

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 1 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

METANODOTTO: CELLINO ATTANASIO – PINETO

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOTECNICHE E GEOFISICHE



0	Emissione per Enti	Stroppa	Pedini	Banci	28/06/21
Rev.	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 2 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

INDICE

1	PREMESSA	3
	1.1 Elaborati di riferimento	3
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	4
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
4	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE	6
	4.1 Programma ed ubicazione delle indagini	6
	4.2 Sondaggi Geognostici	10
	4.3 Prove Penetrometriche in Foro (SPT)	11
	4.4 Prove Penetrometriche Statiche (CPT)	13
	4.5 Prove Penetrometriche Dinamiche Super-pesanti (DPSH)	15
	4.6 Prelievo di Campioni Indisturbati e rimaneggiati	16
	4.7 Prove Geotecniche di Laboratorio	17
	4.8 Tomografia Sismica a Rifrazione in Onde SH	24
	4.9 Prospezioni Sismiche di Tipo MASW	27
	4.10 Prospezioni di Tomografia Elettrica 2D (ERT)	29
5	ALLEGATI	31
6	ANNESI	31

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 3 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

1 PREMESSA

La presente relazione espone le modalità di esecuzione e la tipologia e numero di indagini geotecniche e geofisiche eseguite lungo il tracciato del Met. Cellino Attanasio-Pineto DN 200 (8"), DP 75 bar, MOP 60 bar (e opere in dismissione connesse).

Il rifacimento del metanodotto esistente, l'adeguamento di alcuni impianti esistenti e la realizzazione di nuovi impianti ad esso connessi è stato ritenuto necessario in quanto il metanodotto esistente ha raggiunto la sua vita tecnica utile.

L'opera in progetto prevede sostanzialmente la realizzazione di una nuova condotta DN 200 (8"), avente una pressione di progetto di 75 bar, MOP 60 bar, nel tratto che va dallo Skid esistente di Cellino Attanasio (Nodo 5960) alla Cameretta N. 8 di Pineto (Nodo 6140) e la dismissione della condotta esistente nello stesso tratto.

Inoltre, sono previste alcune opere connesse al metanodotto in progetto, consistenti nella realizzazione di ricollegamenti ad utenze private.

Le opere in progetto ricadono interamente nella Regione Abruzzo, in provincia di Teramo, interessando i comuni di Cellino Attanasio, Atri e Pineto.

1.1 Elaborati di riferimento

- 5718-001-P-PG-D-1038 Carta delle indagini geotecniche e geofisiche;

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 4 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Le attività geognostiche in sito sono state svolte in base alle normative vigenti e secondo quanto riportato sulle norme tecniche di appalto della committenza.

- Decreto Ministeriale n. 47 (11/3/1988). "Norme Tecniche riguardanti le indagini su terreni e sulle rocce; i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81.
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana) - "Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche".
- A.G.I. (1994) - "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio".
- UNI-ENV 1997-3:2002 (Eurocodice 7): "Progettazione Geotecnica-Progettazione assistita con prove in sito".
- Decreto legislativo 9 aprile 2008, n.81 - "Attuazione dell'art. 1 della legge agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro" e s.m.i.
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 - "Norme tecniche per le costruzioni" (NTC2018), pubblicato nella G.U. del 20.02.2008 n.42 e s.m.i.
- Circolare 21 Gennaio 2019 n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018".
- ASTM D2216-80; ASTM D85483; ASTM D4318-84; ASTM D421-85; ASTM D2166-91; ASTM3080-72.
- ASTM D1586 - Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT and Split- Barrel Sampling of Soils.
- ASTM D1587 - Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Fine-Grained Soils for Geotechnical Purposes.
- ASTM D5777-00 (2006) –Tomografia sismica
- ASTM D5778 - Standard Test Method for Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils.
- ASTM D6429-99: "Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods"

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 5 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le opere in progetto e quelle in dismissione sono localizzate nel settore nord-orientale della regione Abruzzo ed interessano la provincia di Teramo (Fig. 3-1).

In particolare, gli interventi previsti si suddividono come segue:

- Metanodotto “Cellino Attanasio - Pineto” DN 200 (8”), DP 75 bar, nel tratto Cellino Attanasio-Pineto, il quale percorre per un totale di 20+158 km i territori comunali di Cellino Attanasio, Atri e Pineto.
- Metanodotto in dismissione “Cellino Attanasio - Pineto” DN 200 (8”), MOP 60 bar, il quale percorre per un totale di 19+811 km i territori comunali di Cellino Attanasio, Atri e Pineto.
- Ricollegamento 5990 - 6000 / 6010, il quale percorre per un totale di circa 0+033 km il territorio comunale di Atri e contestuale dismissione di circa 0+020 km;
- Ricollegamento 6050 - Utenza FIA, il quale percorre per un totale di circa 0+034 km il territorio comunale di Atri e contestuale dismissione di circa 0+010 km;
- Ricollegamento 6090, il quale percorre per un totale di circa 0+030 km il territorio comunale di Pineto e contestuale dismissione;
- Ricollegamento 6140 - Utenza Cardinali, il quale percorre per un totale di circa 0+017 km il territorio comunale di Pineto e contestuale dismissione di circa 0+006 km.

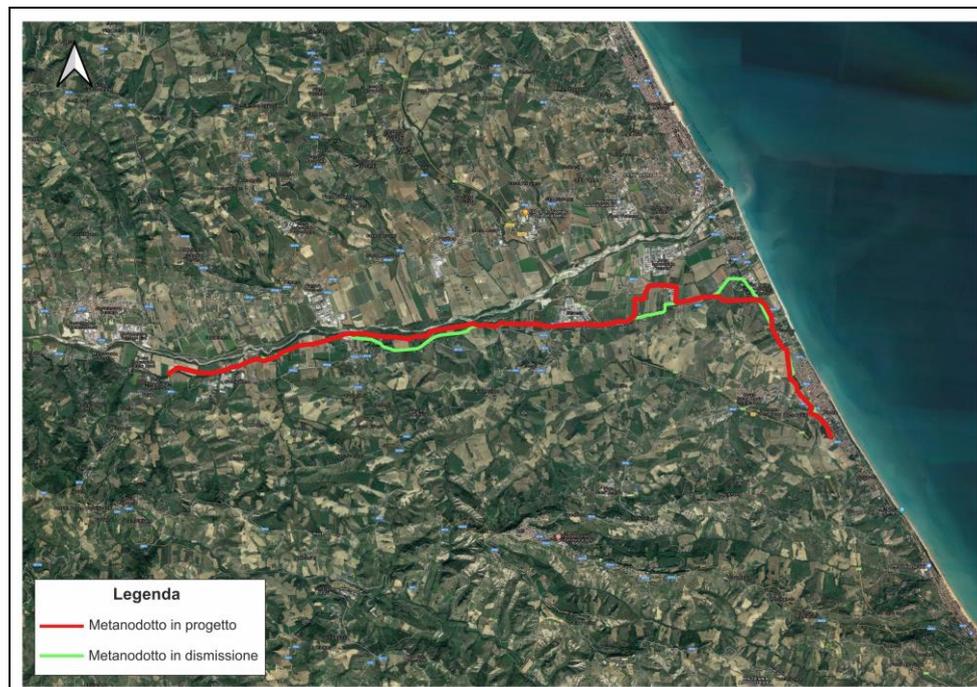


Fig. 3-1 – Foto aerea dell’area di studio con indicate le opere in progetto e in dismissione. Immagine estratta da google earth

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 6 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

4 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE

4.1 Programma ed ubicazione delle indagini

Le attività relative alle indagini geotecniche e geofisiche, comprensive della fase di richiesta dei permessi, sono state svolte nel periodo compreso tra il mese di aprile del 2021 ed il mese di giugno del 2021.

Le indagini condotte in sito sono consistite in:

- **n°18** sondaggi geognostici a carotaggio continuo ai fini della caratterizzazione geotecnica ed in parte ambientale. Durante l'esecuzione di tali sondaggi state effettuate **n°46** prove SPT in foro (Annesso 1);
- **n°1** prova penetrometrica di tipo CPT (Annesso 2);
- **n°3** prove penetrometriche di tipo DPSH (Annesso 3);
- **n°27** campioni indisturbati e **n° 2** campione rimaneggiato di terreno prelevati nei sondaggi geognostici e sottoposti a prove geotecniche di laboratorio (Annesso 4);
- **n°1** stendimento geofisico di sismica a rifrazione con restituzione tomografica, per un totale di 420 m circa, in funzione della stratigrafia dei terreni esplorati, per l'investigazione dell'intero sviluppo delle trenchless previste in progetto (Annesso 5);
- **n°7** prove geofisiche di tipo MASW (Annesso 6);
- **n°2** prospezioni di tomografia elettrica per un totale di 640 m circa (Annesso 7).

Le ubicazioni delle indagini sono visibili nei Doc. n. 5718-001-P-PG-D-1038 Carta delle indagini geotecniche e geofisiche.

Nelle tabelle a seguire sono schematizzate le informazioni inerenti alle attività svolte in sito. Per ulteriori dettagli e approfondimenti si rimanda ai relativi Annessi al presente documento.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 7 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

Tab. 4-1 - Descrizione tecnica dei sondaggi geognostici eseguiti

	PUNTO DI INDAGINE			Coordinate UTM		CAMPIONI			PROVE INFORMATIVE
	Denominazione punto	Data	Profondità dal p.c.	X (m)	Y (m)	Indisturbati	Rimane ggati	Terre e rocce da scavo	SPT
			ml						
1	L1-SH01	21/04/2021	10.00	407345,15	4718634,99	1	-	2	2
2	L1-SH02	21/04/2021	15.00	409721,05	4718948,79	2	-	-	2
3	L1-SH03	20/04/2021	30.00	409868,56	4718997,98	3	-	-	2
4	L1-SH04	13/04/2021	15.00	409987,36	4719037,61	2	-	2	3
5	L1-SH05	21/04/2021	10.00	410859,37	4719328,77	1	-	2	2
6	L1-SH06	22/04/2021	10.00	411546,35	4719523,40	-	1	-	1
7	L1-SH07	13/04/2021	10.00	413220,23	4719460,77	1	-	2	2
8	L1-SH08	12/04/2021	10.00	417153,02	4719819,12	1	-	-	2
9	L1-SH09	12/04/2021	15.00	417853,26	4719821,54	1	-	2	3
10	L1-SH10	12/04/2021	15.00	417954,53	4719825,52	1	-	2	3
11	L1-SH11	10/04/2021	15.00	421270,71	4720427,72	2	-	-	3
12	L1-SH12	09/04/2021	50.00	421433,21	4720433,43	2	-	-	4
13	L1-SH13	14/04/2021	15.00	421875,90	4720420,28	1	1	-	3
14	L1-SH14	11/06/2021	15.00	422385,94	4719247,38	2	-	-	3
15	L1-SH15	10/06/2021	30.00	422549,94	4718803,32	2	-	-	3
16	L1-SH16	09/06/2021	25.00	422994,87	4717986,88	2	-	2	3
17	L1-SH17	09/06/2021	10.00	423081,45	4717730,34	2	-	-	3
18	L1-SH18	11/06/2021	10.00	423556,20	4717068,47	1	-	2	2

Tab. 4-2 – Descrizione e ubicazione delle prove penetrometriche statiche (CPT) eseguite

Denominazione punto	Data	Profondità (m)	Coordinate UTM	
			X (m)	Y (m)
L1_P03	17/06/2021	9,60	408111.49	4718672.43

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITA' REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 8 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

Tab. 4-3 – Descrizione e ubicazione delle prove penetrometriche dinamiche (DPSH) eseguite

Denominazione punto	Data	Profondità (m)	Coordinate UTM	
			X (m)	Y (m)
L1_P01	17/06/2021	9,80	414736.24	4719816.68
L1_P02	17/06/2021	7,80	420919.20	4720432.45
L1_P06	17/06/2021	10,20	421905.46	4720226.95

Tab. 4-4 – Descrizione e ubicazione delle prospezioni sismiche MASW

Denominazione Indagine	Coordinate UTM				Categoria di sottosuolo
	Inizio		Fine		
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	
MASW 1	407345.15	4718634.99	407394.57	4718665.24	C
MASW 2	410807.03	4719322.97	410863.85	4719333.71	B
MASW 3	413187.45	4719482.51	413246.44	4719486.83	C
MASW 4	417142.20	4719821.16	417200.52	4719825.64	C
MASW 5	421799.86	4720417.73	421771.42	4720468.74	C
MASW 6	422463.50	4718986.63	422469.43	4718928.53	C
MASW 7	423538.69	4717093.67	423562.78	4717040.16	C

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITA' REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 9 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

Tab. 4-5 – Descrizione e ubicazione delle tomografie sismiche a rifrazione.

Denominazione Indagine	Lunghezza (m)	Coordinate UTM			
		Inizio		Fine	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
ST_3	420	422492.19	4719026.13	422545.77	4718628.81

Tab. 4-6 – Descrizione e ubicazione delle tomografie elettriche (ERT).

Denominazione Indagine	Lunghezza (m)	Coordinate UTM			
		Inizio		Fine	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
ERT_1	320	409812.37	4718908.01	410023.13	4719046.31
ERT_2	320	421268.01	4720426.81	421671.00	4720448.71

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 10 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

4.2 Sondaggi Geognostici

I n°18 sondaggi sono stati eseguiti con il metodo del carotaggio continuo a rotazione, utilizzando un carotiere di diametro 101 mm e lunghezza 1,00 e 1,50 m.

La colonna di rivestimento del foro è stata realizzata con tubazioni metalliche di diametro di 127 mm mentre le aste di perforazione usate hanno diametro 89,9 mm e lunghezze di 1,50 m e 3,00 m.

Per l'esecuzione dei sondaggi sono state utilizzate 2 diverse tipologie di sonde idrauliche: CMV MK 600 e MAIT GEA 400 aventi le caratteristiche riportate nella Tab. 4-7 e nella Tab. 4-8.

Tab. 4-7 – Sonda oleodinamica CMV MK 600

<p>CMV MK 600 <i>Velocità di Rotazione:</i> 0 ~ 170 rpm; <i>Motore potenza:</i> 59.5/81 kW/hp; <i>Coppia Massima:</i> 6.5 KNm @46 rpm; <i>Corsa Utile:</i> 3500 mm; <i>Spinta sull'utensile:</i> 26 KN; <i>Tiro:</i> 3800 kg; <i>Pompe Acqua :</i> 120 lt a 20 bar; <i>Scarotatrice:</i> 15 lt a 150 bar.</p>	
--	---

Tab. 4-8 – Sonda oleodinamica MAIT GEA 400

<p>MAIT GEA <i>Velocità di Rotazione:</i> 0 ~ 800 rpm; <i>Motore potenza:</i> 115 Cv; <i>Coppia Massima:</i> 1300 Kgm @35 rpm; <i>Corsa Utile:</i> 3400 mm; <i>Tiro-spinta:</i> 6000 kg; <i>Pompe Acqua :</i> 180 lt a 60 bar; <i>Scarotatrice:</i> 50 lt a 50 bar.</p>	
---	--

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 11 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

Le carote estratte sono state collocate in apposite cassette catalogatrici in PVC, riportanti tutte le indicazioni relative al cantiere: data, committente, località, id. sondaggio, profondità di prelievo.

Per ogni punto di sondaggio, il geologo responsabile di cantiere ha fotografato la postazione e le cassette e ha compilato una scheda stratigrafica del sondaggio, completandola con i seguenti punti:

- date di perforazione, metodo di perforazione, attrezzatura impiegata, diametro di perforazione, fluido di circolazione, nominativo del compilatore, percentuale di recupero;
- descrizione stratigrafica con riferimento al tipo di terreno, consistenza, colore, particolarità aggiuntive;
- profondità rivestimento, strumentazione installata, profondità falda, campioni prelevati, prove eseguite in foro (SPT) e sulle carote di terreno (pocket penetrometer).

Al termine dell'esecuzione delle perforazioni e dei campionamenti, i fori dei sondaggi sono stati sigillati mediante miscela cemento/bentonite.

Per i risultati ottenuti dall'esecuzione dei sondaggi si rimanda all'Annesso 1 al presente documento di cui ne fa parte integrante.

Le ubicazione delle indagini sono visibili nel Doc. n. 5718-001-P-PG-D-1038 Carta delle indagini geotecniche e geofisiche.

4.3 Prove Penetrometriche in Foro (SPT)

Durante l'esecuzione dei sondaggi, la perforazione è stata accompagnata dall'esecuzione di prove penetrometriche in foro (SPT), scelte sulla base degli interventi in progetto ed in base alla tipologia di terreni effettivamente individuati.

La prova penetrometrica standard (SPT) si esegue durante la perforazione e consiste nel far penetrare nel terreno, per una profondità di 45 cm, un campionatore di dimensioni standardizzate (campionatore a pareti grosse Raymond) collegato alla superficie mediante batteria di aste sulla cui testa agisce un maglio con peso di 63,5 kg e da un'altezza di 76 cm (cfr. Annesso 1 al presente documento).

Durante la prova si misura:

- N1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";
- N2 = numero di colpi per la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;
- N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 12 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

$$NSPT = N2 + N3$$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

- aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m;
- testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- maglio di acciaio di 63,5 kg;
- dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0,75 m;
- centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna;
- punta conica di diametro 51 mm, angolo 60°.

In Tab. 4-9 sono riportate le n°45 prove SPT eseguite in corrispondenza di ogni sondaggio e le relative profondità.

Tab. 4-9 – Sondaggi, prove SPT e intervalli di profondità

SONDAGGIO	SPT E INTERVALLI DI PROFONDITÀ	PROVE SPT N° COLPI	N _{SPT}
L1_SH01	SPT1: 2.00 m dal p.c. SPT2: 4,00 m dal p.c.	2-4-5 3-5-7	9 12
L1_SH02	SPT1: 4.00 m dal p.c. SPT2: 8,00 m dal p.c.	4-6-8 7-11-13	14 24
L1_SH03	SPT1: 8,50 m dal p.c. SPT2: 12,00 m dal p.c.	3-6-11 3-6-8	17 14
L1_SH04	SPT1: 4.00 m dal p.c. SPT2: 8.00 m dal p.c. SPT3: 12,00 m dal p.c.	7-7-10 50 (Rif.) 13-15-18	17 - 33
L1_SH05	SPT1: 2.00 m dal p.c. SPT2: 4,00 m dal p.c.	2-2-3 2-3-5	5 8
L1_SH06	SPT1: 4.50 m dal p.c.	4-6-7	13
L1_SH07	SPT1: 2,00 m dal p.c. SPT2: 4,00 m dal p.c.	3-5-7 4-7-8	12 15
L1_SH08	SPT1: 2.00 m dal p.c. SPT2: 4,00 m dal p.c.	3-5-7 4-7-8	12 15
L1_SH09	SPT1: 2.00 m dal p.c. SPT2: 4,00 m dal p.c. SPT3: 8,00 m dal p.c.	7-8-10 8-9-10 9-11-12	18 19 23
L1_SH10	SPT1: 2,00 m dal p.c. SPT2: 4,00 m dal p.c. SPT3: 8,00 m dal p.c.	5-7-9 7-8-10 7-9-12	16 18 21
L1_SH11	SPT1: 3,00 m dal p.c. SPT2: 7,00 m dal p.c.	8-12-14 10-13-14	26 27

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 13 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

SONDAGGIO	SPT E INTERVALLI DI PROFONDITÀ	PROVE SPT N° COLPI	N _{SPT}
L1_SH12	SPT1: 5,00 m dal p.c. SPT2: 10,00 m dal p.c. SPT3: 15,00 m dal p.c. SPT4: 20,00 m dal p.c.	10-13-14 13-14-16 15-16-19 18-19-23	27 30 35 42
L1_SH13	SPT1: 3,00 m dal p.c. SPT2: 7,00 m dal p.c. SPT3: 12,00 m dal p.c.	4-7-11 5-7-8 10-13-15	18 13 28
L1_SH14	SPT1: 3,50 m dal p.c. SPT2: 7,00 m dal p.c. SPT3: 12,00 m dal p.c.	12-14-16 8-10-13 13-14-16	30 23 30
L1_SH15	SPT1: 5,00 m dal p.c. SPT2: 10,00 m dal p.c. SPT3: 15,00 m dal p.c.	15-18-21 16-15-11 16-15-17	39 26 32
L1_SH16	SPT1: 5,00 m dal p.c. SPT2: 10,00 m dal p.c. SPT3: 15,00 m dal p.c. (prova a rifiuto)	6-7-6 12-13-14 18-(Rif.\8 cm)	13 27 Rif.
L1_SH17	SPT1: 3,50 m dal p.c. SPT2: 6,00 m dal p.c. SPT3: 9,00 m dal p.c.	4-3-4 6-7-8 8-10-11	7 15 21
L1_SH18	SPT1: 2,00 m dal p.c. SPT2: 4,00 m dal p.c.	2-4-4 6-8-11	8 19

4.4 Prove Penetrometriche Statiche (CPT)

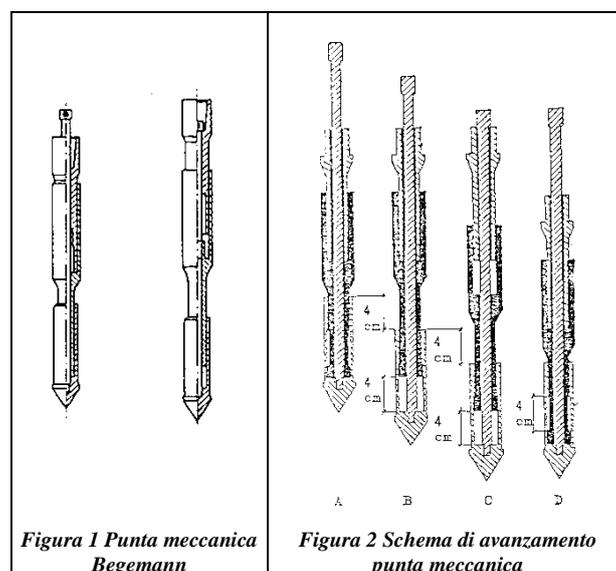
La prova penetrometrica statica CPT (*Cone Penetration Test – Deep, quasi static, cone end friction cone penetration test of soil - ASTM D3441/86*) consiste nell'infiggere a pressione nel terreno una punta conica (angolo di penetrazione di 60° e area della sezione trasversale di 10 cm²) mediante una batteria di aste e nel registrare la resistenza alla penetrazione nonché la resistenza laterale per attrito del terreno.

Per eseguire le prove CPT è stato utilizzato un penetrometro statico PAGANI TG 63-200 autoancorante semovente, in grado di imprimere alla batteria di aste una spinta massima di 20 tonnellate. Il contrasto è stato realizzato mediante due eliche di ancoraggio rese solidali con gli strati superficiali del terreno. La registrazione dei dati è avvenuta attraverso una centralina digitale direttamente collegata alla cella di carico. La velocità di infissione della punta è stata di due centimetri per secondo (± 0.5 cm/sec). Nel corso delle prove, al fine di limitare il valore di attrito totale lungo la batteria di aste, è stato inserito un apposito "anello allargatore".

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 14 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

Per l'esecuzione delle prove è stata utilizzata *una punta conica meccanica* (angolo di penetrazione di 60° e area della sezione trasversale di 10 cm^2) del *tipo Begemann [1953]* in grado di eseguire l'avanzamento del cono in modo discontinuo e di rilevare il valore dell'attrito laterale locale attraverso un manicotto posto al di sopra della punta (*Friction Sleeve Cone*: superficie laterale di 150 cm^2).



Le letture sono state eseguite, in modo discontinuo, ogni venti centimetri di penetrazione, rilevando le *pressioni di picco* corrispondenti alla *resistenza di punta R_p* (primi 4 cm di penetrazione) quindi alla *resistenza della punta più il manicotto R_f* (ulteriori 4 cm di penetrazione), ed infine è stata rilevata la resistenza relativa alla penetrazione della *punta più il manicotto più la batteria di aste R_t* (restanti 12 cm di penetrazione) a testimonianza dello sforzo totale esercitato dal dispositivo di spinta.

Per i risultati ottenuti dall'elaborazione delle prove CPT si rimanda all'Annesso 2 al presente documento di cui ne fa parte integrante.

Le ubicazione delle indagini sono visibili nel Doc. n. 5718-001-P-PG-D-1038 Carta delle indagini geotecniche e geofisiche.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 15 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

4.5 Prove Penetrometriche Dinamiche Super-pesanti (DPSH)

I sondaggi penetrometrici dinamici DPSH sono prove geotecniche puntuali e consistono nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio. Tale asta è prolungabile tramite una batteria di aste di diametro di 34 mm le quali possono scorrere all'interno ed in modo alternato di 48 mm.

L'energia di infissione è fornita da un maglio del peso di 73,5 kg che, battendo a caduta libera sulle aste, cade da un'altezza costante di 75,0 cm, per mezzo di un dispositivo di sganciamento automatico compiendo per ogni battuta un lavoro specifico pari a 234 kJ/mq. Nel corso della prova si rileva il numero di colpi necessari per la penetrazione di 30 cm della punta ed alternativamente del rivestimento.

La resistenza del terreno dipende dalle caratteristiche fisico-meccaniche nel quale esso si trova allo stato naturale e pertanto per terreni incoerenti dipende prevalentemente dallo stato di addensamento dei granuli, mentre per terreni coesivi dipende dal contenuto di umidità naturale.

Le informazioni fornite dalle prove penetrometriche dinamiche DPSH sono di tipo continuo, poiché le misure di resistenza alla penetrazione vengono eseguite durante tutta l'infissione. Il campo di utilizzazione è molto vasto, potendo essere eseguita praticamente in tutti i tipi di terreno e fornendo una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

Le prove DPSH sono state effettuate con un penetrometro dinamico super-pesante PAGANI TG 63-200 kN e/o con un GeoDeepDrill DPSH63-73; le prove sono state eseguite secondo le modalità ISSMFE (1988), mediante infissione nel terreno di una punta conica posta all'estremità di un'asta d'acciaio; la penetrazione è avvenuta per mezzo di un meccanismo di battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio di dato peso. Il conteggio dei colpi necessari all'avanzamento di un tratto di asta di lunghezza stabilita, ha permesso di utilizzare le relazioni empiriche che forniscono la resistenza del terreno all'infissione (R_d): consentendo di correlare NDPSH a NSPT e di confrontare NDPSH con qc ottenuto con la prova statica.

L'attrezzatura utilizzata durante l'esecuzione delle N°38 DPSH è la seguente: maglio di 63,5 kg; altezza di caduta 0,75 m; aste di lunghezza 1,0 m e peso 6,31 kg; penetrazione standard 0,20 cm; punta conica di angolo di apertura 90° e area di 20,43 cm².

Per i risultati ottenuti dall'elaborazione delle prove DPSH si rimanda all'Annesso 3 al presente documento di cui ne fa parte integrante.

Le ubicazioni delle indagini sono visibili nel *Doc. n. 5718-001-P-PG-D-1038* Carta delle indagini geotecniche e geofisiche.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 16 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

4.6 Prelievo di Campioni Indisturbati e rimaneggiati

Nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo sono stati prelevati n°27 campioni indisturbati, tramite l'utilizzo di campionatori a pareti sottili tipo Shelby di lunghezza 60 cm e diametro esterno 89 mm, infissi a pressione nel terreno, successivamente sigillati con paraffinatura e tappi a tenuta. Inoltre, sono stati prelevati n° 2 campioni rimaneggiati, direttamente dalla cassetta catalogatrice, sigillati in un sacchetto di plastica ed è stato posto al di sopra di esso la sigla del sondaggio e la profondità di prelievo per renderlo facilmente riconoscibile.

Durante la perforazione, sono stati prelevati campioni indisturbati, i quali sono state eseguite diverse prove di laboratorio; inoltre per ogni sondaggio sono state eseguite prove di tipo Standard Penetration Test sopra descritte. Le profondità di prelievo dei campioni sono state scelte con cura di caratterizzare i target specifici per ogni cambio significativo di litologia e sono visibili in Tab. 4-10.

Sui suddetti campioni sono state eseguite le prove geotecniche di laboratorio illustrate nel paragrafo successivo.

Tab. 4-10 – Sondaggi, campioni indisturbati e rimaneggiati e intervalli di profondità

SONDAGGIO	CAMPIONI E PROFONDITÀ DI PRELIEVO
L1_SH01	S01 CI1: 3,00-3,50 m dal p.c.
L1_SH02	S02 CI1: 5,00-5,50 m dal p.c. S02 CI2: 10,00-10,50 m dal p.c.
L1_SH03	S03 CI1: 8,00-8,50 m dal p.c. S03 CI2: 15,00-15,50 m dal p.c. S03 CI3: 25,00-25,50 m dal p.c.
L1_SH04	S04 CI1: 5,00-5,37 m dal p.c. S04 CI2: 10,00-10,50 m dal p.c.
L1_SH05	S05 CI1: 3,00-3,50 m dal p.c.
L1_SH06	S06 CR1: 5,50-6,00 m dal p.c.
L1_SH07	S07 CI1: 3,00-3,40 m dal p.c.
L1_SH08	S08 CI1: 3,00-3,50 m dal p.c.
L1_SH09	S09 CI1: 3,00-3,48 m dal p.c.
L1_SH10	S10 CI1: 3,00-3,43 m dal p.c.
L1_SH11	S11 CI1: 4,00-4,50 m dal p.c. S11 CI2: 8,00-8,50 m dal p.c.
L1_SH12	S12 CI1: 40,00-40,55 m dal p.c. S12 CI2: 50,00-50,50 m dal p.c.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 17 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

SONDAGGIO	CAMPIONI E PROFONDITÀ DI PRELIEVO
L1_SH13	S13 CI1: 4,00-4,50 m dal p.c. S13 CR2: 8,00-8,40 m dal p.c.
L1_SH14	S14 CI1: 3,00-3,50 m dal p.c. S14 CI2: 6,00-6,50 m dal p.c.
L1_SH15	S15 CI1: 20,00-20,50 m dal p.c. S15 CI2: 30,00-30,50 m dal p.c.
L1_SH16	S16 CI1: 20,00-20,50 m dal p.c. S16 CI2: 25,00-25,50 m dal p.c.
L1_SH17	S17 CI1: 3,00-3,50 m dal p.c. S17 CI2: 5,50-6,60 m dal p.c.
L1_SH18	S18 CI1: 3,00-3,50 m dal p.c.

4.7 Prove Geotecniche di Laboratorio

Sui n°27 campioni indisturbati e n°2 campioni rimaneggiati prelevati sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio da L&R Laboratori Riuniti, laboratorio autorizzato dal Ministero dei Trasporti ad eseguire prove geotecniche su terreni (Decreto 8502 del 22/12/2009).

I campioni prelevati sono stati sottoposti alle prove indicate nella seguente Tab. 4-11.

Tab. 4-11 – Prove di laboratorio e normativa di riferimento.

Prova di laboratorio	Normativa di riferimento
Apertura e descrizione generale del campione	Raccomandazioni AGI 1994
Contenuto d'acqua allo stato naturale	ASTM D2216-80
Peso di volume allo stato naturale	Raccomandazioni AGI 1994
Peso specifico dei granuli	ASTM D854-83
Limiti di Atterberg (LL/LP/LR)	ASTM D4318-84
Analisi granulometrica	ASTM D421-85 - raccomandazioni AGI 1994
Prova di espansione laterale libera	ASTM D2166-91
Prova di taglio diretto	D3080-72 Raccomandazioni AGI 1994

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 18 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

➤ **Contenuto d'acqua allo stato naturale, peso di volume allo stato naturale e peso specifico dei granuli**

Il contenuto naturale d'acqua di un campione di terreno rappresenta la determinazione più semplice e più comunemente effettuata in laboratorio. Tale indagine porta ad un primo riconoscimento del materiale in oggetto e la sua determinazione permette di discriminare il terreno in base alla litologia.

La prova viene effettuata si esegue su un campione indisturbato da cui si prelevano alcuni provini, che vengono pesati, essiccati in forno a 105-110°C fino a massa costante e ripesati a temperatura ambiente. Le masse secca e umida così determinate consentono il calcolo della percentuale d'acqua contenuta in ciascun provino.

La determinazione del peso di volume è di grande utilità per i campioni che verranno poi sottoposti a prove di compressibilità e resistenza al taglio; la procedura permette di ricavare un campione di volume noto senza alterarne naturalmente la struttura.

La metodologia per la determinazione di tale parametro avviene mediante pesatura del campione naturale, successiva immersione in paraffina liquida e pesatura finale in acqua distillata, determinando, così, il peso totale di un campione (compreso il peso dell'acqua) in rapporto al volume totale occupato.

Il peso specifico dei granuli rappresenta il rapporto tra il peso del campione secco ed il volume occupato dai soli granuli, e costituisce un dato fondamentale per diverse tipologie di prova su terre. È determinata con il metodo del picnometro calibrato, che consente di determinare la massa volumica dei grani conoscendo il volume occupato dai grani ed il peso secco del materiale.

➤ **Limiti di Atterberg**

Rappresentano il valore limite del contenuto di acqua per il quale si registra una transizione dello stato fisico del terreno.

In particolare, si distinguono i seguenti limiti:

- Limite liquido (W_L), si determina mediante il Cucchiaino di Casagrande. All'interno di esso viene disposto un provino lavorato con acqua su cui viene praticato un solco. Con un dispositivo a manovella il Cucchiaino viene lasciato cadere ripetutamente, ad intervalli di tempo regolari, contando il numero di colpi necessari a far richiudere il solco per 13 mm di lunghezza;
- Limite di plasticità (W_P), si determina realizzando manualmente dei bastoncini di 3,2 mm di spessore e rotolandoli su una lastra di materiale poroso sino all'inizio della loro fessurazione. Generalmente si effettuano 3 determinazioni e si assume il valore medio;
- Limite di ritiro (W_s), si determina su un provino indisturbato che viene essiccato per passi successivi e del quale viene misurato il contenuto d'acqua ad ogni passaggio.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 19 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

➤ **Analisi granulometrica**

- L'analisi granulometrica si effettua per la classificazione dei terreni e si esegue mediante l'utilizzo di due procedimenti differenti, quali setacciatura e sedimentazione.
- Nel metodo per setacciatura vengono utilizzati una serie di setacci con dimensione della maglia decrescente verso il basso (standard A.S.T.M. da 4,76 mm a 0,074 mm).
- La vagliatura avviene attraverso il posizionamento della serie di setacci su una piastra vibrante, la quale viene lasciata operare per almeno 15 minuti; al termine ciascun setaccio, precedentemente tarato, viene pesato, è possibile, così, calcolare percentualmente il peso della frazione di materiale che passa da una determinata dimensione della maglia di un setaccio.
- Per la componente fine di diametro compreso tra 0,074 e 0,001 mm (limi e argille) si effettua un'analisi di sedimentazione, con l'ausilio di densimetri. Tali strumenti sono basati sul principio del galleggiamento, cioè sulla misura della densità di sospensione, ottenuta miscelando il materiale ad acqua con aggiunta di sostanze disperdenti.
- L'interpretazione è basata sulla legge di Stokes, la quale correla la velocità di sedimentazione di una particella in sospensione al diametro della stessa ed alla densità della miscela.
- I risultati vengono riportati sulla curva granulometrica.

➤ **Prova di taglio diretto**

La prova di taglio diretto consiste nel sottoporre un campione di terreno, lungo un suo piano di scorrimento, a due forze poste su piani ortogonali tra loro, in particolare, ad una pressione normale costante, verticale, e ad una tensione tangenziale crescente, orizzontale.

Il provino, di base quadrata di 60 mm ed altezza di 20-30 mm, completamente immerso in acqua in modo che non si annullino le pressioni a contorno, viene posizionato all'interno di una cella detta scatola di Casagrande, costituita da due semiscatole per consentire lo scivolamento della parte superiore rispetto a quella inferiore.

La prova, sempre in condizioni drenate, viene condotta su almeno tre provini appartenenti allo stesso campione di terreno, preventivamente consolidati a tre valori di pressione differenti.

Le prove di taglio diretto si dividono in due fasi: fase di consolidazione e fase di taglio. Durante la prima fase vengono applicati dei carichi crescenti in tempi prestabiliti; durante la seconda fase, invece, la prova viene condotta a velocità costante e relativamente bassa in modo da permettere la dissipazione delle pressioni interstiziali.

In conclusione, i parametri fisico meccanici ottenuti da questa prova sono l'angolo di attrito Φ' e la coesione efficace c' .

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 20 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

➤ **Prova di espansione laterale libera (ELL)**

La prova di espansione laterale rappresenta un modo semplice ed immediato per valutare la resistenza al taglio non drenata C_u dei terreni coesivi.

La prova consiste nel sottoporre ad una pressione verticale, dall'alto verso il basso, lungo la direzione dell'asse maggiore, un campione cilindrico indisturbato di terreno, a forma di cilindretto, fino alla rottura, ma lasciandolo libero di espandersi lateralmente.

La fase di compressione viene effettuata ad una velocità di deformazione costante, in modo tale che la prova si concluda nel giro di circa 10-15 minuti.

La strumentazione è rappresentata da una pressa meccanica a sviluppo verticale, un comparatore centesimale per la misura degli abbassamenti, un anello dinamometrico per la determinazione della resistenza.

Per i risultati ottenuti dalle prove geotecniche di laboratorio si rimanda all'Annesso 4 al presente documento di cui ne fa parte integrante.

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITÀ
			5718	001
	LOCALITÀ	REGIONE ABRUZZO		SPC. P-RT-D-0013
	PROGETTO	METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO		Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

Tab. 4-12 – Tabella Riassuntiva dei Parametri Geotecnici+

Sond.	Camp.	prof. (m)	W (%)	γ (t/m ³)	γ_s	eo	n	Sr (%)	granulometria				limiti				LR	Taglio				ELL cu KN/m ²	Descrizione visiva
									Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL	LP	Ic	CLASS. UNI 10006		c' KN/m ²	ϕ' (°)	cr KN/m ²	ϕ_r (°)		
L1-SH1 C1	3 - 3,5	25,88	1,97	2,73	0,75	0,43	94,95	0	1,52	42,47	56,01	49	26	1,01	A7-6	12	17	20	--	--	50,01	Argilla limosa carbonatica di colore grigio a sfumature beige a consistenza medio plastica	
L1-SH2 C1	5 - 5,5	13,76	2,09	2,67	0,45	0,31	81,23	0	6,83	44,46	48,71	52	19	1,15	A7-6	11	37	25	--	--	212,8	Argilla limosa carbonatica di colore grigio con filetti millimetrici sabbiosi, a buona consistenza	
L1-SH2 C2	10 - 10,5	12,57	2,13	2,67	0,41	0,29	81,01	9,59	9,37	32,84	48,2	41	22	1,5	A7-6	11	41	25	--	--	304	Limo argilloso con filetti sabbiosi, carbonatico, di colore grigio a buona consistenza	
L1-SH3 C1	8 - 8,5	17,67	2,12	2,69	0,49	0,33	96,39	0	0,76	36,13	63,11	49	25	1,3	A7-6	13	35	24	--	--	196,13	Argilla limosa carbonatica, di colore grigio a buona consistenza	
L1-SH3 C2	15 - 15,5	20,32	2,09	2,71	0,56	0,36	97,71	0	2,35	46,8	50,85	45	25	1,23	A7-6	12	31	20	--	--	92,18	Argilla limosa carbonatica, di colore grigio a media consistenza	
L1-SH3 C3	25 - 25,5	19,01	1,97	2,7	0,63	0,39	81,46	0	3,67	35,61	60,73	44	19	1,02	A7-6	12	42	25	--	--	173,56	Argilla marnosa di colore grigio a buona consistenza	
L1-SH4 C1	5 - 5,37	22,68	2,01	2,67	0,63	0,39	95,86	4,6	5,89	36,62	52,89	44	24	1,07	A7-6	15	10	24	--	--	31,39	Argilla limosa con ciottoli millimetrici, a composizione carbonatica, a consistenza medio bassa	
L1 SH4 C2	10 - 10,5	14,81	2,17	2,72	0,44	0,31	91,54	0	1,56	31,19	67,25	43	22	1,33	A7-6	15	45	23	--	--	375,6	Argilla marnosa di colore grigio - azzurro a buona consistenza	
L1 SH5 C1	3 - 3,5	18,72	2,06	2,64	0,52	0,34	95,64	0	17,43	43,81	38,76	38	17	0,91	A6	12	29	22	--	--	35,31	Limo argilloso sabbioso carbonatico, umido, di colore beige a media consistenza	

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITÀ
	LOCALITÀ		5718	001
	REGIONE ABRUZZO		SPC. P-RT-D-0013	
PROGETTO		Pagina 22 di 31	Rev. 0	
METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO				

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

Sond.	Camp.	prof. (m)	W	γ	γ_s	eo	n	Sr	granulometria				limiti				LR	Taglio				ELL	Descrizione visiva	
									Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL	LP	Ic	CLASS. UNI 10006		c'	ϕ'	cr	ϕ_r			cu
L1-SH6 CR1		5,5 - 6	2,22	1,89	2,71	0,47	0,32	12,81	96,72	0,65	1,41	1,22	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Ciottoli in matrice sabbiosa	
L1-SH7 C1		3 - 3,4	17	2,17	2,72	0,47	0,32	98,35	0	3,05	55,55	41,39	46	22	1,23	A7-6	14	39	24	--	--	236,35	Limo argilloso carbonatico di colore avana, buona consistenza.	
L1-SH8 C1		3 - 3,5	19,08	2,02	2,69	0,59	0,37	87,35	1,18	4,79	42,84	51,19	39	15	0,82	A6	9	32	18	--	--	116,69	Argilla limosa di colore nocciola, media consistenza, composizione carbonatica.	
L1-SH9 C1		3 - 3,48	19,54	2,05	2,7	0,57	0,36	92,1	0	2,21	37,65	60,14	43	24	1,21	A7-6	12	36	19	--	--	96,11	Argilla limosa di colore nocciola a bande grigio-azzurre, media consistenza, composizione carbonatica.	
L1-SH10 C1		3 - 3,43	16,48	2,07	2,73	0,54	0,35	83,85	1,64	4,94	43,97	49,44	37	17	1,02	A6	11	32	22	--	--	236,44	Limo argilloso carbonatico con sporadici clasti millimetrici, a buona consistenza	
L1-SH11 C1		4 - 4,5	20,33	2,04	2,71	0,6	0,37	92,07	0	0,32	38,8	60,88	51	17	0,89	A7-6	10	35	22	15	13	233,46	Argilla marnosa di colore beige a buona consistenza. Presenza di orizzonti centimetrici più tenaci.	
L1-SH11 C2		8 - 8,5	21,64	2,01	2,72	0,65	0,39	90,78	0	0,28	36,71	63,02	44	20	0,92	A7-6	15	40	26	--	--	172,58	Argilla limosa carbonatica di colore avana a buona consistenza.	
L1-SH12 C1		40 - 40,55	21,48	2,01	2,72	0,64	0,39	90,73	0	0,54	42,43	57,03	43	24	1,12	A7-6	14	39	22	11	14	204,96	Argilla limosa carbonatica di colore grigio a buona consistenza	
L1-SH12 C2		50 - 50,5	19,54	2,12	2,73	0,54	0,35	98,52	0	0,3	40,35	59,34	40	14	0,8	A6	10	43	24	--	--	220,66	Argilla limosa a buona consistenza di colore grigio a composizione carbonatica	
L1-SH13 C1		4 - 4,5	19,14	2,09	2,67	0,52	0,34	97,77	0	4,17	51,09	44,74	41	24	1,29	A7-6	13	20	25	--	--	51,96	Limo argilloso di colore grigio - giallastro carbonatico, media consistenza.	

	PROGETTISTA		COMMESSA	UNITÀ
	LOCALITÀ		5718	001
	REGIONE ABRUZZO		SPC. P-RT-D-0013	
PROGETTO		Pagina 23 di 31	Rev. 0	
METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO				

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

Sond.	Camp.	prof. (m)	W	γ	γ_s	eo	n	Sr	granulometria				limiti				LR	Taglio				ELL	Descrizione visiva	
									Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL	LP	Ic	CLASS. UNI 10006		c'	ϕ'	cr	ϕ_r			cu
L1-SH13 CR1	8 - 8,4	28,72	1,85	2,66	0,86	0,46	89,18	1,36	86,93	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Sabbia carbonatica di colore giallastro		
L1SH14 C1	3 - 3,5	19,96	1,87	2,67	0,71	0,41	75,21	0	91,39	--	--	--	--	--	--	10	30	--	--	--	--	Sabbia limosa carbonatica di colore beige a medio addensamento		
L1 SH14 C2	6 - 6,5	15,1	1,89	2,67	0,63	0,39	64,35	12,05	69,47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Sabbia carbonatica poco limosa di colore beige con sporadici inclusi litici sub arrotondati a medio addensamento		
L1 SH15 C1	20 - 20,5	20,58	2,09	2,75	0,58	0,37	97,06	0	0,92	45,08	53,99	--	--	--	--	38	22	9	14	170,64	Argilla marnosa di colore grigio con sporadici noduli sabbiosi, a media consistenza			
L1 SH15 C2	30 - 30,5	20,29	2,09	2,71	0,56	0,36	98,55	0	1,75	33,51	64,74	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Argilla marnosa di colore grigio a buona consistenza		
L1 SH16 C1	20 - 20,5	18,28	2,07	2,71	0,55	0,35	90,3	0	0,69	38,01	61,3	--	--	--	--	42	24	12	14	311,84	Argilla marnosa di colore grigio a buona consistenza			
L1 SH16 C2	25 - 25,5	16,33	2,09	2,73	0,52	0,34	86,39	0	0,58	41,28	58,14	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	Argilla marnosa di colore grigio a buona consistenza		
L1 SH17 C1	3 - 3,5	22,82	1,93	2,68	0,7	0,41	87,02	2,02	28,72	28,42	40,83	--	--	--	--	21	26	--	--	--	--	Limo argilloso sabbioso di colore beige umido, a media consistenza, con sporadici inclusi litici centimetrici sub-arrotondati		
L1 SH17 C2	5,5 - 6	29,84	1,89	2,7	0,85	0,46	94,68	35,53	5,98	20,65	37,85	--	--	--	--	28	20	--	--	--	--	Sabbia limosa con porzioni argillose con inclusi ciottoli centimetrici di colore grigio		
L1 SH18 C1	3 - 3,5	19,11	2,09	2,72	0,55	0,35	94,43	0	1,65	34,71	63,64	--	--	--	--	39	21	--	--	133,36	Argilla marnosa di colore nocciola a media consistenza			

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 24 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

4.8 Tomografia Sismica a Rifrazione in Onde SH

La tomografia sismica assiale di superficie (eseguita n. 1) è una tecnica che consente la ricostruzione in immagini della struttura interna del terreno, mediante l'impiego dei travel-time delle onde sismiche che si propagano dalla superficie.

Le indagini geofisiche sono state eseguite secondo le seguenti norme tecniche:

– **ASTM D5777-00 (2006) –Tomografia sismica**

Lo scopo è di determinare un dettagliato andamento della distribuzione della velocità delle onde sismiche longitudinali nel sottosuolo.

La metodologia adottata si avvale di un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea".

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo multicanale M.A.E. A6000S, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- capacità di campionamento dei segnali tra 0.01 e 3.33*10⁻⁵ sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break)
- filtri High Pass e Band Reject
- "Automatic Gain Control"
- convertitore A/D a 24 bit

Le onde di taglio di tipo SH (polarizzate in un piano orizzontale) sono state generate tramite battuta orizzontale di un martello su un asse di legno infisso nel terreno tramite delle lame di acciaio. I segnali sismici registrati in formato digitale sono stati analizzati nel dominio del tempo con apposito software (CWP/SU) per la stima del primo arrivo delle onde sismiche generate (SH).

La determinazione del primo arrivo delle onde SH è stata fatta tramite la tecnica dell'inversione di fase.

Il G.S.A.O. (Generalized Simulated Annealing Optimization), metodo basato sulla tecnica Monte Carlo¹, è un modello di calcolo che consente l'ottimizzazione non lineare dell'inversione dei tempi di primo arrivo delle fasi dirette e rifratte delle onde sismiche registrate durante una prospezione sismica.

Il vantaggio di tale tecnica è nell'assoluta indipendenza dal modello iniziale di velocità.

Le fasi di calcolo che vengono eseguite nel processo d'elaborazione dei dati, possono essere così sintetizzate:

□ Calcolo dei traveltimes attraverso un modello iniziale di velocità e determinazione dell'errore minimo quadrato ($E_0 = \text{least-square error}$), tra il travel – time calcolato e quello osservato. Per ogni iterazione i è possibile definire il "least – square error" secondo la formula:

$$E_i = \frac{1}{N} \left[\sum_{j=1}^N (t_j^{obs} - t_j^{cal})^2 \right] \quad (1)$$

¹ Metropolis, N., A. Rosenbluth, A. Teller, and E. Teller (1953). Equations of state calculation by fast computing machines, J. Chem. Phys. 21, 1087-1092.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 25 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

dove N è il numero di campioni, j denota ogni osservazione, e t^{obs} e t^{cal} sono rispettivamente il tempo osservato e calcolato.

□ Perturbazione del modello di velocità mediante l'inserimento di una costante di velocità casuale, mantenendo la non linearità del sistema, e calcolo del nuovo "least – square error" E_1 .

□ Determinazione della probabilità P di ammettere il nuovo modello (cioè che il modello sia accettabile):

$$P = 1; \quad E_1 \leq E_0 \quad (2)$$

$$P = P_c = \exp\left[\frac{(E_{\min} - E_1)^q \Delta E}{T}\right]; \quad E_1 > E_0 \quad (3)$$

dove P_c è la probabilità di accettare la condizione, T è chiamata temperatura;

$\Delta E = E_0 - E_1$, q è una costante d'integrazione (che si determina empiricamente), e E_{\min} è il valore oggettivo della funzione dei minimi totali. Teoricamente si ha $E_{\min} = 0$.

L'equazione (2) significa che il nuovo modello è accettato quando la "least – square error" è inferiore a quella della iterazione precedente. L'equazione (3) prevede l'accettazione condizionata di modelli con una più ampio least – square error". Ciò consente, durante l'inversione dei dati, di sfuggire dall'intorno dei minimi, andando alla ricerca del minimo globale.

□ Ripetizione delle inversioni fino al raggiungimento della convergenza richiesta tra la differenza dell'errore minimo quadrato ed il successivo modello e la probabilità di accettare nuovi modelli di velocità a minimo errore.

I risultati consistono nella restituzione dell'immagine sismica del sottosuolo espressa in termini di velocità di propagazione delle onde sismiche SH (modello di velocità default e modello di velocità normalizzato al valore massimo riscontrato) e di densità di raggi sismici (modello della densità dei raggi sismici). Quest'ultimo indica il numero di volte che la cella viene attraversata dai raggi sismici, in altri termini, seguendo il principio di Fermat, corrisponde al percorso più breve che il raggio sismico compie nel percorso sorgente ricevitore.

Dai modelli di velocità risulta che la VS è compresa tra 82 m/sec e 630 m/sec. e che tali valori sono da attribuire alla variazione dello stato di addensamento della coltre di copertura superficiale ed ai sedimenti di natura prevalentemente argillosa che costituiscono il sub-strato compatto dell'area di studio. Le variazioni di velocità sono prevalentemente verticali e sono da correlare con il diverso stato di alterazione e di rigidità (plasticità) dei terreni attraversati dal fronte sismico.

Le densità raggi sismici mostrano che la maggiore densità sismica coincide al passaggio tra la copertura superficiale, le argille alterate (**limite evidenziato da una linea tratteggiata di colore rosso – Sezione sismo-stratigrafica**) ed i terreni compatti sottostanti. Tale passaggio costituisce una vera e propria superficie di discontinuità con i terreni ad essa sottostanti.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 26 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

In funzione dei modelli di velocità delle sezioni di densità dei raggi sismici, si propone la seguente sismo-stratigrafia:

- $V_{Sh} < 260$ m/sec \Rightarrow 1° sismostrato. È attribuibile a detrito in matrice limo-sabbiosa con grado di addensamento crescente con la profondità. In seno allo stesso sismostrato, le aree con velocità < 200 m/sec sono da riferire all'aerato, ovvero mezzo fisico non completamente saturo (scarso stazionamento dell'acqua) laddove avvengono gli interscambi con l'atmosfera (presenza d'aria). Lo spessore può variare nel tempo.
- $261 < V_{Sh} < 500$ m/sec \Rightarrow 2° sismostrato. Terreni di natura argillosa limosa alterate nella porzione sottostante l'aerato. La rigidità aumenta gradualmente con la profondità.
- $500 < V_{Sh} < 800$ m/sec \Rightarrow 3° sismostrato. Terreni di natura argillosa limosa, rigidi in profondità
- $V_{Sh} > 800$ m/sec \Rightarrow 4° sismostrato. Bedrock sismico (non individuato nel transetto sismico).

Per i risultati ottenuti dalle prospezioni sismiche a rifrazione si rimanda all'Annesso 5 al presente documento di cui ne fa parte integrante.

Le ubicazioni delle indagini sono visibili nel Doc. n. 5718-001-P-PG-D-1038 Carta delle indagini geotecniche e geofisiche.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 27 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

4.9 Prospezioni Sismiche di Tipo MASW

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una indagine di tipo geofisico atta a stimare la velocità delle onde sismiche superficiali e con essa classificare, secondo la normativa vigente in materia (NTC 2018), il substrato su cui poggiano le strutture e, quindi, caratterizzare sismicamente il suolo stesso.

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale.

Le onde di Rayleigh, sono molto dispersive in un mezzo eterogeneo, propagandosi a velocità di fase e di gruppo in modo differente nel suolo e permettono di trasportare una quantità di energia artificialmente trasmessa superiore rispetto alle onde P ed S e quindi a loro volta avranno una attenuazione geometrica inferiore.

Le onde di Rayleigh raggiungono profondità dipendenti dalla lunghezza d'onda, così piccole lunghezze d'onde (alte frequenze) consentono di indagare porzioni più superficiali e viceversa.

In generale, è consigliabile eseguire stendimenti perpendicolari tra di loro per poter determinare un profilo 1-D nelle due direzioni e di associare tale metodo con altri metodi geotecnici per avere un confronto dei risultati ottenuti; infatti, la non unicità del dato è uno svantaggio per quasi tutte le tecniche geofisiche. Tuttavia, un limite della sua applicabilità è in caso di pendenze maggiori del 20 % sia della topografia del suolo che dalla presenza di discontinuità rocciose presenti. Infatti, lo stendimento deve essere disposto secondo le curve di livello e non secondo la direzione di massima pendenza. Una altra particolarità da tenere in considerazione è la disposizione dei geofoni e della sorgente, per evitare condizioni di near-offset o far-offset.

L'analisi delle onde S, mediante tecnica MASW, viene eseguita attraverso la trattazione spettrale del sismogramma, a seguito di una trasformata di Fourier, che restituisce lo spettro del segnale. In questo dominio, detto dominio trasformato, è semplice andare a separare il segnale relativo alle onde S da altri tipi di segnale.

L'osservazione dello spettro consente di notare che l'onda S si propaga a velocità variabile a seconda della frequenza dell'onda stessa, questo fenomeno è detto dispersione, ed è caratteristico di questo tipo di onde.

La registrazione simultanea di 24 canali, separati da 0,5m a 10m, fornisce una ridondanza statistica delle misure di velocità di fase e ne avvalorata la veridicità.

Il salvataggio delle tracce nel dominio temporale, previsto dal metodo, permette inoltre di distinguere ed evidenziare, durante l'analisi, le onde di Rayleigh presenti nel record che, normalmente, sono caratterizzate da un'elevata ampiezza di segnale (circa il 60% dell'energia prodotta dalla sorgente artificiale si distribuisce in onde di superficie).

Una particolare analisi spettrale, permette di distinguere il modo fondamentale delle onde di superficie da cui ricavare la curva di dispersione ed il profilo delle Vs per successiva inversione 1-D.

La teoria sviluppata suggerisce di caratterizzare tale fenomeno mediante una funzione detta curva di dispersione, che associa ad ogni frequenza la velocità di propagazione

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 28 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

dell'onda. Tale curva è facilmente estraibile dallo spettro del segnale poiché essa approssimativamente posa sui massimi del valore assoluto dello spettro.

La curva di dispersione sperimentale deve essere, poi, confrontata con quella relativa ad un modello sintetico che verrà successivamente alterato in base alle differenze riscontrate tra le due curve, fino ad ottenere un modello sintetico a cui è associata una curva di dispersione sperimentale approssimativamente coincidente con la curva sperimentale. Questa seconda fase di interpretazione è detta fase di inversione, ed indipendentemente dal software usato, può anch'essa avvenire in maniera automatica e/o manuale.

L'acquisizione dei dati in campagna è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale MAE A6000S, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- Velocità di campionamento dei segnali compresa tra 0.002 e 0.000033 sec;
- sistema di comunicazione e di trasmissione del "tempo zero" (time break);
- filtri High Pass e Band Reject;
- "Automatic Gain Control";
- convertitore A/D a 24 bit.

La configurazione spaziale in sito è equivalente ad un dispositivo geometrico punto di scoppio-geofoni "base distante in linea". In particolare è stato utilizzato il seguente set-up:

- n. 2 energizzazioni ad offset (Sx) variabile come multiplo del Gx in A/R (3 – 6 m);
- lunghezza delle tracce sismiche pari a 4.096 sec.;
- massa battente pesante di 10 Kg.

In Tab. 4-13 si riportano i valori indicativi di velocità attribuibili alle varie litologie (J.L. Mari et al. - 1999).

Tab. 4-13 – Valori indicativi di velocità in onde Sh delle litologie (J.L. Mari et. al. – 1999)

Natura del terreno	Velocità onde S (m/sec)	Densità (g/cm ³)
Areato	100 - 300	1.7 - 2.4
Sabbia	100 - 500	1.5 - 1.7
Sabbia satura	400 - 600	1.9 - 2.1
Argilla	200 - 800	2.0 - 2.4
Marna	750 - 1500	2.1 - 2.6
Sabbia argillosa satura	500 - 750	2.1 - 2.4
Arenaria porosa satura	800 - 1800	2.1 - 2.4
Calcere	1100 - 1300	1.8 - 2.3
Gesso	2500 - 3100	2.1 - 2.3

Per la definizione della categoria di sottosuolo, in ottemperanza alle N.T.C.18, sono state eseguite n. 7 prove sismiche MASW (secondo le procedure descritte ASTM D6429-99:

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 29 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

“Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods”), per i cui risultati si rimanda all'Annesso 6 al presente documento di cui ne fa parte integrante.

Le ubicazioni delle indagini sono visibili nel Doc. n. 5718-001-P-PG-D-1038 Carta delle indagini geotecniche e geofisiche.

4.10 Prospezioni di Tomografia Elettrica 2D (ERT)

La tomografia elettrica di superficie (eseguite n°2 ERT) è un metodo di acquisizione ed elaborazione del dato che restituisce rappresentazioni bidimensionali ad alta risoluzione delle caratteristiche elettriche del sottosuolo, attraverso l'utilizzo di particolari softwares.

Questa tecnica si basa sull'acquisizione di un elevato numero di misure elettriche, effettuate su un discreto numero di elettrodi (16, 24, 32, 48 ecc.) posizionati sul terreno, lungo un profilo che viene, così, suddiviso idealmente in un numero finito di maglie e celle (i cosiddetti "elementi finiti"), ciascuno di resistività omogenea ed incognita.

La prospezione consiste nella determinazione di profili o volumi di resistività e/o caricabilità attraverso la disposizione sul terreno di un numero elevato di elettrodi che progressivamente vengono spostati lungo una data direzione variandone la distanza inter-elettrodica al fine di aumentare la profondità d'investigazione.

La forma degli elementi è generalmente quadrata o rettangolare e le loro dimensioni vengono determinate in base alla distanza tra gli elettrodi (metà della spaziatura tra due elettrodi adiacenti).

Nella ricostruzione tomografica l'incognita è costituita dalla distribuzione della resistività nel terreno, mentre le misure elettriche effettuate sul terreno rappresentano i termini noti.

L'apparecchiatura utilizzata è, quindi, costituita da una serie di picchetti spazati regolarmente lungo uno stendimento e da un energizzatore che produce la corrente che viene immessa nel terreno. Sia i picchetti che l'energizzatore sono collegati ad una centrale d'acquisizione dati.

Dal punto di vista operativo il metodo consiste nell'immettere corrente nel terreno attraverso un dipolo energizzante (AB), e nel misurare tramite un dipolo di lettura (MN) la differenza di potenziale (d.d.p.) indotta al campo elettrico creato nel terreno.

Fissata l'equidistanza, le misure vengono registrate spostando alternativamente (con metodo automatico) il dipolo di corrente e quello di tensione, al fine di ottenere una maglia di punti di lettura disposti lungo una sezione.

Conoscendo nei diversi punti la differenza di potenziale e l'intensità di corrente I , si ricava la resistività apparente per ogni singolo punto applicando le formule relative alla teoria dei dipoli infinitesimali.

Ottenuti i valori di resistività apparente per i punti della maglia nella sezione stabilita, mediante softwares specifici, si ottiene un modello 2D di resistività che consente di dare un'interpretazione qualitativa circa la presenza di anomalie nell'ambito degli spessori di terreno investigati suddivisi, come precedentemente esposto, in elementi cubici.

In Tab. 4-14 si riportano i valori indicativi di resistività di varie litologie.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 30 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

Tab. 4-14 – Valori indicativi di resistività delle litologie (Norinelli A. - 1996)

Natura del terreno	Resistività (ohm·m)
Acqua pura	$10^2 - 3 \cdot 10^3$
Acqua	10 – 100
Acqua di mare	2 – 3
Calcari e dolomie	1000 – 5000
Arenarie	$60 - 10^4$
Detrito Alluvionale	50 – 1000
Ghiaie e sabbie	70 – 100
Argille (acqua dolce)	10 – 120
Argille (Acqua salata)	1 – 10
Marne	2 – 50
Sabbia (da bagnata ad asciutta)	100 – 1000
Piroclastiti	50 – 600
Rocce Ignee	100 – 10000
Tufi	10 – 40

Per i risultati ottenuti dalle tomografie elettriche si rimanda all'Annesso 7 al presente documento di cui ne fa parte integrante.

Le ubicazioni delle indagini sono visibili nel Doc. n. 5718-001-P-PG-D-1038 Carta delle indagini geotecniche e geofisiche.

	PROGETTISTA 	COMMESSA 5718	UNITÀ 001
	LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO	SPC. P-RT-D-0013	
	PROGETTO METANODOTTO CELLINO ATTANASIO - PINETO	Pagina 31 di 31	Rev. 0

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-110-212

5 ALLEGATI

- ALLEGATO 1: Carta delle indagini geognostiche e geofisiche 5718-001-P-PG-D-1038

6 ANNESSI

- ANNESSO N°1: SCHEDE DI SONDAGGIO;
- ANNESSO N°2: CERTIFICATI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT;
- ANNESSO N°3: CERTIFICATI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH;
- ANNESSO N°4: CERTIFICATI PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO;
- ANNESSO N°5: CERTIFICATI TOMOGRAFIE SISMICHE A RIFRAZIONE IN ONDE SH;
- ANNESSO N°6: CERTIFICATI PROSPEZIONI SISMICHE MASW;
- ANNESSO N°7: CERTIFICATI TOMOGRAFIE ELETTRICHE (ERT);