



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

III Livello di Approfondimento

Relazione Illustrativa - Allegato 2

Rapporti di prova - Nuove Indagini

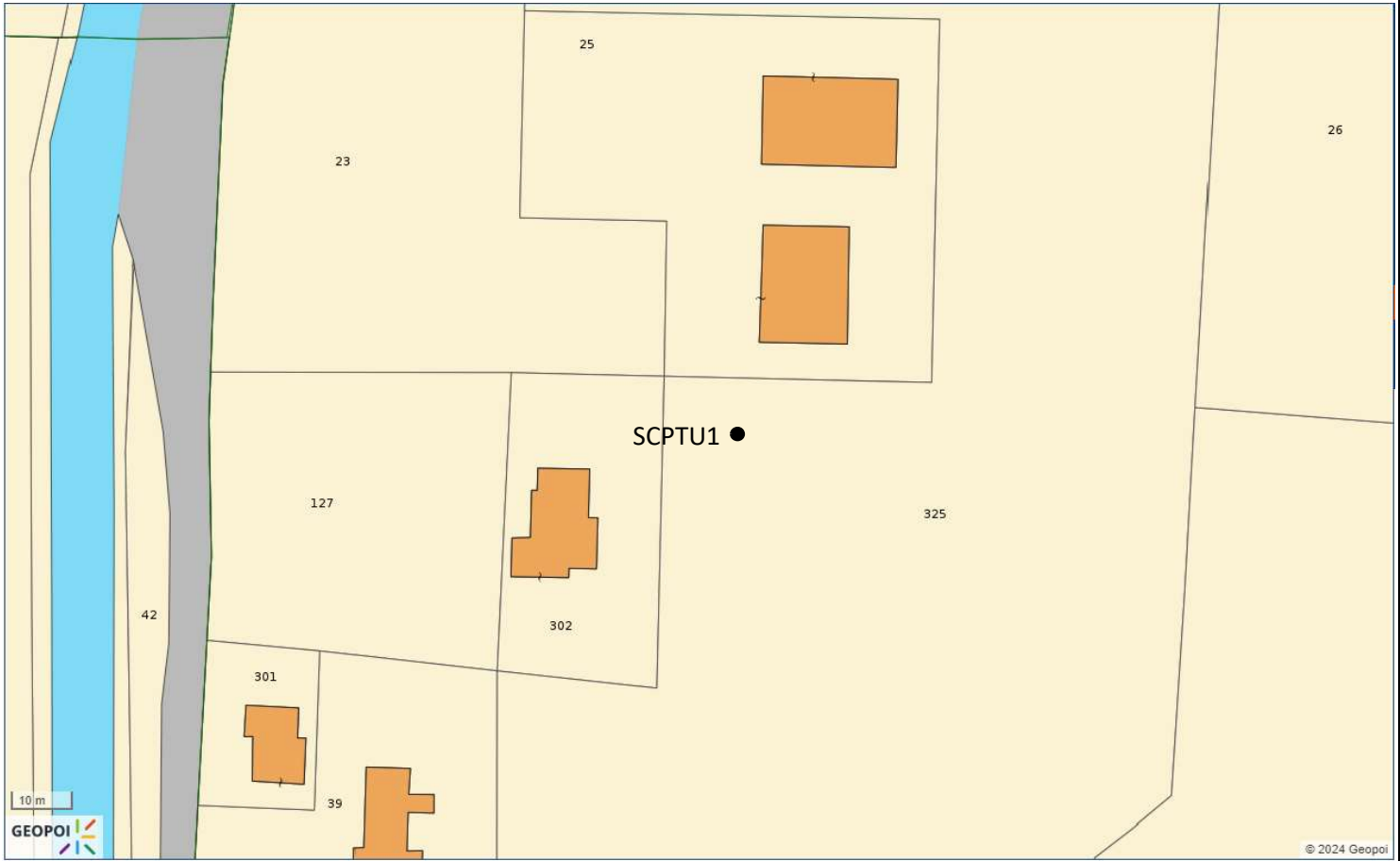
Regione Emilia-Romagna
Comune di Lagosanto (Fe)



Regione: Regione Emilia Romagna	Soggetto realizzatore Dott. Geol. Thomas Veronese Collaboratori: Dott. Geol. Luca Lunghi Dott.ssa Geol. Sara Franciosi Indagini Geofisiche: Teamgeofisica.ceg Cartografia: Dott.ssa Geol. Claudia Tomassoli	Data: Gennaio 2025
Segreteria Regionale per l'ambiente		

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA UBICAZIONE DELLE PROVE SVOLTE - FOTO PIAZZAMENTI	RIF. PROVA:	CPTU n°:
	U56-24	SCPTU1

COMMITTENTE: Comune di Lagosanto
CANTIERE: via Lagosanto-Vaccolino, Boschetto (Fe)
DATA: 26/07/2024



PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA															RIF. PROVA:		CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA															U56-24		SCPTU1		
COMMITTENTE: Comune di Lagosanto										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00									
CANTIERE: via Lagosanto-Vaccolino, Boschetto (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,50									
DATA: 26/07/2024										PREFORO (m da p.c.): 0,30									
Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °
0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	1,82	4,94	42,47	1,79	0,68	3,62	13,20	86,55	58,77	0,93	5,42	5,73	23,60	57,14	1,13
0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,84	4,81	40,47	0,16	0,68	3,64	12,91	86,22	58,77	0,94	5,44	6,19	24,38	60,39	1,13
0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	1,86	4,76	39,36	0,16	0,69	3,66	12,66	85,33	58,77	0,94	5,46	6,54	26,83	61,21	1,13
0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	1,88	4,84	39,26	0,16	0,69	3,68	12,61	86,55	60,39	0,95	5,48	6,78	30,94	62,84	1,13
0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,90	5,06	39,26	0,97	0,69	3,70	12,67	85,43	61,21	0,95	5,50	6,94	34,61	63,65	1,14
0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	1,92	5,44	38,59	2,60	0,69	3,72	12,68	84,98	62,03	0,95	5,52	7,05	37,83	64,47	1,14
0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	1,94	5,85	37,82	4,23	0,70	3,74	12,63	83,87	62,03	0,95	5,54	7,10	40,50	65,28	1,14
0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96	6,10	36,46	9,11	0,71	3,76	12,54	82,42	62,03	0,96	5,56	7,13	43,06	65,28	1,14
0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	1,98	6,22	36,24	8,30	0,71	3,78	12,43	80,97	62,84	0,96	5,58	7,12	45,39	66,09	1,15
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	6,25	36,69	7,49	0,71	3,80	12,24	80,08	61,21	0,96	5,60	7,14	46,39	67,72	1,15
0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	2,02	6,17	38,25	5,86	0,71	3,82	12,09	80,97	62,03	0,96	5,62	7,14	46,39	68,53	1,16
0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	2,04	6,21	40,25	5,86	0,72	3,84	12,04	81,19	63,65	0,96	5,64	7,11	45,95	68,53	1,16
0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	6,23	42,25	5,86	0,72	3,86	12,00	80,07	64,47	0,97	5,66	7,04	45,73	68,53	1,16
0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	2,08	6,23	43,92	5,86	0,72	3,88	11,87	79,85	64,47	0,97	5,68	6,97	45,06	69,35	1,16
0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	2,10	6,23	44,47	5,86	0,72	3,90	11,70	79,52	64,47	0,97	5,70	6,94	44,28	70,17	1,16
0,32	1,16	17,65	60,39	0,51	2,12	6,12	44,36	5,05	0,73	3,92	11,65	78,95	65,28	0,97	5,72	7,00	43,61	70,98	1,16
0,34	1,53	18,10	59,58	0,51	2,14	5,95	44,25	4,23	0,73	3,94	11,64	77,39	43,30	0,98	5,74	7,01	43,83	71,79	1,16
0,36	2,00	18,88	57,95	0,52	2,16	5,74	44,25	3,41	0,73	3,96	11,71	75,83	41,67	0,98	5,76	7,04	43,61	71,79	1,16
0,38	2,58	20,65	58,77	0,53	2,18	5,51	44,92	3,41	0,74	3,98	11,72	74,27	40,86	0,99	5,78	7,07	44,50	71,79	1,17
0,40	3,26	22,54	59,58	0,54	2,20	5,39	45,70	2,60	0,74	4,00	11,70	72,71	39,23	0,99	5,80	7,01	43,94	71,79	1,17
0,42	4,15	23,99	60,39	0,54	2,22	5,44	45,70	4,23	0,74	4,02	11,65	73,12	38,42	0,99	5,82	6,89	43,27	70,98	1,17
0,44	4,84	29,77	60,39	0,54	2,24	5,63	44,48	5,05	0,74	4,04	11,59	73,79	38,42	0,99	5,84	6,75	42,60	70,98	1,17
0,46	5,31	29,54	59,58	0,54	2,26	5,77	43,15	6,67	0,74	4,06	11,58	74,11	39,23	0,99	5,86	6,64	42,26	70,98	1,17
0,48	5,26	32,88	57,14	0,55	2,28	5,79	41,81	6,67	0,74	4,08	11,61	74,45	40,05	0,99	5,88	6,54	42,15	70,17	1,17
0,50	4,71	36,43	53,07	0,56	2,30	5,70	40,26	5,86	0,74	4,10	11,47	73,89	40,86	1,00	5,90	6,42	42,59	71,79	1,18
0,52	4,19	39,99	51,44	0,56	2,32	5,72	40,59	6,67	0,75	4,12	10,99	72,33	38,42	1,00	5,92	6,24	41,04	69,35	1,18
0,54	3,92	38,32	50,63	0,56	2,34	5,87	40,82	7,49	0,75	4,14	10,42	72,77	37,61	1,01	5,94	6,00	39,48	66,91	1,18
0,56	3,69	37,77	49,81	0,56	2,36	6,07	41,26	9,11	0,75	4,16	9,96	73,44	37,61	1,01	5,96	5,62	38,51	64,47	1,19
0,58	3,60	36,43	50,63	0,57	2,38	6,18	41,93	9,11	0,75	4,18	9,70	73,43	38,42	1,01	5,98	5,32	37,73	62,03	1,19
0,60	3,60	35,66	50,63	0,57	2,40	6,10	41,16	8,30	0,76	4,20	9,51	72,32	39,23	1,01	6,00	4,93	37,95	59,58	1,19
0,62	3,69	34,77	51,44	0,58	2,42	5,98	40,71	8,30	0,76	4,22	9,39	70,87	40,05	1,01	6,02	4,57	38,73	57,95	1,19
0,64	3,82	33,21	52,25	0,58	2,44	5,93	41,38	8,30	0,76	4,24	9,25	69,65	42,49	1,01	6,04	4,40	41,51	58,77	1,20
0,66	4,00	29,88	53,07	0,58	2,46	6,07	42,72	9,11	0,77	4,26	9,07	67,32	42,49	1,01	6,06	4,82	46,28	65,28	1,19
0,68	4,19	28,99	53,89	0,58	2,48	6,37	43,27	10,74	0,77	4,28	8,65	64,87	40,86	1,02	6,08	5,69	43,50	68,53	1,20
0,70	4,36	29,22	53,89	0,58	2,50	6,61	42,94	11,55	0,77	4,30	8,35	63,31	41,67	1,02	6,10	6,08	46,06	54,70	1,20
0,72	4,52	30,55	53,89	0,58	2,52	6,66	42,50	10,74	0,77	4,32	8,10	62,20	43,30	1,02	6,12	6,37	44,05	17,25	1,20
0,74	4,66	32,11	53,07	0,58	2,54	6,66	42,95	11,55	0,77	4,34	7,86	60,97	42,49	1,02	6,14	6,37	43,94	9,93	1,20
0,76	4,84	32,56	53,07	0,58	2,56	6,61	43,17	10,74	0,77	4,36	7,58	59,86	42,49	1,02	6,16	6,14	42,27	18,88	1,20
0,78	5,00	34,45	52,25	0,58	2,58	6,49	44,39	9,93	0,77	4,38	7,33	58,75	42,49	1,02	6,18	5,89	35,27	31,09	1,20
0,80	5,15	35,78	50,63	0,59	2,60	6,43	44,95	9,93	0,77	4,40	7,11	57,30	42,49	1,03	6,20	5,73	35,49	39,23	1,21
0,82	5,31	37,45	50,63	0,59	2,62	6,41	45,40	9,93	0,78	4,42	6,88	55,08	42,49	1,03	6,22	5,61	35,61	44,11	1,21
0,84	5,45	38,91	49,81	0,59	2,64	6,53	45,95	10,74	0,78	4,44	6,75	53,63	44,11	1,03	6,24	5,45	32,94	47,37	1,21
0,86	5,58	40,35	49,00	0,59	2,66	6,84	46,29	14,00	0,78	4,46	6,68	51,63	43,30	1,04	6,26	5,23	34,05	49,81	1,21
0,88	5,66	41,91	48,19	0,60	2,68	7,37	46,07	15,63	0,78	4,48	6,58	48,63	44,11	1,04	6,28	4,95	34,83	51,44	1,21
0,90	5,81	43,92	48,19	0,60	2,70	7,99	45,18	16,44	0,79	4,50	6,30	46,18	42,49	1,04	6,30	4,65	34,38	52,25	1,21
0,92	5,96	45,26	47,37	0,60	2,72	8,42	44,74	17,25	0,79	4,52	5,97	44,63	40,86	1,04	6,32	4,40	34,60	53,07	1,21
0,94	5,83	41,55	13,19	0,61	2,74	8,69	45,07	18,07	0,79	4,54	5,59	43,30	38,42	1,04	6,34	4,25	34,26	53,89	1,22
0,96	6,06	40,89	14,00	0,61	2,76	8,95	46,19	18,88	0,80	4,56	5,12	41,97	36,79	1,04	6,36	4,16	33,04	55,51	1,22
0,98	6,09	42,33	14,00	0,61	2,78	9,25	47,85	20,51	0,80	4,58	4,16	41,19	31,91	1,					

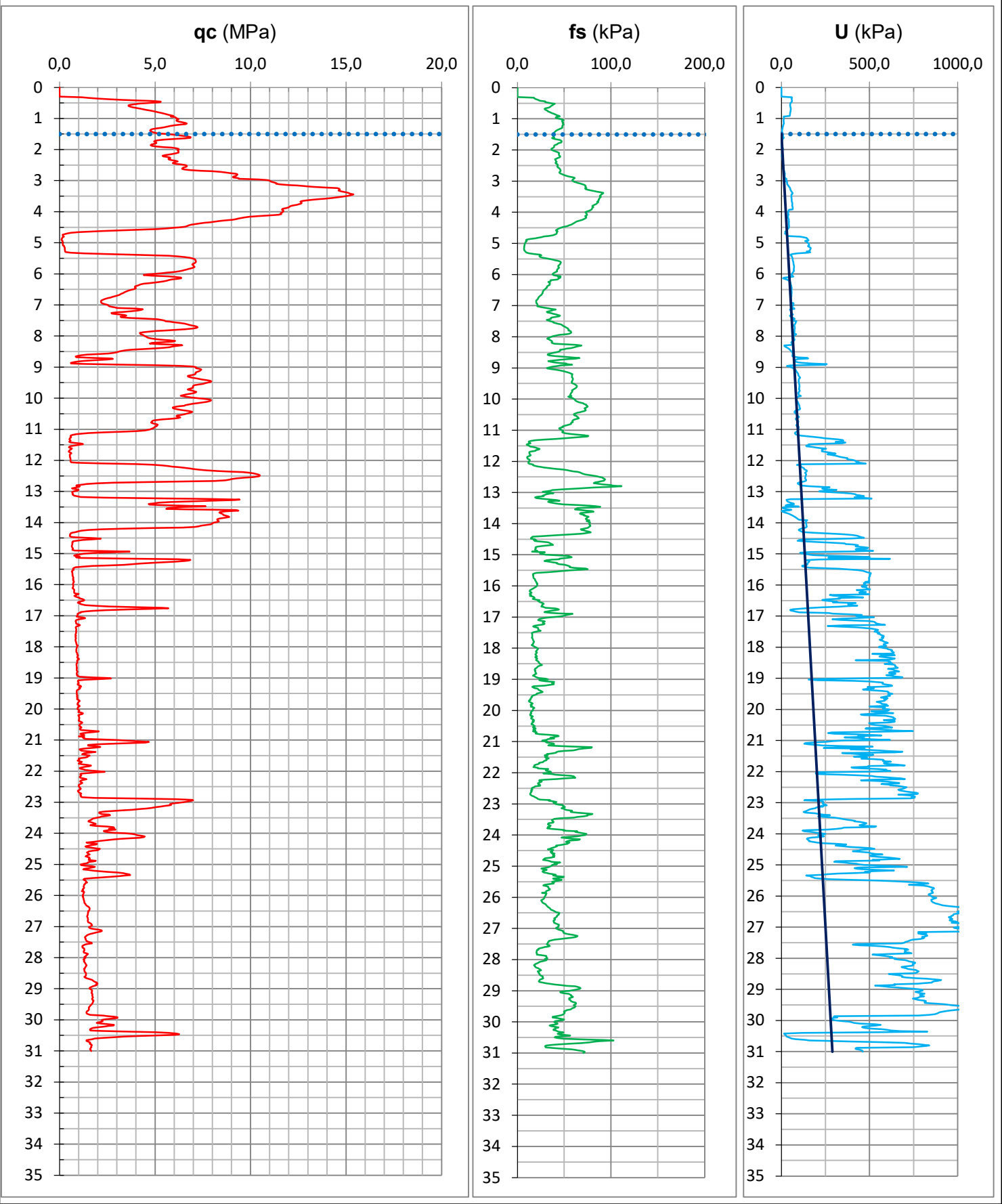
PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA															RIF. PROVA:		CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA															U56-24		SCPTU1		
COMMITTENTE: Comune di Lagosanto										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00									
CANTIERE: via Lagosanto-Vaccolino, Boschetto (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,50									
DATA: 26/07/2024										PREFORO (m da p.c.): 0,30									
Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.
(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°
9,02	7,12	31,97	63,65	1,40	10,82	4,95	55,19	94,59	1,57	12,62	8,89	92,41	140,98	1,73	14,42	0,53	16,03	432,39	1,91
9,04	7,17	36,30	70,17	1,41	10,84	5,10	52,74	94,59	1,58	12,64	8,68	89,74	140,98	1,73	14,44	0,54	15,69	442,16	1,91
9,06	7,35	41,52	76,67	1,41	10,86	5,15	49,96	84,81	1,58	12,66	8,11	86,85	133,65	1,73	14,46	0,60	14,58	451,93	1,92
9,08	7,42	45,41	80,75	1,41	10,88	5,10	48,07	86,45	1,58	12,68	6,67	82,73	119,82	1,73	14,48	0,84	14,58	469,03	1,92
9,10	7,39	48,74	82,37	1,41	10,90	5,08	48,41	88,07	1,58	12,70	4,64	81,62	104,35	1,73	14,50	1,60	18,92	406,35	1,93
9,12	7,34	51,29	84,81	1,41	10,92	5,00	46,36	99,47	1,58	12,72	2,80	86,61	93,77	1,74	14,52	2,16	17,59	275,29	1,93
9,14	7,26	53,85	87,26	1,42	10,94	4,96	44,47	96,21	1,58	12,74	1,93	91,38	92,95	1,74	14,54	1,79	20,26	119,82	1,93
9,16	7,16	55,96	88,07	1,42	10,96	4,91	45,14	96,21	1,58	12,76	1,41	99,94	97,84	1,74	14,56	1,21	18,48	99,47	1,92
9,18	7,12	56,96	91,33	1,42	10,98	4,83	46,36	97,03	1,58	12,78	1,18	102,38	107,61	1,75	14,58	0,95	26,15	92,14	1,92
9,20	7,13	58,74	94,59	1,42	11,00	4,74	47,80	97,03	1,59	12,80	0,88	111,15	112,49	1,75	14,60	0,71	32,81	142,61	1,93
9,22	7,12	58,73	95,40	1,42	11,02	4,64	48,91	96,21	1,59	12,82	0,87	100,59	154,01	1,75	14,62	0,67	34,37	212,61	1,93
9,24	7,06	58,18	97,03	1,43	11,04	4,47	48,47	94,59	1,59	12,84	1,05	82,14	223,19	1,75	14,64	0,70	35,49	292,39	1,93
9,26	6,89	58,29	97,03	1,43	11,06	4,04	47,91	90,51	1,59	12,86	0,95	71,13	273,67	1,75	14,66	0,66	37,15	359,13	1,93
9,28	6,72	58,39	99,47	1,43	11,08	3,22	48,69	84,81	1,59	12,88	0,82	59,58	245,17	1,76	14,68	0,67	38,05	364,83	1,93
9,30	6,71	58,28	101,91	1,43	11,10	2,24	51,36	78,31	1,59	12,90	0,64	46,91	231,33	1,75	14,70	0,67	33,05	406,35	1,93
9,32	6,81	58,94	105,17	1,43	11,12	1,51	56,47	76,67	1,60	12,92	0,78	37,18	242,73	1,75	14,72	0,66	26,61	434,83	1,93
9,34	6,95	59,27	105,98	1,44	11,14	1,12	63,25	79,93	1,59	12,94	0,99	35,51	313,55	1,75	14,74	0,65	21,27	427,51	1,93
9,36	7,11	59,49	102,73	1,44	11,16	0,89	71,24	81,56	1,60	12,96	0,99	32,40	285,06	1,76	14,76	0,64	19,39	421,00	1,93
9,38	7,29	59,16	99,47	1,44	11,18	0,71	75,80	91,33	1,60	12,98	0,91	27,07	215,87	1,76	14,78	0,65	19,27	463,33	1,93
9,40	7,46	58,71	98,65	1,44	11,20	0,59	74,69	113,31	1,60	13,00	0,74	31,29	215,05	1,76	14,80	0,66	19,72	492,63	1,93
9,42	7,71	58,60	98,65	1,44	11,22	0,57	67,91	149,12	1,61	13,02	0,66	38,51	285,06	1,76	14,82	0,68	18,94	486,93	1,93
9,44	7,90	57,93	97,84	1,44	11,24	0,59	59,35	186,57	1,60	13,04	0,66	33,74	352,62	1,76	14,84	0,70	18,84	426,69	1,94
9,46	7,95	57,93	98,65	1,45	11,26	0,60	50,35	220,75	1,60	13,06	0,68	30,51	395,77	1,76	14,86	0,68	19,28	421,00	1,94
9,48	7,88	58,15	98,65	1,45	11,28	0,55	41,35	245,99	1,60	13,08	0,71	28,74	420,19	1,76	14,88	0,67	21,40	464,14	1,94
9,50	7,77	59,25	100,28	1,45	11,30	0,54	28,80	289,13	1,60	13,10	0,68	26,96	422,63	1,77	14,90	0,79	15,73	521,12	1,94
9,52	7,63	61,03	100,28	1,46	11,32	0,51	19,35	320,87	1,60	13,12	0,72	28,07	449,49	1,76	14,92	2,74	29,36	412,86	1,96
9,54	7,51	62,03	101,91	1,46	11,34	0,54	14,68	346,93	1,61	13,14	0,77	20,74	469,03	1,77	14,94	3,67	24,36	162,96	1,95
9,56	7,27	63,02	101,91	1,46	11,36	0,58	12,12	352,62	1,61	13,16	0,95	18,85	435,65	1,77	14,96	2,78	24,25	105,98	1,95
9,58	7,07	63,58	102,73	1,46	11,38	0,55	12,23	345,29	1,61	13,18	1,09	20,29	415,30	1,77	14,98	1,79	27,69	112,49	1,95
9,60	7,01	63,46	102,73	1,46	11,40	0,50	12,46	307,85	1,61	13,20	2,35	26,18	467,39	1,78	15,00	1,33	30,25	131,21	1,96
9,62	6,97	63,13	104,35	1,46	11,42	0,57	14,13	363,21	1,61	13,22	5,01	33,40	512,17	1,78	15,02	1,08	42,92	152,38	1,96
9,64	6,98	62,35	101,91	1,47	11,44	0,84	11,57	344,48	1,61	13,24	7,81	41,63	53,07	1,79	15,04	0,87	54,69	178,43	1,96
9,66	6,99	61,68	101,91	1,47	11,46	1,10	9,80	212,61	1,61	13,26	9,43	45,08	28,65	1,79	15,06	0,76	56,47	275,29	1,96
9,68	6,94	60,45	101,09	1,47	11,48	1,23	10,91	154,82	1,61	13,28	9,14	34,08	31,91	1,79	15,08	0,86	58,03	407,16	1,96
9,70	6,79	59,34	99,47	1,47	11,50	1,05	12,91	158,07	1,61	13,30	7,95	32,85	32,72	1,78	15,10	1,06	52,58	501,59	1,97
9,72	6,71	58,22	101,09	1,47	11,52	0,82	13,25	140,98	1,61	13,32	6,91	34,75	35,97	1,79	15,12	0,86	45,25	266,34	1,96
9,74	6,82	58,56	104,35	1,47	11,54	0,58	16,47	142,61	1,61	13,34	5,83	39,08	43,30	1,79	15,14	1,04	45,14	377,85	1,97
9,76	6,97	58,66	104,35	1,48	11,56	0,51	19,58	175,17	1,61	13,36	5,19	42,97	55,51	1,79	15,16	3,34	36,80	617,17	1,97
9,78	7,08	58,11	101,91	1,48	11,58	0,49	21,14	198,77	1,62	13,38	4,97	48,86	70,17	1,79	15,18	6,20	31,02	218,31	1,97
9,80	7,16	57,44	100,28	1,48	11,60	0,58	23,81	228,08	1,62	13,40	4,67	64,30	72,61	1,79	15,20	6,86	28,91	145,05	1,97
9,82	7,11	57,10	95,40	1,48	11,62	0,65	22,92	254,13	1,62	13,42	4,71	76,64	33,53	1,79	15,22	6,76	33,57	156,45	1,97
9,84	7,02	56,77	96,21	1,48	11,64	0,63	19,48	237,03	1,62	13,44	5,22	82,64	24,58	1,80	15,24	6,56	37,46	158,89	1,98
9,86	6,82	56,32	97,84	1,48	11,66	0,56	19,37	229,71	1,62	13,46	6,43	88,64	55,51	1,81	15,26	6,11	42,46	155,63	1,98
9,88	6,62	56,43	98,65	1,49	11,68	0,52	14,59	232,97	1,62	13,48	7,65	81,75	98,65	1,82	15,28	5,45	42,24	151,57	1,98
9,90	6,47	57,87	101,09	1,49	11,70	0,49	12,82	229,71	1,62	13,50	6,47	64,30	14,00	1,82	15,30	4,79	44,80	149,12	1,98
9,92	6,34	54,25	111,68	1,48	11,72	0,48	12,71	250,87	1,62	13,52	5,90	62,86	6,67	1,82	15,32	4,21	50,02	147,49	1,98
9,94	6,52	55,81	100,28	1,49	11,74	0,54	12,93	275,29	1,62	13,54	5,63	61,41	11,55	1,82	15,34	3,79	52,80	1	

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA															RIF. PROVA:		CPTU n°:		
LETTURE DI CAMPAGNA															U56-24		SCPTU1		
COMMITTENTE: Comune di Lagosanto										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00									
CANTIERE: via Lagosanto-Vaccolino, Boschetto (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,50									
DATA: 26/07/2024										PREFORO (m da p.c.): 0,30									
Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.	Prof.	qc	fs	U	Inc.
(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°	(m)	MPa	kPa	kPa	°
18,02	0,90	22,09	578,10	2,18	19,82	0,95	13,99	569,15	2,31	21,62	1,04	28,87	577,29	2,45	23,42	2,65	63,98	217,50	2,58
18,04	0,89	21,65	600,89	2,18	19,84	0,93	15,32	596,82	2,31	21,64	1,02	27,87	581,35	2,45	23,44	2,48	60,09	208,55	2,58
18,06	0,88	20,76	604,15	2,18	19,86	0,94	14,88	598,45	2,31	21,66	0,94	27,42	576,47	2,45	23,46	2,18	45,53	244,36	2,58
18,08	0,87	20,65	619,61	2,18	19,88	0,99	14,21	605,77	2,31	21,68	1,04	23,20	621,24	2,45	23,48	2,10	39,08	302,15	2,58
18,10	0,87	19,87	629,38	2,18	19,90	1,06	17,00	501,59	2,31	21,70	1,17	23,53	592,75	2,45	23,50	1,93	38,64	328,20	2,58
18,12	0,88	19,76	623,69	2,18	19,92	1,03	18,23	521,93	2,31	21,72	1,07	22,09	581,35	2,45	23,52	1,76	36,74	346,11	2,58
18,14	0,87	20,87	627,75	2,19	19,94	0,96	17,11	587,87	2,31	21,74	1,04	19,64	586,24	2,46	23,54	1,70	37,30	368,90	2,58
18,16	0,87	20,31	635,89	2,19	19,96	0,95	16,56	578,10	2,32	21,76	1,00	17,87	609,03	2,46	23,56	1,68	37,63	396,58	2,58
18,18	0,89	19,87	639,15	2,19	19,98	0,94	16,56	575,66	2,32	21,78	1,17	18,42	660,31	2,46	23,58	1,60	38,85	418,55	2,58
18,20	0,92	19,20	634,27	2,19	20,00	0,93	16,56	613,10	2,32	21,80	1,47	18,20	700,20	2,46	23,60	1,52	38,18	413,67	2,59
18,22	0,92	19,54	516,23	2,19	20,02	0,98	15,34	609,85	2,32	21,82	1,65	17,09	492,63	2,46	23,62	1,51	33,29	448,67	2,59
18,24	0,92	20,20	615,55	2,19	20,04	1,03	14,89	602,52	2,32	21,84	1,55	21,98	499,14	2,46	23,64	1,63	32,74	468,21	2,59
18,26	0,95	20,87	644,03	2,20	20,06	1,03	14,23	509,73	2,32	21,86	1,28	21,98	398,21	2,47	23,66	1,75	32,52	482,05	2,59
18,28	0,97	19,20	565,89	2,20	20,08	1,01	14,56	530,07	2,32	21,88	1,14	33,12	409,60	2,47	23,68	1,84	33,74	475,53	2,59
18,30	0,95	19,42	556,12	2,20	20,10	0,98	14,89	582,99	2,33	21,90	1,05	31,23	492,63	2,47	23,70	1,90	35,63	459,25	2,59
18,32	0,93	20,65	582,99	2,20	20,12	1,15	13,45	635,08	2,33	21,92	1,07	30,23	553,68	2,47	23,72	1,78	35,18	443,79	2,60
18,34	0,92	21,09	618,80	2,20	20,14	1,23	13,67	508,09	2,33	21,94	1,24	30,90	596,01	2,47	23,74	1,61	32,63	465,77	2,60
18,36	0,95	20,42	643,22	2,21	20,16	1,19	13,67	451,11	2,33	21,96	1,35	35,01	587,05	2,47	23,76	1,86	33,85	537,40	2,60
18,38	1,01	19,76	635,89	2,21	20,18	1,06	16,11	468,21	2,33	21,98	1,63	36,01	618,80	2,48	23,78	2,46	31,85	529,26	2,60
18,40	1,01	20,87	617,17	2,21	20,20	0,98	16,56	589,49	2,33	22,00	2,08	34,01	478,79	2,48	23,80	2,82	36,29	355,07	2,60
18,42	0,96	22,09	421,00	2,21	20,22	1,01	15,23	604,15	2,33	22,02	2,36	27,78	197,15	2,48	23,82	2,86	42,18	343,67	2,60
18,44	0,92	22,76	596,82	2,21	20,24	1,01	14,78	624,50	2,33	22,04	1,96	37,00	248,43	2,48	23,84	2,80	50,18	312,73	2,60
18,46	0,92	22,76	615,55	2,21	20,26	1,02	14,67	636,71	2,33	22,06	1,55	40,56	195,52	2,48	23,86	2,58	49,18	263,89	2,61
18,48	0,92	23,31	620,43	2,21	20,28	1,03	16,23	638,33	2,33	22,08	1,11	50,45	199,59	2,48	23,88	2,93	64,00	139,35	2,60
18,50	0,93	24,31	610,66	2,21	20,30	1,03	17,45	646,47	2,34	22,10	1,08	57,23	341,23	2,48	23,90	2,60	61,89	120,63	2,60
18,52	0,92	24,65	628,57	2,21	20,32	1,02	17,67	643,22	2,34	22,12	1,14	60,56	441,35	2,49	23,92	2,31	65,78	131,21	2,61
18,54	0,88	26,31	586,24	2,22	20,34	1,02	16,11	581,35	2,34	22,14	1,14	60,89	513,79	2,49	23,94	2,33	69,78	171,91	2,61
18,56	0,88	23,98	636,71	2,22	20,36	1,00	17,45	619,61	2,34	22,16	1,08	62,00	534,96	2,49	23,96	2,50	73,67	193,89	2,61
18,58	0,88	22,20	645,66	2,22	20,38	1,00	16,78	643,22	2,35	22,18	1,06	50,33	595,19	2,49	23,98	2,85	71,89	223,19	2,62
18,60	0,89	21,53	646,47	2,22	20,40	1,06	15,78	641,59	2,34	22,20	1,07	42,33	641,59	2,49	24,00	3,43	72,88	250,87	2,62
18,62	0,90	20,98	646,47	2,22	20,42	1,15	15,23	613,10	2,35	22,22	1,11	29,00	679,03	2,49	24,02	3,79	68,11	220,75	2,62
18,64	0,90	20,20	653,80	2,22	20,44	1,19	14,89	497,51	2,35	22,24	1,29	23,55	701,83	2,50	24,04	3,99	64,33	208,55	2,62
18,66	0,90	18,98	661,13	2,23	20,46	1,14	17,00	504,84	2,35	22,26	1,41	23,22	523,56	2,50	24,06	4,06	53,88	224,83	2,62
18,68	0,92	18,64	639,97	2,23	20,48	1,08	17,34	510,54	2,35	22,28	1,24	26,00	451,93	2,50	24,08	4,32	47,22	242,73	2,62
18,70	0,90	18,31	604,15	2,23	20,50	1,05	18,56	535,77	2,35	22,30	1,11	25,00	550,43	2,50	24,10	4,46	53,88	221,57	2,62
18,72	0,90	19,42	633,45	2,23	20,52	1,02	17,78	569,96	2,35	22,32	1,08	22,77	605,77	2,50	24,12	4,42	60,55	172,73	2,62
18,74	0,90	18,87	639,15	2,23	20,54	1,05	16,56	593,57	2,36	22,34	1,08	22,00	630,19	2,50	24,14	4,18	66,88	149,93	2,63
18,76	0,90	20,42	643,22	2,23	20,56	1,06	18,34	607,41	2,36	22,36	1,13	23,33	667,64	2,50	24,16	3,75	65,21	144,24	2,62
18,78	0,92	19,64	668,45	2,23	20,58	1,12	19,56	629,38	2,36	22,38	1,20	22,55	667,64	2,50	24,18	3,17	55,65	149,93	2,63
18,80	0,94	19,75	615,55	2,23	20,60	1,15	17,00	481,23	2,36	22,40	1,13	24,55	567,52	2,50	24,20	2,79	53,21	154,82	2,63
18,82	0,92	20,20	609,85	2,23	20,62	1,07	17,23	477,98	2,36	22,42	1,06	24,10	614,73	2,50	24,22	2,47	51,65	158,89	2,63
18,84	0,90	18,65	644,85	2,23	20,64	1,06	19,23	557,75	2,36	22,44	1,01	18,99	617,99	2,51	24,24	2,16	55,76	156,45	2,64
18,86	0,90	17,65	647,29	2,24	20,66	1,08	16,45	620,43	2,36	22,46	1,00	17,99	666,01	2,50	24,26	1,93	53,54	180,05	2,64
18,88	0,90	16,65	630,19	2,24	20,68	1,12	17,45	632,64	2,36	22,48	1,00	16,10	687,99	2,51	24,28	1,65	53,54	202,03	2,64
18,90	0,93	18,55	596,01	2,24	20,70	1,61	20,45	745,79	2,36	22,50	1,02	15,22	709,97	2,51	24,30	1,41	50,09	235,41	2,64
18,92	0,91	19,55	626,94	2,24	20,72	2,05	20,34	519,49	2,37	22,52	1,06	15,44	705,09	2,51	24,32	1,64	46,87	316,81	2,65
18,94	0,94	20,66	643,22	2,24	20,74	1,82													

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA														RIF. PROVA:		CPTU n°:							
LETTURE DI CAMPAGNA														U56-24		SCPTU1							
COMMITTENTE: Comune di Lagosanto										PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00													
CANTIERE: via Lagosanto-Vaccolino, Boschetto (Fe)										PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,50													
DATA: 26/07/2024										PREFORO (m da p.c.): 0,30													
Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °	Prof. (m)	qc MPa	fs kPa	U kPa	Inc. °				
27,02	1,53	42,79	977,77	2,84	28,02	1,33	30,81	640,78	2,89	29,02	1,63	49,25	801,13	2,94	30,02	2,21	40,03	349,37	3,01				
27,04	1,55	44,02	994,87	2,84	28,04	1,27	28,14	668,45	2,89	29,04	1,68	45,70	801,13	2,94	30,04	2,26	42,25	382,74	3,01				
27,06	1,63	46,79	1045,33	2,84	28,06	1,25	25,03	701,01	2,89	29,06	1,71	46,14	784,85	2,94	30,06	2,20	43,03	399,02	3,01				
27,08	1,79	48,68	1125,11	2,84	28,08	1,29	23,58	714,85	2,89	29,08	1,71	49,58	760,43	2,94	30,08	2,06	40,81	412,86	3,01				
27,10	2,07	48,68	1183,71	2,85	28,10	1,29	22,69	722,99	2,89	29,10	1,69	54,91	776,71	2,94	30,10	1,94	36,03	446,23	3,01				
27,12	2,20	49,68	1186,97	2,85	28,12	1,27	21,14	743,34	2,89	29,12	1,69	56,14	782,41	2,94	30,12	2,17	34,47	530,07	3,02				
27,14	2,21	49,24	1073,01	2,85	28,14	1,29	19,47	759,62	2,89	29,14	1,67	57,58	811,72	2,95	30,14	2,55	36,25	564,26	3,02				
27,16	2,14	50,57	775,90	2,85	28,16	1,31	18,47	757,99	2,89	29,16	1,71	57,24	796,25	2,95	30,16	2,85	40,69	537,40	3,01				
27,18	2,01	53,57	824,74	2,85	28,18	1,36	17,80	744,15	2,89	29,18	1,73	58,58	786,49	2,95	30,18	2,82	43,80	491,00	3,02				
27,20	1,86	58,34	776,71	2,85	28,20	1,37	18,47	748,23	2,89	29,20	1,72	59,47	793,81	2,95	30,20	2,56	40,36	462,51	3,02				
27,22	1,73	61,45	791,37	2,85	28,22	1,39	19,03	749,85	2,89	29,22	1,70	57,80	809,27	2,95	30,22	2,33	40,58	458,44	3,02				
27,24	1,59	64,34	821,49	2,85	28,24	1,41	19,14	741,71	2,89	29,24	1,73	55,13	784,04	2,95	30,24	2,03	38,47	472,28	3,03				
27,26	1,50	63,34	827,19	2,85	28,26	1,41	20,36	709,15	2,89	29,26	1,74	55,80	779,16	2,95	30,26	1,75	38,47	503,21	3,03				
27,28	1,43	62,12	828,00	2,85	28,28	1,38	22,36	681,48	2,89	29,28	1,75	55,35	769,39	2,96	30,28	1,65	41,36	569,96	3,03				
27,30	1,40	58,12	814,97	2,86	28,30	1,37	23,25	692,87	2,89	29,30	1,73	56,68	745,79	2,96	30,30	1,60	42,24	600,08	3,03				
27,32	1,35	51,45	797,07	2,86	28,32	1,32	24,47	709,15	2,89	29,32	1,70	57,13	762,88	2,96	30,32	1,59	44,80	622,87	3,04				
27,34	1,33	45,89	810,91	2,86	28,34	1,32	25,25	717,29	2,89	29,34	1,70	57,24	777,53	2,97	30,34	1,62	49,13	679,85	3,04				
27,36	1,33	39,45	805,21	2,86	28,36	1,27	23,47	734,39	2,89	29,36	1,73	59,01	810,91	2,97	30,36	2,18	46,91	828,00	3,04				
27,38	1,36	36,45	785,67	2,86	28,38	1,29	21,58	762,88	2,89	29,38	1,78	62,01	820,67	2,97	30,38	3,52	42,91	539,84	3,05				
27,40	1,36	33,67	744,97	2,87	28,40	1,30	22,25	768,57	2,89	29,40	1,76	62,56	812,53	2,97	30,40	5,02	44,91	116,56	3,04				
27,42	1,37	33,67	731,13	2,87	28,42	1,29	23,14	779,16	2,89	29,42	1,76	62,56	814,97	2,97	30,42	5,71	52,02	15,63	3,04				
27,44	1,40	32,67	725,43	2,87	28,44	1,30	22,80	772,65	2,89	29,44	1,73	61,34	813,35	2,98	30,44	6,12	56,46	18,07	3,05				
27,46	1,42	32,56	715,67	2,87	28,46	1,32	23,80	768,57	2,89	29,46	1,72	60,12	876,84	2,97	30,46	6,27	50,24	22,95	3,04				
27,48	1,43	32,33	701,83	2,87	28,48	1,37	23,80	749,85	2,90	29,48	1,71	60,67	926,49	2,98	30,48	6,05	40,57	27,02	3,05				
27,50	1,55	31,33	697,76	2,87	28,50	1,39	24,36	609,03	2,89	29,50	1,68	62,23	953,35	2,98	30,50	5,36	40,01	27,83	3,05				
27,52	1,67	31,88	682,29	2,87	28,52	1,39	25,69	622,87	2,89	29,52	1,65	61,45	985,10	2,98	30,52	4,27	43,46	30,28	3,05				
27,54	1,70	33,55	429,14	2,87	28,54	1,38	27,03	656,25	2,90	29,54	1,61	61,00	1054,29	2,98	30,54	3,38	49,79	40,05	3,06				
27,56	1,44	34,55	405,53	2,87	28,56	1,39	27,25	679,03	2,90	29,56	1,59	58,78	1028,24	2,98	30,56	2,85	69,24	50,63	3,06				
27,58	1,31	32,77	447,86	2,87	28,58	1,38	27,03	687,99	2,90	29,58	1,55	57,78	1042,08	2,98	30,58	2,29	92,90	57,14	3,06				
27,60	1,25	29,11	521,12	2,87	28,60	1,36	27,69	683,92	2,90	29,60	1,53	56,89	1042,08	2,98	30,60	1,84	102,79	80,75	3,06				
27,62	1,20	26,78	576,47	2,88	28,62	1,29	26,25	713,23	2,90	29,62	1,53	52,78	1024,99	2,98	30,62	1,72	88,01	133,65	3,06				
27,64	1,21	23,77	613,91	2,88	28,64	1,33	24,14	768,57	2,90	29,64	1,53	52,33	1026,61	2,99	30,64	1,51	81,12	158,89	3,07				
27,66	1,20	22,22	632,64	2,88	28,66	1,42	23,80	824,74	2,90	29,66	1,55	49,89	991,61	2,99	30,66	1,41	76,78	271,22	3,07				
27,68	1,21	22,67	666,83	2,88	28,68	1,54	23,24	865,44	2,90	29,68	1,53	49,77	954,17	2,98	30,68	1,41	68,78	402,27	3,07				
27,70	1,28	20,78	712,41	2,88	28,70	1,61	22,80	906,14	2,91	29,70	1,49	50,55	930,56	2,99	30,70	1,49	55,67	572,40	3,07				
27,72	1,29	20,67	719,73	2,89	28,72	1,72	23,58	894,75	2,90	29,72	1,44	50,33	909,40	2,99	30,72	1,58	44,33	697,76	3,07				
27,74	1,29	20,45	700,20	2,88	28,74	1,75	26,91	867,07	2,91	29,74	1,42	49,77	897,19	2,99	30,74	1,61	38,10	730,32	3,08				
27,76	1,30	20,45	705,09	2,89	28,76	1,79	30,36	854,86	2,91	29,76	1,41	48,99	890,67	2,99	30,76	1,58	31,10	777,53	3,08				
27,78	1,28	20,33	705,09	2,89	28,78	1,87	35,25	853,23	2,91	29,78	1,41	47,10	881,72	2,99	30,78	1,60	29,43	808,46	3,07				
27,80	1,26	20,78	699,39	2,89	28,80	1,95	40,13	801,13	2,91	29,80	1,43	45,22	870,33	2,99	30,80	1,67	29,99	838,58	3,08				
27,82	1,26	20,89	726,25	2,89	28,82	1,95	47,13	775,09	2,92	29,82	1,50	41,55	836,95	2,99	30,82	1,69	30,21	821,49	3,08				
27,84	1,28	20,78	738,46	2,89	28,84	1,98	52,69	638,33	2,92	29,84	1,61	37,55	778,35	3,00	30,84	1,66	38,87	784,97	3,08				
27,86	1,41	26,25	613,91	2,89	28,86	1,91	61,81	644,85	2,92	29,86	2,26	37,70	300,53	2,99	30,86	1,66	47,54	748,45	3,08				
27,88	1,49	30,81	517,05	2,89	28,88	1,96	64,59	531,70	2,93	29,88	2,54	43,03	296,45	2,99	30,88	1,67	57,98	425,88	3,08				
27,90	1,45	30,59	542,29	2,89	28,90	1,86	66,48	577,29	2,93	29,90	2,84	46,47	318,43	3,00	30,90	1,63	61,21	420,19	3,09				
27,92	1,41	31,14	573,21	2,89	28,92	1,73	67,48	607,41	2,93	29,92	3,03	49,81	297,27	3,00	30,92	1,61	65,21	423,44	3,09				
27,94	1,38	31,47	604,15	2,89	28,94	1,67	66,37	664,39	2,93	29,94	3,03	49,03	285,87	3,00	30,94	1,59	69,76	446,23	3,09				
27,96	1,38	32,03	628,57	2,89	28,96	1,59	63,14	707,53	2,93	29,96	2,73	44,47	284,25	3,00	30,96	1,61	71,87	457,63	3,09				
27,98	1,29	29,36	615,55	2,89	28,98	1,57	59,48	745,79	2,94	29,98	2,42	40,47	289,95	3,01	30,98	1,63	71,65	460,07	3,09				
28,00	1,37	31,47	649,73	2,89	29,00	1,57	55,48	783,23	2,94	30,00	2,22	39,25	314,37	3,01	31,00	1,66	70,32	461,70	3,10				
qc = resist. alla punta (Mpa)										Inc. = inclinazione dalla verticale (°)													
fs = resist. per attrito lat. (kPa)										Diametro punta: 3.57 cm													
U = pressione neutra (kPa)										Area punta: 10 cm ²										Punta: Tecnopenta G1 CPL2In			

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA DIAGRAMMI DI RESISTENZA	RIF. PROVA:	CPTU n°:
	U56-24	SCPTU1

COMMITTENTE: Comune di Lagosanto	PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00
CANTIERE: via Lagosanto-Vaccolino, Boschetto (Fe)	PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,50
DATA: 26/07/2024	PREFORO (m da p.c.): 0,30



PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
PROVA DOWN HOLE SCPTU

RIF. PROVA:

CPTU n°:

U56-24

SCPTU1

COMMITTENTE: Comune di Lagosanto

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 31,00

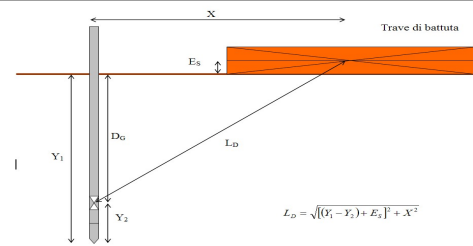
CANTIERE: via Lagosanto-Vaccolino, Boschetto (Fe)

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,50

DATA: 26/07/2024

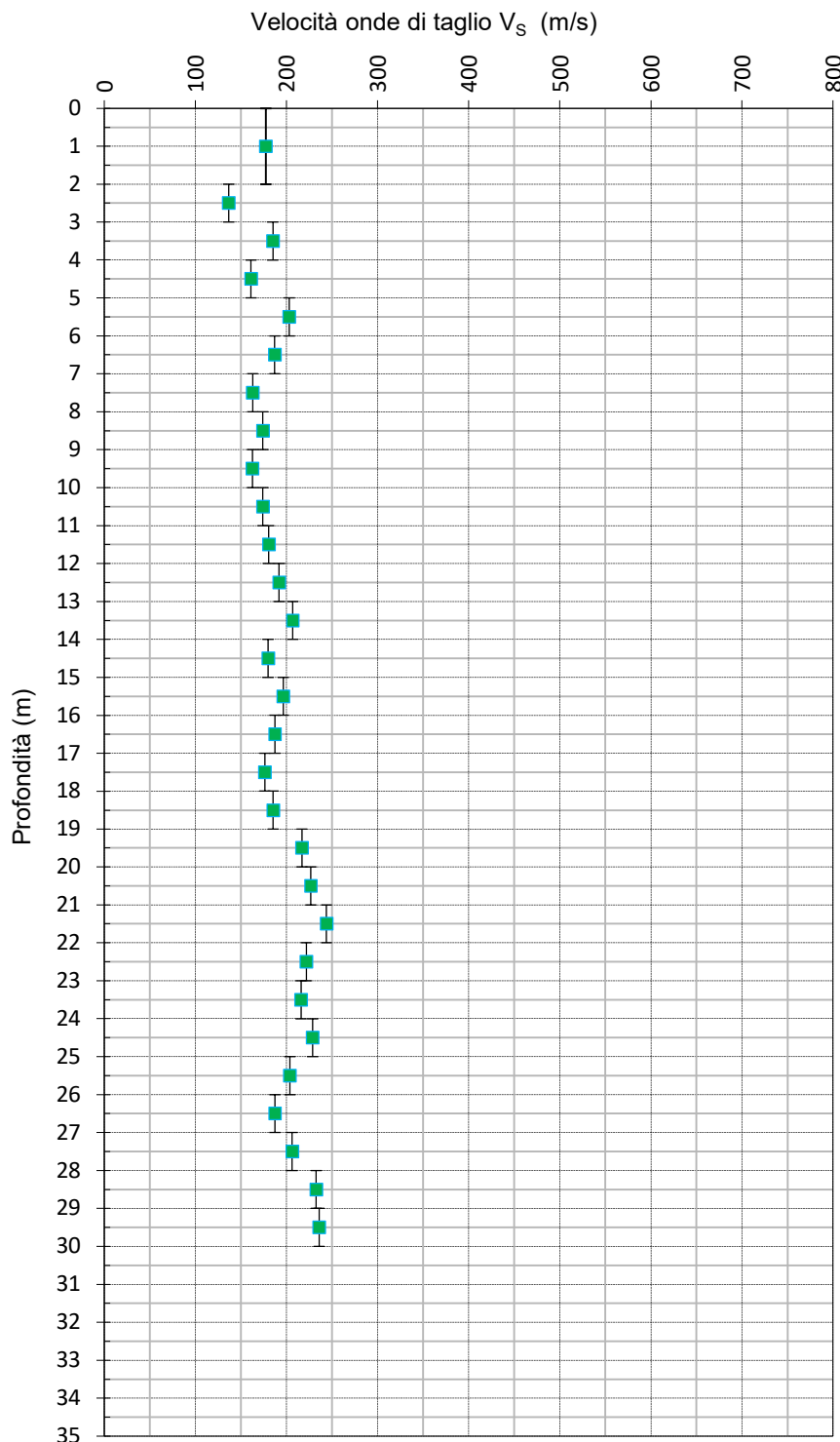
PREFORO (m da p.c.): 0,30

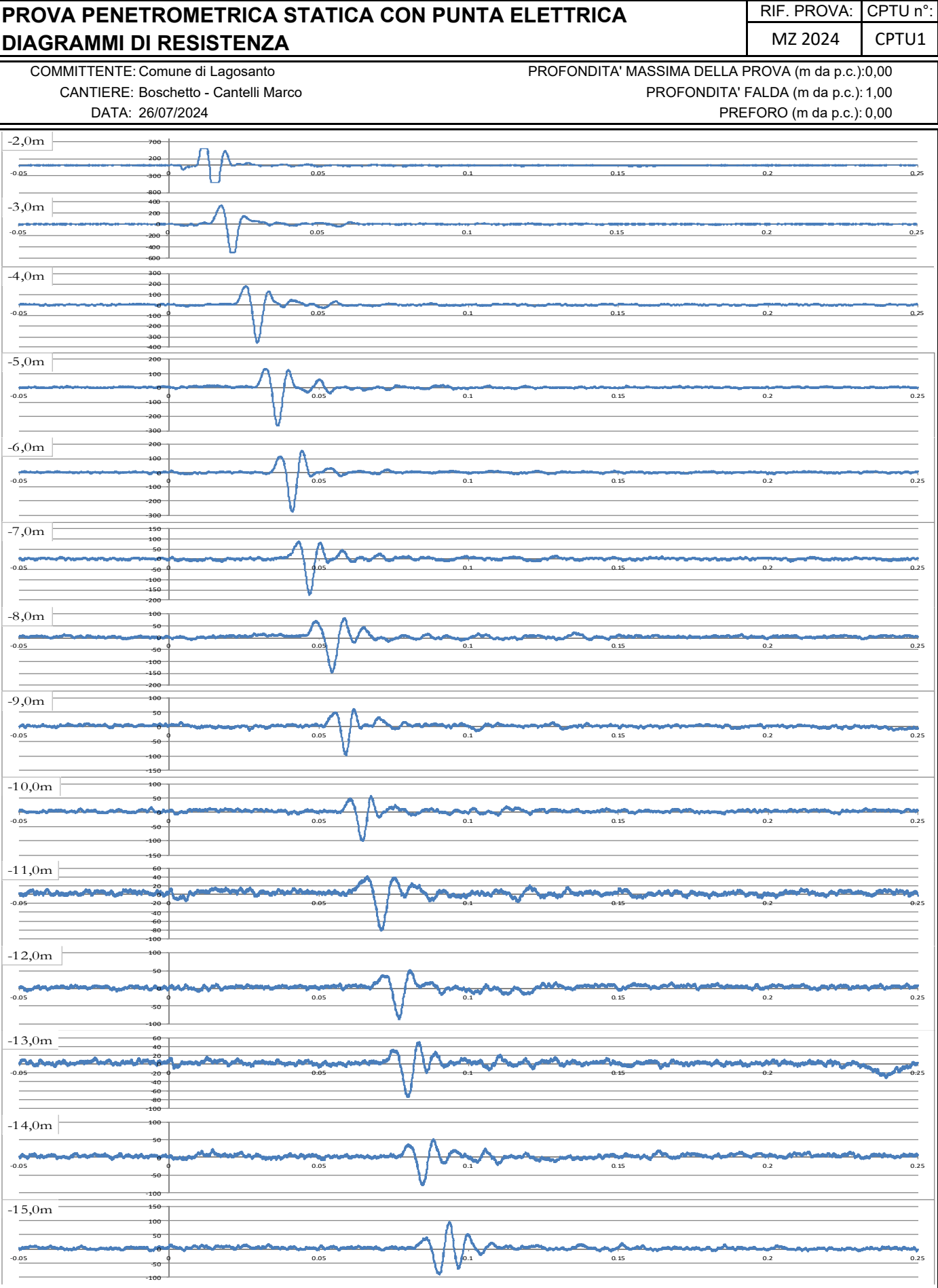
Peso mazza battente: 5Kg
Ricevitore Down Hole: G1-cpl2IN
Equipaggiamento di registrazione: D1-SISMI USB
Distanza centro sorgente-verticale X: 0,25 m
Distanza punta-accelerometro Y_2 : 0,20 m

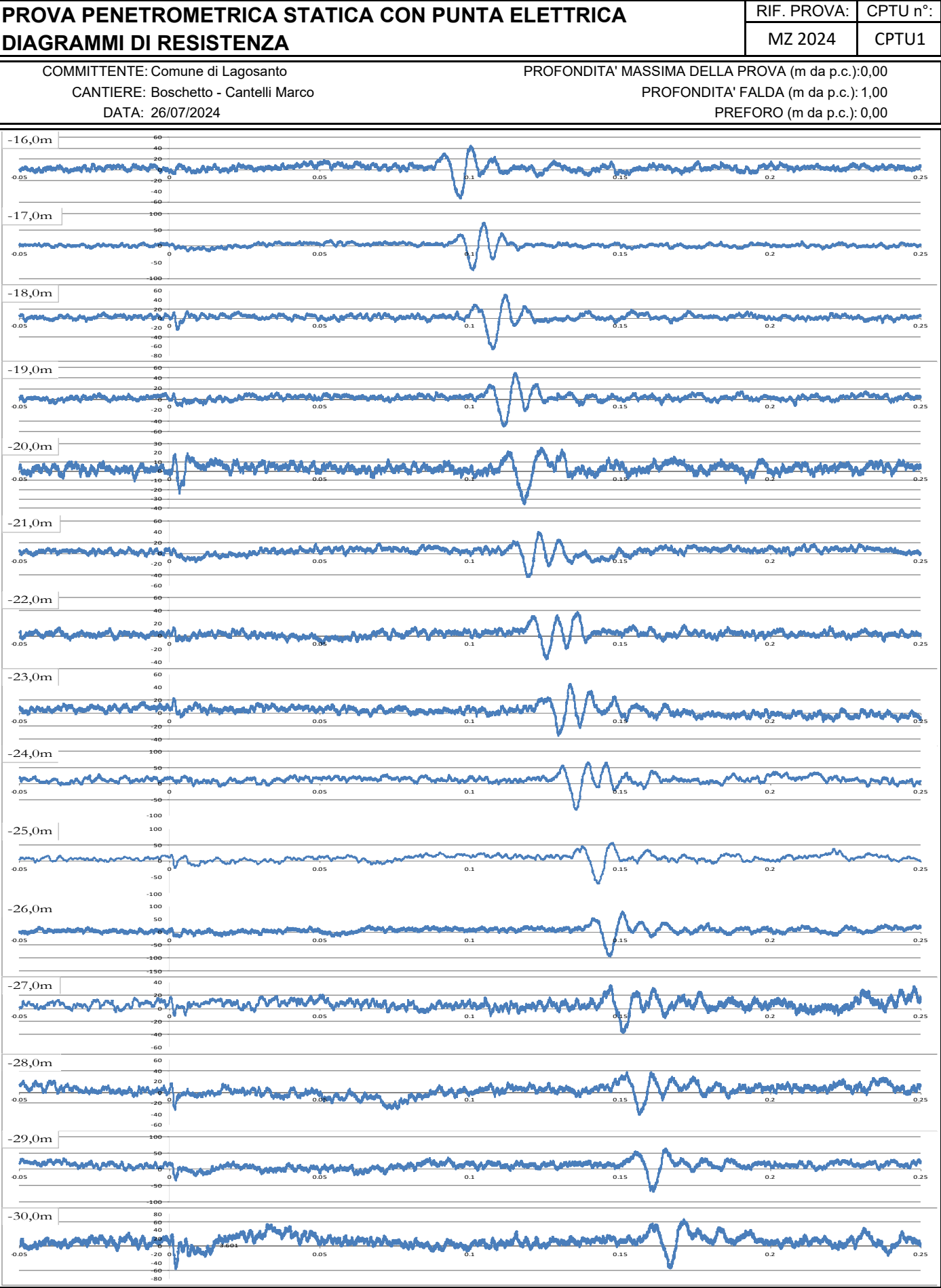


$V_{s30} = 192$ m/sec Categoria suolo di fondazione = C

Distanza corretta L_D punta elettrica	Tempo di arrivo onda S (millisecondi)	Velocità onde S dello strato (m/sec)
0,000		
0,838		177
1,817	10,242	137
2,811	17,513	185
3,808	22,902	161
4,807	29,098	203
5,805	34,016	187
6,805	39,356	163
7,804	45,492	174
8,804	51,229	163
9,803	57,377	174
10,803	63,115	181
11,803	68,652	192
12,802	73,858	207
13,802	78,688	180
14,802	84,246	197
15,802	89,334	187
16,802	94,672	176
17,802	100,345	185
18,802	105,738	217
19,802	110,346	227
20,802	114,754	244
21,801	118,852	222
22,801	123,361	216
23,801	127,988	229
24,801	132,357	204
25,801	137,265	187
26,801	142,603	206
27,801	147,451	233
28,801	151,749	236
29,801	155,989	







ESAC-01



ESAC-02



Profili sismici di tipo ESAC

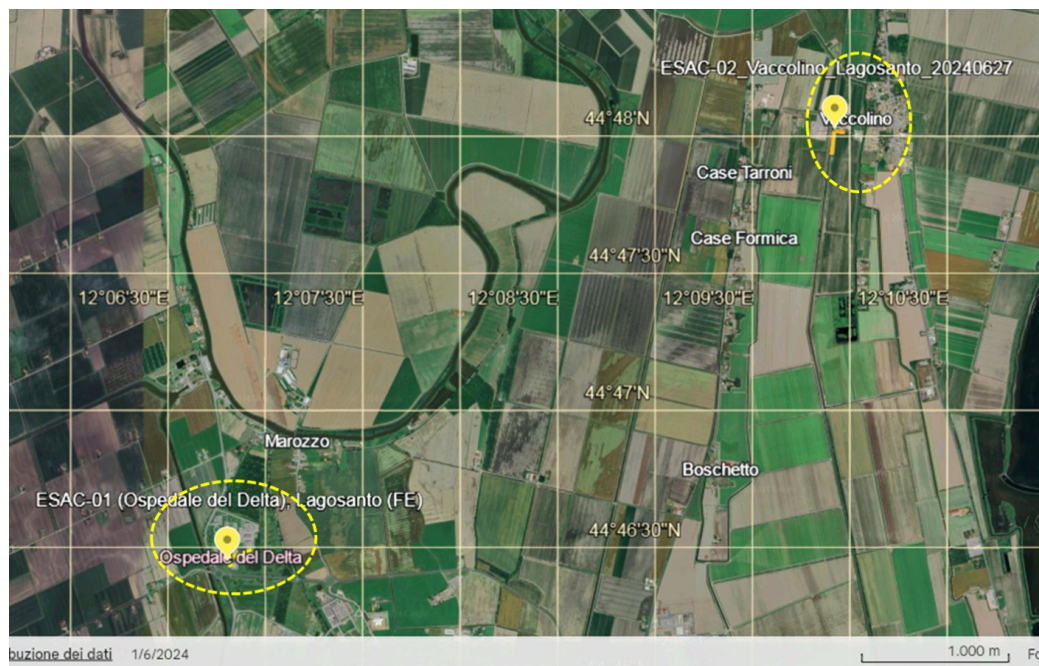
ESAC-01: 44.774167°N 12.121667°E

ESAC-02: 44.800000°N 12.173600°E

Tavola 1

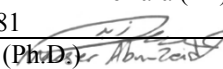
Regione EMILIA-ROMAGNA
Provincia di Ferrara
Comune di Lagosanto

Località: Ospedale del Delta e Vaccolino



***Indagine sismica con la tecnica della sismica
passiva 'ESAC' per la determinazione del
profilo profondo di Vs in due località site in
Comune di Lagosanto (FE)***

giugno 2024

Committente:	Studio Geologo Veronese (Via Roma 10, Codigoro, FE).	t.veronese@studio-sst.it
Elaborazione dati:	TeamGeofisica.CEG - Centro Elaborazione Dati Geofisici, Ferrara. Via G. Fabbri, 342 44124 Ferrara (FE), p.iva 02065560381	nasser.abuzeid@pec.it
Redazione:	Nasser Abu Zeid (Ph.D.) 	Teamgeofisica.ceg@gmail.com
Revisione:	00	30 giugno 2024

**Indagine sismica con la tecnica della sismica passiva
'ESAC' per la determinazione del profilo profondo di
Vs in due località site in Comune di Lagosanto (FE)**



- Relazione Geofisica -
giugno 2023

Teamgeofisica.ceg (centro elaborazione dati geofisici)

Via G. Fabbri, 342 - 44124 FERRARA (FE)

Tel./Fax 0532-8748912

Mail: teamgeofisica.ceg@gmail.com – Nasser.abuzeid@pec.it

p.iva 02065560381

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	TECNICA D'INDAGINE	1
2.1.	Sismica passiva (Enhanced Spatial autocorrelation "ESAC") 1	
2.2.	ACQUISIZIONE DATI	4
2.3.	ANALISI DATI ESAC	5
2.4.	RISULTATI	6
3.	BIBLIOGRAFIA	11
	Appendice A: parametri del modello sismico ESAC-01 'Ospedale del Delta'	12
	Appendice A1: parametri del modello sismico ESAC-02 'Zona Artigianale di Vaccolino'	14

ELENCO DELLE FIGURE E TABELLE

Figura 1. Ubicazione profili sismici di tipo ESAC effettuati in due località site in Comune di Lagosanto (FE). ESAC-01: Ospedale del Delta e ESAC-02: Zona produttiva di Vaccolino.....	4
Figura 2. Esempio sismogrammi sperimentali acquisiti (in alto). Le linee verticali rappresentano i sismogrammi registrati utilizzando geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz. In basso: geometria dei profili ESAC-01 (a sinistra) e ESAC-02 (a destra).	5
Figura 3. Curve di dispersione sperimentali ottenuti dall'analisi spettrale mediante la tecnica cross-spettro: rispettivamente a Ducentola (sinistra) e Montesanto (a destra).	5
	8
Figura 4a. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico acquisito nell'area dell'Ospedale del Delta, Lagosanto (FE).	8
Figura 4b. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico acquisito in località 'Zona Produttiva di Vaccolino', Lagosanto (FE).	8
Figura 5a. Il profilo verticale $G_{\max}$ (μ : modulo di rigidità dinamico) dell'area indagata dal profilo sismico ESAC-01 acquisito nell'area dell'Ospedale del Delta a Lagosanto. Il profilo è stato ottenuto utilizzando l'equazione $\mu=\rho*Vs^2$	9
Figura 5b. Il profilo verticale $G_{\max}$ (μ : modulo di rigidità dinamico) dell'area indagata dal profilo sismico ESAC-02 acquisito nei pressi della 'Zona Produttiva di Vaccolino'. Il profilo è stato ottenuto utilizzando l'equazione $\mu=\rho*Vs^2$	9
Tabella 1. Dati tecnici dei profili sismici (ESAC-01 e ESAC-02). _____	4
Tabella 2a. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato dal profilo sismico 'ESAC-01' acquisito in località 'Ospedale del Delta'. In appendice A1 sono riportati i valori numerici del profilo completo. _____	7
Tabella 2b. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato dal profilo sismico 'ESAC-02' acquisito in località 'Zona Produttiva di Vaccolino'. In appendice A sono riportati i valori numerici del profilo completo. _____	7
Tabella 3. sintesi modelli sismici (Onde S) del sottosuolo investigato dai profili sismici 'ESAC-01 e ESAC-02' acquisiti, rispettivamente, nell'area	

dell'ospedale del Delta (a) e in quella della zona produttiva di Vaccolino
(b). _____ 10

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 **27 giugno 2024**, una campagna d'indagine geofisica in due località: Ospedale del Delta e Zona Produttiva di Vaccolino, site nel Comune di Ligosanto (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'aera. 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 (**Fig. 1 e 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);

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad eq.1$$

dove,

$V_{s,eq}$: velocità media ponderata equivalente di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità del sismo-strato sismico ($V_s \geq 800$ m/s)

$V_{s,30}$: velocità media ponderata delle onde di taglio "S" nei primi 30 metri,

H : profondità del substrato SISMICO (in m), definito come quella formazione, costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s ($H=30$ m nel caso che il substrato sismico superi tale profondità);

h_i : spessore dell'esimo sismo-strato,

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

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 eq. 2,

$$V_R = \left(\frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \right) \times V_S \quad eq(2)$$

$$V_R \cong 0.92 \times V_S$$

dove,

V_R : velocità di fase delle onde Rayleigh,

V_S : velocità di propagazione dell'onda di taglio,

ν : rapporto di Poisson.

2.2. ACQUISIZIONE DATI

L'area oggetto di indagine è stata investigata in data 27/06/2024 mediante l'esecuzione di n. 2 profili sismici tipo "ESAC" (**Tav. 1**) della lunghezza complessiva di 230 m (**Tabella 1a,b**).

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** sono riportati due esempi di sismogrammi acquisiti seconda le geometrie delle due antenne sismiche riportate nella stessa **Figura 2** (in basso).

Tabella 1. Dati tecnici dei profili sismici (ESAC-01 e ESAC-02).

Sigla	Lunghezza (m)	Passo intergeofonico (m)	Orientazione
Profilo 1	230*	10,0	44.774167°N 12.121667°E E-----S
Profilo 2	230,0	10,0	44.80000°N 12.17360°E E-----E

*geometria a forma di L

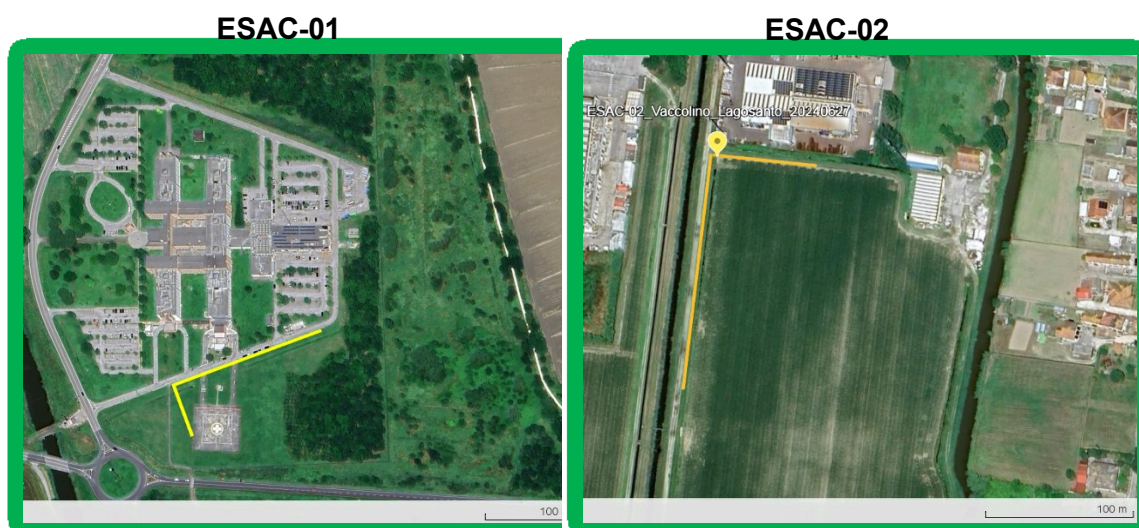


Figura 1. Ubicazione profili sismici di tipo ESAC effettuati in due località site in Comune di Lagosanto (FE). ESAC-01: Ospedale del Delta e ESAC-02: Zona produttiva di Vaccolino.

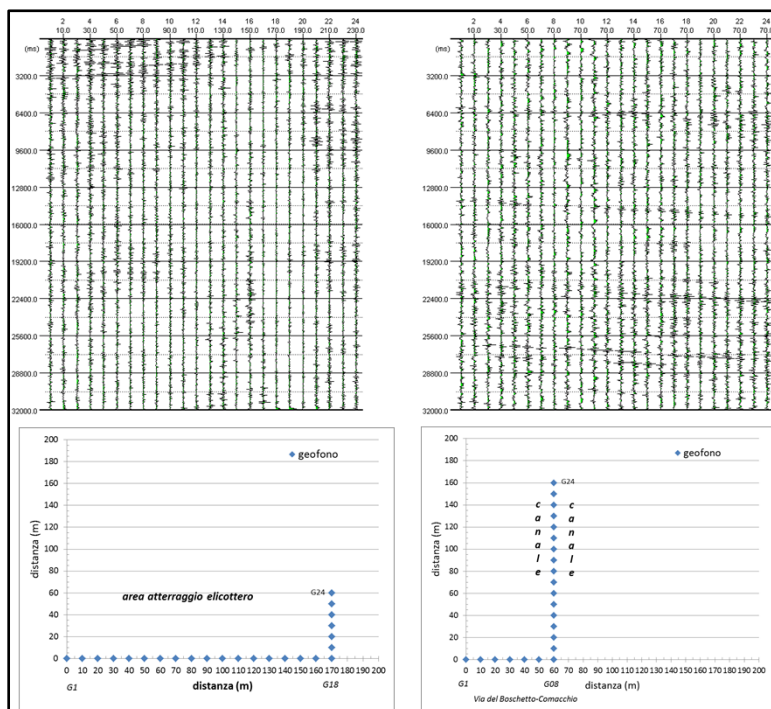


Figura 2. Esempio sismogrammi sperimentali acquisiti (in alto). Le linee verticali rappresentano i sismogrammi registrati utilizzando geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz. In basso: geometria dei profili ESAC-01 (a sinistra) e ESAC-02 (a destra).

2.3. ANALISI 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).

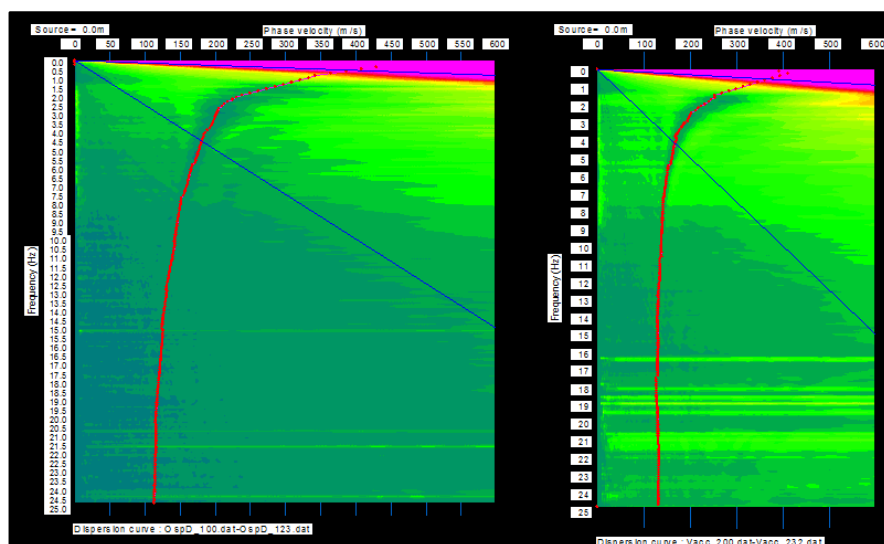


Figura 3. Curve di dispersione sperimentali ottenuti dall'analisi spettrale mediante la tecnica cross-spettro: rispettivamente a Ducentola (sinistra) e Montesanto (a destra).

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.*

Il risultato di tale analisi rappresenta il cosiddetto spettro di potenza da cui si ottiene la curva di dispersione sperimentale delle onde “R” (**figura 3a,b**) e successivamente, attraverso una procedura di modellazione numerica, la determinazione del modello 1D del profilo sismico della velocità delle onde di taglio “S” (**figura 4a,b**).

2.4. RISULTATI

I modelli sismici ‘ V_S ’ ottenuti dall’interpretazione quantitativa delle curve di dispersioni (**figura 3**) sono riportati in **Figura 4a,b**. I modelli numerici, fino a 30 metri sono riportati in **Tabella 2a,b**, mentre quelli completi sono riportati, rispettivamente, in Appendice A e A1. I modelli sismici così ottenuti non hanno raggiunto valori attribuibili a substrato sismico ($V_S \geq 800$ m/s), tuttavia, i valori di “ V_S ” risultano essere compresi tra **119m/s ± 2.5 m/s e 472 m/s ± 2.5 m/s**. L’errore medio quadratico(RMS) è pari a 2%.

Tabella 2a. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato dal profilo sismico 'ESAC-01' acquisito in località 'Ospedale del Delta'. In appendice A1 sono riportati i valori numerici del profilo completo.

ESAC01 ‘Ospedale del Delta’	PROFILO sismico fino a 30 metri (modello numerico fino a 320 metri è riportato in Appendice A)			
	Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
1		3.1	119.0	0.0
2		6.3	142.7	3.2
3		9.6	165.2	3.3
4		13.0	181.0	3.4
5		16.6	193.5	3.6
6		20.3	209.1	3.7
7		24.1	214.7	3.8
8		28.1	216.5	4.0
9		32.1	220.2	4.1

Tabella 2b. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato dal profilo sismico 'ESAC-02' acquisito in località 'Zona Produttiva di Vaccolino'. In appendice A sono riportati i valori numerici del profilo completo.

ESAC02	PROFILO sismico fino a 30 metri		
'Z.P. di Vaccolino'	(modello numerico fino a 320 metri è riportato in Appendice A1)		
Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
1	3.1	141.9	0.0
2	6.3	132.3	3.2
3	9.6	151.1	3.3
4	13.0	168.3	3.4
5	16.6	174.7	3.6
6	20.3	184.4	3.7
7	24.1	195.5	3.8
8	28.1	203.1	4.0
9	32.1	215.4	4.1

In **Figure 5a,b** si riportano gli andamenti dei profili di rigidità dinamica (G_0 o G_{max}) con la profondità.

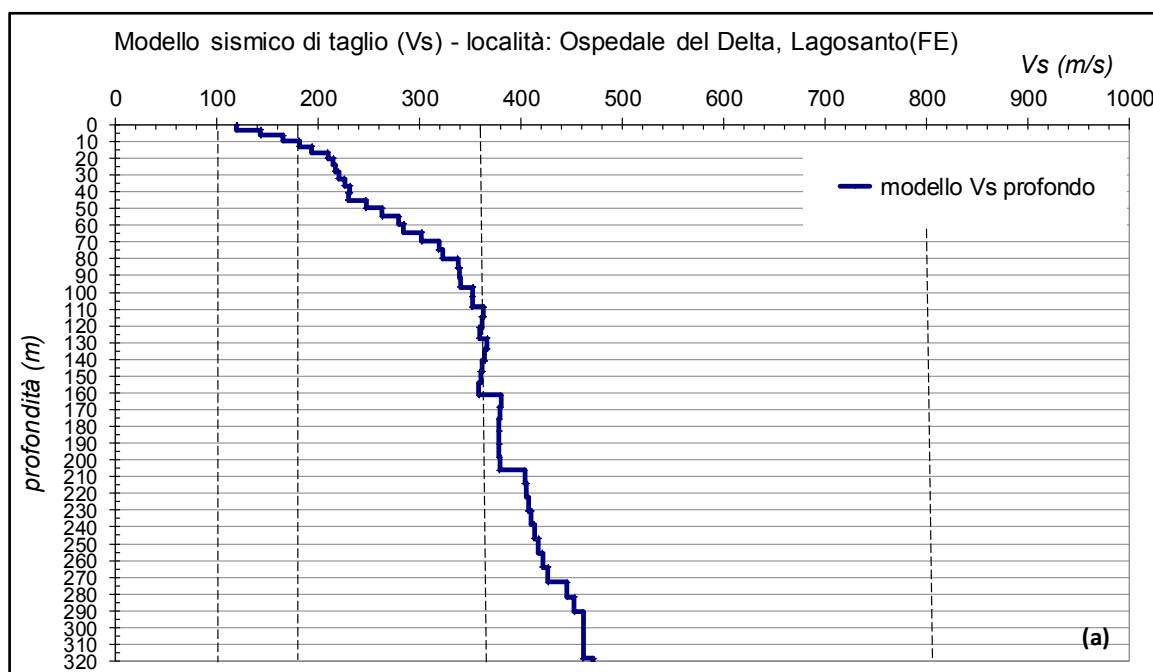


Figura 4a. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico acquisito nell'area dell'Ospedale del Delta, Lagosanto (FE).

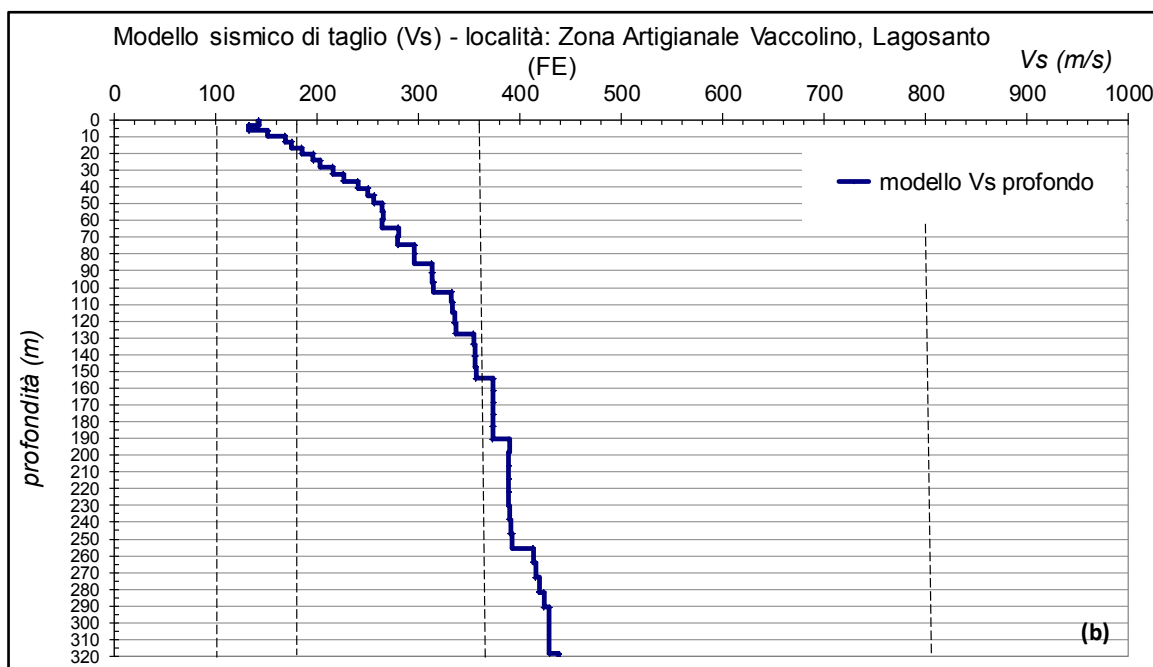


Figura 4b. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico acquisito in località 'Zona Produttiva di Vaccolino', Lagosanto (FE).

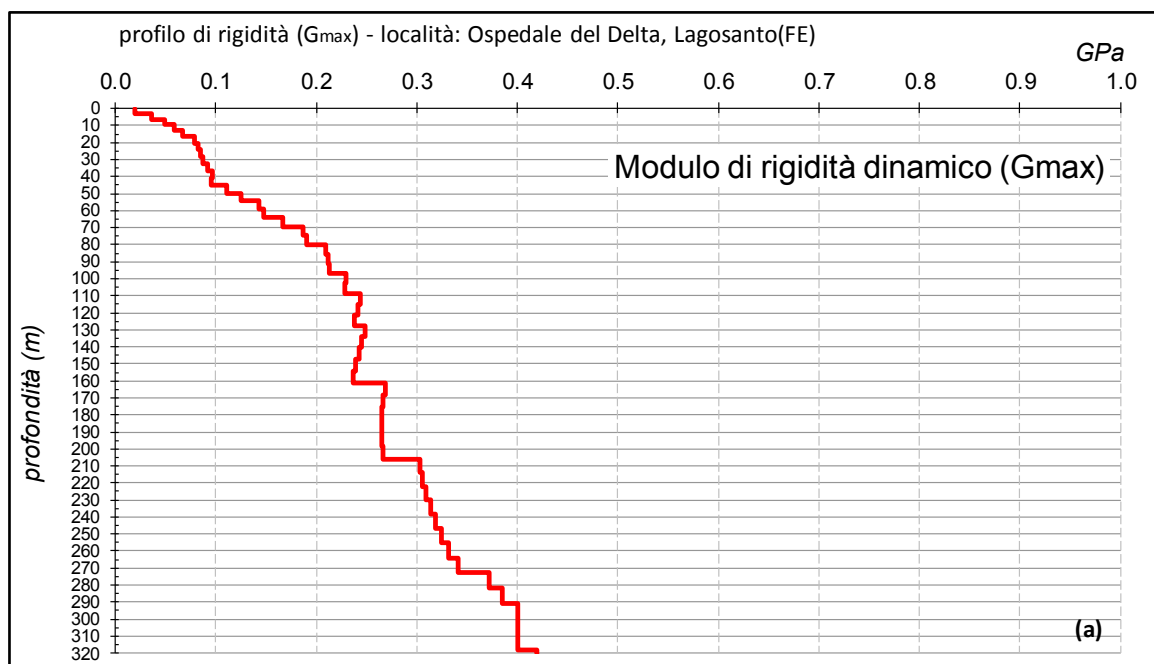


Figura 5a. Il profilo verticale G_{max} (μ : modulo di rigidità dinamico) dell'area indagata dal profilo sismico ESAC-01 acquisito nell'area dell'Ospedale del Delta a Lagosanto. Il profilo è stato ottenuto utilizzando l'equazione $\mu = \rho * V_s^2$.

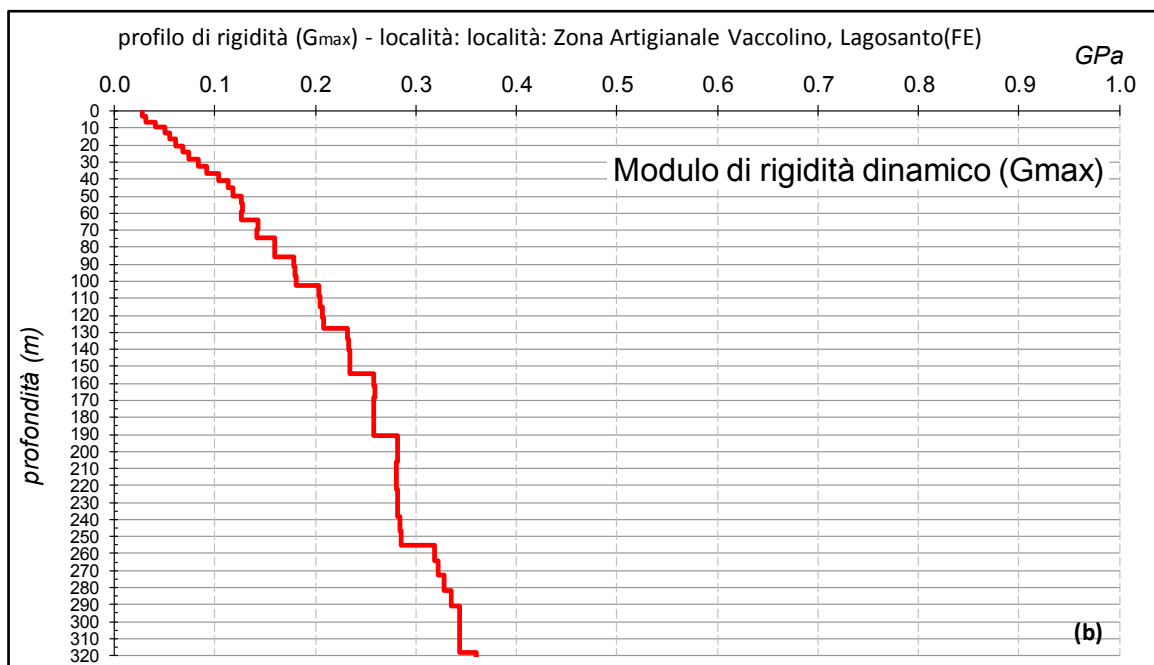


Figura 5b. Il profilo verticale G_{max} (μ : modulo di rigidità dinamico) dell'area indagata dal profilo sismico ESAC-02 acquisito nei pressi della 'Zona Produttiva di Vaccolino'. Il profilo è stato ottenuto utilizzando l'equazione $\mu = \rho * V_s^2$.

CONCLUSIONI

Le indagini geofisiche, effettuate nel periodo **27 giugno 2024** con la tecnica di sismica passiva dei microtrempi "ESAC", ha consentito di ricostruire il quadro sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità raggiunta (**320m**).

L'analisi dei modelli sismici 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. Il valore massimo di V_s ottenuto è pari a 472 m/s.

In Figure (5a,b) si riportano le variazioni del modulo di rigidità dinamico (G_{max} o G_0) ricavato dai corrispondenti profili sismici di taglio (valori di densità utilizzate sono compresi tra 1.770,0 kg/m³ e 1.900,00 per tutti i sismo strati ad accessione del primo ove il valore è pari a 1.400,0 kg/m³).

In Tabelle 3a,b sono riassunti le caratteristiche dinamiche dei principali sismo-strati ricavati dai modelli 1D.

Tabella 3. sintesi modelli sismici (Onde S) del sottosuolo investigato dai profili sismici 'ESAC-01 e ESAC-02' acquisiti, rispettivamente, nell'area dell'ospedale del Delta (a) e in quella della zona produttiva di Vaccolino (b).

(a) ESAC01 'Ospedale del Delta'		PROFILO sismico (modello numerico fino a 320 metri è riportato in Appendice A)	
Sismo-strato	Velocità (m/s)	Profondità letto (m)	Spessore (m)
1	165.2	6.3	6.3
2	209.1	16.6	10.3
3	231.1	36.4	19.8
4	262.7	49.7	13.3
5	318.9	69.4	19.7
6	339.3	85.5	16.1
7	352.6	96.8	11.3
8	366.7	127.4	30.6
9	380.2	161.2	33.8
10	403.5	206.0	44.8
11	445.5	272.3	66.3
12	471.6	318.4	-

(b)
ESAC02
‘Z.P. di Vaccolino’

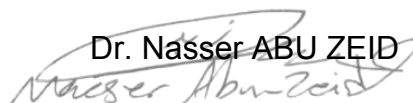
PROFILO sismico(modello numerico fino a 275 metri è riportato in **Appendice A1**)

Sismo-strato	Velocità (m/s)	Profondità letto (m)	Spessore (m)
1	151.1	6.3	6.3
2	195.5	20.3	14
3	250.0	40.7	20.4
4	279.9	64.3	23.6
5	332.3	102.7	38.4
6	354.2	127.4	24.7
7	373.5	154.2	26.8
8	389.3	190.5	36.3
9	413.0	255.3	64.8
10	429.7	290.8	35.5
11	318.4	428.7	-

Tecnico:

Data: 30 giugno 2024

Dr. Nasser ABU ZEID

**3. BIBLIOGRAFIA**

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

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 'Ospedale del Delta'		PROFILO sismico fino a 320 metri		
Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	
1	3.1	119.0	0.0	
2	6.3	142.7	3.2	
3	9.6	165.2	3.3	
4	13.0	181.0	3.4	
5	16.6	193.5	3.6	
6	20.3	209.1	3.7	
7	24.1	214.7	3.8	
8	28.1	216.5	4.0	
9	32.1	220.2	4.1	
10	36.4	225.6	4.2	
11	40.7	231.1	4.3	
12	45.2	229.4	4.5	
13	49.7	247.1	4.6	
14	54.5	262.7	4.7	
15	59.3	279.6	4.8	
16	64.3	284.3	5.0	
17	69.4	301.8	5.1	
18	74.6	318.9	5.2	
19	80.0	322.3	5.4	
20	85.5	337.7	5.5	
21	91.1	339.3	5.6	
22	96.8	340.0	5.7	
23	102.7	352.6	5.9	
24	108.7	351.7	6.0	
25	114.8	363.0	6.1	

ESAC-01 Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
26	121.0	361.1	6.3
27	127.4	358.9	6.4
28	133.9	366.7	6.5
29	140.6	364.3	6.6
30	147.3	362.0	6.8
31	154.2	359.9	6.9
32	161.2	358.0	7.0
33	168.4	380.2	7.1
34	175.6	379.1	7.3
35	183.0	378.3	7.4
36	190.6	378.0	7.5
37	198.2	378.1	7.7
38	206.0	378.8	7.8
39	213.9	403.5	7.9
40	221.9	405.1	8.0
41	230.1	407.2	8.2
42	238.4	409.9	8.3
43	246.8	413.1	8.4
44	255.4	416.9	8.5
45	264.0	421.5	8.7
46	272.8	426.8	8.8
47	281.8	445.5	8.9
48	290.8	452.7	9.1
49	318.4	461.2	27.6
50	-	471.6	-

Appendice A1

ESAC-02 'Z. Prod. Vaccolino'		PROFILO sismico fino a 320 metri		
Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)	
1	3.1	141.9	0.0	
2	6.3	132.3	3.2	
3	9.6	151.1	3.3	
4	13.0	168.3	3.4	
5	16.6	174.7	3.6	
6	20.3	184.4	3.7	
7	24.1	195.5	3.8	
8	28.1	203.1	4.0	
9	32.1	215.4	4.1	
10	36.4	226.1	4.2	
11	40.7	239.8	4.3	
12	45.2	250.0	4.5	
13	49.7	255.6	4.6	
14	54.5	264.1	4.7	
15	59.3	264.5	4.8	
16	64.3	264.0	5.0	
17	69.4	279.9	5.1	
18	74.6	279.4	5.2	
19	80.0	295.7	5.4	
20	85.5	295.7	5.5	
21	91.1	312.7	5.6	
22	96.8	313.4	5.7	
23	102.7	314.4	5.9	
24	108.7	332.3	6.0	
25	114.8	333.6	6.1	

ESAC-02 Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
26	121.0	335.0	6.3
27	127.4	336.4	6.4
28	133.9	354.2	6.5
29	140.6	355.2	6.6
30	147.3	356.0	6.8
31	154.2	356.6	6.9
32	161.2	373.5	7.0
33	168.4	373.6	7.1
34	175.6	373.6	7.3
35	183.0	373.4	7.4
36	190.6	373.1	7.5
37	198.2	389.3	7.7
38	206.0	389.0	7.8
39	213.9	388.9	7.9
40	221.9	388.9	8.0
41	230.1	389.1	8.2
42	238.4	389.7	8.3
43	246.8	390.7	8.4
44	255.4	392.2	8.5
45	264.0	413.0	8.7
46	272.8	415.6	8.8
47	281.8	419.1	8.9
48	290.8	423.4	9.1
49	318.4	428.7	27.6
50	-	438.4	-