

COMMITTENTE:

COMUNE DI ARCIDOSO  
P.zza Indipendenza, 30



PROVINCIA:

GROSSETO

COMUNE:

ARCIDOSO

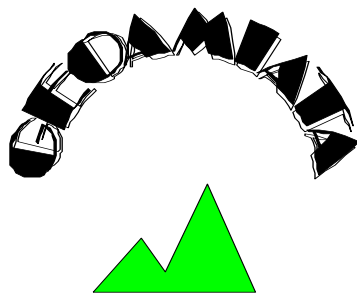
PROGETTO GENERALE:

ESTENSIONE RETE DI  
Teleriscaldamento Geotermico a  
servizio del Comune di Arcidoso

FASE PROGETTUALE:

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

4					
3					
2					
1	-	-	-	-	-
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	CONTROLLATO
TAVOLA:		OGGETTO:		DATA:	
PFTE.GE.05		RELAZIONE GEOTECNICA		SETTEMBRE 2025	
				SCALA:	
PROGETTISTA:					
<div><div><div>Dott. Ing. Gabriele Ghilardi</div><div>via G. Falcone n.12/14/16 - 24048 Treviolo (Bg) Tel: 035.335813 - e-mail: info@ingsrl.it</div><div>Studio di consulenza, ingegneria, progettazione e certificazione</div></div></div>					
FILE:		REDATTO:	VERIFICATO:	APPROVATO:	
		Dott. Alessandro Nenci	Dott. Alessandro Nenci	Dott. Alessandro Nenci	



*Corso Toscana, 3 - 58031 ARCIDOSO  
Tel. 0564/967404- Cell. 393/9478667  
a.nenci@geoamiata.it*

**RELAZIONE GEOTECNICA PER IL PROGETTO  
DI AMPLIAMENTO DELLA RETE DI  
Teleriscaldamento del Comune di  
Arcidosso comprendente la  
realizzazione di una sottostazione  
di scambio termico**

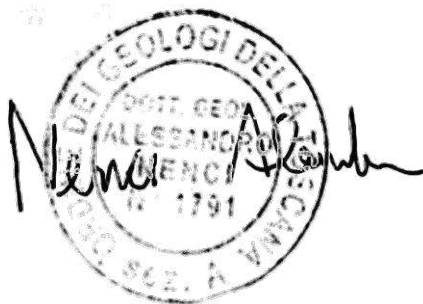
Committente: **ING Solutions s.r.l.**

Località: **Pian Perugino**

Comune: **Arcidosso (GR)**

Incarico n.: **27/25**

Data: **Agosto 2025**



# Sommario

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. MODELLAZIONE GEOTECNICA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Campagna geognostica.....	4
2.2. Parametrizzazione geotecnica.....	5
2.2.1 Modello geotecnico.....	6
2.2.2 Definizione dei parametri geotecnici caratteristici.....	6
<b>3. CONCLUSIONI.....</b>	<b>9</b>

## **FIGURE**

FIG.1: PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

## **ALLEGATI**

ALLEGATO 1: SEZIONI GEOTECNICHE AREA D'INDAGINE

ALLEGATO 2: REPORT INDAGINI DPSH

# RELAZIONE GEOTECNICA

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato riporta i risultati di un'indagine geotecnica condotta su incarico della ING Solutions S.r.l., finalizzata alla redazione del progetto di fattibilità tecnico-economica (PFTE) per l'ampliamento della rete di teleriscaldamento del Comune di Arcidosso (GR). Attualmente, la rete di teleriscaldamento è in fase di realizzazione nell'ambito di un progetto finanziato dal PNRR – Missione 2, Componente 3, Investimento 3 (M2C3 I.3), con risorse provenienti dai fondi NextGenerationEU. I dettagli del progetto sono sintetizzati nella relazione geologica e nella documentazione di progetto. Questa relazione riguarda solamente gli aspetti geotecnici e di caratterizzazione del terreno di fondazione della sottostazione di scambio termico da realizzarsi in loc. Pian Perugino. Per la sottostazione sono state fornite in una prima fase due ubicazioni alternative situate una a monte della strada vicinale della Crocina e una a valle della stessa. In seguito di queste due ubicazioni è stata scelta quella a Nord della strada vicinale della Crocina (vedi planimetria figura 1).

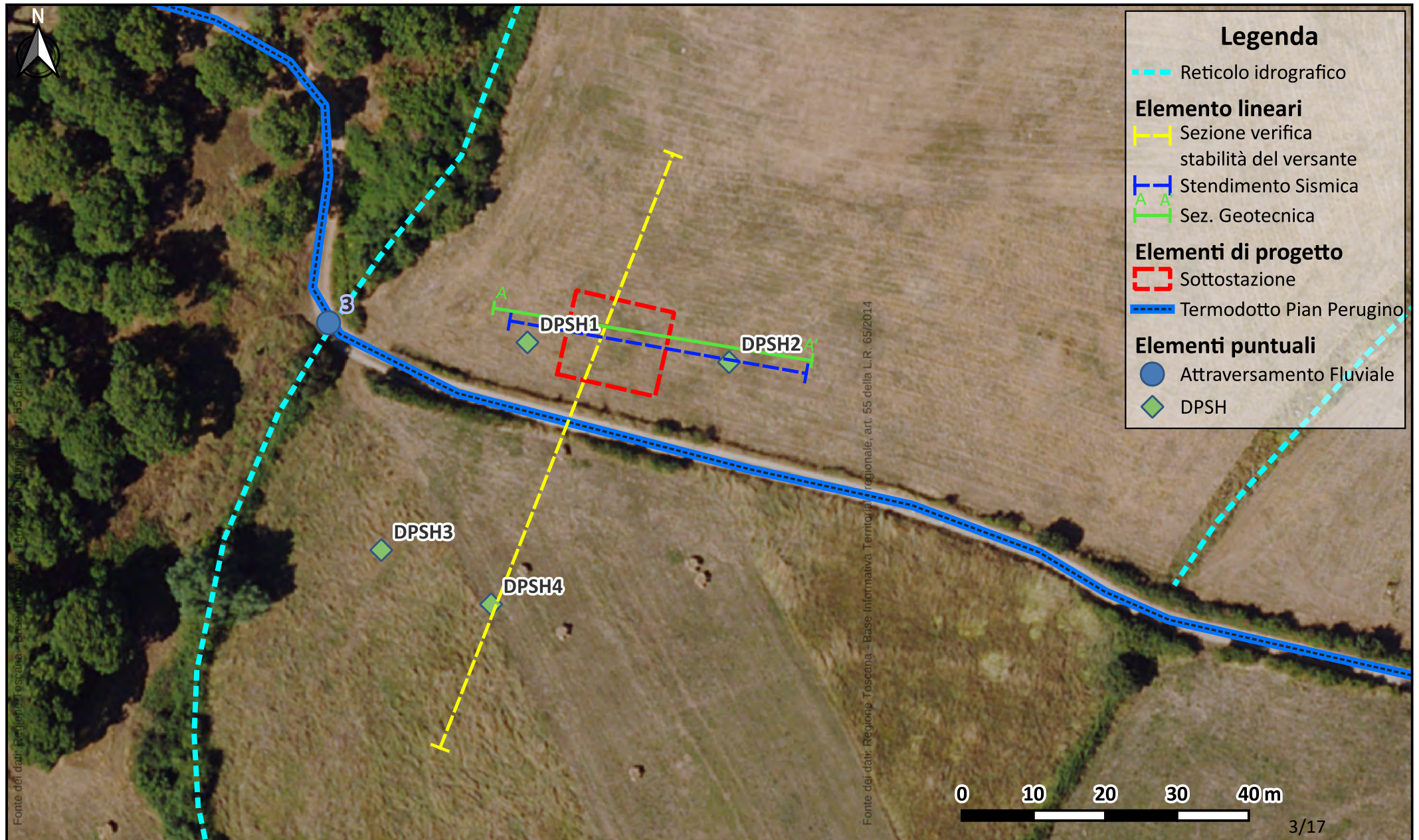
Per quanto riguarda la sottostazione di scambio termico in ottemperanza al D.P.G.R. 19/01/2022, n. 1/R – *“Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico”*, si specifica che l'opera da progetto che ci è stato consegnato ha volumetria di poco inferiore ai 1500 m<sup>3</sup> e dunque ricade in una classe d'indagine II e per la sua caratterizzazione sono state realizzate due prove penetrometriche dinamiche super pesanti e un'indagine sismica MASW per la caratterizzazione sismica.

I sopralluoghi e le indagini per l'accertamento delle condizioni a base della presente relazione sono stati compiuti nei mesi di **luglio – agosto 2025**. Lo studio, onde consentire la definizione di un quadro geologico e geomorfologico attendibile, è stato esteso alle zone limitrofe.



# Planimetria dell'area della sottostazione

Fig.1  
Scala 1:700



## 2. MODELLAZIONE GEOTECNICA

### 2.1. Campagna geognostica

Alla luce delle prime osservazioni descrittive del sito e tenuto conto dell'importanza dell'opera da realizzare, si è ritenuto necessario eseguire una campagna di indagini geotecniche, al fine di:

- ottenere un quadro completo dell'assetto geotecnico locale;
- adempiere alle normative vigenti in materia di progettazione e realizzazione di nuove strutture.

La campagna per la determinazione dei parametri geotecnici di progetto ha previsto l'esecuzione delle seguenti prove:

- Quattro prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH), due per ciascuna delle due aree candidate per la realizzazione della sottostazione. Delle due aree è stata scelta, in seguito, l'area posta a Nord della strada vicinale della Crocina e dunque la DPSH3 e DPSH4 non verranno considerate per la parametrizzazione geotecnica dell'area d'indagine.
- Un'indagine sismica MASW in onde di Rayleigh, finalizzata alla caratterizzazione del tipo di sottosuolo e alla determinazione della  $V_{sEQ}$  (vedi planimetria di figura 1 per l'ubicazione).
- Un'indagine sismica a rifrazione con onde P realizzata al fine di determinare la geometria della copertura superficiale in corrispondenza dell'area di realizzazione del manufatto in oggetto.

L'ubicazione delle indagini è riportata in planimetria di fig. 1. Sulla base dei risultati ottenuti, è stata elaborata una sezione geotecnica rappresentativa del sito oggetto di realizzazione della sottostazione di scambio termico (Allegato 1).

I risultati delle indagini sono sintetizzati in tabella 1 e in allegato 2.

	DPSH1			DPSH2		
	Prof. (m)	Media $N_{SPT}$	Dev.st	Prof. (m)	Media $N_{SPT}$	Dev.st
Strato 1	1.80	3.93	1.04	1.20	3.43	1.52
Strato 2	\	\	\	6.00	9.02	2.23
Strato 3	\	\	\	6.8	22.45	7.05

Tab.1: Risultati prove penetrometriche sito 1

Le prove penetrometriche DPSH 1 e DPSH2 hanno evidenziato la presenza di una coltre superficiale sciolta, con spessore variabile tra 1,20 m e 1,80 m.

In particolare:

- La prova DPSH 1 ha evidenziato la presenza di coltre di alterazione superficiale sciolta fino a 1.80 m di profondità ( $N_{SPT} 4 \pm 2$ ) e poi è andata improvvisamente a rifiuto probabilmente per l'intercettazione di un trovante di grosse dimensioni, frequente in questa litologia.
- La prova DPSH 2 al di sotto della coltre sciolta (spessore 1,20 m e  $N_{SPT} 3 \pm 2$ ) ha individuato un livello intermedio con valori del numero di colpi  $N_{SPT}$  pari a  $9 \pm 2$ , che aumenta progressivamente fino a  $22 \pm 7$  a partire dalla profondità di 6 m, indicando un incremento della consistenza e della densità del terreno con la profondità.

Dalla sezione geotecnica ricostruita sulla base dei risultati delle prove DPSH e dell'indagine sismica a rifrazione, si osserva che:

- Lo strato 1 (coltre sciolta) mantiene uno spessore pressoché costante lungo tutta la sezione;
- Lo strato 2, non intercettato dalla DPSH 1, è stato ricostruito indirettamente attraverso l'interpretazione dell'indagine sismica, che ha mostrato un aumento dello spessore dello strato 2 procedendo da Ovest verso Est, in direzione della valle del Fosso Grillese.

Nella verticale esplorata con la prova DPSH 2 è stato inoltre inserito un piezometro temporaneo, sul quale è stata misurato, nel mese di luglio 2025, un livello di falda posto a circa 90 cm dal piano campagna.

## *2.2. Parametrizzazione geotecnica*

Integrando il modello geologico illustrato nel Capitolo 3.2 della Relazione Geologica con le informazioni acquisite tramite la campagna di indagini, è stato ricostruito il modello geotecnico del terreno dove si prevede di fondare l'opera in progetto.

Per la definizione delle geometrie degli orizzonti/strati individuati, è stata elaborata una sezione geotecnica (vedi Allegato 1 e Fig. 1 per lo sviluppo della traccia della sezione), che consente una rappresentazione chiara e sintetica dell'assetto stratigrafico in profondità.

I parametri geotecnici derivanti dalle prove DPSH sono stati ottenuti per correlazione con il numero di colpi SPT, calcolato a partire dalla media del numero di colpi DPSH nei singoli tratti omogenei, scalata mediante opportuni coefficienti di conversione.

### **2.2.1      *Modello geotecnico***

Il modello geotecnico caratteristico dell'area di realizzazione della sottostazione è articolato in tre unità litotecniche la cui caratterizzazione è stata desunta dalle prove DPSH 1 e DPSH 2, ed è rappresentata nella sezione AA' allegata.

1. **TERRENO 1** – Coltre superficiale rimaneggiata: materiale a composizione sabbioso-limosa, fortemente alterato. È presente una significativa eterogeneità granulometrica, con prevalenza della frazione sabbiosa. Si ipotizza la presenza di frammenti litoidi calcarei di dimensione decimetrica immersi nella matrice.
2. **TERRENO 2** – Testa alterata del substrato: materiale poco addensato a granulometria sabbioso-limosa con inclusi clasti calcarei di varia pezzatura. È stato intercettato esclusivamente nella DPSH 2. Lo spessore di questo livello aumenta procedendo da Ovest verso Est. La deviazione standard dei colpi è contenuta, suggerendo una buona omogeneità verticale del terreno.
3. **TERRENO 3** – Substrato geologico: riconducibile alla formazione delle argille e calcari, costituito da alternanze di argilliti e calcareniti da mediamente a molto fratturate. Intercettato unicamente nella DPSH 2, si ritiene comunque presente anche nella DPSH 1, a partire da circa 4 m di profondità, mentre nella DPSH 2 compare a circa 6 m di profondità.

### **2.2.2      *Definizione dei parametri geotecnici caratteristici***

Come indicato nella Circolare esplicativa n. 7/2019 alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), paragrafo 6.2.2.4, la definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici deve tenere conto della tipologia di fondazione adottata:

- Nel caso in cui siano coinvolti grandi volumi di terreno (ad esempio per fondazioni superficiali rigide, come platee), è ammesso l'uso di valori medi calcolati sulle prove eseguite, in quanto l'effetto di eventuali eterogeneità locali risulta compensato.



- Al contrario, per opere che interessano volumi di terreno più ridotti (es. fondazioni su pali o plinti isolati poco rigidi), è più corretto adottare valori caratteristici prossimi ai valori minimi riscontrati nelle prove, per garantire adeguati margini di sicurezza.

Di seguito (Tab. 2) è riportata la parametrizzazione geotecnica dell'area d'indagine, secondo l'interpretazione sopra illustrata.

	Correlazioni	TERRENO 1	TERRENO 2	TERRENO 3
<b>Prova geotecnica</b>		<i>DPSH 1 e DPSH 2</i>	<i>DPSH 2</i>	<i>DPSH 2</i>
<b>Stato di addensamento</b>		<i>Sciolto</i>	<i>Poco Addensato</i>	<i>Mediamente addensato</i>
<b>Spessore (m)</b>		<i>Vedi allegato 1</i>	<i>Vedi allegato 1</i>	<i>Vedi allegato 1</i>
<b>N<sub>SPT</sub></b>		3.68	9.02	22.45
<b>Peso di volume (kg/m<sup>3</sup>)</b>		1.48	1.7	1.97
<b>Peso di volume saturo (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<i>Bowles (1982)</i>	1.88	1.91	1.97
<b>Angolo di attrito interno <math>\phi</math> (°)</b>	<i>Correlazione Peck, Hanson et al 1956</i>	28.05	29.58	32.35
<b>Coesione (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		0	0	0
<b>Coesione non drenata <math>c_u</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<i>Correlazione Terzaghi – Peck Argille limose siltose mediamente plastiche</i>	0.23	0.61	1.52
<b>Modulo elastico - modulo di Young (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<i>Schmertmann – Sabbie fini</i>	31.90	78.62	163.51
<b>Modulo edometrico (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<i>Begemann – Limo con Sabbie</i>	35.02	45.99	65.93

Tab.2: schema riepilogativo dei parametri caratteristici dei terreni esaminati nel sito 1

In riferimento alla parametrizzazione geotecnica si specifica che:

- Per il terreno 1 sono stati utilizzati valori medi tra quelli derivanti dalla DPSH1 e quelli derivanti dalla DPSH2 nei tratti superficiali;

- per il terreno 2 sono stati ricavati i parametri geotecnici dalla sola DPSH 2 nel tratto 1.2-6.0 m.
- Per il terreno 3 sono stati ricavati i parametri geotecnici dalla sola DPSH 2 nel tratto 6.0-6.8 m.
- Il terreno ha natura eterogenea probabilmente maggiormente attritiva, tuttavia, per eseguire il calcolo della resistenza di progetto si dovrà considerare tutti i terreni alternativamente in termini di tensioni totali (condizione non drenate) utilizzando la coesione non drenata e in termini di tensioni efficaci (condizione drenate) utilizzando l'angolo di attrito e verificare quale delle due è più cautelativa.
- È stata individuata falda acquifera alla profondità di circa 0.90 m da piano campagna ed è dunque certo che lo scavo di fondazione interferirà con la falda acquifera.

La presenza di una falda acquifera superficiale comporta due principali ordini di problematiche:

- Durante la fase di scavo, l'infiltrazione d'acqua può determinare il riempimento dello scavo stesso e comprometterne la stabilità, rendendo difficoltose le operazioni di realizzazione delle opere di fondazione.
- Dal punto di vista geotecnico, la ciclica variazione del regime di saturazione (passaggi frequenti da stato saturo a insaturo) accelera i processi di alterazione fisico-chimica del terreno. Tale condizione può portare, nel tempo, a una progressiva riduzione della resistenza meccanica dei terreni di fondazione.

Per questi motivi, sarà necessario adottare in fase progettuale tutte le opportune precauzioni, tra cui:

- idonei sistemi di sostegno e stabilizzazione dei fronti di scavo;
- misure volte a contrastare le spinte ascendenti della falda (sottospinte) per evitare fenomeni di galleggiamento o instabilità del volume fondale;
- accorgimenti progettuali per mitigare i fenomeni di degradazione del terreno nel tempo, anche mediante eventuali trattamenti o miglioramenti del terreno di fondazione.

### 3. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro si riferisce su un'indagine geotecnica effettuata su richiesta e per conto della ING Solutions s.r.l. per la progettazione di una sottostazione di scambio termico necessaria all'ampliamento della rete del teleriscaldamento geotermico del comune di Arcidosso. Da un punto di vista geotecnico si è potuto concludere quanto segue:

- L'intervento in progetto è ubicato in località Pian Perugino e è un fabbricato con volume minore di 1500 m<sup>3</sup> in cui saranno installate le strumentazioni necessarie al corretto funzionamento della rete di teleriscaldamento.
- È stato ricostruito il modello geotecnico dell'area di realizzazione della sottostazione e la sua descrizione è riportata all'interno del capitolo 2.2 e sono stati calcolati i parametri geotecnici caratteristici riportati in tab.2.
- La geometria degli strati individuati nei modelli geotecnici è descritta nelle sezioni geotecniche riportate in allegato alla presente.

**ARCIDOSSO, 14 agosto 2025**



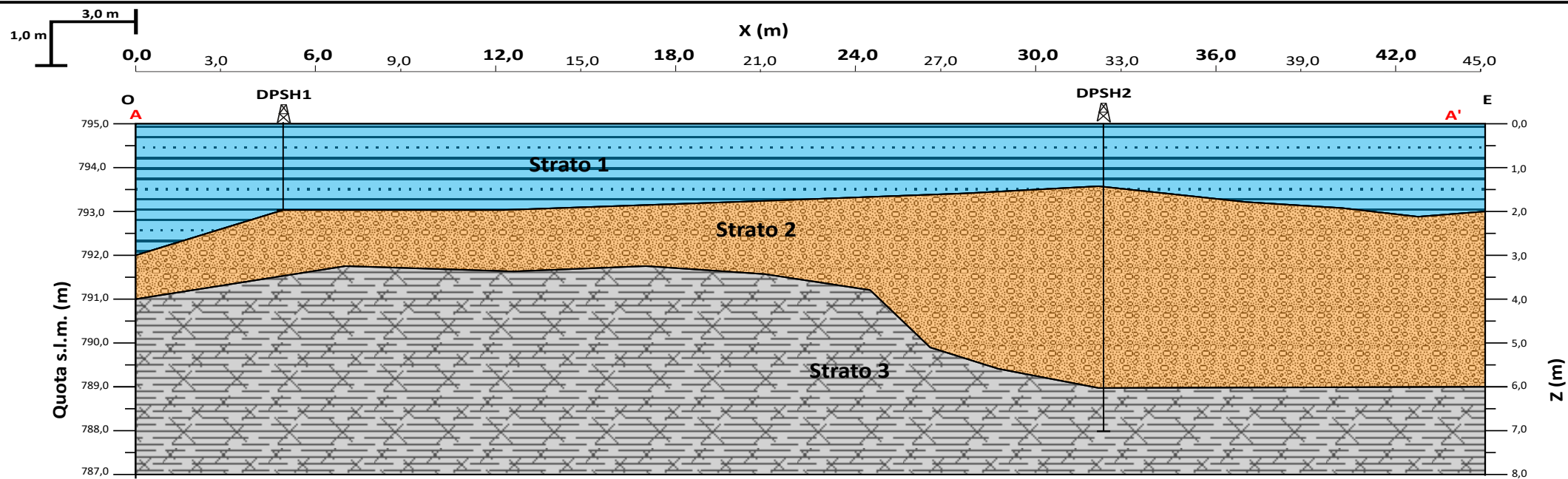
### **ALLEGATI**

ALLEGATO 1: SEZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL SITO DI REALIZZAZIONE DELLA SOTTOSTAZIONE DI SCAMBIO TERMICO

ALLEGATO 2: RISULTATI PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPERPESANTI

# **Allegato 1**

# Sezione Geotecnica AA'



## **Allegato 2**



Committente <b>ING Solutions s.r.l.</b>	Località <b>Loc. Pian Perugino Arcidosso (GR)</b>	Coordinate proiettate UTM WGS84- Zone 32N	Data esecuzione <b>04-07-2025</b>
Attrezzatura <b>Penetrometro super pesante pagani 73/200</b>	Quota P.C (metri s.l.m) <b>795-799 m</b>		
<i>Penetrometro dinamico super pesante DPSH: maglio M=63,5 Kg, altezza di caduta maglio H=0,75 m, passo di infissione d=0,2 m diametro base punta conica=50,1 mm - Rivestimento: no.</i>			

### Documentazione fotografica

**DPSH 2**



**DPSH 3**



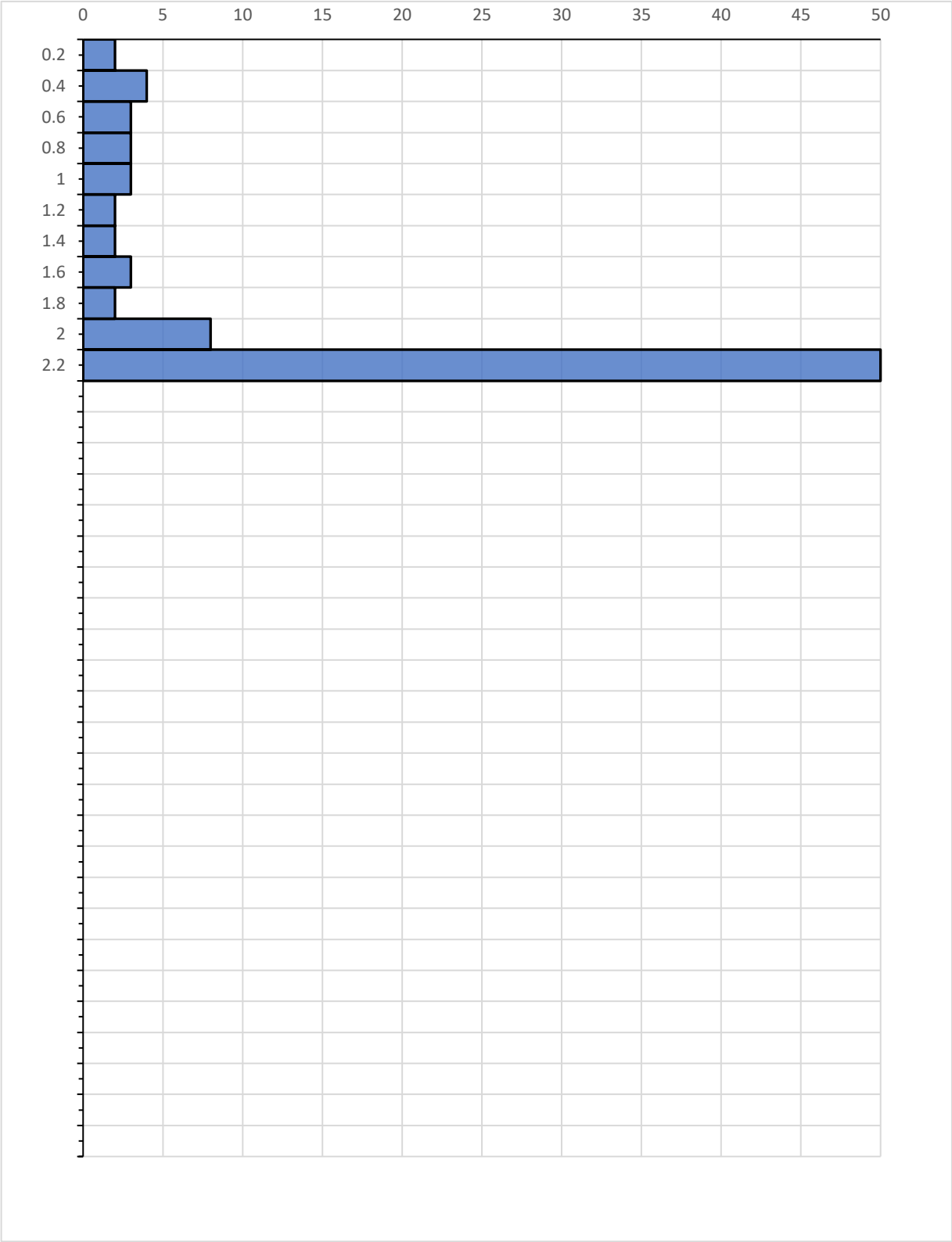
**DPSH 1**



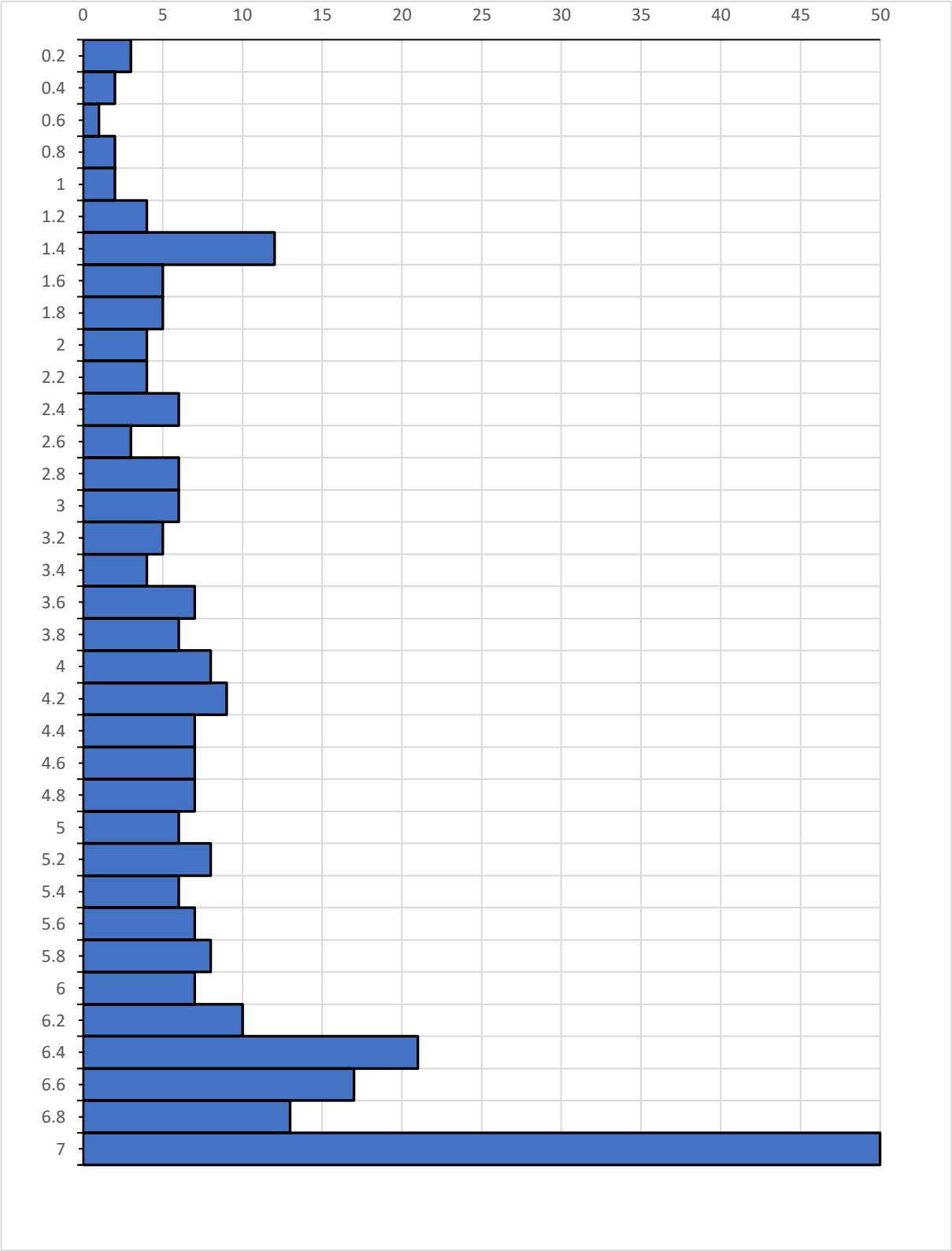
**DPSH 4**



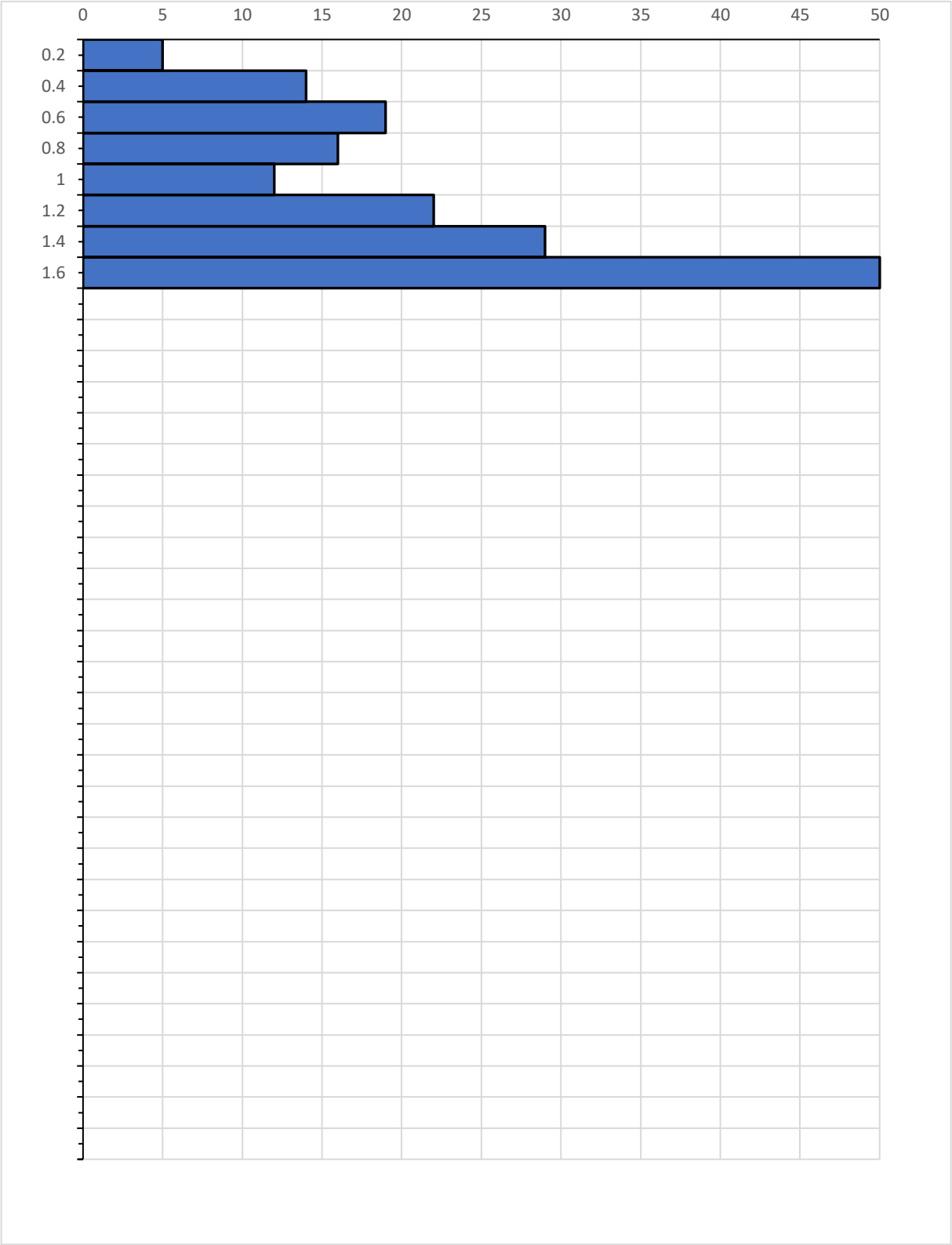
Committente	Località	Coordinate e quota		
ING Solutions s.r.l.	Pian Perugino Arcidosso (GR)	X: 707227	Y: 4748303	795.8
Attrezzatura	Falda	Profondità		
Penetrometro super pesante pagani 73/200	No falda	2.2		
	<b>DPSH-1</b>			



Committente	Località	Coordinate e quota		
ING Solutions s.r.l.	Pian Perugino Arcidosso (GR)	X: 707256	Y: 4748301	795.4
Attrezzatura	Falda	Profondità		
Penetrometro super pesante pagani 73/200	0.9	7		
DPSH-2				



Committente	Località	Coordinate e quota		
ING Solutions s.r.l.	Pian Perugino Arcidosso (GR)	X: 707208	Y: 4748275	799
Attrezzatura	Falda	Profondità		
Penetrometro super pesante pagani 73/200	No falda	1.6		
	<b>DPSH-3</b>			



Committente	Località	Coordinate e quota		
ING Solutions s.r.l.	Pian Perugino Arcidosso (GR)	X: 707222	Y: 4748267	799.7
Attrezzatura	Falda	Profondità		
Penetrometro super pesante pagani 73/200	No falda	2.8		
DPSH-4				

