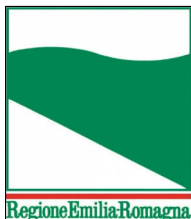




**PROTEZIONE CIVILE**  
Presidenza del Consiglio dei Ministri  
Dipartimento della Protezione Civile



**CONFERENZA DELLE REGIONI E  
DELLE PROVINCE AUTONOME**

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Terzo Livello di approfondimento

### Relazione Illustrativa – Allegato 1

#### Sezioni Geologiche

**Regione Emilia–Romagna**  
**Comune di Mesola (Fe)**



<b>Regione:</b>  <b>Emilia Romagna</b>	<b>Soggetto realizzatore</b> Dott. Geol. Thomas Veronese <b>Collaboratori:</b> Dott. Geol. Luca Lunghi Dott.ssa Geol. Sara Franciosi <b>Indagini geofisiche:</b> Prof. Nasser Abu Zeid <b>Cartografia:</b> Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli	<b>Data:</b>  <b>Febbraio 2022</b>
----------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**UBICAZIONE DELLE PROVE SVOLTE - FOTO PIAZZAMENTI**

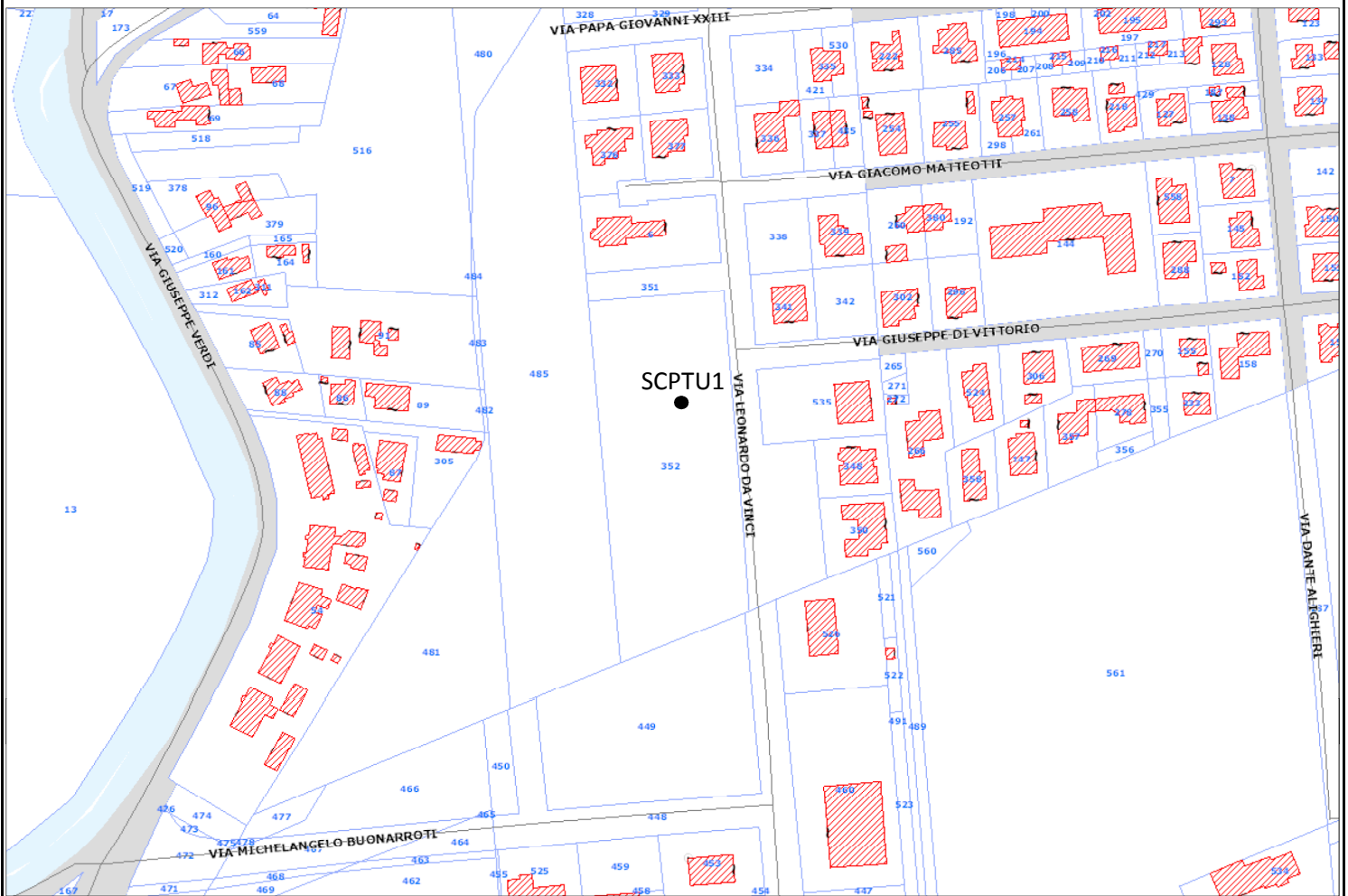
RIF. PROVA:

U186-21

COMMITTENTE: Comune di Mesola

CANTIERE: via M. Buonarroti, Ariano Ferrarese (Fe)

DATA: 14/12/2021









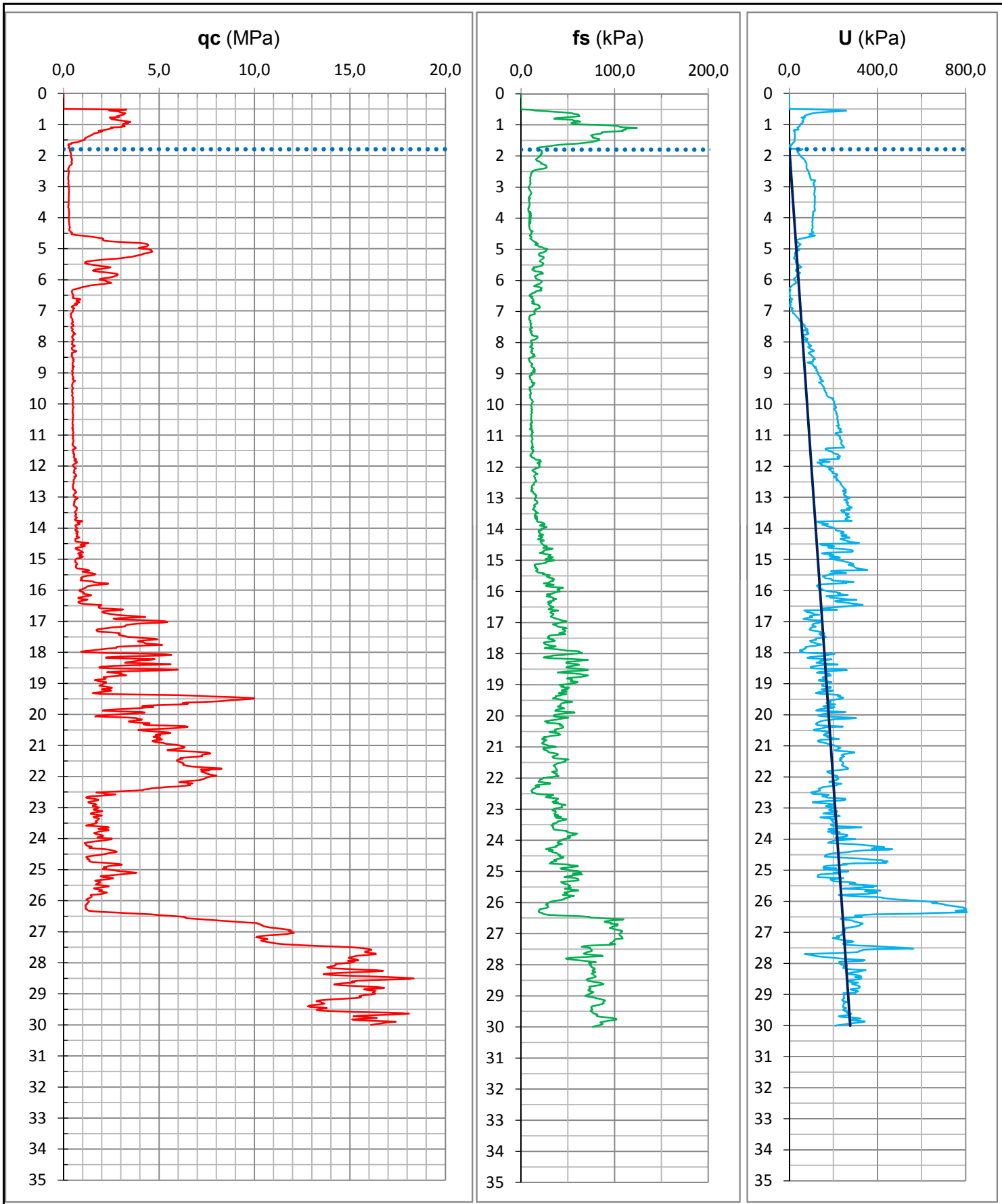


**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U186-21	CPTU1

COMMITTENTE: Comune di Mesola  
 CANTIERE: via M. Buonarroti, Ariano Ferrarese (Fe)  
 DATA: 14/12/2021

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00  
 PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,80  
 PREFORO (m da p.c.): 0,50



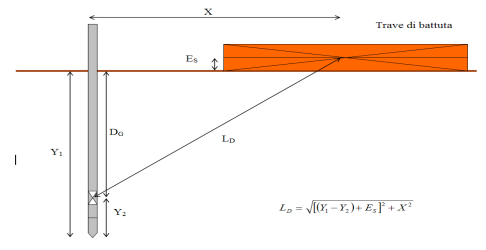
**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**PROVA DOWN HOLE SCPTU**

RIF. PROVA: CPTU n°:  
 U186-21 CPTU1

COMMITTENTE: Comune di Mesola  
 CANTIERE: via M. Buonarroti, Ariano Ferrarese (Fe)  
 DATA: 14/12/2021

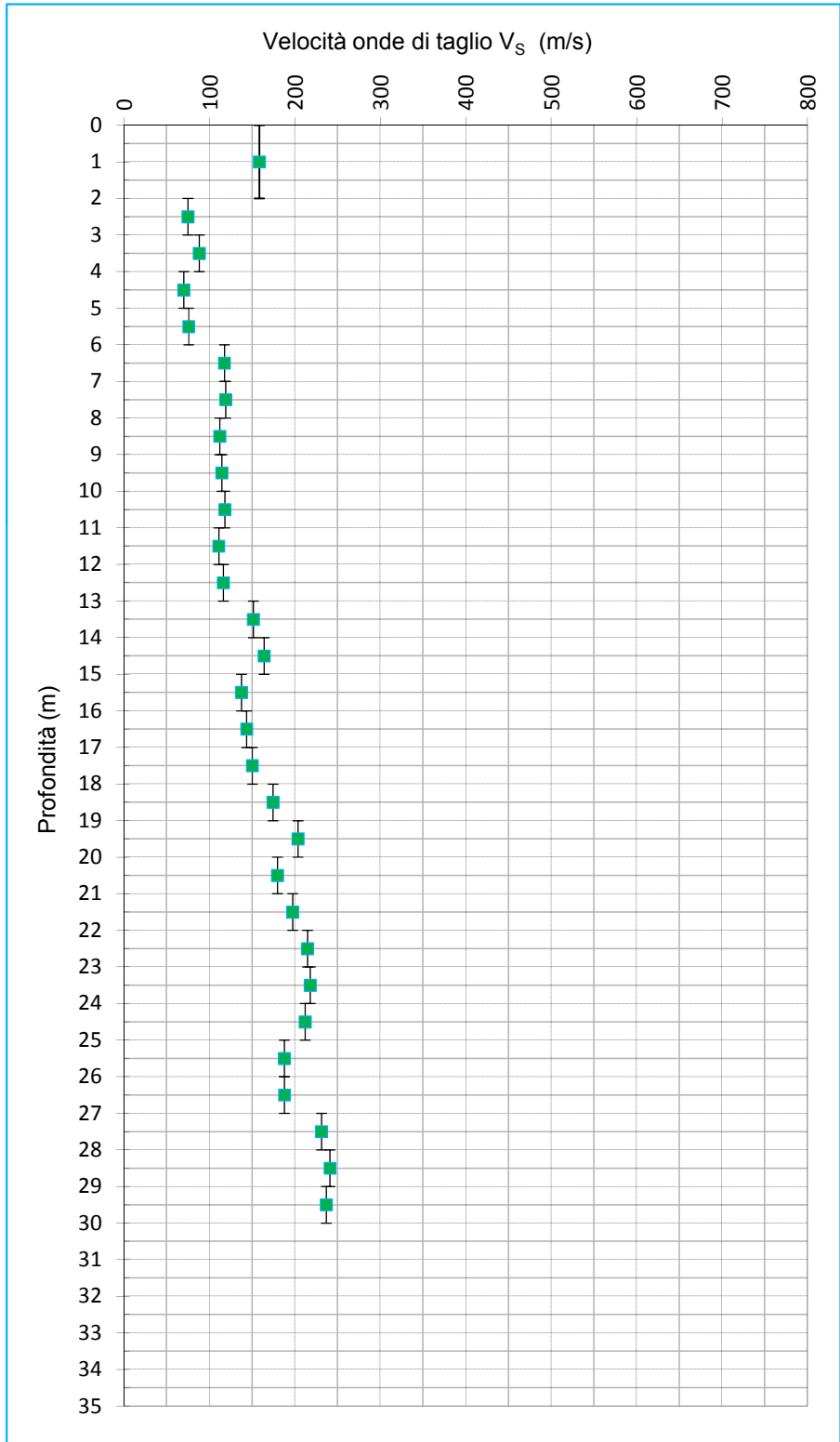
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00  
 PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,80  
 PREFORO (m da p.c.): 0,50

Peso mazza battente: 5Kg  
 Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN  
 Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB  
 Distanza centro sorgente-verticale X: 0,25 m  
 Distanza punta-accelerometro Y<sub>2</sub>: 0,20 m



**Vs<sub>30</sub> = 139 m/sec Categoria suolo di fondazione = D**

Distanza corretta L <sub>D</sub> punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		158
1,817	11,475	75
2,811	24,750	88
3,808	36,066	70
4,807	50,328	76
5,805	63,525	117
6,805	72,031	119
7,804	80,428	112
8,804	89,344	114
9,803	98,077	118
10,803	106,557	111
11,803	115,574	116
12,802	124,180	151
13,802	130,783	164
14,802	136,885	137
15,802	144,162	144
16,802	151,129	150
17,802	157,787	174
18,802	163,524	204
19,802	168,433	180
20,802	174,000	197
21,801	179,068	215
22,801	183,726	218
23,801	188,315	212
24,801	193,033	188
25,801	198,361	188
26,801	203,688	231
27,801	208,016	241
28,801	212,165	237
29,801	216,389	





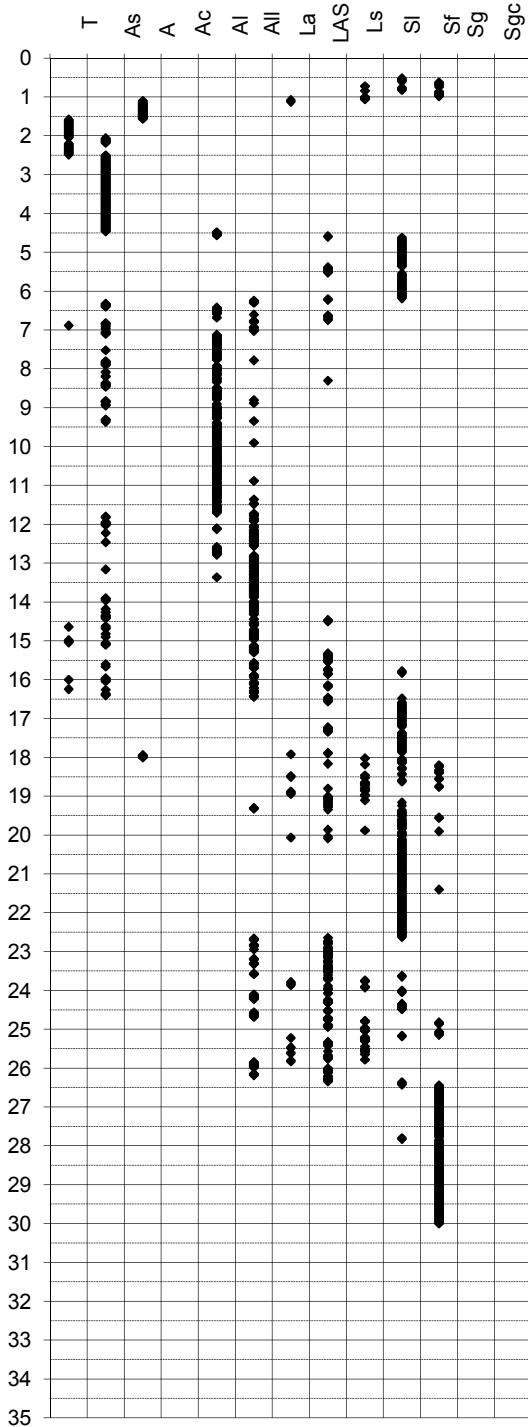
# PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	<b>U186-21</b>
Emissione	dic-21
Pagina	1 di

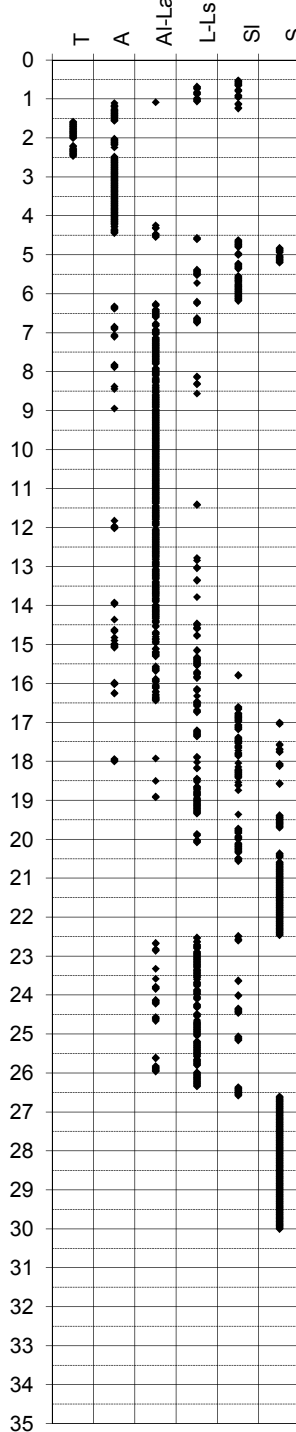
## INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

-Committente	<b>Comune di Mesola</b>	-Prova n°	<b>CPTU1</b>
-Cantiere	<b>via M. Buonarroti, Ariano Ferrarese (Fe)</b>	-Data prova	<b>14/12/2021</b>
-Quota p.c.	m s.l.m.	-Prof. preforo	<b>0,50 m</b>
-Livello di falda	1,80 m da p.c.	-Prof. finale	<b>30,00 m</b>
-Attrezzatura	Punta elettrica con piezocono		

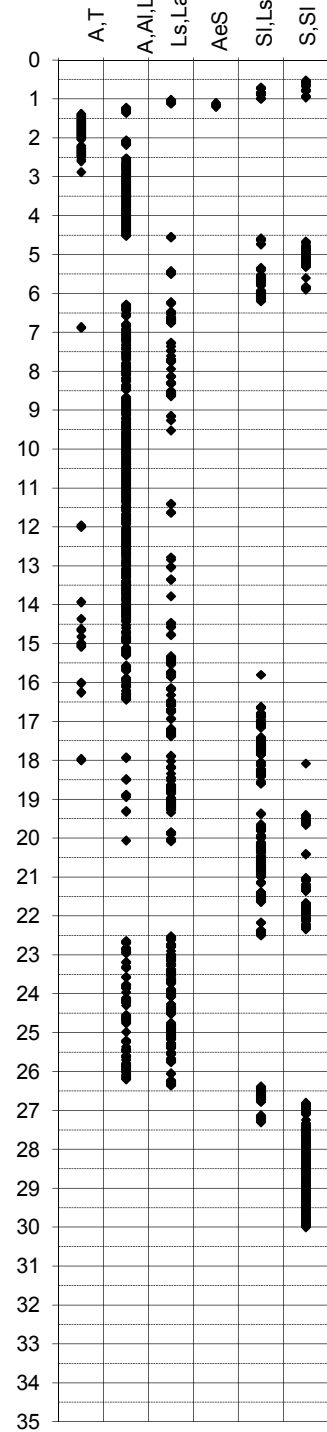
Douglas-Olsen (1981)



Robertson-Campanella(1983)



Olsen-Farr (1986)



**PROVA PENETROMETRICA STATICA**

Identificativo	<b>U186-21</b>
Emissione	dic-21
Pagina	1 di 0

**PARAMETRI GEOTECNICI**

-Committente	<b>Comune di Mesola</b>	-Prova n°	<b>CPTU1</b>
-Cantiere	<b>via M. Buonarroti, Ariano Ferrarese (Fe)</b>	-Data prova	<b>14/12/2021</b>
-Quota p.c.	<b>0,00</b> m s.l.m.	-Prof. preforo	<b>0,50</b> m
-Livello di falda	<b>1,80</b> m da p.c.	-Prof. finale	<b>30,00</b> m

DA m	A m	qcm MPa	fsm MPa	deltaU MPa	litol. (-)	Peso Vol. kN/m3	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI											
							Cu (qc) KPa	OCR (qc) (-)	OCR (U) (-)	M <sub>0</sub> MPa	Eu50 MPa	CR (-)	Dr (%)	FI' <sub>DM</sub> (°)	FI' <sub>Bottom</sub> (°)	FI'Schm. (°)				E'25 MPa	M <sub>0</sub> MPa			
0,0	1,5	1,60	0,05	0,00	A Oc	20,00	128	20	-	6,83	21,68	0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	2,5	0,40	0,03	0,04	T	13,00	21	4	6	1,11	3,919	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	4,5	0,28	0,01	0,09	A	17,50	14	2	4	1,39	7,956	0,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,5	6,2	2,57	0,02	0,00	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	25	32	29	31	34	37	40	6,69	10,70	-	-	
6,2	11,5	0,50	0,01	0,05	A	17,50	24	1	6	2,45	13,58	0,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11,5	14,5	0,62	0,02	0,12	Al-La	18,00	28	1	5	2,92	16,24	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14,5	16,5	1,05	0,03	0,08	Al-La	18,00	48	2	7	3,96	26,12	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16,5	19,4	3,07	0,04	-0,02	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	28	25	29	32	35	39	8,05	12,87	-	-	
19,4	22,5	5,73	0,03	0,01	S	20,00	-	-	-	-	-	-	29	30	27	32	35	37	40	14,38	23,01	-	-	
22,5	26,4	1,84	0,04	0,08	Al-La	18,00	80	2	7	5,49	43,14	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26,4	30,0	13,64	0,08	0,02	S	20,00	-	-	-	-	-	-	57	33	30	36	38	40	43	34,10	46,66	-	-	

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**UBICAZIONE DELLE PROVE SVOLTE - FOTO PIAZZAMENTI**

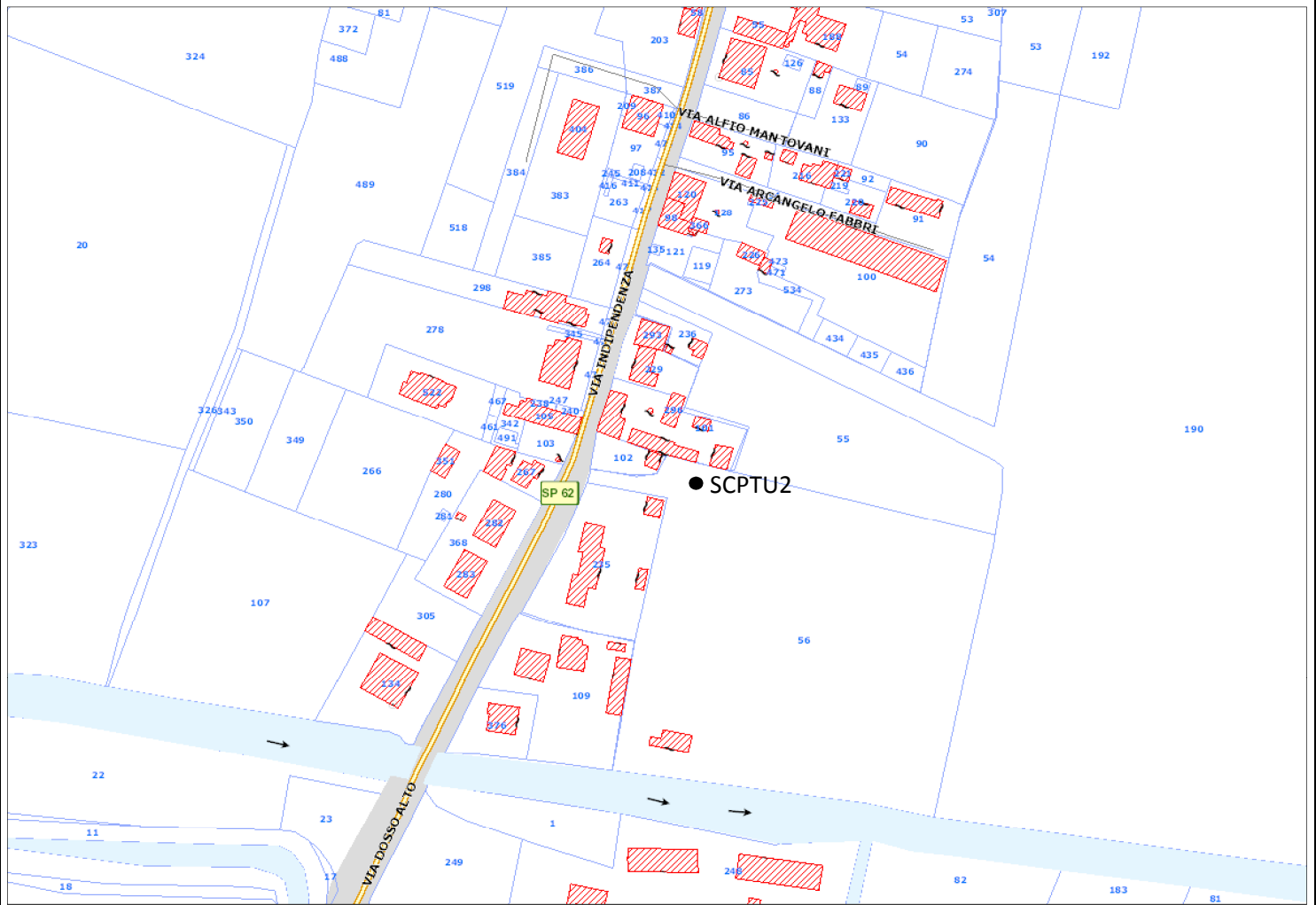
RIF. PROVA:

U186-21

COMMITTENTE: Comune di Mesola

CANTIERE: via Indipendenza, Massenzatica (Fe)

DATA: 17/12/2021









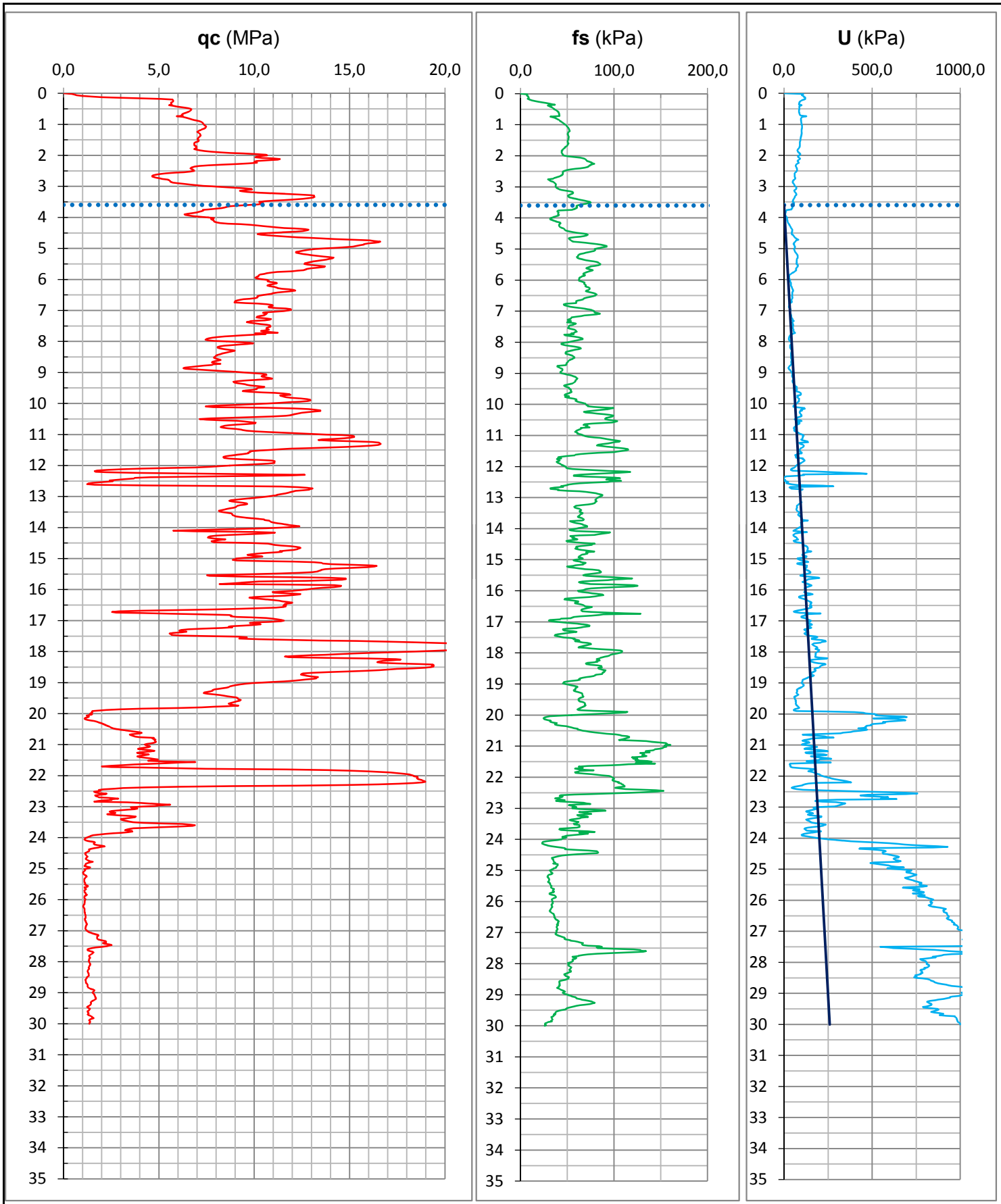


**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U186-21	CPTU2

COMMITTENTE: Comune di Mesola  
 CANTIERE: via Indipendenza, Massenzatica (Fe)  
 DATA: 17/12/2021

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00  
 PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 3,60  
 PREFORO (m da p.c.): 0,00



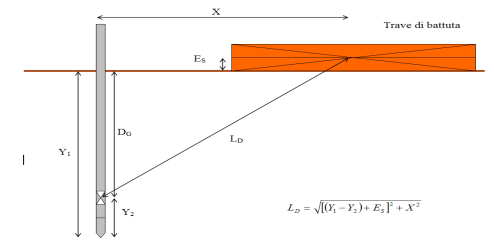


**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**PROVA DOWN HOLE SCPTU**

RIF. PROVA: CPTU n°:  
 U186-21 CPTU2

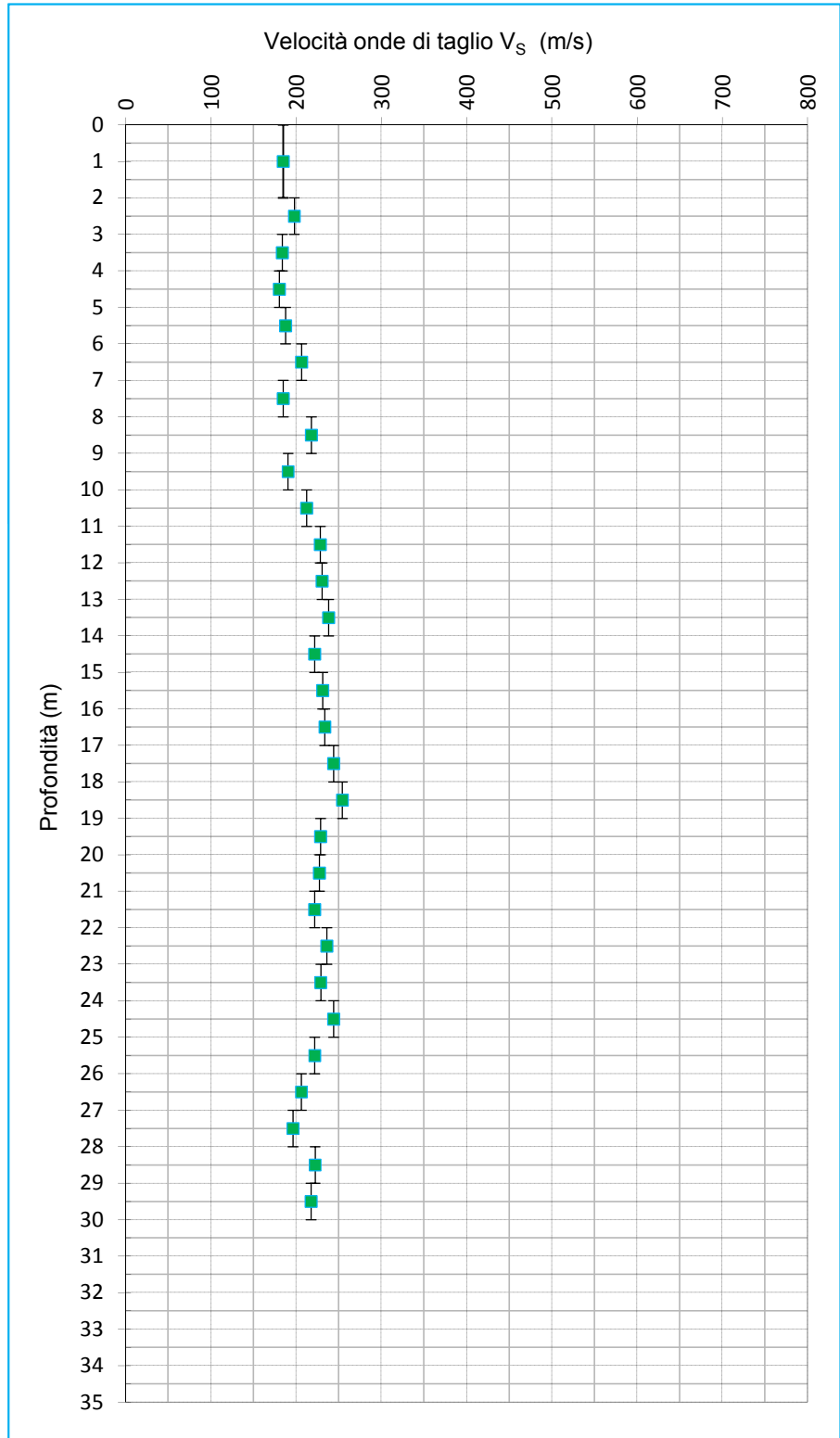
COMMITTENTE: Comune di Mesola PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00  
 CANTIERE: via Indipendenza, Massenzatica (Fe) PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 3,60  
 DATA: 17/12/2021 PREFORO (m da p.c.): 0,00

Peso mazza battente: 5Kg  
 Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN  
 Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB  
 Distanza centro sorgente-verticale X: 0,25 m  
 Distanza punta-accelerometro Y<sub>2</sub>: 0,20 m



**Vs<sub>30</sub> = 215 m/sec Categoria suolo di fondazione = C**

Distanza corretta L <sub>D</sub> punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		185
1,817	9,834	
2,811	14,856	198
3,808	20,282	184
4,807	25,820	180
5,805	31,147	188
6,805	35,986	206
7,804	41,393	185
8,804	45,982	218
9,803	51,229	191
10,803	55,938	212
11,803	60,316	228
12,802	64,654	230
13,802	68,852	238
14,802	73,361	222
15,802	77,688	231
16,802	81,967	234
17,802	86,065	244
18,802	89,998	254
19,802	94,372	229
20,802	98,770	227
21,801	103,279	222
22,801	107,516	236
23,801	111,885	229
24,801	115,984	244
25,801	120,492	222
26,801	125,342	206
27,801	130,438	196
28,801	134,936	222
29,801	139,534	217



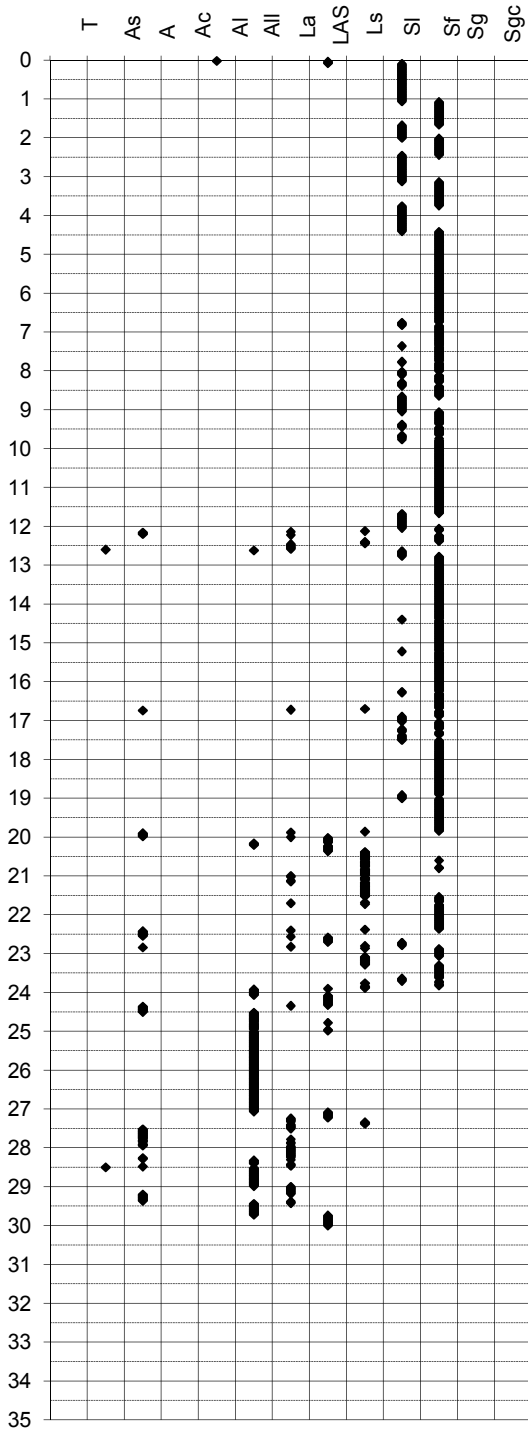
# PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	<b>U186-21</b>
Emissione	dic-21
Pagina	1 di

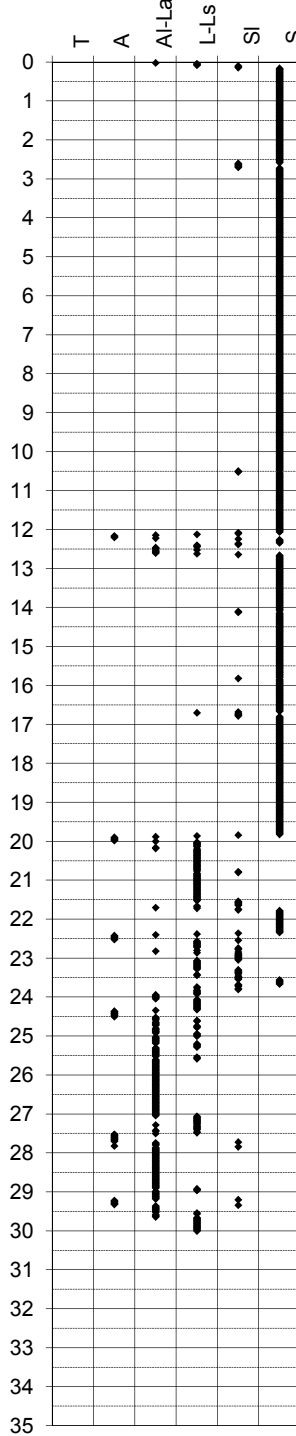
## INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

-Committente	<b>Comune di Mesola</b>	-Prova n°	<b>CPTU2</b>
-Cantiere	<b>via Indipendenza, Massenzatica (Fe)</b>	-Data prova	<b>17/12/2021</b>
-Quota p.c.	-0,80 m s.l.m.	-Prof. preforo	m
-Livello di falda	3,60 m da p.c.	-Prof. finale	<b>30,00 m</b>
-Attrezzatura	Punta elettrica con piezocono		

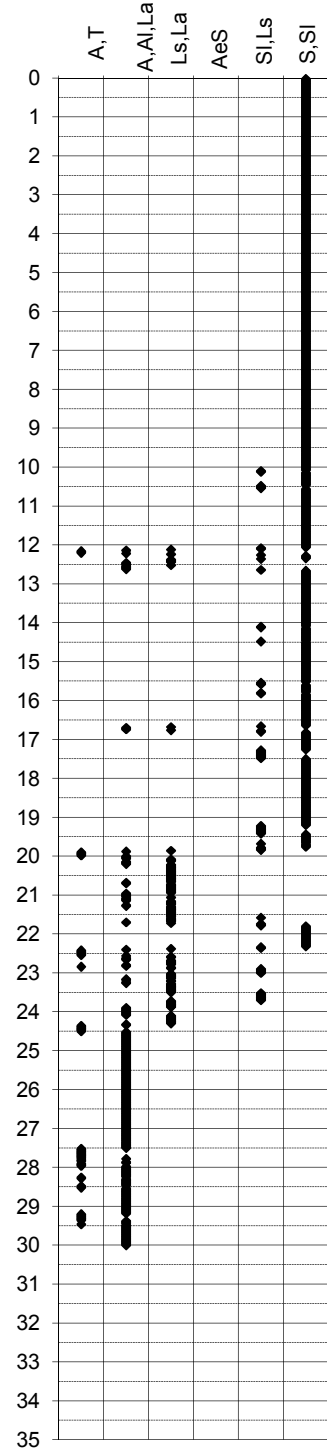
Douglas-Olsen (1981)



Robertson-Campanella(1983)



Olsen-Farr (1986)



**PROVA PENETROMETRICA STATICA**

Identificativo	<b>U186-21</b>
Emissione	dic-21
Pagina	1 di 0

**PARAMETRI GEOTECNICI**

-Committente	<b>Comune di Mesola</b>	-Prova n°	<b>CPTU2</b>
-Cantiere	<b>via Indipendenza, Massenzatica (Fe)</b>	-Data prova	<b>17/12/2021</b>
-Quota p.c.	<b>-0,80</b> m s.l.m.	-Prof. preforo	<b>0,00</b> m
-Livello di falda	<b>3,60</b> m da p.c.	-Prof. finale	<b>30,00</b> m

DA m	A m	qcm MPa	fsm MPa	deltaU MPa	litol. (-)	Peso Vol. kN/m3	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI								
							Cu (qc) KPa	OCR (qc) (-)	OCR (U) (-)	M <sub>0</sub> MPa	Eu50 MPa	CR (-)	Dr (%)	FI' <sub>DM</sub> (°)	FI' <sub>Bottom</sub> (°)	FI'Schm. (°)			E'25 MPa	M <sub>0</sub> MPa	
0,0	4,3	7,50	0,05	0,00	S	20,00	-	-	-	-	-	-	81	38	34	39	41	43	44	18,92	29,88
4,3	5,8	13,11	0,07	0,05	S	20,00	-	-	-	-	-	-	83	39	35	40	41	43	45	32,78	46,23
5,8	17,5	10,00	0,07	0,00	S	20,00	-	-	-	-	-	-	59	35	31	36	38	40	43	25,49	38,84
17,5	19,0	15,77	0,08	0,03	S	20,00	-	-	-	-	-	-	68	35	32	37	39	41	43	39,43	51,41
19,0	20,0	7,39	0,07	-0,05	S	20,00	-	-	-	-	-	-	41	31	28	34	36	39	41	20,77	33,21
20,0	20,5	1,78	0,04	0,39	AI-La	18,00	87	2	5	5,70	44,95	0,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20,5	23,9	5,92	0,09	0,03	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	25	28	25	30	33	36	39	15,52	22,33
23,9	27,0	1,22	0,04	0,51	A	17,50	51	1	3	4,44	30,43	0,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27,0	30,0	1,47	0,05	0,69	AI-La	18,00	64	1	2	4,94	37,5	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**UBICAZIONE DELLE PROVE SVOLTE - FOTO PIAZZAMENTI**

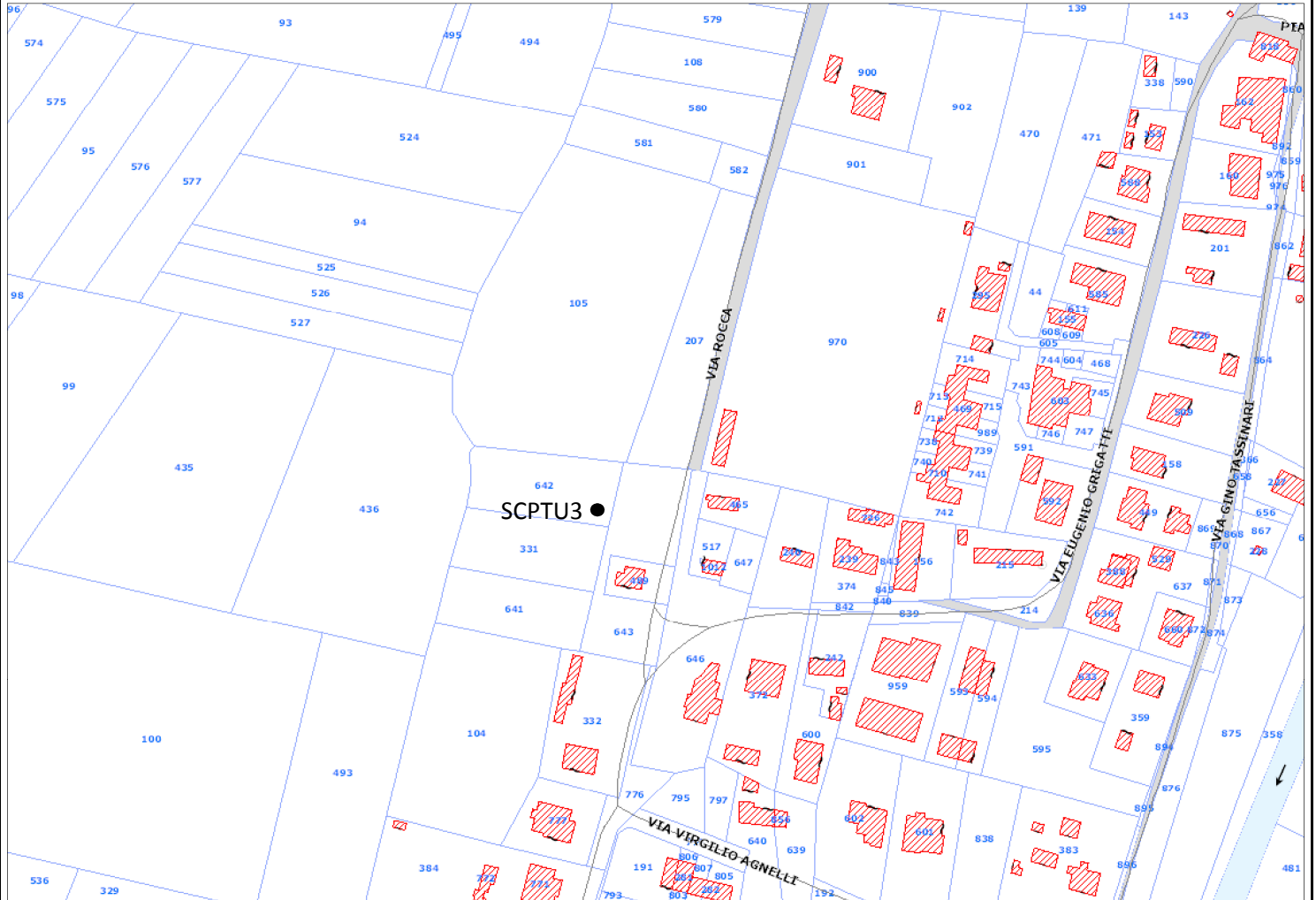
RIF. PROVA:

U186-21

COMMITTENTE: Comune di Mesola

CANTIERE: via Rocca, Monticelli (Fe)

DATA: 17/12/2021











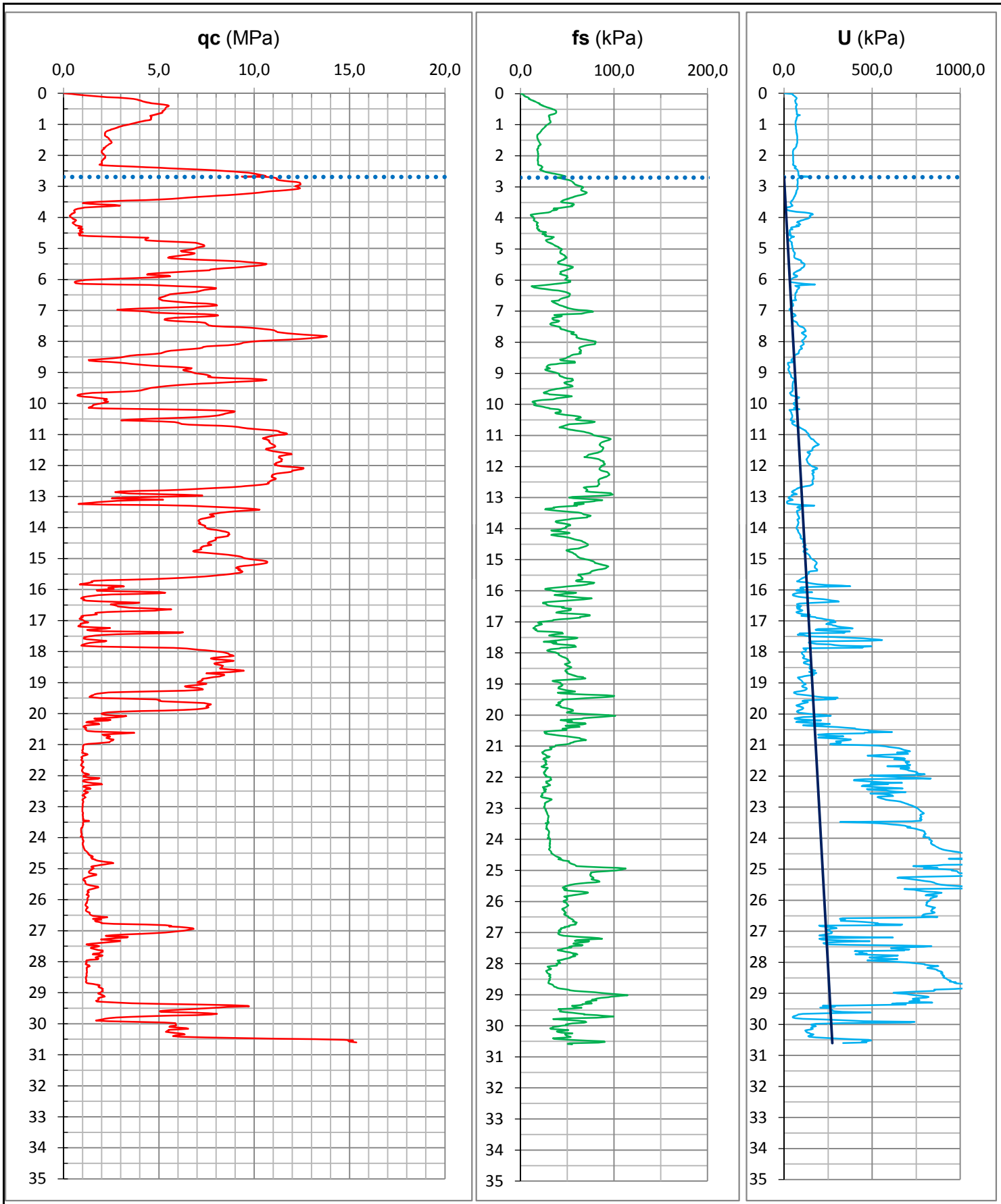


**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U186-21	CPTU3

COMMITTENTE: Comune di Mesola  
 CANTIERE: via Rocca, Monticelli (Fe)  
 DATA: 17/12/2021

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,60  
 PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 2,70  
 PREFORO (m da p.c.): 0,00



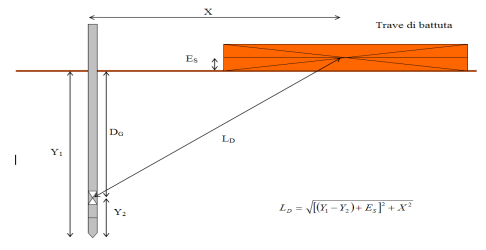
**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA  
PROVA DOWN HOLE SCPTU**

RIF. PROVA: CPTU n°:  
U186-21 CPTU3

COMMITTENTE: Comune di Mesola  
CANTIERE: via Rocca, Monticelli (Fe)  
DATA: 17/12/2021

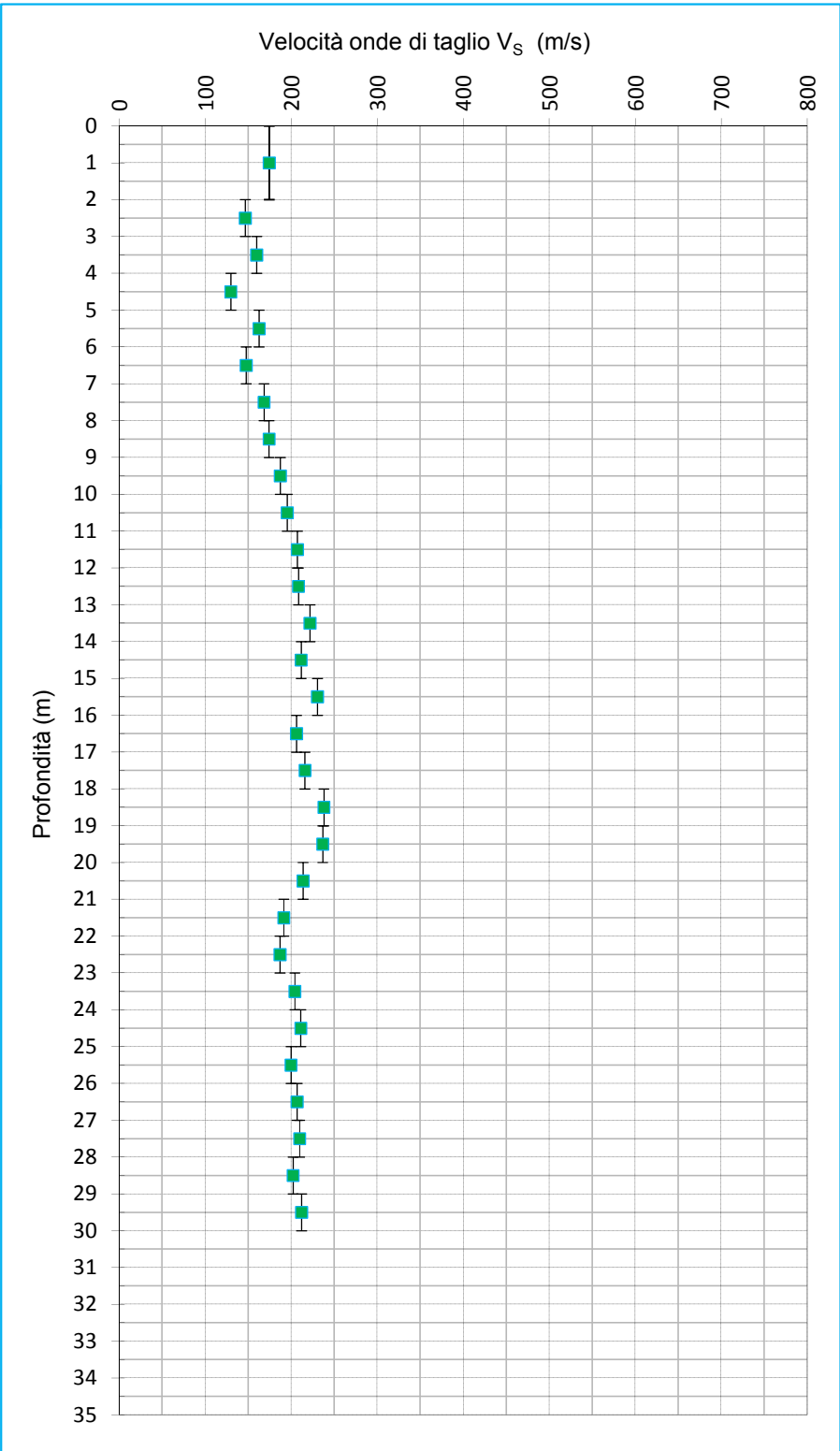
PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,60  
PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 2,70  
PREFORO (m da p.c.): 0,00

Peso mazza battente: 5Kg  
Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN  
Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB  
Distanza centro sorgente-verticale X: 0,25 m  
Distanza punta-accelerometro Y<sub>2</sub>: 0,20 m



**Vs<sub>30</sub> = 192 m/sec Categoria suolo di fondazione = C**

Distanza corretta L <sub>D</sub> punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		174
1,817	10,426	
2,811	17,213	146
3,808	23,451	160
4,807	31,147	130
5,805	37,295	162
6,805	44,062	148
7,804	50,000	168
8,804	55,738	174
9,803	61,075	187
10,803	66,194	195
11,803	71,021	207
12,802	75,820	208
13,802	80,328	222
14,802	85,056	211
15,802	89,394	230
16,802	94,246	206
17,802	98,877	216
18,802	103,079	238
19,802	107,306	237
20,802	111,985	214
21,801	117,213	191
22,801	122,561	187
23,801	127,459	204
24,801	132,197	211
25,801	137,205	200
26,801	142,043	207
27,801	146,811	210
28,801	151,759	202
29,801	156,475	212



# PROVA PENETROMETRICA STATICA

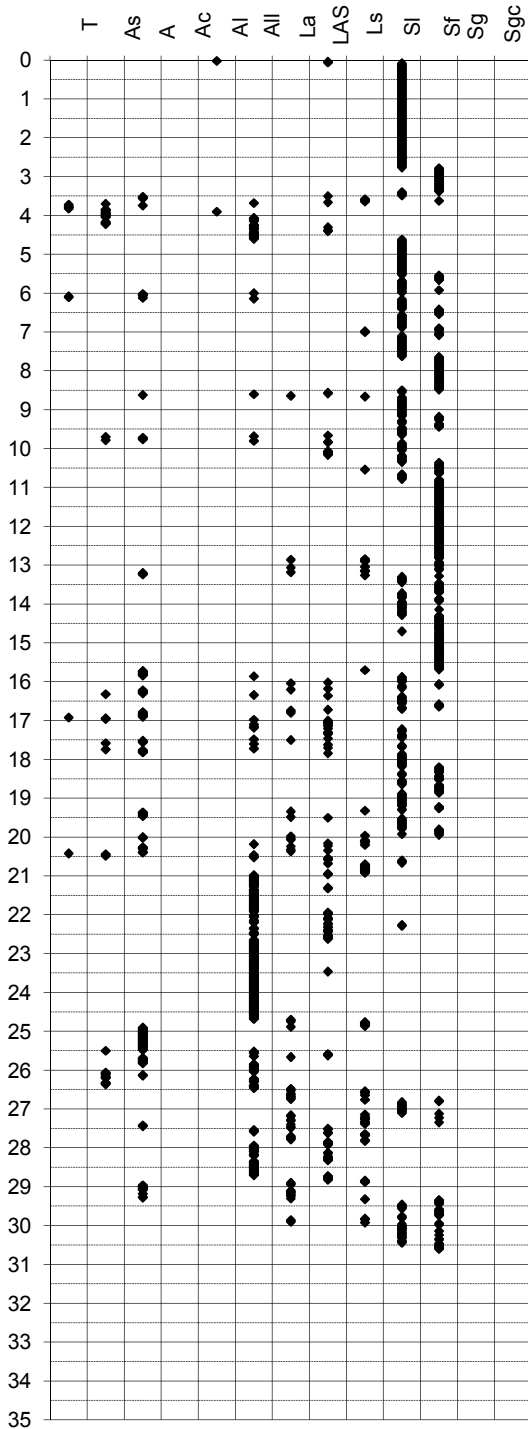
Identificativo	<b>U186-21</b>
Emissione	dic-21
Pagina	1 di

## INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

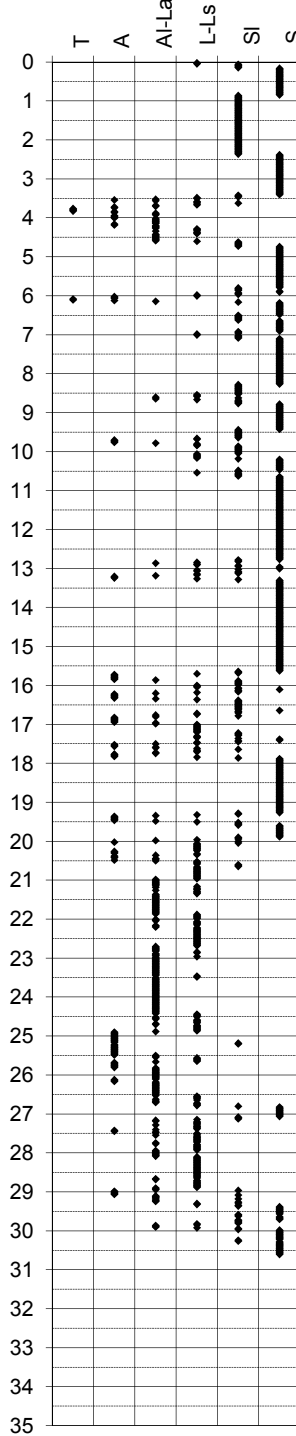
-Committente **Comune di Mesola**  
 -Cantiere **via Rocca, Monticelli (Fe)**  
 -Quota p.c. -2,00 m s.l.m.  
 -Livello di falda 2,70 m da p.c.  
 -Attrezzatura Punta elettrica con piezocono

-Prova n° **CPTU3**  
 -Data prova **17/12/2021**  
 -Prof. preforo m  
 -Prof. finale **30,60 m**

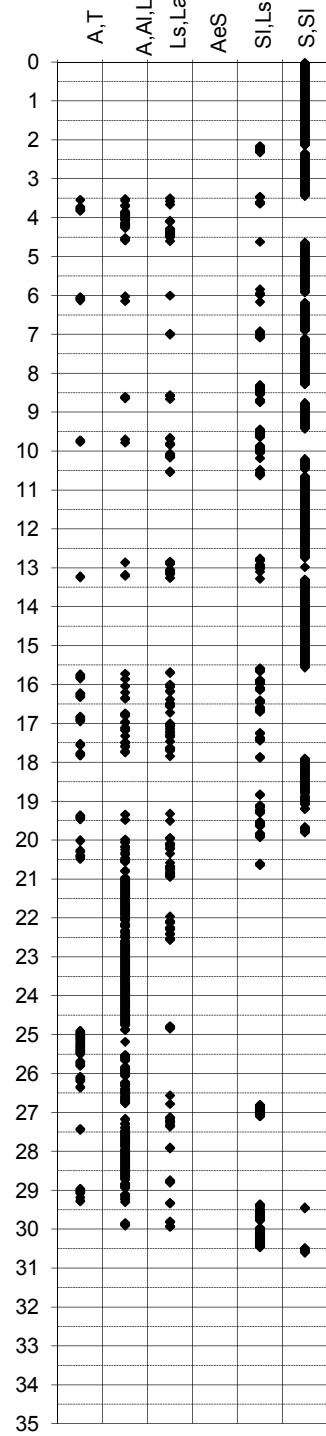
Douglas-Olsen (1981)



Robertson-Campanella(1983)



Olsen-Farr (1986)



**PROVA PENETROMETRICA STATICA**

Identificativo	<b>U186-21</b>
Emissione	dic-21
Pagina	1 di 0

**PARAMETRI GEOTECNICI**

-Committente	<b>Comune di Mesola</b>	-Prova n°	<b>CPTU3</b>
-Cantiere	<b>via Rocca, Monticelli (Fe)</b>	-Data prova	<b>17/12/2021</b>
-Quota p.c.	<b>-2,00</b> m s.l.m.	-Prof. preforo	<b>0,00</b> m
-Livello di falda	<b>2,70</b> m da p.c.	-Prof. finale	<b>30,60</b> m

DA m	A m	qcm MPa	fsm MPa	deltaU MPa	litol. (-)	Peso Vol. kN/m3	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI								
							Cu (qc) KPa	OCR (qc) (-)	OCR (U) (-)	M <sub>0</sub> MPa	Eu50 MPa	CR (-)	Dr (%)	FI' <sub>DM</sub> (°)	FI' <sub>Bottom</sub> (°)	FI'Schm. (°)	E'25 MPa	M <sub>0</sub> MPa			
0,0	2,4	3,11	0,02	0,00	S	20,00	-	-	-	-	-	-	57	34	31	36	38	40	42	7,89	12,62
2,4	3,6	8,81	0,05	0,05	S	20,00	-	-	-	-	-	-	76	39	35	39	40	42	44	23,01	35,23
3,6	4,5	0,81	0,02	0,06	Al-La	18,00	41	4	8	3,06	14,51	0,21	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4,5	10,2	6,00	0,04	0,02	S	20,00	-	-	-	-	-	-	50	34	31	34	37	39	42	16,09	25,42
10,2	15,6	8,72	0,07	0,01	S	20,00	-	-	-	-	-	-	52	34	30	35	37	40	42	22,20	34,67
15,6	17,9	2,32	0,04	0,05	L-Ls	20,00	64	2	7	4,64	34,48	0,31	<20	26	24	28	31	34	38	7,59	12,14
17,9	20,0	6,71	0,05	-0,04	S	20,00	-	-	-	-	-	-	38	31	28	33	36	38	41	17,94	28,70
20,0	21,0	1,99	0,05	0,10	L-Ls	20,00	93	2	8	6,04	46,16	0,25	<20	24	22	26	30	33	37	5,82	9,32
21,0	26,5	1,19	0,04	0,57	Al-La	18,00	51	1	2	4,37	29,94	0,38	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26,5	27,5	3,27	0,06	0,15	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	21	26	24	28	32	35	38	10,25	16,40
27,5	29,3	1,59	0,05	0,53	Al-La	18,00	71	1	3	5,15	40,62	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29,3	30,6	6,57	0,06	0,00	S	20,00	-	-	-	-	-	-	27	29	26	31	34	37	40	17,19	26,54

**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**UBICAZIONE DELLE PROVE SVOLTE - FOTO PIAZZAMENTI**

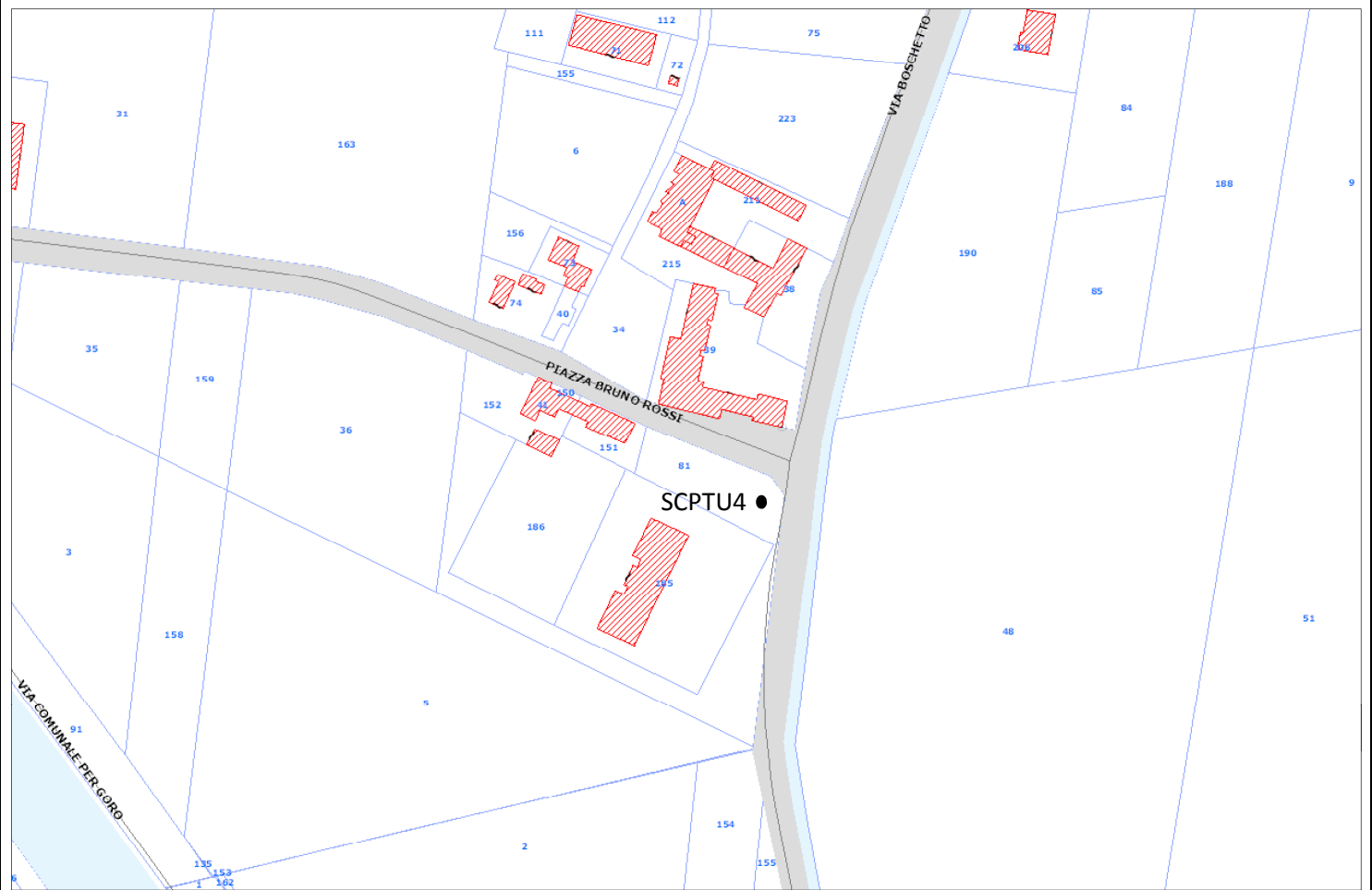
RIF. PROVA:

U186-21

COMMITTENTE: Comune di Mesola

CANTIERE: Piazza Bruno Rossi, Santa Giustina (Fe)

DATA: 17/12/2021











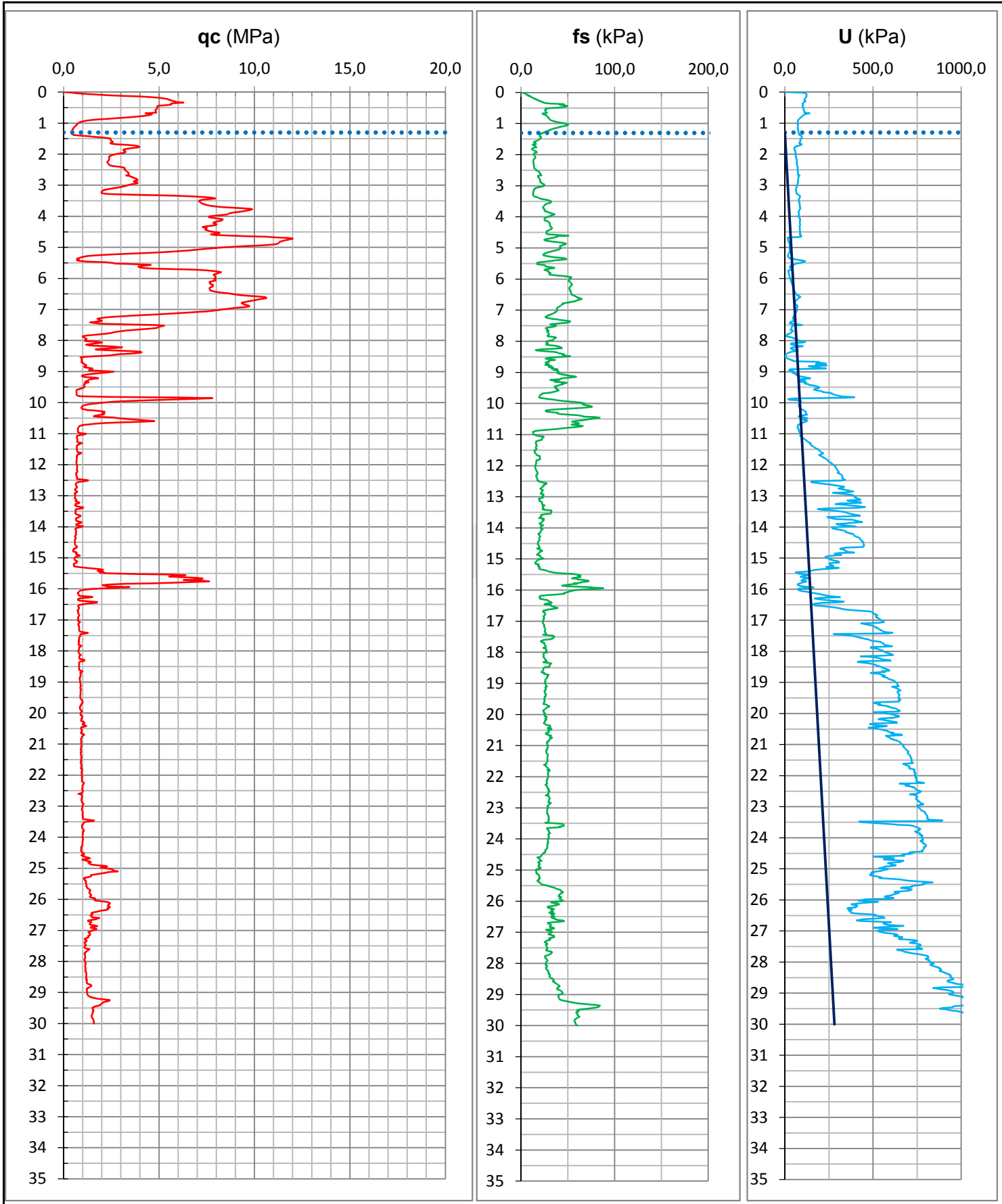


**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA**  
**DIAGRAMMI DI RESISTENZA**

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U186-21	CPTU4

COMMITTENTE: Comune di Mesola  
 CANTIERE: Piazza Bruno Rossi, Santa Giustina (Fe)  
 DATA: 17/12/2021

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00  
 PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,30  
 PREFORO (m da p.c.): 0,00



**PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA  
PROVA DOWN HOLE SCPTU**

RIF. PROVA: CPTU n°:  
U186-21 CPTU4

COMMITTENTE: Comune di Mesola

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00

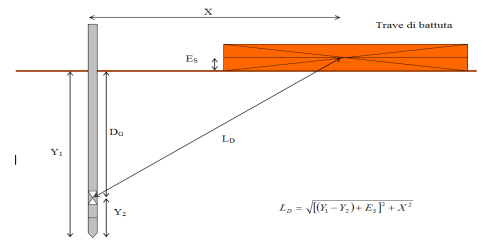
CANTIERE: Piazza Bruno Rossi, Santa Giustina (Fe)

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,30

DATA: 17/12/2021

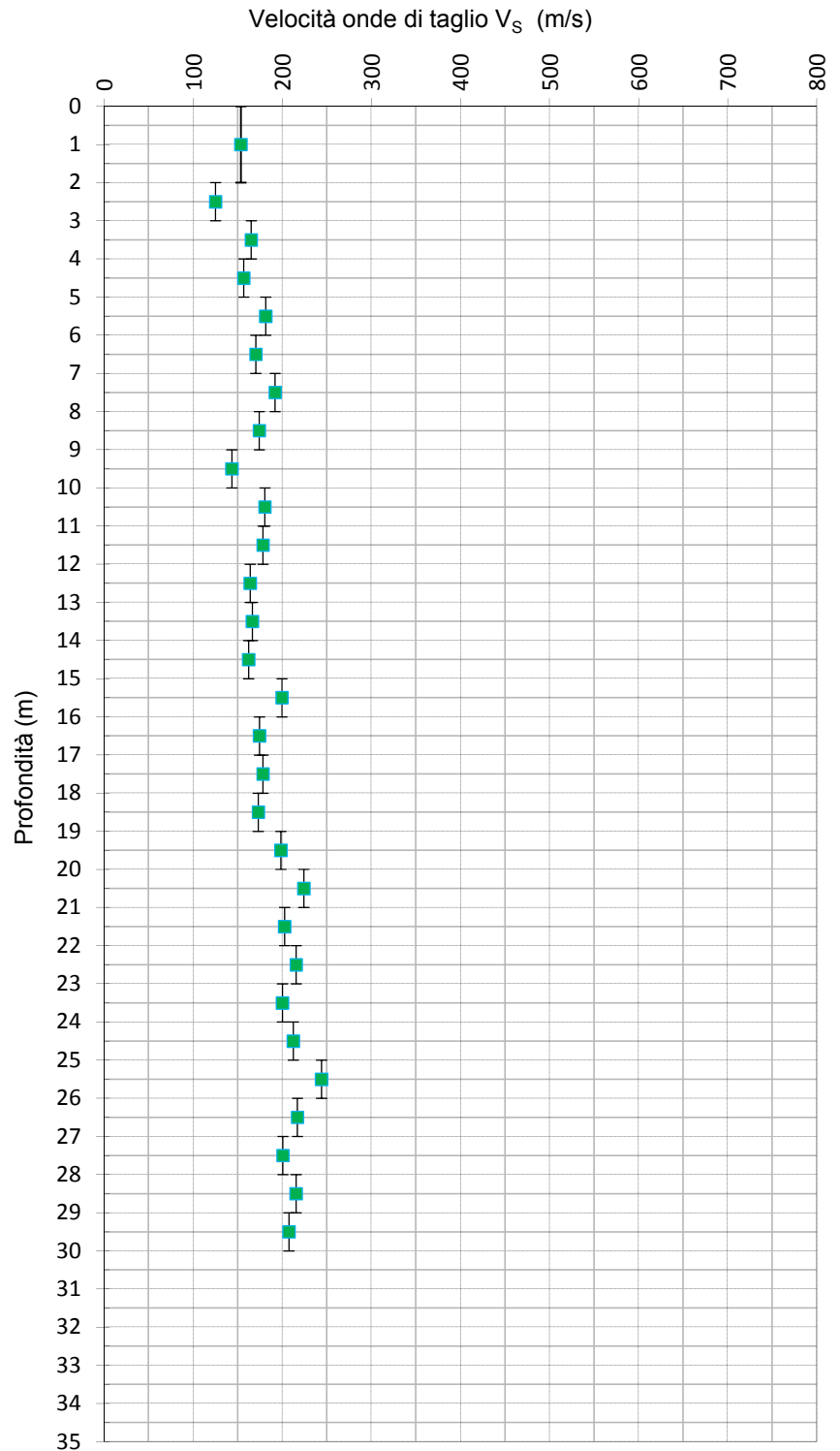
PREFORO (m da p.c.): 0,00

Peso mazza battente: 5Kg  
Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN  
Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB  
Distanza centro sorgente-verticale X: 0,25 m  
Distanza punta-accelerometro Y<sub>2</sub>: 0,20 m



**Vs<sub>30</sub> = 182 m/sec Categoria suolo di fondazione = C**

Distanza corretta L <sub>D</sub> punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		154
1,817	11,836	125
2,811	19,782	165
3,808	25,820	157
4,807	32,187	181
5,805	37,695	170
6,805	43,562	192
7,804	48,770	174
8,804	54,508	143
9,803	61,475	180
10,803	67,016	178
11,803	72,621	164
12,802	78,718	166
13,802	84,726	162
14,802	90,893	200
15,802	95,902	174
16,802	101,639	178
17,802	107,247	173
18,802	113,024	198
19,802	118,062	224
20,802	122,521	202
21,801	127,459	216
22,801	132,097	200
23,801	137,095	212
24,801	141,803	244
25,801	145,902	217
26,801	150,510	201
27,801	155,494	215
28,801	160,136	207
29,801	164,958	



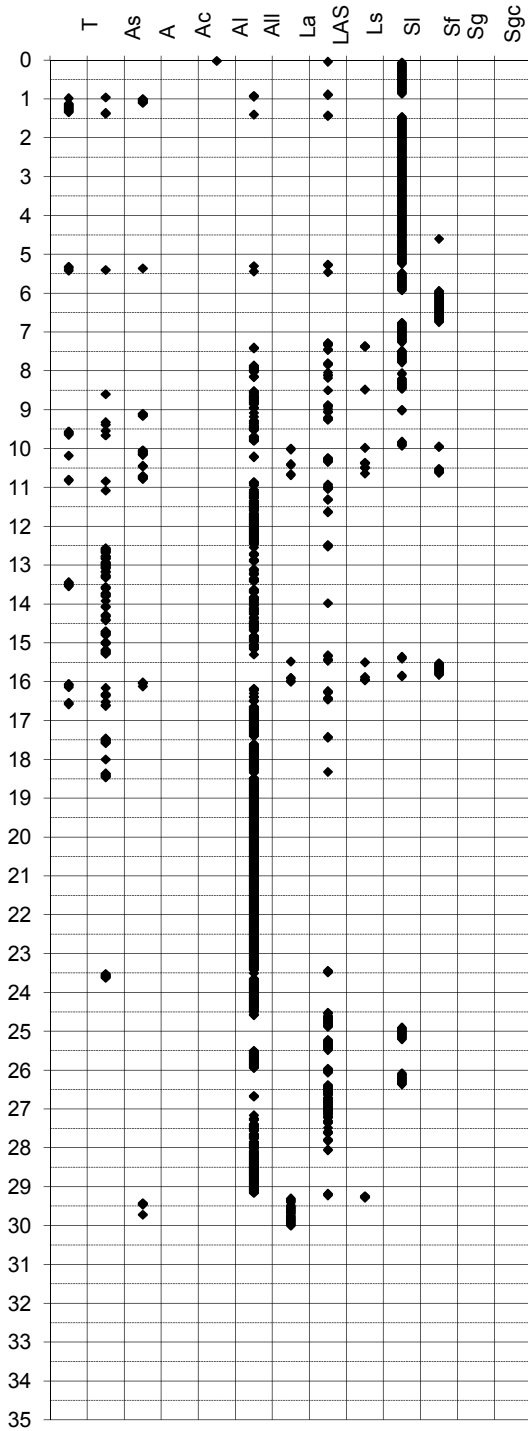
# PROVA PENETROMETRICA STATICA

Identificativo	<b>U186-21</b>
Emissione	dic-21
Pagina	1 di

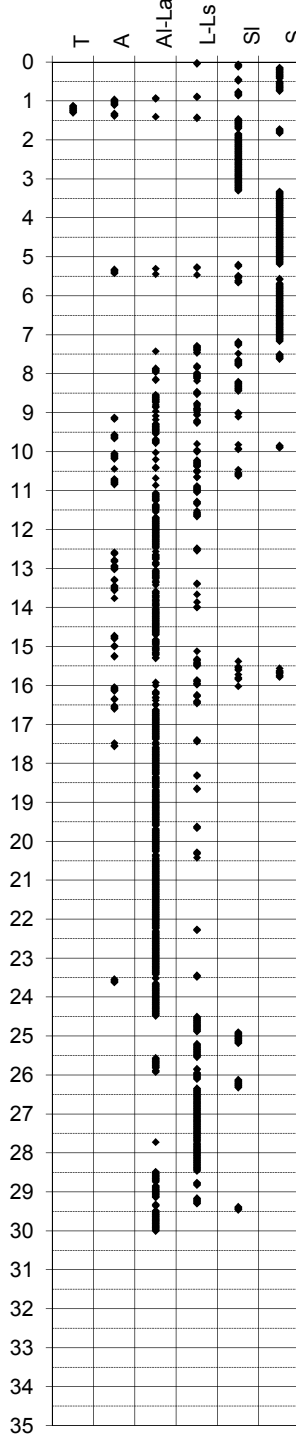
## INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE

-Committente	<b>Comune di Mesola</b>	-Prova n°	<b>CPTU4</b>
-Cantiere	<b>Piazza Bruno Rossi, Santa Giustina (Fe)</b>	-Data prova	<b>17/12/2021</b>
-Quota p.c.	m s.l.m.	-Prof. preforo	m
-Livello di falda	1,30 m da p.c.	-Prof. finale	<b>30,00 m</b>
-Attrezzatura	Punta elettrica con piezocono		

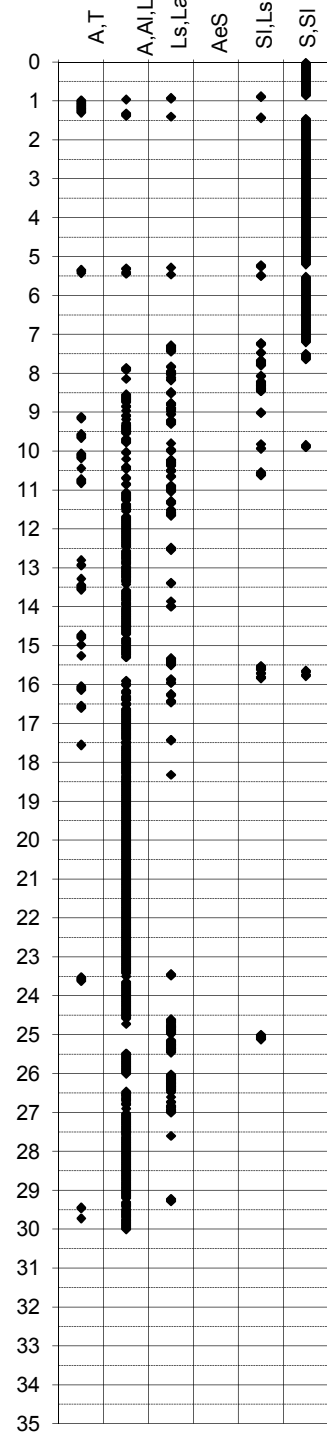
Douglas-Olsen (1981)



Robertson-Campanella(1983)



Olsen-Farr (1986)



**PROVA PENETROMETRICA STATICA**

Identificativo	<b>U186-21</b>
Emissione	dic-21
Pagina	1 di 0

**PARAMETRI GEOTECNICI**

-Committente	<b>Comune di Mesola</b>	-Prova n°	<b>CPTU4</b>
-Cantiere	<b>Piazza Bruno Rossi, Santa Giustina (Fe)</b>	-Data prova	<b>17/12/2021</b>
-Quota p.c.	<b>0,00</b> m s.l.m.	-Prof. preforo	<b>0,00</b> m
-Livello di falda	<b>1,30</b> m da p.c.	-Prof. finale	<b>30,00</b> m

DA m	A m	qcm MPa	fsm MPa	deltaU MPa	litol. (-)	Peso Vol. kN/m3	MATERIALI COESIVI						MATERIALI GRANULARI								
							Cu (qc) KPa	OCR (qc) (-)	OCR (U) (-)	M <sub>0</sub> MPa	Eu50 MPa	CR (-)	Dr (%)	FI' <sub>DM</sub> (°)	FI' <sub>Bottom</sub> (°)	FI'Schm. (°)				E'25 MPa	M <sub>0</sub> MPa
0,0	1,0	3,84	0,03	0,00	S	18,15	-	-	-	-	-	-	90	36	32	41	42	44	45	10,82	17,32
1,0	1,5	0,82	0,03	0,04	AI-La	18,00	36	12	7	2,12	5,151	0,10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	3,4	3,14	0,02	0,06	S	20,00	-	-	-	-	-	-	43	34	31	34	36	39	41	7,85	12,57
3,4	7,2	7,56	0,04	0,02	S	20,00	-	-	-	-	-	-	67	37	33	37	39	41	43	19,63	31,17
7,2	8,5	2,49	0,03	-0,02	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	30	27	30	33	36	39	7,01	11,22
8,5	9,9	1,49	0,04	0,06	AI-La	18,00	56	3	7	4,19	24,3	0,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9,9	10,7	2,29	0,06	0,01	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	<20	30	27	30	33	36	39	7,50	12,01
10,7	15,3	0,71	0,02	0,17	A	17,50	32	1	4	3,19	18,56	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15,3	16,0	3,94	0,05	-0,02	SI	19,00	-	-	-	-	-	-	33	29	26	30	33	36	39	10,91	17,46
16,0	24,5	0,93	0,03	0,42	A	17,50	39	1	3	3,80	23,06	0,39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24,5	30,0	1,46	0,04	0,49	AI-La	18,00	60	1	3	4,72	34,54	0,36	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Via Pastrengo, 9 – 24068 Seriate (Bg)  
Tel: 035 303120  
Fax: 035 303120  
E-mail: [ismgeo@ismgeo.it](mailto:ismgeo@ismgeo.it)

Istituto  
Sperimentale  
Modelli  
GEOtecnici

*Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C*

# MESOLA

## PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Prog. L001; Doc. RAT 031/2022

Redatto da:	Andrea Saccenti <i>A. Saccenti</i>	02/02/2022
Rivisto e Approvato da:	Andrea Saccenti <i>A. Saccenti</i>	

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	01/02/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D422

Classificazione di riferimento: AGI 1977

N° certificato di prova:

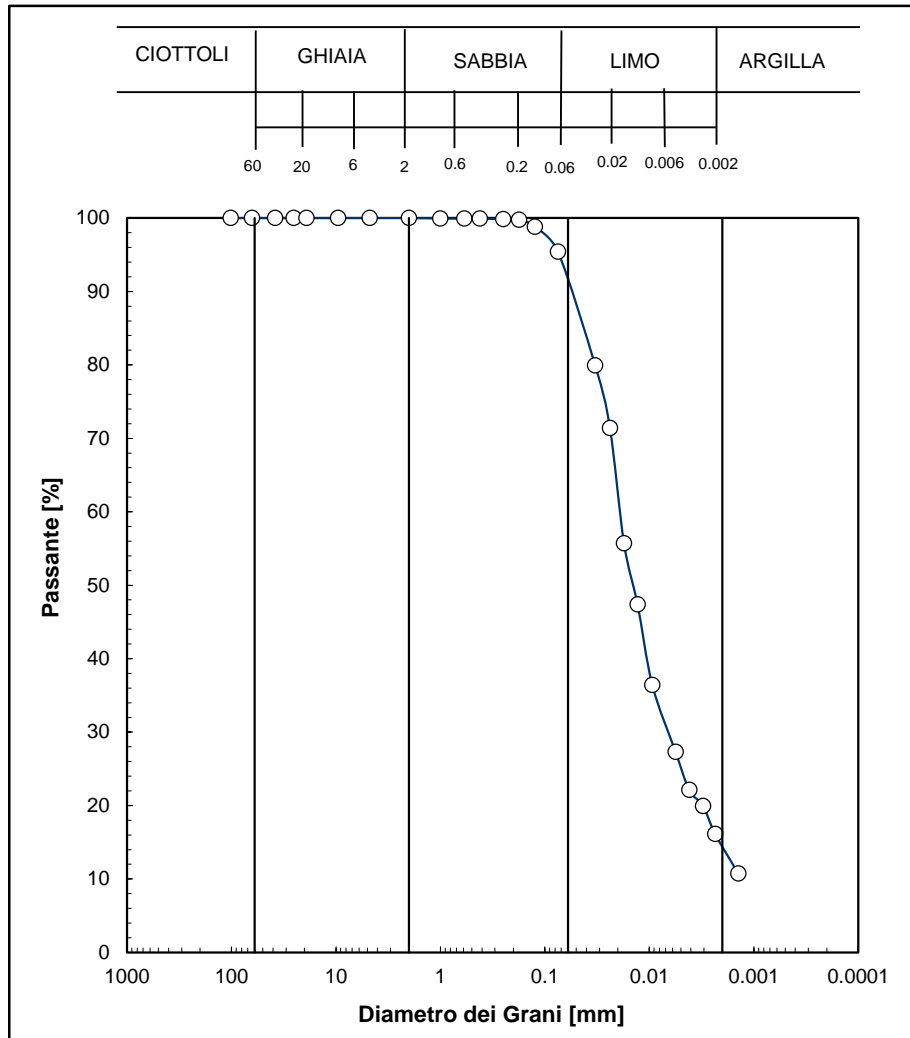
N° verbale di accettazione: 048/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott. Thomas VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>MESOLA (FE)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	<b>MZ2</b>
<b>Profondità prelievo [m]:</b>	<b>3 - 3.3</b>
<b>Prova:</b>	<b>Gr 1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>27/01/2022</b>

Vagliatura		
Diametro vaglio [mm]	Massa tratt. [g]	Massa tratt. [%]
101.6	0	0
63.5	0	0
38.1	0	0
25.4	0	0
19.1	0	0
9.53	0	0
4.75	0	0
2	0	0
1	0.1	0.1
0.59	0.0	0.0
0.42	0.0	0.0
0.25	0.1	0.1
0.177	0.2	0.1
0.125	2.0	1.0
0.075	7.1	3.4

Aerometria		
Tempo [min]	Temp. [°C]	Letture [-]
2	18.7	1.0230
4	18.7	1.0211
8	18.7	1.0176
15	18.9	1.0157
30	19.1	1.0132
86	19.4	1.0111
158	20.0	1.0098
284	21.3	1.0090
490	21.5	1.0081
1385	21.5	1.0069



Curva granulom.	
Diametro [mm]	Passante [%]
1.02.E+02	100.0
6.35.E+01	100.0
3.81.E+01	100.0
2.54.E+01	100.0
1.91.E+01	100.0
9.53.E+00	100.0
4.75.E+00	100.0
2.00.E+00	100.0
1.00.E+00	99.9
5.90.E-01	99.9
4.20.E-01	99.9
2.50.E-01	99.8
1.77.E-01	99.8
1.25.E-01	98.8
7.50.E-02	95.4
3.30.E-02	79.9
2.38.E-02	71.4
1.75.E-02	55.7
1.30.E-02	47.4
9.36.E-03	36.4
5.61.E-03	27.3
4.15.E-03	22.1
3.06.E-03	19.9
2.34.E-03	16.1
1.41.E-03	10.7
-	-
-	-

Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D <sub>60</sub> [mm]	D <sub>50</sub> [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	3.00	3.30	208.6	VIA UMIDA	95	-	-	9	77	14	34	-	1.9.E-02	1.4.E-02

NOTE:



## DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

D.P.R. 06.06.2001 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A e B

Sperimentatore: Falgari  
Direttore: Saccenti  
Data emissione: 28/01/2022  
Rev.

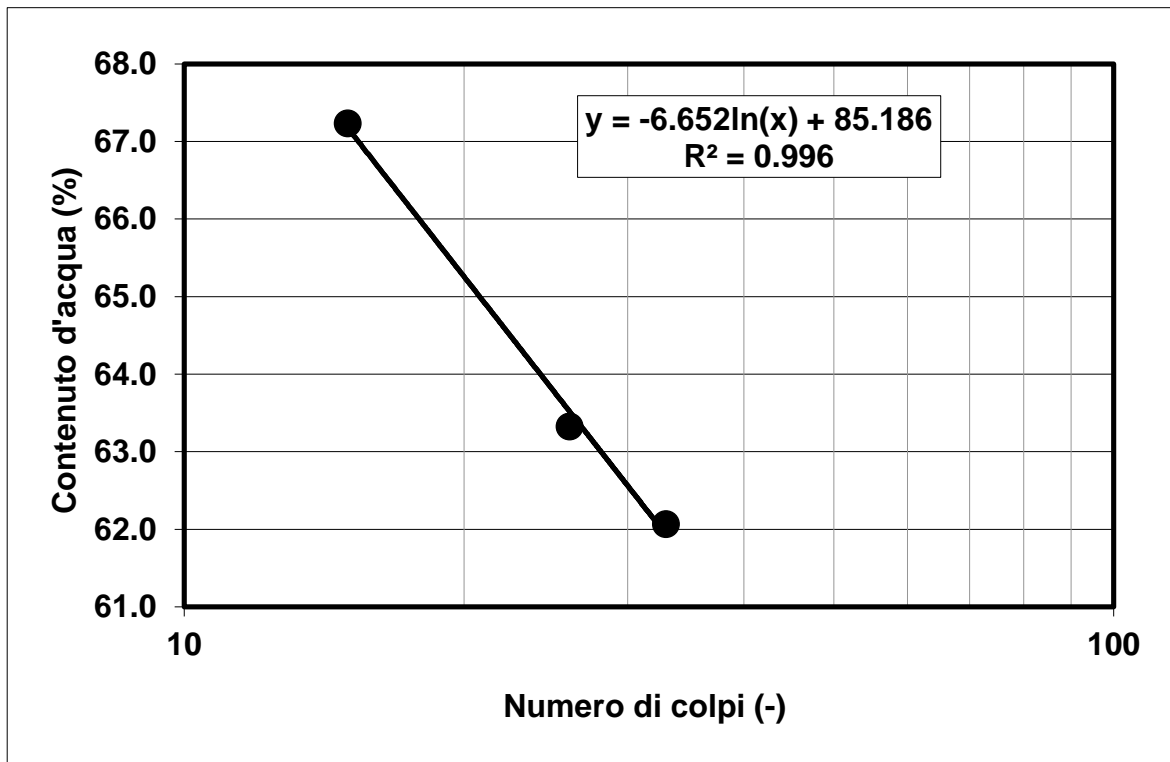
Normativa di riferimento: ASTM D4318  
N° certificato di prova:  
N° verbale di accettazione:

<b>Committente:</b>	<b>Dott. Thomas VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>MESOLA (FE)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	<b>MZ2</b>
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>3.00 - 3.30</b>
<b>Prova:</b>	<b>LLP1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>20/01/2022</b>

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	33	26	15
massa tara (g)	22.65	22.17	22.47
massa umido + tara (g)	53.15	48.22	49.16
massa secco + tara (g)	41.47	38.12	38.43
umidità (%)	62.06	63.32	67.23

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.37	22.44
massa umido + tara (g)	35.32	35.40
massa secco + tara (g)	32.10	32.17
umidità (%)	33.09	33.20

<b>LL (%)</b>	<b>63.8</b>
<b>LP (%)</b>	<b>33.1</b>
<b>IP (%)</b>	<b>30.6</b>



Note:



rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	28/01/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

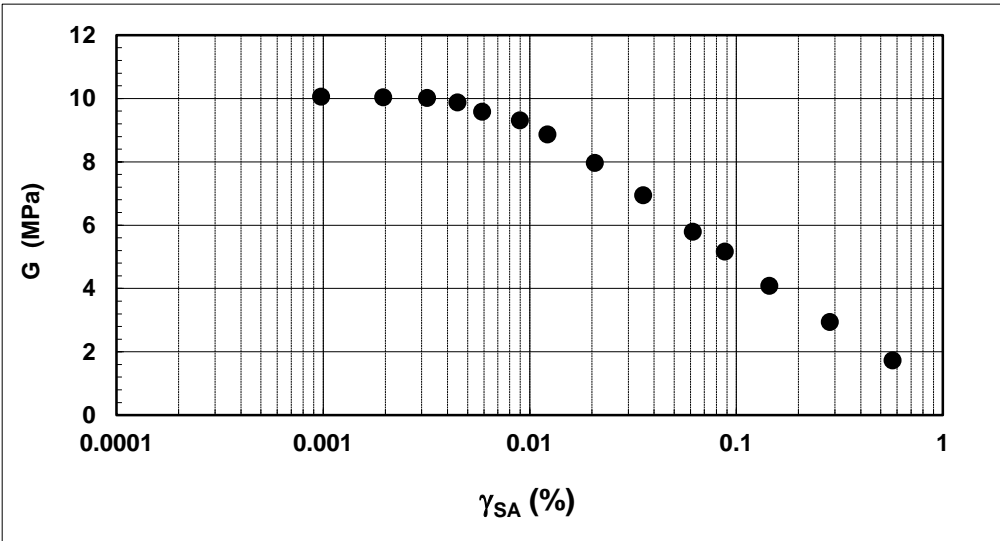
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 091/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott Thomas VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>MESOLA (FE)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	<b>MZ2</b>
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>3.18 - 3.28</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>20/01/2022</b>

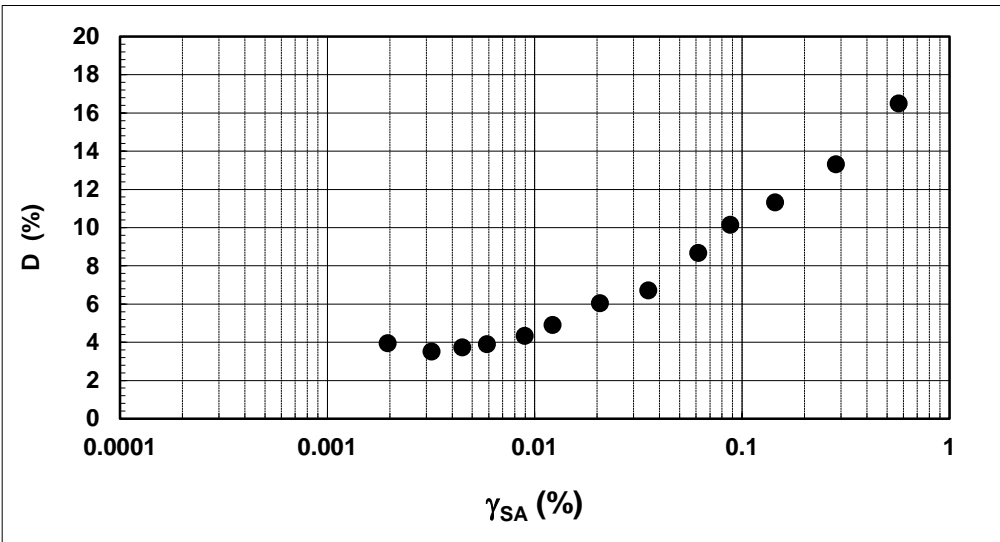
**Dati generali dei provini**

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione											Informazioni generali	
$\Phi$	H	$\gamma_w$	w	e	$\sigma'_a$	$\sigma'_r$	K	B.P.	B	D	H	$\gamma_w$	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	102.0	15.34	59.9	1.762	38	38	1.0	300.0	0.93	48.9	100.0	15.90	55.2	1.585	94	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																peso specifico (-)	2.700



**Legenda:**

- $\Phi$  = diametro del provino
- H = altezza del provino
- $\gamma_w$  = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- $\sigma'$  = tensioni efficaci
- $K = \sigma'_r / \sigma'_a$
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- $\gamma_{SA}$  = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



<b>Note:</b>	
--------------	--

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	28/01/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

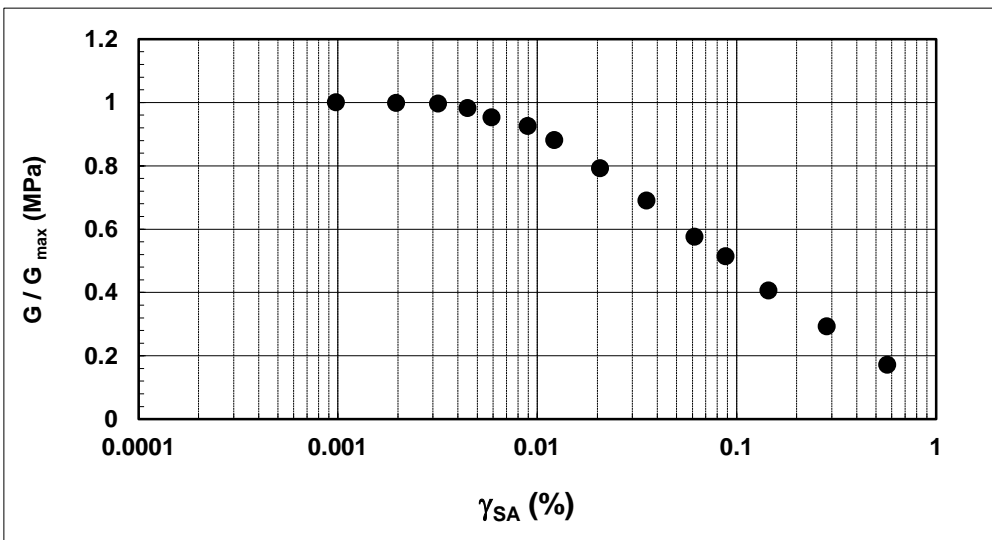
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 091/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott Thomas VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>MESOLA (FE)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	<b>MZ2</b>
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>3.18 - 3.28</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>20/01/2022</b>

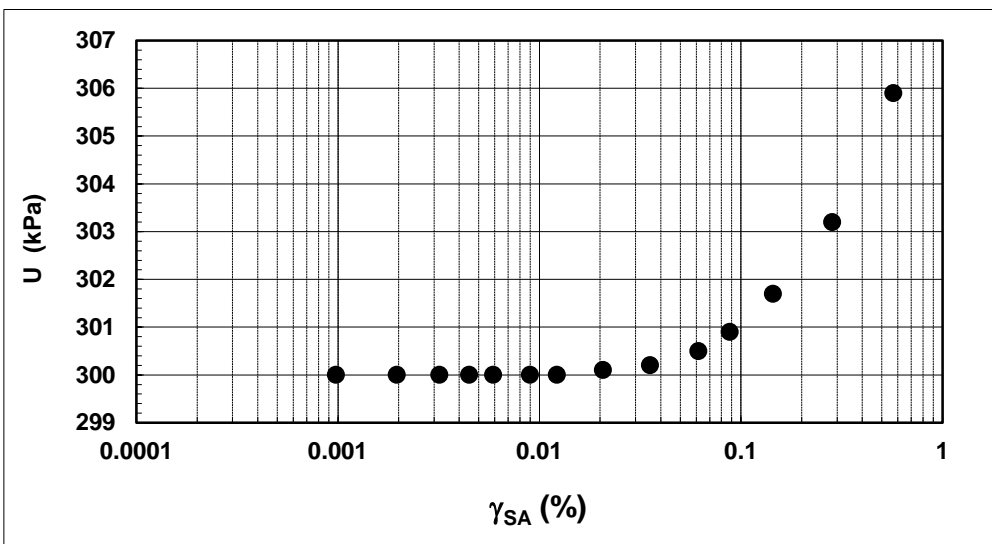
**Dati generali dei provini**

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
$\Phi$	H	$\gamma_w$	w	e	$\sigma'_a$	$\sigma'_r$	K	B.P.	B	D	H	$\gamma_w$	w	e	S	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	%	metodo di preparazione	
50.00	102.00	15.34	59.9	1.762	38	38	1.0	300.0	0.93	48.9	100.0	15.90	55.2	1.6	94	INDISTURBATO	
																FUSTELLAZIONE	
																PIETRA POROSA	
																TORSIONALE	
																2.700	



**Legenda:**

- $\Phi$  = diametro del provino
- H = altezza del provino
- $\gamma_w$  = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- $\sigma'$  = tensioni efficaci
- K =  $\sigma'_r / \sigma'_a$
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- $\gamma_{SA}$  = def.di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



<b>Note:</b>	
--------------	--

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	28/01/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 091/2021

<b>Committente:</b>	<b>Dott Thomas VERONESE</b>
<b>Cantiere:</b>	<b>MESOLA (FE)</b>
<b>Sondaggio:</b>	-
<b>Campione:</b>	<b>MZ2</b>
<b>Profondità prova [m]:</b>	<b>3.18 - 3.28</b>
<b>Prova:</b>	<b>RC</b>
<b>Provino:</b>	<b>1</b>
<b>Data prova:</b>	<b>20/01/2022</b>

### Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
$\Phi$	H	$\gamma_w$	w	e	$\sigma'_a$	$\sigma'_r$	K	B.P.	B	D	H	$\gamma_w$	w	e	tipo di provino	
mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m <sup>3</sup>	%	-	metodo di preparazione	
50.00	102.00	15.34	59.9	1.762	38	38	1.0	300.0	0.93	48.9	100.0	15.90	55.2	1.585	superficie di appoggio	<b>INDISTURBATO</b>
															eccitazione	<b>FUSTELLAZIONE</b>
																<b>PIETRA POROSA</b>
																<b>TORSIONALE</b>

### Valori numerici

G	G/G <sub>MAX</sub>	$\gamma$	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
10.05	1.000	0.00098		300.0
10.03	0.998	0.00196	3.95	300.0
10.01	0.996	0.00319	3.51	300.0
9.88	0.983	0.00448	3.73	300.0
9.58	0.953	0.00590	3.90	300.0
9.31	0.926	0.00897	4.34	300.0
8.86	0.881	0.01220	4.91	300.0
7.96	0.792	0.02067	6.04	300.1
6.94	0.690	0.03540	6.71	300.2
5.79	0.576	0.06152	8.68	300.5
5.16	0.514	0.08796	10.15	300.9
4.08	0.406	0.14448	11.32	301.7
2.94	0.293	0.28371	13.31	303.2
1.72	0.171	0.57078	16.48	305.9

### Legenda:

$\Phi$  = diametro del provino

H = altezza del provino

$\gamma_w$  = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

$\sigma'$  = tensioni efficaci

K =  $\sigma_r / \sigma_a$

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

$\gamma_{SA}$  = def. di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:



**Regione EMILIA-ROMAGNA  
Provincia di Ferrara  
Comune di Mesola  
Località Ariano Ferrarese**

***Indagine sismica con la tecnica della sismica  
passiva 'ESAC' per la determinazione del  
profilo profondo di Vs nell'area del parco  
cittadino in Via Michelangelo Buonarroti a  
Ariano Ferrarese.  
Comune di Mesola (FE)***

***gennaio 2022***

**Committente:** Studio Geologo Veronese

  
**Tecnico:** Dr. Nasser Abu Zeid

**Indagine sismica con la tecnica della sismica passiva 'ESAC' per la determinazione del profilo profondo di Vs nell'area del parco cittadino in Via Michelangelo Buonarroti a Ariano Ferrarese. Comune di Mesola (FE)**



- Relazione Geofisica -

Gennaio 2022

---

*Teamgeofisica.ceg (centro elaborazione dati geofisici)*  
Via G. Fabbri, 342 - 44124 FERRARA (FE)  
Tel./Fax 0532-8748912  
Mail: [teamgeofisica.ceg@gmail.com](mailto:teamgeofisica.ceg@gmail.com)  
p.iva 02065560381

---

---

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2. TECNICA D'INDAGINE</b>	<b>1</b>
<b>2.1. Sismica passiva (Enhanced Spatial autocorrelation "ESAC")</b>	<b>1</b>
<b>3. ACQUISIZIONE DATI</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Dati ESAC</b>	<b>3</b>
<b>4. ANALISI DATI</b>	<b>5</b>
<b>4.1. Dati ESAC</b>	<b>5</b>
<b>5. RISULTATI</b>	<b>6</b>
<b>5.1. Prova ESAC</b>	<b>6</b>
<b>6. CONCLUSIONI</b>	<b>8</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>9</b>
Appendice A: parametri del modello sismico 1D di $V_s$	10

---

## ELENCO DELLE FIGURE E TABELLE

Figura 2. Esempio sismogramma sperimentale (AFer_134.dat) acquisito lungo il profilo sismico. Le linee verticali rappresentano i sismogrammi registrati utilizzando geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz....	4
Figura 3. Geometria delle antenna sismica utilizzata. Simbolo blu: posizione geofono lungo il profilo sismico. ....	4
Figura 4. Curva di dispersione sperimentale del profilo sismico ottenuto dall'analisi spettrale mediante la tecnica cross-spettro e p-tau. ....	5
Figura 5. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico. ....	7
Figura 6. Il profilo verticale $G_{max}$ ( $\mu$ : modulo di rigidità dinamica) dell'area indagata dal profilo sismico, ottenuto dal profilo di velocità ( $V_s$ ) mediante l'equazione $\mu = \rho * V_s^2$ . ....	7
Tabella 1. Dati tecnici dei profili sismici. ....	4
Tabella 2. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato. In appendice A sono riportati i valori numerici del profilo completo. ....	6



### **Avvertenze**

*I dati forniti nella presente relazione si riferiscono esclusivamente alla situazione esistente al periodo di indagine.*

*La precisione dei metodi impiegati è limitata dagli errori sistematici delle procedure di indagine.*

*L'autore della presente relazione garantisce la riservatezza dei dati e delle informazioni contenute e si riserva, previa autorizzazione del committente dell'indagine, il diritto esclusivo della loro pubblicazione su riviste scientifiche nazionali ed internazionali.*



## 1. PREMESSA

Su incarico dello studio Geologico Veronese di Codigoro (FE) è stata effettuata, in data **14 gennaio 2022**, una campagna d'indagine geofisica nell'area dedicata a giardino cittadino sita in loc. Ariano Ferrarese (Via Michelangelo Buonarroti), Comune di Mesola (FE). Scopo dell'indagine è quello di determinare la velocità di propagazione delle onde di taglio fino al possibile raggiungimento del substrato simico, eventualmente presente nell'area. A tale fine è stata impiegata la tecnica della sismica passiva ESAC per la determinazione della sequenza sismica delle onde di taglio lungo un profilo sismico (Tav. 1).

## 2. TECNICA D'INDAGINE

### 2.1. SISMICA PASSIVA (ENHANCED SPATIAL AUTOCORRELATION "ESAC")

La risposta dinamica dei terreni sottoposti a sollecitazioni può essere ottenuta mediante l'analisi delle onde elastiche che si trasmettono nel sottosuolo. Come è noto, le sollecitazioni dinamiche generano diversi tipi di onde riconducibili a:

- a) onde di volume (P ed S) e
- b) onde superficiali (Rayleigh "R" e Love "L").

Le onde di maggiore interesse nella soluzione di molti problemi geotecnici legati al sistema sottosuolo-fondazione-struttura sono quelle comunemente indicate come onde di taglio di tipo "S", "R" e "L". Tali tipi di onde producono vibrazioni nelle particelle dei materiali costituenti il sottosuolo che al passaggio del treno d'onda risultano polarizzate lungo un piano perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda stessa. Ciò comporta la comparsa di sforzi di taglio successivamente, trasmissibili alle strutture in superficie ed, in alcuni casi, ad un conseguente danno alle stesse.

Il D.M. del 17 gennaio 2018 dal titolo "Nuove Norme tecniche per le costruzioni", impone di classificare i terreni, su cui saranno eseguite opere edili di una certa rilevanza, sulla base del parametro  $V_{S,eq}$ . La classificazione dei terreni riporta cinque categorie, definite con simbologia alfanumerica da A ad E. A queste

classe può essere necessario effettuare ulteriori integrazioni dove si passa alla stima sperimentale in termini quantitativi della risposta sismica dei terreni sottoposti ad un'accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. A questo scopo è stato calcolato il valore del parametro ,  $V_{s30}$  , che rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell'onda di taglio "S" nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 1);

$$V_{s30} = \frac{H_n}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad eq.1,$$

dove,

$V_{s30}$  : velocità media ponderata delle onde di taglio "S",

$H_n$  : profondità del tetto del substrato sismico, oppure pari a 30m  $V_{s30}$ ,

$h_i$  : spessore dello strato iesimo,

$V_i$  : velocità delle onde di taglio "S" nello strato iesimo.

Questo valore però non permette di raggiungere la profondità del substrato sismico nell'area che è a profondità maggiore.

Le tecniche geofisiche comunemente utilizzate per la determinazione di tale parametro sono essenzialmente di tre tipi:

- 1) prove in foro singolo (Down-Hole) o doppio (Cross-Hole),
- 2) sismica di superficie (rifrazione e riflessione) con energizzazione di onde polarizzate (SH),
- 3) tecniche mediante onde superficiali "R" e "L" (SASW, MASW e Microtremori Re.Mi., SPAC, MSPAC ed ESAC).

Le prime richiedono l'esecuzione di un sondaggio per permettere la determinazione del parametro. Le seconde, più costose, forniscono risultati di elevata qualità ma sono facilmente influenzate da rumori antropici che ne degradano le caratteristiche. Le ultime sono realizzate, ad eccezione della

tecnica SASW, con procedure operative simili a quelle impiegate nella sismica a rifrazione.

La prova geofisica adottata per questa indagine appartiene alla terza categoria ed è consistita nell'applicazione della tecnica dei microtremori (Autocorrelazione Spaziale Migliorato "ESAC") che permette di ottenere con minor costo di processo il profilo verticale della velocità media delle onde di taglio "S" e contemporaneamente di raggiungere profondità superiori a 30 m favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock sismico - così come definito dalla normativa ( $V_s \geq 800 \text{ m/s}$ ) - coadiuvando contemporaneamente l'interpretazione delle eventuali variazioni di rigidità sismica ( $V_s^2 \times \rho$ ) dei terreni investigati.

Attraverso l'analisi delle onde superficiali "tipo Rayleigh R", che costituiscono un particolare tipo di onde superficiali trasmesse sulla superficie libera di un mezzo omogeneo ed isotropo, si ricava indirettamente la velocità delle onde di taglio "S" secondo l'equazione

$$V_R = \left( \frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \right) \times V_S$$

$$V_R \cong 0.92 V_S$$

dove,

$V_R$ : velocità di fase delle onde Rayleigh,

$V_S$ : velocità di propagazione dell'onda di taglio,

$\nu$  : rapporto di Poisson.

eq.2,

### 3. ACQUISIZIONE DATI

#### 3.1. DATI ESAC

L'area oggetto di indagine è stata investigata in data 14/01/2022 mediante l'esecuzione di n.1 profilo sismico tipo "ESAC" (**Tav. 1**) della lunghezza complessiva di 172,5m (Tabella 1).

Per l'acquisizione dei dati è stato impiegato un sismografo digitale RAS 24 – Seistronix (ABEM) con 24 geofoni verticali con frequenza naturale pari a 4,5 Hz, equidistanziati 7,5 m. La lunghezza temporale di ogni registrazione è stata

pari a 32 secondi con passo di campionamento di 2 ms. In Figura 2 è riportato uno esempi di acquisizione composto da 24 tracce sismiche seconda la geometria delle due antenne sismiche utilizzate (Fig. 3).

Tabella 1. Dati tecnici dei profili sismici.

Sigla	Lunghezza (m)	Passo intergeofonico (m)	Orientazione
Profilo 1	172,5*	7,5	44.93944°N 12.114795°E E-----+-----S
*geometria a forma di L			

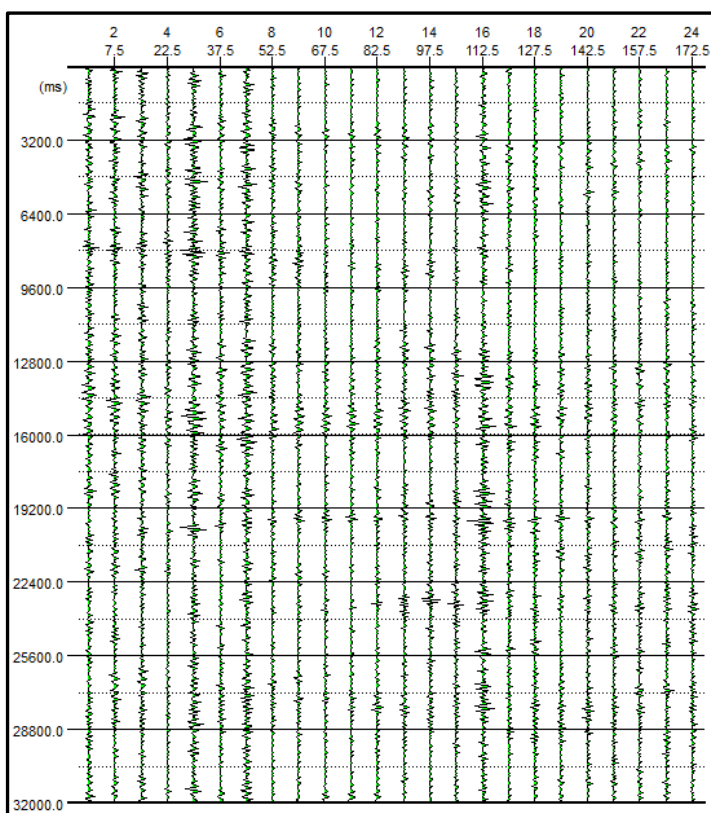


Figura 2. Esempio sismogramma sperimentale (AFer\_134.dat) acquisito lungo il profilo sismico. Le linee verticali rappresentano i sismogrammi registrati utilizzando geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz.

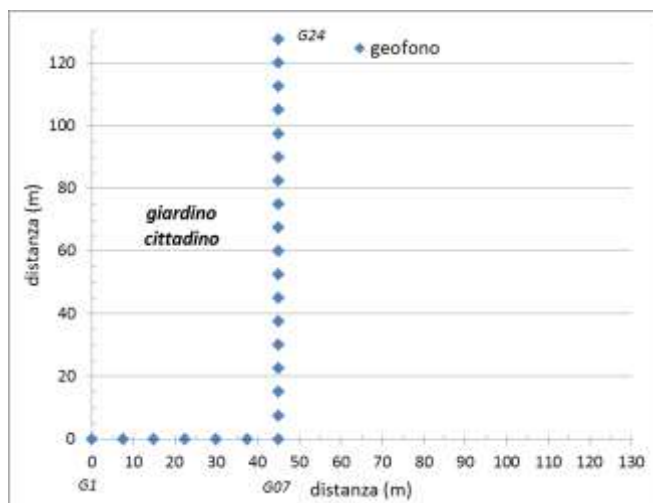


Figura 3. Geometria delle antenna sismica utilizzata. Simbolo blu: posizione geofono lungo il profilo sismico.

## 4. ANALISI DATI

### 4.1. DATI ESAC

L'analisi delle tracce sismiche registrate è basata sull'impiego della tecnica di analisi denominata "autocorrelazione spaziale migliorata (ESAC)". Tale tecnica considera il rumore sismico di essere generato da una distribuzione uniforme di sorgenti (cioè non esistono sorgenti dominanti).

La procedura di analisi è basata sulla teoria elaborata da Aki (1959) secondo il quale la funzione di correlazione media fra le registrazioni di un rumore isotropo effettuate su sensori verticali distribuiti nelle diverse direzioni a parità distanza  $r$  da un sensore di riferimento, ha una forma simile a quella della funzione di Bessel di ordine 0. Egli deduce che tale forma (equazione 3) è funzione del valore della velocità di fase ( $V_R$ ) per ogni copia di frequenza e distanza:

$$\rho(r, \omega_0) = J_0 \left( \frac{\omega r}{c(\omega_0)} \right) \quad eq.6$$

dove,

$\rho(r, \omega_0)$  : coefficiente di autocorrelazione

$J_0$  : funzione di Bessel di tipo I ed ordine zero

$C(\omega_0)$  : velocità di fase delle onde Rayleigh in funzione della frequenza

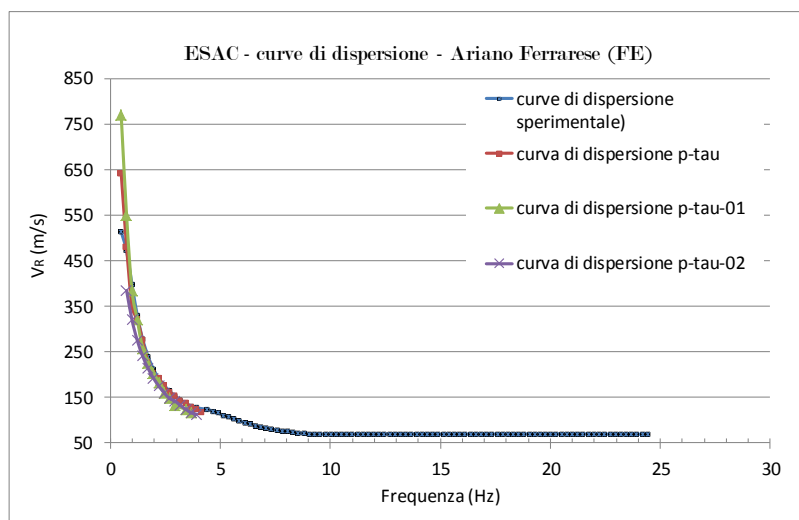


Figura 4. Curva di dispersione sperimentale del profilo sismico ottenuto dall'analisi spettrale mediante la tecnica cross-spettro e p-tau.

Inoltre, i dati sono stati analizzati con altre tecniche quali la p-tau (McMechan e Yedlin, 1981) al fine di spingere la banda di frequenza utile a valori al di sotto dell'Herz ciò significa incrementare la profondità di esplorazione.

Il risultato di tale analisi rappresenta il cosiddetto spettro di potenza da cui si ottiene la curva di dispersione sperimentale delle onde "R" (figura 4) e successivamente, attraverso una procedura di inversione numerica, la determinazione delle velocità delle onde di taglio "S" (figura 5).

## 5. RISULTATI

### 5.1. PROVA ESAC

Il modello sismico  $V_S$  ottenuto dall'interpretazione quantitativa della curva di dispersione (figura 4) e riportata in figura 6. Il modello numerico fino a 30 metri è riportato in Tabella 2, mentre quello completo fino a 288 m è riportato in Appendice A. Il modello sismico così ottenuto non ha raggiunto valori attribuibili a substrato sismico ( $V_S \geq 800$  m/s), tuttavia, il valore di " $V_S$ " ottenuto alla massima profondità risultano essere poco inferiore a 600 m/s ( $V_S = 576$  m/s).

In figura (6) si riporta l'andamento del profilo di rigidità dinamica ( $G_0$  o  $G_{max}$ ) con la profondità.

Tabella 2. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato. In appendice A sono riportati i valori numerici del profilo completo.

ESAC01	PROFILO sismico fino a 30 metri		
	(modello numerico fino a 288 metri è riportato in Appendice A)		
Sismo-strato	Velocità (m/s)	Profondità letto (m)	Spessore (m)
1	2.0	72.6	0.0
2	6.3	76.9	4.3
3	9.6	131.6	3.4
4	13.1	138.7	3.5
5	16.8	141.9	3.6
6	20.5	157.7	3.8
7	24.5	177.8	3.9
8	28.5	180.3	4.1
9	32.8	199.1	4.2

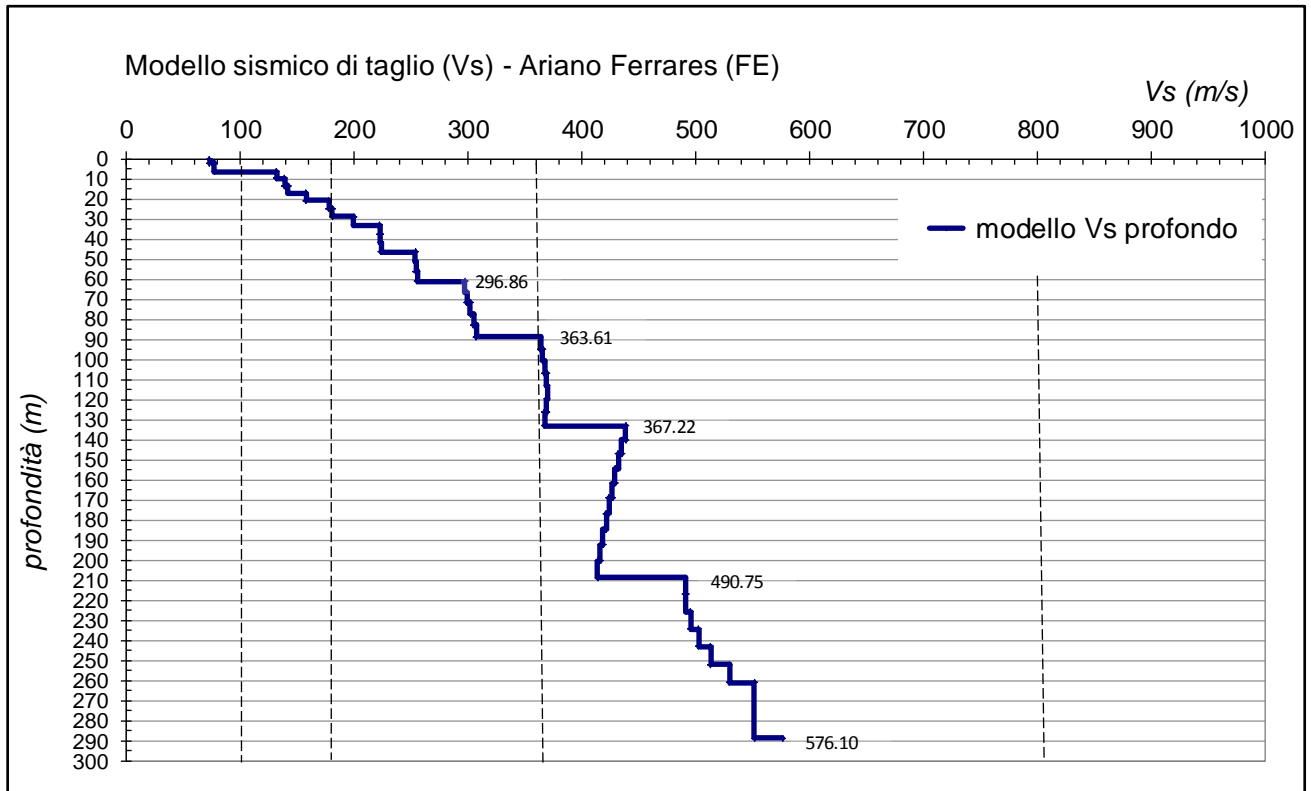


Figura 5. Il profilo verticale  $V_s$  ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico.

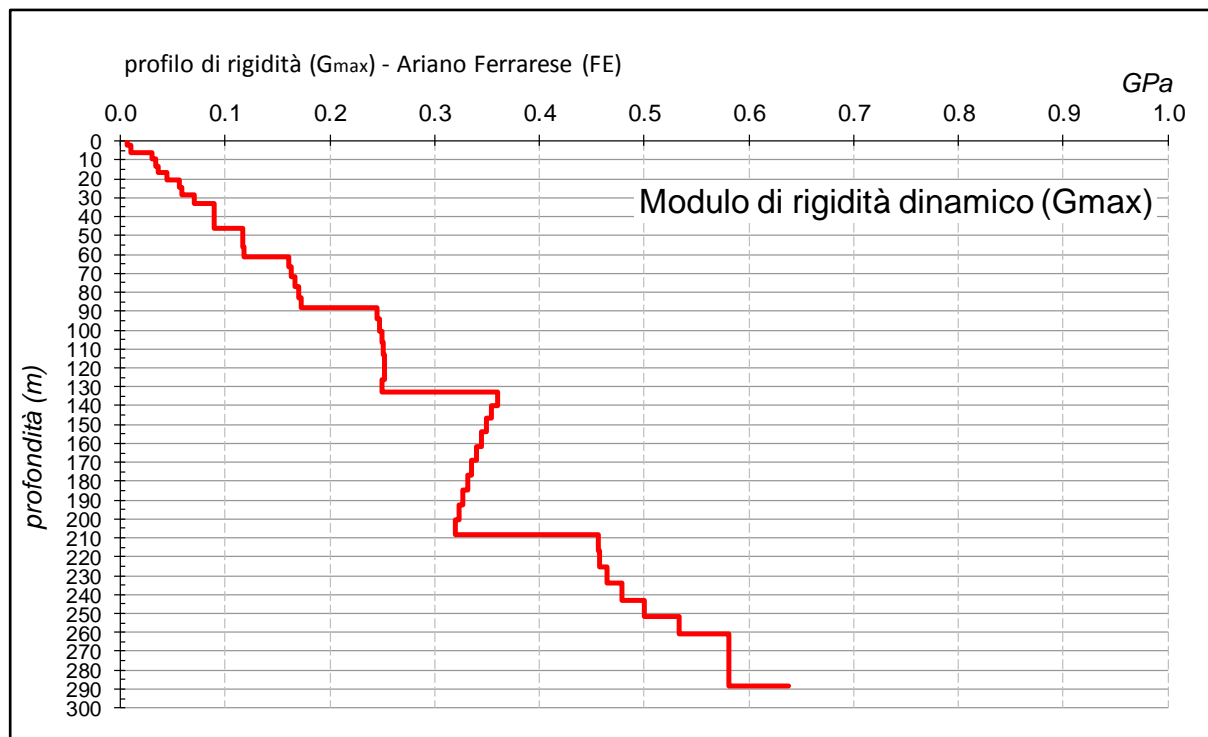


Figura 6. Il profilo verticale  $G_{max}$  ( $\mu$ : modulo di rigidità dinamico) dell'area indagata dal profilo sismico, ottenuto dal profilo di velocità ( $V_s$ ) mediante l'equazione  $\mu = \rho \cdot V_s^2$ .


## 6. CONCLUSIONI

Le indagini geofisiche effettuate nel periodo **14 gennaio 2022** con la tecnica dei microtremori "ESAC" ha consentito di ricostruire il quadro sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità d'indagine raggiunta (**288m**).

L'analisi del modello sismico evidenzia la presenza di numerosi sismo-strati con andamento crescenti. L'indagine sismica non ha raggiunto il substrato sismico, definito come  $V_s \geq 800$  m/s, tuttavia, il valore massimo di  $V_s$  raggiunto alla massima profondità di esplorazione risulta essere poco inferiore di 600 m/s ( $V_s=576$  m/s).

In Figura (6) si riporta la variazione del modulo di rigidità dinamico ( $G_{max}$  o  $G_0$ ) ricavato dal corrispondente profilo sismico di taglio (valori di densità utilizzate sono compresi tra  $1.750,0$  kg/m<sup>3</sup> e  $1.920,00$  per tutti i sismo strati ad accessione del primo ove il valore è pari a  $1.300,0$  kg/m<sup>3</sup>).

Tecnico:

 Dr. Nasser ABU ZEID



## 7. BIBLIOGRAFIA

Matlab, 2007b: Codice di calcolo numerico, Mathworks, USA.

Nakamura Y., 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.

McMechan, G. A. e Yedlin, M. J., 1981. *In situ shear wave velocities from spectral analysis of dispersive waves by wave field transformation*. Geophysics, v. 46:869-874.

Lanzo G., Silvestri F., 1999: Risposta sismica locale. Hevelius edizioni, Benevento, pp. 159.

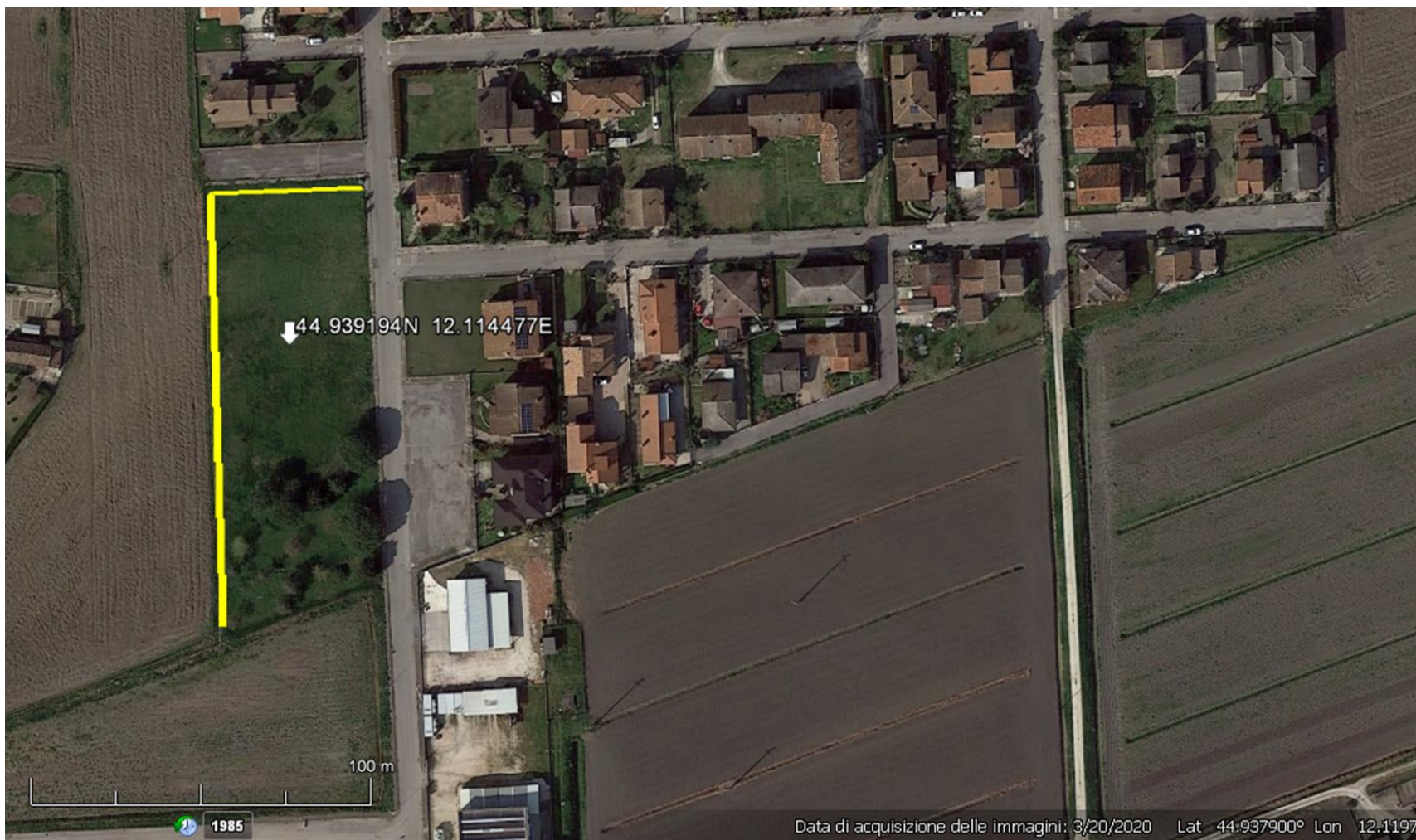
SeisOpt® ReMi, 2006. ReMiv4.0 user's manual. Optim, Inc., N. Virginia, USA, 85 p.

# Appendice A

ESAC-01	PROFILO sismico fino a 288 metri		
Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
1	2.0	72.6	0.0
2	6.3	76.9	4.3
3	9.6	131.6	3.4
4	13.1	138.7	3.5
5	16.8	141.9	3.6
6	20.5	157.7	3.8
7	24.5	177.8	3.9
8	28.5	180.3	4.1
9	32.8	199.1	4.2
10	37.1	222.2	4.4
11	41.6	223.1	4.5
12	46.2	223.6	4.6
13	51.0	253.7	4.8
14	55.9	254.3	4.9
15	61.0	255.4	5.1
16	66.2	296.9	5.2
17	71.6	299.0	5.4
18	77.1	301.7	5.5
19	82.7	304.6	5.6
20	88.5	306.8	5.8
21	94.4	363.6	5.9
22	100.5	365.3	6.1
23	106.7	367.1	6.2
24	113.0	368.6	6.4
25	119.5	369.4	6.5

---

<b>ESAC-01 Sismo-strato</b>	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
<b>26</b>	126.2	369.1	6.6
<b>27</b>	132.9	367.2	6.8
<b>28</b>	139.9	438.2	6.9
<b>29</b>	146.9	434.9	7.1
<b>30</b>	154.1	431.9	7.2
<b>31</b>	161.5	429.2	7.3
<b>32</b>	169.0	426.4	7.5
<b>33</b>	176.6	423.7	7.6
<b>34</b>	184.4	421.0	7.8
<b>35</b>	192.3	418.4	7.9
<b>36</b>	200.4	415.9	8.1
<b>37</b>	208.6	413.6	8.2
<b>38</b>	216.9	490.7	8.3
<b>39</b>	225.4	491.5	8.5
<b>40</b>	234.0	495.2	8.6
<b>41</b>	242.8	502.2	8.8
<b>42</b>	251.7	513.4	8.9
<b>43</b>	260.8	529.3	9.1
<b>44</b>	288.4	551.1	27.6
<b>45</b>	-	576.1	-



**Profilo sismico ESAC**

44.939194°N 12.114477°E

**Tavola 1**