

COMMITTENTE:
CONSORZIO DI BONIFICA TEVERENERA

RESPONSABILE UNICO DI PROGETTO - R.U.P.:
ing. Barbara Leli

LUOGO:
COMUNE DI TERNI



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Umbria
Giunta Regionale



PROGETTAZIONE: OPERA S.C.A.L. - Consorziata esecutrice ABACUS SRL

LAVORI: TROVATI SRL



ABACUS
INGEGNERIA E ARCHITETTURA
Via Campo di Marte, n. 8/a
06124 - Perugia (PG)
www.abacusprogetti.it - 075/5058180



Strada Pievaia, 211/C
06132 - Perugia
www.trovatisrl.it - 075 774262

PROGETTISTI

TIMBRI

Responsabile integrazione prestazioni specialistiche	ing. M. Serafini
Architettura ed urbanistica	arch./ing. C. Pimpinelli
Opere strutturali	ing. R. Pedicini - ing. Giampaolo Giacobbi
Idrologia e opere idrauliche	ing. S. Berretta
Progettazione geotecnica	ing. G. Fanelli
Paesaggio ed ambiente	ing. A. Milito
Responsabile sicurezza	ing. M. Serafini
Computi e capitolati	geom. S. Pifferi
Cantierizzazione e C.S.P.	ing. M. Serafini - ing. F. Tagliente
Building Information Modeling	ing. L. Serafini - arch. Rexhinald Petritaj



CARTELLA G0 - GEOLOGIA E GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA

G0_RRG02

COMMESSA				LIV.	CART.	TIPO	ELAB.	N.	SAVE	NOME FILE		SCALA
2	4	2	2	E	G0	R	RG	02	00	2422_E_G0_RRG02_00.xls		
REV.	DATA			REDAZIONE			VERIFICA		APPROVAZIONE	VISTO COMMITT.	DESCRIZIONE	
0	Giugno 2024			G. Fanelli			S.Berretta		M.Serafini		Consegna Progetto Esecutivo	
1												
2												
3												

MITIGAZIONE RISCHIO IDRAULICO BACINO FOSSO RIVO IN COMUNE DI TERNI, 1° STRALCIO

RELAZIONE GEOTECNICA

PROGETTO ESECUTIVO



INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
4. CAMPAGNA DI INDAGINI SVOLTE.....	5
4.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE (2023).....	5
4.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE 2024.....	6
4.1.1. Sondaggi a carotaggio continuo.....	7
4.1.2. Analisi di laboratorio.....	12
4.1.3. Prove di permeabilità in foro.....	21
4.1.4. Prove penetrometriche.....	21
5. MODELLO GEOTECNICO.....	30
5.1. MODELLO GEOTECNICO 1.....	30
5.2. MODELLO GEOTECNICO 2.....	31
5.3. MODELLO GEOTECNICO 3.....	31
5.4. MODELLO GEOTECNICO DEL RILEVATO ARGINALE.....	32
6. MODELLAZIONE SISMICA.....	33
6.1. PERICOLOSITA SISMICA, AZIONE SISMICA E SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI.....	33
6.2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA.....	33
6.3. PARAMETRI UTILI AL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA.....	33
7. VERIFICHE DEGLI ARGINI.....	34
7.1. VERIFICA DEL RILEVATO ARGINALE.....	35
7.2. VERIFICA DELL'ARGINE IN SCAVO.....	39
ALLEGATO 1: REPORT DELL'ANALISI DI FILTRAZIONE DEL RILEVATO ARGINALE (SEZIONE TIPO 1).....	43
ALLEGATO 2: REPORT DELL'ANALISI DI STABILITA SISMICA DEL RILEVATO ARGINALE (SEZIONE TIPO 1).....	44
ALLEGATO 3: REPORT DELL'ANALISI DI FILTRAZIONE DELL'ARGINE IN SCAVO (SEZIONE TIPO 2).....	45
ALLEGATO 4: REPORT DELL'ANALISI DI STABILITA SISMICA DELL'ARGINE IN SCAVO (SEZIONE TIPO 2).....	46

1. PREMESSA

Il presente elaborato contiene la Relazione Geotecnica relativa al Progetto Esecutivo per l'appalto integrato concernente la progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori relativi all'intervento denominato "Mitigazione rischio idraulico bacino Fosso Rivo in comune di Terni – 1° Stralcio".

Lo studio costituisce uno strumento atto a individuare i litotipi interessati dall'intervento relazionati alle caratteristiche geotecniche del luogo, così da fornire le indicazioni utili ad un'opportuna progettazione delle opere previste nel progetto.

Nel corpo della relazione si riportano: l'inquadramento territoriale dell'area oggetto di intervento, la descrizione degli interventi previsti, le principali caratteristiche geologiche, la campagna delle indagini geognostiche, i modelli geotecnici suddivisi per aree, la caratterizzazione sismica e le verifiche geotecniche dei rilevati arginali.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

L'area oggetto di intervento ricade nel territorio comunale di Terni ed interessa in particolar modo il reticolo idrografico del Fosso Rivo, affluente del fiume Nera, nella zona Nord-Ovest del centro abitato del Comune di Terni.

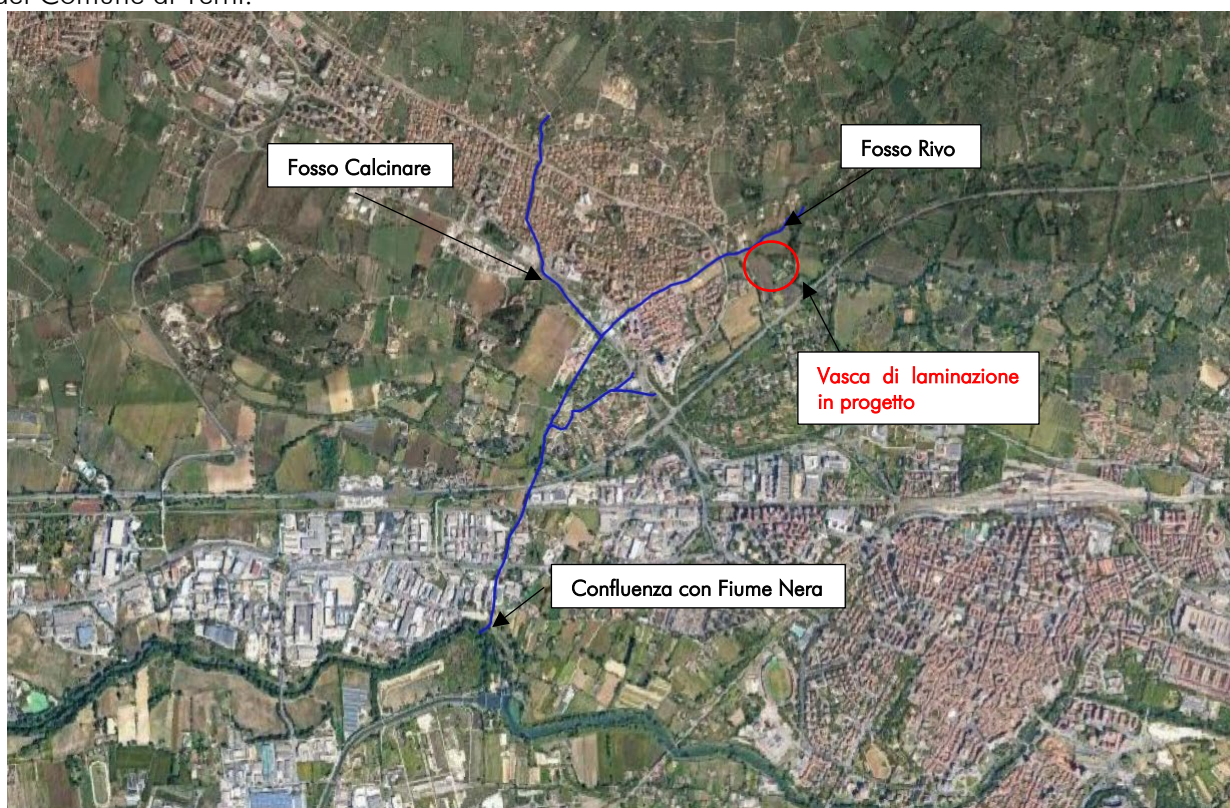


Figura 1- Inquadramento generale

Il progetto consiste nella realizzazione di una vasca di laminazione, per un valore di invaso complessivo pari a 14.500 mc circa e un livello massimo di invaso di 153.8 m s.l.m.

Gli interventi di progetto, descritti nel seguito, sono così riassumibili:

- Interventi di realizzazione della vasca di laminazione: abbassamento del piano di posa, formazione dei nuovi rilevati, protezioni di sponda;
- Manufatto di controllo;
- Manufatto di alimentazione;
- Manufatto di scarico e di restituzione di emergenza;
- Sistemazione del fondo interno alla vasca;
- Opere accessorie.

Per quanto riguarda gli argini della vasca, le sezioni tipo saranno di due tipi:

1. In rilevato (Figura 2)
2. In scavo (Figura 3)

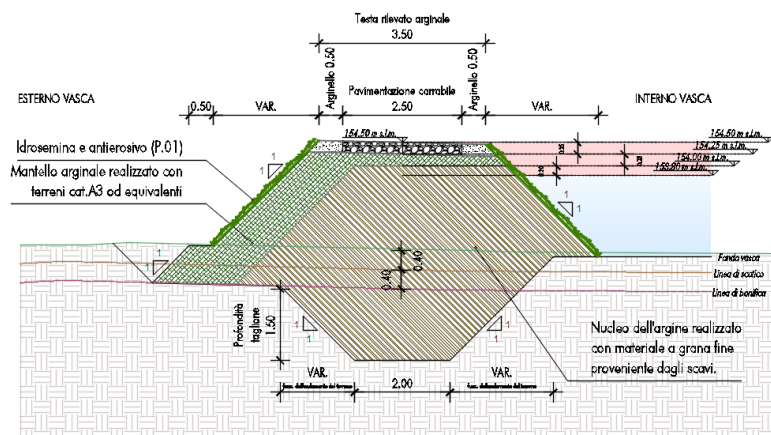


Figura 2- sezione tipo dell'argine in rilevato

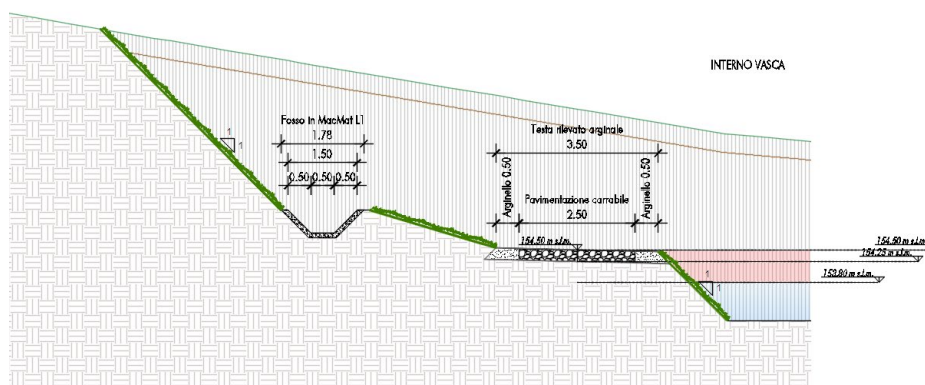


Figura 3- sezione tipo dell'argine in scavo

I paramenti degli argini avranno una pendenza di 45° in entrambe le tipologie di sezione.

Nel caso della sezione in rilevato (Figura 2), l'argine sarà zonato, con un nucleo interno costituito da materiale a grana fine impermeabile ottenuto direttamente dagli scavi e da un mantello esterno più resistente dal punto di vista geotecnico che conferisce maggiore stabilità all'opera nel suo insieme.

Nel caso invece della sezione in scavo (Figura 3), l'argine sarà uniforme in materiale a grana fine, senza il mantello esterno presente nella sezione in rilevato.

Nel Capitolo 7 sono contenute le verifiche geotecniche relative agli argini.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto degli interventi viene a trovarsi a nord-est dell'abitato di Terni, in prossimità del fosso denominato Rivo.

L'area è compresa tra il margine settentrionale della conca ternana e la base delle pendici della catena montuosa dei Monti Martani. In generale le caratteristiche geologiche della zona in esame sono legate dalla presenza di sedimenti alluvionali.

In Figura 4 è mostrato uno stralcio della Carta Geologica dell'Umbria, su cui è indicata la posizione di massima della vasca: come si può notare, la vasca ricade a cavallo di due litologie: a nord-ovest è presente un conoide alluvionale, mentre a sud-est sono presenti le coltri eluvio-colluviali (b2), descritti come *depositi essenzialmente fini con clasti di varie dimensioni, provenienti dal disfacimento delle rocce del substrato, accumulati in posto (eluvium) o sedimentati sui versanti per trasporto in massa e/o ruscellamento diffuso (colluvium)*.

Dal punto di vista della pericolosità idrogeologica, l'area in esame non presenta problematiche di versante, mentre una piccola porzione a nord-ovest è caratterizzata dalla presenza di un'area con pericolosità da alluvione da media ad elevata, legata alla presenza del Fosso Rivo. L'intervento in progetto è finalizzato proprio alla riduzione del livello di pericolosità idraulica, configurandosi come una cassa di espansione in caso di eventi di piena.

Ulteriori indicazioni di dettaglio relative agli aspetti geologici sono consultabili nella specifica Relazione Geologica inclusa nel progetto con codice 2422_E_GO_RRG01.



Figura 4 - Stralcio della Carta Geologica dell'Umbria in formato kmz



Figura 5 - Stralcio della Carta di pericolosità idrogeologica (Piattaforma Idrogeo)

4. CAMPAGNA DI INDAGINI SVOLTE

4.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE (2023)

Nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica sono state svolte nell'anno 2023 le seguenti indagini geognostiche:

- N° 3 sondaggi geonostici a carotaggio continuo, spinti a profondità variabili, con annesse prove in foro S.P.T. per la caratterizzazione in situ dei terreni, realizzati come segue:
 - N° 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato S1 spinto fino alla profondità massima di 30.00 m dal p.c., per determinare il profilo stratigrafico dei terreni indagati, attrezzato con piezometro;
 - N° 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato S2 spinto fino alla profondità massima di 15.00 m dal p.c., per determinare il profilo stratigrafico dei terreni indagati;
 - N° 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato S3 spinto fino alla profondità massima di 10.00 m dal p.c., per determinare il profilo stratigrafico dei terreni indagati;
- N° 6 prelievi di campioni indisturbati, per l'esecuzione di analisi e prove di caratterizzazione geotecnica in laboratorio;
- N° 3 prove di permeabilità in foro nei sondaggi nell'intervallo 3.00 – 3.50 mt.
- N° 8 prove penetrometriche dinamiche S.P.T., per la caratterizzazione geotecnica dei terreni ad integrazione dei sondaggi e delle prove di laboratorio.
- N° 4 prove penetrometriche super pesanti del tipo DPSH;
- N° 2 prove MASW per la determinazione della categoria di sottosuolo.

La planimetria delle indagini è mostrata in Figura 6:

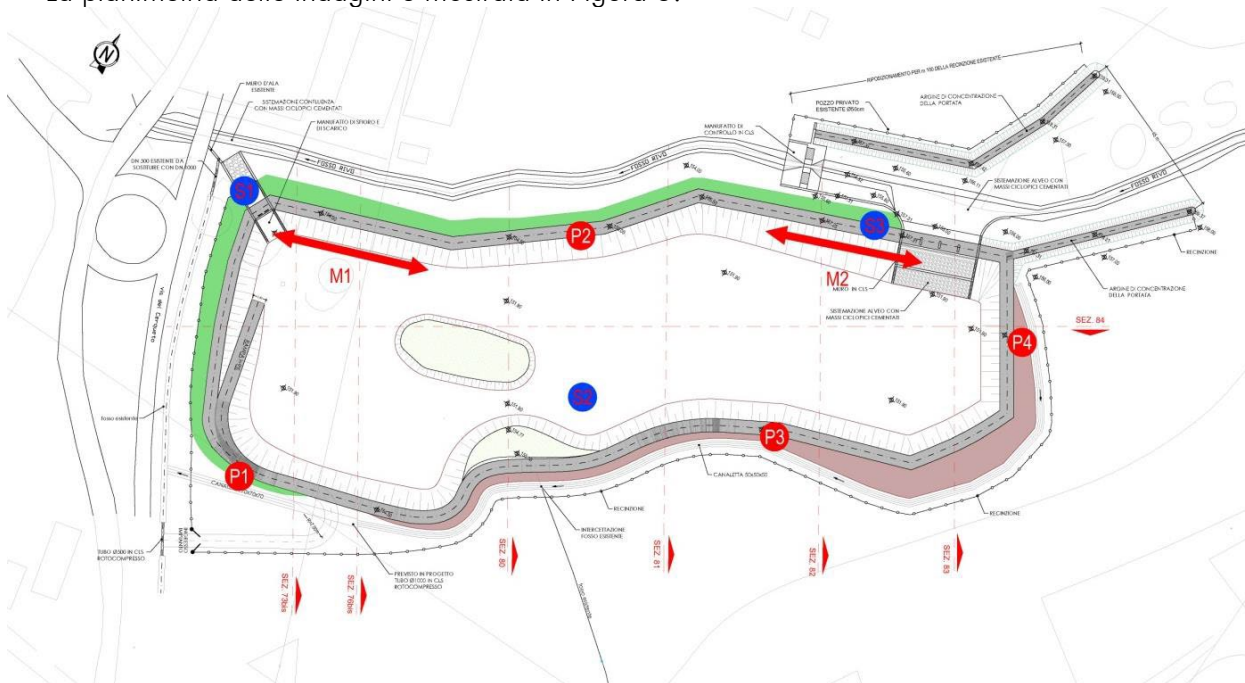


Figura 6 – ubicazione delle indagini pregresse (PFTE)

Il dettaglio dei risultati della campagna di indagini svolte nel PFTE è consultabile nel Progetto di Fattibilità Tecnico Economica e nella Relazione Geologica contenuta nel presente progetto.

4.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE 2024

La nuova campagna di indagini geognostiche svolte nel 2024 ha previsto le seguenti prove:

- N. 6 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino a profondità variabile con prelievo di campioni di terreno indisturbati/disturbati da sottoporre a prove di laboratorio;
- N. 2 prove di permeabilità in foro nei sondaggi S04 e S09;
- N. 5 prove penetrometriche continue CPTU e n. 4 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- Prove sismiche MASW e tomografie elettriche (per quanto attiene i risultati delle prove sismiche, si rimanda alla Relazione Geologica; le MASW svolte confermano in ogni caso la Categoria di Sottosuolo C derivante dalle indagini del PFTE);

Il report completo delle indagini svolte è consultabile nell'elaborato "indagini geologiche" 2422_E_G0_RIG01, mentre l'ubicazione è contenuta nella "Planimetria ubicazione indagini" 2422_E_G0_DPD01.

4.1.1. SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

I sondaggi svolti sono 6, realizzati come segue:

- **S04** spinto fino a 12 m con prelievo di 2 campioni a 2 m e 5 m, in cui è stata individuata la falda a -2.8 m dal piano campagna (Figura 7);
- **S05** spinto fino a 12 m con prelievo di 1 campione a 2 m (Figura 8)
- **S06** spinto fino a 25 m con prelievo di 1 campione a 8 m, in cui è stata individuata la falda a -2.6 m dal piano campagna (Figura 9);
- **S07** spinto fino a 12 m con prelievo di 1 campione a 1.5 m, in cui è stata individuata la falda a -3.2 m dal piano campagna (Figura 10);
- **S08** spinto fino a 25 m con prelievo di 1 campione a 6.8 m (Figura 11);
- **S09** spinto fino a 25 m con prelievo di 3 campioni a 1.5 m, 3.5 m e 8 m, in cui è stata individuata la falda a -3.0 m dal piano campagna (Figura 12);

relativa m da p.c.	stratigrafia	H2O	POKET	vane test		SPT m/n. colpi	%	Ø mm	Lefranc	R.Q.D. (Rock Quality Designation) %	attrezzatura in foro	manovre	C.I.	note
				max	res									
1	Ghiaia in abbondante matrice limo sabbiosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei poco evoluti e piccoli frammenti di travertino. (terreno agrario)													
1,2														
2	Ghiaia in abbondante matrice limo argillosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei poco evoluti e piccoli frammenti di travertino.													
2.8													ind.	C1 (m 2.0 - 2.3) Shelby
3	Ghiaia in matrice limo sabbiosa di colore avana, clasti costituiti da ciottoli calcarei da centimetrici a decimetrici. Orizzonti di sabbie travertinose a 3,50 e 4,80													
4														
5	Limi argillosi di colore avana, con subordinati trovanti centimetrici costituiti da clasti calcarei												ind.	C2 (m 5.0 - 5.4) Shelby
6	Argilla, a tratti sabbiosa, di colore grigio avana.													
7														
7,5														
8	Alternanza di Argilla (prevalente) di colore grigio e livelli centimetrici di sabbie, livelletti di torbe intorno ai 7,80; 8,60, 9,10 .													
9														
10														
11	Sabbie fini limose di colore grigio													
11,2	Argilla (prevalente) di colore grigio e livelli centimetrici di torbe													
12														

Figura 7 – stratigrafia del sondaggio S04

relativa m da p.c.	stratigrafia		H2O	POKET	vane test		SPT m/n. colpi	%	Ø mm	Lefranc	riest.	R.Q.D. Rock Quality Designation %					attrezzatura in foro	manovre	C.I.	note
					max	res						10	30	50	70	90				
0,75		Ghiaia in abbondante matrice limo argillosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei poco evoluti e piccoli frammenti di travertino. (terreno agrario)	NON RILEVATA																	
1		Ghiaia in abbondante matrice limo argillosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei poco evoluti e piccoli frammenti di travertino.																		
1,5		Limi debolmente sabbiosi con frequenti inclusioni travertinose, colore giallo - avana.																		
2																				
3																				
4		Sabbie fini limose, di colore avana.																		
5		Limi sabbioso argillosi di colore avana, con intercalazioni carboniose che diventano più frequenti con la profondità.																		
6		Argilla, limosa a tratti sabbiosa, di colore grigio- avana, con aumento della quantità di materia organica in profondità.																		
7																				
7,5		Altemanza di torba (prevalente) e livelli di argille brune ricche di materia organica.																		
8																				
9		Altemanza di Argilla (prevalente) di colore grigio e livelli centimetrici di torbe 11,40 e sabbie 11,70 .																		
10																				
11																				
11,2																				
12																				

Figura 8 – stratigrafia del sondaggio S05

relativa m da p.c.	stratigrafia		H2O	POKET	vane test		SPT min. colpi	%	Q mm	Lefranc	invest.	R.Q.D. Rock Quality Designation %				attrezzatura in foro	manovre	C.I.	note
					max	res						10	30	50	70	90			
0,6		Ghiaia in abbondante matrice limo sabbiosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei p. evoluti. (terreno agrario)																	
1		Ghiaia in abbondante matrice limo sabbiosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei p. evoluti.																	
1,7																			
2																			
2,8			2,8																
3																			
3,5		Limi sabbiosi con trovanti calcarei centimetrici, colore marrone.																	
4		Ghiaia in abbondante matrice limo sabbiosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei p. evoluti.																	
4,3																			
5		Limi sabbioso argillosi con trovanti calcarei centimetrici mediamente evoluti, colore marrone.																	
6		Ghiaia costituita da ciottoli calcarei da centimetrici a decimetrici, mediamente evoluti, in matrice limoso sabbiosa grigio-avana con intercalazioni argillose a 6:50 e 7:40																	
7																			
7,8																			
8		Argilla, limosa a tratti sabbiosa, di colore da avana a grigio, con aumento della quantità di materia organica in profondità.																	
9																			
9,2		Torbe prevalenti con intercalati orizzonti centimetrici di argille brune, 9.0 - 9.2.																	
10																			
11		Sabbie travetinose fini di colore da avana a grigio, con aumento della quantità di materia organica in profondità.																	
11,4																			
11,8		Torbe prevalenti con intercalati orizzonti centimetrici di argille.																	
12																			
13		Argilla, limosa a tratti sabbiosa, di colore da avana a grigio.																	
14																			
15		Argilla sabbiosa, di colore da avana a grigio.																	
16		Argilla, limosa a tratti sabbiosa, di colore da avana a grigio.																	
17		Alternanza di Argilla (prevalente) di colore da grigio a bruno e livelli centimetrici di torbe 17,00, 19,20, 23,70; 24,80.																	
18																			
19																			
20																			
21		Alternanza di Argilla (prevalente) di colore da grigio a bruno e livelli centimetrici di torbe 17,00, 19,20, 23,70; 24,80.																	
22																			
23																			
24																			
25																			

Figura 9 – stratigrafia del sondaggio S06

relativa m da p.c.	stratigrafia		H2O	POKET	vane test		SPT m/n. colpi	%	Ø mm	Lefranc	rivest.	R.Q.D. Rock Quality Designation %					attrezzatura in foro	manovre	C.I.	note
					max	res						10	30	50	70	90				
0,6		Ghiaia in abbondante matrice limo sabbiosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei p. evoluti . (terreno agrario)																		
1		Ghiaia in abbondante matrice limo argillosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei p. evoluti .																		
2																			ind.	C1 (m 1.5 - 1.8) Shelby
3																				
4																				
5		Limi sabbioso argillosi con trovanti calcarei centimetrici mediamente evoluti, colore avana.																		
6		Limi argilloso sabbiosi di colore grigio.																		
7		Sabbie fini limose, di colore grigio.																		
7,4		Argilla, limosa a tratti sabbiosa, grigie.																		
7,8		Sabbie sciolte, di colore avana - grigio																		
8		Torbe .																		
8,3		Limi sabbiosi di colore avana con livelli cementati e presenza di piccoli gasteropodi.																		
9																				
9,7		Torbe.																		
10		Sabbie limose di colore grigio, a tratti sabbie, con frequenti livelli di materiale carbonioso.																		
10,5																				
11		Alternanza di Argilla (prevalente) di colore da grigio a bruno e livelli centimetrici di torbe e sabbie.																		
12																				

Figura 10 – stratigrafia del sondaggio S07

relativa m da p.c.	stratigrafia		H2O	POKET	vane test		SPT m/h. colpi	%	Ø mm	Lefranc	rivelat.	R.Q.D. Rock Quality Designation %					attrezzatura in foro	manovre	C.I.	note
					max	res						10	30	50	70	90				
1		Ghiaia in abbondante matrice limo sabbiosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei poco evoluti e piccoli frammenti di travertino. (terreno agrario)																		
1,4																				
2		Ghiaia in abbondante matrice limo argillosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei poco evoluti e piccoli frammenti di travertino.																		
3																				
4																				
4,4																				
5		sabbie limose di colore avana, con subordinati trovanti centimetrici costituiti da clasti calcarei																		
6		Argilla limosa di colore grigio.																		
7																				
7,5																				
8																				
9		Torbe prevalenti con intercalati orizzonti centimetrici di argille brune.																		
10																				
11		Sabbie fini limose di colore avana.																		
11,3		Torbe prevalenti con intercalati orizzonti centimetrici di argille brune.																		
12		Argilla (prevalente) di colore grigio e livelli centimetrici di torbe																		
13		Sabbie fini debolmente argillose di colore grigio, aumento della componente argillosa con la profondità																		
14																				
15																				
15,7		Sabbie grossolane di colore grigio, aumento della componente argillosa con la profondità																		
16		Sabbie grossolane di colore grigio, aumento della componente argillosa con la profondità																		
17																				
18																				
19		Sabbie argillose grigie con fiammate nerastre intorno a 21,40, aumento della componente argillosa con la profondità																		
20																				
21		Sabbie argillose grigie, livello di torbe intorno a 21,40, aumento della componente argillosa con la profondità																		
21,4																				
22		Argille sabbiose di colore grigio con abbondante materia organica																		
22,3																				
22,5		Sabbie fini debolmente argillose di colore grigio																		
23		Argille sabbiose di colore grigio con abbondante materia organica																		
24																				
25		Torbe																		

Figura 11 – stratigrafia del sondaggio S08

relativa m da p.c.	stratigrafia		H2O	POKET	vane test		SPT m/n. colpi	%	Ø mm	Lefranc	R.Q.D. Rock Quality Designation %	R.Q.D. Rock Quality Designation %	attrezzatura in foro	manovre	C.I.	note
					max	res										
0.8		Ghiala in abbondante matrice limo sabbiosa marrone, clasti costituiti da frammenti calcarei poco evoluti e piccoli frammenti di travertino. (terreno agrario)														
1		Limi argillosi marrone, livelli sabbiosi limosi oca e concrezioni carbonatiche, molli.														
2																
3																
3.3			3.0													
4		Sabbie limose di colore avana, con subordinati trovanti centimetrici costituiti da concrezioni calcaree														
5		Sabbie sciolte, sature, di colore avana - grigio, con livelletti travertinosi, da 4.5 livelli di materiale carbonioso. (Acquifero confinato in pressione)														
6		Limi argillosi grigi debolmente sabbiosi, da consistenti a mediamente consistenti, da 5,0 a 5,3 livelli carboniosi.														
7																
8																
8.3		Torbe prevalenti con intercalati orizzonti centimetrici di argille brune.														
9		Argille di colore grigio-bruno con abbondante materia organica.														
10		Limi sabbiosi di colore grigio chiaro con livelli cementati e presenza di piccoli gasteropodi. Mediamente consistenti.														
10.8																
11		Torbe debolmente sature.														
12		Argilla, limosa a tratti limo sabbiosa, di colore grigio, asciutte, consistenti.														
13																
13.8																
14		Limi sabbiosi grigi, da 14 livelli carboniosi.														
14.3																
15		Sabbie sciolte, sature, di colore grigio, livelli di materiale carbonioso. (Acquifero confinato in pressione)														
16																
16.4		Sabbie limose grigio bruno, con livelli di materiale carbonioso a 16.6.														
17																
18		Argilla, limosa a tratti limo sabbiosa, di colore grigio, asciutte, consistenti.														
18.2																
19		Sabbie limose di colore grigio, a tratti sabbie, con livelli di materiale carbonioso.														
20																
20.6		Sabbie argillose grigie, aumento della componente argillosa con la profondità														
21		Argille sabbiose di colore grigio con abbondante materia organica, livelli di torbe a 21.8 e 23.7														
22																
23																
23.8		Sabbie fini debolmente argillose di colore grigio														
24		Argille sabbiose di colore grigio con abbondante materia organica.														
25																

Figura 12 - stratigrafia del sondaggio S09

4.1.2. ANALISI DI LABORATORIO

I 9 campioni di terreno prelevati sono stati sottoposti a prove di laboratorio sia per la stima dei principali parametri fisici (granulometria, peso specifico, limiti di Atterberg, ecc.) che per quelli meccanici (coesione e angolo d'attrito) attraverso prove di taglio diretto (quando possibile in base alla natura del campione).

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive con i risultati delle prove di laboratorio svolte.

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 40/24
SONDAGGIO: 4
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,25
TITOLO DEL LAVORO: Realizzazione argini per cassa di espansione
DESCRIZIONE: Ghiaia in abbondante matrice limo argillosa marrone

COMMITTENTE: Trovati SpA
LOCALITA': Fosso Rivo Terni
DATA INIZIO: 02/05/24
DATA FINE: 22/05/24

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA	
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	19,02	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	16,28	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}	19,96	kN/m ³	
PESO DI VOLUME IMMERSO	γ_{imm}	9,96	kN/m ³	
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s	25,75	kN/m ³	
INDICE DEI VUOTI	e	0,581		
POROSITA'	n	36,75	%	
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr	74,30	%	
UMIDITA' NATURALE	w	16,76	%	
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	43,5	%	
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	27,4	%	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	16,1	%	
LIMITE DI RITIRO	LR		%	
INDICE DI CONSISTENZA	Ic	1,66		
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'		°	
COESIONE DRENATA	c'		kPa	
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕ_{res}		°	
COESIONE RESIDUA	c _{res}		kPa	
COESIONE NON DRENATA	Cu		kPa	
ANALISI GRANULOMETRICA				
PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)	
(% trattenuta al setaccio n°200)	37,56	11,05	51,39	
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	
(% passante al setaccio n°200)	1,58	54,81	43,61	
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)
	37,56	11,86	28,17	22,41

Figura 13 – risultati delle prove di laboratorio per il campione C1 -S04

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 40/24
SONDAGGIO: 4
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 5,4-5,9
COMMITTENTE: Trovati SpA
LOCALITA': Fosso Rivo Terni
DATA INIZIO: 02/05/24
DATA FINE: 22/05/24
TITOLO DEL LAVORO: Realizzazione argini per cassa di espansione
DESCRIZIONE: Limi argillosi marrone giallastro con clasti sparsi

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	18,46	kN/m ³
PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	13,88	kN/m ³
PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}	18,56	kN/m ³
PESO DI VOLUME IMMERSO	γ_{imm}	8,56	kN/m ³
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s	26,09	kN/m ³
INDICE DEI VUOTI	e	0,880	
POROSITA'	n	46,81	%
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr	97,95	%
UMIDITA' NATURALE	w	33,04	%
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	47,3	%
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	29,5	%
INDICE DI PLASTICITA'	IP	17,8	%
LIMITE DI RITIRO	LR		%
INDICE DI CONSISTENZA	Ic	0,80	
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'	24	°
COESIONE DRENATA	c'	37	kPa
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕ_{res}		°
COESIONE RESIDUA	c _{res}		kPa
COESIONE NON DRENATA	cu		kPa
ANALISI GRANULOMETRICA			
PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)
(% trattenuta al setaccio n°200)	6,78	6,78	86,43
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)
(% passante al setaccio n°200)	1,89	59,04	39,07
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%) ARGILLA (%)
	6,78	8,42	51,03 33,77

Figura 14 – risultati delle prove di laboratorio per il campione C2 -S04

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 40/24
SONDAGGIO: 5
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,4
TITOLO DEL LAVORO: Realizzazione argini per cassa di espansione
DESCRIZIONE: Limi debolmente sabbioso travertinoso avana giallastri

COMMITTENTE: Trovati SpA
LOCALITA': Fosso Rivo Terni
DATA INIZIO: 02/05/24
DATA FINE: 22/05/24

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA	
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	19,63	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	16,53	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}		kN/m ³	
PESO DI VOLUME IMMERSO	γ_{imm}		kN/m ³	
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s		kN/m ³	
INDICE DEI VUOTI	e			
POROSITA'	n		%	
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr		%	
UMIDITA' NATURALE	w	18,77	%	
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	27,3	%	
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	24,7	%	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	2,6	%	
LIMITE DI RITIRO	LR		%	
INDICE DI CONSISTENZA	Ic	3,30		
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'	26	°	
COESIONE DRENATA	c'	18	kPa	
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕ_{res}		°	
COESIONE RESIDUA	c _{res}		kPa	
COESIONE NON DRENATA	c _u	71,4	kPa	
ANALISI GRANULOMETRICA				
PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)	
(% trattenuta al setaccio n°200)				
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	
(% passante al setaccio n°200)				
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)

Figura 15 – risultati delle prove di laboratorio per il campione C1 -S05

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 40/24
SONDAGGIO: 6
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 8,0-8,5
TITOLO DEL LAVORO: Realizzazione argini per cassa di espansione
DESCRIZIONE: Argille limose grigie

COMMITTENTE: Trovati SpA
LOCALITA': Fosso Rivo Terni
DATA INIZIO: 02/05/24
DATA FINE: 22/05/24

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	19,81	kN/m ³
PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	16,07	kN/m ³
PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}		kN/m ³
PESO DI VOLUME IMMERSO	γ_{imm}		kN/m ³
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s		kN/m ³
INDICE DEI VUOTI	e		
POROSITA'	n		%
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr		%
UMIDITA' NATURALE	w	23,27	%
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	47,8	%
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	22,5	%
INDICE DI PLASTICITA'	IP	25,3	%
LIMITE DI RITIRO	LR		%
INDICE DI CONSISTENZA	Ic	0,97	
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'	23	°
COESIONE DRENATA	c'	43	kPa
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕ_{res}		°
COESIONE RESIDUA	c _{res}		kPa
COESIONE NON DRENATA	c _u	149,6	kPa
ANALISI GRANULOMETRICA			
PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)
(% trattenuta al setaccio n°200)			
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)
(% passante al setaccio n°200)			
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%) ARGILLA (%)

Figura 16 – risultati delle prove di laboratorio per il campione C1 -S06

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 40/24 **COMMITTENTE:** Trovati SpA
SONDAGGIO: 7 **LOCALITA':** Fosso Rivo Terni
CAMPIONE: 1 **DATA INIZIO:** 02/05/24
PROFONDITA': 1,5-1,8 **DATA FINE:** 22/05/24
TITOLO DEL LAVORO: Realizzazione argini per cassa di espansione
DESCRIZIONE: Ghiaia sabbiosa in abbondante matrice limo argillosa marrone

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	19,14	kN/m ³
PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	16,22	kN/m ³
PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}	19,94	kN/m ³
PESO DI VOLUME IMMERSO	γ_{imm}	9,94	kN/m ³
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s	25,82	kN/m ³
INDICE DEI VUOTI	e	0,592	
POROSITA'	n	37,19	%
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr	78,59	%
UMIDITA' NATURALE	w	18,02	%
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	41,6	%
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	28,5	%
INDICE DI PLASTICITA'	IP	13,1	%
LIMITE DI RITIRO	LR		%
INDICE DI CONSISTENZA	Ic	1,80	
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'		°
COESIONE DRENATA	c'		kPa
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕ_{res}		°
COESIONE RESIDUA	c _{res}		kPa
COESIONE NON DRENATA	Cu		kPa
ANALISI GRANULOMETRICA			
PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)
(% trattenuta al setaccio n°200)	26,91	19,70	53,39
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)
(% passante al setaccio n°200)	1,28	50,65	48,07
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%) ARGILLA (%)
	26,91	20,38	27,04 25,67

Figura 17 – risultati delle prove di laboratorio per il campione C1 -S07

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 40/24 **COMMITTENTE:** Trovati SpA
SONDAGGIO: 8 **LOCALITA':** Fosso Rivo Terni
CAMPIONE: 1 **DATA INIZIO:** 02/05/24
PROFONDITA': 6,8-7,3 **DATA FINE:** 22/05/24
TITOLO DEL LAVORO: Realizzazione argini per cassa di espansione
DESCRIZIONE: Argille limose grigie

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA	
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	20,32	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	16,63	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}	20,38	kN/m ³	
PESO DI VOLUME IMMERSO	γ_{imm}	10,38	kN/m ³	
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s	26,62	kN/m ³	
INDICE DEI VUOTI	e	0,601		
POROSITA'	n	37,52	%	
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr	98,43	%	
UMIDITA' NATURALE	w	22,21	%	
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	47,5	%	
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	23,6	%	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	23,9	%	
LIMITE DI RITIRO	LR		%	
INDICE DI CONSISTENZA	Ic	1,06		
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'	24	°	
COESIONE DRENATA	c'	33	kPa	
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕ_{res}	14	°	
COESIONE RESIDUA	c _{res}	1	kPa	
COESIONE NON DRENATA	c _u	107,1	kPa	
ANALISI GRANULOMETRICA				
PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)	
(% trattenuta al setaccio n°200)	1,85	4,27	93,88	
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	
(% passante al setaccio n°200)	1,34	39,51	59,15	
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)
	1,85	5,53	37,09	55,53
CLASSIFICAZIONE UNI 11531-1:2014			A7-6	
INDICE DI GRUPPO			15	

Figura 18 – risultati delle prove di laboratorio per il campione C1 -S08

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 40/24 **COMMITTENTE:** Trovati SpA
SONDAGGIO: 9 **LOCALITA':** Fosso Rivo Terni
CAMPIONE: 1 **DATA INIZIO:** 02/05/24
PROFONDITA': 1,5-2,0 **DATA FINE:** 22/05/24
TITOLO DEL LAVORO: Realizzazione argini per cassa di espansione
DESCRIZIONE: Limi argillosi marrone, livelli sabbiosi limosi ocra e concrezioni carbonatiche

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA	
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	19,22	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	15,39	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}	19,61	kN/m ³	
PESO DI VOLUME IMMERSO	γ_{imm}	9,61	kN/m ³	
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s	26,62	kN/m ³	
INDICE DEI VUOTI	e	0,730		
POROSITA'	n	42,20	%	
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr	90,84	%	
UMIDITA' NATURALE	w	24,91	%	
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	34,2	%	
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	28,3	%	
INDICE DI PLASTICITA'	IP	5,9	%	
LIMITE DI RITIRO	LR		%	
INDICE DI CONSISTENZA	Ic	1,57		
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'	27	°	
COESIONE DRENATA	c'	16	kPa	
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕ_{res}		°	
COESIONE RESIDUA	c _{res}		kPa	
COESIONE NON DRENATA	c _u		kPa	
ANALISI GRANULOMETRICA				
PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)	
(% trattenuta al setaccio n°200)	0,38	14,90	84,72	
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	
(% passante al setaccio n°200)	2,06	64,32	33,62	
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)
	0,38	16,64	54,49	28,48
CLASSIFICAZIONE UNI 11531-1:2014		A4		
INDICE DI GRUPPO		8		

Figura 19 – risultati delle prove di laboratorio per il campione C1 -S09

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 40/24
SONDAGGIO: 9
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 3,0-3,5
TITOLO DEL LAVORO: Realizzazione argini per cassa di espansione
DESCRIZIONE: Sabbie limose verdognole travertinose
COMMITTENTE: Trovati SpA
LOCALITA': Fosso Rivo Terni
DATA INIZIO: 02/05/24
DATA FINE: 22/05/24
 *prova di taglio diretto eseguita su campioni ricostruiti per le caratteristiche granulometriche del campione

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA	
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	14,93	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SECCO	γ_d	11,96	kN/m ³	
PESO DI VOLUME SATURO	γ_{sat}		kN/m ³	
PESO DI VOLUME IMMERSO	γ_{imm}		kN/m ³	
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γ_s		kN/m ³	
INDICE DEI VUOTI	e			
POROSITA'	n		%	
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr		%	
UMIDITA' NATURALE	w	24,84	%	
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL		%	
LIMITE DI PLASTICITA'	LP		%	
INDICE DI PLASTICITA'	IP		%	
LIMITE DI RITIRO	LR		%	
INDICE DI CONSISTENZA	Ic			
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'	30	°	
COESIONE DRENATA	c'	3	kPa	
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕ_{res}		°	
COESIONE RESIDUA	c _{res}		kPa	
COESIONE NON DRENATA	c _u		kPa	
ANALISI GRANULOMETRICA				
PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)	
(% trattenuta al setaccio n°200)	3,32	77,88	18,80	
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	
(% passante al setaccio n°200)				
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)
CLASSIFICAZIONE UNI 11531-1:2014		A2-4		
INDICE DI GRUPPO		0		

Figura 20 – risultati delle prove di laboratorio per il campione C2 -S09

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 40/24 **COMMITTENTE:** Trovati SpA
SONDAGGIO: 9 **LOCALITA':** Fosso Rivo Terni
CAMPIONE: 3 **DATA INIZIO:** 02/05/24
PROFONDITA': 8,0-8,5 **DATA FINE:** 22/05/24
TITOLO DEL LAVORO: Realizzazione argini per cassa di espansione
DESCRIZIONE: limi argillosi grigi debolmente sabbiosi, passaggio ad argille organiche nerastre
**le prove sono state eseguite sulla parte alta del campione*

PARAMETRO GEOTECNICO		SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA
PESO DI VOLUME APPARENTE		γ	19,42	kN/m ³
PESO DI VOLUME SECCO		γ_d	16,12	kN/m ³
PESO DI VOLUME SATURO		γ_{sat}	19,86	kN/m ³
PESO DI VOLUME IMMERSO		γ_{imm}	9,86	kN/m ³
PESO SPECIFICO DEI GRANULI		γ_s	25,76	kN/m ³
INDICE DEI VUOTI		e	0,598	
POROSITA'		n	37,43	%
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE		Sr	88,20	%
UMIDITA' NATURALE		w	20,48	%
LIMITE DI LIQUIDITA'		LL	47,3	%
LIMITE DI PLASTICITA'		LP	37,2	%
INDICE DI PLASTICITA'		IP	10,1	%
LIMITE DI RITIRO		LR		%
INDICE DI CONSISTENZA		Ic	2,66	
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO		ϕ'	25	°
COESIONE DRENATA		c'	28	kPa
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO		ϕ_{res}	15	°
COESIONE RESIDUA		c _{res}	2	kPa
COESIONE NON DRENATA		c _u		kPa
ANALISI GRANULOMETRICA				
PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)	
(% trattenuta al setaccio n°200)	0,49	14,30	85,21	
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	
(% passante al setaccio n°200)	2,12	61,46	36,42	
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)
	0,49	16,11	52,37	31,03
CLASSIFICAZIONE UNI 11531-1:2014			A7-5	
INDICE DI GRUPPO			10	

Figura 21 – risultati delle prove di laboratorio per il campione C3 -S09

4.1.3. PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORO

Nei fori di sondaggio S04 e S09 sono state svolte n. 2 prove di permeabilità in foro del tipo Lefranc. La prova eseguita nel sondaggio S04 a profondità comprese tra 7 e 12 m mostra un andamento non uniforme, con valori del coefficiente di permeabilità compresi tra 2.87e-07 m/s e 8.23e-09 m/s. Si può considerare per questa indagine un valore medio del coefficiente di permeabilità pari a 1e-08 m/s.

La seconda prova eseguita nel sondaggio S09 a profondità comprese tra 3 m e 5 m ha un andamento più regolare e dà un risultato di 9.53e-07 m/s per il coefficiente di permeabilità.

4.1.4. PROVE PENETROMETRICHE

Sono state svolte n. 5 prove CPTU organizzate come segue:

- CPTU1 spinta fino a 8.8 m;
- CPTU2 spinta fino a 4.2 m;
- CPTU3 spinta fino a 3.7 m;
- CPTU4 spinta fino a 1.95 m;
- CPTU7 spinta fino a 8.8 m;

- DPSH3 spinta fino a 8.0 m;
- DPSH4 spinta fino a 2.5 m;
- DPSH5 spinta fino a 7.2 m;
- DPSH6 spinta fino a 6.0 m;

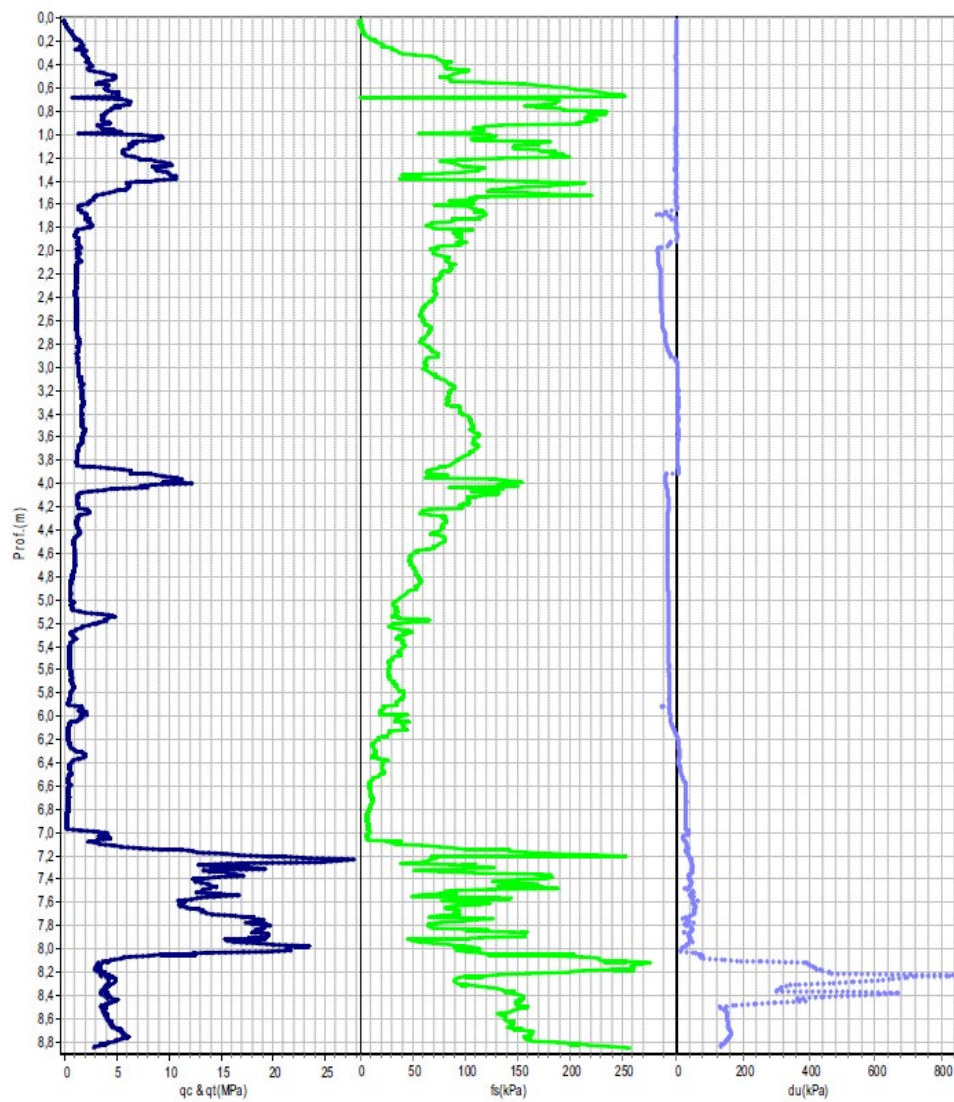


Figura 22 – prova penetrometrica CPTU1

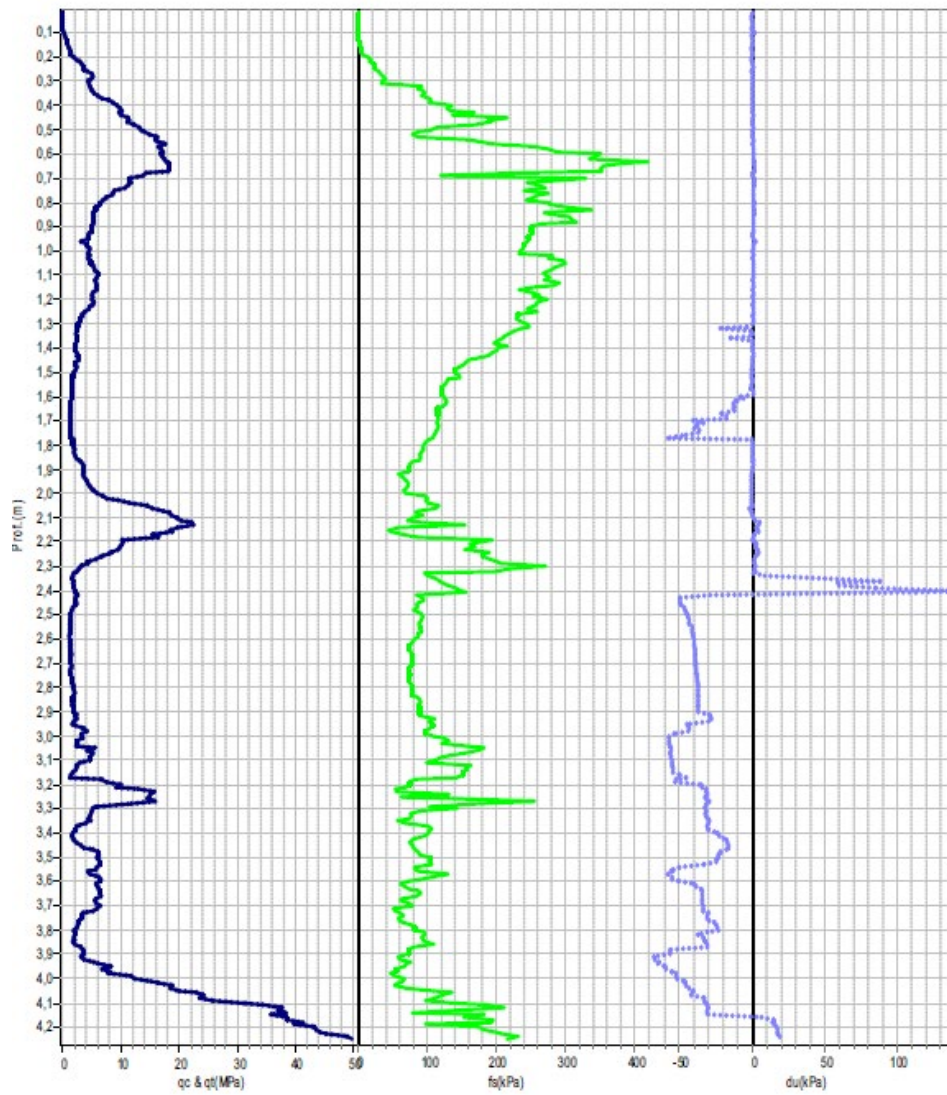


Figura 23 - prova penetrometrica CPTU2

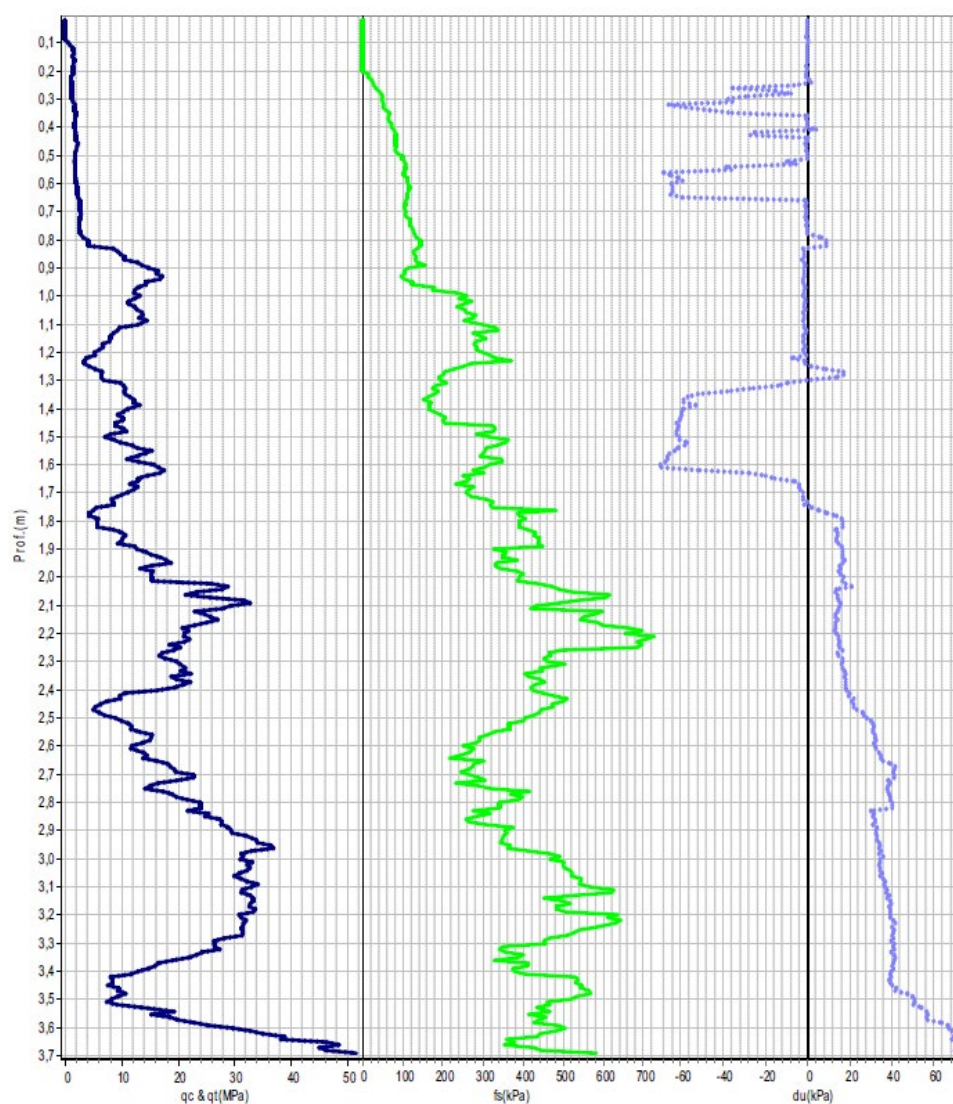


Figura 24 - prova penetrometrica CPTU3

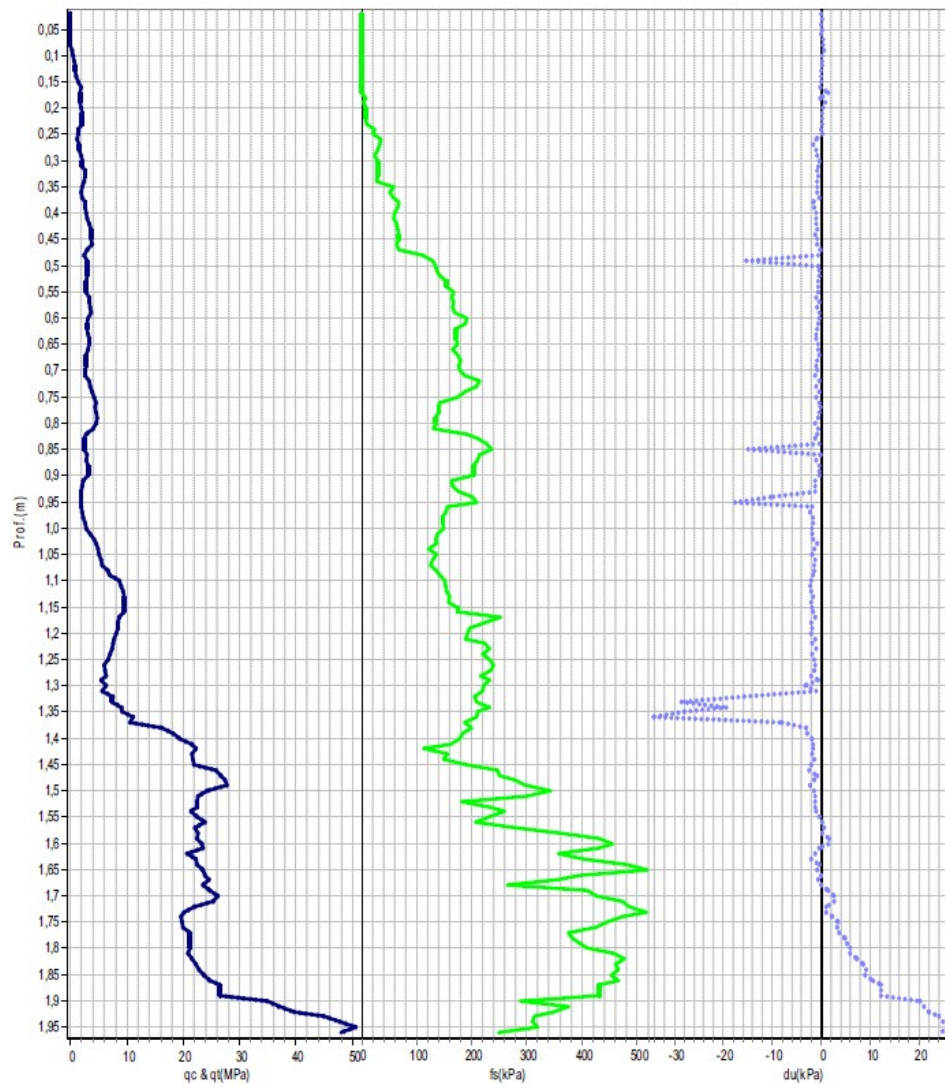


Figura 25 - prova penetrometrica CPTU4

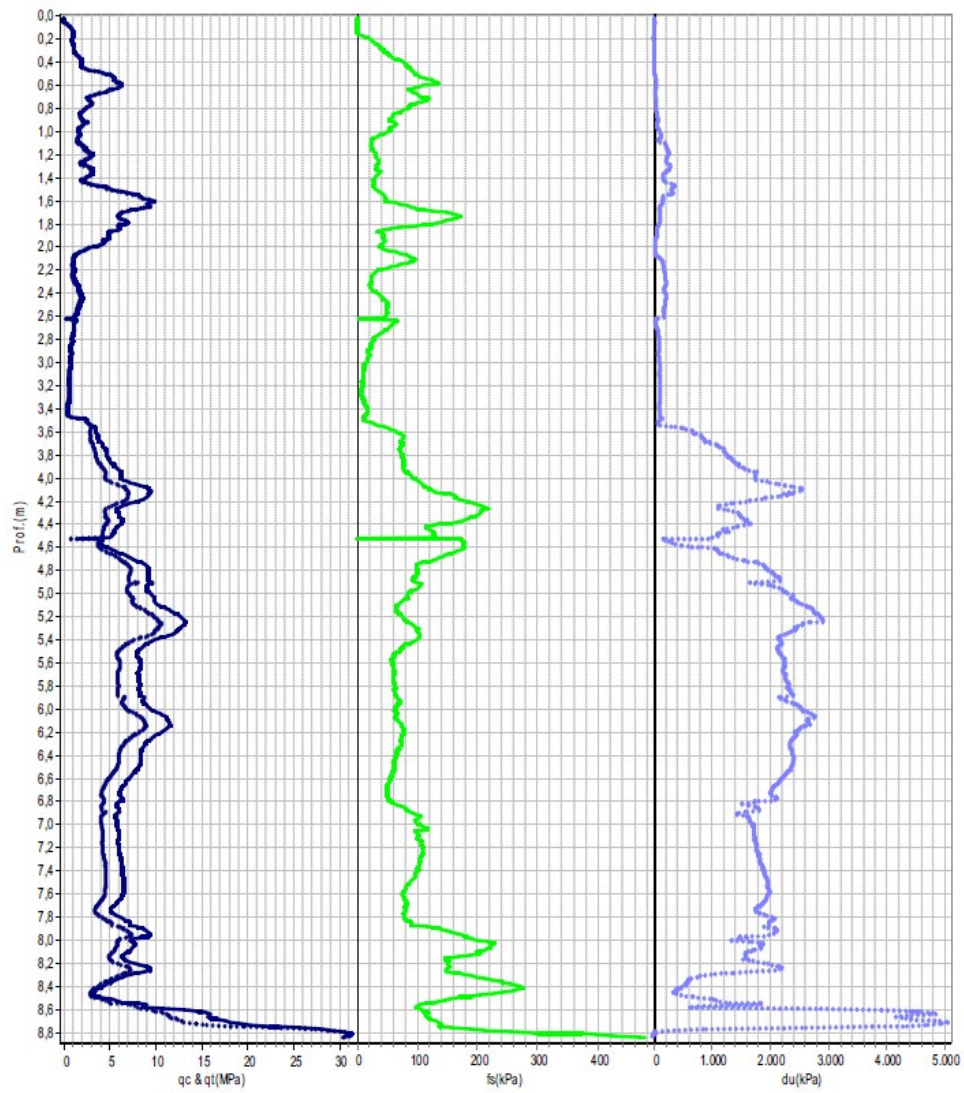


Figura 26 - prova penetrometrica CPTU/7

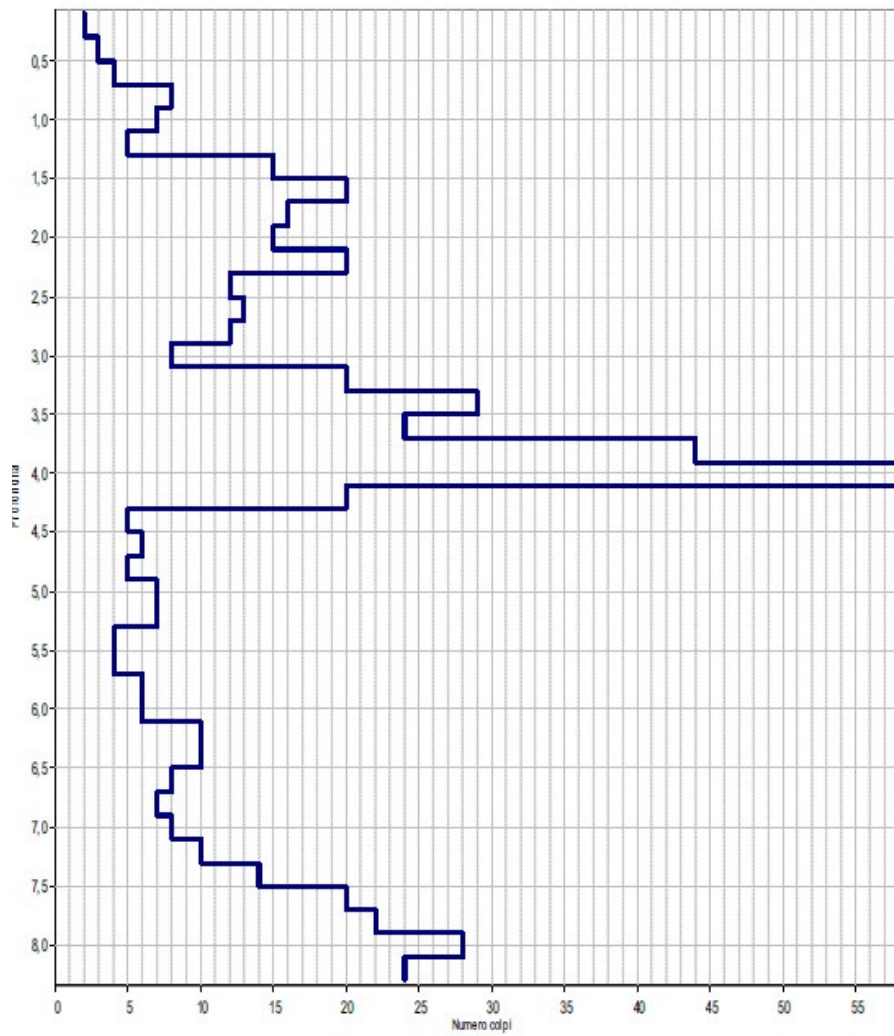


Figura 27 - prova penetrometrica DPSH3

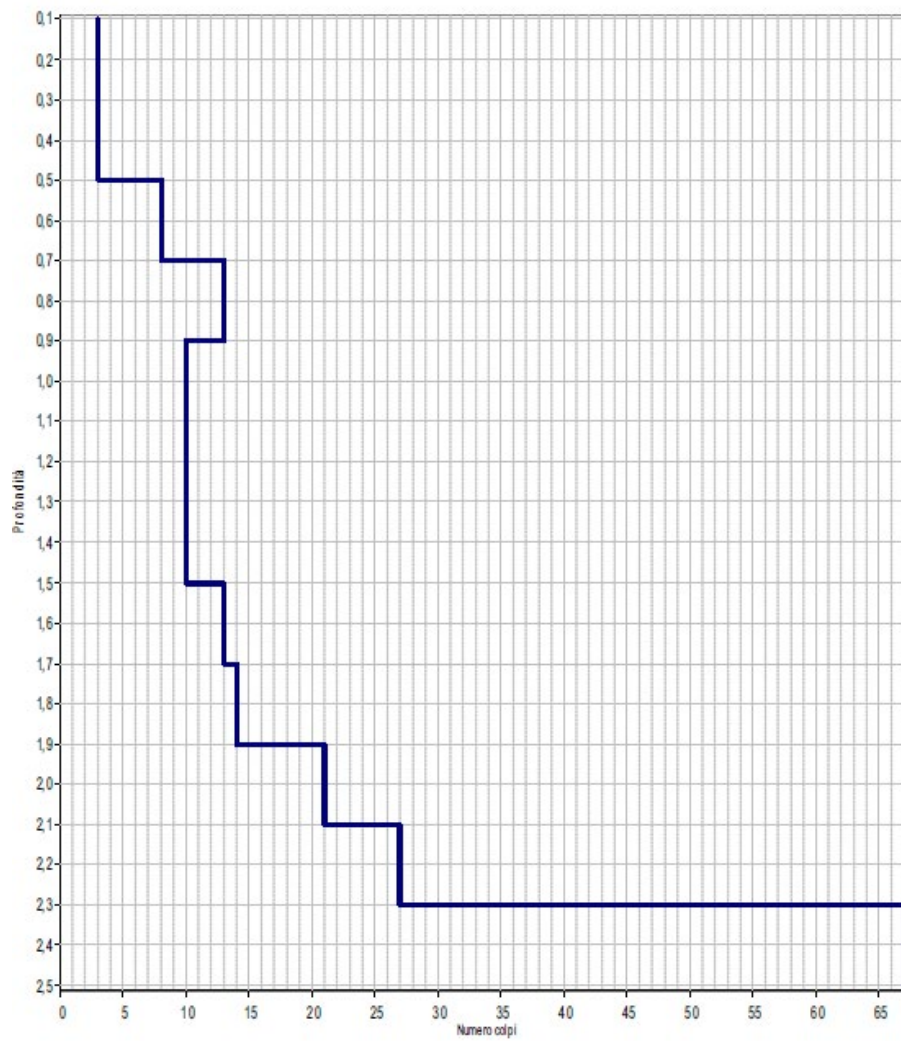


Figura 28 – prova penetrometrica DPSH4

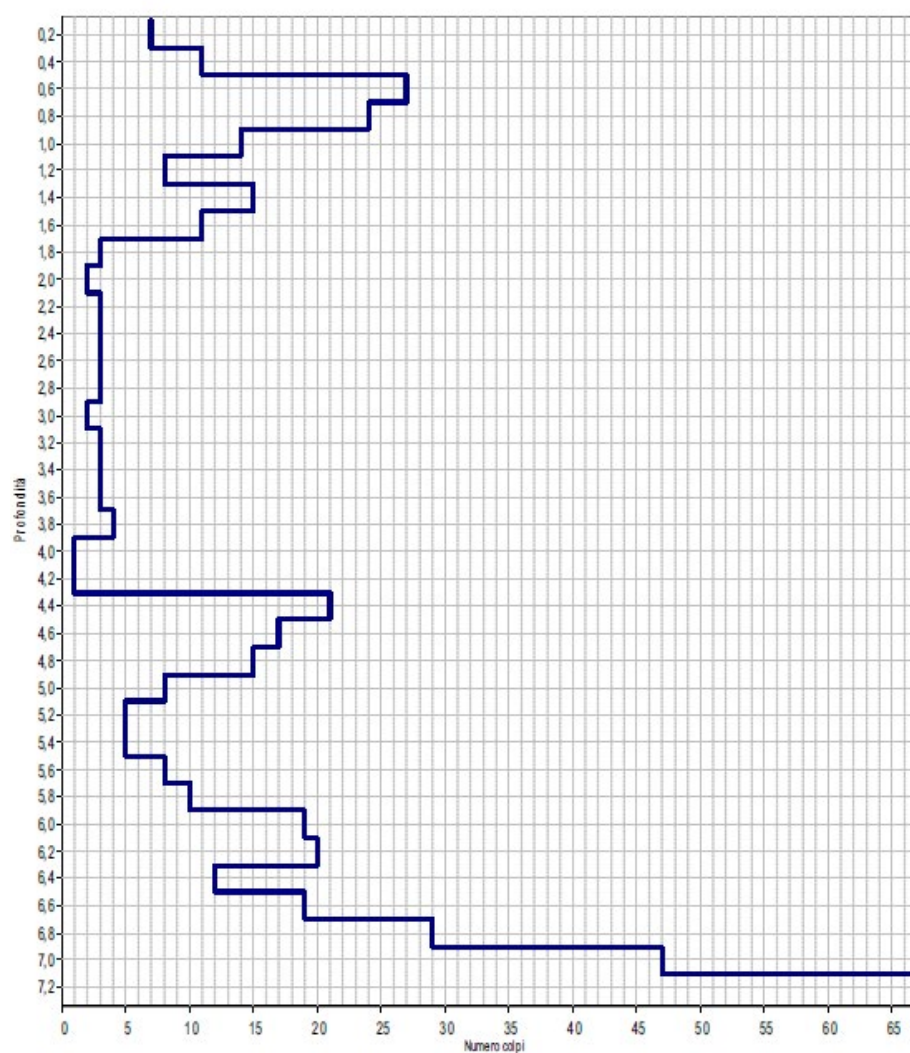


Figura 29 - prova penetrometrica DPH5

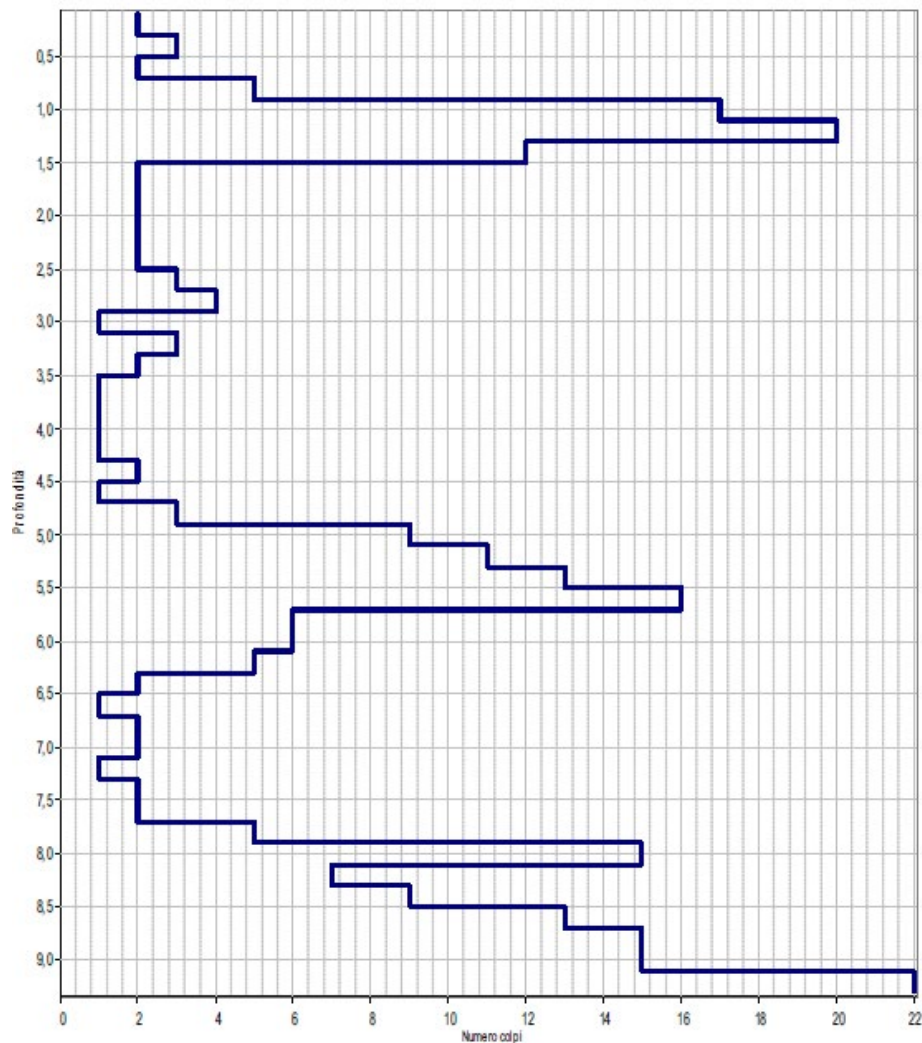


Figura 30 - prova penetrometrica DPSH6

5. MODELLO GEOTECNICO

Sulla base dei risultati delle indagini geotecniche eseguite e appositamente programmate per la caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalla realizzazione delle opere previste nel presente Progetto Esecutivo, è stato possibile definire i seguenti modelli geotecnici, distinti per 3 aree, come mostrato in Figura 31, Figura 32 e Figura 33. Nella definizione dei 3 modelli geotecnici sono state prese in considerazione sia le indagini pregresse svolte nell'ambito del PFTE che quelle svolte nel 2024.

Inoltre, al Cap. 5.4 viene riportata la modellazione geotecnica riferita ai terreni impiegati per la realizzazione dei rilevati arginali.

5.1. MODELLO GEOTECNICO 1

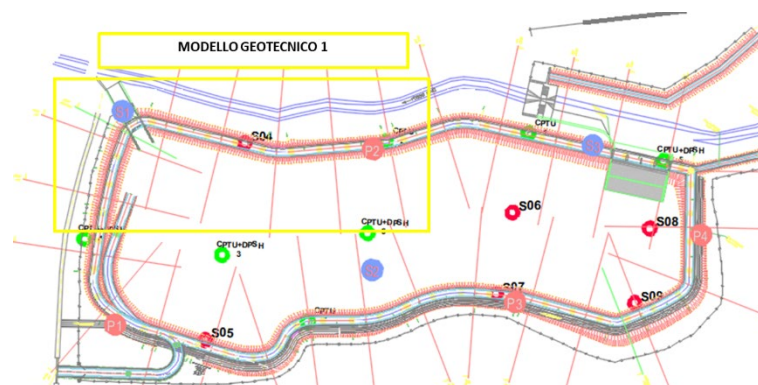


Figura 31 - area di definizione del modello geotecnico 1

Il primo modello geotecnico fa riferimento all'area della vasca posta a nord-ovest ed è quindi valido per le verifiche dell'opera di sbocco (si veda a tal proposito la Relazione di Calcolo delle Strutture (2422_E_OO_RCA01)).

Il modello geotecnico risultante è costituito da tre strati, definiti dai seguenti parametri geotecnici:

MODELLO GEOTECNICO 1						
	z (m),	gamma (kN/mc)	c' (kPa)	phi (°)	E (MPa)	k (m/s)
ghiaie limose	0-5	19	0	32	60	5,00E-05
limi sabbiosi	5 - 11	18,5	20	27	7	4,93E-07
limi argillosi	11 - 30	19,5	0	25	10	1,00E-08

La falda è considerata alla profondità di -2.8 m.

5.2. MODELLO GEOTECNICO 2

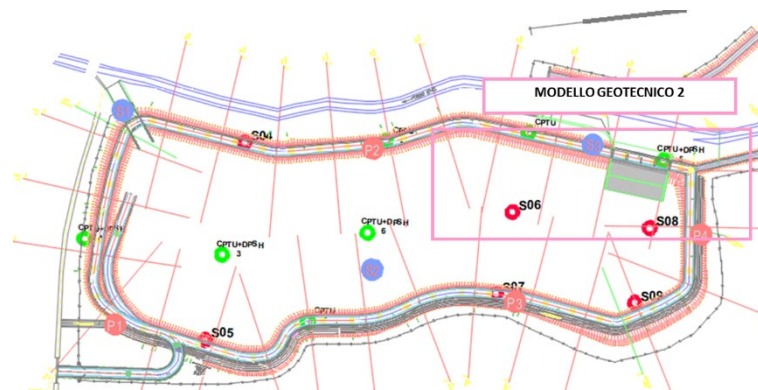


Figura 32 - area di definizione del modello geotecnico 2

Il secondo modello geotecnico fa riferimento all'area della vasca posta a nord-est ed è quindi valido per le verifiche dell'opera di presa (si veda a tal proposito la Relazione di Calcolo delle Strutture (2422_E_OO_RCA01)).

Il modello geotecnico risultante è costituito da due strati, definiti dai seguenti parametri geotecnici:

MODELLO GEOTECNICO 2					
	z (m),	gamma (kN/mc)	c' (kPa)	phi (°)	E (MPa)
ghiaie limose	0-6,5	20	0	27	60
argilla limosa	6,5 -10	19,8	35	23,5	40

La falda è considerata alla profondità di -2.6 m.

5.3. MODELLO GEOTECNICO 3

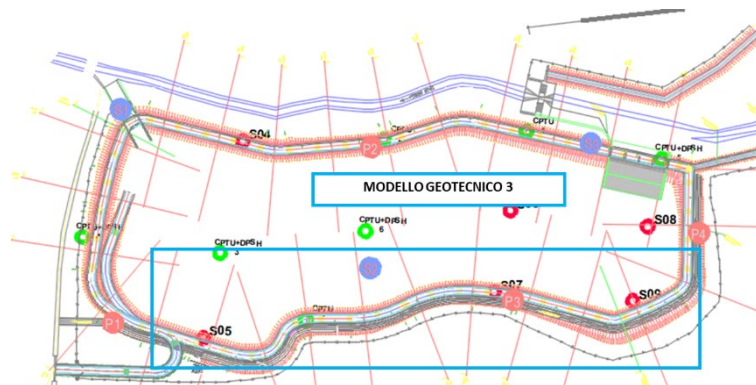


Figura 33 - area di definizione del modello geotecnico 3

Il terzo modello geotecnico fa riferimento all'area della vasca posta a sud.

Il modello geotecnico risultante è costituito da due strati, definiti dai seguenti parametri geotecnici:

MODELLO GEOTECNICO 3					
	z (m),	gamma (kN/mc)	c' (kPa)	phi (°)	k (m/s)
ghiaie limose	0-2	20	0	27	5,00E-05
limi argillosi	2-10	19,1	20	26	9,50E-07

La falda è considerata alla profondità di -3.0 m.

5.4. MODELLO GEOTECNICO DEL RILEVATO ARGINALE

Il modello geotecnico inserito in questo Capitolo descrive le caratteristiche dei materiali impiegati per le verifiche del rilevato arginale, come descritto in dettaglio al successivo Cap. 7.1.

Il nucleo dell'argine, deputato alla tenuta idraulica dell'opera, sarà ottenuto dai terreni di scavo, principalmente nell'area a sud-est, in cui abbondano i limi argillosi, come evidente nel Modello Geotecnico 3. Pertanto, nell'attribuzione delle caratteristiche idrauliche del nucleo, si considera il coefficiente di permeabilità di 9.50e-07 m/s dei limi argillosi presenti nel Modello Geotecnico 3. Per quanto riguarda invece i parametri di resistenza del nucleo, a favore di sicurezza, si mantengono i valori considerati inizialmente per il materiale argilloso che era stato rinvenuto nel sondaggio S02, in quanto inferiori a quelli dei limi argillosi emersi nell'attuale campagna di indagine.

Il mantello, presente a ricoprimento del nucleo nel paramento dell'argine esterno alla vasca, ha una funzione non idraulica ma strutturale; infatti questo materiale è costituito da terreni a grana grossa con una resistenza meccanica significativa, che in questo caso sono rappresentati dalle ghiaie limose presenti nei primi metri di terreno in tutte le aree in cui avverranno gli scavi.

MODELLO GEOTECNICO: RILEVATO ARGINALE				
z (m),	gamma (kN/mc)	c' (kPa)	phi (°)	k (m/s)
nucleo argine	19,1	7,8	24,1	9,50E-07
mantello argine	19	0	32	1,00E-03

Si precisa che, nonostante i rilevati arginali sono stati verificati dal punto di vista geotecnico e idraulico con risultati positivi, la ditta Trovati, come offerto in fase di gara, eseguirà trattamenti di stabilizzazione a calce sui terreni ottenuti dagli scavi e reimpiegati per la costituzione dell'argine,

Il trattamento di stabilizzazione a calce, infatti, produce un miglioramento sia delle caratteristiche di permeabilità (rendendo più impermeabile il terreno) che meccaniche (incrementando coesione e

angolo d'attrito). In aggiunta, il trattamento interverrà positivamente sull'argine favorendo la compattazione, l'umidità e la durabilità dell'opera.

6. MODELLAZIONE SISMICA

6.1. PERICOLOSITÀ SISMICA, AZIONE SISMICA E SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI

Per definire la pericolosità sismica di un sito sono necessari i seguenti parametri geografici e temporali: i valori di accelerazione orizzontale massima a_g (in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale), le coordinate geografiche dei nodi del reticolo di riferimento, i periodi di ritorno per le diverse probabilità di superamento. Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita dai dati pubblicati sul sito dell'INGV, presi in considerazione nel presente elaborato.

Una volta calcolata l'entità dell'accelerazione di picco a_g attesa per un determinato sito, risulta possibile definire le ordinate dello spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, tenendo conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

6.2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

La zona sismica per il territorio di Terni, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale dell'Umbria n. 1111 del 18 settembre 2012 (BUR n. 47 del 3/10/2012) è indicata come Zona sismica 2: Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi forti terremoti.

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo rigido o pianeggiante, che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [a_g]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [a_g]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$0,25 < a_g \leq 0,35$ g	0,35 g	739
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25$ g	0,25 g	2.374
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15$ g	0,15 g	3.003
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05$ g	0,05 g	1.785

6.3. PARAMETRI UTILI AL CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA

Le caratteristiche dell'opera oggetto di progettazione (con vita nominale di progetto $VN \geq 50$ anni) vengono inserite in classe d'uso II (Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.), cui corrisponde un coefficiente d'uso $CU = 1.0$. Da cui si ricava il periodo di riferimento per l'azione sismica VR dato da:

$$VR = VN \cdot CU = 50 \cdot 1.0 = 50 \text{ anni}$$

Sulla base della tabella Tab. 3.2.V allegata al punto 3.2.2 delle NTC 2018, nel complesso, le aree dove è prevista la realizzazione degli invasi rientrano tutte nella categoria topografica T1, in quanto si collocano su una superficie con inclinazione minore o uguale a 15°.

I coefficienti sismici orizzontale e verticale vengono definiti nel DM 17/01/2018 al 7.11.3.5.2 come segue:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità.

Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito a_{\max} dipende dalla topografia, dalla Categoria di Sottosuolo e dal valore dell'accelerazione orizzontale massima atteso su suolo di riferimento rigido a_g attraverso la seguente relazione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g = (S_S \cdot S_T) \cdot a_g$$

Nel caso in esame si sono impiegati i seguenti coefficienti validi per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV):

Categoria di sottosuolo	a_g (m/s^2)	S_S	S_T	β_s	k_h	k_v
C	1.168	1.45	1.0	0.24	0.058	0.029

7. VERIFICHE DEGLI ARGINI

In questo Capitolo si descrivono le verifiche geotecniche relative agli argini in terra della vasca di laminazione in progetto. Come descritto precedentemente, nel caso degli argini in rilevato, i terreni di riferimento considerati nelle verifiche sono quelli descritti al Cap. 5.4, mentre gli argini ottenuti dalle operazioni di scavo presentano le litologie incluse nel modello geotecnico 3 (Cap. 5.3).

Le verifiche eseguite sono state svolte con i software agli elementi finiti SEEP/W e SLOPE/W di GeoStudio 2024.1.0, rispettivamente per l'analisi della filtrazione e per l'analisi di stabilità dei rilevati arginali. Il programma lavora in modo sequenziale con i due moduli, eseguendo dapprima l'analisi di filtrazione con SEEP/W per poter ricavare l'andamento della superficie freatica nel corpo arginale; i risultati della modellazione idraulica vengono poi passati in input al modulo SLOPE/W che effettua le verifiche di stabilità. In questo caso è stato impiegato il metodo delle strisce di Morgenstern-Price. Le verifiche di stabilità più gravose risultano quelle sismiche, ottenute modellando l'azione pseudostatica del sisma attraverso il coefficiente sismico orizzontale e verticale (si veda il Cap. 6.3). Per completezza si riportano anche quelle statiche.

Gli elementi della mesh sono stati impostati con forma quadrata e triangolare, con dimensione in tutti i casi pari a 0.2 m.

I report delle analisi svolte sono contenuti in Allegato alla presente Relazione, suddivisi per le due sezioni tipo degli argini (i report delle verifiche di stabilità statiche sono stati omessi in quanto meno gravose).

Le sezioni considerate nelle verifiche sono mostrate in Figura 34.

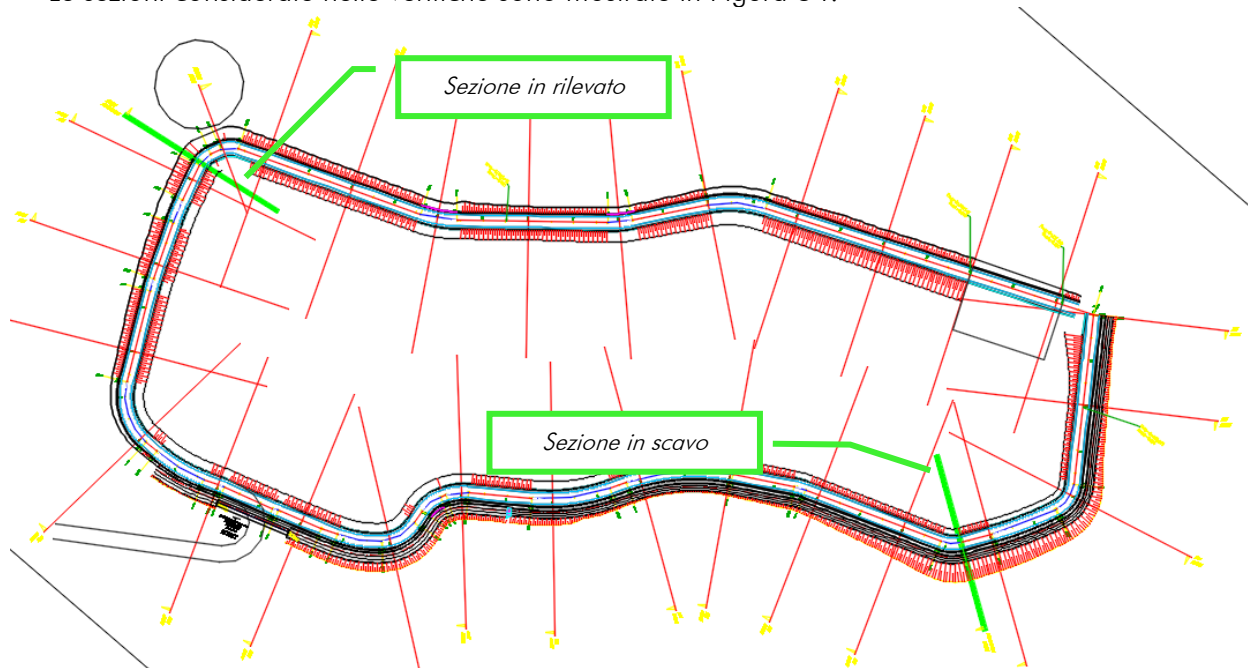


Figura 34 – scelta delle sezioni degli argini

7.1. VERIFICA DEL RILEVATO ARGINALE

In Figura 35 è mostrato il modello utilizzato per le verifiche con i litotipi considerati.

L'analisi di filtrazione fornisce la distribuzione delle pressioni interstiziali e del carico idraulico (Figura 36 e Figura 37). È stato estrapolato l'andamento della portata idraulica uscente lungo il piano campagna a valle analizzando i nodi appartenenti alle linee selezionate in Figura 38. Il grafico ottenuto (Figura 39) mostra valori della portata uscente pressoché nulli, inferiori a $1.6e-05$ mc/s.

Le analisi di stabilità sono state condotte su circa 400 superfici di scorrimento; la superficie di scorrimento critica relativa all'argine in condizioni statiche è mostrata in Figura 40: come si vede, il valore del coefficiente di sicurezza della superficie di scorrimento più critica è pari a 1.635.

Passando all'analisi in condizioni sismiche, in Figura 41, si riporta la verifica di stabilità che presenta un valore del coefficiente di sicurezza minimo pari a 1.422.

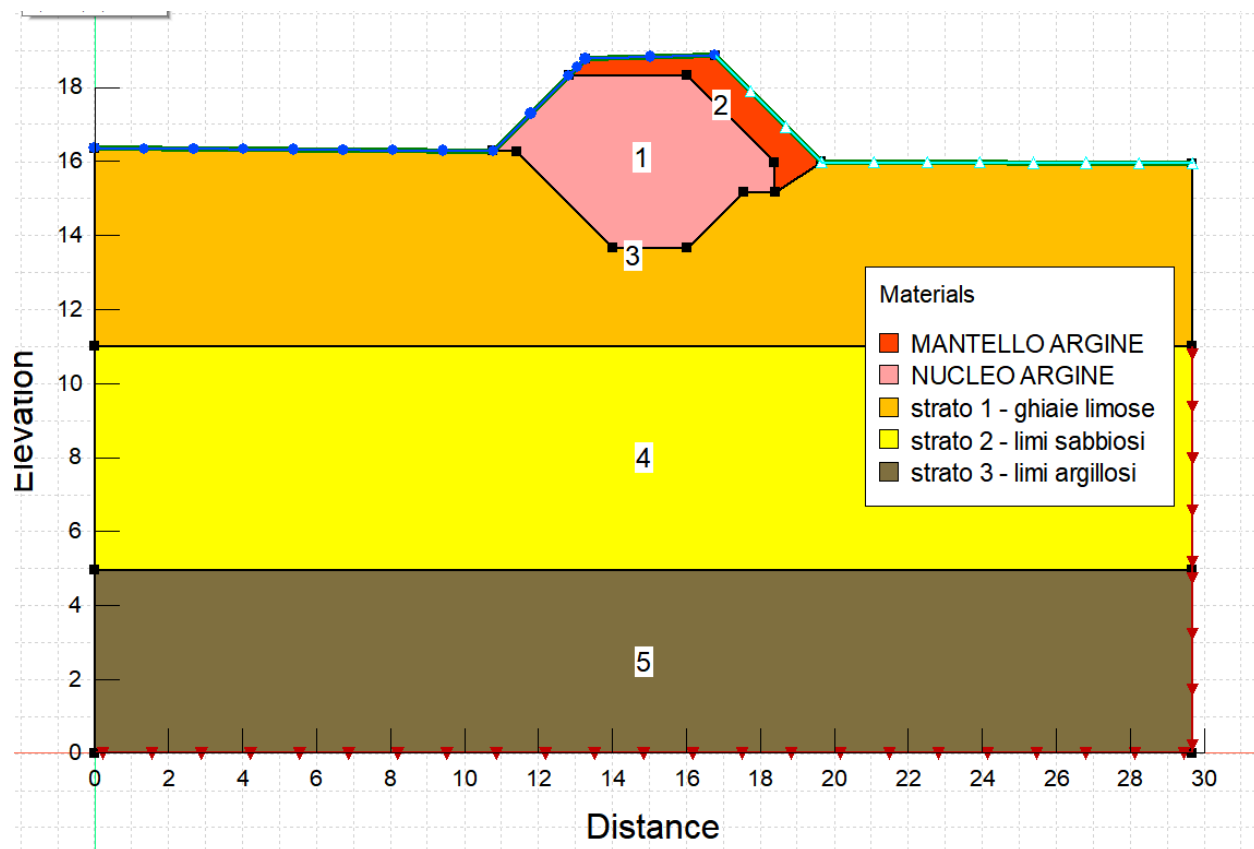


Figura 35 - modellazione della sezione tipo 1 (rilevato)

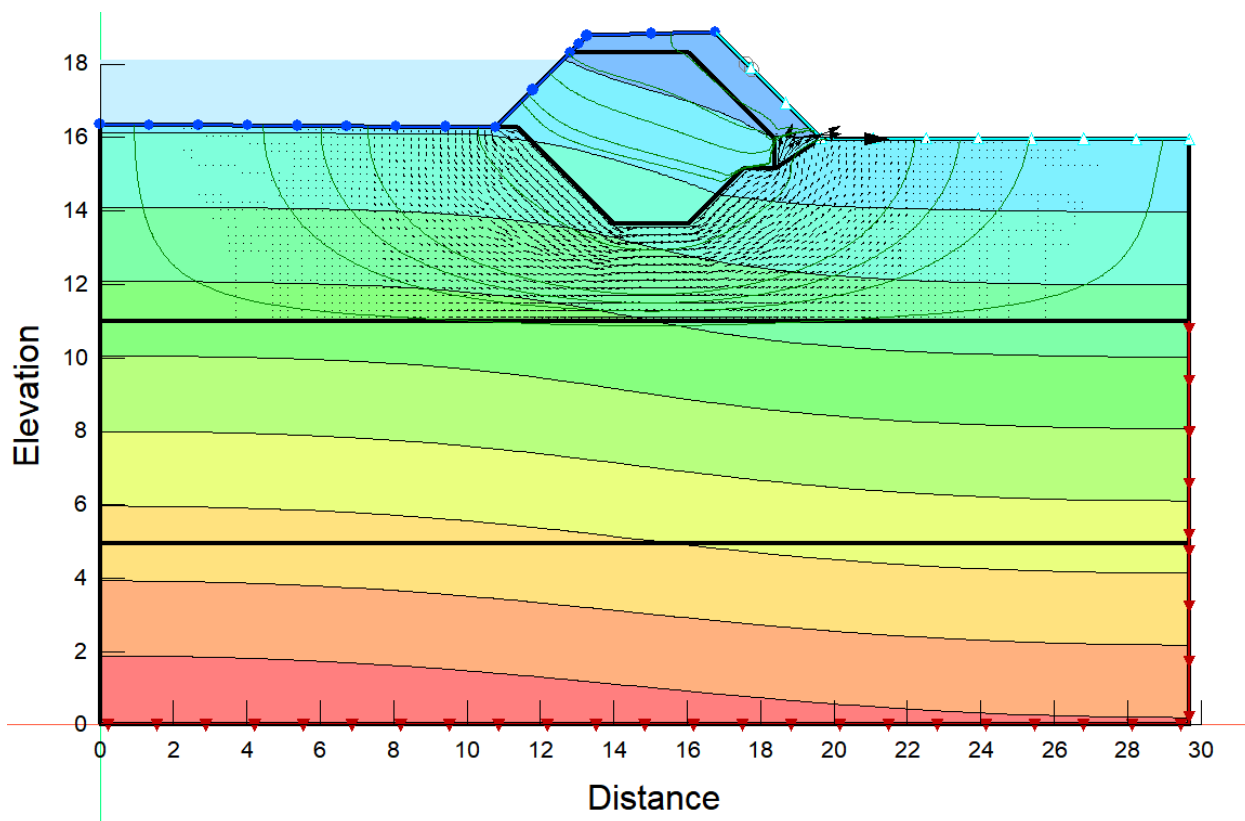


Figura 36 - andamento delle pressioni interstiziali della sezione tipo 1

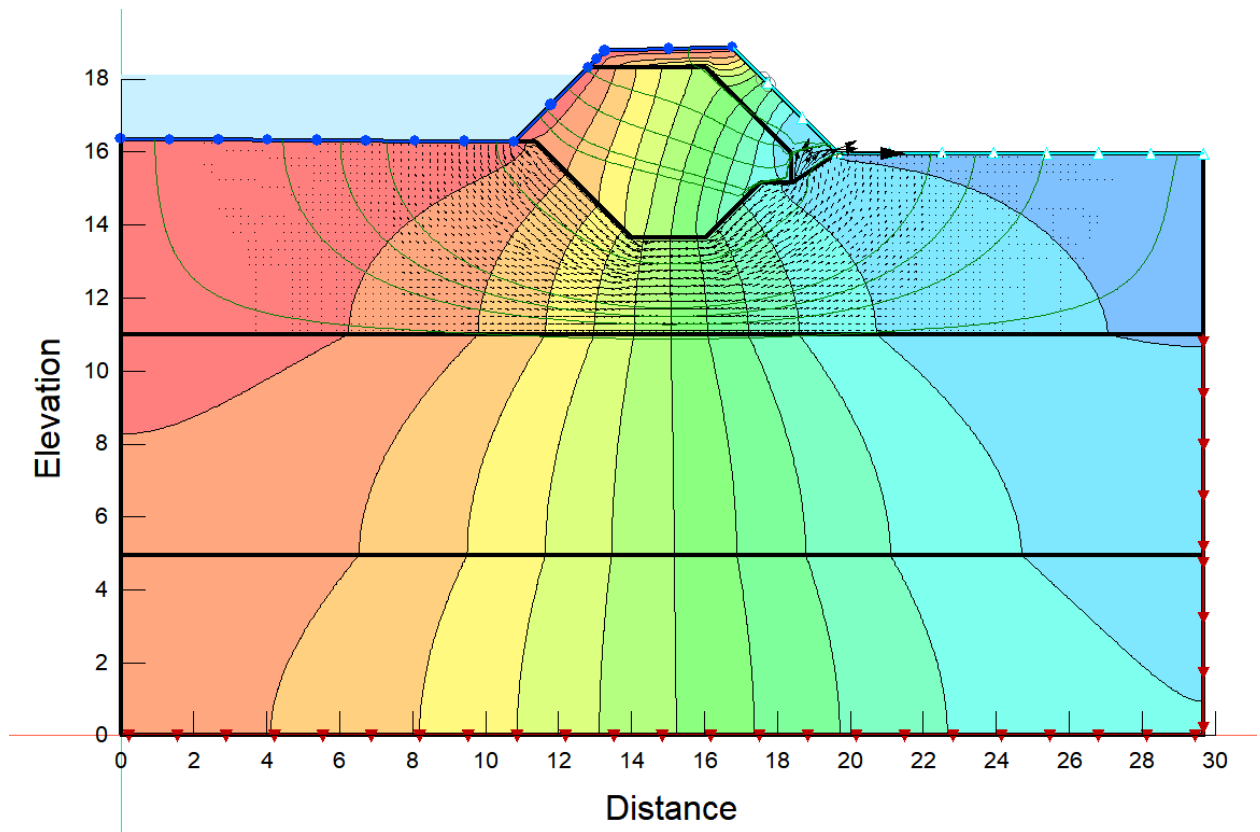


Figura 37 – andamento del carico idraulico della sezione tipo 1

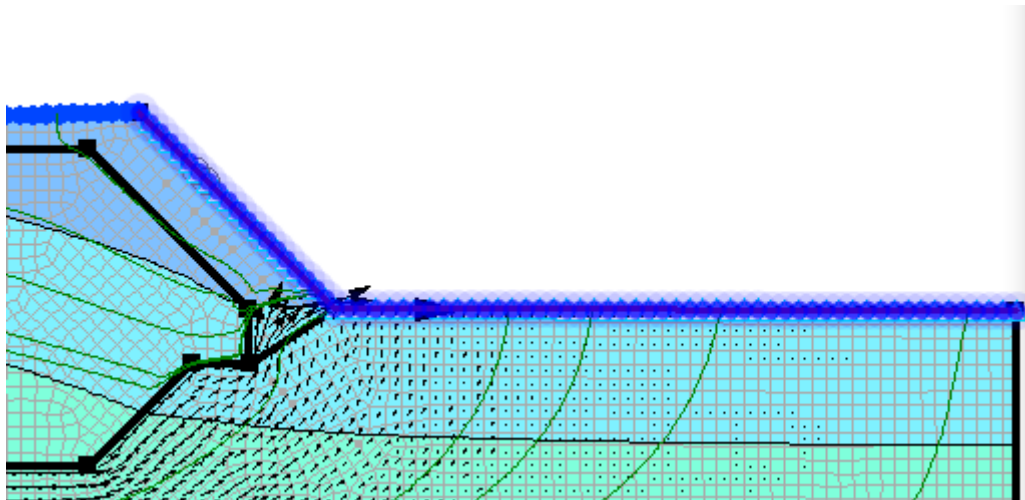


Figura 38 – linee selezionate per il report di portata uscente – sezione tipo 1

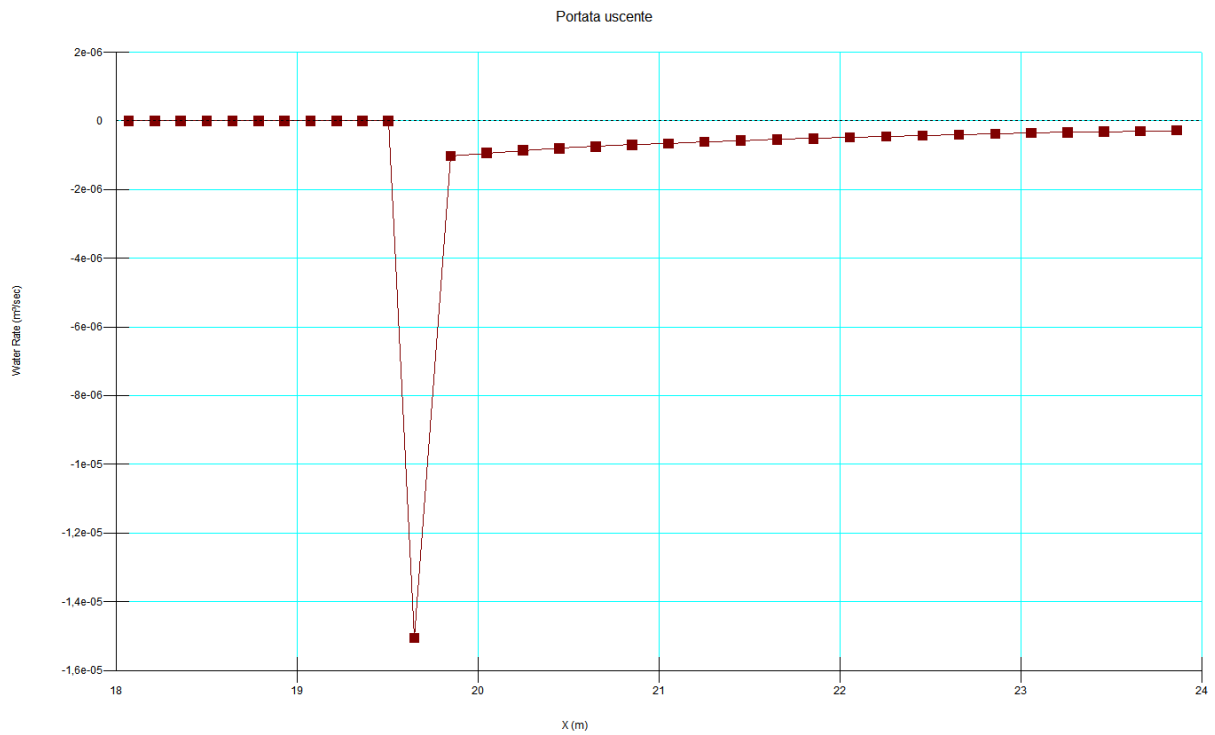


Figura 39 – andamento della portata uscente lungo x – sezione tipo I

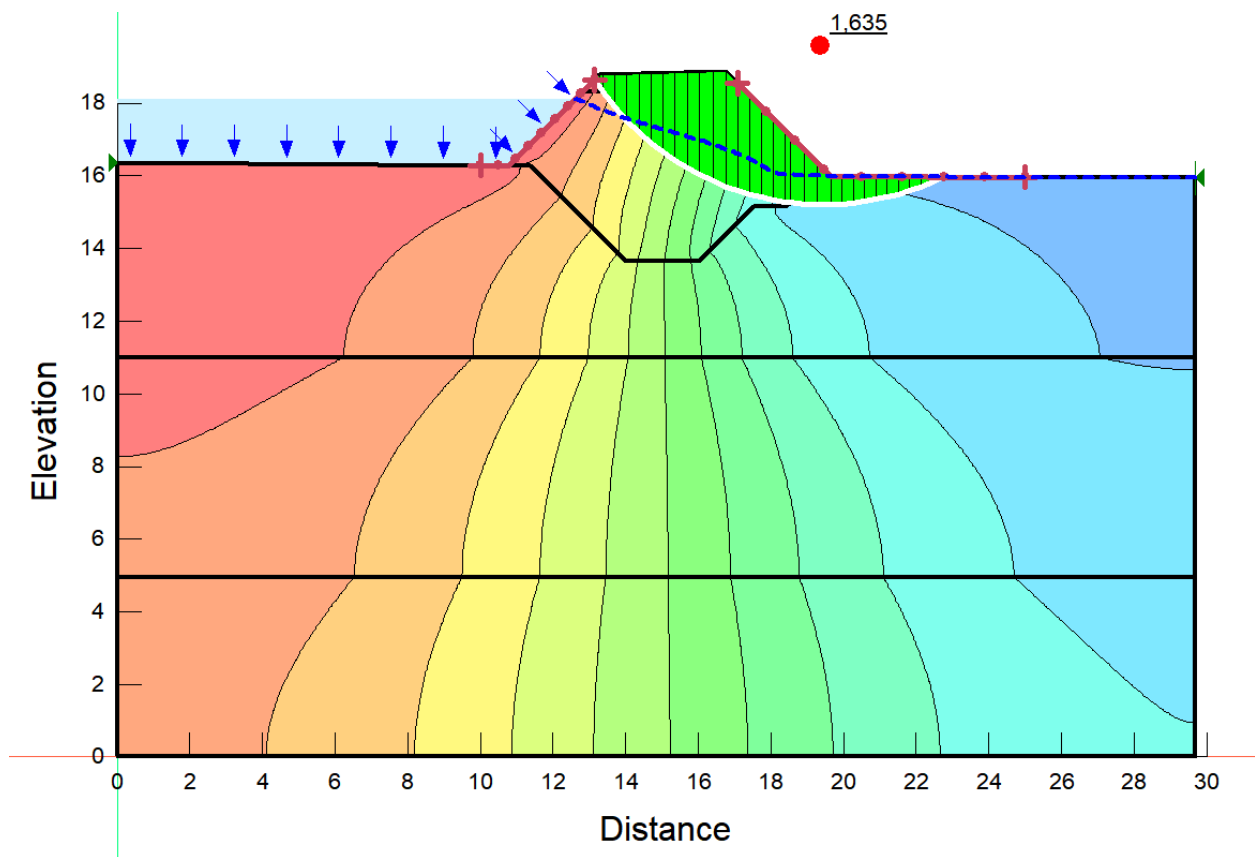


Figura 40 – coefficienti di sicurezza di stabilità statica – sezione tipo I

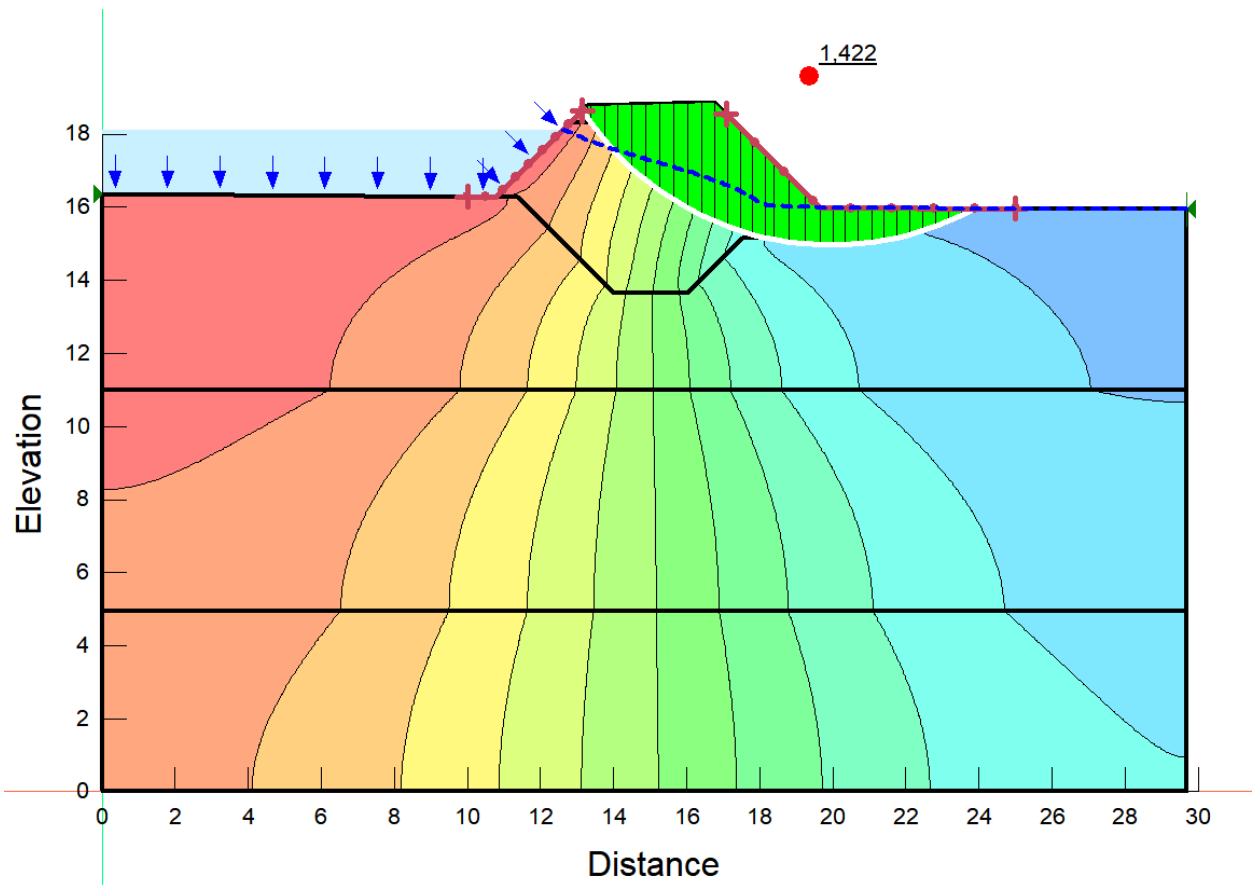


Figura 41 – coefficienti di sicurezza di stabilità sismica – sezione tipo 1

7.2. VERIFICA DELL'ARGINE IN SCAVO

In Figura 42 è mostrato il modello utilizzato per le verifiche della sezione in scavo con i litotipi considerati.

L'analisi di filtrazione fornisce la distribuzione delle pressioni interstiziali (Figura 43). È stato estrapolato l'andamento della portata idraulica in ingressi al piede dell'argine analizzando i nodi appartenenti alle linee selezionate in Figura 44. Il grafico ottenuto (Figura 45) mostra valori della portata in ingresso pressoché nulli, inferiori a $1.0e-20$ mc/s.

Le analisi di stabilità sono state condotte su circa 400 superfici di scorrimento; la superficie di scorrimento critica relativa all'argine in condizioni statiche è mostrata in Figura 46: come si vede, il valore del coefficiente di sicurezza della superficie di scorrimento più critica è pari a 2.703.

Passando all'analisi in condizioni sismiche, in Figura 47, si riporta la verifica di stabilità che presenta un valore del coefficiente di sicurezza minimo pari a 2.464.

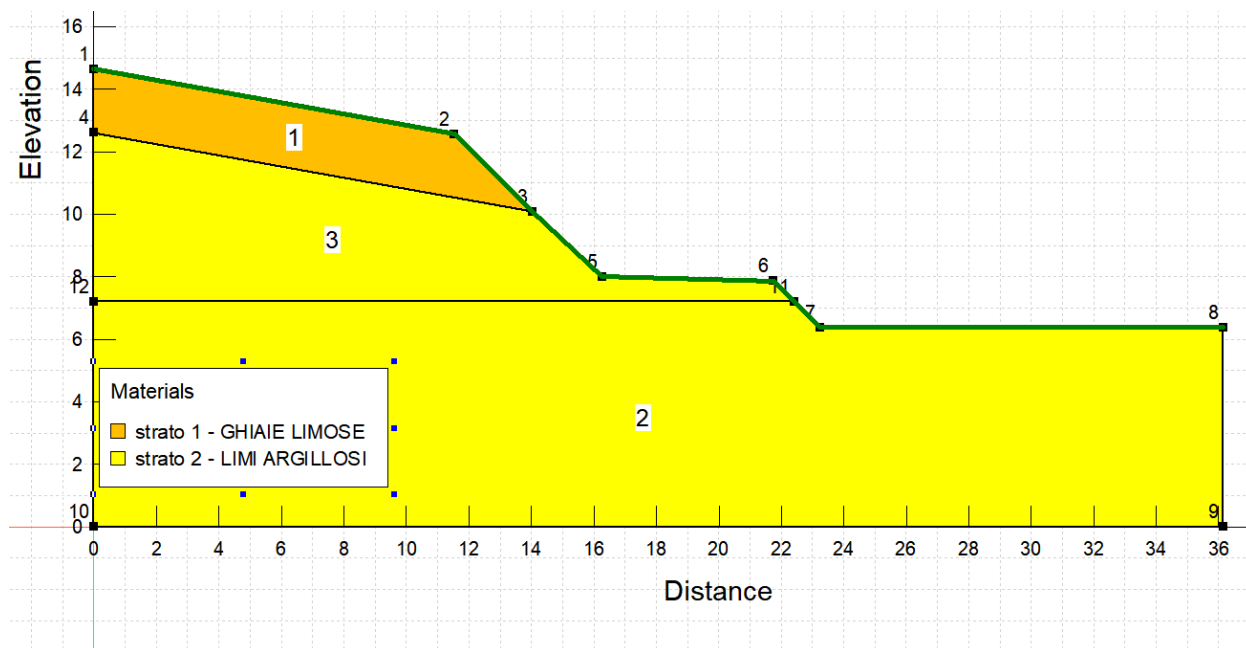


Figura 42 – modellazione della sezione tipo 2 (scavo)



Figura 43 – andamento delle pressioni interstiziali della sezione tipo 1

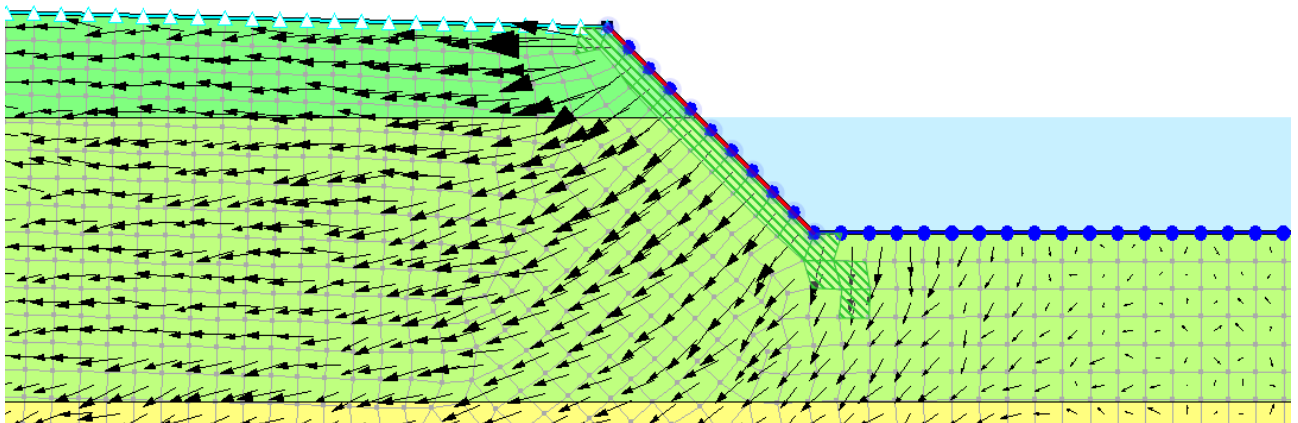


Figura 44 – linee selezionate per il report di portata in ingresso – sezione tipo 2

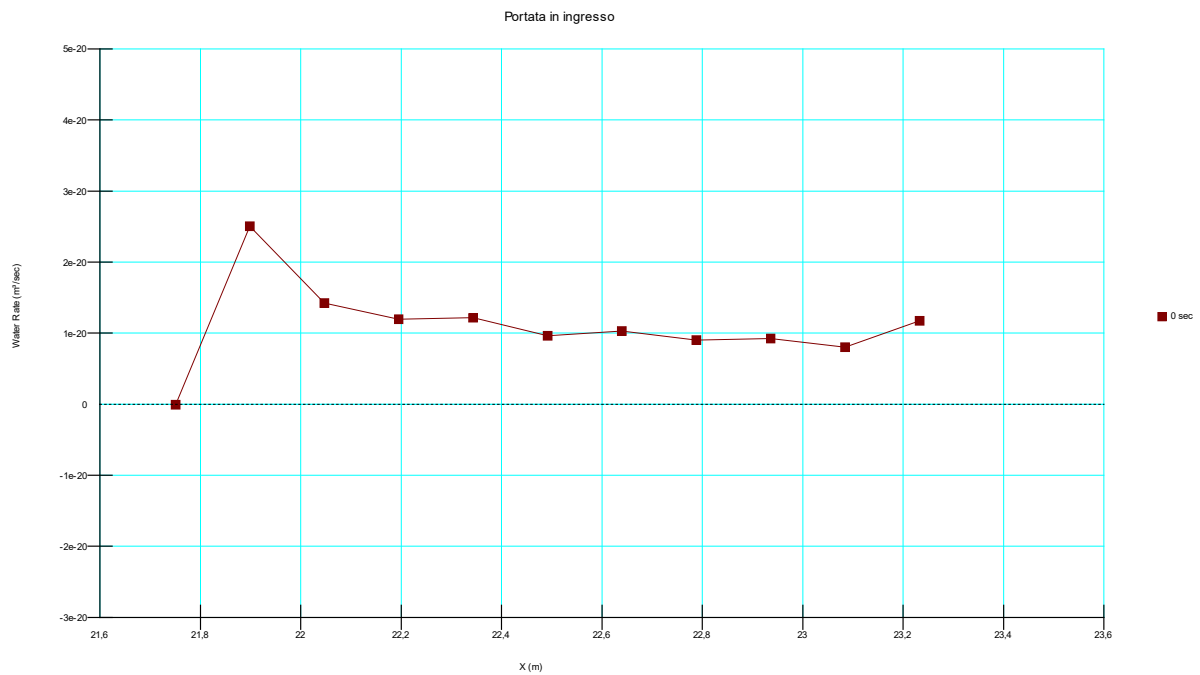


Figura 45 – andamento della portata in ingresso lungo x – sezione tipo 2

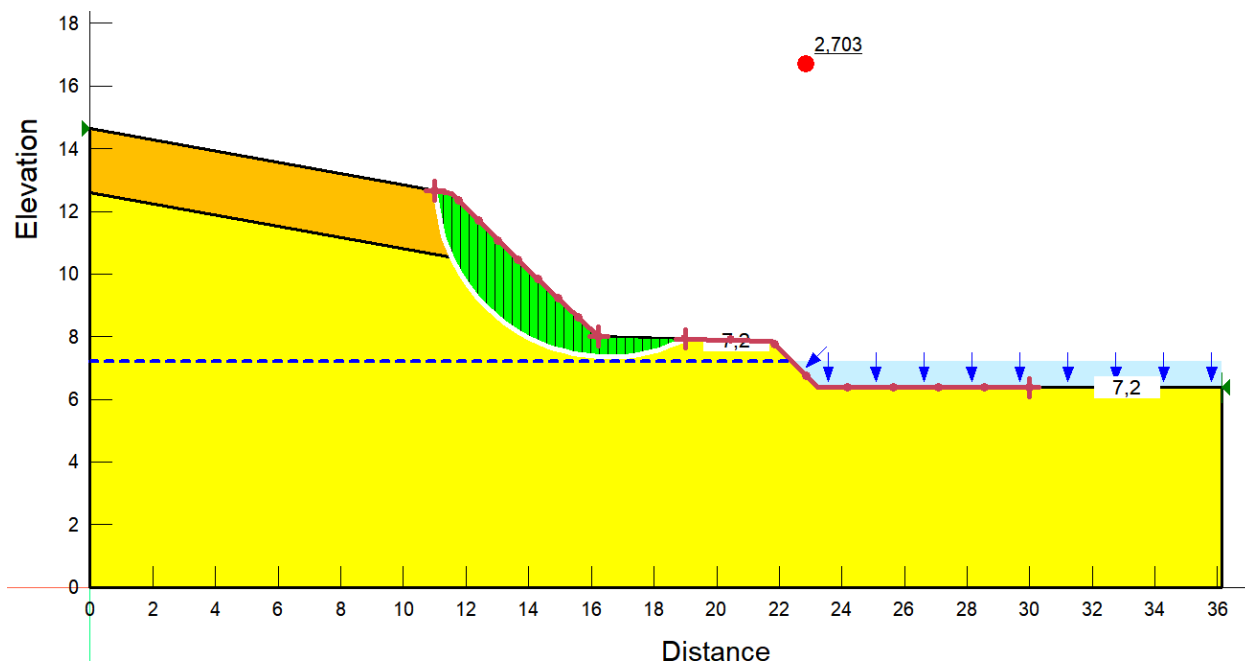


Figura 46 - coefficiente di sicurezza di stabilit  statica - sezione tipo 2

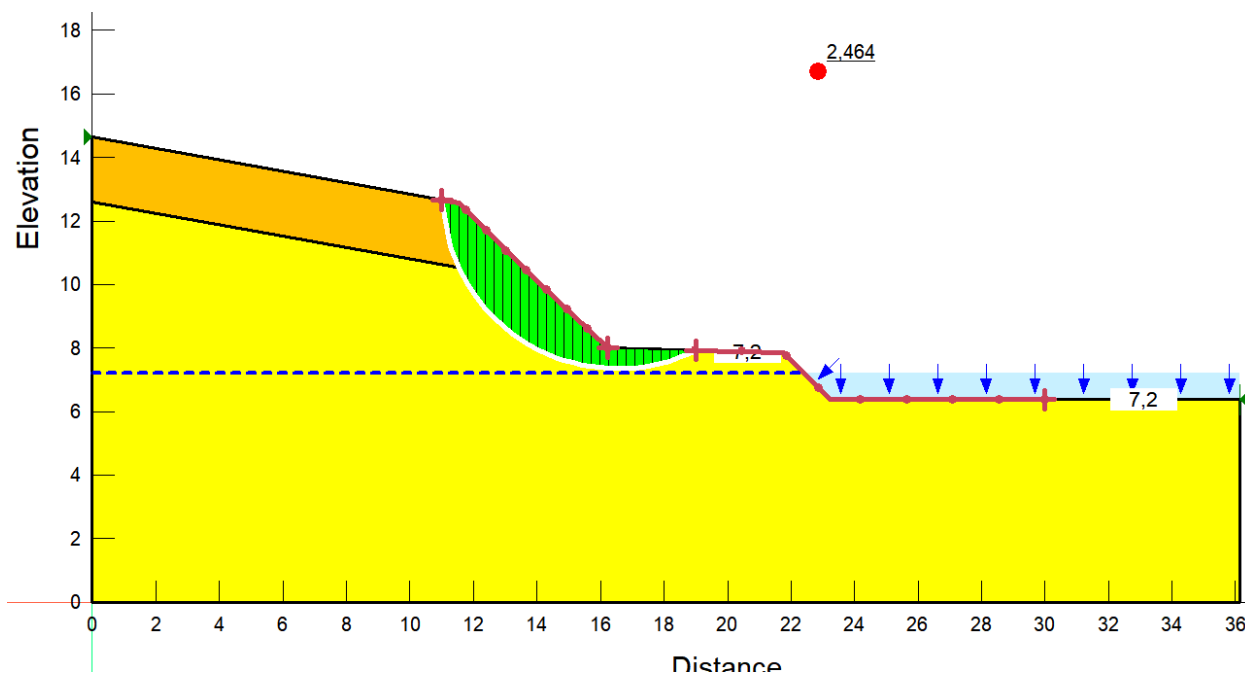


Figura 47 - coefficiente di sicurezza di stabilit  sismica - sezione tipo 2

ALLEGATO 1: REPORT DELL'ANALISI DI FILTRAZIONE DEL RILEVATO
ARGINALE (SEZIONE TIPO 1)

Steady-State Seepage

Report generated using GeoStudio 2024.1.0. Copyright © 2024 Bentley Systems, Incorporated.

File Information

File Version: 11.06
Tool Version: 24.1.0.1406
Revision Number: 22
Date: 05/06/2024
Time: 14:30:58
File Name: verifica sezione 2_rev2.gsz
Directory: \\192.168.1.100\progetti3\Commesse2024\2422_CONSORZIO_BONIFICA_TEVERENERA_bacino_fosso_rivo\2422_Elaborati\2422_ESE\2422_E_ZO_File lavoro\GIULIA\verifiche GEOSTUDIO\
Last Solved Date: 05/06/2024
Last Solved Time: 14:31:02

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

Steady-State Seepage

Kind: SEEP/W
Analysis Type: Steady-State
Physics
 Water Transfer
 Free convection: thermal effects: No
 Free convection: solute effects: No
 Vapor transfer: isothermal: No
 Vapor transfer: thermal: No
Water Settings
 Maximum Number of Iterations: 500
 Maximum Difference: 0,005
 Significant Digits: 2
 Max # of Reviews: 10
 Under-Relaxation Criteria
 Initial Rate: 1
 Minimum Rate: 0,1
 Rate Reduction Factor: 0,65
 Reduction Frequency (iterations): 10
 Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³
 Bulk Modulus of Pore-Fluid: 2 083 333,3 kPa
Steps
 Starting Time: 0 d
 Duration: 0 d
 Ending Time: 0 d

Materials

NUCLEO ARGINE

Hydraulic

Hydraulic Material Model: [Saturated / Unsaturated](#)

Vol. WC. Function: [theta nucleo argine](#)

K-Function: [k nucleo argine](#)

Ky'/Kx' Ratio: [1](#)

Rotation: [0 °](#)

MANTELLIO ARGINE

Hydraulic

Hydraulic Material Model: [Saturated / Unsaturated](#)

Vol. WC. Function: [theta mantello argine](#)

K-Function: [k mantello argine](#)

Ky'/Kx' Ratio: [1](#)

Rotation: [0 °](#)

strato 2 - limi sabbiosi

Hydraulic

Hydraulic Material Model: [Saturated Only](#)

Sat Kx: [4,93e-07 m/sec](#)

Ky'/Kx' Ratio: [1](#)

Rotation: [0 °](#)

Volumetric Water Content: [0,45](#)

Compressibility: [0 /kPa](#)

strato 3 - limi argillosi

Hydraulic

Hydraulic Material Model: [Saturated Only](#)

Sat Kx: [1e-08 m/sec](#)

Ky'/Kx' Ratio: [1](#)

Rotation: [0 °](#)

Volumetric Water Content: [0,49](#)

Compressibility: [0 /kPa](#)

strato 1 - ghiaie limose

Hydraulic

Hydraulic Material Model: [Saturated / Unsaturated](#)

Vol. WC. Function: [theta ghiaie limose](#)

K-Function: [k ghiaie limose](#)

Ky'/Kx' Ratio: [1](#)

Rotation: [0 °](#)

Boundary Conditions

Drainage

Category: [Hydraulic](#)

Kind: [Water Rate 0 m³/sec](#)

Review: [Yes](#)

H cost

Category: [Hydraulic](#)

Kind: [Water Total Head 18,12 m](#)

Review: [No](#)

impermeable

Category: [Hydraulic](#)

Kind: [Water Flux 0 m/sec](#)

Review: [No](#)

Water K Functions

k nucleo argine

Model: [Hyd K Data Point Function](#)

Function: [Water X-Conductivity vs. Water Pressure](#)

Curve Fit to Data: [100 %](#)

Segment Curvature: [98 %](#)

Saturated Kx: [9,5e-07 m/sec](#)

Data Points: [Matric Suction \(kPa\), Water X-Conductivity \(m/sec\)](#)

Data Point: [\(0; 9,5e-07\)](#)

Data Point: [\(0,01; 9,4908514e-07\)](#)

Data Point: [\(0,018329807; 9,4829e-07\)](#)

Data Point: [\(0,033598183; 9,4708903e-07\)](#)

Data Point: [\(0,061584821; 9,4515424e-07\)](#)

Data Point: [\(0,11288379; 9,4199796e-07\)](#)

Data Point: [\(0,20691381; 9,3674299e-07\)](#)

Data Point: [\(0,37926902; 9,2791552e-07\)](#)

Data Point: [\(0,6951928; 9,1307429e-07\)](#)

Data Point: [\(1,274275; 8,8805966e-07\)](#)

Data Point: [\(2,3357215; 8,4662557e-07\)](#)

Data Point: [\(4,2813324; 7,7945712e-07\)](#)

Data Point: [\(7,8475997; 6,7528045e-07\)](#)

Data Point: [\(14,384499; 5,2666876e-07\)](#)

Data Point: [\(26,366509; 3,4279607e-07\)](#)

Data Point: [\(48,329302; 1,6635297e-07\)](#)

Data Point: [\(88,586679; 5,3822674e-08\)](#)

Data Point: [\(162,37767; 1,1560649e-08\)](#)

Data Point: [\(297,63514; 1,9043604e-09\)](#)

Data Point: [\(545,55948; 2,6953654e-10\)](#)

Data Point: [\(1 000; 2,4792566e-11\)](#)

Estimation Properties

Hyd. K-Function Estimation Method: [Fredlund-Xing Function](#)

Vol. WC Function: [theta nucleo argine](#)

Saturated Kx: [1,3615486e-06 m/sec](#)

Maximum Suction: [20 885,434 kPa](#)

Minimum Suction: [0,20885434 kPa](#)

Num. Points: [20](#)

k mantello argine

Model: [Hyd K Data Point Function](#)

Function: [Water X-Conductivity vs. Water Pressure](#)

Curve Fit to Data: 100 %
Segment Curvature: 98 %
Saturated Kx: 0,001 m/sec
Data Points: Matric Suction (kPa), Water X-Conductivity (m/sec)
Data Point: (0; 0,001)
Data Point: (0,20885434; 0,001)
Data Point: (0,38282598; 0,0009949124)
Data Point: (0,70171264; 0,00066883457)
Data Point: (1,2862257; 5,3010143e-05)
Data Point: (2,357627; 1,5368755e-06)
Data Point: (4,3214847; 1,3408189e-07)
Data Point: (7,9211981; 1,3493413e-08)
Data Point: (14,519403; 1,9104823e-09)
Data Point: (26,613786; 2,9696191e-10)
Data Point: (48,782557; 5,2437287e-11)
Data Point: (89,417486; 1,0085782e-11)
Data Point: (163,90053; 2,1285597e-12)
Data Point: (300,42651; 4,9373004e-13)
Data Point: (550,67599; 1,2611601e-13)
Data Point: (1 009,3785; 3,4929436e-14)
Data Point: (1 850,1713; 1,0126243e-14)
Data Point: (3 391,3282; 2,9361236e-15)
Data Point: (6 216,2392; 8,1757544e-16)
Data Point: (11 394,247; 2,1022358e-16)
Data Point: (20 885,434; 4,720458e-17)
Estimation Properties
Hyd. K-Function Estimation Method: Fredlund-Xing Function
Vol. WC Function: theta mantello argine
Saturated Kx: 0,001 m/sec
Maximum Suction: 20 885,434 kPa
Minimum Suction: 0,20885434 kPa
Num. Points: 20

k ghiaie limose

Model: Hyd K Data Point Function
Function: Water X-Conductivity vs. Water Pressure
Curve Fit to Data: 100 %
Segment Curvature: 100 %
Saturated Kx: 5e-05 m/sec
Data Points: Matric Suction (kPa), Water X-Conductivity (m/sec)
Data Point: (0; 5e-05)
Data Point: (0,01; 4,9931306e-05)
Data Point: (0,018329807; 4,9850692e-05)
Data Point: (0,033598183; 4,9699686e-05)
Data Point: (0,061584821; 4,9404874e-05)
Data Point: (0,11288379; 4,8840904e-05)
Data Point: (0,20691381; 4,7770835e-05)
Data Point: (0,37926902; 4,5789144e-05)
Data Point: (0,6951928; 4,2261509e-05)
Data Point: (1,274275; 3,6313293e-05)
Data Point: (2,3357215; 2,7333681e-05)
Data Point: (4,2813324; 1,6154319e-05)
Data Point: (7,8475997; 6,3311558e-06)

Data Point: (14,384499; 1,4171759e-06)
Data Point: (26,366509; 1,9057516e-07)
Data Point: (48,329302; 2,0038835e-08)
Data Point: (88,586679; 2,1273969e-09)
Data Point: (162,37767; 2,5299996e-10)
Data Point: (297,63514; 3,381119e-11)
Data Point: (545,55948; 4,577971e-12)
Data Point: (1 000; 3,8147844e-13)

Estimation Properties

Hyd. K-Function Estimation Method: Fredlund-Xing Function
Vol. WC Function: theta ghiaie limose
Saturated Kx: 5e-05 m/sec
Maximum Suction: 1 000 kPa
Minimum Suction: 0,01 kPa
Num. Points: 20

Vol. Water Content Functions

theta nucleo argine

Model: Vol. WC Data Point Function

Function: Volumetric Water Content vs. Water Pressure

Compressibility: 0 /kPa

Saturated Volumetric Water Content: 0,4200012

Curve Fit to Data: 100 %

Segment Curvature: 100 %

Porosity: 0,4200012

Data Points: Matric Suction (kPa), Volumetric Water Content

Data Point: (0; 0,42)
Data Point: (0,20885434; 0,41996723)
Data Point: (0,38282598; 0,41992237)
Data Point: (0,70171264; 0,41981443)
Data Point: (1,2862257; 0,41955342)
Data Point: (2,357627; 0,41892071)
Data Point: (4,3214847; 0,41738944)
Data Point: (7,9211981; 0,4137195)
Data Point: (14,519403; 0,40516259)
Data Point: (26,613786; 0,38647916)
Data Point: (48,782557; 0,35091629)
Data Point: (89,417486; 0,29743675)
Data Point: (163,90053; 0,23796853)
Data Point: (300,42651; 0,18713777)
Data Point: (550,67599; 0,14932221)
Data Point: (1 009,3785; 0,12176035)
Data Point: (1 850,1713; 0,10076737)
Data Point: (3 391,3282; 0,083772251)
Data Point: (6 216,2392; 0,069333376)
Data Point: (11 394,247; 0,056752379)
Data Point: (20 885,434; 0,045702415)

Estimation Properties

Vol. WC Estimation Method: Sample functions
Saturated Volumetric Water Content: 0,42

Sample Material: [Clay](#)
Liquid Limit: [0 %](#)
Diameter at 10% passing: [0](#)
Diameter at 60% passing: [0](#)
Maximum Suction: [20 885,434 kPa](#)
Minimum Suction: [0,20885434 kPa](#)
Num. Points: [20](#)

theta mantello argine

Model: [Vol. WC Data Point Function](#)
Function: [Volumetric Water Content vs. Water Pressure](#)
Compressibility: [0 /kPa](#)
Saturated Volumetric Water Content: [0,29954584](#)
Curve Fit to Data: [100 %](#)
Segment Curvature: [100 %](#)
Porosity: [0,29954584](#)
Data Points: [Matric Suction \(kPa\), Volumetric Water Content](#)
Data Point: [\(0; 0,3\)](#)
Data Point: [\(0,20885434; 0,2998634\)](#)
Data Point: [\(0,38282598; 0,29693454\)](#)
Data Point: [\(0,70171264; 0,24720555\)](#)
Data Point: [\(1,2862257; 0,10944054\)](#)
Data Point: [\(2,357627; 0,057002722\)](#)
Data Point: [\(4,3214847; 0,038441139\)](#)
Data Point: [\(7,9211981; 0,029154645\)](#)
Data Point: [\(14,519403; 0,023558296\)](#)
Data Point: [\(26,613786; 0,019801441\)](#)
Data Point: [\(48,782557; 0,017092885\)](#)
Data Point: [\(89,417486; 0,015034386\)](#)
Data Point: [\(163,90053; 0,013399754\)](#)
Data Point: [\(300,42651; 0,012046089\)](#)
Data Point: [\(550,67599; 0,010873146\)](#)
Data Point: [\(1 009,3785; 0,0098043943\)](#)
Data Point: [\(1 850,1713; 0,0087814943\)](#)
Data Point: [\(3 391,3282; 0,0077680654\)](#)
Data Point: [\(6 216,2392; 0,0067545499\)](#)
Data Point: [\(11 394,247; 0,0057538449\)](#)
Data Point: [\(20 885,434; 0,0047876209\)](#)

Estimation Properties
Vol. WC Estimation Method: [Sample functions](#)
Saturated Volumetric Water Content: [0,3](#)
Sample Material: [Gravel](#)
Liquid Limit: [0 %](#)
Diameter at 10% passing: [0](#)
Diameter at 60% passing: [0](#)
Maximum Suction: [20 885,434 kPa](#)
Minimum Suction: [0,20885434 kPa](#)
Num. Points: [20](#)

theta ghiaie limose

Model: [Vol. WC Data Point Function](#)
Function: [Volumetric Water Content vs. Water Pressure](#)
Compressibility: [0 /kPa](#)

Saturated Volumetric Water Content: 0,40000038

Curve Fit to Data: 100 %

Segment Curvature: 100 %

Porosity: 0,40000038

Data Points: [Matric Suction \(kPa\)](#), [Volumetric Water Content](#)

Data Point: (0; 0,4)

Data Point: (0,01; 0,39999494)

Data Point: (0,018329807; 0,399987)

Data Point: (0,033598183; 0,39996647)

Data Point: (0,061584821; 0,39991328)

Data Point: (0,11288379; 0,39977528)

Data Point: (0,20691381; 0,39941723)

Data Point: (0,37926902; 0,39848976)

Data Point: (0,6951928; 0,3961005)

Data Point: (1,274275; 0,3900383)

Data Point: (2,3357215; 0,37524203)

Data Point: (4,2813324; 0,34232354)

Data Point: (7,8475997; 0,28209248)

Data Point: (14,384499; 0,20278006)

Data Point: (26,366509; 0,13224504)

Data Point: (48,329302; 0,085666186)

Data Point: (88,586679; 0,058341202)

Data Point: (162,37767; 0,04214799)

Data Point: (297,63514; 0,031955596)

Data Point: (545,55948; 0,025075993)

Data Point: (1 000; 0,020108641)

Estimation Properties

Vol. WC Estimation Method: [Sample functions](#)

Saturated Volumetric Water Content: 0,4

Sample Material: [Silty Sand](#)

Liquid Limit: 0 %

Diameter at 10% passing: 0

Diameter at 60% passing: 0

Maximum Suction: 1 000 kPa

Minimum Suction: 0,01 kPa

Num. Points: 20

Geometry

Name: [2D Geometry](#)

Settings

View: [2D](#)

Element Thickness: [1 m](#)

Points

	X	Y
Point 1	12,818605 m	18,320041 m
Point 2	16,025203 m	18,320041 m
Point 3	18,373066 m	15,972177 m
Point 4	18,396934 m	15,172333 m

Point 5	17,541267 m	15,166746 m
Point 6	16,024836 m	13,650314 m
Point 7	14,024836 m	13,650314 m
Point 8	11,403883 m	16,271268 m
Point 9	10,775164 m	16,278158 m
Point 10	19,645677 m	15,980487 m
Point 11	16,775203 m	18,863791 m
Point 12	13,275203 m	18,776291 m
Point 13	0 m	16,355264 m
Point 14	29,685813 m	15,948862 m
Point 15	29,685813 m	11 m
Point 16	0 m	11 m
Point 17	0 m	4,948862 m
Point 18	29,685813 m	4,948862 m
Point 19	0 m	0 m
Point 20	29,685813 m	0 m

Lines

	Start Point	End Point	Length	Angle	Hydraulic Boundary
Line 1	1	2	3,2066 m	0 °	
Line 2	2	3	3,3204 m	-45 °	
Line 3	3	4	0,8002 m	-88,3 °	
Line 4	4	5	0,85569 m	0,374 °	
Line 5	5	6	2,1446 m	45 °	
Line 6	6	7	2 m	0 °	
Line 7	7	8	3,7066 m	-45 °	
Line 8	8	9	0,62876 m	-0,628 °	
Line 9	9	1	2,8888 m	45 °	H cost
Line 10	4	10	1,4874 m	32,9 °	
Line 11	10	11	4,0685 m	-45,1 °	Drainage
Line 12	11	12	3,5011 m	1,43 °	H cost
Line 13	10	14	10,04 m	-0,18 °	Drainage
Line 14	14	15	4,9489 m	90 °	
Line 15	15	16	29,686 m	0 °	
Line 16	16	13	5,3553 m	90 °	
Line 17	17	18	29,686 m	0 °	
Line 18	18	15	6,0511 m	90 °	impermeabile
Line 19	17	19	4,9489 m	90 °	
Line 20	19	20	29,686 m	0 °	impermeabile
Line 21	20	18	4,9489 m	90 °	impermeabile
Line 22	16	17	6,0511 m	90 °	
Line 23	12	1	0,64548 m	45 °	H cost
Line 24	13	9	10,775 m	-0,41 °	H cost

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	NUCLEO ARGINE	1;2;3;4;5;6;7;8;9	23,149 m ²
Region 2	MANTELLLO ARGINE	4;10;11;12;1;2;3	5,5247 m ²
Region 3	strato 1 - ghiaie limose	13;9;8;7;6;5;4;10;14;15;16	140,58 m ²
Region 4	strato 2 - limi sabbiosi	15;16;17;18	179,63 m ²
Region 5	strato 3 - limi argillosi	17;19;20;18	146,91 m ²

Mesh Properties

Global Element Size: 0,2 m

ALLEGATO 2: REPORT DELL'ANALISI DI STABILITÀ SISMICA DEL
RILEVATO ARGINALE (SEZIONE TIPO 1)

Slope Stability con sisma

Report generated using GeoStudio 2024.1.0. Copyright © 2024 Bentley Systems, Incorporated.

File Information

File Version: 11.06
Tool Version: 24.1.0.1406
Revision Number: 22
Date: 05/06/2024
Time: 14:30:58
File Name: verifica sezione 2_rev2.gsz
Directory: \\192.168.1.100\progetti3\Commesse2024\2422_CONSORZIO_BONIFICA_TEVERENERA_bacino_fosso_rivo\2422_Elaborati\2422_ESE\2422_E_ZO_File lavoro\GIULIA\verifiche GEOSTUDIO\
Last Solved Date: 05/06/2024
Last Solved Time: 14:31:04

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

Slope Stability con sisma

Kind: SLOPE/W
Parent: Steady-State Seepage
Analysis Type: Morgenstern-Price
Settings
 Side Function
 Intercolumn force function option: Half-Sine
 PWP Conditions from Parent Analysis: Steady-State Seepage [(last)]
 Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³
Slip Surface
 Direction of movement: Left to Right
 Use Passive Mode: No
 Slip Surface Option: Entry and Exit
 Critical slip surfaces saved: 1
 Optimize Critical Slip Surface Location: No
 Tension Crack Option: (none)
Distribution
 F of S Calculation Option: Constant
Convergence
 Geometry Settings
 Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m
 Minimum Slip Surface Volume: 1 m³
 Number of Columns: 30
 Factor of Safety Convergence Settings
 Maximum Number of Iterations: 100
 Tolerable difference in F of S: 0,001
Under-Relaxation Criteria

Initial Rate: 1
Minimum Rate: 0,1
Rate Reduction Factor: 0,65
Reduction Frequency (iterations): 50
Solution Settings
Search Method: Root Finder
Tolerable difference between starting and converged F of S: 3
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

NUCLEO ARGINE

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19,1 kN/m³
Effective Cohesion: 7,8 kPa
Effective Friction Angle: 24,1 °
Phi-B: 0 °

MANTELO ARGINE

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 32 °
Phi-B: 0 °

strato 2 - limi sabbiosi

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18,5 kN/m³
Effective Cohesion: 20 kPa
Effective Friction Angle: 27 °
Phi-B: 0 °

strato 3 - limi argillosi

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19,5 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 25 °
Phi-B: 0 °

strato 1 - ghiaie limose

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 32 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range
Left-Zone Left Coordinate: (10; 16,283705) m

Left-Zone Right Coordinate: (13,143654; 18,644843) m
Left-Zone Increment: 8
Right Type: Range
Right-Zone Left Coordinate: (17,088307; 18,549288) m
Right-Zone Right Coordinate: (25; 15,963622) m
Right-Zone Increment: 8
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 16,355264) m
Right Coordinate: (29,685813; 15,948862) m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,058
Vert Seismic Coef.: 0,029

Geometry

Name: 2D Geometry

Settings

View: 2D
Element Thickness: 1 m

Points

	X	Y
Point 1	12,818605 m	18,320041 m
Point 2	16,025203 m	18,320041 m
Point 3	18,373066 m	15,972177 m
Point 4	18,396934 m	15,172333 m
Point 5	17,541267 m	15,166746 m
Point 6	16,024836 m	13,650314 m
Point 7	14,024836 m	13,650314 m
Point 8	11,403883 m	16,271268 m
Point 9	10,775164 m	16,278158 m
Point 10	19,645677 m	15,980487 m
Point 11	16,775203 m	18,863791 m
Point 12	13,275203 m	18,776291 m
Point 13	0 m	16,355264 m
Point 14	29,685813 m	15,948862 m
Point 15	29,685813 m	11 m
Point 16	0 m	11 m
Point 17	0 m	4,948862 m
Point 18	29,685813 m	4,948862 m
Point 19	0 m	0 m

Point 20	29,685813 m	0 m
----------	-------------	-----

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	NUCLEO ARGINE	1;2;3;4;5;6;7;8;9	23,149 m ²
Region 2	MANTELLO ARGINE	4;10;11;12;1;2;3	5,5247 m ²
Region 3	strato 1 - ghiaie limose	13;9;8;7;6;5;4;10;14;15;16	140,58 m ²
Region 4	strato 2 - limi sabbiosi	15;16;17;18	179,63 m ²
Region 5	strato 3 - limi argillosi	17;19;20;18	146,91 m ²

Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 276 of 405 converged

Current Slip Surface

Slip Surface: 398

Factor of Safety: 1,422

Volume: 16,568456 m³

Weight: 315,54695 kN

Resisting Moment: 1 324,4937 kN·m

Activating Moment: 931,68278 kN·m

Resisting Force: 143,70178 kN

Activating Force: 101,0582 kN

Slip Rank: 1 of 405 slip surfaces

Exit: (23,877617; 15,967157) m

Entry: (13,143654; 18,644843) m

Radius: 8,161114 m

Center: (19,963023; 23,128144) m

Slip Columns

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength	Suction Strength	Base Material
Column 1	13,209429 m	18,547859 m	-4,8970202 kPa	1,9106412 kPa	1,1939011 kPa	0 kPa	0 kPa	MANTELLO ARGINE
Column 2	13,321920 m	18,385458 m	-4,4629782 kPa	4,6467933 kPa	2,9036387 kPa	0 kPa	0 kPa	MANTELLO ARGINE
Column 3	13,558392 m	18,079329 m	-2,924025 kPa	4,8253093 kPa	2,1584652 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Column 4	13,937901 m	17,630651 m	-0,15795686 kPa	11,992971 kPa	5,364715 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Column 5	14,317411 m	17,240723 m	2,2351517 kPa	18,748085 kPa	7,3865919 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE

Colum n 6	14,6969 20 m	16,8983 60 m	4,256309 2 kPa	24,7405 53 kPa	9,163045 2 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 7	15,0764 29 m	16,5960 06 m	5,919709 6 kPa	30,1835 15 kPa	10,85372 5 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 8	15,4559 39 m	16,3282 80 m	7,242819 9 kPa	35,2629 02 kPa	12,53398 8 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 9	15,8354 48 m	16,0912 05 m	8,244883 8 kPa	40,1195 19 kPa	14,25821 3 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 10	16,2127 03 m	15,8828 49 m	8,942903 9 kPa	44,8169 54 kPa	16,04723 8 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 11	16,5877 03 m	15,7005 89 m	9,364832 4 kPa	49,4282 1 kPa	17,92121 5 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 12	16,9471 82 m	15,5469 68 m	9,552699 1 kPa	50,9228 13 kPa	18,50574 6 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 13	17,2911 40 m	15,4189 49 m	9,581339 3 kPa	49,0495 06 kPa	17,65496 4 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 14	17,6350 98 m	15,3081 47 m	9,6333 kPa	46,8164 88 kPa	16,63284 4 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 15	17,9790 56 m	15,2138 39 m	9,899513 9 kPa	44,1463 29 kPa	15,31934 1 kPa	7,8 kPa	0 kPa	NUCLEO ARGINE
Colum n 16	18,2620 50 m	15,1470 67 m	9,718618 1 kPa	41,3517 13 kPa	19,76655 1 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Colum n 17	18,3850 00 m	15,1210 55 m	9,456994 5 kPa	40,0609 75 kPa	19,12349 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Colum n 18	18,6050 58 m	15,0835 71 m	9,881847 6 kPa	37,4314 85 kPa	17,21492 4 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Colum n 19	19,0213 06 m	15,0242 53 m	10,47699 7 kPa	31,8612 95 kPa	13,36239 3 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Colum n 20	19,4375 53 m	14,9866 35 m	10,77768 4 kPa	25,2007 34 kPa	9,012521 8 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Colum n 21	19,8220 08 m	14,9701 55 m	10,83242 4 kPa	21,9865 37 kPa	6,969863 4 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Colum n 22	20,1746 69 m	14,9716 82 m	10,70827 3 kPa	22,7690 68 kPa	7,536421 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Colum n 23	20,5273 31 m	14,9884 82 m	10,43169 9 kPa	23,1162 57 kPa	7,926191 7 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Colum n 24	20,8799 93 m	15,0206 50 m	10,00642 5 kPa	22,9630 68 kPa	8,096209 3 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose

Column 25	21,2326 54 m	15,0683 70 m	9,432687 2 kPa	22,2565 43 kPa	8,013234 3 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Column 26	21,5853 16 m	15,1319 22 m	8,709243 2 kPa	20,9625 49 kPa	7,656715 6 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Column 27	21,9379 78 m	15,2116 86 m	7,832077 7 kPa	19,0717 36 kPa	7,023318 2 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Column 28	22,2906 39 m	15,3081 61 m	6,796591 2 kPa	16,6019 7 kPa	6,127080 4 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Column 29	22,6433 01 m	15,4219 75 m	5,596817 4 kPa	13,5980 19 kPa	4,999705 8 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Column 30	22,9959 63 m	15,5539 13 m	4,224921 5 kPa	10,1273 61 kPa	3,688253 3 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Column 31	23,3486 24 m	15,7049 42 m	2,670905 5 kPa	6,27238 89 kPa	2,250456 6 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose
Column 32	23,7012 86 m	15,8762 60 m	0,922876 73 kPa	2,11991 03 kPa	0,747989 59 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - ghiaie limose

ALLEGATO 3: REPORT DELL'ANALISI DI FILTRAZIONE DELL'ARGINE IN
SCAVO (SEZIONE TIPO 2)

SEEP/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2024.1.0. Copyright © 2024 Bentley Systems, Incorporated.

File Information

File Version: 11.06
Tool Version: 24.1.0.1406
Revision Number: 21
Date: 06/06/2024
Time: 13:04:15
File Name: verifica sezione 1 scavo.gsz
Directory: \\192.168.1.100\progetti3\Commesse2024\2422_CONSORZIO_BONIFICA_TEVERENERA_bacino_fosso_rivo\2422_Elaborati\2422_ESE\2422_E_ZO_File lavoro\GIULIA\verifiche GEOSTUDIO\
Last Solved Date: 06/06/2024
Last Solved Time: 13:04:18

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

SEEP/W Analysis

Kind: SEEP/W
Analysis Type: Steady-State
Physics
 Water Transfer
 Free convection: thermal effects: No
 Free convection: solute effects: No
 Vapor transfer: isothermal: No
 Vapor transfer: thermal: No
Water Settings
 Maximum Number of Iterations: 500
 Maximum Difference: 0,005
 Significant Digits: 2
 Max # of Reviews: 10
 Under-Relaxation Criteria
 Initial Rate: 1
 Minimum Rate: 0,1
 Rate Reduction Factor: 0,65
 Reduction Frequency (iterations): 10
 Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³
 Bulk Modulus of Pore-Fluid: 2 083 333,3 kPa
Steps
 Starting Time: 0 d
 Duration: 0 d
 Ending Time: 0 d

Materials

strato 1 - GHIAIE LIMOSE

Hydraulic

Hydraulic Material Model: [Saturated / Unsaturated](#)

Vol. WC. Function: [theta ghiaie limose](#)

K-Function: [k ghiaie limose](#)

Ky'/Kx' Ratio: [1](#)

Rotation: [0 °](#)

strato 2 - LIMI ARGILLOSI

Hydraulic

Hydraulic Material Model: [Saturated Only](#)

Sat Kx: [9,5e-07 m/sec](#)

Ky'/Kx' Ratio: [1](#)

Rotation: [0 °](#)

Volumetric Water Content: [0,37](#)

Compressibility: [0 /kPa](#)

Boundary Conditions

Drainage

Category: [Hydraulic](#)

Kind: [Water Rate 0 m³/sec](#)

Review: [Yes](#)

H cost

Category: [Hydraulic](#)

Kind: [Water Total Head 7,2 m](#)

Review: [No](#)

impermeable

Category: [Hydraulic](#)

Kind: [Water Flux 0 m/sec](#)

Review: [No](#)

Water K Functions

k ghiaie limose

Model: [Hyd K Data Point Function](#)

Function: [Water X-Conductivity vs. Water Pressure](#)

Curve Fit to Data: [100 %](#)

Segment Curvature: [100 %](#)

Saturated Kx: [5e-05 m/sec](#)

Data Points: [Matric Suction \(kPa\), Water X-Conductivity \(m/sec\)](#)

Data Point: [\(0; 5e-05\)](#)

Data Point: [\(0,01; 4,9931306e-05\)](#)

Data Point: [\(0,018329807; 4,9850692e-05\)](#)

Data Point: [\(0,033598183; 4,9699686e-05\)](#)

Data Point: (0,061584821; 4,9404874e-05)
Data Point: (0,11288379; 4,8840904e-05)
Data Point: (0,20691381; 4,7770835e-05)
Data Point: (0,37926902; 4,5789144e-05)
Data Point: (0,6951928; 4,2261509e-05)
Data Point: (1,274275; 3,6313293e-05)
Data Point: (2,3357215; 2,7333681e-05)
Data Point: (4,2813324; 1,6154319e-05)
Data Point: (7,8475997; 6,3311558e-06)
Data Point: (14,384499; 1,4171759e-06)
Data Point: (26,366509; 1,9057516e-07)
Data Point: (48,329302; 2,0038835e-08)
Data Point: (88,586679; 2,1273969e-09)
Data Point: (162,37767; 2,5299996e-10)
Data Point: (297,63514; 3,381119e-11)
Data Point: (545,55948; 4,577971e-12)
Data Point: (1 000; 3,8147844e-13)

Estimation Properties

Hyd. K-Function Estimation Method: Fredlund-Xing Function
Saturated Kx: 5e-05 m/sec
Maximum Suction: 1 000 kPa
Minimum Suction: 0,01 kPa
Num. Points: 20

Vol. Water Content Functions

theta ghiaie limose

Model: Vol. WC Data Point Function
Function: Volumetric Water Content vs. Water Pressure
Compressibility: 0 /kPa
Saturated Volumetric Water Content: 0,40000038
Curve Fit to Data: 100 %
Segment Curvature: 100 %
Porosity: 0,40000038
Data Points: Matric Suction (kPa), Volumetric Water Content
Data Point: (0; 0,4)
Data Point: (0,01; 0,39999494)
Data Point: (0,018329807; 0,399987)
Data Point: (0,033598183; 0,39996647)
Data Point: (0,061584821; 0,39991328)
Data Point: (0,11288379; 0,39977528)
Data Point: (0,20691381; 0,39941723)
Data Point: (0,37926902; 0,39848976)
Data Point: (0,6951928; 0,3961005)
Data Point: (1,274275; 0,3900383)
Data Point: (2,3357215; 0,37524203)
Data Point: (4,2813324; 0,34232354)
Data Point: (7,8475997; 0,28209248)
Data Point: (14,384499; 0,20278006)
Data Point: (26,366509; 0,13224504)
Data Point: (48,329302; 0,085666186)

Data Point: (88,586679; 0,058341202)
Data Point: (162,37767; 0,04214799)
Data Point: (297,63514; 0,031955596)
Data Point: (545,55948; 0,025075993)
Data Point: (1 000; 0,020108641)

Estimation Properties

Vol. WC Estimation Method: [Sample functions](#)
Saturated Volumetric Water Content: [0,4](#)
Sample Material: [Silty Sand](#)
Liquid Limit: [0 %](#)
Diameter at 10% passing: [0](#)
Diameter at 60% passing: [0](#)
Maximum Suction: [1 000 kPa](#)
Minimum Suction: [0,01 kPa](#)
Num. Points: [20](#)

Geometry

Name: [2D Geometry](#)

Settings

View: [2D](#)
Element Thickness: [1 m](#)

Points

	X	Y
Point 1	0 m	14,630437 m
Point 2	11,536772 m	12,55974 m
Point 3	14,022668 m	10,073843 m
Point 4	0 m	12,60158 m
Point 5	16,25 m	7,987933 m
Point 6	21,75048 m	7,853105 m
Point 7	23,232523 m	6,371706 m
Point 8	36,139284 m	6,371706 m
Point 9	36,139284 m	0 m
Point 10	0 m	0 m
Point 11	22,398131 m	7,205736 m
Point 12	0 m	7,205736 m

Lines

	Start Point	End Point	Hydraulic Boundary	Length	Angle
Line 1	1	2	Drainage	11,721 m	-10,2 °
Line 2	2	3	Drainage	3,5156 m	-45 °
Line 3	3	4		14,249 m	-10,2 °
Line 4	4	1	impermeable	2,0289 m	90 °
Line 5	3	5	Drainage	3,0516 m	-43,1 °
Line 6	5	6	Drainage	5,5021 m	-1,4 °
Line 7	7	8	H cost	12,907 m	0 °

Line 8	8	9	H cost	6,3717 m	90 °
Line 9	9	10	impermeabile	36,139 m	0 °
Line 10	6	11	Drainage	0,91572 m	-45 °
Line 11	11	7	H cost	1,1798 m	-45 °
Line 12	10	12	impermeabile	7,2057 m	90 °
Line 13	12	4		5,3958 m	90 °
Line 14	11	12		22,398 m	0 °

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	strato 1 - GHIAIE LIMOSE	1;2;3;4	25,991 m ²
Region 2	strato 2 - LIMI ARGILLOSI	10;9;8;7;11;12	249,3 m ²
Region 3	strato 2 - LIMI ARGILLOSI	12;11;6;5;3;4	66,148 m ²

Mesh Properties

Global Element Size: 0,2 m

ALLEGATO 4: REPORT DELL'ANALISI DI STABILITÀ SISMICA
DELL'ARGINE IN SCAVO (SEZIONE TIPO 2)

Slope Stability con sisma

Report generated using GeoStudio 2024.1.0. Copyright © 2024 Bentley Systems, Incorporated.

File Information

File Version: 11.06
Tool Version: 24.1.0.1406
Revision Number: 19
Date: 05/06/2024
Time: 16:05:06
File Name: verifica sezione 1 scavo.gsz
Directory: \\192.168.1.100\progetti3\Commesse2024\2422_CONSORZIO_BONIFICA_TEVERENERA_bacino_fosso_rivo\2422_Elaborati\2422_ESE\2422_E_ZO_File lavoro\GIULIA\verifiche GEOSTUDIO\
Last Solved Date: 05/06/2024
Last Solved Time: 16:05:10

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

Slope Stability con sisma

Kind: SLOPE/W
Parent: SEEP/W Analysis
Analysis Type: Morgenstern-Price
Settings
Side Function
Intercolumn force function option: Half-Sine
PWP Conditions from Parent Analysis: SEEP/W Analysis [(last)]
Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³
Slip Surface
Direction of movement: Left to Right
Use Passive Mode: No
Slip Surface Option: Entry and Exit
Critical slip surfaces saved: 1
Optimize Critical Slip Surface Location: No
Tension Crack Option: (none)
Distribution
F of S Calculation Option: Constant
Convergence
Geometry Settings
Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m
Minimum Slip Surface Volume: 1 m³
Number of Columns: 30
Factor of Safety Convergence Settings
Maximum Number of Iterations: 100
Tolerable difference in F of S: 0,001
Under-Relaxation Criteria

Initial Rate: 1
Minimum Rate: 0,1
Rate Reduction Factor: 0,65
Reduction Frequency (iterations): 50
Solution Settings
Search Method: Root Finder
Tolerable difference between starting and converged F of S: 3
Maximum iterations to calculate converged lambda: 20
Max Absolute Lambda: 2

Materials

strato 1 - GHIAIE LIMOSE

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20 kN/m³
Effective Cohesion: 0 kPa
Effective Friction Angle: 27 °
Phi-B: 0 °

strato 2 - LIMI ARGILLOSI

Slope Stability Material Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19,1 kN/m³
Effective Cohesion: 20 kPa
Effective Friction Angle: 26 °
Phi-B: 0 °

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range
Left-Zone Left Coordinate: (11; 12,656083) m
Left-Zone Right Coordinate: (16,237115; 8) m
Left-Zone Increment: 8
Right Type: Range
Right-Zone Left Coordinate: (19; 7,920525) m
Right-Zone Right Coordinate: (30; 6,371706) m
Right-Zone Increment: 8
Radius Increments: 4

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (0; 14,630437) m
Right Coordinate: (36,139284; 6,371706) m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,058
Vert Seismic Coef.: 0,029

Geometry

Name: 2D Geometry

Settings

View: 2D

Element Thickness: 1 m

Points

	X	Y
Point 1	0 m	14,630437 m
Point 2	11,536772 m	12,55974 m
Point 3	14,022668 m	10,073843 m
Point 4	0 m	12,60158 m
Point 5	16,25 m	7,987933 m
Point 6	21,75048 m	7,853105 m
Point 7	23,232523 m	6,371706 m
Point 8	36,139284 m	6,371706 m
Point 9	36,139284 m	0 m
Point 10	0 m	0 m
Point 11	22,398131 m	7,205736 m
Point 12	0 m	7,205736 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	strato 1 - GHIAIE LIMOSE	1;2;3;4	25,991 m ²
Region 2	strato 2 - LIMI ARGILLOSI	10;9;8;7;11;12	249,3 m ²
Region 3	strato 2 - LIMI ARGILLOSI	12;11;6;5;3;4	66,148 m ²

Slip Results

Slip Surfaces Analysed: 210 of 405 converged

Current Slip Surface

Slip Surface: 5

Factor of Safety: 2,464

Volume: 10,99358 m³

Weight: 212,85176 kN

Resisting Moment: 1 582,7644 kN·m

Activating Moment: 642,34875 kN·m

Resisting Force: 237,79454 kN

Activating Force: 96,487394 kN

Slip Rank: 1 of 405 slip surfaces

Exit: (19; 7,9205249) m

Entry: (11; 12,656083) m

Radius: 5,5498983 m

Center: (16,544635; 12,897728) m

Slip Columns

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesiv e Strengt h	Suction Strengt h	Base Material
Column 1	11,1320 56 m	11,9228 79 m	- 46,3172 75 kPa	5,75197 63 kPa	2,93077 83 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - GHIAIE LIMOSE
Column 2	11,4004 42 m	10,8475 96 m	- 35,7719 71 kPa	17,9611 04 kPa	9,15163 94 kPa	0 kPa	0 kPa	strato 1 - GHIAIE LIMOSE
Column 3	11,6748 77 m	10,2513 78 m	- 29,9248 65 kPa	14,8174 18 kPa	7,22693 76 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 4	11,9510 88 m	9,79291 4 m	- 25,4287 06 kPa	18,6851 65 kPa	9,11336 37 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 5	12,2272 99 m	9,41727 5 m	- 21,7448 17 kPa	21,1439 97 kPa	10,3126 16 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 6	12,5035 09 m	9,09904 3 m	- 18,6239 1 kPa	22,8664 44 kPa	11,1527 1 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 7	12,7797 20 m	8,82447 2 m	- 15,9311 98 kPa	24,1702 51 kPa	11,7886 19 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 8	13,0559 31 m	8,58510 1 m	- 13,5836 83 kPa	25,2208 49 kPa	12,3010 3 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 9	13,3321 41 m	8,37527 8 m	- 11,5259 52 kPa	26,1047 64 kPa	12,7321 44 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 10	13,6083 52 m	8,19101 9 m	- 9,71892 05 kPa	26,8607 99 kPa	13,1008 87 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 11	13,8845 63 m	8,02940 0 m	- 8,13392 94 kPa	27,4942 71 kPa	13,4098 52 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 12	14,1618 76 m	7,88773 2 m	- 6,74458 31 kPa	28,1950 41 kPa	13,7516 4 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI

Column 13	14,440293 m	7,764457 m	-5,5356267 kPa	28,941102 kPa	14,115518 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 14	14,718709 m	7,658870 m	-4,5001425 kPa	29,462062 kPa	14,369608 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 15	14,997126 m	7,569917 m	-3,6277782 kPa	29,670244 kPa	14,471145 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 16	15,275542 m	7,496772 m	-2,9104472 kPa	29,454429 kPa	14,365885 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 17	15,553959 m	7,438799 m	-2,3418981 kPa	28,683267 kPa	13,989764 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 18	15,832375 m	7,395515 m	-1,9174147 kPa	27,21269 kPa	13,272516 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 19	16,110792 m	7,366575 m	-1,6336054 kPa	24,898813 kPa	12,143962 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 20	16,387500 m	7,351761 m	-1,4883166 kPa	24,265201 kPa	11,834929 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 21	16,662500 m	7,350787 m	-1,4787633 kPa	25,504404 kPa	12,439329 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 22	16,937500 m	7,363469 m	-1,6031406 kPa	25,940379 kPa	12,651968 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 23	17,212500 m	7,389903 m	-1,8623761 kPa	25,476709 kPa	12,425821 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 24	17,487500 m	7,430288 m	-2,2584307 kPa	24,073854 kPa	11,741603 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI

Column 25	17,762500 m	7,484937 m	- 2,794375 kPa	21,765856 kPa	10,615918 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 26	18,037500 m	7,554289 m	- 3,4745129 kPa	18,66451 kPa	9,10329 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 27	18,312500 m	7,638928 m	- 4,3045662 kPa	14,947828 kPa	7,2905428 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 28	18,587500 m	7,739608 m	- 5,2919388 kPa	10,834648 kPa	5,2844108 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI
Column 29	18,862500 m	7,857295 m	- 6,4460913 kPa	6,5520948 kPa	3,1956702 kPa	20 kPa	0 kPa	strato 2 - LIMI ARGILLO SI