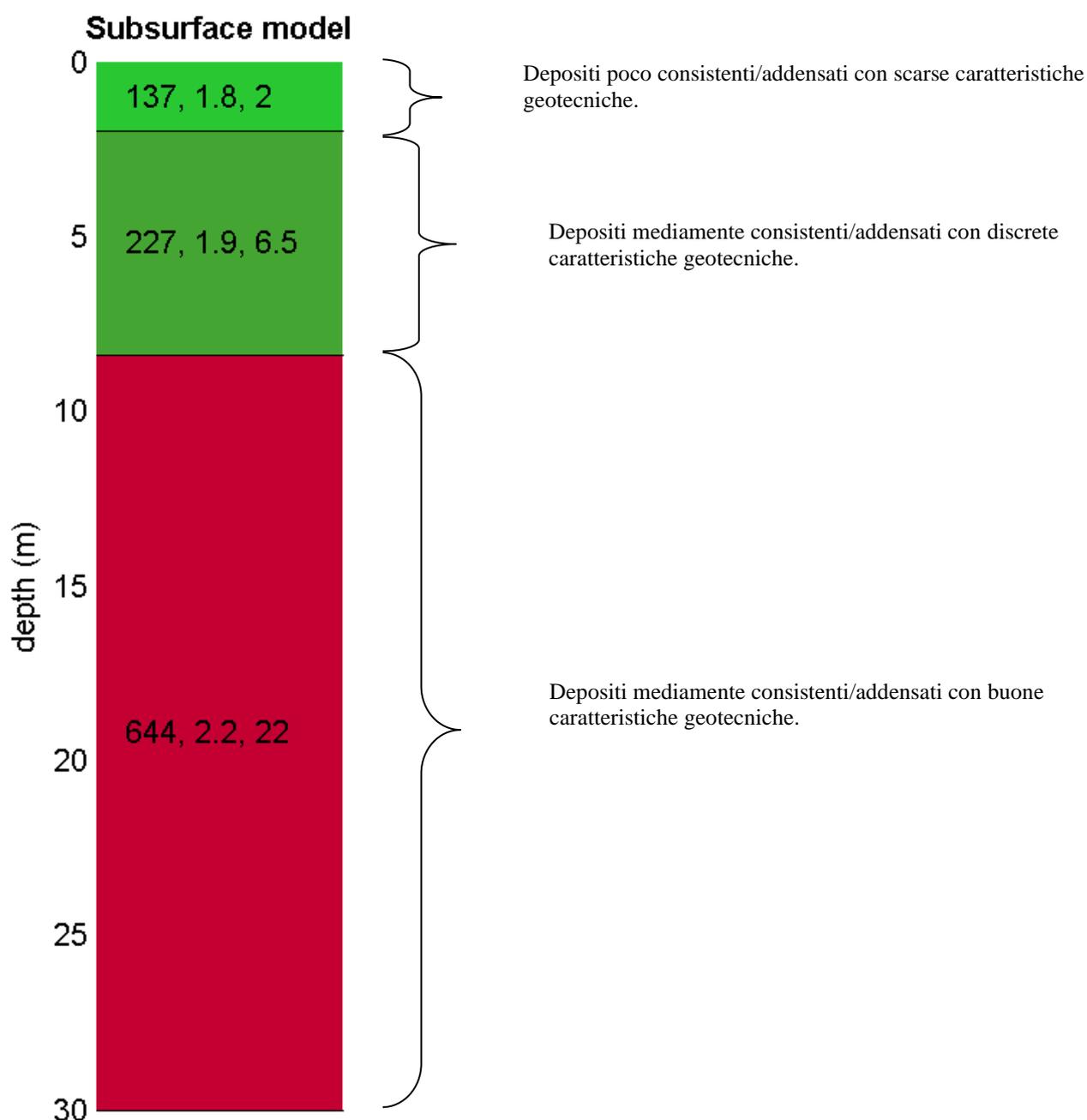
**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una  $V_{s30}$  di **387,6 m/s** a partire dal p.c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”.

<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s) e deviazioni standard</b>
2.0	137±2
6.5	227± 10
<i>Semi-spazio</i>	644± 62

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- ***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa*** molto addensati o terreni a grana fine 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.



### RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 2.0 m, con velocità media delle onde di taglio di 137 m/s a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 6.5 m, con velocità media delle onde di taglio di 277 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 9 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 25 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 644 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) 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:

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

## RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 seguenti relazioni:

$$\mathbf{Edin=8.3 Estat+0.97 Estat= (Edin-0.97)/8.3}$$

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

$$\mathbf{Gstat=R*G}$$

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  $\mathbf{v=(E-2G)/(2G)}$

Modulo di compressibilità volumetrico  $\mathbf{K=G*E/[3(3G-E)]}$

Moulo edometrico  $\mathbf{Eed=G*(4G-E)/(3G-E)}$

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 08**

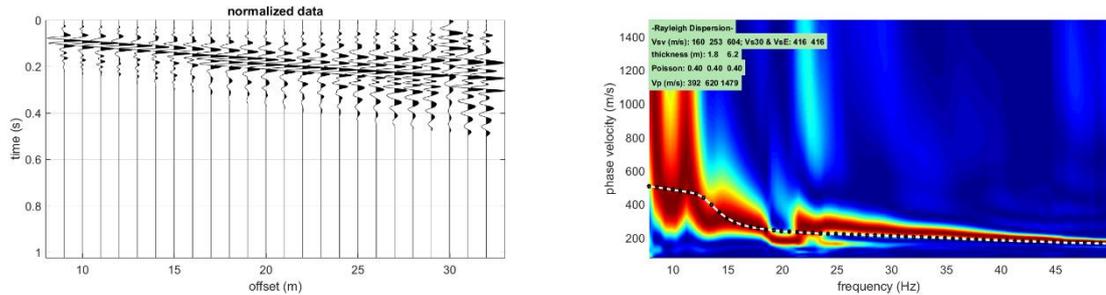
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2,0	336	137,00	1,8	0,4	946	0,247	338	1577
2	6,5	556	227	1,9	0,4	2741	0,431	979	4569
3	22,0	1577	644	2,2	0,4	25548	1,417	9124	42580

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 08**

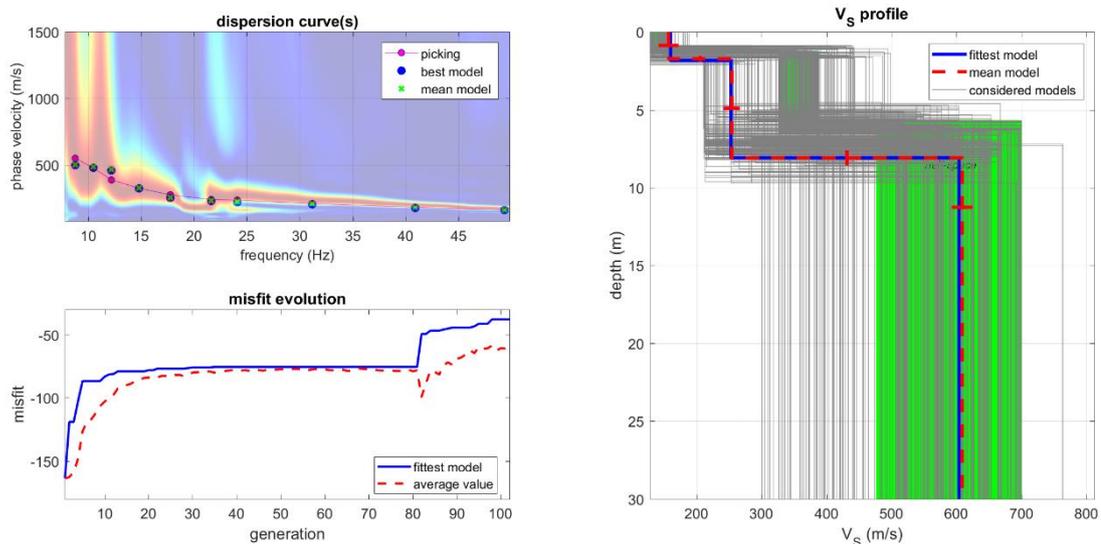
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2,0	336	1,8	0,4	158,93	113,86	151	43,94	232
2	6,5	556	1,9	0,4	461,21	330,12	441	127,27	1355
3	22,0	1577	2,2	0,4	3318,72	3077,96	4115	1186,12	8444

2.14 INTERPRETAZIONE DATI MASW-09

**Masw- 09**



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 VS 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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

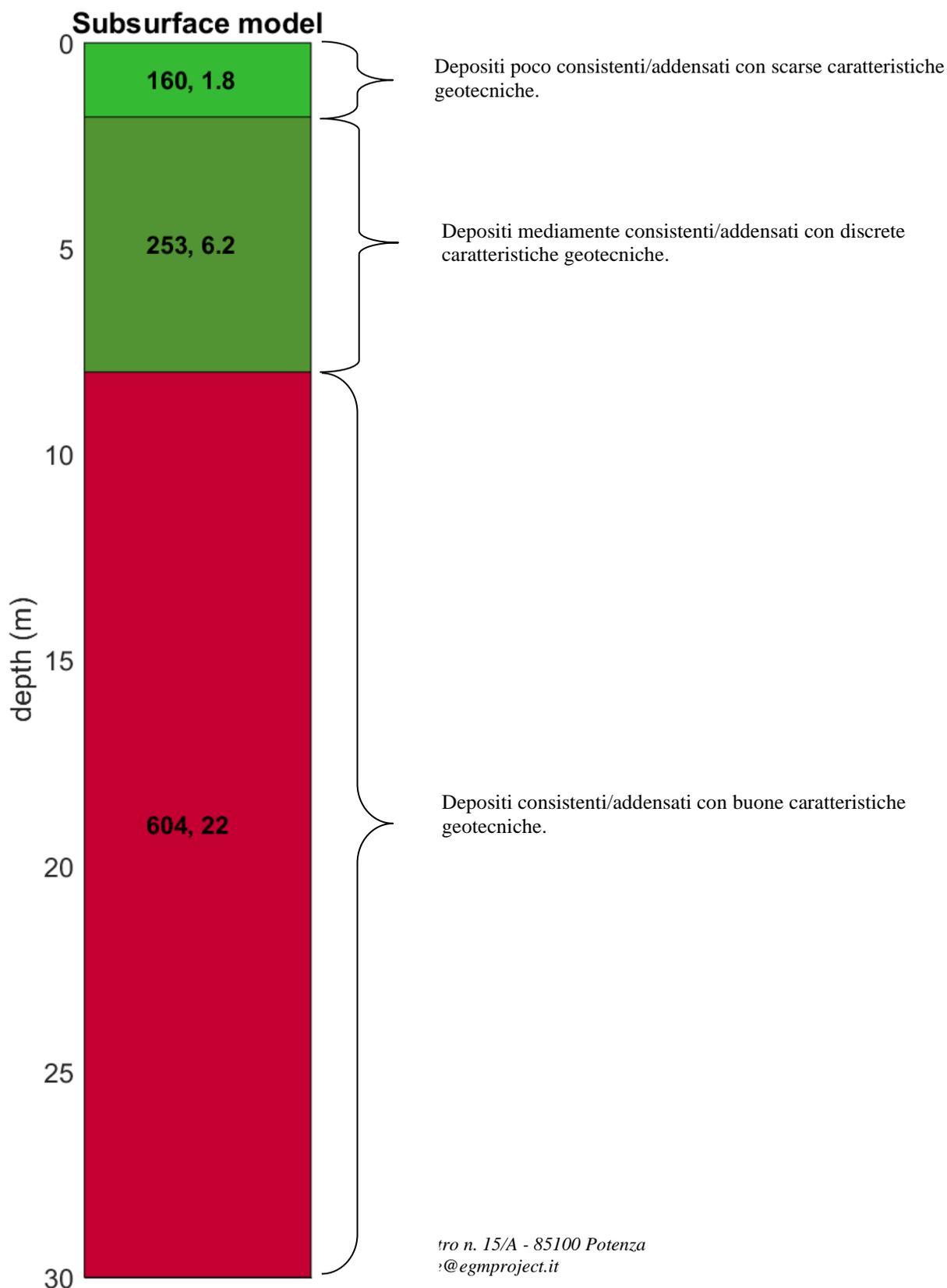
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **V<sub>s30</sub> di 415,6 m/s** a partire dal p.c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”.

<b>Spessore (m)</b>	<b>V<sub>s</sub> (m/s) e deviazioni standard</b>
1,8	160±15
6,2	253± 13
<i>Semi-spazio</i>	604± 16

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- ***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa*** molto addensati o terreni a grana fine 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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



	<p style="text-align: center;"><b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 65 di 140</p>
---	---	--

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 1,8 m, con velocità media delle onde di taglio di 160 m/s a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 6,2 m, con velocità media delle onde di taglio di 253 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 8 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 604 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) 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:

### RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

Nelle misure di laboratorio il rapporto  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di Young o elastico dinamico -  $E_s$  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 seguenti relazioni:

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

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

$$G_{stat} = R * G$$

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  $K = G * E / [3(3G - E)]$

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 09**

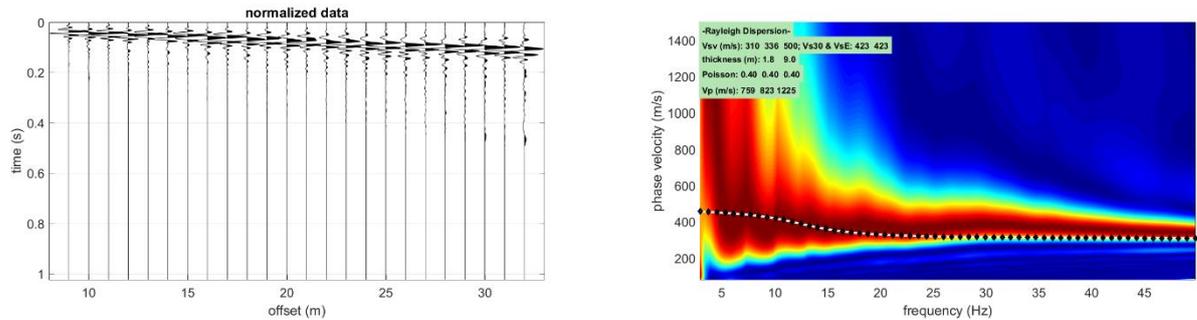
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	1,8	392	160,00	1,8	0,4	1290	0,288	461	2150
2	6,2	620	253	1,9	0,4	3405	0,481	1216	5675
3	22,0	1479	604	2,2	0,4	22473	1,329	8026	37454

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 09**

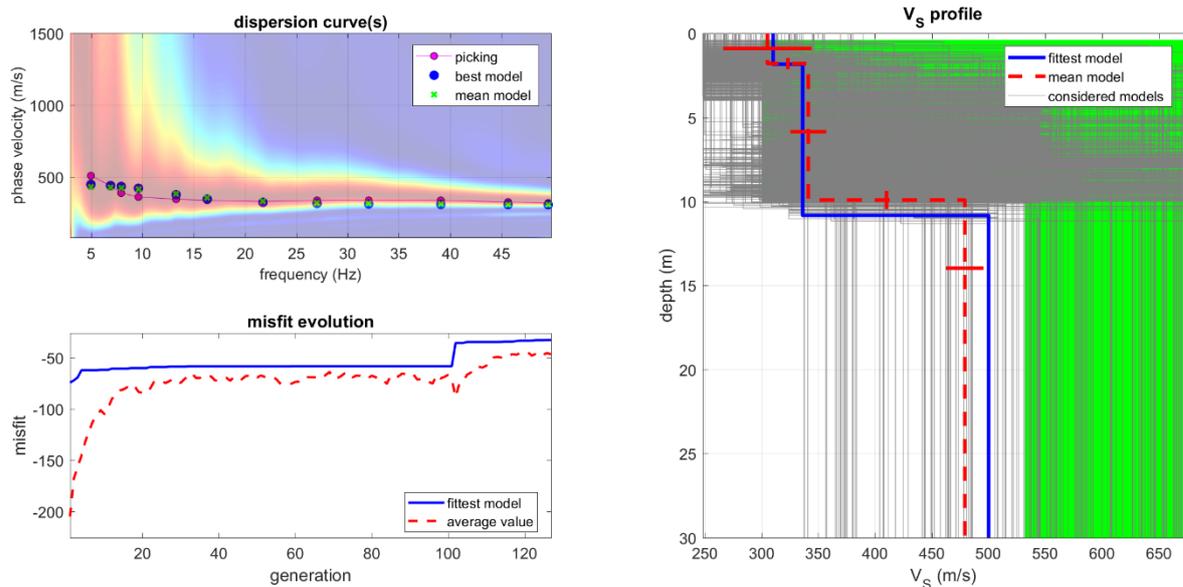
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	1,8	392	1,8	0,4	216,80	155,30	207	59,93	317
2	6,2	620	1,9	0,4	573,07	410,12	548	158,08	1685
3	22,0	1479	2,2	0,4	2919,19	2707,47	3619	1043,38	7426

## 2.15 INTERPRETAZIONE DATI MASW-10

### Masw- 10



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 VS 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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

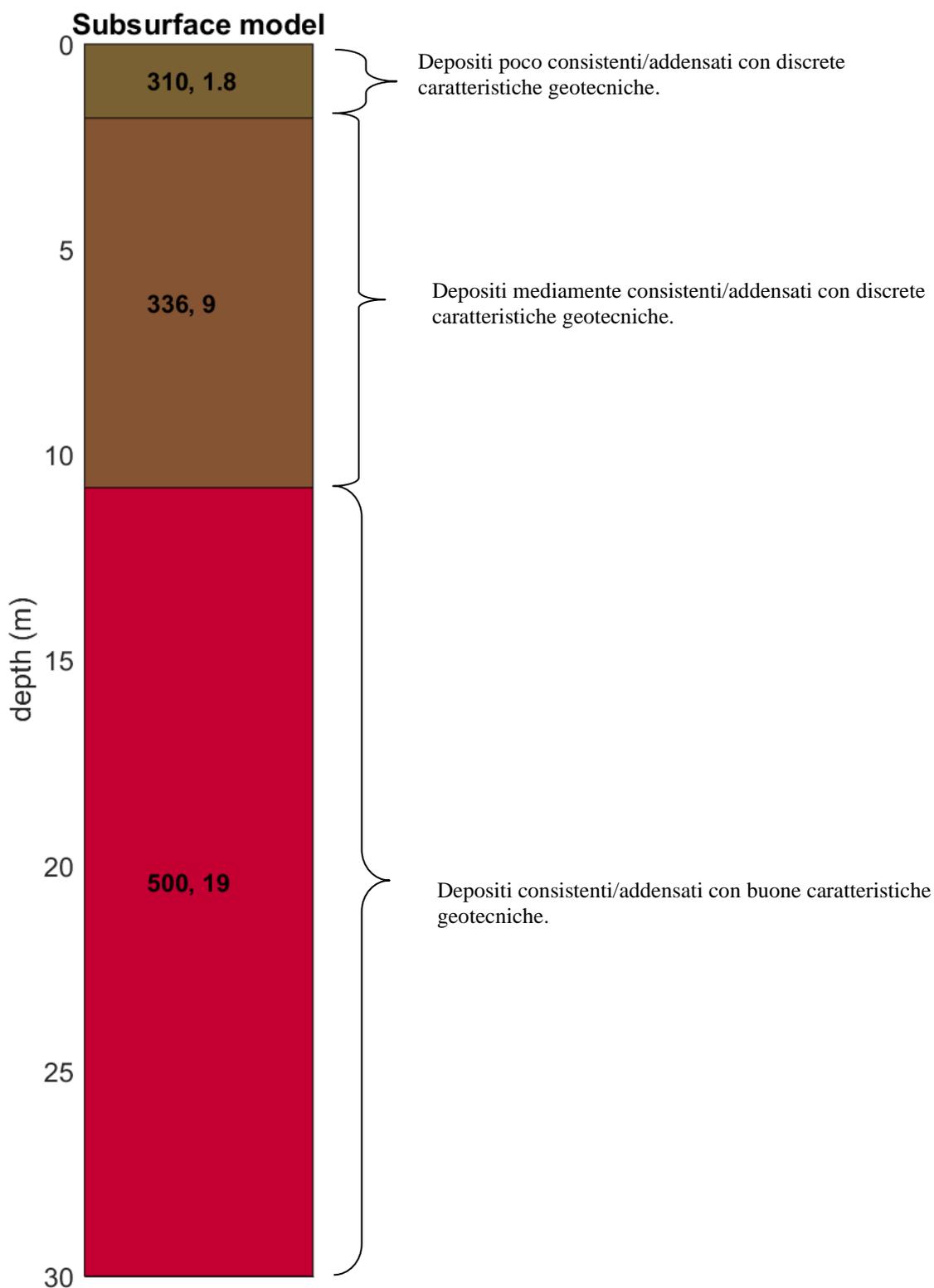
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **V<sub>s30</sub> di 425 m/s** a partire dal p.c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”.

<b>Spessore (m)</b>	<b>V<sub>s</sub> (m/s) e deviazioni standard</b>
1,8	310±39
9,0	336± 16
<i>Semi-spazio</i>	500± 17

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- ***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa*** molto addensati o terreni a grana fine 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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



	<p style="text-align: center;"><b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 72 di 140</p>
---	---	--

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 1,8 m, con velocità media delle onde di taglio di 310 m/s a depositi poco consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 9,0 m, con velocità media delle onde di taglio di 336 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 11 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 25 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 500 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  ( $\text{Kg/m}^3$ ) 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:

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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

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 ( $E_d$ )**

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 seguenti relazioni:

$$\mathbf{Edin=8.3 Estat+0.97 Estat= (Edin-0.97)/8.3}$$

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

$$\mathbf{Gstat=R*G}$$

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  $\mathbf{v=(E-2G)/(2G)}$

Modulo di compressibilità volumetrico  $\mathbf{K=G*E/[3(3G-E)]}$

Modulo edometrico  $\mathbf{Eed=G*(4G-E)/(3G-E)}$

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 10**

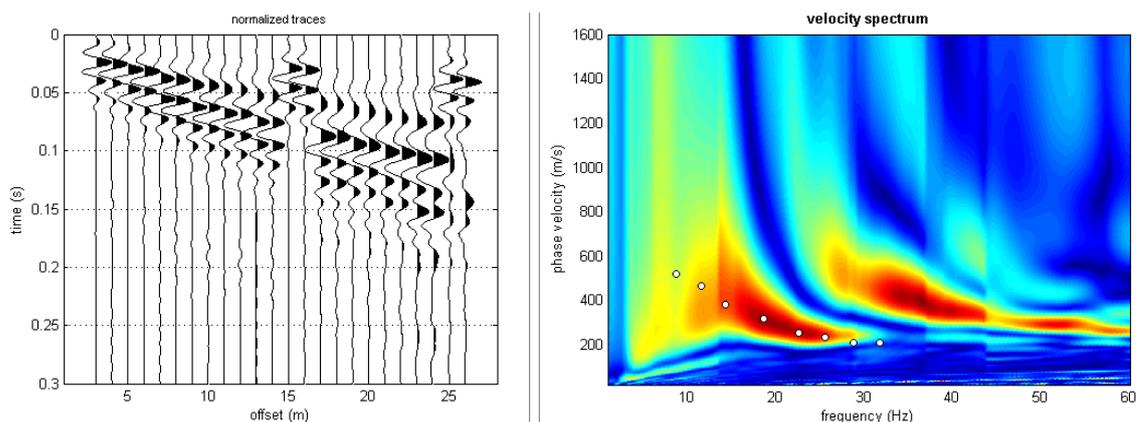
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	1,8	759	310,00	1,8	0,4	4843	0,558	1730	8072
2	9,0	823	336	1,9	0,4	6006	0,638	2145	10010
3	19,0	1225	500	2,2	0,4	15400	1,100	5500	25667

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 10**

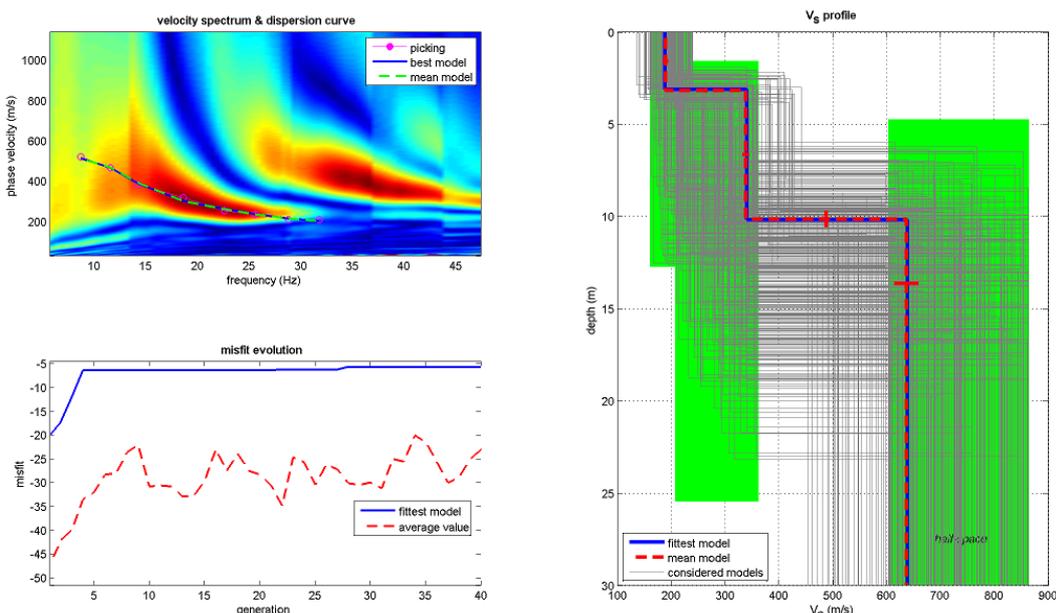
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	1,8	759	1,8	0,4	815,03	583,38	779	224,90	1197
2	9,0	823	1,9	0,4	1011,01	723,50	967	278,85	2974
3	19,0	1225	2,2	0,4	2000,34	1855,30	2480	715,00	5088

2.16 INTERPRETAZIONE DATI MASW-11

**Masw- 11**



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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

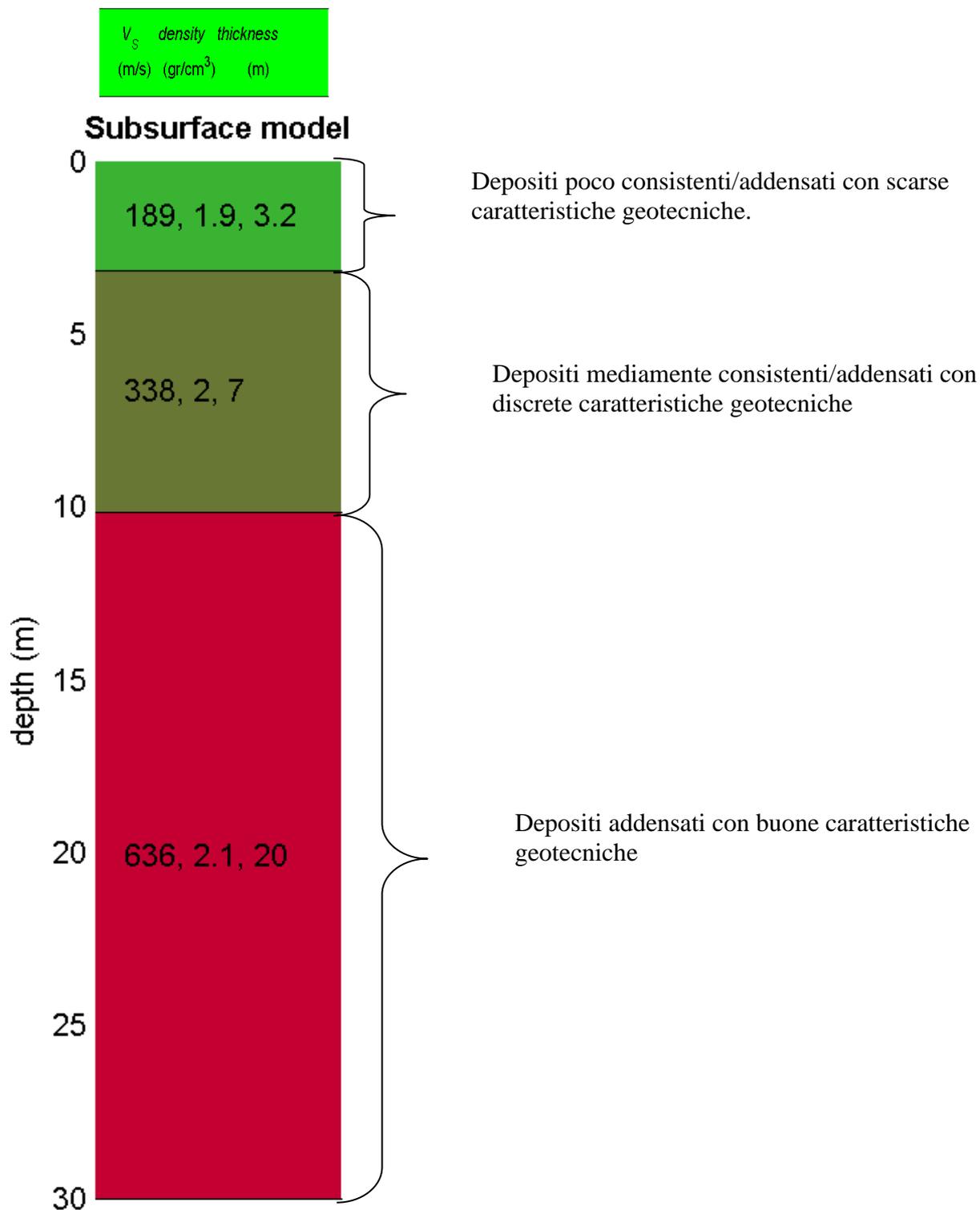
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **Vs<sub>30</sub> di 434,2 m/s** a partire dal p.c. c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”

<b>Spessore (m)</b>	<b>Vs (m/s) e deviazioni standard</b>
3,2	189± 4
7	338± 6
semi-spazio	636± 22

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa** molto addensati o terreni a grana fine 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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



	<p style="text-align: center;"><b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 79 di 140</p>
---	---	--

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 3,2 m, con velocità media delle onde di taglio di 189 m/s e corrisponde a terreno vegetale e depositi con poca consistenza/addensamento con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 7 m, con velocità media delle onde di taglio di 338 m/s e depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 10 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 636 m/s ed è riferibile a depositi con buone 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  $\gamma$  ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) 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:

### RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

Nelle misure di laboratorio il rapporto  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di Young o elastico dinamico -  $E_s$  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 seguenti relazioni:

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

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

$$G_{stat} = R * G$$

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 
$$v = (E - 2G) * / (2G)$$

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

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 11**

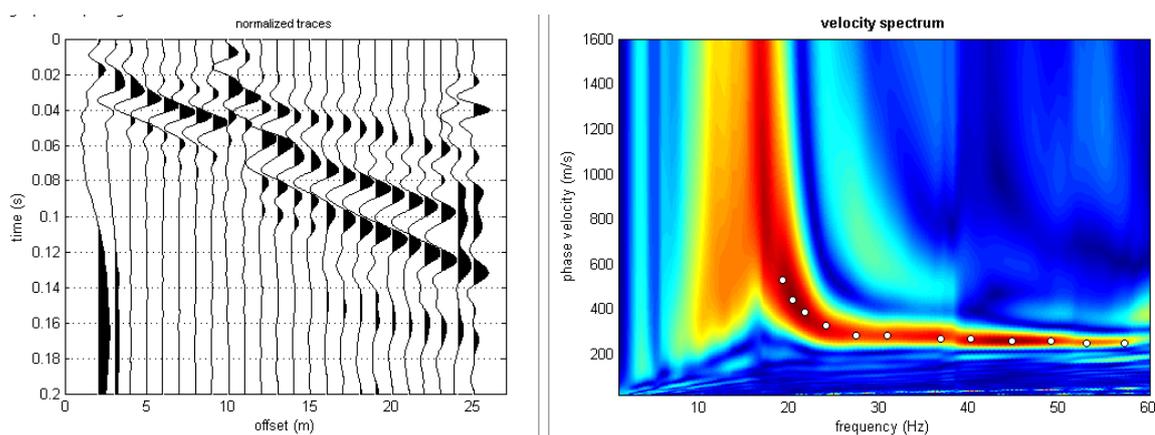
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	3,2	463	189,00	1,9	0,4	1900	0,359	679	3167
2	7,0	828	338	2	0,4	6398	0,676	2285	10663
3	20,0	1558	636	2,1	0,4	23784	1,336	8494	39641

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 11**

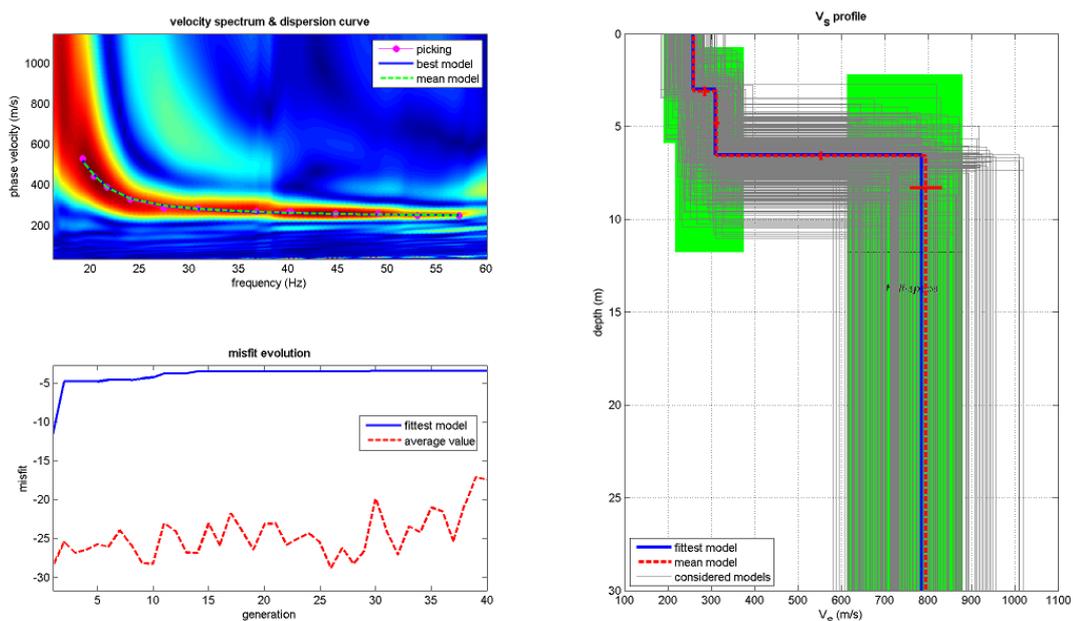
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	3,2	463	1,9	0,4	319,46	228,80	305	88,27	467
2	7,0	828	2	0,4	1077,01	770,73	1030	297,05	3169
3	20,0	1558	2,1	0,4	3089,57	2865,43	3831	1104,22	7861

## 2.17 INTERPRETAZIONE DATI MASW-12

### Masw- 12



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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

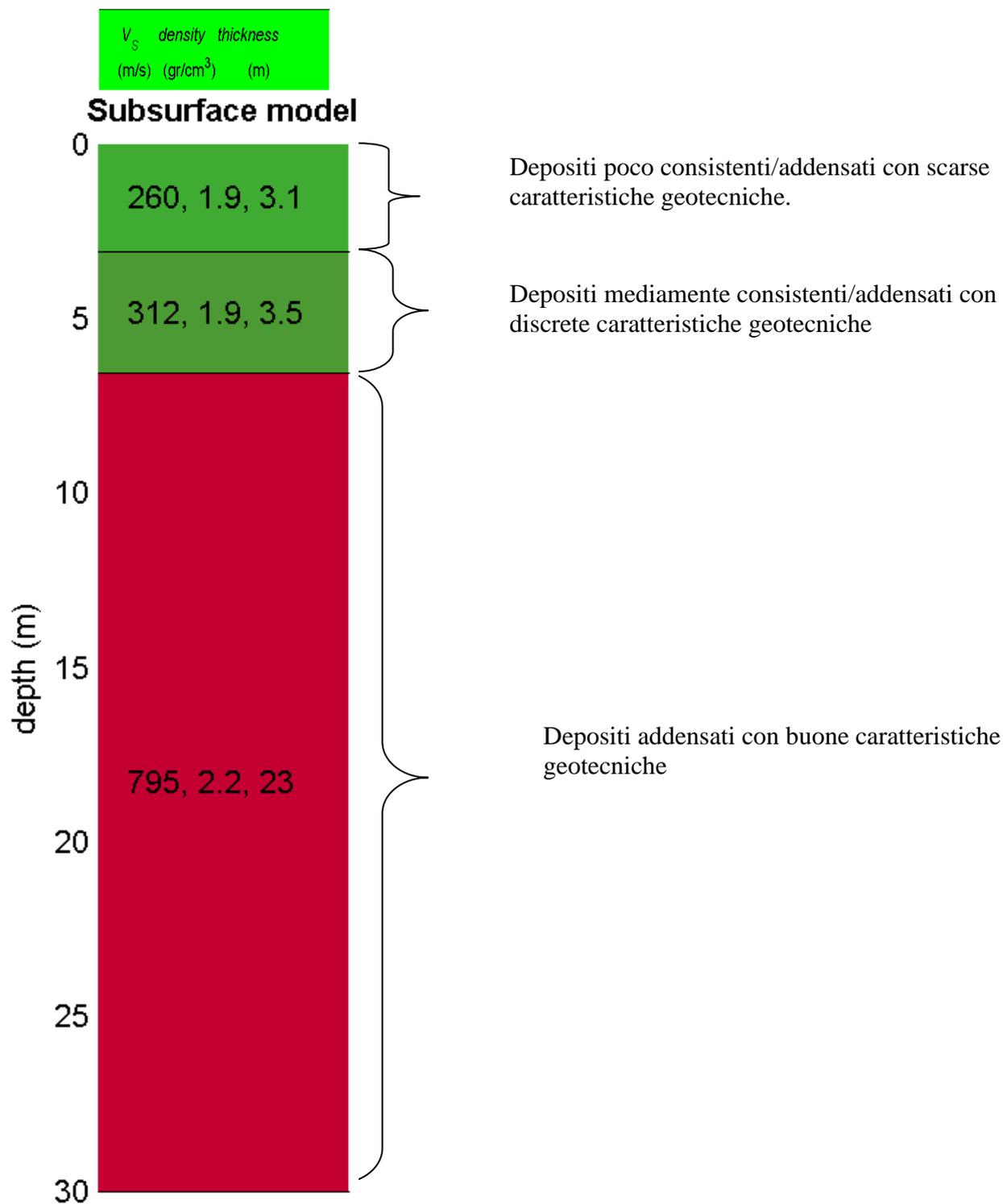
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una  $V_{s30}$  di **576,1 m/s** a partire dal p.c. c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”

<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s) e deviazioni standard</b>
3,1	260± 3
3,5	312± 7
<i>semi-spazio</i>	795± 36

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- ***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa*** molto addensati o terreni a grana fine 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.

RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI



	<p style="text-align: center;"><b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 86 di 140</p>
---	---	--

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 3,1 m, con velocità media delle onde di taglio di 260 m/s e corrisponde a terreno vegetale e depositi a poca consistenza/addensamento con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 3,5 m, con velocità media delle onde di taglio di 312 m/s e depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 6.5 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 795 m/s ed è riferibile a depositi con buone 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  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) 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:

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

### RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 seguenti relazioni:

$$\mathbf{Edin=8.3 Estat+0.97 Estat= (Edin-0.97)/8.3}$$

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

$$\mathbf{Gstat=R*G}$$

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  $\mathbf{v=(E-2G)/(2G)}$

Modulo di compressibilità volumetrico  $\mathbf{K=G*E/[3(3G-E)]}$

Modulo edometrico  $\mathbf{Eed=G*(4G-E)/(3G-E)}$

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 12**

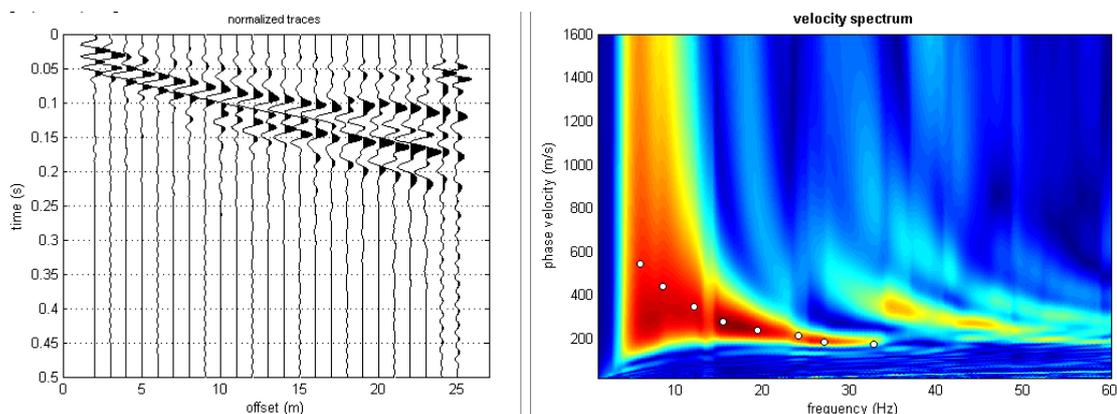
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	3,1	637	260,00	1,9	0.4	3596	0,494	1284	5994
2	3,5	764	312	2	0.4	5179	0,593	1850	8631
3	23,0	1947	795	2,1	0.4	38933	1,749	13905	64888

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 12**

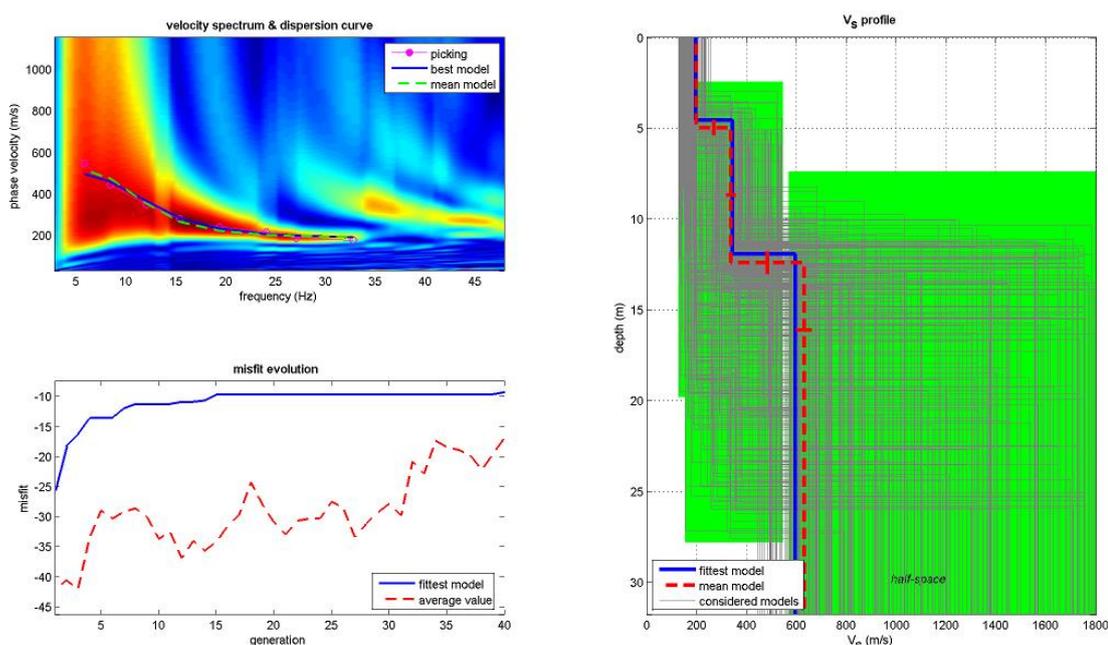
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	3,1	637	1,9	0.4	605,32	433,14	579	166,92	891
2	3,5	764	2	0.4	871,61	623,86	833	240,50	2561
3	23,0	1947	2,1	0.4	5057,33	4690,61	6269	1807,65	12864

## 2.18 INTERPRETAZIONE DATI MASW-13

### Masw- 13



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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

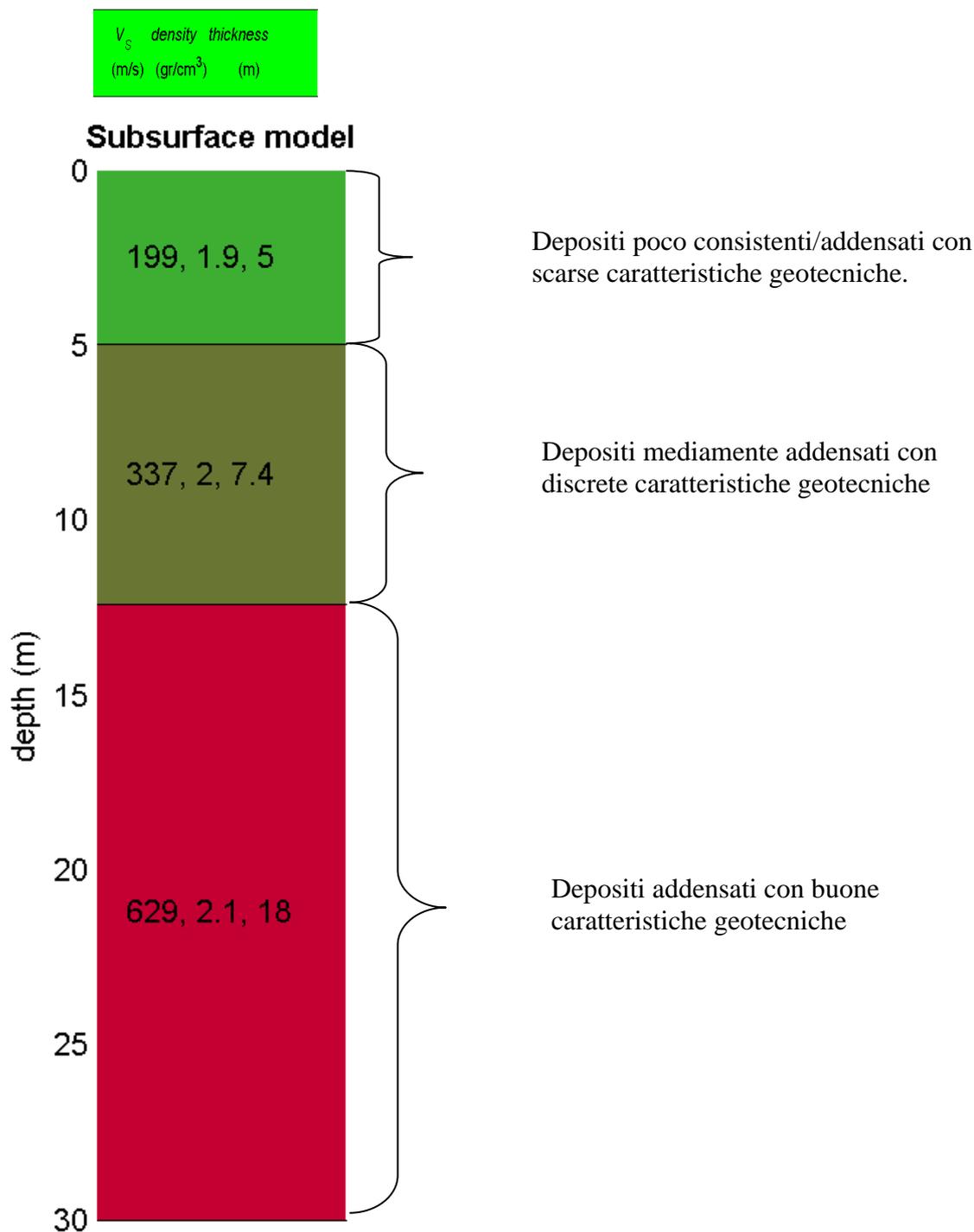
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **Vs<sub>30</sub> di 396,3 m/s** a partire dal p.c. c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”

<b>Spessore (m)</b>	<b>Vs (m/s) e deviazioni standard</b>
5	199± 5
7.4	337± 19
<i>semi-spazio</i>	629± 31

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa** molto addensati o terreni a grana fine 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.

RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI



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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 5,00 m, con velocità media delle onde di taglio di 199 m/s e corrisponde a terreno vegetale e depositi a poca consistenza con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 7,40 m, con velocità media delle onde di taglio di 337 m/s e depositi mediamente addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 12,40 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 629 m/s ed è riferibile a depositi con buone 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  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) 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:

### RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

Nelle misure di laboratorio il rapporto  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di Young o elastico dinamico -  $E_s$  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 seguenti relazioni:

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

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

$$G_{stat} = R * G$$

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  $K = G * E / [3(3G - E)]$

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

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 13**

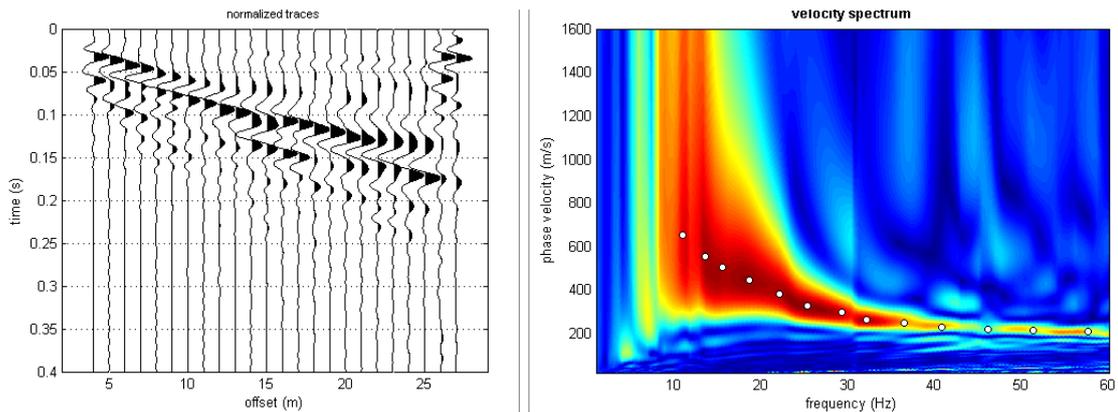
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	5,0	487	199,00	1,9	0,4	2107	0,378	752	3511
2	7,4	825	337	2	0,4	6360	0,674	2271	10600
3	18,0	1541	629	2,1	0,4	23264	1,321	8308	38773

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 13**

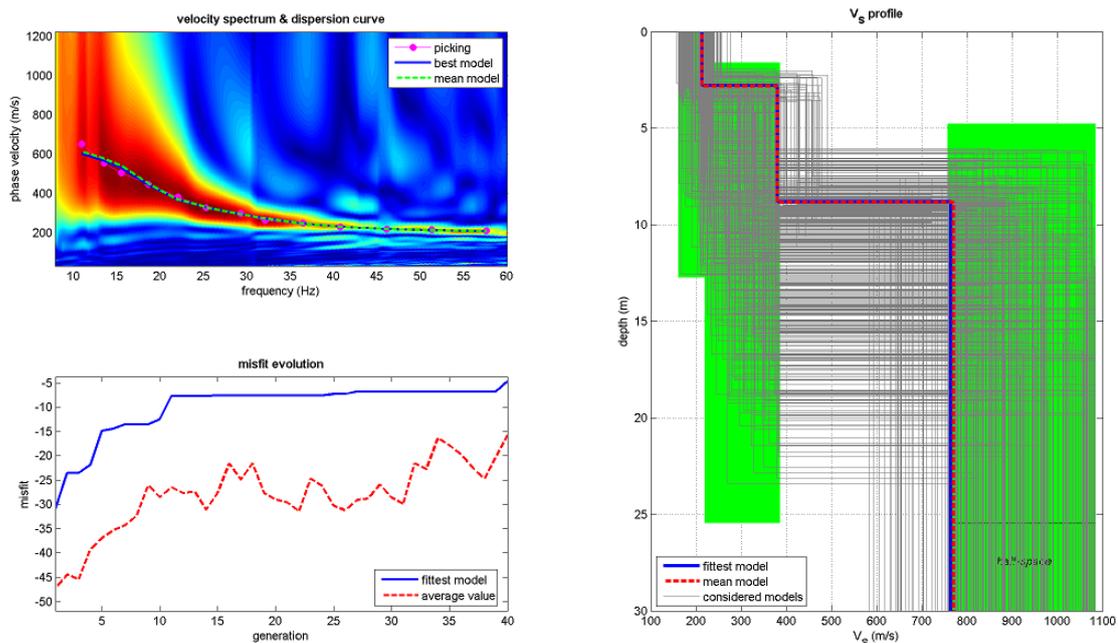
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	5,0	487	1,9	0,4	354,68	253,74	339	97,76	523
2	7,4	825	2	0,4	1070,78	766,15	1024	295,23	3154
3	18,0	1541	2,1	0,4	3022,10	2802,77	3747	1080,04	7691

## 2.19 INTERPRETAZIONE DATI MASW-14

### Masw- 14



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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

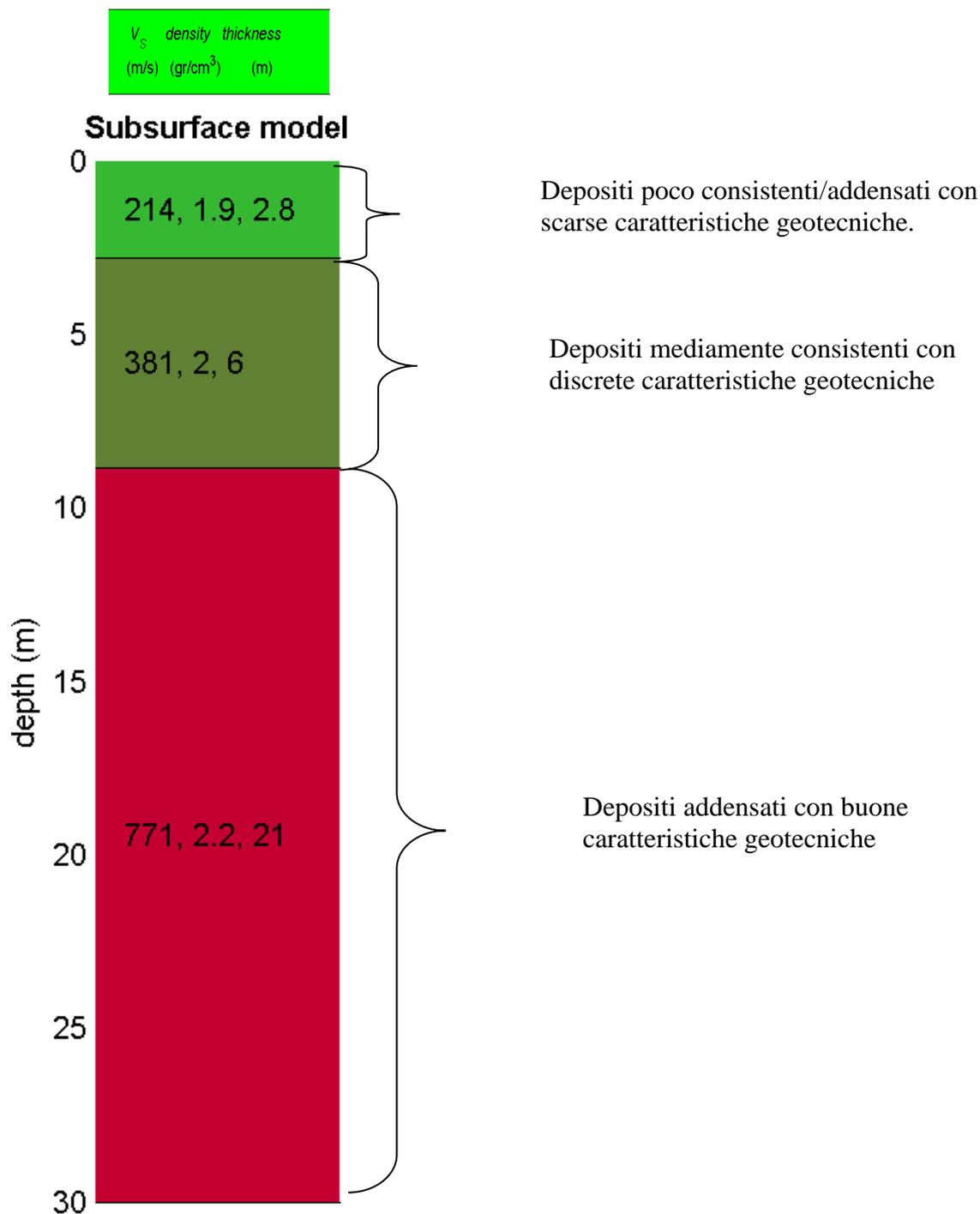
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una  $V_{s30}$  di **535,1 m/s** a partire dal p.c. c secondo la.D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”

<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s) e deviazioni standard</b>
2.8	214± 8
6	381± 25
<i>semi-spazio</i>	771± 124

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- ***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa*** molto addensati o terreni a grana fine 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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



	<p style="text-align: center;"> <b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b> </p> <p style="text-align: center;"> <b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b> </p>	<p style="text-align: right;"> <b>DATA: FEBBRAIO 2024</b>  <b>Pag. 100 di 140</b> </p>
---	---	--

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 2,80 m, con velocità media delle onde di taglio di 214 m/s e corrisponde a terreno vegetale e depositi a poca consistenza con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 6 m, con velocità media delle onde di taglio di 381 m/s e depositi mediamente consistenti con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 8,80 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 771 m/s ed è riferibile a depositi con buone 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  $\gamma$  ( $\text{Kg/m}^3$ ) 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:

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

## RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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 ( $E_d$ )

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 seguenti relazioni:

$$\mathbf{Edin=8.3 Estat+0.97 Estat= (Edin-0.97)/8.3}$$

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

$$\mathbf{Gstat=R*G}$$

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  $\mathbf{v=(E-2G)/(2G)}$

Modulo di compressibilità volumetrico  $\mathbf{K=G*E/[3(3G-E)]}$

Modulo edometrico  $\mathbf{Eed=G*(4G-E)/(3G-E)}$

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 14**

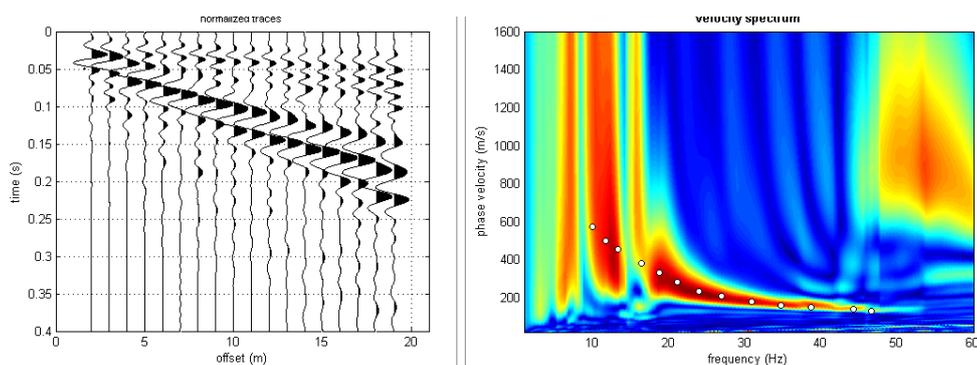
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2,8	524	214,00	1,9	0,4	2436	0,407	870	4061
2	6,0	933	381	2	0,4	8129	0,762	2903	8710
3	21,0	1889	771	2,2	0,4	36618	1,696	13078	39233

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 14**

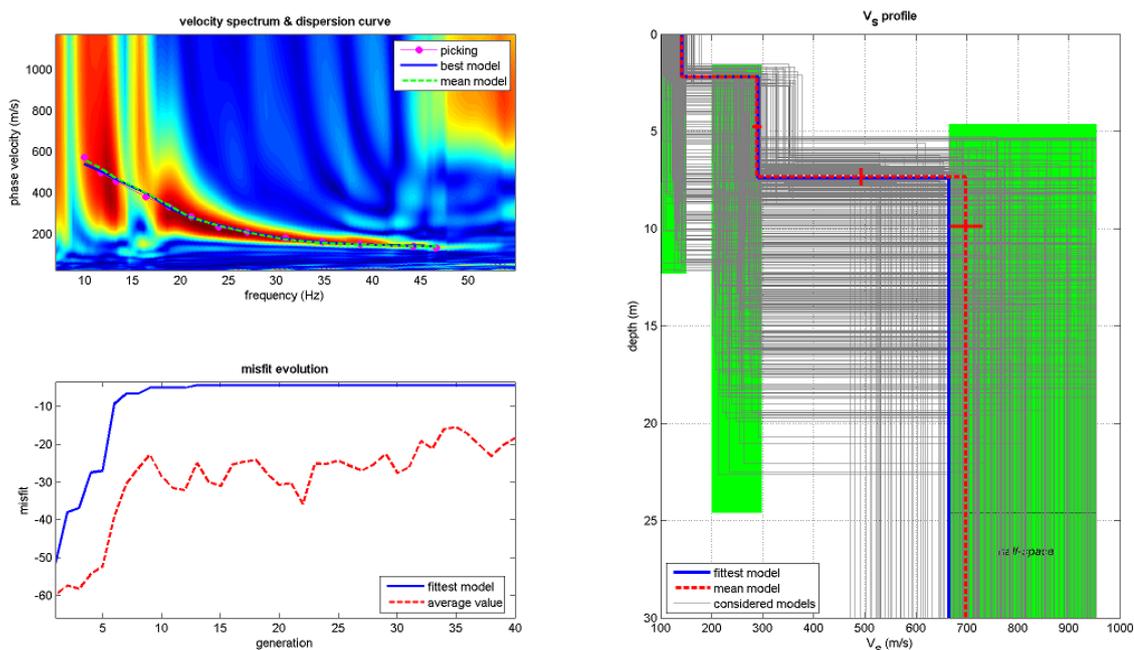
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2,8	524	1,9	0,4	409,88	293,38	392	113,10	602
2	6,0	933	2	0,4	1368,57	979,28	1309	377,39	4029
3	21,0	1889	2,2	0,4	4756,66	4411,69	5897	1700,14	12100

## 2.20 INTERPRETAZIONE DATI MASW-15

### Masw- 15



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).



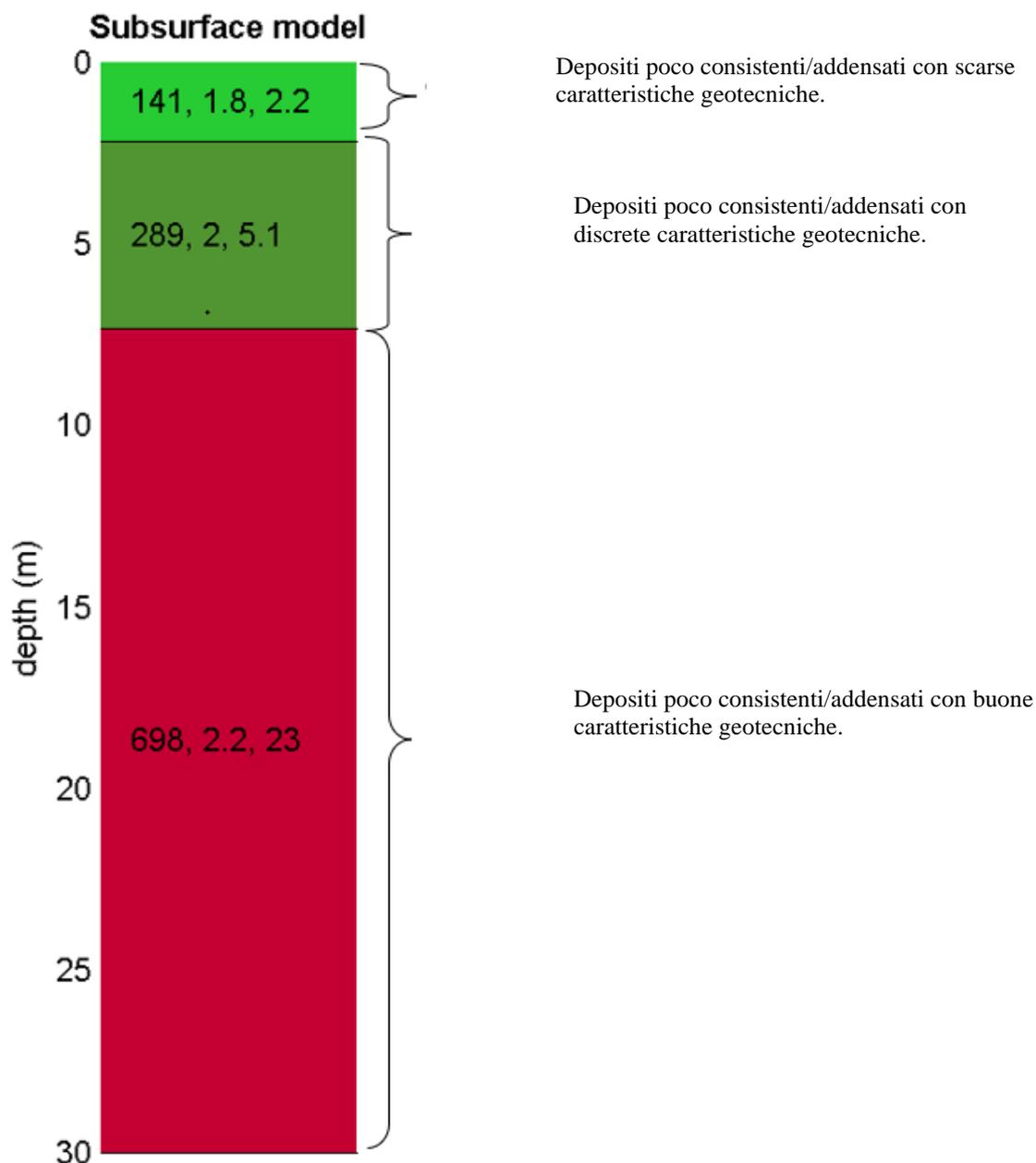
**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una  $V_{s30}$  di **456 m/s** a partire dal p.c. c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”.

Spessore (m)	$V_s$ (m/s) e deviazioni standard
2,2	141±35
5,1	289± 16
Semi-spazio	698± 17

Rispetto le norme tecniche per le costruzioni (DM 17 gennaio 2018, ex DM 14/09/2005) il sito in esame rientra quindi nella categoria **B** ovvero:

- **Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa** molto addensati o terreni a grana fine 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.



	<p style="text-align: center;"><b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 107 di 140</p>
---	---	---

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 2,2 m, con velocità media delle onde di taglio di 141 m/s a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 5,1 m, con velocità media delle onde di taglio di 289 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 7 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 25 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 698 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) 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:

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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

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 ( $E_d$ )**

È definito dalla seguente equazione:

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

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.

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 seguenti relazioni:

$$\mathbf{Edin=8.3 Estat+0.97 Estat= (Edin-0.97)/8.3}$$

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

$$\mathbf{Gstat=R*G}$$

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  $\mathbf{v=(E-2G)/(2G)}$

Modulo di compressibilità volumetrico  $\mathbf{K=G*E/[3(3G-E)]}$

Modulo edometrico  $\mathbf{Eed=G*(4G-E)/(3G-E)}$

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 15**

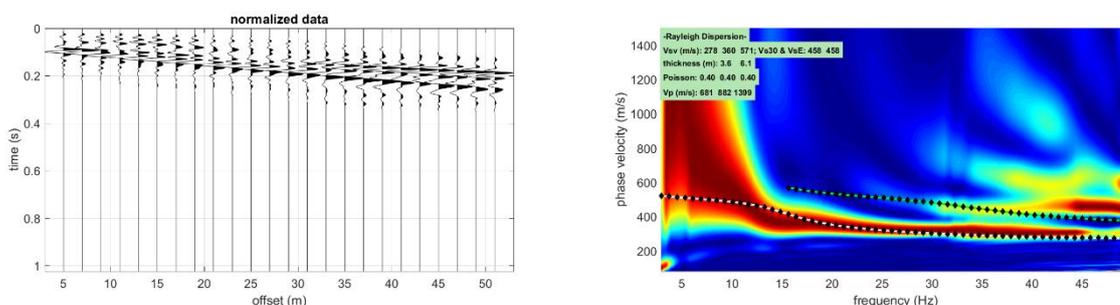
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2,2	345	141	1,80	0,40	1002	0,254	358	1670
2	5,1	708	289	2,00	0,40	4677	0,578	1670	7795
3	23	1710	698	2,2	0,40	30012	1,536	10718	50020

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 15**

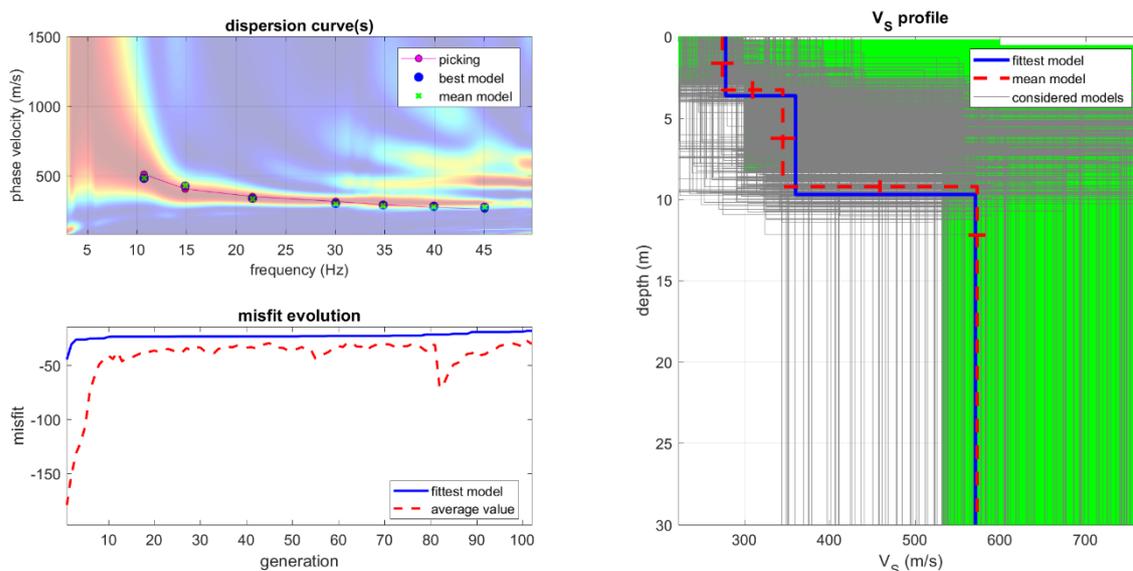
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	2,2	345	1,80	0,40	168,42	120,61	161	46,52	247
2	5,1	708	2,00	0,40	787,25	563,40	753	217,15	2315
3	23	1710	2,20	0,40	3898,51	3615,76	4833	1393,40	9918

## 2.21 INTERPRETAZIONE DATI MASW-16

### Masw- 16



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 VS 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).



**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

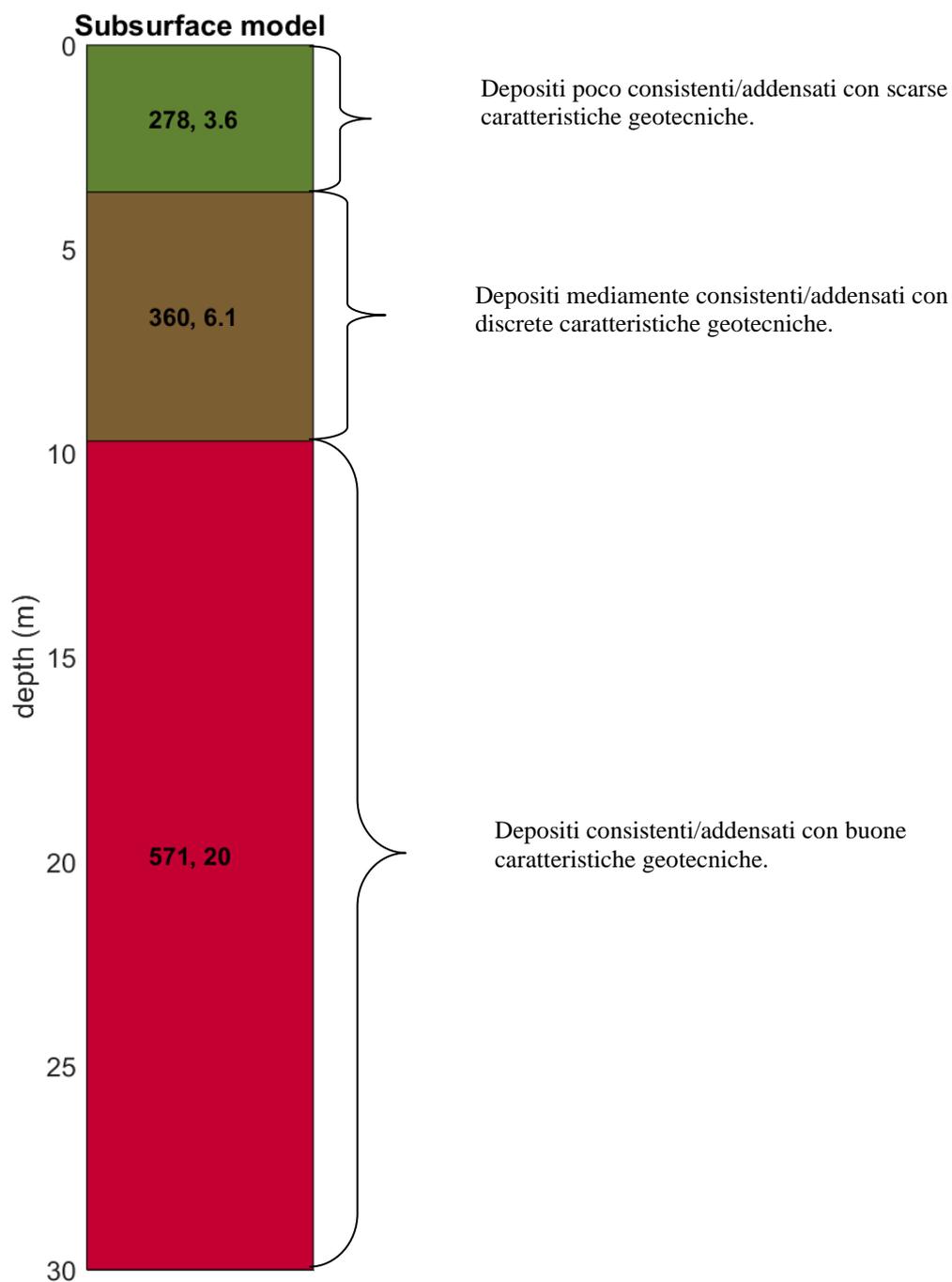
In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una  $V_{s30}$  di **462,1 m/s** a partire dal p.c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”.

<b>Spessore (m)</b>	<b><math>V_s</math> (m/s) e deviazioni standard</b>
3.6	278±13
6.1	360± 14
Semi-spazio	571± 10

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

- ***Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa*** molto addensati o terreni a grana fine 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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



	<p style="text-align: center;"><b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 114 di 140</p>
---	---	---

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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 3.6 m, con velocità media delle onde di taglio di 278 m/s a depositi poco consistenti/addensati con scarse caratteristiche geotecniche;
- Il secondo sismostrato presenta uno spessore di circa 6.1 m, con velocità media delle onde di taglio di 360 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche;
- Il terzo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 10 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 25 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 571 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) 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:

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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

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 ( $E_d$ )**

È definito dalla seguente equazione:

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

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**

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 seguenti relazioni:

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

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  $M_e=16G^2/[\pi(4G-E)]$

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 16**

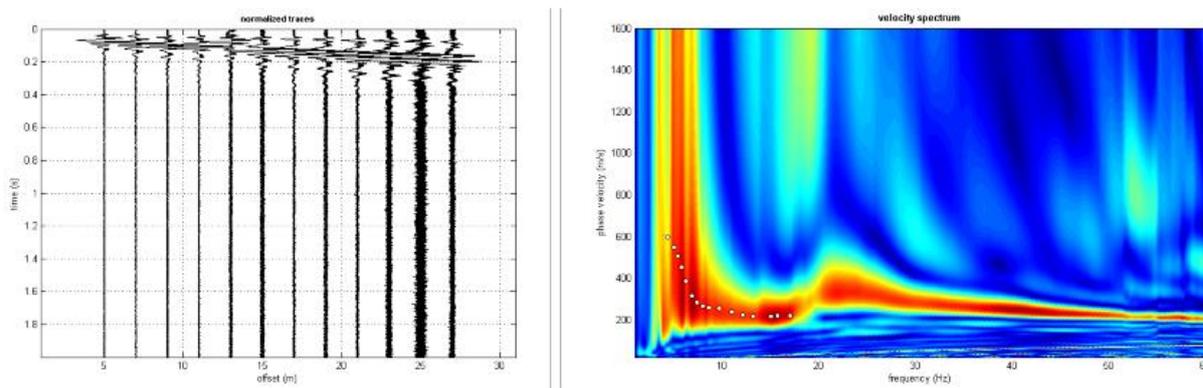
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	3.6	681	278	1.96	0.4	4241	0.545	1515	7069
2	6.1	882	360	2.01	0.4	7403	0.734	2644	12338
3	20	1399	571	2.14	0.4	19536	1.222	6977	32561

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW 16**

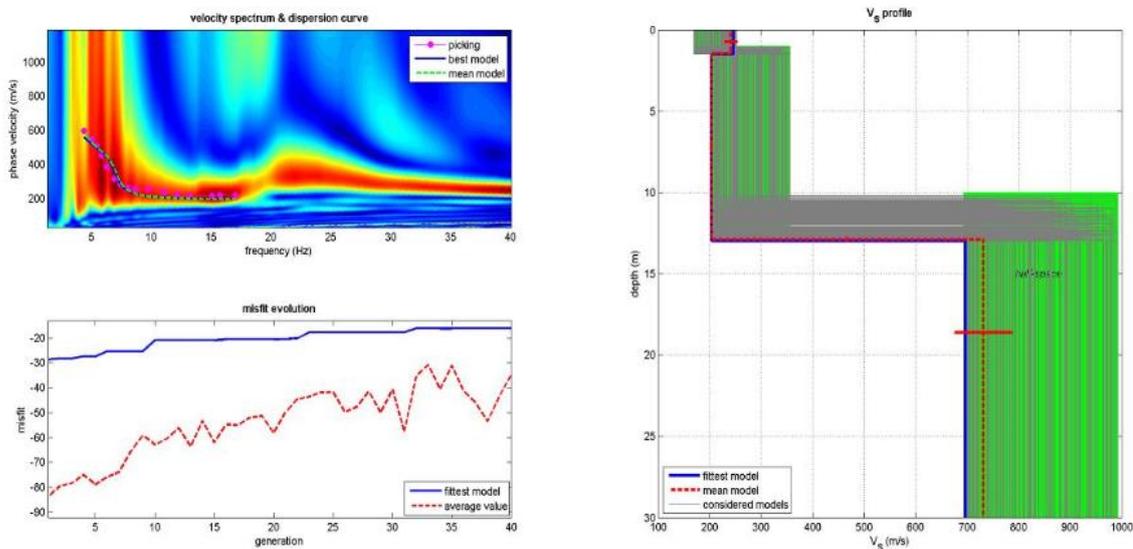
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	3.6	681	1.96	0.4	713.67	510.85	682	196.95	1048
2	6.1	882	2.01	0.4	1246.21	891.81	1192	343.72	3666
3	20	1399	2.14	0.4	2537.68	2353.62	3146	907.01	6456

## 2.22 INTERPRETAZIONE DATI MASW01 – SOTTOSTAZIONE ELETTRICA

### Masw01 - SSE



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 VS 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).



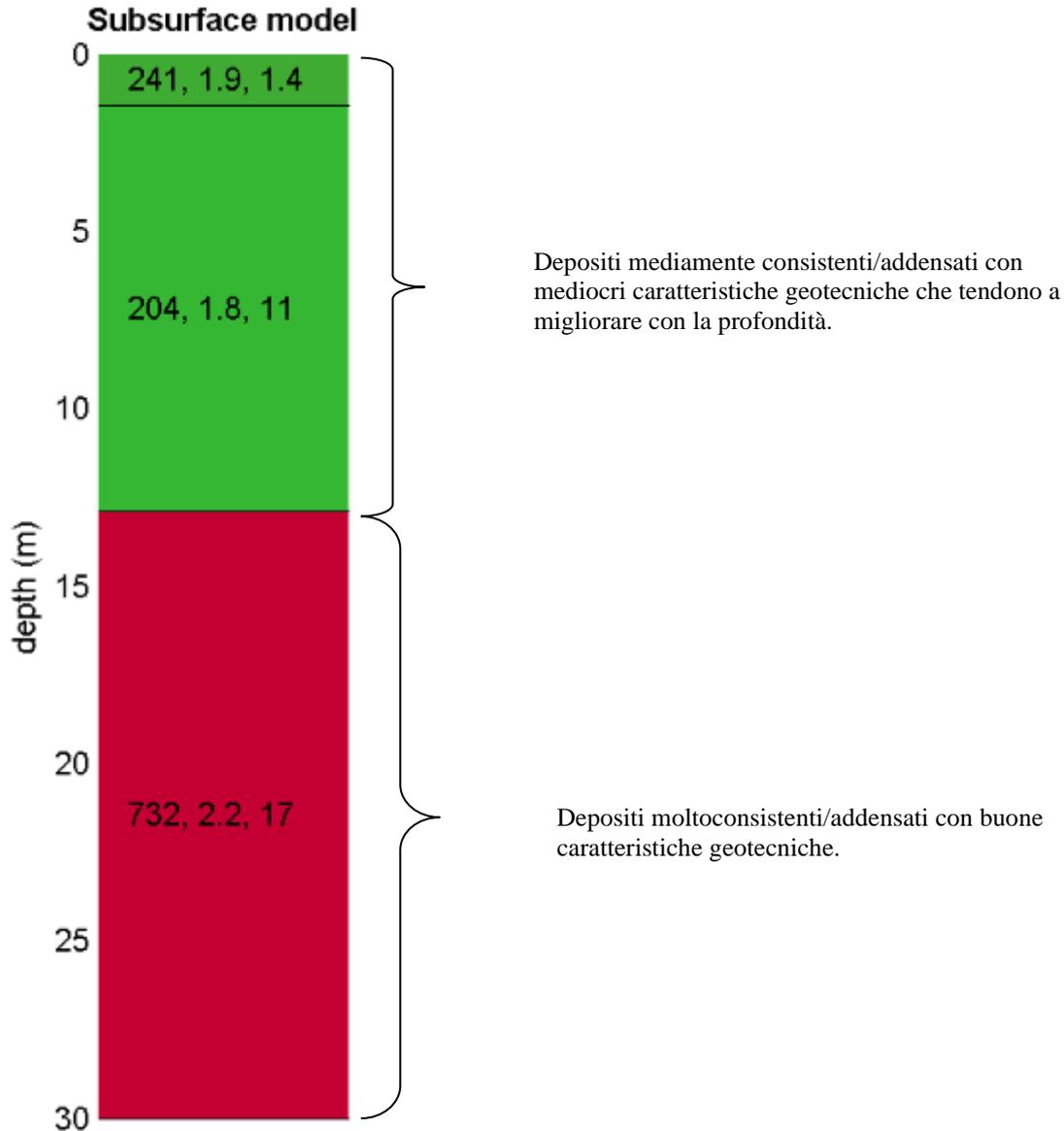
**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **V<sub>s30</sub> di 355,3 m/s** a partire dal p.c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”.

<b>Spessore (m)</b>	<b>V<sub>s</sub> (m/s) e deviazioni standard</b>
12.5	206,5± 7
Semi-spazio	732± 56

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

- **Depositi di terreni a grana grossa** mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.



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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 12.5 m, con velocità media delle onde di taglio di 207 m/s a depositi abbastanza alterato con scarse caratteristiche geotecniche;

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

- Il secondi sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 12.5 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 732 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) 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 (Ea)**

È definito dalla seguente equazione:

	<p style="text-align: center;">“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</p> <p style="text-align: center;"><b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b></p>	<p style="text-align: right;">DATA: FEBBRAIO 2024 Pag. 122 di 140</p>
---	--	---

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

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 ( $<10^{-4}$ ) 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  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di Young o elastico dinamico -  $E_s$  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 seguenti relazioni:

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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 MASW01-SSE**

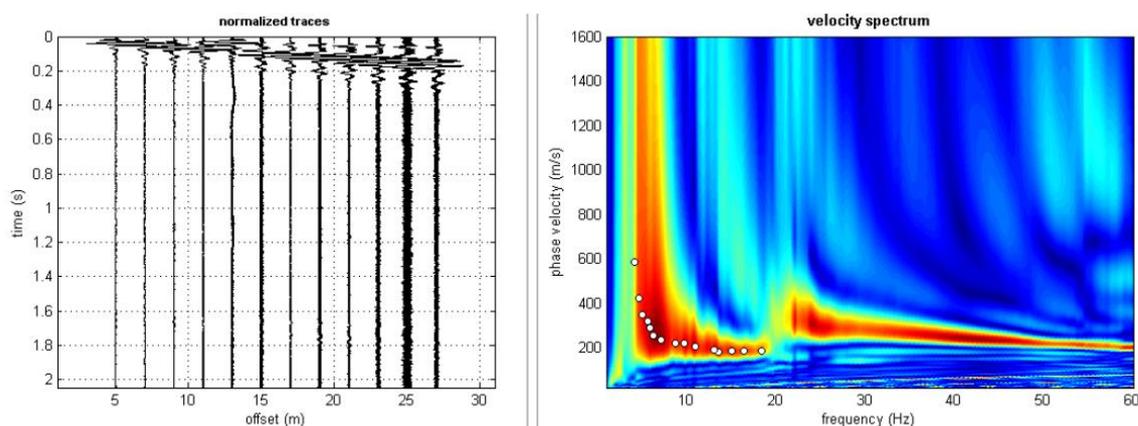
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
<b>1</b>	12,5	685	206,50	1,8	0.45	2227	0,372	768	7423
<b>2</b>	17,5	3077	732	1,89	0.47	29779	1,383	10127	165441

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW01-SSE**

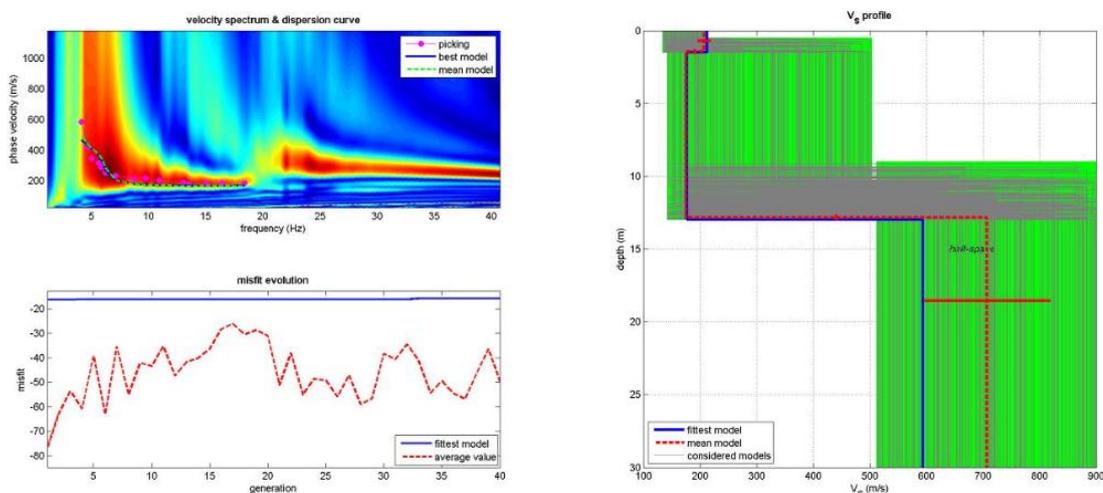
STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	Modulo di carico su piastra Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	Modulo Edometrico Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
<b>1</b>	12,5	685	1,8	0.45	387,25	268,20	418	99,84	712
<b>2</b>	17,5	3077	1,89	0.47	5262,14	3587,71	6107	1316,51	21757

## 2.23 INTERPRETAZIONE DATI MASW02 – SOTTOSTAZIONE ELETTRICA

### Masw02 - SSE



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 VS 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).



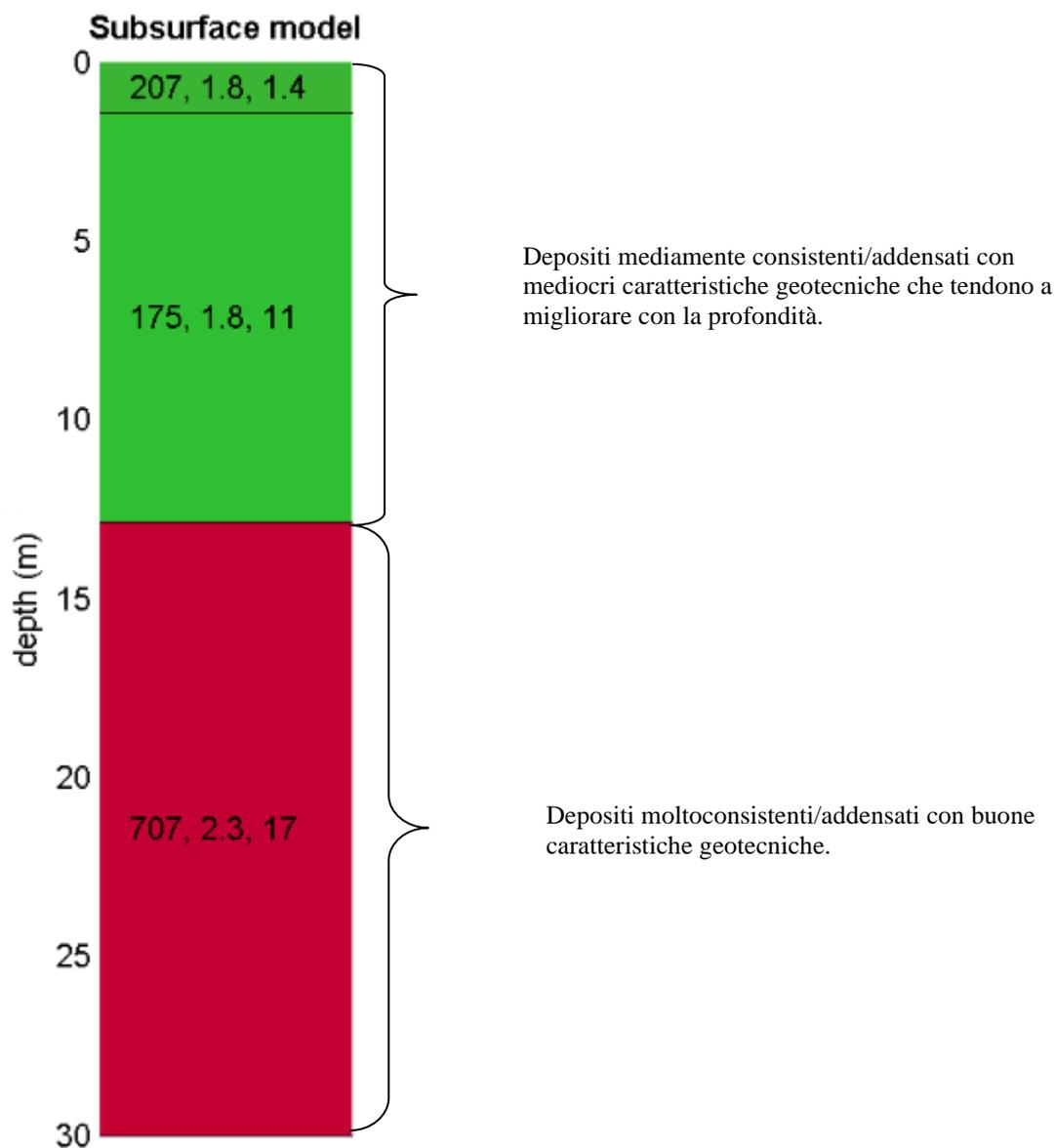
	<p align="center"> <b>“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.</b> </p> <p align="center"> <b>RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI</b> </p>	<p align="right"> <b>DATA: FEBBRAIO 2024</b>  <b>Pag. 125 di 140</b> </p>
---	---	---

In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a cui corrisponde una **Vs<sub>30</sub> di 316,9 m/s** a partire dal p.c secondo la D.M. 17/01/2018 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”.

<b>Spessore (m)</b>	<b>Vs (m/s) e deviazioni standard</b>
12.5	179± 11
Semi-spazio	707± 2

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

- **Depositi di terreni a grana grossa** mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.



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

- Il primo sismostrato presenta uno spessore di circa 12.5 m, con velocità media delle onde di taglio di 175 m/s, riferibile a suolo agrario e a terreni superficiali maggiormente alterati e decompressi caratterizzati da mediocri caratteristiche geotecniche;

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

- Il secondo sismostrato, che si rinviene a profondità maggiori di 17.5 m dal p.c. e fino alla profondità di investigazione, superiore ai 30 m di profondità, presenta velocità  $V_s$  media di 707 m/s, e rappresenta depositi consistenti e addensati con buone 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  $\gamma$  (Kg/m<sup>3</sup>) 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 (Ea)**

È definito dalla seguente equazione:

### RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI

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

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  $E_d/E_s$  ( $E_d$  modulo di Young o elastico dinamico -  $E_s$  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 seguenti relazioni:

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

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

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

$$G_{stat} = R * G$$

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  $K = G * E / [3(3G - E)]$

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

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

**PARAMETRI FISICI E DINAMICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW02-SSE**

STRATO	SPESSORE m	Vp m/s	Vs m/s	$\gamma'$ g/cm <sup>3</sup>	$\lambda$ (-)	MODULO DI YOUNG Kg/cm <sup>2</sup>	R Kg/cm <sup>2</sup>	MODULO DI TAGLIO Kg/cm <sup>2</sup>	Mod.di Incompressibilità Kg/cm <sup>2</sup>
1	12,5	593	178,80	1,8	0.45	1669	0,322	575	5562
2	17,5	2972	707	1,89	0.47	27781	1,336	9447	154343

**PARAMETRI STATICI MEDI DEL SOTTOSUOLO INDAGATO CON LA MASW02-SSE**

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	12,5	685	1,8	0.45	290,43	200,97	315	74,75	538
2	17,5	3077	1,89	0.47	4909,37	3346,99	5699	1228,11	20308

### **3.RAPPORTO FOTOGRAFICO**

#### 3.1 INDAGINI SISMICHE DI TIPO MASW.



Postazione della MASW 01

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



Postazione della MASW 02



Postazione della Masw 03

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



Postazione della MASW 04



Postazione della MASW 05

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



Postazione della MASW 06



Postazione della MASW 07

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



Postazione della MASW 08



Postazione della MASW 09

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

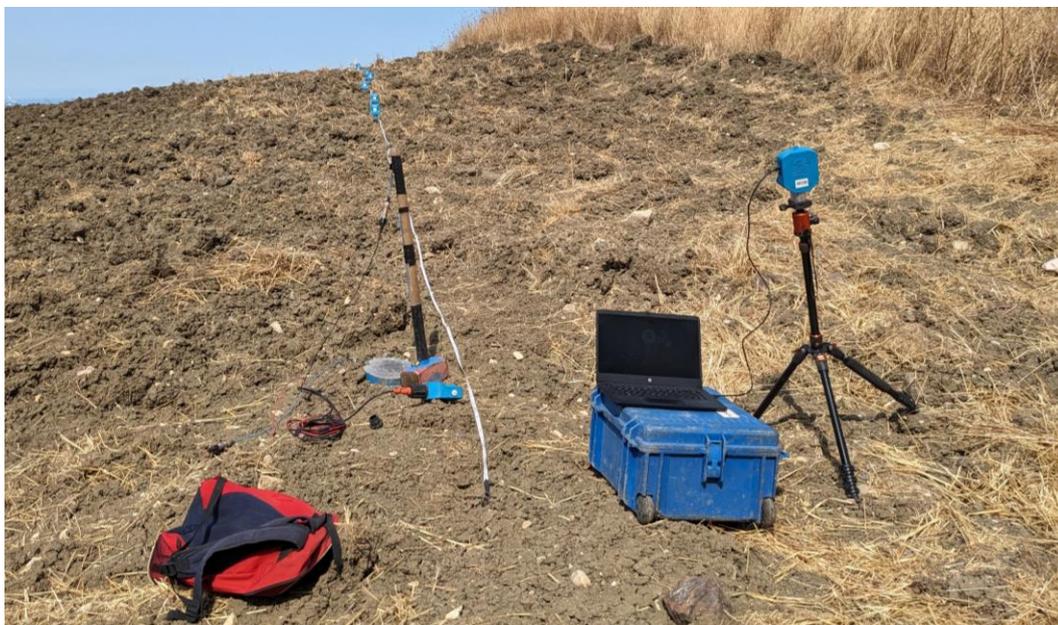


Postazione della MASW 10

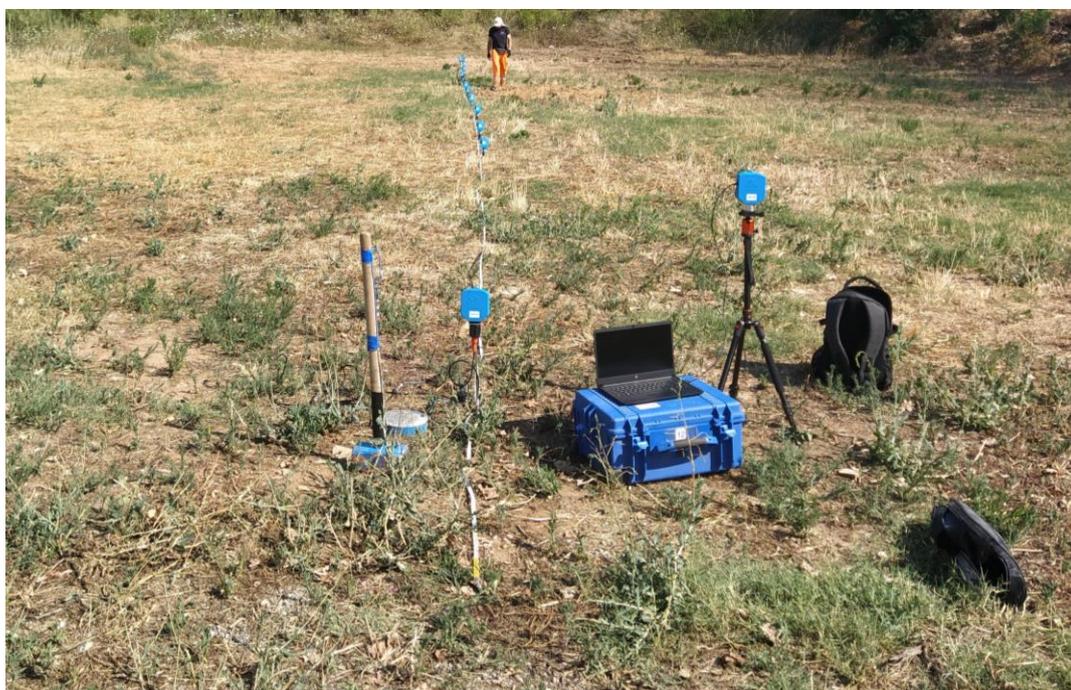


Postazione della MASW 11

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

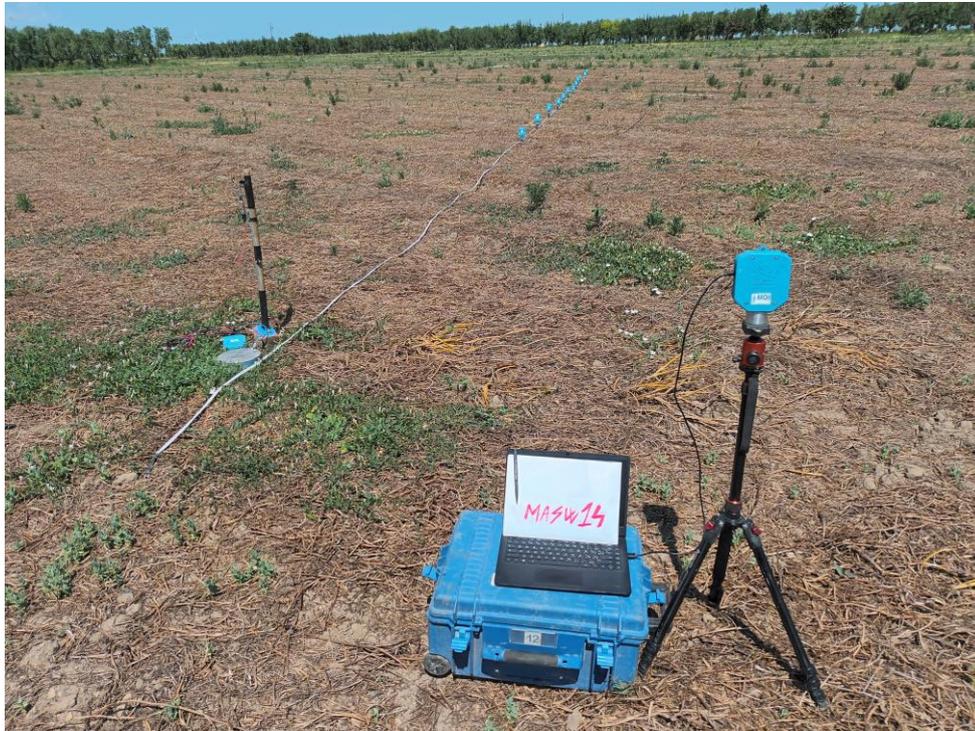


Postazione della MASW 12

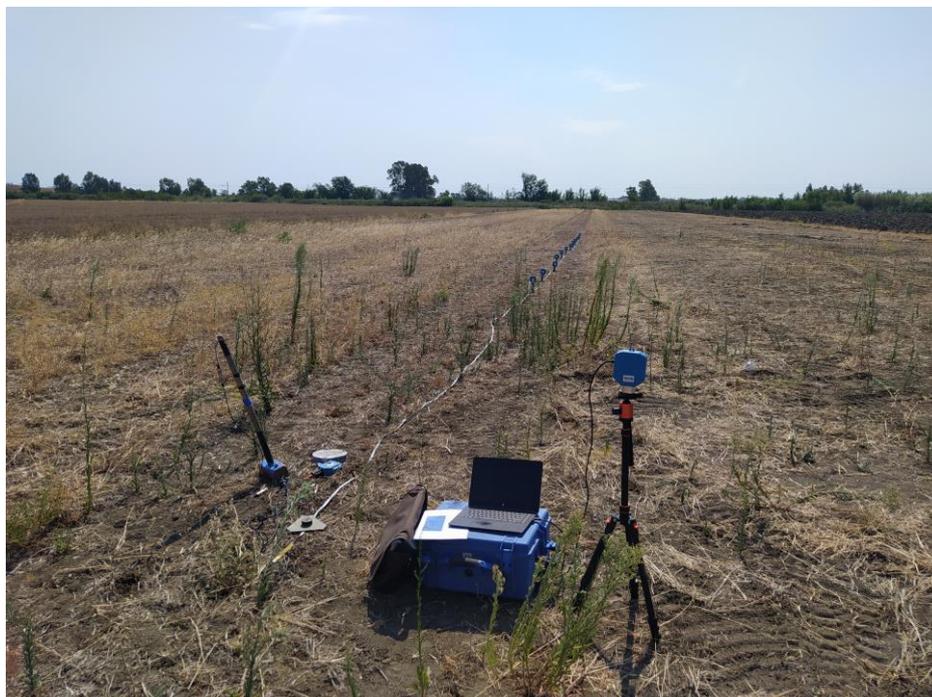


Postazione della MASW 13

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



Postazione della MASW 14



Postazione della MASW 15

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



Postazione della MASW 16



Postazione della MASW 01 SSE

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**



Postazione della MASW 02 SSE



**“PROGETTO DEFINITIVO PER L’ATTUAZIONE DELLA TRANSIZIONE ENERGETICA, MEDIANTE LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO AGRIVOLTAICO DIFFUSO A TERRA, DI POTENZA PARI A CIRCA 160,00 MWP, CON SISTEMA DI STORAGE E GRUPPO POWER-TO-GAS, PER LA PRODUZIONE DI IDROGENO VERDE DA REALIZZARE NEI COMUNI DI SALANDRA E SAN MAURO FORTE (MT)”.**

**DATA: FEBBRAIO 2024  
Pag. 140 di 140**

**RAPPORTO TECNICO DELLE INDAGINI**

***ALLEGATO N°1***  
**ELABORAZIONE INDAGINI PREGRESSE  
DPSH E CERTIFICATI ANALISI**

## PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Descrizione: Area parco  
Localita': San Mauro Forte  
(Mt)

### Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

	Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente		63.5 Kg
Altezza di caduta libera		0.75 m
Peso sistema di battuta		0.63 Kg
Diametro punta conica		51.00 mm
Area di base punta		20.43 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste		1 m
Peso aste a metro		6.31 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta		0.40 m
Avanzamento punta		0.20 m
Numero colpi per punta		N(20)
Coeff. Correlazione		1.47
Rivestimento/fanghi		No
Angolo di apertura punta		90 °

**PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE**  
**(DYNAMIC PROBING)**  
**DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

**Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$  ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25

Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25
--------------------------------	------	-------------	----

### penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha=60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H=0.20$  m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha= 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A=10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)  
 massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A=20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
 massa battente  $M=63.5$  kg, altezza caduta  $H=0.75$  m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

### Correlazione con N<sub>spt</sub>

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi  $N_{spt}$  ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di riportare il numero di colpi di una prova dinamica con  $N_{spt}$ . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui  $Q$  è l'energia specifica per colpo e  $Q_{spt}$  è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
$\delta$	passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo ( $\delta/N$ ).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

### Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$  è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_S \cdot C_R \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
$C_S$	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
$C_d$	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
$C_R$	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

### Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici

sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

## Valutazioni statistiche e correlazioni

### Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

#### **Media**

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media minima**

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Massimo**

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Minimo**

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Scarto quadratico medio**

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media deviata**

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media (+ s)**

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Media (- s)**

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

#### **Distribuzione normale R.C.**

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove  $\sigma_{Nspt}$  è la deviazione standard di  $Nspt$

### **Distribuzione normale R.N.C.**

Il valore di  $Nspt,k$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di  $Nspt$  distribuiti normalmente:

$$Nspt,k = Nspt_{medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{Nspt}) / \sqrt{n}$$

dove  $n$  è il numero di letture.

### **Pressione ammissibile**

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immorsamento  $d = 1$  m.

### **Correlazioni geotecniche terreni incoerenti**

#### **Liquefazione**

Permette di calcolare utilizzando dati  $Nspt$  il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se  $Nspt$  dello strato considerato risulta inferiore a  $Nspt$  critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

#### **Correzione $Nspt$ in presenza di falda**

$$Nspt_{corretto} = 15 + 0.5 \cdot (Nspt - 15)$$

$Nspt$  è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

#### **Angolo di Attrito**

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).

- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda)  $\sigma > 5$  t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38° ).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da  $D_r$  %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda)  $\sigma > 15$  t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

#### **Densità relativa (%)**

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie  $D_r$  viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di  $D_r$  % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

#### **Modulo Di Young ( $E_y$ )**

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.

- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

### ***Modulo Edometrico***

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977

### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

### ***Peso di volume saturo***

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

### ***Modulo di poisson***

- Classificazione A.G.I.

### ***Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)***

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio  $\tau$  e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

### ***Velocità onde di taglio $V_s$ (m/s)***

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

### ***Modulo di deformazione di taglio (G)***

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

### ***Modulo di reazione ( $K_o$ )***

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

**Correlazioni geotecniche terreni coesivi****Coazione non drenata**

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con  $N_{spt} < 8$  , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948).  $C_u$  (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività  $> 5$ , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche  $< 10$  colpi, per resistenze penetrometriche  $> 10$  l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coazione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , ( $C_u$ - $N_{spt}$ -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con  $N_c = 20$  e  $Q_c/N_{spt} = 2$ .
- Schmertmann (1975),  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coazione non drenata  $C_u$  (Kg/cm<sup>2</sup>), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

**Resistenza alla punta del Penetrometro Statico ( $Q_c$ )**

- Robertson (1983) -  $Q_c$

**Modulo Edometrico-Confinato ( $M_o$ )**

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.

- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ( $IP < 20$ ) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - $M_o$  (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto  $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$ ).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ( $N_{spt} < 30$ ) medie e molli ( $N_{spt} < 4$ ) e argille sabbiose ( $N_{spt} = 6-12$ ).

#### ***Modulo Di Young ( $E_y$ )***

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P.  $> 15$ .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

#### ***Stato di consistenza***

- Classificazione A.G.I. 1977.

#### ***Peso di Volume***

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

#### ***Peso di volume saturo***

- Meyerhof ed altri.

**PROVA ... Dpsh 01**

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data 24/08/2022

Profondita' prova 9.60 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	2	0.855	17.96	21.01	0.90	1.05
0.40	5	0.851	44.70	52.54	2.23	2.63
0.60	7	0.847	57.18	67.50	2.86	3.38
0.80	10	0.843	81.33	96.43	4.07	4.82
1.00	11	0.840	89.08	106.08	4.45	5.30
1.20	8	0.836	64.52	77.15	3.23	3.86
1.40	7	0.833	56.22	67.50	2.81	3.38
1.60	8	0.830	59.14	71.29	2.96	3.56
1.80	7	0.826	51.54	62.38	2.58	3.12
2.00	7	0.823	51.35	62.38	2.57	3.12
2.20	8	0.820	58.46	71.29	2.92	3.56
2.40	7	0.817	50.97	62.38	2.55	3.12
2.60	7	0.814	47.20	57.97	2.36	2.90
2.80	7	0.811	47.04	57.97	2.35	2.90
3.00	6	0.809	40.18	49.69	2.01	2.48
3.20	8	0.806	53.40	66.25	2.67	3.31
3.40	9	0.803	59.88	74.54	2.99	3.73
3.60	9	0.801	55.76	69.62	2.79	3.48
3.80	11	0.798	67.94	85.09	3.40	4.25
4.00	10	0.796	61.58	77.36	3.08	3.87
4.20	8	0.794	49.12	61.88	2.46	3.09
4.40	9	0.791	55.10	69.62	2.75	3.48
4.60	8	0.789	45.82	58.06	2.29	2.90
4.80	8	0.787	45.70	58.06	2.28	2.90
5.00	8	0.785	45.57	58.06	2.28	2.90
5.20	6	0.783	34.09	43.54	1.70	2.18
5.40	6	0.781	34.01	43.54	1.70	2.18
5.60	6	0.779	31.95	41.00	1.60	2.05
5.80	6	0.777	31.87	41.00	1.59	2.05
6.00	6	0.775	31.80	41.00	1.59	2.05

6.20	9	0.774	47.59	61.51	2.38	3.08
6.40	10	0.772	52.76	68.34	2.64	3.42
6.60	6	0.770	29.85	38.75	1.49	1.94
6.80	6	0.769	29.79	38.75	1.49	1.94
7.00	7	0.767	34.68	45.20	1.73	2.26
7.20	11	0.766	54.39	71.04	2.72	3.55
7.40	15	0.714	69.18	96.87	3.46	4.84
7.60	15	0.713	65.44	91.81	3.27	4.59
7.80	13	0.711	56.60	79.57	2.83	3.98
8.00	12	0.760	55.82	73.45	2.79	3.67
8.20	14	0.709	60.72	85.69	3.04	4.28
8.40	14	0.707	60.61	85.69	3.03	4.28
8.60	12	0.756	52.77	69.81	2.64	3.49
8.80	17	0.705	69.69	98.89	3.48	4.94
9.00	19	0.703	77.76	110.53	3.89	5.53
9.20	28	0.652	106.25	162.88	5.31	8.14
9.40	31	0.601	108.40	180.34	5.42	9.02
9.60	50	0.550	152.40	277.12	7.62	13.86

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tension e efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
7.2	7.61	61	Incoerente - coesivo	0	2.0	2.2	0.72	1.47	11.19	Argille siltose-sabbiose
9.4	17.27	103.23	Incoerente - coesivo	0	2.12	2.23	1.67	1.47	25.39	Argille siltose-sabbiose

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Dpsh 01****TERRENI COESIVI****Coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terza ghi-Peck	Sanglerat	Terza ghi-Peck (1948)	U.S.D .M.S. M	Schmertmann 1975	SUN DA (1983) Bensi e Vanelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Bege mann	De Beer
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	0.76	1.40	0.50 - 1.00	0.45	1.10	1.83	0.99	1.30	0.56	0.97	1.40
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	1.71	3.17	1.00 - 2.00	0.97	2.52	3.10	2.10	2.61	1.27	3.11	3.17

**Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	Robertson (1983)	22.38
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	Robertson (1983)	50.78

**Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	51.34	--	115.92	111.90
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	116.49	--	260.75	253.90

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	108.29	111.90
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	271.59	253.90

## Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

## Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	Meyerhof	2.00
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	Meyerhof	2.12

## Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	Meyerhof	2.20
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	Meyerhof	2.23

## Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20		0
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40		0

## TERRENI INCOERENTI

## Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Argille siltose-sabbio se	11.19	7.20	30.41	58.95	59.17	35.56
[2] - Argille siltose-sabbio se	25.39	9.40	36.88	68.69	70.19	58.43

## Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corret to per prese nza falda	Peck- Hans on-Th ornbu rn-M eyerh of 1956	Meye rhof (1956 )	Sowe rs (1961 )	Malc ev (1964 )	Meye rhof (1965 )	Schm ertma nn (1977 ) Sabb ie	Mitch ell & Katti (1981 )	Shioi- Fuku ni 1982 (ROA D BRID GE SPEC IFIC ATIO N)	Japan ese Natio nal Railw ay	De Mello	Owas aki & Iwasa ki
[1] - Argill e siltos e-sab biose	11.19	7.20	11.19	30.2	23.2	31.13	29.63	34.12	36.25	<30	27.96	30.36	25.42	29.96
[2] - Argill e siltos e-sab biose	25.39	9.40	25.39	34.25	27.25	35.11	29.12	38.57	37.62	32-35	34.52	34.62	24.9	37.53

Modulo di Young (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19	238.77	89.52	132.74	263.92	130.95
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39	359.67	203.12	300.30	370.42	201.95

Modulo Edometrico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19	67.14	50.45	79.45	87.91
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39	152.34	79.62	180.27	151.24

## Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39	Classificazione A.G.I	MODERATAM ENTE ADDENSATO

## Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19	Terzaghi-Peck 1948	1.49
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39	Terzaghi-Peck 1948	1.65

## Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m <sup>3</sup> )
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19	Terzaghi-Peck 1948	1.93
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39	Terzaghi-Peck 1948	2.03

## Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19	(A.G.I.)	0.33
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39	(A.G.I.)	0.3

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm<sup>2</sup>)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19	629.24	546.70
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39	1359.24	901.90

## Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19	Ohta & Goto (1978) Limi	133.03
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39	Ohta & Goto (1978) Limi	180.1

## Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	F <sub>s</sub> Liquefazione
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39	Seed e Idriss (1971)	--

## Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19		---
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39		---

## Qc ( Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm <sup>2</sup> )
[1] - Argille siltose-sabbiose	11.19	7.20	11.19		---
[2] - Argille siltose-sabbiose	25.39	9.40	25.39		---

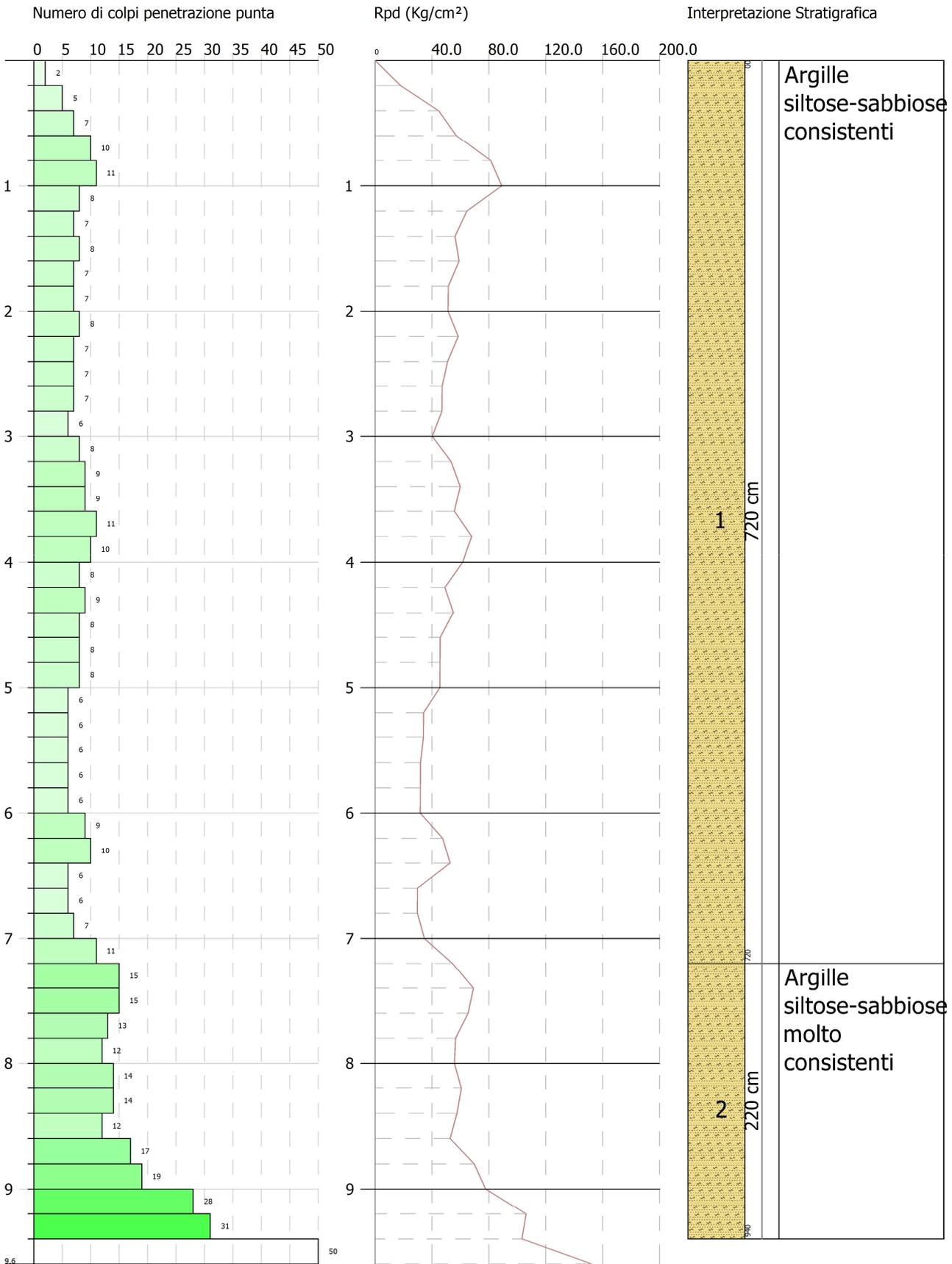


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Dpsh 01  
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Descrizione: Area parco  
 Località: San Mauro Forte (MT)

24/08/2022

Scala 1:45



## DESCRIZIONE DEL CAMPIONE E PROGRAMMA PROVE

Certificato di prova numero:	4175	Pagina:	1/1	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	13/09/2022	13/09/2022

<b>Committente</b>	Engineering Geology Srl				
<b>Riferimento/Cantiere</b>	Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"				
<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	<b>1</b>	<b>Profondità</b>	1.20 ÷ 1.60	

Contenitore	Diam. esterno contenitore (mm)	Lungh. contenitore (mm)	Diam. Carota (mm)	Lunghezza carota (mm)
Fustella	90	700.0	85	380.0

Data di apertura del campione	Descrizione del campione	Classe di qualità
05/09/2022	Argilla con limo e sabbia di colore marrone-nerastro	Q5

Fotografia del campione



Prove eseguite		Cert. N°
Contenuto d'acqua	<input checked="" type="checkbox"/>	4175/A
Peso di volume	<input checked="" type="checkbox"/>	4175/B
Peso specifico dei granuli	<input checked="" type="checkbox"/>	4175/C
Limiti di Atterberg	<input type="checkbox"/>	---
Analisi Granulometrica	<input checked="" type="checkbox"/>	4175/D
Classificazione terreni	<input type="checkbox"/>	---
Compressione ELL	<input checked="" type="checkbox"/>	4175/E
Prova Edometrica ED	<input checked="" type="checkbox"/>	4175/F
Permeab in edometro k	<input type="checkbox"/>	---
Prova di taglio diretto TD	<input checked="" type="checkbox"/>	4175/G
Prova Triassiale TX	<input type="checkbox"/>	---
Prova Proctor	<input type="checkbox"/>	---
Prova CBR	<input type="checkbox"/>	---
pH - Calcare totale	<input type="checkbox"/>	---

SCHEMA DEL CAMPIONE

	Pocket Penetr.	Vane Test	Osservazioni
alto			
ED	6		
TD1	6	10	
TD2	6		
TD3	6		
	6	10	
	6	10	
basso			

Unità di misura del penetrometro Kg/cm2 con punta con diametro 10mm  
 Unità di misura scissometro N/cm2 con puntale diametro 20mm

Lo Sperimentatore  
 (Geol. Francesco Di Lonardo)  
*Francesco Di Lonardo*



Il Direttore di Laboratorio  
 (Ing. Rocco Tolve)  
*Rocco Tolve*



## CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Norme: UNI CEN ISO 17892-1 - ASTM D 2216

Certificato di prova numero:	4175/A	Pagina:	1/1	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	06/09/2022	13/09/2022

<b>Committente</b>	Engineering Geology Srl				
<b>Riferimento/Cantiere</b>	Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"				
<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	1	<b>Profondità</b>	1.20 ÷ 1.60	

<b>Bilancia Utilizzata</b>	<b>Struttura del materiale</b>	<b>Temperatura di essiccazione</b>	<b>Tempo di essiccazione</b>
Kern572 - S/N 13600046 @ 0.01g	Omogeneo	110 °C	16 h

DATI	Determinazione W <sub>1</sub>	Determinazione W <sub>2</sub>	Determinazione W <sub>3</sub>
Peso Lordo Umido (g)	57.99	52.44	54.94
Peso Lordo Secco (g)	53.22	48.68	50.81
Tara (g)	24.46	25.98	26.06
Umidità relativa W (%)	16.6%	16.6%	16.7%

<b>Umidità naturale media W<sub>n</sub> (%)</b>	<b>Deviazione standard</b>
<b>16.6%</b>	<b>0.07%</b>

Note

*Francesco Di Leonardo*  
 Lo Sperimentatore  
 (Geol. Francesco Di Leonardo)



*Rocco Polve*  
 il Direttore di Laboratorio  
 (Ing. Rocco Polve)



## PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE E SECCO

Modalità di prova: UNI CEN ISO 17892-2

Certificato di prova numero:	4175/B	Pagina:	1/1	Inizio Analisi:	05/01/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	06/01/2022	13/09/2022

<b>Committente</b>	Engineering Geology Srl				
<b>Riferimento/Cantiere</b>	Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"				
<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	1	<b>Profondità</b>	1.20 ÷ 1.60	

Determinazione eseguita mediante fustella tarata			
Peso fustella (g)	V <sub>M</sub> - Volume fustella (cm <sup>3</sup> )	Peso fustella con campione (g)	P <sub>Sn</sub> - Peso campione (g)
58.90	40.08	135.02	76.12

$\gamma$  - Peso di volume in condizioni di umidità naturale (kN/m<sup>3</sup>)

18.63

Bilancia Utilizzata	Temperatura di essiccazione	Tempo di essiccazione	P <sub>sd</sub> - Peso campione essiccato (g)
Kern572 - S/N 13600046 @ 0.01g	110 °C	12 h	65.3

$\gamma_d$  - Peso di volume essiccato (kN/m<sup>3</sup>)

15.98

Note:

Lo Sperimentatore  
 (Geol. Francesco Di Leonardo)



Il Direttore di Laboratorio  
 (Ing. Rocco Tolve)



## PESO SPECIFICO DEI GRANULI

Modalità di prova: ASTM D 5550-14

Certificato di prova numero:	4175/C	Pagina:	1/1	Inizio Analisi:	06/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	06/09/2022	13/09/2022

<b>Committente</b>	Engineering Geology Srl				
<b>Riferimento/Cantiere</b>	Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"				
<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	1	<b>Profondità</b>	1.20 ÷ 1.60	

Strumentazione utilizzata	Tipologia Gas utilizzato	Pressione (bar)	Flusso	Controllo temperatura	Temperatura obiettivo (°C)	Peso campione (g)
AntonPaar UltraPyc 5000	Elio	0.689	Reference First	SI	20.00	39.0279

### ACQUISIZIONI STRUMENTAZIONE

ID Test	Temperatura (°C)	Volume (cm <sup>3</sup> )	Peso specifico dei granuli (g/cm <sup>3</sup> )
1	19.987	14.437	2.7033
2	19.968	14.508	2.6901
3	19.981	14.520	2.6878
4	19.994	14.538	2.6845
5	19.998	14.530	2.6860
6	19.996	14.536	2.6849
7	19.997	14.530	2.6860
8	20.009	14.546	2.6831
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---

Peso specifico dei granuli medio corretto  $\gamma_s$  (g/cm<sup>3</sup>)

Volume medio (cm<sup>3</sup>)

**2.6847**

**14.537**

Lo Sperimentatore  
(Geol. Francesco Di Lonardo)

Il Direttore di Laboratorio  
(Ing. Rocco Tolve)

*Francesco Di Lonardo*

*Rocco Tolve*



## ANALISI GRANULOMETRICA

Norme: UNI CEN ISO 17892-4 / UNI EN ISO 14688-1 e 2

Certificato di prova numero:	4175/D	Pagina:	1/2	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	12/09/2022	13/09/2022

Committente

Engineering Geology Srl

Riferimento/Cantiere

Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"

Sondaggio

Campione

1

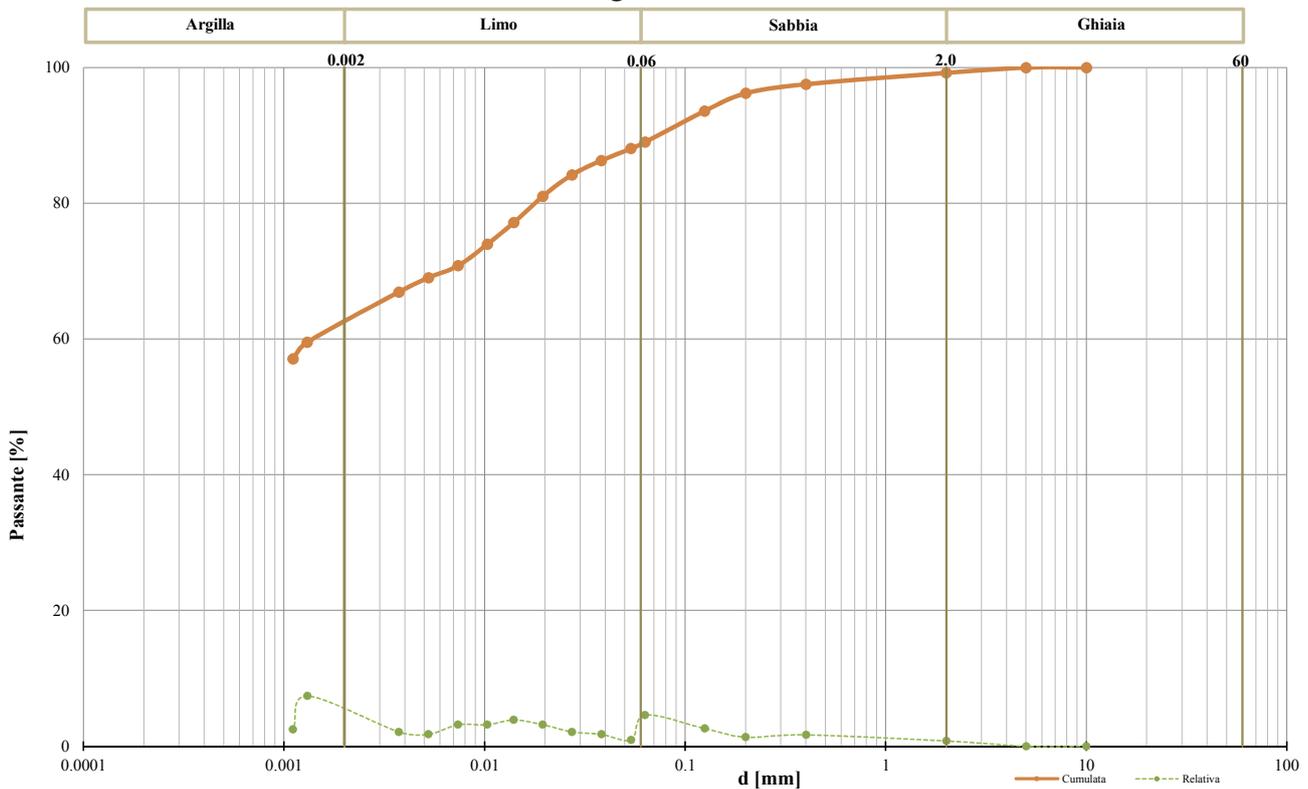
Profondità

1.20 ÷ 1.60

### DATI

Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)	Diametro (mm)	Passante (%)
10.0000	100.00 %	0.0382	86.30 %	0.0013	59.53 %
5.0000	100.00 %	0.0272	84.19 %	0.0011	57.06 %
2.0000	99.22 %	0.0195	81.02 %	#N/D	#N/D
0.4000	97.54 %	0.0140	77.14 %	#N/D	#N/D
0.2000	96.21 %	0.0103	73.97 %	#N/D	#N/D
0.1250	93.60 %	0.0074	70.80 %	#N/D	#N/D
0.0630	89.00 %	0.0052	69.04 %	#N/D	#N/D
0.0536	88.06 %	0.0037	66.93 %	#N/D	#N/D

### Curva granulometrica



#### Classifica granulometrica

Argilla con Limo sabbiosa

Passante setaccio 2 mm	99.22 %	$D_{10}$	#N/D
Passante setaccio 0,4 mm	97.54 %	$D_{30}$	#N/D
Passante setaccio 0,063 mm	89.00 %	$D_{50}$	#N/D
Coefficiente di uniformità ( $D_{60}/D_{10}$ )	#N/D	$D_{60}$	0.00146 mm
Coefficiente di curvatura ( $D_{30}^2/D_{10} \cdot D_{60}$ )	#N/D	$D_{90}$	0.07650 mm

Argilla (< 0,002 mm)	Limo (0,002 ÷ 0,06 mm)	Sabbia (0,06 ÷ 2 mm)	Ghiaia (> 2 mm)
61.65 %	27.05 %	10.52 %	0.78 %

Lo Sperimentatore  
 (Geol. Francesco Di Lonardo)

Il Direttore di Laboratorio  
 (Ing. Rocco Tolve)

## ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: UNI CEN ISO 17892-4

Certificato di prova numero:	4175/D	Pagina:	2/2	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	12/09/2022	13/09/2022

Committente

Engineering Geology Srl

Riferimento/Cantiere

Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"

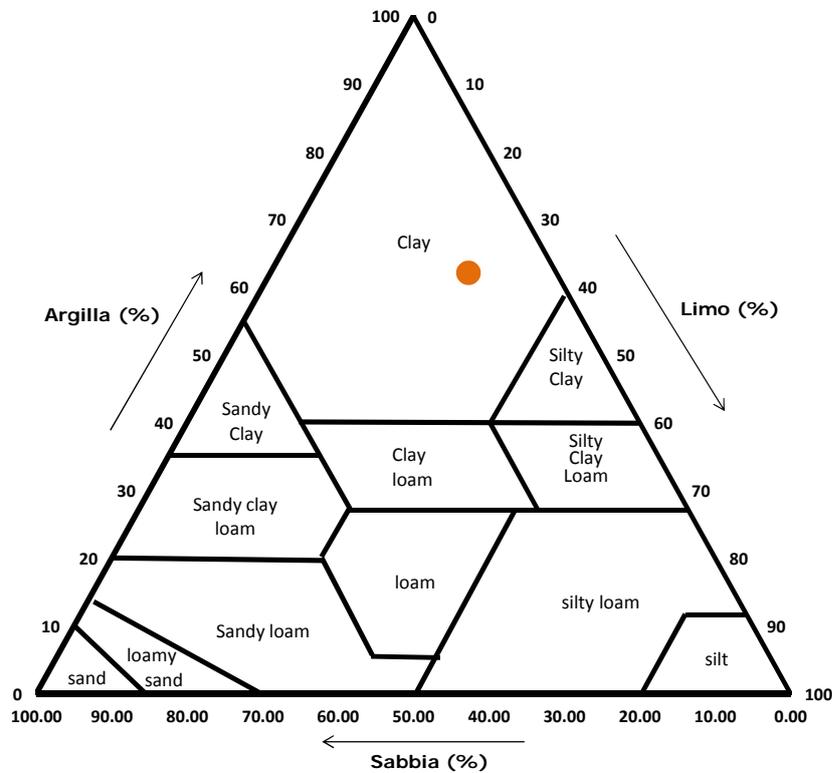
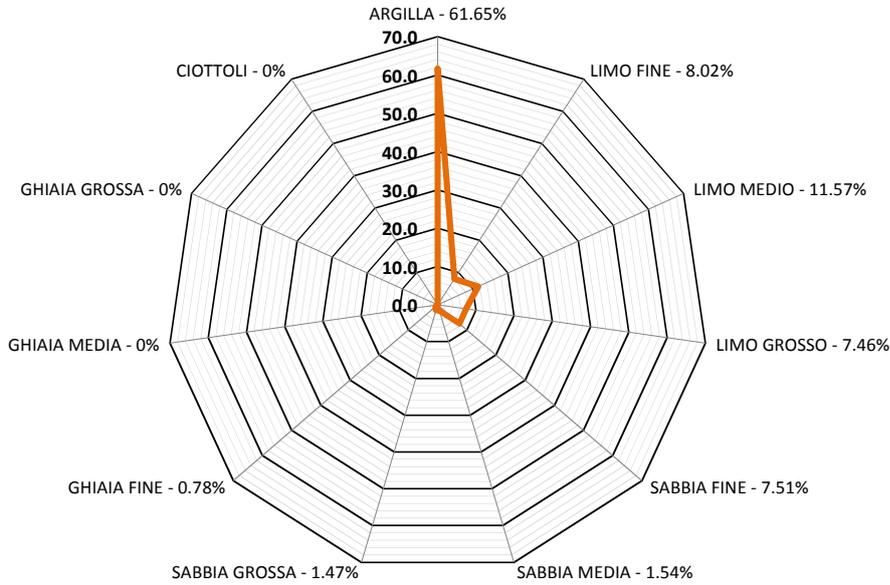
Sondaggio

Campione

1

Profondità

1.20 ÷ 1.60



**Classifica USDA (% riferite alla frazione granulometrica inferiore a 2 mm)**

Argilla (< 0,002 mm)	Limo (0,002 ÷ 0,05 mm)	Sabbia (0,05 ÷ 2 mm)
62.13 %	26.20 %	11.66 %

Lo Sperimentatore  
 (Geol. Francesco Di Lonardo)

Il Direttore di Laboratorio  
 (Ing. Rocco Toive)



## PROVA AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA

Norme: UNI CEN ISO 17892-7 - ASTM D 2166

Certificato di prova numero:	4175/E	Pagina:	1/1	Inizio Analisi:	09/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	09/09/2022	13/09/2022

Committente

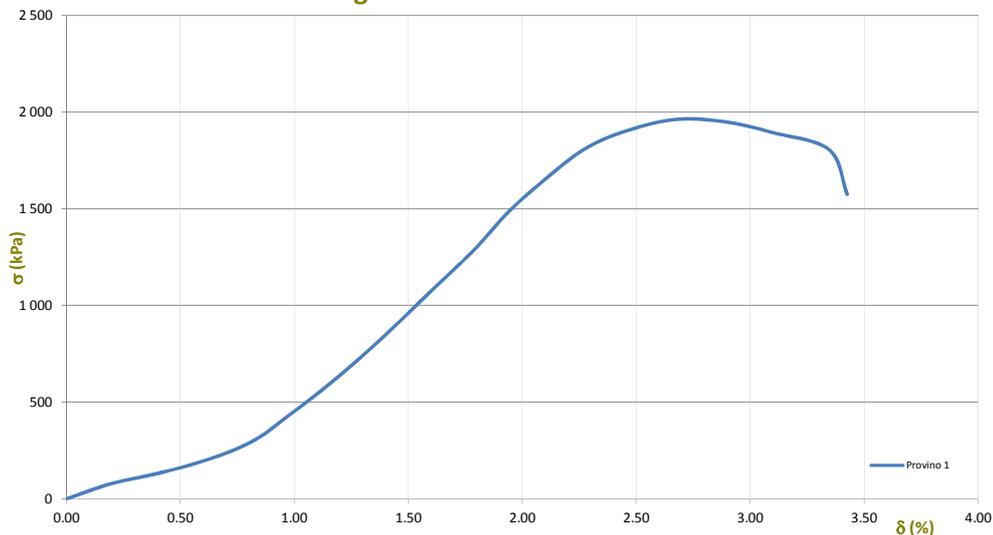
Engineering Geology Srl

Riferimento/Cantiere

Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"

Sondaggio	Campione	1	Profondità	1.20 ÷ 1.60
<b>Provino n°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
Condizione provino	Indisturbato			
Velocità di deformazione (mm/min)	0.621			
Altezza (cm)	7.62			
Diametro (cm)	3.8			
Sezione (cm <sup>2</sup> )	11.34			
Peso di volume (kN/m <sup>3</sup> )	18.63			
Umidità naturale (%)	16.6%			
Deformazione a rottura (%)	2.68			
Sforzo a rottura (kPa)	1963.37			

### Diagramma sforzo-deformazione



Provino 1	
Deformazione (%)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )
0.000	0.000
0.197	78.786
0.367	122.346
0.591	191.827
0.814	295.795
0.997	451.555
1.194	632.653
1.391	838.973
1.588	1061.729
1.785	1283.587
1.942	1487.949
2.113	1665.665
2.283	1817.038
2.467	1907.725
2.677	<b>1963.373</b>
2.887	1950.619
3.097	1895.404
3.346	1805.750
3.425	1575.567

Provino 2	
Deformazione (%)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )

Provino 3	
Deformazione (%)	Tensione (kN/m <sup>2</sup> )

Lo Sperimentatore  
 (Geol. Francesco Di Leonardo)



Il Direttore di Laboratorio  
 (Ing. Rocco Tolve)

## PROVA EDOMETRICA

Norme: UNI CEN ISO 17892-5 - ASTM D 2435

Certificato di prova numero:	4175/F	Pagina:	1/4	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	13/09/2022	13/09/2022

<b>Committente</b>	Engineering Geology Srl				
<b>Riferimento/Cantiere</b>	Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"				
<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	1	<b>Profondità</b>	1.20 ÷ 1.60	

CARATTERISTICHE CAMPIONE	CONDIZIONI INIZIALI	CONDIZIONI FINALI
Altezza (mm)	20.00	18.83
Diametro (mm)	50.51	50.51
Sezione (mm <sup>2</sup> )	2003.8	2003.8
Massa provino (g)	76.12	76.89
Peso specifico dei granuli (kN/m <sup>3</sup> )	26.34	26.34
Umidità (trimming) (%)	16.6%	16.6%
Umidità (misura diretta) (%)	16.6%	17.7%
Densità umida (kN/m <sup>3</sup> )	18.63	19.99
Densità secca (kN/m <sup>3</sup> )	15.98	16.98
Indice dei vuoti	0.648	0.551
Grado di saturazione (%)	68.7%	86.4%

<b>Pressione di preconsolidazione <math>\sigma'_p</math> (kPa)</b>	<b>Condizioni di prova</b>
220.0	Saturato a 25kPa

PROVA EDOMETRICA - TABELLA RIASSUNTIVA (PRECARICO $\sigma'_v = 5$ kPa)								
$\sigma'_v$ (kPa)	Altezza a fine gradino (mm)	Deformazione verticale $\epsilon_v$ (%)	Indice dei vuoti $e$	Indice di compressione $c_c$	coefficiente di compressibilità $m_v$ (m <sup>2</sup> /MN)	Modulo edometrico $M$ (kPa)	Coefficiente di consolidazione $c_v$ (mm <sup>2</sup> /sec)	$K$ (m/sec)
25	20.00	-0.02%	0.648					
50	19.98	0.12%	0.646		0.055	18166.7		
100	19.91	0.45%	0.640	0.018	0.067	14863.6		
200	19.67	1.65%	0.621	0.065	0.122	8209.2	0.1894	1.53E-06
400	19.39	3.04%	0.598	0.076	0.071	14064.5	0.1165	1.61E-06
800	19.04	4.78%	0.569	0.095	0.044	22551.7	0.0237	5.24E-07
1600	18.50	7.48%	0.524	0.148	0.034	29066.7	0.0123	3.50E-07
3200	17.98	10.11%	0.481	0.144	0.017	59680.6	0.0091	5.30E-07
1600	18.05	9.74%	0.487					
800	18.20	8.98%	0.500					
400	18.37	8.13%	0.514					
50	18.83	5.84%	0.551					

Lo Sperimentatore  
 (Geol. Francesco Di Lonardo)

Il Direttore di Laboratorio  
 (Ing. Rocco Talle)



## PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: ASTM D 2435

Certificato di prova numero:	4175/F	Pagina:	2/4	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	13/09/2022	13/09/2022

Committente

Engineering Geology Srl

Riferimento/Cantiere

Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"

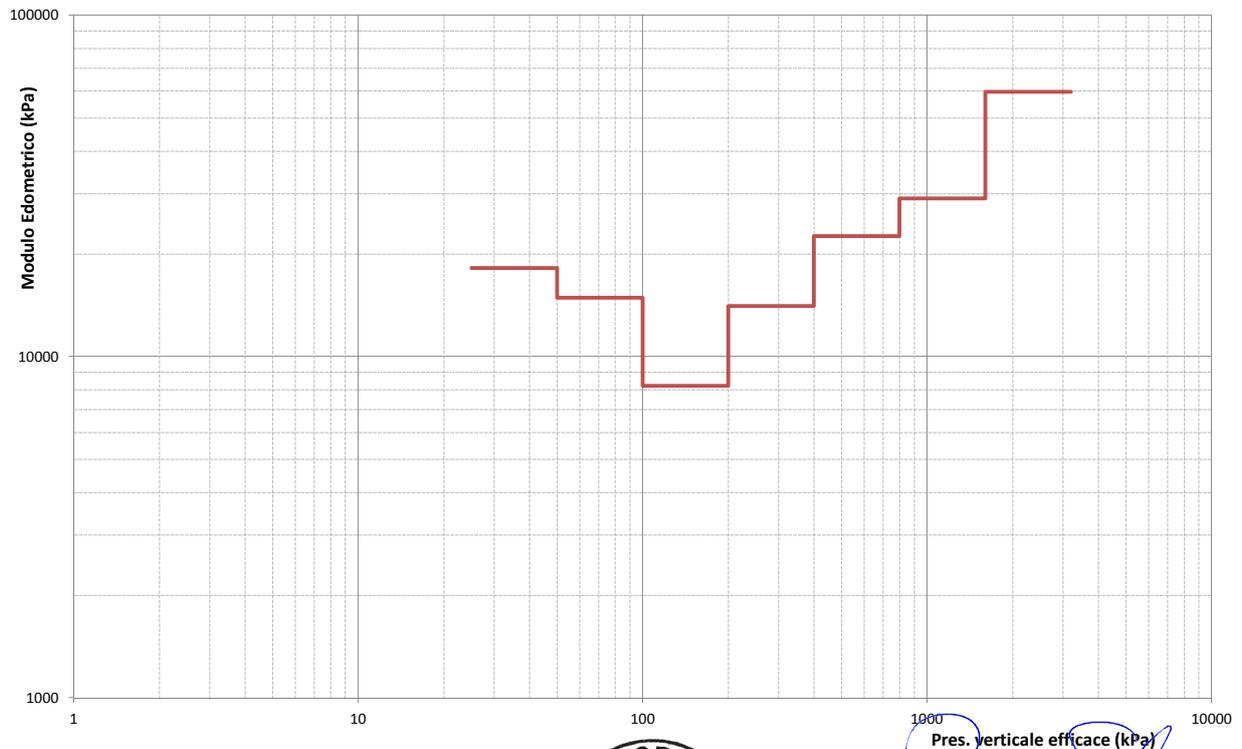
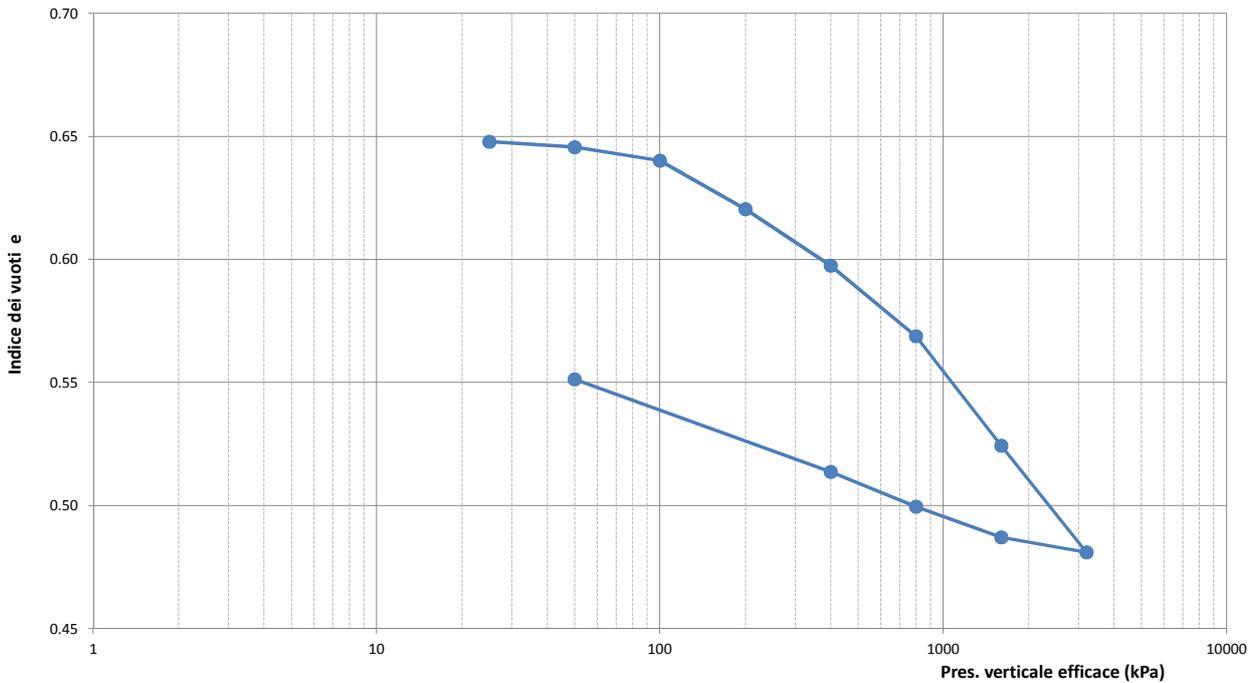
Sondaggio

Campione

1

Profondità

1.20 ÷ 1.60



*Francesco Di Lonardo*  
 Lo Sperimentatore  
 (Geol. Francesco Di Lonardo)



*Rocco Tolve*  
 Il Direttore di Laboratorio  
 (Ing. Rocco Tolve)

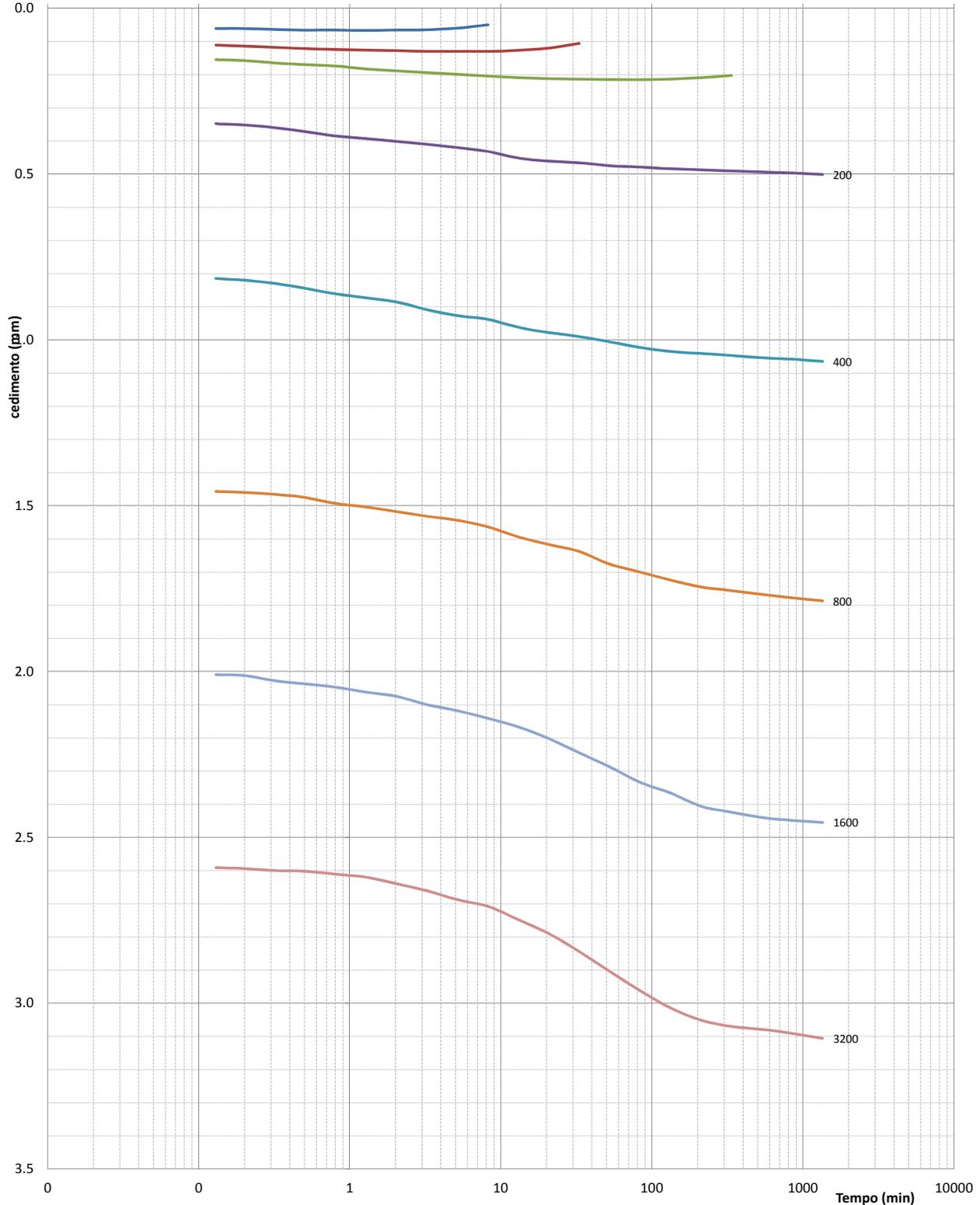


## PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: ASTM D 2435

Certificato di prova numero:	4175/F	Pagina:	3/4	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	13/09/2022	13/09/2022

Diagramma tempo - cedimento



Lo Sperimentatore  
 (Geol. Francesco Di Lonardo)



Il Direttore di Laboratorio  
 (Ing. Rocco Tolve)



## PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: ASTM D 2435

Certificato di prova numero:	4175/F	Pagina:	4/4	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	13/09/2022	13/09/2022

### DATI NUMERICI - FASE DI CARICO

#### CEDIMENTI (mm)

TEMPI (min)	25 kPa	50 kPa	100 kPa	200 kPa	400 kPa	800 kPa	1600 kPa	3200 kPa
0.00	0.053	0.079	0.137	0.262	0.786	1.439	1.915	2.580
0.08	0.058	0.105	0.152	0.334	0.807	1.453	2.002	2.587
0.13	0.061	0.111	0.155	0.348	0.815	1.457	2.009	2.591
0.20	0.061	0.114	0.158	0.352	0.820	1.460	2.012	2.594
0.32	0.064	0.118	0.165	0.360	0.830	1.466	2.028	2.600
0.50	0.066	0.122	0.170	0.372	0.844	1.475	2.037	2.602
0.80	0.066	0.124	0.174	0.385	0.861	1.493	2.047	2.611
1.28	0.067	0.126	0.183	0.393	0.873	1.504	2.062	2.620
2.05	0.066	0.128	0.189	0.402	0.886	1.518	2.075	2.640
3.25	0.065	0.130	0.194	0.411	0.909	1.532	2.100	2.661
5.17	0.060	0.130	0.200	0.420	0.927	1.544	2.118	2.688
8.22	0.050	0.130	0.205	0.432	0.938	1.564	2.141	2.708
13.05		0.127	0.209	0.452	0.962	1.594	2.167	2.748
20.75		0.120	0.212	0.461	0.978	1.617	2.202	2.790
33.00		0.106	0.214	0.466	0.990	1.638	2.245	2.844
52.47			0.215	0.475	1.006	1.676	2.287	2.904
83.43			0.215	0.479	1.023	1.700	2.334	2.962
132.65			0.214	0.484	1.035	1.724	2.366	3.014
210.92			0.209	0.487	1.041	1.745	2.406	3.051
335.37			0.203	0.491	1.047	1.756	2.424	3.070
533.23				0.494	1.054	1.767	2.440	3.079
847.83				0.497	1.058	1.778	2.449	3.091
1348.05				0.501	1.065	1.787	2.455	3.106

### DATI NUMERICI - FASE DI SCARICO

TEMPI (min)	1600 kPa	800 kPa	400 kPa	50 kPa
0.08	3.072	2.969	2.803	2.596
0.32	3.068	2.953	2.800	2.591
1.28	3.059	2.928	2.793	2.583
5.17	3.051	2.914	2.784	2.537
20.75	3.037	2.895	2.755	2.491
83.43	3.015	2.855	2.696	2.365
335.37	3.004	2.836	2.634	2.147
533.23				2.139

Lo Sperimentatore

(Geol. Francesco Di Leonardo)

Il Direttore di Laboratorio

(ing. Rocco Torre)



## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Norme: UNI CEN ISO 17892-10 - ASTM D 3080

Certificato di prova numero:	4175/G	Pagina:	1/6	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	07/09/2022	13/09/2022

<b>Committente</b>	Engineering Geology Srl				
<b>Riferimento/Cantiere</b>	Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"				
<b>Sondaggio</b>	<b>Campione</b>	1	<b>Profondità</b>	1.20 ÷ 1.60	

CONDIZIONI INIZIALI Campione Indisturbato	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Altezza	20	20	20
Larghezza	60	60	60
Sezione (mm <sup>2</sup> )	3600	3600	3600
Massa provino (g)	136.76	136.93	137.48
Umidità (misura diretta) (%)	16.40%	15.82%	15.86%
Umidità (trimming) (%)	16.59%	16.56%	16.69%
Densità umida (kN/m <sup>3</sup> )	18.63	18.66	18.73
Densità secca (kN/m <sup>3</sup> )	16.01	16.11	16.17
Indice dei vuoti	0.677	0.667	0.661
Grado di saturazione (%)	65.0%	63.7%	64.5%

FASE DI CONSOLIDAZIONE	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Carico Verticale Efficace (kPa)	50.0	100.0	150.0
Durata (h)	9.4	9.4	9.4
Cedimento (mm)	0.069	0.093	0.095

FASE DI TAGLIO	Provino 1	Provino 2	Provino 3
Velocità di deformazione (mm/min)	0.00887	0.00891	0.00881
Pressione verticale (kPa)	50.0	100.0	150.0
Tensione di taglio (kPa)	47.2	79.9	99.1
Spostamento orizzontale (mm)	1.98	2.05	2.67
Deformazione verticale (mm)	0.078	0.002	0.220

c' (kPa)	φ' (°)
23.51	27.42

Si ricorda che la determinazione dei valori di c' e φ' è di tipo interpretativo, e che il laboratorio, nei certificati ufficiali, non può eseguire interpretazioni. I dati riportati, ottenuti mediante regressione lineare sulla terna di punti (pressione verticale/tensione di taglio) sono da considerarsi un semplice dato statistico non interpretativo. Ogni elaborazione o interpretazione è demandata al progettista/committente/richiedente.

Lo Sperimentatore

(Geol. Francesco Di Leonardo)

Il Direttore di Laboratorio

(Ing. Rocco Tolve)

Francesco Di Leonardo



Rocco Tolve



## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: ASTM D 3080

Certificato di prova numero:	4175/G	Pagina:	2/6	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	07/09/2022	13/09/2022

Committente

Engineering Geology Srl

Riferimento/Cantiere

Impianto fotovoltaico denominato "ROSSI 2"

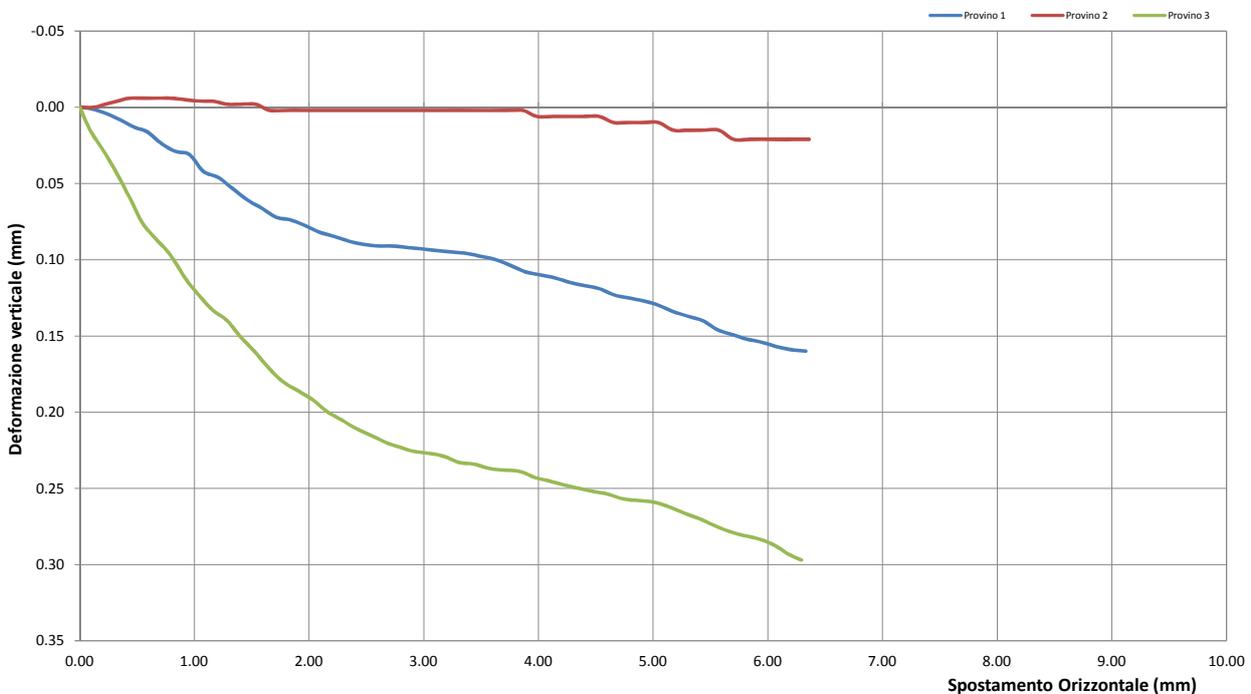
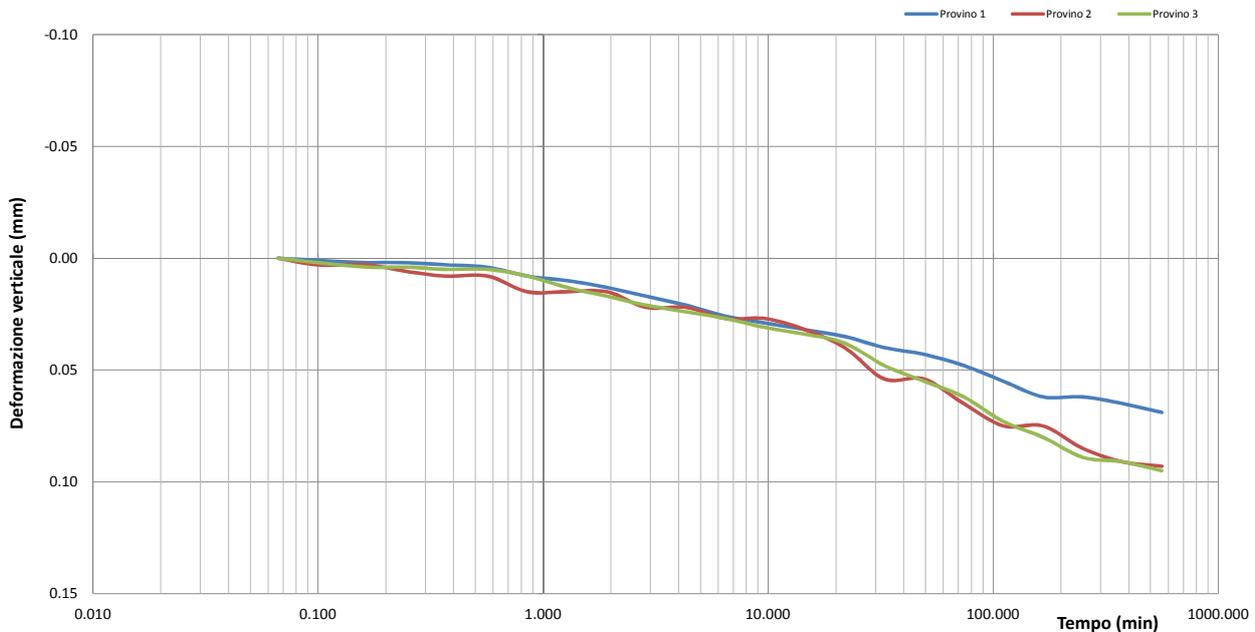
Sondaggio

Campione

1

Profondità

1.20 ÷ 1.60



Lo Sperimentatore  
(Geol. Francesco Di Lonardo)

Il Direttore di Laboratorio  
(Ing. Rocco Tolve)

*Francesco Di Lonardo*

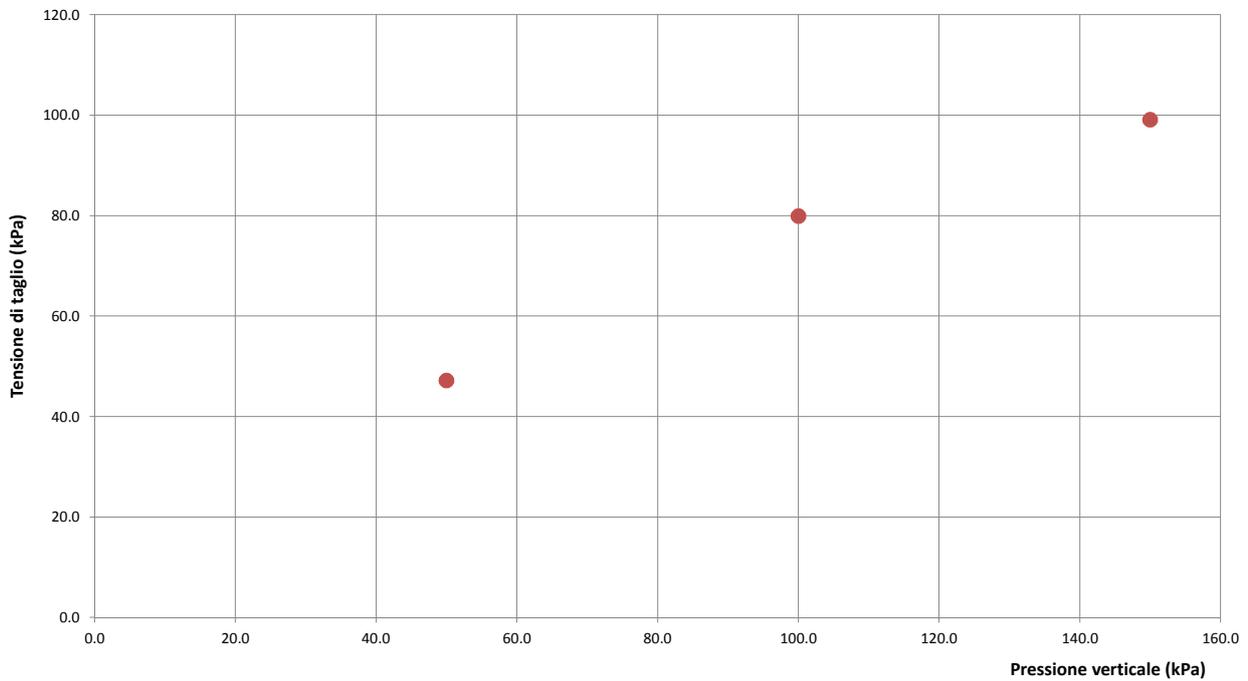
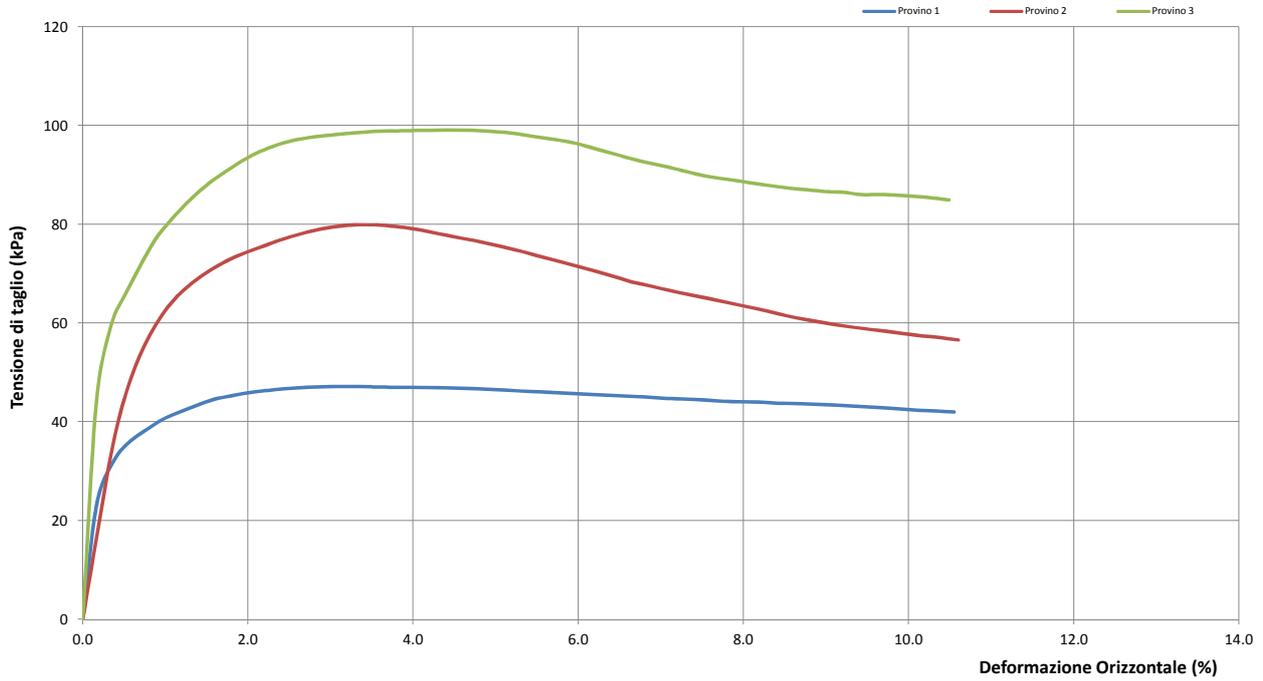
*Rocco Tolve*



## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: ASTM D 3080

Certificato di prova numero:	4175/G	Pagina:	3/6	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	07/09/2022	13/09/2022



Lo Sperimentatore  
(Geol. Francesco Di Lonardo)

*Francesco Di Lonardo*

Il Direttore di Laboratorio  
(Ing. Rocco Toive)

*Rocco Toive*



## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: ASTM D 3080

Certificato di prova numero:	4175/G	Pagina:	4/6	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	07/09/2022	13/09/2022

### DATI DI PROVA - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Tempo (min)	Spostamento Verticale (mm)	Deformazione vert. provino (mm)	Tempo (min)	Spostamento Verticale (mm)	Deformazione vert. provino (mm)	Tempo (min)	Spostamento Verticale (mm)	Deformazione vert. provino (mm)
0.07	0.07	0.000	0.07	0.18	0.000	0.07	0.34	0.000
0.10	0.07	0.001	0.10	0.19	0.003	0.10	0.34	0.002
0.17	0.07	0.002	0.17	0.19	0.003	0.17	0.34	0.004
0.25	0.07	0.002	0.25	0.19	0.006	0.25	0.34	0.004
0.37	0.07	0.003	0.37	0.19	0.008	0.37	0.34	0.005
0.57	0.08	0.004	0.57	0.19	0.008	0.57	0.34	0.005
0.85	0.08	0.008	0.85	0.20	0.015	0.85	0.34	0.008
1.27	0.08	0.010	1.27	0.20	0.015	1.27	0.35	0.013
1.92	0.08	0.013	1.92	0.20	0.015	1.92	0.35	0.017
2.87	0.09	0.017	2.87	0.21	0.022	2.87	0.36	0.021
2.87	0.09	0.017	2.87	0.21	0.022	2.87	0.36	0.021
4.32	0.09	0.021	4.32	0.21	0.022	4.32	0.36	0.024
6.48	0.10	0.026	6.48	0.21	0.027	6.48	0.36	0.027
9.72	0.10	0.029	9.72	0.21	0.027	9.72	0.37	0.031
14.58	0.10	0.032	14.58	0.22	0.032	14.58	0.37	0.034
21.88	0.11	0.035	21.88	0.22	0.040	21.88	0.37	0.038
32.83	0.11	0.040	32.83	0.24	0.054	32.83	0.38	0.048
49.25	0.11	0.043	49.25	0.24	0.054	49.25	0.39	0.055
73.88	0.12	0.048	73.88	0.25	0.065	73.88	0.40	0.062
110.83	0.13	0.055	110.83	0.26	0.075	110.83	0.41	0.073
166.25	0.13	0.062	166.25	0.26	0.075	166.25	0.42	0.080
249.38	0.13	0.062	249.38	0.27	0.085	249.38	0.42	0.089
374.08	0.14	0.065	374.08	0.28	0.091	374.08	0.43	0.091
561.13	0.14	0.069	561.13	0.28	0.093	561.13	0.43	0.095

Lo Sperimentatore  
(Geol. Francesco Di Lonardo)

*Francesco Di Lonardo*

Il Direttore di Laboratorio  
(Ing. Rocco Tolve)

*Rocco Tolve*



## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: ASTM D 3080

Certificato di prova numero:	4175/G	Pagina:	5/6	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	07/09/2022	13/09/2022

### DATI DI PROVA - FASE DI TAGLIO

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)
0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0	0.00	0.000	0.0
0.10	0.001	23.6	0.12	0.000	20.1	0.10	0.016	44.1
0.35	0.008	36.1	0.33	-0.004	46.8	0.32	0.043	66.5
0.48	0.013	38.6	0.44	-0.006	54.7	0.44	0.060	72.8
0.59	0.016	40.6	0.56	-0.006	60.8	0.55	0.076	77.8
0.72	0.024	42.1	0.67	-0.006	65.1	0.67	0.087	81.8
0.84	0.029	43.4	0.80	-0.006	68.1	0.79	0.097	85.3
0.96	0.031	44.6	0.92	-0.005	70.6	0.92	0.112	88.4
1.08	0.042	45.3	1.04	-0.004	72.5	1.05	0.124	90.9
1.21	0.046	45.9	1.16	-0.004	74.0	1.16	0.133	92.9
1.33	0.053	46.3	1.29	-0.002	75.3	1.29	0.140	94.7
1.47	0.061	46.7	1.41	-0.002	76.6	1.41	0.151	96.0
1.59	0.066	46.9	1.53	-0.002	77.7	1.52	0.160	96.9
1.71	0.072	47.1	1.66	0.002	78.6	1.65	0.171	97.6
1.85	0.074	47.1	1.78	0.002	79.3	1.77	0.180	98.0
1.98	0.078	47.2	1.91	0.002	79.8	1.91	0.186	98.4
2.09	0.082	47.1	2.05	0.002	79.9	2.03	0.192	98.6
2.23	0.085	47.0	2.17	0.002	79.8	2.16	0.200	98.9
2.36	0.088	47.0	2.30	0.002	79.4	2.28	0.205	98.9
2.48	0.090	46.9	2.42	0.002	79.0	2.41	0.211	99.0
2.61	0.091	46.9	2.56	0.002	78.3	2.54	0.215	99.0
2.74	0.091	46.8	2.68	0.002	77.6	2.67	0.220	99.1
2.87	0.092	46.7	2.81	0.002	76.8	2.79	0.223	99.1
2.99	0.093	46.5	2.95	0.002	76.1	2.92	0.226	98.9
3.12	0.094	46.3	3.08	0.002	75.3	3.06	0.227	98.6
3.25	0.095	46.1	3.20	0.002	74.4	3.18	0.229	98.3
3.39	0.096	46.0	3.33	0.002	73.4	3.31	0.233	97.6
3.51	0.098	45.8	3.47	0.002	72.4	3.43	0.234	97.1
3.63	0.100	45.6	3.60	0.002	71.5	3.58	0.237	96.4
3.77	0.104	45.5	3.73	0.002	70.4	3.71	0.238	95.4
3.89	0.108	45.3	3.86	0.002	69.4	3.84	0.239	94.4
4.02	0.110	45.1	3.99	0.006	68.3	3.97	0.243	93.4
4.15	0.112	44.9	4.12	0.006	67.5	4.09	0.245	92.6
4.28	0.115	44.7	4.26	0.006	66.6	4.23	0.248	91.7
4.40	0.117	44.6	4.39	0.006	65.9	4.35	0.250	90.9
4.53	0.119	44.4	4.53	0.006	65.1	4.48	0.252	90.0
4.66	0.123	44.2	4.66	0.010	64.3	4.61	0.254	89.4
4.78	0.125	44.1	4.78	0.010	63.6	4.74	0.257	88.9
4.92	0.127	44.0	4.92	0.010	62.8	4.88	0.258	88.3
5.05	0.130	43.8	5.05	0.010	61.9	5.00	0.259	87.8
5.17	0.134	43.7	5.18	0.015	61.1	5.14	0.262	87.3
5.30	0.137	43.6	5.31	0.015	60.4	5.26	0.266	87.0

Lo Sperimentatore  
(Geol. Francesco Di Lonardo)

*Francesco Di Lonardo*

Il Direttore di Laboratorio  
(Ing. Rocco Tolve)

*Rocco Tolve*



## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: ASTM D 3080

Certificato di prova numero:	4175/G	Pagina:	6/6	Inizio Analisi:	05/09/2022	Data di emissione certificato
Verbale di accettazione numero:	1200	Data verbale:	01/09/2022	Fine Analisi:	07/09/2022	13/09/2022

### DATI DI PROVA - FASE DI TAGLIO

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Sollecitazione di taglio (kPa)
5.43	0.14	43.42	5.44	0.02	59.78	5.41	0.27	86.61
5.56	0.15	43.25	5.57	0.02	59.22	5.52	0.27	86.50
5.69	0.15	43.06	5.70	0.02	58.75	5.65	0.28	86.03
5.81	0.15	42.83	5.84	0.02	58.33	5.79	0.28	86.03
5.95	0.15	42.58	5.97	0.02	57.86	5.92	0.28	85.92
6.07	0.16	42.33	6.10	0.02	57.42	6.05	0.29	85.64
6.20	0.16	42.19	6.23	0.02	57.06	6.18	0.29	85.33
6.33	0.16	41.97	6.36	0.02	56.58	6.29	0.30	84.94

Lo Sperimentatore

(Geol. Francesco Di Lonardo)

*Francesco Di Lonardo*

Il Direttore di Laboratorio

(Ing. Rocco Tolve)

*Rocco Tolve*

