

S.S. 67 "Tosco Romagnola"
Lavori di adeguamento della S.S. 67 nel tratto tra la
località S.Francesco in Comune di Pelago e l'abitato di
Dicomano.

Variante di Rufina (FI) – LOTTI 2A e 2B

PROGETTO DEFINITIVO

COD. FI462

PROGETTAZIONE:
RAGGRUPPAMENTO
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:



MANDANTI:



sinergo



IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI
SPECIALISTICHE:

Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045

IL GEOLOGO:

Geol. Massimo Mezzanica – Società Pro Iter Srl
Ordine Geologi della Lombardia n. 762

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Massimo Mangini – Società Erre.Vi.A Srl
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Francesco Pisani

PROTOCOLLO:

DATA:



03 - GEOLOGIA GEOTECNICA E SISMICA

03.03 - Geotecnica

Relazione geotecnica generale

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA
PROGETTO	LIV. PROG.	T00-GE03-GET-RE01-B.pdf			
ACNO0113	D 20	CODICE ELAB.	T00GE03GETRE01	B	-
D					
C					
B	Revisione a seguito di istruttoria ANAS	02/2024	Silvestri	Mezzanica	Formichi
A	EMISSIONE	10/2023	Vitiello	Mezzanica	Formichi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	B	1 di 351
			Data 02/2024	

INDICE

1	PREMESSA	7
2	NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO	9
2.1	Normative e raccomandazioni tecniche	9
2.2	Elaborati di progetto definitivo.....	9
2.3	Documenti bibliografici.....	11
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE	12
3.1	Campagna di indagine geognostica 2021-2022	12
3.1.1	Piezometri - Geoconsol Srl.....	13
3.1.2	Indagini geognostiche in sito - Eurogeo Srl	13
3.1.3	Indagini geofisiche – Geofisica misure snc.....	19
3.2	Campagna di indagine geognostica integrativa 2023.....	20
3.2.1	Sismica a rifrazione in onde P e SH	21
3.2.2	Geoelettrica.....	22
3.2.3	Prove con dilatometro piatto Marchetti	23
3.2.4	Monitoraggio inclinometrico.....	23
3.2.5	Monitoraggio piezometrico	24
3.2.6	Prelievo acque di falda e analisi chimiche	24
4	QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO	26
4.1	Unità stratigrafiche di riferimento	26
4.1.1	Unità tettonica Canétolo	26
4.1.2	Unità tettonica Galiga.....	27
4.1.3	Depositi quaternari	28
5	QUADRO GEOMORFOLOGICO DI RIFERIMENTO	30
5.1	Dinamica geomorfologica di versante	30
5.1.1	Consultazione del catalogo IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia	31
5.1.2	Consultazione della Banca Dati geomorfologica della Regione Toscana	32
5.1.3	Consultazione del PAI dell’Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale.....	33
5.1.4	Progetto di Piano - PAI “Dissesti geomorfologici”	34
5.2	Analisi fotointerpretativa stereoscopica e rilievo geomorfologico.....	38
5.2.1	Forme e depositi dovuti all’azione della gravità e processi di pendio	38
5.2.2	Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque	38
5.2.3	Forme e depositi antropici	38
6	IDROGEOLOGIA E PERMEABILITÀ DEI TERRENI	39
7	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE	43
7.1	Sismicità storica e classificazione sismica comunale	44
7.2	Microzonazione sismica.....	48
7.3	Strutture sismogenetiche	51
7.4	Faglie capaci	52

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGRO  sinèrgo  VA D VisionArchitecture	B	2 di 351
			Data 02/2024	

7.5	Azione sismica di base per il progetto.....	53
7.5.1	Stati limite nei confronti delle azioni sismiche.....	53
7.5.2	Periodo di riferimento per l'azione sismica	54
7.5.3	Parametri sismici.....	54
7.6	Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica	56
7.7	Suscettibilità alla liquefazione	58
7.8	Categoria sismica dei suoli di fondazione	60
7.8.1	Risultati delle prospezioni sismiche eseguite.....	61
7.8.2	Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione	76
7.8.3	Coefficiente di amplificazione topografica.....	77
7.9	Caratterizzazione sismica del Viadotto Sieve 1.....	77
7.10	Caratterizzazione sismica del Viadotto Argomena	77
7.11	Caratterizzazione sismica imbocco sud della Galleria Montebonello.....	78
7.12	Caratterizzazione sismica del Viadotto Sieve 2.....	78
7.13	Analisi pseudostatiche	79
7.13.1	Stabilità di fronti di scavo e rilevati	80
7.13.2	Opere di sostegno.....	80
7.13.3	Manufatti scatolari.....	80
7.13.4	Paratie	80
8	CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	82
8.1	Terreni prevalentemente granulari	82
8.1.1	Premessa.....	82
8.1.2	Normalizzazione del valore di NSPT	82
8.1.3	Densità relativa	83
8.1.4	Angolo di resistenza a taglio.....	83
8.1.5	Parametri di deformabilità	84
8.2	Terreni prevalentemente coesivi	85
8.2.1	Premessa.....	85
8.2.2	Proprietà indice dei terreni coesivi.....	85
8.2.3	Resistenza al taglio non drenata	85
8.2.4	Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci	86
8.2.5	Caratteristiche di deformabilità	86
8.3	Classificazione geotecnica dei terreni	86
9	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE OPERE.....	87
9.1	Interventi previsti e caratterizzazione geotecnica generale	87
9.1.1	Rotatoria Masseto di inizio tracciato	87
9.1.2	Viadotto Sieve 1 (L=363 m).....	87
9.1.3	Muro in terra armata (L=288 m).....	88
9.1.4	Barriere FOA e manufatti scatolari	89
9.1.5	Rotatoria Via Colognese e muro di sostegno.....	89

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	3 di 351
			Data 02/2024	

9.1.6	Rilevato con barriere FOA.....	89
9.1.7	Viadotto Argomena (L=198 m)	89
9.1.8	Viadotto Sieve 2 (L=408 m).....	90
9.1.9	Rotatoria Scopeti di fine tracciato.....	91
9.1.10	Definizione delle unità geotecniche di riferimento.....	92
9.2	Sintesi della caratterizzazione geomeccanica delle opere	92
9.2.1	Galleria Montebonello	93
9.2.2	Viadotto Argomena e Viadotto Sieve 2.....	97
9.3	Proprietà fisiche delle unità geotecniche: risultati delle prove di identificazione	98
9.4	Proprietà meccaniche delle unità geotecniche dai risultati delle prove SPT e dalle prospezioni sismiche down-hole	101
9.5	Proprietà meccaniche delle unità geotecniche dalle prove edometriche	102
9.6	Permeabilità delle unità geotecniche.....	102
9.7	Parametri di resistenza meccanica delle unità geotecniche dalle prove di taglio diretto e parametri di resistenza non drenata delle unità geotecniche dalle prove triassiali UU.....	105
9.8	Grafici dei risultati delle prove in sito e di laboratorio eseguite con definizione dei valori caratteristici 106	
9.9	Proprietà geotecniche dei depositi antropici (riporti stradali)	112
9.10	Proprietà geotecniche dei materiali dei rilevati di nuova realizzazione	112
9.11	Sintesi dei parametri geotecnici (e geomeccanici) delle principali delle unità	112
10	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA AREA DI FRANA tra le p.k. 0+925 e 1+300	114
10.1	Classificazione geomorfologica della frana	114
10.2	Analisi interferometrica di immagini radar satellitari.....	114
10.3	Indagini geognostiche eseguite nell'area di frana.....	118
10.3.1	Sondaggi geognostici a carotaggio continuo.....	118
10.3.2	Prove geotecniche di laboratorio.....	119
10.3.3	Sismica a rifrazione in onde P e SH.....	119
10.3.4	Geoelettrica	127
10.3.5	Prove con dilatometro piatto Marchetti	132
10.3.6	Monitoraggio inclinometrico.....	134
10.3.7	Monitoraggio piezometrico	135
10.4	Back-analysis del fenomeno franoso.....	135
10.5	Sintesi della caratterizzazione dell'area di frana.....	139
11	RILEVATI E TRINCEE.....	143
11.1	Formazione dei rilevati.....	143
11.2	Preparazione del piano di posa della pavimentazione stradale in trincea.....	144
11.3	Determinazione degli spessori di scotico e bonifica dei rilevati.....	144
12	VERIFICHE DI STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO PROVVISORIALI	147
12.1	Premessa.....	147
12.2	Generalità sulle verifiche di stabilità globale.....	147

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	4 di 351
			Data 02/2024	

12.3	Risultati.....	148
12.3.1	Sezione longitudinale Spalla 2 – Viadotto Sieve 1 (p.k. 0+458).....	149
12.3.2	Sezione longitudinale Spalla 1 – Viadotto Argomenna (p.k. 1+781)	150
13	VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SEZIONI IN RILEVATO E TRINCEA.....	151
13.1	Premessa.....	151
13.2	Generalità sulle verifiche di stabilità globale.....	151
13.2.1	Verifiche di stabilità in condizioni statiche.....	152
13.2.2	Verifiche di stabilità in condizioni sismiche	152
13.2.3	Software di calcolo.....	153
13.3	Risultati.....	154
13.3.1	Sezione 56 – Rilevato alla p.k. 0+925 (h = 8 m).....	155
13.3.2	Sezione 61 – Trincea alla p.k. 1+025 (h = 4 m).....	157
13.3.3	Sezione 74 – Rilevato alla p.k. 1+300 (h = 5 m).....	159
14	VERIFICHE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI.....	161
14.1	Metodologia di calcolo dei cedimenti.....	161
14.2	Cedimenti: immediati e di consolidazione.....	162
14.2.1	Terreni granulari.....	162
14.2.2	Terreni coesivi sovraconsolidati (OCR>1)	163
14.2.3	Terreni coesivi normalconsolidati (OCR≈1)	163
14.3	Sintesi dei risultati	164
15	MURI DI SOSTEGNO.....	167
15.1	Metodologia di calcolo.....	167
15.2	Verifiche agli Stati Limite Ultimi	167
15.2.1	Verifica a ribaltamento	169
15.2.2	Verifica a scorrimento	169
15.2.3	Verifica di capacità portante della fondazione	170
15.3	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio.....	170
15.3.1	Verifica di limitazione delle tensioni in esercizio	170
15.3.2	Verifiche a fessurazione.....	170
15.4	Azioni sismiche	171
15.5	Analisi dei carichi	172
15.6	Spinta delle terre in fase statica	172
15.6.1	Coefficienti di spinta.....	172
15.6.2	Spinta del terreno.....	174
15.6.3	Spinta dei sovraccarichi permanenti.....	174
15.6.4	Spinta dei sovraccarichi accidentali.....	175
15.7	Spinta delle terre in fase sismica.....	175
15.7.1	Coefficienti di spinta	175
15.7.2	Spinta del terreno.....	176

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D Vision Architecture	B	5 di 351
			Data 02/2024	

15.7.3	Spinta dei sovraccarichi permanenti.....	177
15.7.4	Spinta dei sovraccarichi accidentali.....	177
16	TERRE RINFORZATE.....	178
16.1	Metodologia di calcolo.....	178
17	OPERE DI SOSTEGNO FLESSIBILI.....	180
17.1	Metodologia di calcolo: condizioni statiche.....	180
17.1.1	Stato Limite Ultimo (SLU).....	180
17.1.2	Stato Limite di Esercizio (SLE).....	182
17.2	Metodologia di calcolo: condizioni sismiche.....	182
17.3	Spinta delle terre.....	185
17.3.1	Coefficiente di spinta a riposo.....	185
17.3.2	Coefficiente di spinta attiva in fase statica.....	185
17.3.3	Coefficiente di spinta attiva in fase sismica.....	187
17.3.4	Coefficiente di spinta passiva in fase sismica.....	190
18	FONDAZIONI SU PALI.....	191
18.1	Metodologia di calcolo delle azioni in testa al palo.....	191
18.2	Verifica agli Stati Limite Ultimi (SLU).....	192
18.3	Resistenze di pali soggetti a carichi assiali.....	193
18.4	Resistenze di pali soggetti a carichi trasversali.....	193
18.5	Condizioni sismiche.....	194
18.6	Capacità portante dei pali di fondazione.....	194
18.6.1	Capacità portante verticale.....	194
18.6.2	Verifica di capacità portante verticale dei pali di fondazione.....	197
18.6.3	Capacità portante orizzontale.....	198
18.6.3.1.1	Teoria delle curve p-y.....	198
18.6.3.1.2	Definizione delle curve p-y.....	200
18.6.4	Verifica di capacità portante trasversale dei pali di fondazione.....	208
18.7	Verifiche agli Stati Limite in Esercizio.....	208
19	APPENDICE 1 – CARATTERISTICHE FISICHE E MECCANICHE DETERMINATE DALLE PROVE IN SITO E DALLE PROVE DI LABORATORIO.....	209
19.1	Unità “bn”.....	210
19.2	Unità “b2”.....	223
19.3	Unità “fa”.....	230
19.4	Unità “ACC alt”.....	243
20	APPENDICE 2 – TABULATI DI CALCOLO VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO PROVVISORIALI E DEFINITIVI.....	255
20.1	Sezione Spalla 2 – Viadotto Sieve 1.....	255
20.2	Sezione Spalla 1 – Viadotto Argomenna.....	260
20.3	Sezione 56.....	266
20.4	Sezione 61.....	293

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>T 00-GE03-GET-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.</p> <p>MANDANTI  EIVIA s.r.l. <small>ENERGIA VERDE ITALIA AMBIENTE</small></p> <p> sinèrgo <small>ENERGIA</small></p> <p> D_VA <small>DVisionArchitecture</small></p>	<p>REV.</p> <p>B</p>	<p>FOGLIO</p> <p>6 di 351</p> <hr/> <p>Data</p> <p>02/2024</p>
--	---	-----------------------------	--

20.5	Sezione 74.....	311
21	APPENDICE 3 – TABULATI DI CALCOLO CEDIMENTI DEI RILEVATI.....	332
21.1	Sezione 56.....	332
21.2	Sezione 74.....	342

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETI/VA ENERGIA VALLE D'ARNO s.p.a.	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione interessati dalle opere previste nell'ambito dei lavori di realizzazione dell'infrastruttura denominata "Variante di Rufina (Lotti 2A e 2B)", facente parte dei *Lavori di Adeguamento della S.S. 67 "Tosco-Romagnola" nel tratto tra la località S. Francesco in Comune di Pelago e l'abitato di Dicomano*, che coinvolge i territori comunali Pontassieve (frazione Montebonello) e Rufina, in provincia di Firenze (cfr. **Figura 1-1**).

L'intervento nel suo complesso parte, a sud, da un incrocio canalizzato che verrà sostituito da una rotonda di nuova realizzazione (Svincolo Masseto S.S.67), per continuare poi con un viadotto di attraversamento del Fiume Sieve (Viadotto Sieve 1, L=363 m). Il progetto prevede circa 1 km in rilevato fino ad una nuova rotonda (Svincolo Montebonello/Colognolese), in parte realizzato con opere in terra armata (L=288 m) e a meno di un tratto centrale in trincea di circa 50 m. Dopo la nuova rotonda di svincolo il progetto prevede nuovamente 250 m circa su rilevato e un viadotto di attraversamento del torrente Argomena (Viadotto Argomena, L=198 m), prima di arrivare a ridosso delle pendici del rilievo collinare di Montebonello: tale rilievo verrà attraversato da una galleria (Galleria Montebonello, L=967 m, di cui 916 m in galleria naturale). Dopo la galleria, il tracciato prevede un nuovo viadotto per l'attraversamento del Fiume Sieve (Viadotto Sieve 2, L=408 m). Il tracciato della Variante di Rufina termina quindi in corrispondenza di una rotonda già esistente (Svincolo Scopeti).

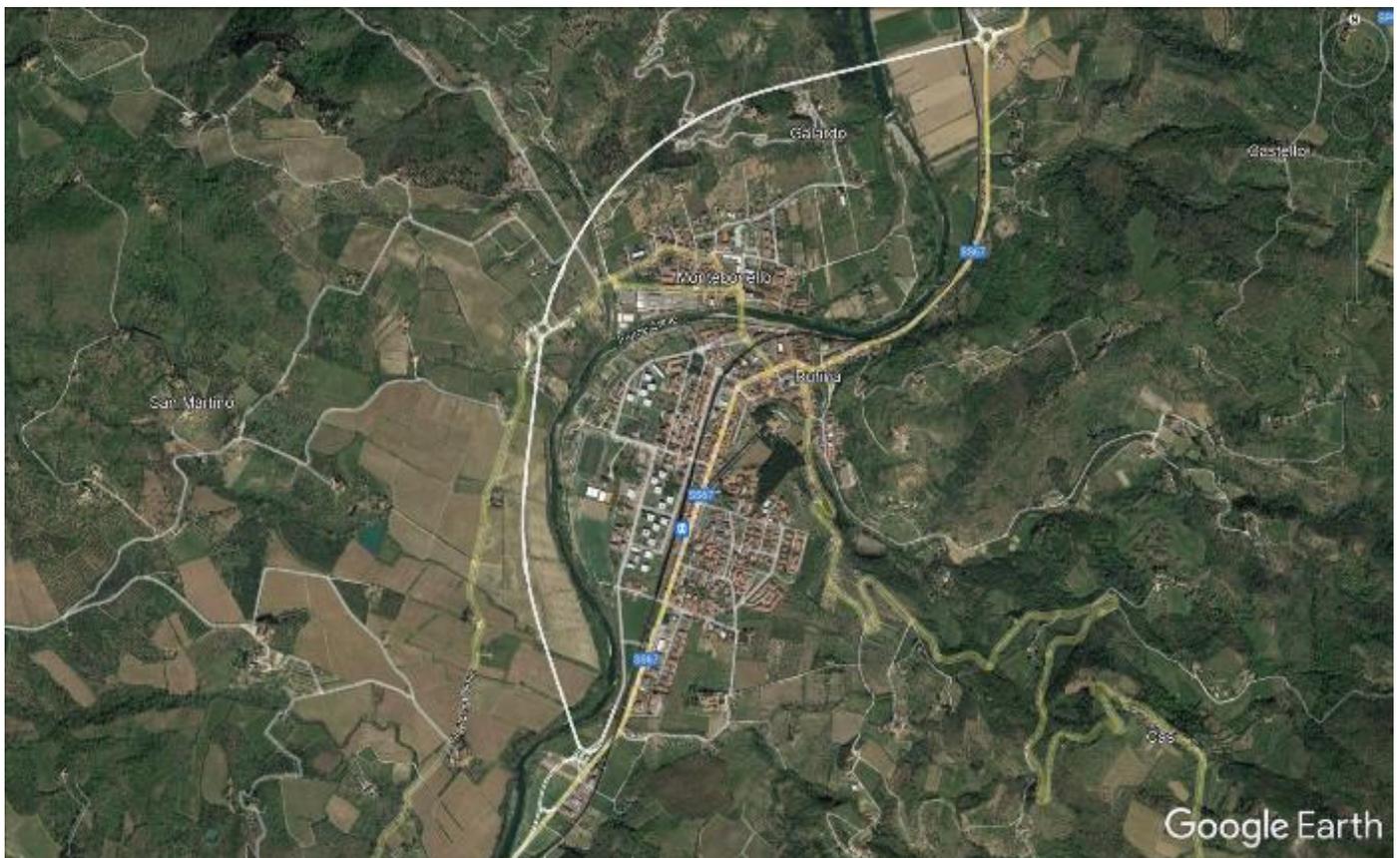


Figura 1-1 – Foto aerea con sovrapposizione schematica del tracciato di progetto (cfr. linea bianca): al centro dell'immagine gli abitati di Rufina e Montebonello separati dal Fiume Sieve

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 8 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI   	Data 02/2024	

La presente relazione geotecnica generale si articola come segue:

- il capitolo **2** elenca la normativa e gli elaborati di riferimento;
- il capitolo **3** riporta il riepilogo delle indagini geognostiche eseguite e la sintesi dei relativi risultati;
- il capitolo **4** esamina il quadro geologico-stratigrafico di riferimento;
- il capitolo **5** riporta il quadro geomorfologico dell'area in esame;
- il capitolo **6** esamina il quadro idrogeologico dell'area;
- il capitolo **7** riporta la caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere previste in progetto;
- il capitolo **8** descrive i criteri adottati per la caratterizzazione geotecnica, ovvero per l'interpretazione dei dati delle indagini geotecniche in termini di proprietà fisiche e meccaniche (resistenza al taglio e deformabilità);
- il capitolo **9** descrive la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere previste in progetto;
- il capitolo **10** riporta la caratterizzazione delle aree segnalate in dissesto e il relativo monitoraggio;
- il capitolo **11** descrive le sezioni tipo in rilevato e in trincea, individuando sinteticamente gli spessori di scotico e bonifica dei piani di posa degli stessi;
- i capitoli **12** e **13** riportano le verifiche di stabilità dei fronti di scavo provvisori e di rilevati e trincee per le stratigrafie di progetto considerate sulla base delle differenti configurazioni geometriche maggiormente significative;
- il capitolo **14** riporta il calcolo dei cedimenti attesi per le configurazioni geometriche dei rilevati ritenute maggiormente significative;
- i capitoli **15**, **16**, **17** e **18** descrivono la metodologica seguita per il dimensionamento e per le verifiche inerenti alle principali tipologie di opere geotecniche presenti in progetto, ovvero muri di sostegno, opere di sostegno flessibili e fondazioni su pali e micropali.

In **Appendice 1** (Capitolo **19**), sono stati riportati i grafici che descrivono, per le diverse unità geotecniche riconosciute, le caratteristiche fisiche e meccaniche determinate dalle prove in sito eseguite nei fori di sondaggio e dalle prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati durante la realizzazione dei sondaggi geognostici.

Infine, in **Appendice 2** (Capitolo **20**) sono stati riportati i tabulati di calcolo delle verifiche di stabilità dei fronti di scavo provvisori e dei rilevati effettuate sulle sezioni di maggior significatività, mentre in **Appendice 3** (Capitolo **21**) sono riportati i tabulati di calcolo dei cedimenti dei rilevati.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  DVA DVA Vision Architecture	B	9 di 351
			Data 02/2024	

2 NORMATIVE ED ELABORATI DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni tecniche

- **D.M. 17.01.2018** “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (Supplemento ordinario alla “Gazzetta Ufficiale”, n.42 del 20.02.2018).
- **Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.** – Istruzioni per l'applicazione dell’“Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- **EN 1997 Eurocodice 7** “Geotechnical Design: Part 1: General rule. Part 2: Ground investigation and testing”;
- **CNR UNI 10006** “Costruzione e manutenzione delle strade - Tecnica di impiego delle terre”.

2.2 Elaborati di progetto definitivo

Geologia

- **T00GE01GEORE01** - “Documentazione indagini geognostiche – Monografie dei punti di indagine”
- **T00GE01GEORE02** - “Documentazione indagini geognostiche – Indagini in sito”
- **T00GE01GEORE03** - “Documentazione indagini geognostiche – Indagini geofisiche”
- **T00GE01GEORE04** - “Documentazione indagini geognostiche – Certificati prove geotecniche di laboratorio”
- **T00GE01GEORE05** - “Documentazione indagini geognostiche – Certificati prove geomeccaniche di laboratorio”
- **T00GE01GEORE06** - “Documentazione indagini geognostiche – Certificati analisi chimiche di laboratorio”
- **T00GE01GEORE07** - “Documentazione indagini geognostiche integrative 2023”
- **T00GE01GEORE08** - “Documentazione indagini geognostiche integrative 2023 - Monitoraggio inclinometrico e piezometrico”
- **T00GE01GEOPU01** - “Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 1/3”
- **T00GE01GEOPU02** - “Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 2/3”
- **T00GE01GEOPU03** - “Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche - Tav. 3/3”
- **T00GE01GEORE09** - “Relazione geologica”
- **T00GE01GEORE10** - “Relazione di compatibilità geomorfologica”
- **T00GE01GEOCG01** - “Carta geologica generale”
- **T00GE01GEOCG02** - “Carta geologica di dettaglio – Tav. 1/3”
- **T00GE01GEOCG03** - “Carta geologica di dettaglio - Tav. 2/3”
- **T00GE01GEOCG04** - “Carta geologica di dettaglio - Tav. 3/3”
- **T00GE01GEOCG05** - “Carta geomorfologica - Tav. 1/3”
- **T00GE01GEOCG06** - “Carta geomorfologica – Tav. 2/3”

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGNESI	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

- T00GE01GEOCG07 - “Carta geomorfologica – Tav. 3/3”
- T00GE01GEOCI01 - “Carta idrogeologica – Tav. 1/3”
- T00GE01GEOCI02 - “Carta idrogeologica – Tav. 2/3”
- T00GE01GEOCI03 - “Carta idrogeologica – Tav. 3/3”
- T00GE01GEOFG01 - “Profilo geologico asse principale”
- T00GE01GEOFG02 - “Viadotto Sieve 1 - Planimetria e profilo geologico”
- T00GE01GEOFG03 - “Viadotto Argomenna - Planimetria e profilo geologico”
- T00GE01GEOFG04 - “Viadotto Sieve 2 - Planimetria e profilo geologico”
- T00GE01GEOSG01 - “Sezioni geologiche trasversali”
- T00GE01GEOSG02 - “Sezioni geologico-tecniche di dettaglio”

Gestione materie

- T00GE02GEORE01 - “Relazione di gestione materie”
- T00GE02GEORE02 - “Piano di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo”
- T00GE02GEOCD01 - “Planimetria ubicativa dei siti di cava e deposito”

Geotecnica

- T00GE03GETRE02 - “Relazione geomeccanica”
- T00GE03GETFG01 - “Profilo geotecnico asse principale - Tav. 1/4”
- T00GE03GETFG02 - “Profilo geotecnico asse principale - Tav. 2/4”
- T00GE03GEOFG03 - “Profilo geotecnico asse principale - Tav. 3/4”
- T00GE03GEOFG04 - “Profilo geotecnico asse principale - Tav. 4/4”
- T00GE03GEOFG05 - “Viadotto Sieve 1 – Profilo geotecnico”
- T00GE03GEOFG06 - “Viadotto Argomenna – Profilo geotecnico”
- T00GE03GEOFG07 - “Viadotto Sieve 2 – Profilo geotecnico”
- T00GE03GEOFG08 - “Galleria Montebonello – Profilo geologico-geomeccanico”

Sismica

- T00GE04GETRE01 - “Relazione sismica”
- T00GE04GETCS01 - “Planimetria con classificazione sismica del territorio”

Monitoraggio geotecnico dell'area di frana tra le p.k. 0+925 e 1+300

- T00GE05MOGRE01 - “Relazione tecnica”
- T00GE05MOGPU01 - “Planimetria con ubicazione della strumentazione”

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>T 00-GE03-GET-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA</p>  <p>MANDANTI</p>   	<p>REV.</p> <p>B</p>	<p>FOGLIO</p> <p>11 di 351</p> <p>Data</p> <p>02/2024</p>
--	---	----------------------	---

2.3 Documenti bibliografici

- [1] H.G. Poulos, E.H. Davis. Analisi e progettazione di fondazioni su pali;
- [2] S. Rampello, L. Callisto L. Masini. Spinta delle terre sulle strutture di sostegno.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'AOSTA S.p.A.  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	B	12 di 351
			Data 02/2024	

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Gli elementi necessari per la progettazione definitiva delle opere previste in progetto sono stati ricavati principalmente dall'interpretazione dei dati geognostici disponibili dall'esecuzione delle campagne di indagini previste per la presente fase di progetto definitivo, congiuntamente al rilievo geologico di campagna effettuato per l'area e all'esame dei dati bibliografici disponibili, tra cui risulta una campagna di indagine pregressa seppur parzialmente completa.

Nell'ambito della presente fase di progettazione, infatti, sono stati messi a disposizione gli esiti di una campagna geognostica effettuata nell'area in esame nell'anno 2003 per conto della Provincia di Firenze dal Dott. Geol. Barsanti, costituita da n.21 sondaggi a carotaggio continuo (S1-S21), di profondità variabile tra 15 m e 60 m e con esecuzione di prove in foro tipo SPT. Purtroppo, per tale campagna sono disponibili esclusivamente le fotografie delle cassette catalogatrici dei sondaggi effettuati nell'area e le descrizioni delle stratigrafie sono pressoché sommarie, non ufficiali, così come i risultati delle prove SPT che si presentano incompleti e poco compatibili con quanto atteso per i terreni che costituiscono l'area in esame.

A fronte di ciò, i risultati di tale campagna non sono stati allegati agli elaborati di riferimento geognostici e sono stati considerati solo in maniera indicativa nel processo di caratterizzazione geotecnica di cui al **punto 9**.

Di seguito verranno descritte, nel dettaglio, le indagini previste per le campagne eseguite. L'ubicazione di tutte le indagini è riportata negli elaborati di progetto **T00GE01GEOPU01÷03** – “Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche”.

3.1 Campagna di indagine geognostica 2021-2022

La definizione della campagna di indagini, finalizzata alla caratterizzazione dei terreni attraversati dal tracciato in progetto da un punto di vista geologico, idrogeologico e soprattutto geotecnico (oltre che ambientale), è stata eseguita sulla base dell'ubicazione delle opere strutturali principali e della natura dei terreni che si prevedeva di incontrare, in base alle informazioni desunte dagli studi geologici precedenti e, per quanto possibile, dai dati disponibili di campagne di indagini pregresse.

In primo luogo, sono stati eseguiti in maniera preliminare una serie di rilievi geomeccanici su alcuni affioramenti considerati significativi a seguito dello studio del materiale bibliografico disponibile; tali rilievi hanno costituito ulteriore elemento di riferimento e integrazione per la successiva campagna di indagine geognostica, nonché un elemento di base per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi.

La campagna geognostica 2021-2022 è stata realizzata da un'associazione di imprese costituita da 3TI Progetti Italia SpA, Geoconsol Srl, Pizzi Terra Srl, Geoplanning Srl e Geofisica Misure snc, ciascuna con incarichi differenti.

Nella documentazione allegata al progetto e in particolare negli elaborati cartografici **T00GE01GEOPU01÷03** – “Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche” (3 tavv.) è riportata l'ubicazione e la tipologia delle indagini previste per ciascuna impresa.

Di seguito si descrivono nel dettaglio le indagini previste e realizzate dalle diverse imprese, mentre per ciò che concerne i risultati dei rilievi geomeccanici eseguiti si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	B	13 di 351
			Data 02/2024	

3.1.1 Piezometri - Geoconsol Srl

La campagna geognostica in oggetto, realizzata nell'anno 2021, ha previsto l'esecuzione di sondaggi a distruzione di nucleo con installazione di tubazioni piezometriche per la misura del livello di falda. In particolare, la ditta Geoconsol Srl ha realizzato n.6 verticali piezometriche spinte fino a 15 m di profondità e riportate nella seguente tabella.

Sondaggio	Prof. (m)	Metodo perforazione	Strumentazione installata
SN01-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN07-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN09-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN10-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN11-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN12-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto

Tabella 3-1 – Sondaggi a distruzione di nucleo con tubazioni piezometriche installate

3.1.2 Indagini geognostiche in sito - Eurogeo Srl

La campagna geognostica in oggetto ha previsto l'esecuzione delle seguenti tipologie di indagini in sito, eseguite dalla ditta Eurogeo Srl nel periodo compreso tra la primavera e l'autunno del 2022:

- sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- esecuzione di prove in foro (SPT, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, prove dilatometriche) e installazione nei fori di sondaggio a carotaggio di piezometri a tubo aperto oppure installazione di tubi in PVC per l'esecuzione di prospezioni sismiche in foro tipo down-hole oppure ancora installazione di tubi inclinometrici in alluminio per l'esecuzione di misure inclinometriche in corrispondenza dei corpi di frana;
- sondaggi a distruzione di nucleo con installazione di piezometri a tubo aperto;
- sondaggi verticali "corti" (a carotaggio continuo) con esecuzione di prove SPT e prelievo di campioni rimaneggiati.

3.1.2.1 Sondaggi geognostici

Sono stati previsti complessivamente n.37 tra sondaggi geognostici a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo, di lunghezza variabile in funzione delle quote di progetto della strada e delle caratteristiche strutturali delle opere (viadotti, gallerie, rilevati, ecc.). In particolare, sono stati realizzati n.24 sondaggi a carotaggio continuo, di profondità variabili tra 15 e 100 m, n.5 sondaggi a carotaggio continuo spinti a 2 m di profondità e n.8 sondaggi eseguiti a distruzione di nucleo di profondità variabile tra 15 e 35 m (cfr. anche elaborato **T00GE01GEOPU01-03** – "Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche"). I sondaggi "corti" (profondità 2 m) sono stati realizzati in sostituzione delle prove di carico su piastra, non eseguite in questa fase progettuale, ai fini della determinazione del comportamento geotecnico dei terreni nei primi metri di profondità.

Le perforazioni sono state eseguite tutte a carotaggio continuo, con l'utilizzo del carotiere semplice nei tratti in materiale sciolto (depositi superficiali e substrato roccioso molto alterato) e del carotiere doppio, associato a corona diamantata, nei tratti in roccia. In particolare, l'utilizzo del carotiere doppio ha consentito di misurare per ogni manovra il valore di RQD % (Deere, 1964), ottenuto dalla somma delle lunghezze delle carote lapidee di lunghezza > 10 cm rapportato alla lunghezza della manovra. Nell'elaborato **T00GE03GETRE02** – "Relazione geomeccanica" sono state fatte le opportune considerazioni in merito ai valori di RQD misurati in ciascun sondaggio, ai fini di identificare al meglio possibile i limiti di substrato roccioso e relativi orizzonti più alterati.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA	B	14 di 351
			Data 02/2024	

A fine perforazione, è stata prevista l'installazione di tubazioni cieche in PVC, finalizzate all'esecuzione di prospezioni sismiche tipo down-hole, oppure di piezometri a tubo aperto, oppure di tubazioni inclinometriche. Per tutti i sondaggi geognostici realizzati con tecnica distruzione di nucleo, invece, è stata installata la tubazione piezometrica per l'esecuzione di misure di livello della falda.

Nella tabella sottostante sono riepilogate le profondità dei n.37 sondaggi eseguiti e relativa strumentazione installata negli stessi a fine perforazione.

Sondaggio	Prof. (m)	Metodo perforazione	Strumentazione installata
SN01-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN01bis	25	Carotaggio continuo	-
SN02-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN02-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN03-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN03-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN04-PZ	20	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN05-PZ	20	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN06-IN	30	Carotaggio continuo	Inclinometro
SN06-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN06bis-IN	30	Carotaggio continuo	Inclinometro
SN06bis-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN07-IN	30	Carotaggio continuo	Inclinometro
SN08-PZ	20	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN09-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN10-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN11-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN11bis	25	Carotaggio continuo	-
SN12-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN13-PZ	30	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN14-PZ	85	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN15-PZ	100	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN16-PZ	40	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN16bis-PZ	70	Carotaggio continuo	Piezometro a tubo aperto
SN17-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN17-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN18-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN18-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN19-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN19-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
SN20-DH	35	Carotaggio continuo	Tubo PVC per down-hole
SN20-PZ	15	Distruzione di nucleo	Piezometro a tubo aperto
PE2	2	Carotaggio continuo	-
PE3	2	Carotaggio continuo	-
PE4	2	Carotaggio continuo	-
PE8	2	Carotaggio continuo	-
PE9	2	Carotaggio continuo	-

Tabella 3-2 - Sondaggi geognostici eseguiti: profondità e strumentazione installata

Tutti i sondaggi hanno raggiunto il substrato roccioso, costituito nel tratto iniziale del tracciato dalla formazione delle *Argille e Calcari di Canetolo* e nel tratto centrale e finale del tracciato dalle formazioni delle *Marne di Galiga* e dalle

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 15 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

Siltiti di Poggiolo Salaiole. In particolare, sempre con riferimento alle unità del substrato roccioso, al di sotto dei depositi superficiali:

- i sondaggi dal SN01-DH al SN08-PZ hanno attraversato rocce argillitico-marnose con livelli e inclusi calcarei ascrivibili alla formazione delle *Argille e Calcari di Canetolo (ACC)*;
- i sondaggi dal SN09-DH al SN11bis hanno attraversato marne siltoso-calcaree e siltiti marnoso-calcaree ascrivibili alla formazione delle *Marne di Galiga (GLG)*;
- i sondaggi dal SN12-DH al SN20-DH hanno attraversato siltiti marnoso-calcaree e marne siltoso-calcaree ascrivibili alla formazione delle *Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO)*.

Si deve osservare che le due unità delle Marne di Galiga e delle Siltiti di Poggiolo Salaiole presentano caratteristiche litologico-stratigrafiche molto simile e che, in seguito ad una sessione di esame di tutte le cassette dei sondaggi, è stato possibile distinguere le due unità in base alle caratteristiche di resistenza della roccia intatta, apparsa inferiore nelle Marne di Galiga rispetto alle Siltiti di Poggiolo Salaiole.

Per un quadro più generale in merito alla stratigrafia di riferimento per i terreni di sottofondo delle opere si rimanda al **punto 4.1**.

3.1.2.2 Prove di resistenza dinamica in foro: Standard Penetration Test (SPT)

All'interno dei fori di sondaggio, durante la loro esecuzione, sono state eseguite delle prove penetrometriche dinamiche SPT, a profondità variabili. In particolare, sono state eseguite n° 61 prove SPT.

Nella sottostante tabella sono riassunti i risultati delle prove SPT eseguite (R = "rifiuto").

Sondaggio	SPT [-]	Profondità da p.c. [m]	N _{SPT} [colpi/30cm]
PE3	SPT1	0,5	4
	SPT2	1,0	6
	SPT3	1,5	6
	SPT4	2,0	15
SN01-DH	SPT1	3,0	12
	SPT2	6,0	32
	SPT3	9,0	76
SN02-DH	SPT1	1,5	81
	SPT2	4,5	R
	SPT3	7,5	59
SN04-PZ	SPT1	3,0	R
	SPT2	6,2	52
	SPT3	9,0	41
SN03-DH	SPT1	3,0	8
	SPT2	7,5	8
	SPT3	9,0	9
SN05-PZ	SPT1	3,0	8
	SPT2	7,5	R
	SPT3	9,0	R
SN06-IN	SPT1	1,5	9
	SPT2	3,0	11
	SPT3	9,0	R

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 16 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    EITRVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

SN07-IN	SPT1	1,5	28
	SPT2	7,5	15
	SPT3	9,0	22
	SPT4	12,0	R
	SPT5	15,0	R
PE8	SPT1	0,5	8
	SPT2	1,0	19
	SPT3	1,5	12
	SPT4	2,0	18
PE9	SPT1	0,5	5
	SPT2	1,0	11
	SPT3	1,5	13
	SPT4	2,0	17
SN08-PZ	SPT1	3,0	23
	SPT2	7,5	36
	SPT3	9,0	46
SN09-DH	SPT1	3,0	37
SN10-DH	SPT1	1,5	33
	SPT2	3,0	36
	SPT3	4,5	30
SN11-DH	SPT1	1,5	35
	SPT2	5,0	22
SN12-DH	SPT1	3,0	R
SN13-PZ	SPT1	3,0	18
	SPT2	7,6	17
	SPT3	9,0	R
SN17-DH	SPT1	3,0	28
	SPT2	6,0	26
	SPT3	9,0	29
SN18-DH	SPT1	1,5	36
	SPT2	4,5	39
	SPT3	7,5	38
SN19-DH	SPT1	3,0	10
	SPT2	6,0	30
	SPT3	9,0	25
SN20-DH	SPT1	3,0	15
	SPT2	8,0	R
PE4	SPT1	0,5	17
	SPT2	1,0	17
	SPT3	1,5	24
	SPT4	2,0	20

Tabella 3-3 – Prove di resistenza dinamica SPT di ciascun sondaggio

In generale i risultati delle prove penetrometriche SPT hanno consentito di verificare, per i terreni di copertura, uno stato di addensamento medio e uno stato di consistenza da medio ad elevato per i primi metri di terreno di alterazione del substrato roccioso.

3.1.2.3 Prove di permeabilità in foro

Come anticipato, la campagna geognostica in oggetto ha previsto l'esecuzione, all'interno dei sondaggi eseguiti, di prove di permeabilità Lefranc per i tratti in terreno e Lugeon per i tratti in roccia. I risultati delle prove di permeabilità

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGOSTO	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

tipo Lefranc nei tratti terrigeni e i risultati delle prove di tipo Lugeon eseguite sugli spezzoni lapidei, a diverse profondità all'interno delle verticali di indagine, hanno consentito di determinare il valore del *coefficiente di permeabilità K* dei terreni e delle rocce.

Il modello idrogeologico proposto al **punto 6** deriva dalla attribuzione del valore qualitativo del grado di permeabilità, assunto dalla letteratura tecnica, a ciascuna delle unità litostratigrafiche discriminate, unitamente a quanto rinvenuto dalle prove di permeabilità di cui sopra. A tal proposito, nell'elaborato **T00GE01GEOCI01-03** – “Carta idrogeologica” (3 tavv.) allegata al progetto, sono stati rappresentati i range di permeabilità delle unità litostratigrafiche riconosciute.

Per i risultati delle prove Lugeon si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”, mentre per quelli relativi alle prove Lefranc si rimanda al **punto 9.6**.

In generale, il sottosuolo del tracciato in esame è caratterizzato nel complesso da unità geotecniche e geomeccaniche a permeabilità variabile, da **molto bassa** (*Argille e Calcari di Canetolo, ACC*) ad **alta-molto alta** (*Depositi alluvionali in evoluzione, b1*) con valori che variano rispettivamente tra $1E-07\div 1E-08$ m/s e $1E-03\div 1E-04$ m/s.

3.1.2.4 Prove dilatometriche in foro

Nei fori di sondaggio sono state previste n. 16 prove dilatometriche in foro per la determinazione dei parametri di deformabilità degli ammassi rocciosi in condizioni di carico (modulo di deformazione) e di scarico (modulo di elasticità). Le prove sono state eseguite con tre cicli di carico/scarico con determinazione del modulo corrispondente ad ogni ciclo.

I risultati di tali prove hanno permesso di affinare la caratterizzazione geomeccanica delle unità rocciose che vengono attraversate dalle opere in sotterraneo nonché dalle fondazioni di alcuni viadotti. A tal proposito, si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”.

3.1.2.5 Prelievo di campioni di terreno indisturbati e rimaneggiati

Durante la perforazione dei sondaggi nella campagna di indagine eseguita sono stati prelevati n.53 tra campioni rimaneggiati e indisturbati su cui eseguire prove geotecniche di laboratorio. Tali prove sono state eseguite dai laboratori di Geoplanning Srl e i risultati hanno permesso di definire una caratterizzazione geotecnica dei terreni di sottofondo delle opere previste lungo l'infrastruttura in oggetto.

In particolare, durante la perforazione dei sondaggi geognostici sono stati previsti complessivamente n.41 campioni rimaneggiati e n.12 campioni indisturbati tipo Shelby. Sui campioni di terreno sono state previste le seguenti prove:

- aperture e descrizioni geotecniche
- determinazioni del peso di volume naturale
- determinazioni del contenuto naturale d'acqua
- analisi granulometriche complete
- determinazioni dei limiti di consistenza
- determinazioni del peso specifico dei grani
- prove edometriche
- prove triassiali UU
- prove di taglio diretto con determinazione della resistenza di picco
- prove di taglio diretto con determinazione della resistenza residua

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	18 di 351
			Data 02/2024	

I risultati di tali prove sono descritti nel dettaglio nei diversi paragrafi del **punto 9**, a cui si rimanda.

3.1.2.6 Prelievo di spezzoni di carota lapidea

Durante la perforazione dei sondaggi nella campagna di indagine eseguita sono stati prelevati diversi spezzoni di carota lapidea su cui eseguire prove geomeccaniche di laboratorio. Tali prove sono state eseguite dai laboratori di Sagedil Srl e i risultati hanno permesso di definire una caratterizzazione geomeccanica delle unità rocciose attraversate dalle opere.

In particolare, sui campioni di roccia, ricavati da spezzoni di carota lapidea, sono state previste le seguenti prove:

- aperture e descrizioni del campione di roccia
- determinazioni del peso di volume naturale
- misure della velocità sonica
- prove di resistenza a compressione monoassiale e triassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali
- prove di resistenza a compressione triassiale con rilievo delle deformazioni assiali e diametrali
- prove di resistenza a trazione indiretta (brasiliiana)

Si specifica che, ulteriori prove di resistenza e in particolare prove di carico puntiforme (point load strength test) sono state eseguite su campioni di roccia intatta di forma irregolare prelevati dagli affioramenti in sito.

In ogni caso, tutti i risultati di tali prove e la caratterizzazione delle rocce che ne consegue vengono descritti nel dettaglio nell'elaborato **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”, a cui si rimanda.

3.1.2.7 Analisi chimiche

Per la determinazione dello stato di qualità dei terreni e delle acque, sono stati previsti i prelievi di campioni di terreno e di acqua sotterranea, sia in corrispondenza delle verticali di sondaggio. In particolare, sono stati previsti almeno un paio di campioni ambientali per ogni verticale di indagine, localizzati in corrispondenza delle sezioni di scavo, e un campione composito nei tratti in galleria per un totale di n. 28 campioni di terreno e n.4 campioni di acqua sotterranea che sono stati sottoposti ad analisi chimiche.

Il set analitico di riferimento ha previsto l'analisi della concentrazione delle sostanze così come definito nell'*Allegato 4 al D.P.R. 13 giugno 2017, n.120 – Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n.164* e il prelievo di campioni è stato effettuato in ciascuna verticale di sondaggio in funzione delle previste profondità di scavo: per quanto riguarda lo scavo in galleria, sono stati previsti campioni medi composti alle profondità di scavo della galleria, prevedendo almeno n.3 incrementi per ciascun campione medio composito.

Sono stati previsti infine campionamenti di acque sotterranee in piezometro ai fini dell'esecuzione di analisi chimiche per la verifica alla conformità alle CSC di cui al D.Lgs. 152/06. Dato che il progetto prevede la presenza di strutture interrato potenzialmente a contatto con acque di falda, sui campioni di acque sotterranee sono state previste anche analisi chimiche per la verifica dell'eventuale aggressività dell'acqua nei confronti del calcestruzzo e analisi chimiche su campioni di terreno nei confronti del calcestruzzo.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 19 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA AMBIENTE	 sinèrgo	 VA D Vision Architecture
			Data 02/2024	

Infine, sono state previste analisi chimiche per la classificazione delle terre e rocce da scavo come rifiuto (“omologa rifiuto”) per un totale di n.6 campioni.

I risultati delle analisi chimiche, effettuate dal laboratorio Agrolab Ambiente Srl, sono descritti negli elaborati di progetto **T00GE02GEORE02** – “Piano di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo” e **T00GE02GEORE01** – “Relazione di gestione materie” mentre i certificati delle analisi chimiche si rimanda all’elaborato **T00GE01GEORE06** - “Documentazione indagini geognostiche – Certificati analisi chimiche di laboratorio”.

3.1.3 Indagini geofisiche – Geofisica misure snc

Nel corso della campagna di indagini per la progettazione definitiva delle opere, la ditta “Geofisica Misure snc”, si è occupata dell’esecuzione di diversi stendimenti sismici a rifrazione e alla realizzazione di prospezioni sismiche down-hole in foro di sondaggio.

3.1.3.1 Sismica a rifrazione ad onde P ed S

Lungo il tracciato di progetto sono state realizzate prospezioni sismiche a rifrazione ad onde di compressione P e di taglio S, con elaborazione tomografica, i cui stendimenti sismici sono stati ottenuti utilizzando una spaziatura intergeofonica pari a 5 m e con un numero di canali tali da raggiungere le lunghezze previste soprattutto in relazione alle opere di nuova realizzazione. Le basi geofoniche nel complesso sono pari a 13, di lunghezze variabili tra 56 m e 280 m per un totale di 1206 m di indagini.

I risultati di tali indagini, in termini di modelli delle velocità di onde P ed S sono riportati nell’elaborato **T00GE01GEORE03** – “Documentazione indagini geognostiche - Indagini geofisiche” allegato alla documentazione del presente progetto.

Di seguito si riporta una sintesi dell’ubicazione degli stendimenti mentre per i risultati in merito alle sezioni interpretative tomografiche dei diversi stendimenti rimanda al **punto 7.8.1**.

Tratto centrale

Il tratto centrale comprende gli stendimenti di sismica a rifrazione B1, B2, B3, B4, B5, B6 e B7. Il loro allineamento si sviluppa sull’attraversamento del T. Argomenna) nel seguente modo:

- B1 (165 m): stendimento longitudinale al tracciato, realizzato nell’area che comprende la futura realizzazione della Spalla 1, Pila 1 e Pila 2 del Viadotto Argomenna;
- B2 e B3 (57.5 m): stendimenti trasversali a B1, eseguiti in prossimità delle verticali SN09-DH e SN10-DH corrispondenti alle aree di futura realizzazione della Spalla 2 e Pila 2 del Viadotto Argomenna, rispettivamente;
- B4 (165 m): stendimento longitudinale al tracciato, realizzato nell’area che comprende la futura realizzazione della Pila 3 del Viadotto Sieve 2 e l’imbocco sud della Galleria Montebonello;
- B5, B6 e B7 (57.5 m): stendimenti trasversali a B4, eseguiti in prossimità delle verticali SN11-DH, SN12-DH e SN13-PZ, corrispondenti alle aree di futura realizzazione della Pila 3 del Viadotto Sieve 2 e degli imbocchi artificiale e naturale della galleria in loc. Montebonello, rispettivamente.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	B	20 di 351
			Data 02/2024	

Tratto orientale

L'allineamento delle basi geofoniche per la sismica a rifrazione del tratto orientale si sviluppa in direzione WSW-ENE, dalla base del versante in destra idrografica del Fiume Sieve, per poi interessare verso est la sua piana alluvionale. Gli stendimenti coinvolti sono i seguenti:

- B9 (315 m): stendimento longitudinale al tracciato, realizzato nell'area che comprende la futura realizzazione della Pila 2, 3, 4, 5, 6 e della Spalla 2 del Viadotto Sieve 2;
- B8 (57.5 m): stendimento trasversale ubicato in prossimità della zona compresa tra l'imbocco nord della galleria in loc. Montebonello e l'innesto del Viadotto Sieve 2;
- B10, B11, B12 e B13 (57.5 m): stendimenti trasversali a B9, eseguiti in prossimità delle verticali SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH corrispondenti alle aree di futura realizzazione delle sottostrutture Pila 2, Pila 4, Pila 5 e Spalla 2 del Viadotto Sieve 2, rispettivamente.

3.1.3.2 Prospezioni sismiche in foro tipo down-hole

Per la determinazione diretta delle velocità delle onde di taglio, sono state eseguite n. 11 prospezioni sismiche down-hole in corrispondenza delle verticali di sondaggio di seguito indicate, spinte fino a 35 m ciascuna e in relazione al tipo di opera coinvolta:

- Viadotto Sieve 1: SN01-DH, SN02-DH e SN03-DH;
- Viadotto Argomena: SN09-DH, SN10-DH e SN11-DH;
- Galleria Montebonello – imbocco Sud: SN12-DH;
- Viadotto Sieve 2: SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH

Per i risultati e conseguente caratterizzazione sismica dei terreni di sottofondo delle opere si rimanda al **punto 7.8** della presente relazione nonché, per una visione più generale, al documento **T00GE04GETRE01** – “Relazione sismica”.

3.2 Campagna di indagine geognostica integrativa 2023

Nel corso dei primi mesi del 2023 è stata prevista una campagna di indagine geognostica integrativa.

Tale campagna, eseguita da Geoserving S.r.l., è consistita in:

- indagini geognostiche (prove con dilatometro piatto Marchetti) e geofisiche (sismiche a rifrazione ed elettriche) nell'area di frana tra le p.k. 0+925 e 1+300 circa;
- monitoraggio inclinometrico manuale a cadenza mensile e della durata di un anno nell'area di frana tra le p.k. 0+925 e 1+300 circa;
- monitoraggio piezometrico manuale a cadenza mensile e della durata di un anno in tutti i piezometri installati lungo il tracciato;
- indagini ambientali integrative consistite nel prelievo di campioni di acque sotterranee per la caratterizzazione chimica delle stesse.

In particolare, nell'area di frana, sono state previste le seguenti indagini:

- n.6 stendimenti sismici a rifrazione in onde P e in onde SH
- n.6 stendimenti di geoelettrica in modalità ERT

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  D_VA D_VisionArchitecture	B	21 di 351
			Data 02/2024	

- n.3 prove con dilatometro piatto Marchetti
- monitoraggio inclinometrico (12 letture manuali a cadenza mensile) eseguite su n. 3 inclinometri da 30 m; la lettura di zero è stata eseguita nel giugno 2023, mentre ad oggi sono disponibili le misure di luglio e agosto 2023.

Il monitoraggio piezometrico (12 letture manuali con cadenza mensile) è stato eseguito sui n. 22 piezometri a tubo aperto installati nella campagna geognostica 2021-2022, distribuiti lungo tutto il tracciato dell'infrastruttura in progetto.

Infine, le indagini ambientali integrative sono consistite nel prelievo di un campione di acqua di falda nei seguenti piezometri:

- SN01-PZ
- SN06-PZ
- SN12-PZ
- SN16-PZ

Il report complessivo di tutte le indagini svolte per la suddetta campagna è costituito dall'elaborato di progetto **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" e dall'elaborato **T00GE01GEORE08** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023 - Monitoraggio inclinometrico e piezometrico".

3.2.1 Sismica a rifrazione in onde P e SH

Nell'area della frana tra le p.k. 0+925 e 1+300 circa sono state eseguite n.6 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P e in onde SH con elaborazione tomografica.

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per le indagini sismiche a rifrazione e per la tecnica tomografica sono state le seguenti:

ONDE P

- un sistema di energizzazione: la sorgente è costituita da una mazza dal peso di 8 Kg, battente verticalmente su piastra circolare in alluminio del diametro di 18 cm adagiata opportunamente;
- un sistema di ricezione: costituito da geofoni verticali monocomponente di tipo elettromagnetico a bobina mobile e a massa sospesa (peso della massa 12.2gr) con frequenza propria di 40 Hz;
- un sistema di acquisizione dati
- un sistema di trigger: geofono infisso in adiacenza alla piastra, sensibile alle alte frequenze per un preciso innesco della registrazione.

ONDE SH

- un sistema di energizzazione: la sorgente è costituita da una mazza dal peso di 8 Kg battente su trave di metallica con battuta coniugata a destra e sinistra;
- un sistema di ricezione: costituito da geofoni orizzontali monocomponente di tipo elettromagnetico a bobina mobile e a massa sospesa (peso della massa 12.2gr) con frequenza propria di 4.5 Hz;
- un sistema di acquisizione dati:
- un sistema di trigger: geofono infisso in adiacenza alla trave, sensibile alle alte frequenze per un preciso innesco della registrazione.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 22 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA D'VisionArchitecture	
					Data 02/2024

Nella tabella sottostante vengono riassunte le denominazioni dei lineamenti sismici a rifrazione e relative lunghezze in metri.

ID linee sismiche a rifrazione	Lunghezza complessiva [m]
B14	365.0
B15	367.5
B16	240.0
B17	280.0
B18	280.0
B19	120.0

Tabella 3-4 – Stendimenti sismici a rifrazione in onde P e SH: denominazione e lunghezze complessive

La sintesi dei risultati in termini di V_P e V_S per ciascuno stendimento è riportata al **punto 10.3.3**, mentre si rimanda all'elaborato **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" per i report ufficiali.

3.2.2 Geoelettrica

Nell'ambito della medesima campagna 2023 sono state realizzate n.6 stendimenti geoelettrici in modalità ERT.

La strumentazione necessaria per l'esecuzione di indagini ERT è formata schematicamente da:

- un sistema per l'immissione di corrente nel terreno (batteria o generatore di corrente);
- una serie di cavi di connessione multicanale;
- una serie di elettrodi utilizzati, nelle misurazioni, come elettrodi di corrente (A e B) e come elettrodi di potenziale (M e N);
- un georesistivimetro per la misura della corrente immessa e della differenza di potenziale.

La geometria delle indagini geoelettriche in modalità ERT è riassunta nella tabella che segue:

ID	Passo elettrodico [m]	Risoluzione spaziale	n° elettrodi	Lunghezza complessiva [m]
B14	5	2.5	80	395.0
B15	5	2.5	80	395.0
B16	5	2.5	48	235.0
B17	5	2.5	56	275.0
B18	5	2.5	56	275.0
B19	5	2.5	24	115.0

Tabella 3-5 – Stendimenti geoelettrici in modalità ERT: denominazione e caratteristiche

L'elaborazione e l'inversione dei dati è stata effettuata tramite l'utilizzo di particolari software meglio specificati nell'elaborato **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" a cui si rimanda per ulteriori dettagli. Una sintesi dei risultati è comunque discussa al **punto 0** del presente documento

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

3.2.3 Prove con dilatometro piatto Marchetti

Sono state previste n.3 prove con dilatometro piatto Marchetti (DMT1, DMT3, DMT4). Le prove sono state eseguite con un penetrometro cingolato Pagani statico-dinamico TG63-200, con aste a doppio principio (2P). In ogni ubicazione di prova è stata avviata la procedura di ancoraggio, necessaria ad ottenere dal terreno la reazione per spingere le aste penetrometriche e la punta di misura ed evitare che il penetrometro si potesse sollevare.

In ciascuna ubicazione di prova è stato necessario eseguire l'ancoraggio più volte, poiché la presenza di alcuni corpi rocciosi ne impediva l'esecuzione. La prova DMT 2 ha richiesto ben cinque tentativi di ancoraggio, dopo i quali è stato deciso di rinunciare alla sua esecuzione.

Le prove DMT sono state eseguite secondo le procedure standard indicate nei documenti Eurocodice 7, utilizzando un dilatometro piatto a lama di acciaio avente dimensioni 95 x 200 x 15 mm, con il bordo inferiore affilato. Su una faccia è montata una membrana metallica circolare espandibile. La lama viene fatta avanzare nel terreno verticalmente agendo su una batteria di aste. Un cavo elettropneumatico collega la lama con la centralina in superficie. Ad intervalli regolari (generalmente ogni 20 cm) la penetrazione viene arrestata e viene immessa aria compressa, facendo dilatare la membrana contro il terreno. Ad ogni profondità vengono rilevati due valori di pressione e un terzo valore opzionale:

- P0 = pressione necessaria per controbilanciare la pressione del terreno ed iniziare il movimento della membrana (pressione di distacco o lift-off);
- P1 = pressione necessaria per ottenere una dilatazione del centro della membrana contro il terreno di 1.1 mm;
- P2 = pressione misurata al ritorno della membrana nella sua posizione iniziale di chiusura (ottenuta usando valvola di sfiato lento dopo la lettura p1).

Per i report ufficiali delle prove dilatometriche Marchetti si rimanda all'elaborato **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" mentre per l'interpretazione degli stessi si veda il **punto 10.3.5.**

3.2.4 Monitoraggio inclinometrico

Nell'ambito della campagna integrativa 2023 è stato avviato il monitoraggio dei n. 3 inclinometri da 30 m installati nell'area della frana tra le p.k. 0+925 e 1+300 circa.

Tale monitoraggio prevede n.12 letture di tipo manuale con cadenza mensile, da giugno 2023 (lettura di zero) a giugno 2024. Ad oggi (ottobre 2023), sono disponibili le misure di luglio e agosto 2023.

Per l'esecuzione delle letture inclinometriche è stata utilizzata una sonda inclinometrica verticale OTR modello OG 397 con sensore MEMS, con fondo scala +/-30° dotata di appositi sensori servoaccelerometrici per la misura dell'inclinazione.

Il sistema di acquisizione è dotato inoltre di:

- Sonda testimone con passo 500 mm;
- Carrucola in acciaio ed INOX ed alluminio;
- Datalogger scarico su rullo con passo 500 mm.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	24 di 351
			Data 02/2024	

Per la misura di “zero” è stata definita l’orientazione degli assi, per la quale la guida G1 è la direzione che più approssima la direzione di massima pendenza del versante, quindi di un probabile movimento verso valle. In seguito, è stato calcolato l’Azimut, ovvero l’angolo in senso antiorario tra la Guida G1 ed il Nord Magnetico.

Prima di ogni lettura è stata scesa una sonda testimone per il controllo dell’accessibilità del tubo inclinometrico.

Dopo aver atteso la corretta acclimatazione a fondo foro della sonda, essa è stata riportata fino alla testa del tubo ed è stata calata di nuovo per la misura con passo pari a 0.5 m.

Per l’interpretazione delle diverse letture inclinometriche, compresa quella di “zero”, si rimanda al **punto 10.3.5**.

3.2.5 Monitoraggio piezometrico

Il monitoraggio piezometrico ha lo scopo di intercettare gli eventuali acquiferi presenti nei terreni investigati e di individuare le oscillazioni dei livelli piezometrici nel tempo. Le letture avvengono con l’ausilio di un freatimetro costituito da un cavo montato su un rullo alloggiante il circuito di segnalazione (acustica e luminosa) e da un puntale montato all’estremità inferiore del cavo, che al contatto con l’acqua presente nel piezometro, chiude il circuito che a sua volta attiva il segnale sonoro e luminoso.

Le misure piezometriche sono state eseguite inizialmente, da maggio a novembre 2022, in modo non sistematico, ovvero man mano che venivano completate le installazioni dei piezometri; a partire da giugno 2023 è iniziata invece una campagna di misure sistematiche a cadenza mensile che si protrarrà per un anno (12 misure): ad oggi risultano disponibili solo le letture dei mesi di giugno (15/06/2023), luglio (25/07/2023) e agosto (31/08/2023).

La sintesi di quanto emerso dai dati di monitoraggio, utile anche per la definizione del modello idrogeologico di sottosuolo, è discusso al punto 6 della presente relazione.

3.2.6 Prelievo acque di falda e analisi chimiche

Sui seguenti piezometri:

- SN01-PZ
- SN06-PZ
- SN12-PZ
- SN16-PZ

nel mese di giugno 2023 è stato previsto il prelievo di un campione ambientale di acqua.

A seguito di rilievo freaticometrico, su tali piezometri è stata effettuata l’attività di spurgo: l’acqua presente all’interno di ciascun piezometro è stata emunta al fine di garantire le condizioni di massima rappresentatività dei campioni prelevati. Tre dei quattro piezometri si sono ricaricati nelle 24 ore successive allo spurgo, consentendo quindi il prelievo del campione di acqua. Il piezometro SN12-PZ, invece, non si è ricaricato durante il periodo della permanenza delle squadre in campo e pertanto, in tale piezometro, non è stato possibile prelevare il campione ambientale di acqua.

Sono quindi stati prelevati n. 3 campioni di acque sotterranee dai fori di sondaggio SN01-PZ, SN06-PZ, SN16-PZ.

I campioni, come previsto *dall’Allegato 2 al Titolo V, Parte IV del D.Lgs 152/06*, sono stati prelevati in modalità dinamiche a basso flusso subito dopo l’effettuazione dello spurgo con una portata di emungimento pari a 0,5-1 l/min al

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 25 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA AMBIENTE	 sinèrgo	 D_VisionArchitecture	
					Data 02/2024

fine di ridurre i fenomeni di modificazione chimico-fisica (quali il trascinarsi dei colloidali o reazioni di ossidoriduzione) ed evitare la volatilizzazione dei composti leggeri.

Da ciascun piezometro è stato prelevato un campione costituito da diverse aliquote distribuite in diverse tipologie di contenitori in funzione della compatibilità dei materiali con gli analiti ricercati e comunque secondo le indicazioni del Laboratorio Accredia di riferimento che ha eseguito le analisi.

I parametri analitici da ricercare, ai fini della caratterizzazione della matrice ambientale acque sotterranee, sono stati i seguenti:

- Arsenico
- Cadmio
- Cobalto
- Cromo Totale
- Cromo VI
- Mercurio
- Nichel
- Piombo
- Rame
- Zinco
- Idrocarburi totali (espressi come n-esano)
- Composti Organici Aromatici (BTEX)
- Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

I risultati di tali analisi, effettuate dal laboratorio O.S.I. Srl, sono descritti negli elaborati di progetto **T00GE02GEORE02** – “Piano di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo” mentre per i certificati delle stesse si rimanda all’elaborato **T00GE01GEORE07** - “Documentazione indagini geognostiche integrative 2023”.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EIVIA ENERGIA VALLE D'AOSTA s.p.a.	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

4 QUADRO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO

L'inquadramento geologico-stratigrafico generale del sito è mostrato nella documentazione geologica di progetto definitivo e in particolare da:

- **T00GE01GEORE09** - “Relazione geologica”;
- **T00GE01GEOCG01** - “Carta geologica generale”;
- **T00GE01GEOCG02÷04** - “Carta geologica di dettaglio” – 3 tavv.;

Le condizioni stratigrafiche di riferimento per il sottosuolo in esame, nonché i profili di dettaglio con la ricostruzione stratigrafica delle differenti unità geologico-tecniche sono state rappresentate nei seguenti elaborati di progetto:

- **T00GE01GEOFG01** - “Profilo geologico asse principale”;
- **T00GE01GEOSG01** - “Sezioni geologiche trasversali”.

Di seguito si riportano le caratteristiche stratigrafiche delle unità interessate dal progetto in esame, rimandando all'elaborato **T00GE01GEORE09** – “Relazione geologica” per ulteriori dettagli e al **punto 9.3** per l'analisi delle proprietà geotecniche dei terreni.

4.1 Unità stratigrafiche di riferimento

Il rilievo geologico di campagna, unitamente alle risultanze delle stratigrafie della campagna geognostica eseguita, ha consentito di verificare le caratteristiche litologiche, stratigrafiche e tettonico-strutturali delle unità geologiche presenti nell'area di progetto, attraverso la ricerca di tutti gli affioramenti significativi, con particolare riguardo alla zona dove verrà realizzata la galleria naturale Montebonello, situata immediatamente a monte del centro abitato omonimo.

I risultati del rilievo geologico sono rappresentati negli elaborati **T00GE01GEOCG01** - “Carta geologica generale” e **T00GE01GEOCG02÷04** - “Carta geologica di dettaglio” – 3 tavv. allegati al progetto, dove sono indicate tutte le unità stratigrafiche riconosciute, suddivise nelle relative unità tettoniche di appartenenza, i depositi superficiali quaternari (depositi di frana, depositi alluvionali, coltri eluvio-colluviali, depositi antropici), i contatti tra le unità geologiche, stratigrafici o tettonici, le giaciture degli strati, le tracce delle sezioni geologiche trasversali.

La perforazione dei sondaggi ha consentito di riconoscere la presenza nell'area delle seguenti unità geologiche: l'unità tettonica Canétolo, nella sua facies basale prevalentemente argillitica o marnosa (*Argille e Calcari di Canétolo*, ACC) e l'unità tettonica Galiga, nella sua facies arenaceo-pelitica (*Marne di Galiga*, GLG) costituita da litologie prevalentemente marnose in contatto stratigrafico di tipo eteropico con corpi siltoso-arenacei appartenenti alle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO). Al di sotto di tali unità sono spesso presenti depositi superficiali lungo l'asse di progetto, riconducibili a depositi alluvionali e a depositi di versante, comprendendo in quest'ultimi anche corpi di frana; tali depositi spesso risultano oblitterati da successive attività antropiche.

I terreni che caratterizzano il sottosuolo in prossimità delle opere sono stati suddivisi nelle unità geologiche descritte di seguito.

4.1.1 Unità tettonica Canétolo

L'unità tettonica Canétolo, strutturalmente interposta tra l'unità tettonica Morello e l'unità tettonica Falterona (entrambe fuori dall'area di competenza del progetto), è costituita da una porzione sommitale arenacea e una porzione basale

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'AOSTA S.p.A.	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

prevalentemente argillitica o marnosa, ossia l'unità *Argille e Calcari di Canétolo (ACC)*; lungo il tracciato quest'unità è stata rinvenuta all'interno delle verticali di sondaggio dal SN01-DH al SN08-PZ, le quali hanno attraversato rocce argillitico-marnose con livelli e inclusi calcarei ascrivibili appunto a tale formazione.

4.1.1.1 Argille e Calcari di Canétolo (ACC)

Sono costituite da argilliti variegatae fissili e argille marnose di colore variabile, da verdi a bruno-rossastre e grigie, con intercalazioni di calcilutiti color avana in strati da sottili a spessi, da calcareniti grigio scure, marne calcaree biancastre e grigie e di calcari marnosi a frattura scheggiata. Tali depositi sono stati sottoposti ad una intensa deformazione tettonica con foliazione estremamente pervasiva specie nelle facies argillitiche. Lo spessore complessivo è di circa 200 m. Inoltre, da bibliografia è presente una litofacies calcarea costituita da calcari e calcari marnosi fini, silicei, in strati medi, intercalati a calcareniti in strati da medi a molto spessi e sottili interstrati pelitico-marnosi, marne e marne calcaree grigio chiaro biancastre e calcari marnosi rossastri in strati sottili alternati a argilliti variegatae. Lo spessore complessivo della litofacies è di circa 150 m.

Le stratigrafie hanno consentito di verificare la presenza di alternanze di limi argillosi sabbie limoso-argillose, talora ghiaiose, appartenenti al substrato lapideo fortemente alterato dell'unità di Canétolo (ACC). La sequenza alternata di tali livelli è caratterizzata da valori di RQD progressivamente crescenti con la profondità, variabili fra pochi punti percentuali nelle porzioni più sommitali e mediamente 80÷100% oltre la profondità di circa 25 m sotto il piano campagna ove sono presenti rocce argillitico-marnose con livelli e inclusi calcarei.

4.1.2 **Unità tettonica Galiga**

L'unità tettonica Galiga è costituita da facies arenaceo-pelitiche legate ad un bacino satellite separato da quello di avanfossa s.s., nel quale le *Marne di Galiga (GLG)*, costituite da litologie prevalentemente marnose, sono in contatto stratigrafico di tipo eteropico con un corpo siltoso-arenaceo ascrivito alle *Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO)*. Entrambi i termini sono associati a breccie argillose originate da colata sottomarina ma non presenti nell'area di progetto.

I sondaggi dal SN09-DH al SN11bis hanno attraversato marne siltoso-calcaree e siltiti marnoso-calcaree ascrivibili alla formazione delle Marne di Galiga (GLG), mentre i sondaggi dal SN12-DH al SN20-DH hanno attraversato siltiti marnoso-calcaree e marne siltoso-calcaree ascrivibili alla formazione delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO).

4.1.2.1 Marne di Galiga (GLG)

Sono costituite da marne siltose e argillose poco stratificate, in strati da spessi a sottili, di colore grigio, alle quali si intercalano strati arenitici di colore marrone, da sottili e molto sottili e rare calcareniti biancastre, in strati da sottili a medi. Lo spessore complessivo è compreso tra 200 m e 300 m. Il contatto inferiore secondo la bibliografia è con il Membro di Montalto (FAL3). Nell'area di progetto le Marne di Galiga affiorano lungo l'alveo del T. Argomenna, laddove questo risulta del tutto privo di depositi alluvionali in evoluzione (b1).

Le stratigrafie hanno consentito di osservare, al di sotto dei terreni di copertura olocenici, il substrato marnoso-siltoso appartenente alle unità di Galiga previo spessore di qualche metro di alterazione dello stesso, come testimoniato anche dal livello di fratturazione delle marne rinvenute e dei valori di RQD spesso assenti.

4.1.2.2 Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO)

Sono costituite da alternanze di siltiti marnose e marne, in rapporto arenite/pelite (A/P) generalmente compreso tra 1/3 e 1/6, in strati da sottili a medi, con locale presenza di areniti fini ed emipelagiti. In particolare, sono state osservate

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLEA AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

alternanze di prevalenti siltiti fini marnose laminate, in livelli di spessore da centimetrico a decimetrico, con subordinate siltiti, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, con rapporto A/P variabile tra 0.44 e 0.74.

Lo spessore complessivo delle Siltiti di Poggiolo Salaiole supera i 400 m. Il contatto stratigrafico inferiore con le Marne di Galiga (GLG) è di tipo eteropico, definito in letteratura “sfumato/rapido”.

Localmente l'unità si presenta con una *litofacies marnosa*, costituita da marne siltose laminate, in livelli da decimetrici a metrici, con sporadici strati siltitici di spessore centimetrico (cfr. RG6 sped).

E' stata osservata in affioramento anche una *litofacies arenacea*, nella quale l'alternanza è costituita di arenarie e marne in rapporto compreso generalmente tra 1/3 e 1, con stratificazione da molto sottile a molto spessa e raramente in banchi. Infine, sono presenti livelli con selce nera a liste e globulare. In particolare, (cfr. rilievo geomeccanico RG3) sono state osservate siltiti a laminazione da parallela ad ondulata con diffusa selce scura in liste, di colore grigio nocciola, giallastro in alterazione, in strati di spessore da centimetrico a decimetrico, e sottili interstrati di siltiti fini marnose laminate.

Le Siltiti di Poggiolo Salaiole affiorano lungo le scarpate antropiche nei tratti scavati in trincea della strada comunale che collega l'abitato di Montebonello alla località La Croce (292 m s.l.m.). Esse erano già oggetto di coltivazione nella cava non più attiva ubicata a q.158 m s.l.m. lungo la medesima strada. Affiorano anche nell'impluvio posto a ovest della località Ginestreto, e fino alla confluenza con il T. Argomenna, nei pressi della soglia idraulica che funge da attraversamento carrabile. Qui a quota 150 m s.l.m. è presente una sorgente perenne. Analizzando le stratigrafie, è stato appurato che, al di sotto dei terreni di copertura olocenici, è presente il substrato di siltiti marnose appartenenti all'unità di Poggiolo Salaiole previo spessore di qualche metro di alterazione dello stesso, come testimoniato anche dal livello di fratturazione delle marne rinvenute e dei valori di RQD spesso assenti.

In ogni caso, si deve osservare che le due unità Marne di Galiga (GLG) e Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO) presentano caratteristiche litologico-stratigrafiche molto simili e che, in seguito ad una sessione di esame di tutte le cassette dei sondaggi, è stato possibile distinguere le due unità in base alle caratteristiche di resistenza della roccia intatta, apparsa inferiore nelle Marne di Galiga (GLG) rispetto alle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO).

4.1.3 Depositi quaternari

I depositi superficiali presenti lungo l'asse di progetto sono riconducibili a depositi alluvionali e a depositi di versante, comprendendo quest'ultimi anche corpi di frana.

Nel primo caso sono distinti depositi relativi alle morfologie terrazzate e maggiormente stabili (*deposito alluvionale terrazzato*; bn), da quelli soggetti attualmente a modifiche repentine (*deposito alluvionale in evoluzione*; b1). Nel secondo caso sono relativi alle morfologie ondulate, inclinate verso valle ricoprenti variamente i versanti (*depositi eluvio-colluviali*; b2) oppure riconducibili ad accumuli di frana s.s. I depositi superficiali presenti lungo l'asse di progetto spesso risultano obliterati da successive attività antropiche.

4.1.3.1 Depositi alluvionali terrazzati (bn) e in evoluzione (b1)

Si trovano per lo più nel fondo valle o comunque a quote poco distanti dall'asse della valle attuale. Sono corpi di scarsa estensione laterale e spessore massimo intorno ad una decina di metri.

In corrispondenza del Viadotto Sieve 1 in progetto, nella campagna geognostica del 2021-2022 sono stati effettuati i sondaggi SN01-DH, SN01bis, SN02-DH e SN04-PZ. Le stratigrafie di tali sondaggi hanno permesso di verificare uno

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 29 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

spessore massimo di 8÷9 m di depositi alluvionali recenti del Fiume Sieve, costituiti da ghiaie medio-grossolane con sabbie limose debolmente argillose, talora inglobanti trovanti calcarei.

In corrispondenza del Viadotto Sieve 2 in progetto, sono stati effettuati i sondaggi SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH, che hanno permesso di verificare uno spessore massimo di 9÷10 m di depositi alluvionali recenti del Fiume Sieve, costituiti da ghiaie e ciottoli in abbondante matrice da sabbioso-limosa debolmente argillosa, con lenti di limi sabbiosi.

I caratteri litologici e sedimentologici dell'unità testimoniano un ambiente alluvionale continentale.

In corrispondenza del Viadotto Argomena in progetto, le indagini del 2021-2022, costituite dai sondaggi SN09-DH, SN10-DH e SN11-DH, hanno permesso di verificare uno spessore massimo di circa 8 m di depositi alluvionali recenti, costituiti da ghiaie sabbiose debolmente limose con ciottoli e trovanti.

Nell'area invece a morfologia blandamente ondulata, ubicata in destra idrografica del F. Sieve, caratterizzata dalla commistione di depositi di frana e di versante, che si raccorda con le morfologie terrazzate presenti fino alla confluenza del T. Argomena, il sondaggio SN08-PZ ha rinvenuto, fino ad una profondità di circa 8 m, ghiaie con sabbie e ciottoli in matrice limosa debolmente argillosa. Al di sotto di questa profondità sono state rinvenute argilliti marnose molto compatte di colore grigio.

4.1.3.2 Depositi di versante, coltre eluvio-colluviale (b2)

I depositi di versante (b2) costituiscono la fascia compresa tra la sinistra idrografica del T. Argomena (quota 135 m s.l.m.) e la destra idrografica del F. Sieve (quota 115 m s.l.m.). nella campagna geognostica del 2021-2022 lungo l'asse stradale in progetto sono stati eseguiti i sondaggi SN11bis, SN12-DH e SN13-PZ, che hanno permesso di verificare uno spessore della coltre eluvio-colluviale (b2) compreso tra circa 2 m e circa 9 m. Tale deposito risulta costituito da depositi detritici di tipo grossolano, con numerosi elementi litici decimetrici prevalentemente marnosi e sporadicamente arenacei in abbondante matrice limo-argillosa.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.p.a. Energia Valleys Area S.p.A.	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

5 QUADRO GEOMORFOLOGICO DI RIFERIMENTO

I caratteri geomorfologici del territorio attraversato derivano dalla diversa competenza reologica dei litotipi affioranti associata al suo assetto geologico-strutturale; a questi fattori si sovrappone l'azione degli agenti morfogenetici.

Da questo punto di vista è di particolare rilevanza la presenza del Fiume Sieve, affluente principale del fiume Arno, che più a Nord dell'area di progetto colma con i suoi depositi la vallata intermontana del Mugello, una depressione di origine continentale nella quale si è deposta una successione fluvio-lacustre conosciuta in letteratura come Sintema del Mugello (allo-formazioni).

Nel tratto che attraversa l'area di progetto sono invece presenti solo depositi alluvionali, depositi eluvio-colluviali e depositi di frana, distinti adottando in genere un criterio genetico (unità ubiquitarie).

Il territorio in esame sulla base dei suoi caratteri geomorfologici può essere suddiviso in due porzioni: area collinare e pianure alluvionali.

L'elemento principale è il rilievo collinare sviluppato per alcuni chilometri in direzione NW-SE nel quale la propaggine sud-orientale troncata dalla piana alluvionale del Fiume Sieve raggiunge in località Poggio Lupai quota 557 m s.l.m.

La pianura alluvionale, originatasi principalmente attraverso le dinamiche fluviali del fiume Sieve ed in subordine da quelle dei torrenti Argomena e Rufina, confluenti rispettivamente in destra (a circa q. 106 m s.l.m.) e in sinistra idrografica (a circa q. 117 m s.l.m.) dello stesso. La pianura alluvionale risulta occupata per la gran parte dagli insediamenti abitativi di Montebonello e Rufina oltre che da due importanti infrastrutture di trasporto lineari: la sede ferroviaria della Firenze-Pontassieve, che si sviluppa a tratti su opere in rilevato, e la sede stradale della S.S. Tosco-Romagnola N°67, oggetto del presente progetto di variante.

5.1 Dinamica geomorfologica di versante

Lo studio della dinamica geomorfologica di versante, ovvero dei dissesti di natura gravitativa che potrebbero essere interferiti dal tracciato dell'infrastruttura stradale in progetto, è stato condotto attraverso le seguenti fasi di lavoro:

- consultazione del Catalogo IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia
- consultazione della Banca Dati Geomorfologica della Regione Toscana
- consultazione del PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale - Bacino del Fiume Arno
- consultazione del PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale - Progetto PAI "Dissesti geomorfologici"
- rilevamento geomorfologico di campagna

Inoltre, sono stati eseguiti i seguenti approfondimenti:

- analisi interferometrica da immagini radar satellitari (satelliti ERS, ENVISAT e Sentinel-1)
- analisi fotointerpretativa stereoscopica di immagini aeree relative al volo eseguito per la realizzazione della base aerofotogrammetrica di progetto dell'infrastruttura.

per i quali si rimanda all'opportuno elaborato di riferimento **T00GE01GEORE09** – "Relazione geologica" per i risultati.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO	
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture	B
				Data	31 di 351
				02/2024	

5.1.1 Consultazione del catalogo IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia

Dal 1997 il catalogo IFFI ha l'obiettivo di censire, secondo una metodologia standardizzata, i fenomeni franosi verificatesi sul territorio nazionale. L'Istituto superiore per la ricerca e l'ambiente (ISPRA) dal 2005 pubblica online la base dati, sul sito della *piattaforma IdroGEO* (<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>).

Le Regioni e le Province Autonome svolgono la funzione di raccolta dei dati storici, di archivio, di individuazione e mappatura delle aree in frana nonché la validazione dei dati. Dal 2008 inoltre trasmettono ad ISPRA eventuali aggiornamenti in loro possesso. Il catalogo IFFI è risultato così uno strumento conoscitivo di base per la valutazione della pericolosità da frana nei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI).

Nell'area di progetto il catalogo IFFI (cfr. **Figura 5-1**) individua una sola frana direttamente interferente con il tracciato tra la p.k. 0+925 e la p.k. 1+275. Tale frana, ubicata in destra idrografica del fiume Sieve, viene classificata come *scivolamento rotazionale/traslativo*, con *stato di attività n.d. (non determinato)*.

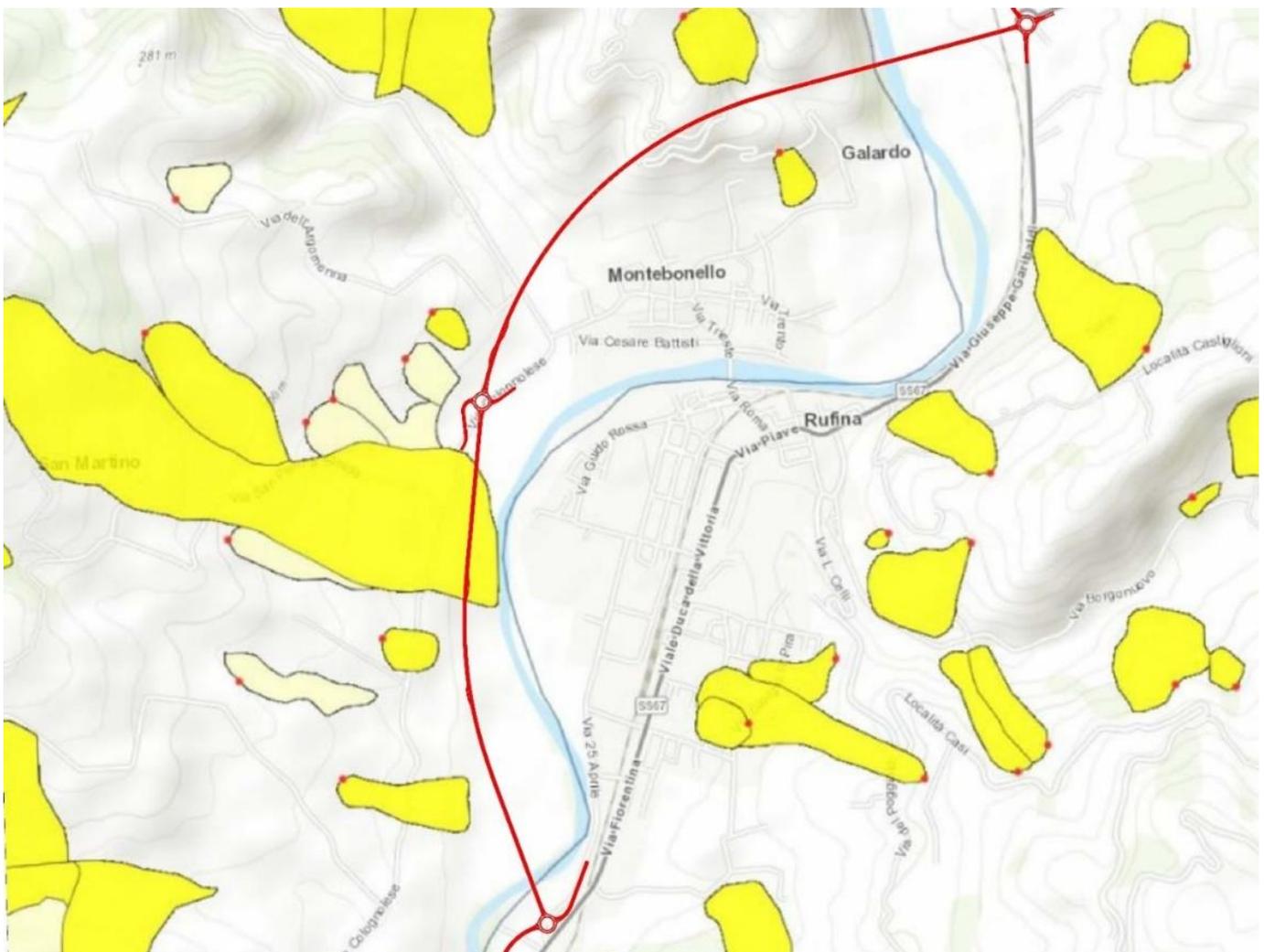


Figura 5-1 - Rappresentazione cartografica dei fenomeni franosi nel catalogo IFFI (da sito web ISPRA piattaforma IdroGEO)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA INGEGNERIA VALUTAZIONE AMBIENTALE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024

5.1.2 Consultazione della Banca Dati geomorfologica della Regione Toscana

La Regione Toscana dispone di uno strumento webgis, il geoportale "GEOscopio", che consente di visualizzare ed interrogare i dati geografici della Regione Toscana.

Ala pagina <http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/geomorfologia.html> è possibile consultare la Banca Dati geomorfologica, dove sono rappresentate forme di dissesto come *Frane* e *Orli di scarpata*.

Dall'immagine delle *Frane* presenti nell'area di interesse (cfr. **Figura 5-2**) è possibile osservare che la perimetrazione risulta identica a quella riportata nel catalogo IFFI.

Dalla legenda, che indica la tipologia di frana e il suo stato di attività, è possibile verificare che la frana interferita dal tracciato tra la p.k. 0+925 e la p.k. 1+275 viene classificata come *frana di scorrimento (velocità indeterminata)*, con *stato di attività indeterminata*.

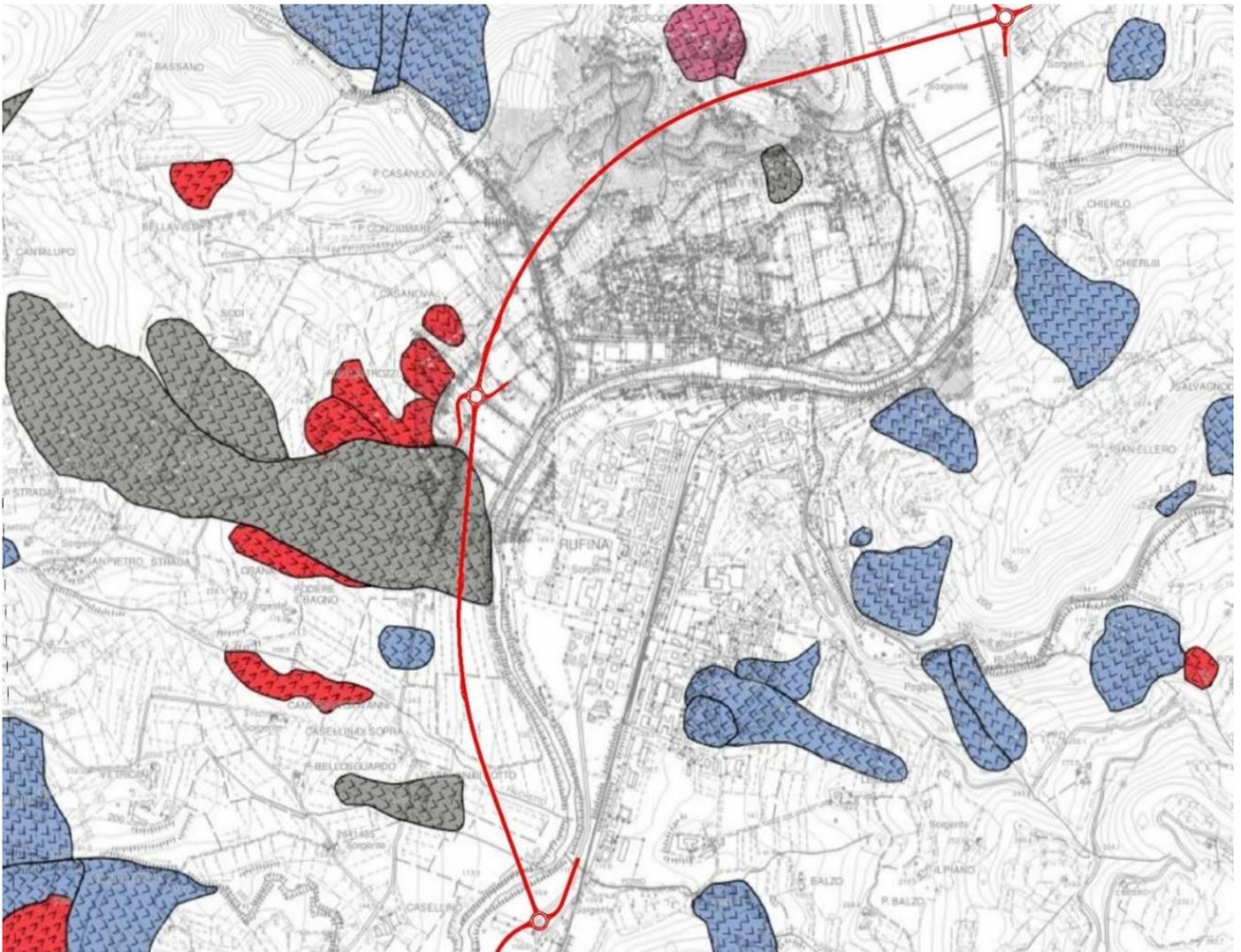


Figura 5-2 - Rappresentazione cartografica dei fenomeni franosi nella Banca Dati geomorfologica della Regione Toscana (da sito web GEOscopio della Regione Toscana)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETI VIZIA ENERGIA VALLE D'ADIGE s.r.l.	sinèrgo	B
			Data 02/2024	

5.1.3 Consultazione del PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale

Il bacino di riferimento per l'area è il *Bacino del Fiume Arno*, il cui PAI vigente è consultabile alla pagina https://www.appenninosettentrionale.it/itc/?page_id=3487. Tale PAI è entrato in vigore con la pubblicazione del D.P.C.M. 6 maggio 2005 "Approvazione del Piano di Bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico" (GU n. 230 del 3/10/2005), mentre le norme di attuazione e gli allegati sono stati pubblicati sulla G.U. n. 248 del 24.10.2005. È risultata disponibile la cartografia della *pericolosità da processi geomorfologici di versante e da frana* (cfr. **Figura 5-3**).

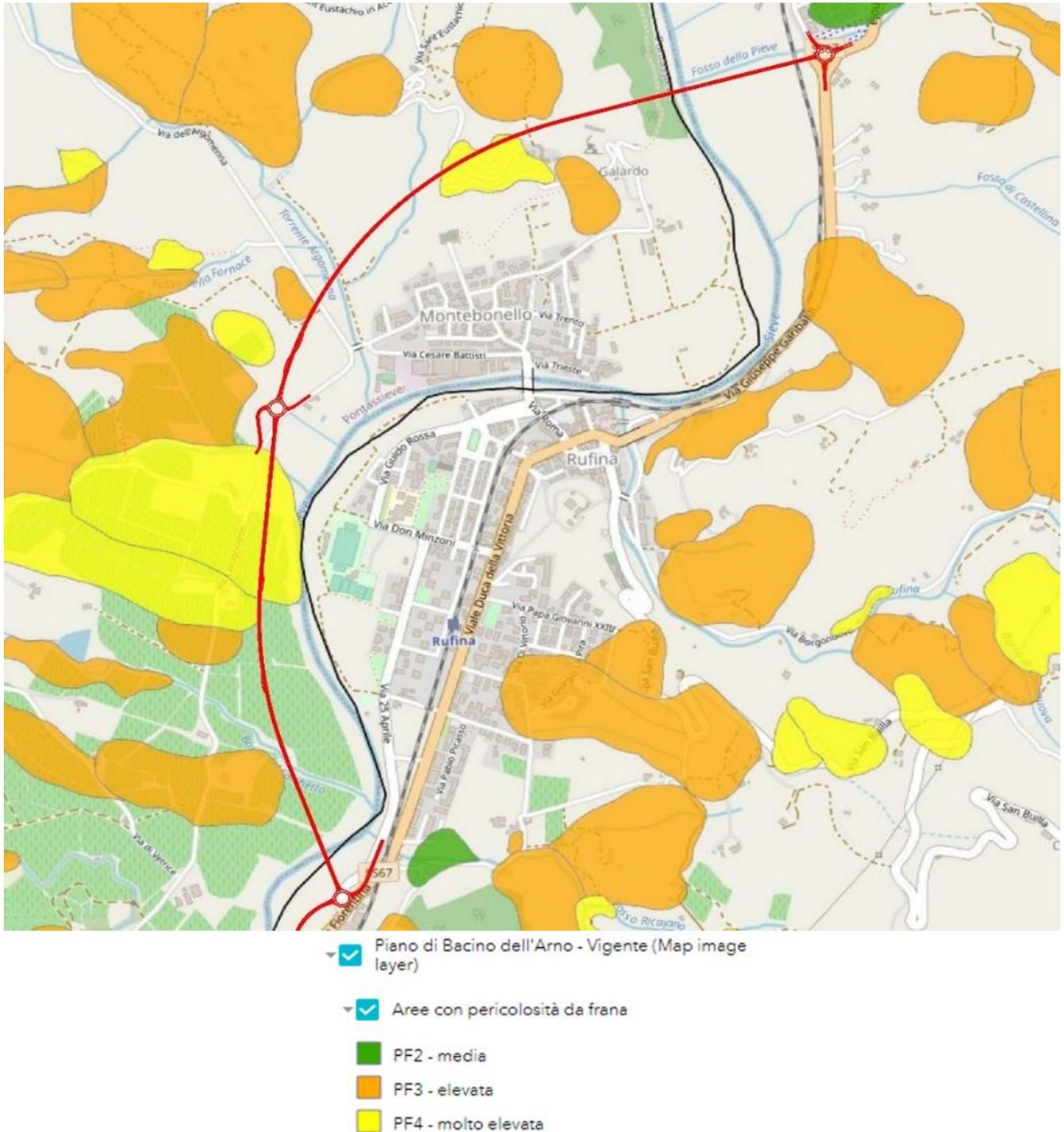


Figura 5-3 - Rappresentazione cartografica della "pericolosità da processi geomorfologici di versante e da frana" presenti nell'area di progetto (da sito web dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale – PAI Bacino del Fiume Arno)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'ARNO  sinèrgo  VA D Vision Architecture	B	34 di 351
			Data 02/2024	

Dall'esame della cartografia è stato possibile verificare con il tracciato interferisce con le seguenti aree di frana:

- una frana a pericolosità molto elevata PF4 tra le p.k. 0+925 e 1+300, in corrispondenza di un tratto in rilevato/trincea;
- una frana a pericolosità elevata PF3 alla p.k. 1+770, in corrispondenza della Spalla 1 del Viadotto Argomena;
- una frana a pericolosità molto elevata PF4, tra le p.k. 2+342 e 2+560, dove il tracciato è tuttavia in galleria naturale con una copertura di circa 85 m.

5.1.4 Progetto di Piano - PAI "Dissesti geomorfologici"

La recente riforma nazionale delle Autorità di Bacino Distrettuali porta con sé l'esigenza di revisione di tale piano (PAI), strumento di pianificazione sia regionale in questo caso del territorio toscano che a scala di distretto, per la gestione dei dissesti di natura geomorfologica.

Il "Progetto di Piano di bacino del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica" relativo al territorio dei bacini del fiume Arno, del fiume Serchio e degli ex bacini regionali della Toscana, altrimenti detto *Progetto di Piano - PAI "dissesti geomorfologici"*, è stato adottato con delibera della Conferenza Istituzionale Permanente n.20 del 20 dicembre 2019 e nella Gazzetta Ufficiale n. 9 del 13.01.2020 è stato pubblicato il comunicato dell'adozione.

La consultazione del Progetto di Piano – PAI "Dissesti geomorfologici" è consultabile alla pagina https://www.appenninoseptentrionale.it/itc/?page_id=5734, mentre alla pagina:

<https://geodataserver.appenninoseptentrionale.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=14ca15f41e8e4396a1b27d788db98f60>, è possibile consultare la cartografia della *pericolosità da dissesti di natura geomorfologica* relativamente all'area di progetto (cfr. **Figura 5-4**).

Nell'ambito della revisione dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) le classi di pericolosità sono state ridefinite nel seguente modo:

- *Aree instabili interessate da fenomeni di dissesto attivi* di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali/artificiali o lungo le pendici (*P4 - molto elevata*).
- *Aree potenzialmente instabili* suddivise in due sottoclassi (*P3 – elevata*):
 - aree non interessate da fenomeni di dissesto attivi ma in cui sono presenti indicatori geomorfologici diretti, quali aree interessate da instabilità in passato e/o segni precursori o premonitori di movimenti gravitativi sulla base dei quali non è possibile escludere la riattivazione dei dissesti (*P3a*);
 - aree interessate da possibili instabilità di tipo gravitativo, erosivo, e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali/artificiali o lungo le pendici, per effetto di condizioni geomorfologiche e fisiche sfavorevole che determinano elevata propensione al dissesto (*P3b*).
- *Aree stabilizzate*, aree stabili interessate tuttavia da litologie e condizioni strutturali e geomorfologiche che possono dar luogo a modifica della loro condizione di stabilità (*P2 – media*)
- *Aree stabili* con condizioni litologiche, strutturali e geomorfologiche aventi caratteri per lo più favorevoli alla stabilità (*P1 – moderata*).

La consultazione della cartografia consente di verificare la corrispondenza, nell'area in esame, delle aree a pericolosità già evidenziate nella cartografia del Piano di bacino del Fiume Arno, dove le aree PF2 corrispondono alle

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024

aree P2, le aree PF3 corrispondono alle aree P3a, le aree PF4 corrispondono alle aree P4. Pertanto, le interferenze del tracciato con le aree di pericolosità rimangono le medesime già evidenziate in precedenza.

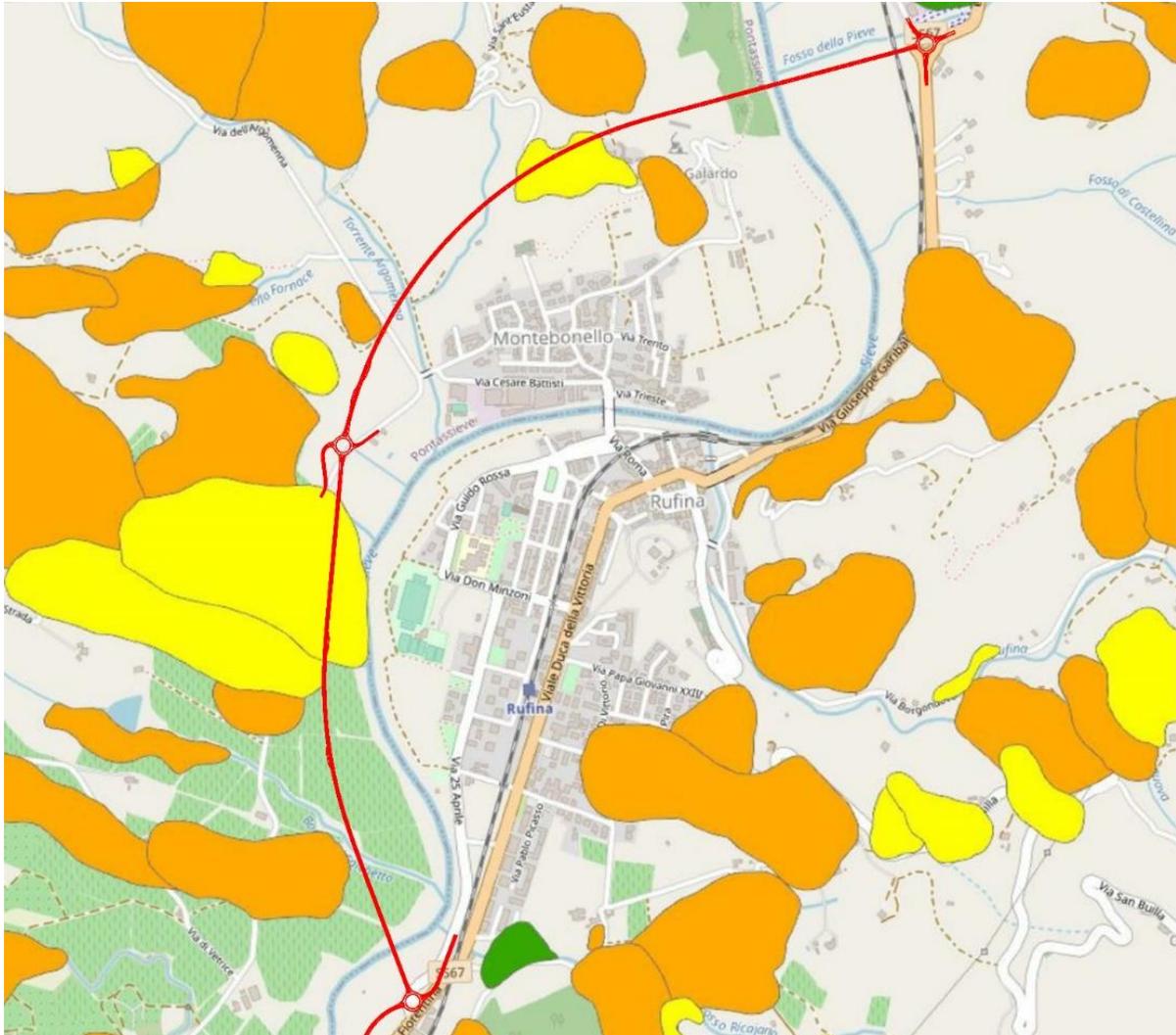


Figura 5-4 - Rappresentazione cartografica delle aree di pericolosità da dissesti di natura geomorfologica presenti nell'area di progetto (da sito web dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale – Progetto PAI “Dissesti geomorfologici”)

Alla pagina:

<https://geodataserver.appenninosettentrionale.it/portal/apps/webappviewer/index.html?id=14ca15f41e8e4396a1b27d788db98f60>, relativa alla Banca Dati geomorfologica del Progetto di Piano - PAI “dissesti geomorfologici” (cfr. **Figura 5-5** e **Figura 5-6**), è possibile verificare tipologia e grado di attività dei fenomeni franosi già indicati nella cartografia della pericolosità. In particolare, le aree a pericolosità elevata e molto elevata precedentemente indicate come interferenti con il tracciato, corrispondono alle seguenti tipologie di frane:

88db98f60, relativa alla Banca Dati geomorfologica del Progetto di Piano - PAI “dissesti geomorfologici” (cfr. **Figura 5-5** e **Figura 5-6**), è possibile verificare tipologia e grado di attività dei fenomeni franosi già indicati nella cartografia della pericolosità. In particolare, le aree a pericolosità elevata e molto elevata precedentemente indicate come interferenti con il tracciato, corrispondono alle seguenti tipologie di frane:

- area a pericolosità P4 tra le p.k. 0+925 e 1+300 (rilevato/trincea): scivolamento/colata lenta, attiva (S3), che continua a monte come scivolamento/colata lenta, inattiva potenzialmente instabile (S2);
- area a pericolosità P3a alla p.k. 1+770 (Spalla 1 del Viadotto Argomena): area potenzialmente instabile per deformazioni superficiali (FD2);
- area a pericolosità P4 tra le p.k. 2+342 e 2+560 (galleria naturale Montebonello): area a franosità diffusa e franosità superficiale attiva (FD3).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastruttura Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA s.r.l. ENERGIA VALLE D'ARNO sinèrgo DVA DVA VisionArchitecture	B	36 di 351
			Data 02/2024	

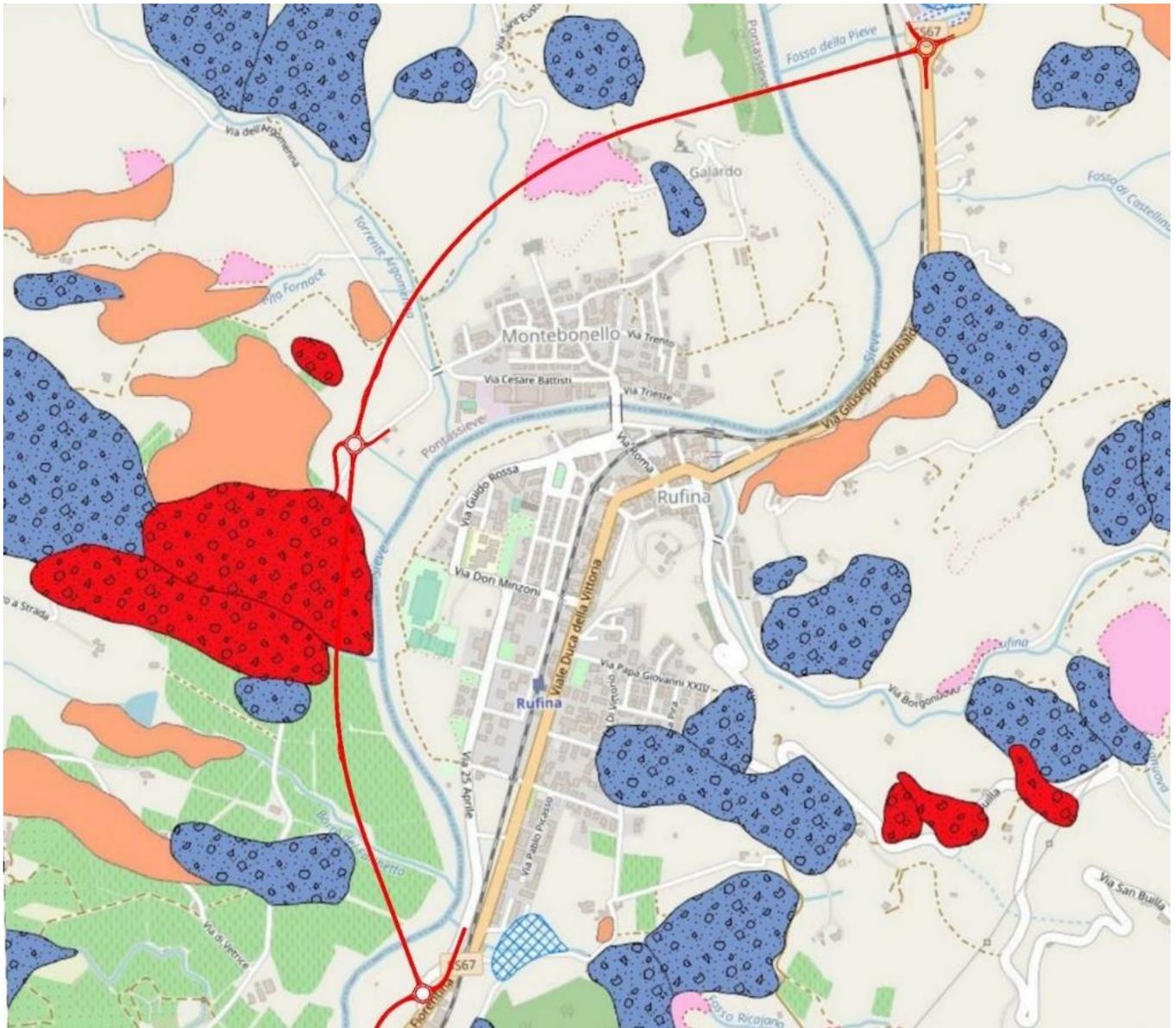


Figura 5-5 - Rappresentazione cartografica dei fenomeni franosi presenti nell'area di progetto (da sito web dell'Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale - Progetto PAI "Dissesti geomorfologici": Banca Dati geomorfologica)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 37 di 351
	MANDATARIA 	MANDANTI   	Data 02/2024	

- Progetto di PAI "Dissesti Geomorfologici" - Banca dati geomorfologica
- Banca dati geomorfologica
- S3 - Frane di scivolamento e colata lenta - attive
- S2 - Frane di scivolamento e colata lenta - inattive potenzialmente instabili
- S1 - Frane di scivolamento e colata lenta - inattive stabilizzate
- C3 - Frane di crollo - attive
- C2 - Frane di crollo - inattive potenzialmente instabili
- C1 - Frane di crollo - inattive stabilizzate
- R3 - Frane di colata rapida - attive
- R2 - Frane di colata rapida - inattive potenzialmente instabili
- R1 - Frane di colata rapida - inattive stabilizzate
- FD3 - Franosità diffusa e franosità superficiale attiva
- FD2 - Aree potenzialmente instabile per deformazioni superficiali
- DGPV - Deformazione gravitativa profonda di versante
- DM3 - Depressioni morfologiche attive
- DM2 - Depressioni morfologiche potenzialmente instabili
- CON2 - Conoidi di detrito pedemontano e conoidi soggette a debris flow
- CON1 - Conoidi miste detritico-alluvionali
- DOL3 - Dolina attiva
- DOL2 - Dolina inattiva
- ES - Erosione spondale attiva
- FDF - Fascia di dinamica fluviale legata ai processi di erosione attiva
- ND

Figura 5-6 – *Legenda dei fenomeni franosi presenti nel Banca Dati geomorfologica (da sito web dell’Autorità di Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale – Progetto PAI “Dissesti geomorfologici”)*

Altri fenomeni franosi indicati come *scivolamento/colata lenta, attiva (S3), scivolamento/colata lenta, inattiva potenzialmente instabile (S2) e area potenzialmente instabile per deformazioni superficiali (FD2)* sono presenti a monte del tracciato, non interferenti con il tracciato dell’infrastruttura in progetto.

Si segnalano infine, in prossimità delle rotatorie di inizio e fine tracciato ma non interferenti con il progetto, due *conoidi miste detritico-alluvionale (CON1)*, in parte occupate da insediamenti antropici.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA 	MANDANTI   	B	38 di 351
			Data 02/2024	

5.2 Analisi fotointerpretativa stereoscopica e rilievo geomorfologico

Una volta esaminata tutta la documentazione di cui ai punti precedenti (IFFI, Banca Dati geomorfologica, PAI Bacino del Fiume Arno, Progetto di Piano PAI “Dissesti geomorfologici”, Dati interferometrici Geoportale Nazionale e Regione Toscana), è stata eseguita un’analisi fotointerpretativa stereoscopica delle immagini aeree relative al volo eseguito per la realizzazione della base aerofotogrammetrica di progetto dell’infrastruttura, seguita da un rilievo geomorfologico di campagna, eseguito in contemporanea con il rilievo geologico. Tale attività ha consentito di verificare morfologia e stato di attività dei dissesti indicati nella cartografia degli Enti e di riconoscere tutte le altre forme legate sia all’azione della gravità, sia legate allo scorrimento delle acque superficiali, sia legate a processi di natura antropica. La cartografia di tali forme e processi è rappresentata nell’elaborato **T00GE01GEOCG05÷07** – “Carta geomorfologica” (3 tavv.) allegata al progetto.

5.2.1 Forme e depositi dovuti all’azione della gravità e processi di pendio

Tra le forme e depositi dovuti all’azione della gravità sono state rappresentate tutte le frane indicate dal PAI a cui è stata aggiunta una frana relitta presente a monte dell’abitato di Montebonello, bene individuabile dalla fotointerpretazione stereoscopica.

Per tutti i dissesti è stata mantenuta la distinzione, indicata dal *Progetto di Piano PAI “Dissesti geomorfologici”*, in *frane di scivolamento e colata lenta e franosità diffusa e superficiale*, suddivise in *attive, inattive potenzialmente instabili e inattive stabilizzate*. Per tali dissesti è stata indicata anche la loro classificazione in base alla pericolosità assegnata dal PAI (*PF4/ P4 - molto elevata, PF3/P3a - elevata, PF2/P2 - media*).

Dalla fotointerpretazione e dai controlli di campo sono invece stati riconosciuti numerosi *orli di scarpata in erosione*, tendenzialmente *attivi*, e *orli di scarpata/rotture di pendio, inattivi*.

5.2.2 Forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque

Le forme più comuni legate allo scorrimento delle acque sono senz’altro gli *orli di scarpata di erosione fluviale o torrentizia*, le forme di *erosione lineare ed alvei in approfondimento*, entrambi riconosciuti dalla fotointerpretazione e poi verificati in sito.

E’ stata riconosciuta anche un’*area calanchiva* in corrispondenza del Fosso della Fornace, tributario destro del T. Argomena, impostata su un affioramento molto tettonizzato del *Membro di Montalto* (FAL3) delle *Arenarie del Monte Falterona* (Unità tettonica Falterona), al contatto con il sovrascorrimento delle unità sub-liguri delle Argille di Canétolo (ACC).

Infine, sono state cartografiate le due *conoidi miste detritico-alluvionali* indicate dal PAI, ubicate rispettivamente in prossimità dell’inizio e della fine del tracciato di progetto della variante.

5.2.3 Forme e depositi antropici

Sono stati cartografati i principali *depositi antropici*, costituiti dai rilevati stradali o ferroviari, dai rilevati d’argine e dai terrapieni in corrispondenza di aree edificate.

Tra le principali forme riconosciute sono stati indicati gli *orli di scarpata di origine antropica*, presenti in corrispondenza di *aree di cava dismesse* (a monte di Montebonello), di sezioni stradali e ferroviarie in trincea, di sezioni di scavo a monte di zone edificate.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 39 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI   	Data 02/2024		

6 IDROGEOLOGIA E PERMEABILITÀ DEI TERRENI

Il modello idrogeologico proposto si basa sull'attribuzione del grado di permeabilità a ciascuna delle unità dei depositi di copertura e delle unità litostratigrafiche individuate (cfr. **Figura 6-1**). Esso è correlato principalmente alle caratteristiche granulometriche o alla natura litologica delle unità geologiche. Si distingue infatti una permeabilità primaria per porosità da una secondaria per fratturazione, ottenendo rispettivamente unità idrogeologiche dei depositi quaternari da quelle degli ammassi rocciosi.

Inoltre, in base ai risultati delle prove di permeabilità Lefranc eseguite nei depositi di copertura e delle prove di permeabilità Lugeon eseguite nelle unità di substrato nel corso della campagna di indagini 2021-2022 sono stati definiti i range dei coefficienti di permeabilità caratteristici di ogni unità.

A detta di ciò, sono state definite le seguenti unità idrogeologiche, alle quali è stato attribuito il seguente grado di permeabilità.

	Unità' Idrogeologiche	Unità' Geologiche	Grado di permeabilità, k [m/s]			
			Molto Alto - Alto	Medio	Basso	Molto Basso
			1E-03 ÷ 1E-04	1E-05 ÷ 1E-06	1E-06 ÷ 1E-07	1E-07 ÷ 1E-08
Permeabilità' primaria per porosità	Unità' Idrogeologica 1 - UI1	Depositi alluvionali in evoluzione (b1)				
	Unità' Idrogeologica 2 - UI2	Depositi alluvionali terrazzati (bn), rilevati antropici (h)				
	Unità' Idrogeologica 3 - UI3	Depositi di versante, coltre eluvio-colluviale (b2)				
Permeabilità' secondaria per fratturazione	Unità' Idrogeologica 4 - UI4	Arenarie di M. Senario (SEN), Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), Marne di Galiga (GLG), Arenarie di M. Falterona - Membro di Montalto (FAL3)				
	Unità' Idrogeologica 5 - UI5	Argille e calcari del Canetolo (ACC)				

Figura 6-1 – Unità idrogeologiche dell'area di progetto

Nella campagna di indagini 2021-2022 sono stati realizzati n. 22 piezometri distribuiti lungo tutto il tracciato che hanno consentito la ricostruzione del livello piezometrico da utilizzare per la progettazione dell'opera nei seguenti contesti:

- nei depositi alluvionali presenti nel tratto iniziale (Viadotto Sieve 1), nel tratto intermedio (Viadotto Argomenna) e nel tratto finale (Viadotto Sieve 2) del tracciato;
- nelle unità di substrato siltitico marnose attraversate in galleria (Galleria Montebonello);
- nelle unità argillitiche e nei depositi frana presenti in destra Sieve.

Le misure piezometriche sono state eseguite inizialmente, da maggio a novembre 2022, in modo non sistematico, ovvero man mano che venivano completate le installazioni dei piezometri; a partire da giugno 2023 è iniziata invece

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 40 di 351
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRITORIO AMBIENTE s.r.l.	Data 02/2024	
		sinèrgo	D_VA D_VisionArchitecture	

una campagna di misure sistematiche a cadenza mensile che si protrarrà per un anno (12 misure): ad oggi risultano disponibili solo le letture dei mesi di giugno (15/06/2023), luglio (25/07/2023) e agosto (31/08/2023).

Nella **Tabella 6-1** sono state riportate tutte le misure finora disponibili, a partire da maggio 2022.

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati delle misure, con riferimento alla lettura di giugno 2023, il cui livello piezometrico è risultato più alto rispetto alle letture di luglio e agosto 2023. Il livello piezometrico relativo alla sola misura di giugno 2023 è stato quindi rappresentato nell'elaborato **T00GE01GEOFG01** – “Profilo geologico asse principale” e più in dettaglio nell'elaborato **T00GE03GETFG01÷04** – “Profilo geotecnico asse principale” (4 tavv). Nella figura seguente invece è stato riportato in modo schematico (la scala delle distanze non è reale perché i piezometri non sono posti a interasse costante) il livello relativo alle tre misure disponibili.

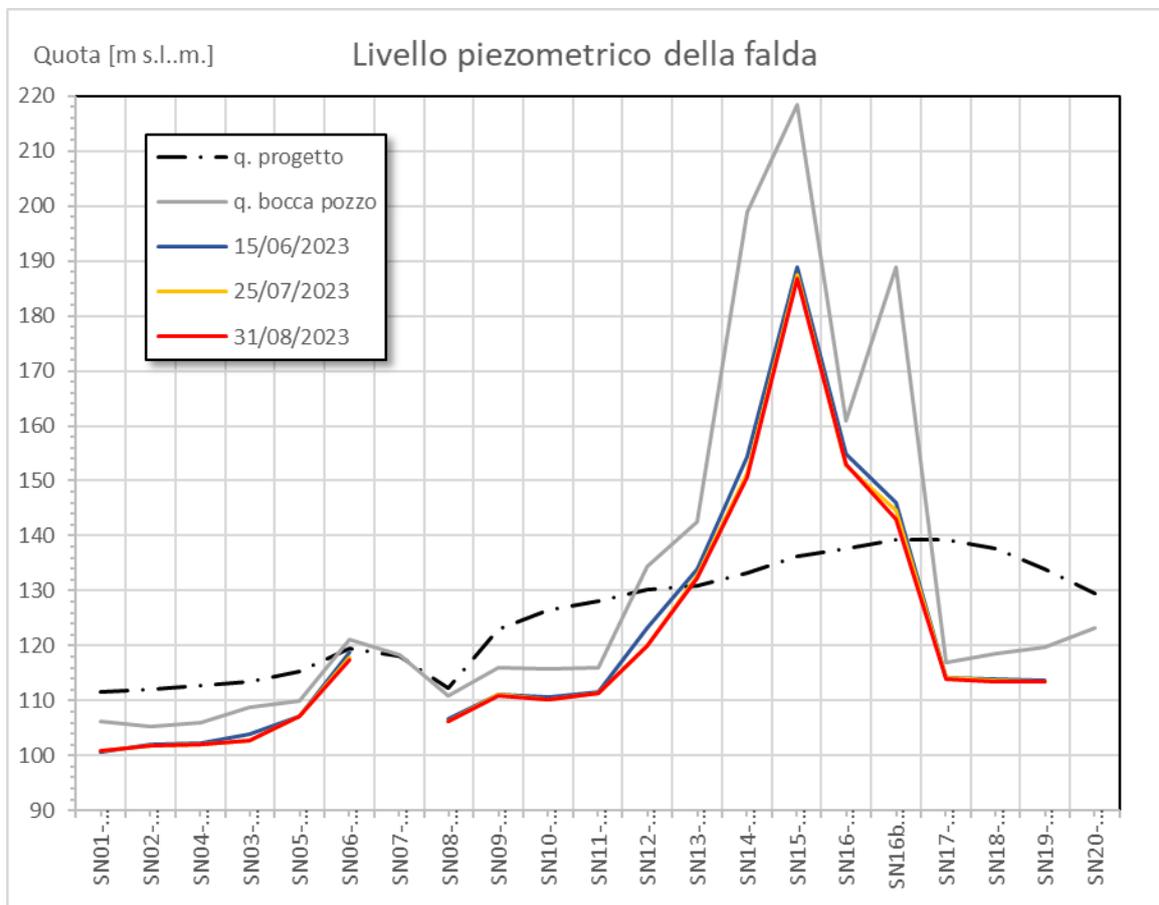


Figura 6-2 – Profilo schematico del livello piezometrico della falda lungo il tracciato di progetto

In sintesi, il modello idrogeologico proposto prevede che la maggior parte delle opere fondazionali e in particolare quelle dei viadotti (Viadotto Sieve 1, Viadotto Argomena e Viadotto Sieve 2) intersechino in superficie l'unità idrogeologica UI2, caratterizzata da una permeabilità media e uno spessore massimo di 8÷10 m.

I valori di soggiacenza misurati nel corso della recente campagna di indagini nei piezometri installati in corrispondenza dei viadotti in progetto (misure di giugno 2023), sono risultati pari a:

- Viadotto Sieve 1: 3÷5 m circa, corrispondenti ad una quota del livello piezometrico della falda pari a circa 101÷102 m s.l.m.;
- Viadotto Argomena: 4÷5 m circa, corrispondenti ad una quota del livello piezometrico della falda pari a circa 111 m s.l.m.;

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGOSTO	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

- Viadotto Sieve 2: 3÷6 m circa, corrispondenti ad una quota del livello piezometrico della falda pari a circa 114 m s.l.m.

In profondità, al di sotto dell'unità idrogeologica superficiale, sono presenti le seguenti unità idrogeologiche di substrato (permeabilità per fratturazione):

- in corrispondenza del Viadotto Sieve 1, l'unità idrogeologica UI5, costituita dalle Argille e Calcari del Canétolo (ACC) e caratterizzata da una permeabilità molto bassa;
- in corrispondenza del Viadotto Argomena, l'unità idrogeologica UI4, costituita dalle Marne di Galiga (GLG) e dalle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), a permeabilità bassa;
- in corrispondenza del Viadotto Sieve 2, l'unità idrogeologica UI4, costituita dalle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), caratterizzata da una permeabilità bassa.

Per quanto riguarda la galleria Montebonello, gli ammassi rocciosi attraversati dalla sezione di scavo in sotterraneo (galleria naturale) intersecano ammassi rocciosi caratterizzati da una permeabilità secondaria per fratturazione, appartenenti all'unità idrogeologica UI4 (Siltiti di Poggiolo Salaiole, PLO), caratterizzati da una permeabilità bassa.

Nel tratto in galleria sono stati installati n.5 piezometri a tubo aperto con un tratto fenestrato da 15 m posto a cavallo della quota della galleria, tratto risultato sempre in corrispondenza dell'ammasso roccioso costituito dall'unità delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO). Il livello piezometrico della falda è risultato avere una soggiacenza minima di 6 m (circa quota 155 m s.l.m.) nel piezometro SN16-PZ ubicato nell'impluvio appena a nord della ex cava, a cui corrisponde il tratto con la minima copertura (circa 10 m) in galleria, e un massimo piezometrico nel piezometro SN-15 (soggiacenza di 29.6 m) con una quota di 188.9 m s.l.m.

Si segnala infine la presenza di due sorgenti naturali di contatto per permeabilità, rinvenute rispettivamente a quota 225 m s.l.m. in località La Croce e quota 140 m s.l.m. in località Via dell'Argomena, entrambe piuttosto distanti dall'asse di scavo della galleria (a 180 m e a 400 m rispettivamente). I valori di portata misurati nella stagione estiva sono risultati 3 l/min (S1) nel primo caso e 0,25 l/min (S2) nel secondo.

La distribuzione delle unità idrogeologiche nell'area di progetto e l'ubicazione di tutti punti d'acqua riconosciuti è riportata nell'elaborato **T00GE01GEOCI01÷03** - "Carta idrogeologica (3 tavv.), allegato al progetto.

Variante di Rufina

Misure del livello piezometrico della falda

		prof. da bocca pozzo [m]																			
Sondaggi	Quota bocca pozzo	10/05/2022	16/05/2022	25/05/2022	06/06/2022	08/06/2022	22/06/2022	14/07/2022	15/07/2022	31/08/2022	02/06/2022	16/09/2022	28/09/2022	11/10/2022	26/10/2022	21/11/2022	25/11/2022	15/06/2023	25/07/2023	31/08/2023	
SN01-PZ	106,179			4,93			5,30											5,45	5,38	5,40	
SN02-PZ	105,421														3,75			3,40	3,72	3,70	
SN04-PZ	106,116														4,07			3,75	4,10	4,00	
SN03-PZ	108,761																4,10	4,86	5,95	6,00	
SN05-PZ	110,024																2,50	2,82	2,79	2,96	
SN06-PZ	121,066																		2,15	3,25	3,76
SN06bis-PZ	145,111																		0,57	0,80	1,00
SN07-PZ	118,368																		-	-	-
SN08-PZ	110,928						4,66	4,95											4,25	4,80	4,77
SN09-PZ	116,063			4,70			9,77	8,30											4,90	5,00	5,10
SN10-PZ	115,766	5,17				5,08	5,14	5,10											5,05	5,65	5,50
SN11-PZ	116,068		4,90	4,60			4,94	4,94											4,48	4,60	4,80
SN12-PZ	134,333			12,00			12,04	12,52											11,05	14,35	14,37
SN13-PZ	142,574				8,80		9,27	9,97											8,68	9,85	10,35
SN14-PZ	198,802											31,10							44,50	47,30	48,10
SN15-PZ	218,525										26,47								29,63	31,00	31,75
SN16-PZ	160,898							7,10											6,00	8,00	7,97
SN16bis-PZ	188,861									46,00									42,85	44,30	45,80
SN17-PZ	116,895												2,83						2,80	2,83	2,97
SN18-PZ	118,56												4,88						4,75	4,90	5,00
SN19-PZ	119,761													6,25					6,10	6,37	6,40
SN20-PZ	123,137								4,50										-	-	-

		quota [m]																			
Sondaggi	Quota bocca pozzo	10/05/2022	16/05/2022	25/05/2022	06/06/2022	08/06/2022	22/06/2022	14/07/2022	15/07/2022	31/08/2022	02/06/2022	16/09/2022	28/09/2022	11/10/2022	26/10/2022	21/11/2022	25/11/2022	15/06/2023	25/07/2023	31/08/2023	
SN01-PZ	106,179			101,25			100,88											100,73	100,80	100,78	
SN02-PZ	105,421														101,67			102,02	101,70	101,72	
SN04-PZ	106,116														102,05			102,37	102,02	102,12	
SN03-PZ	108,761																104,66	103,90	102,81	102,76	
SN05-PZ	110,024																107,52	107,20	107,23	107,06	
SN06-PZ	121,066																		118,92	117,82	117,31
SN06bis-PZ	145,111																		144,54	144,31	144,11
SN07-PZ	118,368																		-	-	-
SN08-PZ	110,928						106,27	105,98											106,68	106,13	106,16
SN09-PZ	116,063			111,36			106,29	107,76											111,16	111,06	110,96
SN10-PZ	115,766	110,60				110,69	110,63	110,67											110,72	110,12	110,27
SN11-PZ	116,068		111,17	111,47			111,13	111,13											111,59	111,47	111,27
SN12-PZ	134,333			122,33			122,29	121,81											123,28	119,98	119,96
SN13-PZ	142,574				133,77		133,30	132,60											133,89	132,72	132,22
SN14-PZ	198,802											167,70							154,30	151,50	150,70
SN15-PZ	218,525										192,06								188,90	187,53	186,78
SN16-PZ	160,898							153,80											154,90	152,90	152,93
SN16bis-PZ	188,861									142,86									146,01	144,56	143,06
SN17-PZ	116,895												114,07						114,10	114,07	113,93
SN18-PZ	118,56												113,68						113,81	113,66	113,56
SN19-PZ	119,761													113,51					113,66	113,39	113,36
SN20-PZ	123,137								118,64										-	-	-

Tabella 6-1 – Misure del livello piezometrico della falda

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE	REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	B	43 di 351
	MANDANTI ENEA s.p.a. sinèrgo VA D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

7 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

All'interno delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, si prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Queste stime di pericolosità sismica sono state successivamente elaborate dal Consiglio Superiore per ottenere i parametri che determinano la forma dello spettro di risposta elastica.

Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano. La redazione di tale mappa è stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); il modello sismo-tettonico di riferimento per la penisola italiana (cfr. Meletti et al., 2000) ha dato origine alla zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di Lavoro 2004 – Meletti et al., <http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), è basata sulla precedente ZS4 (Scandone e Stucchi, 1999, http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html) con modifiche, accorpamenti ed elisioni delle numerose zone di ZS4 e introduzione di nuove zone, con l'obiettivo di realizzare un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo-tettonico oggi disponibile. Le diverse zone sono individuate da un numero; le zone indicate con una lettera non sono state utilizzate per la valutazione della pericolosità sismica.

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

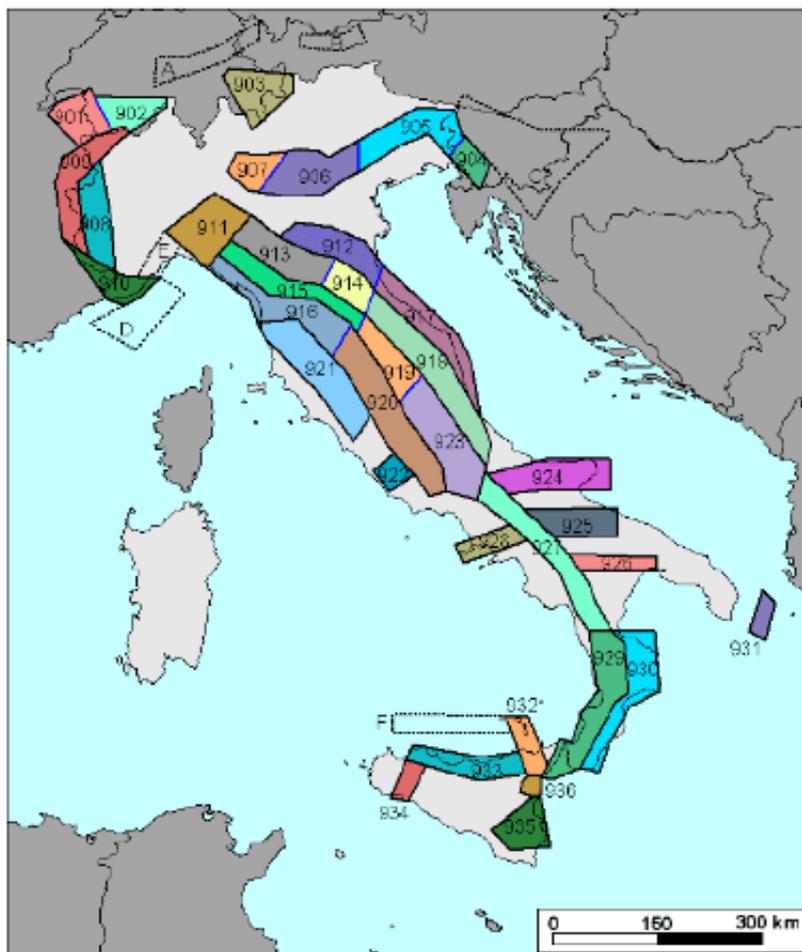


Figura 7-1 - Carta Zonazione sismogenetica ZS9. Dal sito zonesismiche.mi.ingv.it (Gruppo di Lavoro, 2004)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 44 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  	 D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

Come è possibile verificare dalla **Figura 7-1**, la zona in esame, facente parte del complesso dell'Appennino settentrionale e centrale, risulta all'interno della **zona 915**, nella fascia tirrenica, caratterizzata da eventi di magnitudo moderata.

La fascia che dalla Lunigiana arriva fino al confine Abruzzo-Molise veniva indicata come l'area con il maggior rilascio di energia dell'Appennino centro-settentrionale e corrisponde ad un settore interessato da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche (cfr. anche **punto 7.2**). In tale fascia, rientra anche la zona 915. Tale zona, rispetto alle successive 919 e 923, pur avendo al suo interno le aree della Garfagnana, Lunigiana e del Mugello, appare complessivamente caratterizzata da tassi di sismicità leggermente inferiore. Analogamente, la zona 916, subito adiacente alla 915 e che coincide con il settore di distensione tirrenica definito dal modello sismotettonico di Meletti et al. (2000), è anch'essa zona caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo elevati.

In sostanza, l'intero settore tirrenico è caratterizzato da una diffusa sismicità di energia moderata, con pochi eventi di magnitudo più elevata, responsabili di danni significativi su aree di limitata estensione anche per la superficialità degli ipocentri (Bagnoregio 1695, Orciano Pisano 1846, Pancastagnaio 1919).

7.1 Sismicità storica e classificazione sismica comunale

Il Database Macrosismico Italiano *DBMI15 v.3.0* è utile a fornire un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di interesse, contenendo tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti.

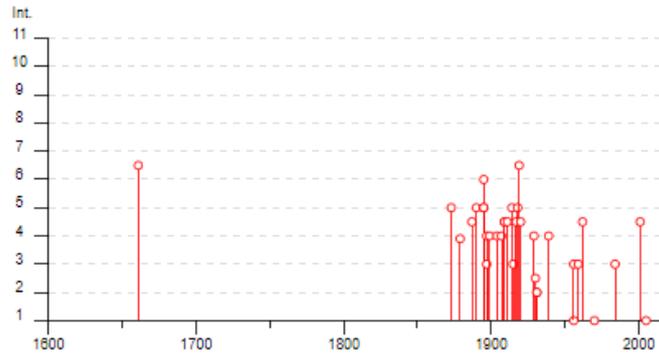
In particolare, la **Figura 7-2** mostra la storia sismica del Comune di Pontassieve dal 1600 a oggi, con la presenza di sismi le cui intensità risentite nel territorio comunale non superano il valore di 6-7.

La **Figura 7-3** mostra la storia sismica del Comune di Rufina dal 1600 a oggi, con la presenza di sismi le cui intensità risentite nel territorio comunale non superano il valore di 7-8.

La **Figura 7-4** mostra invece l'epicentro dell'ultimo terremoto registrato, di magnitudo $M_w = 6.38$ compreso nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani *CPTI15 v.3.0*, ubicato nella Toscana centrale e che è stato risentito nei comuni prossimi al tracciato e in particolare il Comune di Rufina.

Pontassieve

PlaceID IT_45471
 Coordinate (lat, lon) 43.775, 11.441
 Comune (ISTAT 2015) Pontassieve
 Provincia Firenze
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 35

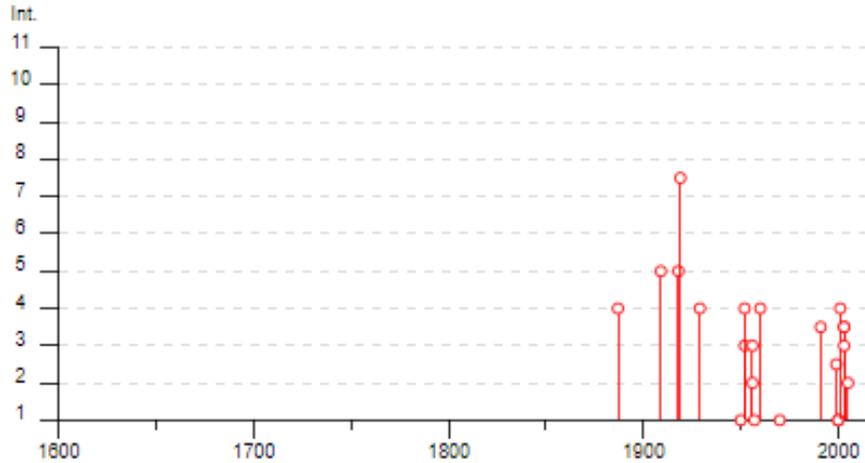


Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
6-7	1661	03	22	12	30		Appennino forlivese	79	9 6.05
5	1878	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8 5.85
F	1879	04	27	04	06		Appennino tosco-emiliano	20	7 5.03
4-5	1887	11	14	05	48	0	Fiorentino	101	6 4.47
5	1890	02	15	02	35	0	Valdelsa	12	5 4.52
6	1895	05	18	19	55	1	Fiorentino	401	8 5.50
5	1895	06	06	00	35	0	Fiorentino	29	5-6 4.55
5	1895	10	25	00	24	5	Chianti	36	5-6 4.51
4	1897	09	06	03	10	4	Valdarno inferiore	104	5-6 4.59
3	1897	12	18	07	24	2	Alta Valtiberina	132	7 5.09
4	1899	06	26	23	17	2	Valle del Bisenzio	138	7 5.02
4	1904	11	17	05	02		Fistoiese	204	7 5.10
4	1907	12	20	10	29	1	Chianti	35	6 4.44
4-5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7 5.36
4-5	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8 5.34
4-5	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7 5.08
5	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7 5.63
3	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11 7.08
4-5	1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9-10 5.99
5	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9 5.96
6-7	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10 6.38
4-5	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10 6.53
4	1929	07	18	21	02		Mugello	56	6-7 4.96
2-3	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8 5.83
2	1931	09	05	01	25	5	Mugello	28	6 4.88
2	1931	12	15	03	23		Mugello	35	6 4.62
4	1939	02	11	11	17		Mugello	31	7 5.01
NF	1956	04	26	03	00	0	Appennino bolognese	89	6 4.74
3	1956	05	26	18	40		Appennino forlivese	76	7 4.99
3	1959	03	24	10	24		Fiorentino	28	7 4.85
4-5	1962	09	16	14	49	4	Chianti	19	6 4.54
NF	1970	02	09	07	39		Appennino forlivese	30	5-6 4.50
3	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7 5.62
4-5	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6 4.63
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5 4.29

Figura 7-2 – DBMI15: catalogo storico dei sismi in Comune di Pontassieve

Rufina

PlaceID IT_45605
 Coordinate (lat, lon) 43.822, 11.485
 Comune (ISTAT 2015) Rufina
 Provincia Firenze
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 22



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1887	11	14	05	48	0	Florentino	101	6	4.47
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96
7-8	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
4	1929	07	18	21	02		Mugello	56	6-7	4.96
NF	1950	09	05	04	08		Gran Sasso	386	8	5.69
3	1952	07	04	20	35	1	Appennino forlivese	64	7	4.94
4	1952	12	02	06	13	2	Appennino forlivese	53	5	4.42
3	1956	05	26	18	40		Appennino forlivese	76	7	4.99
2	1956	06	03	01	45	5	Appennino forlivese	62	6	4.51
NF	1957	04	30	06	05	0	Alta Valtiberina	57	5	4.23
4	1960	10	29	00	08	3	Mugello	69	7	4.91
NF	1970	02	09	07	39		Appennino forlivese	30	5-6	4.50
3-4	1991	01	14	07	38	3	Casentino	62	5	4.26
2-3	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5	4.36
NF	2000	05	08	12	29	5	Faentino	126	5	4.67
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82
4	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
3-4	2003	01	26	20	15	0	Appennino forlivese	63	5-6	4.50
3-4	2003	01	29	23	50	1	Appennino forlivese	71	4-5	4.06
3	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18
2	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29

Figura 7-3 – DBMI15: catalogo storico dei sismi in Comune di Rufina

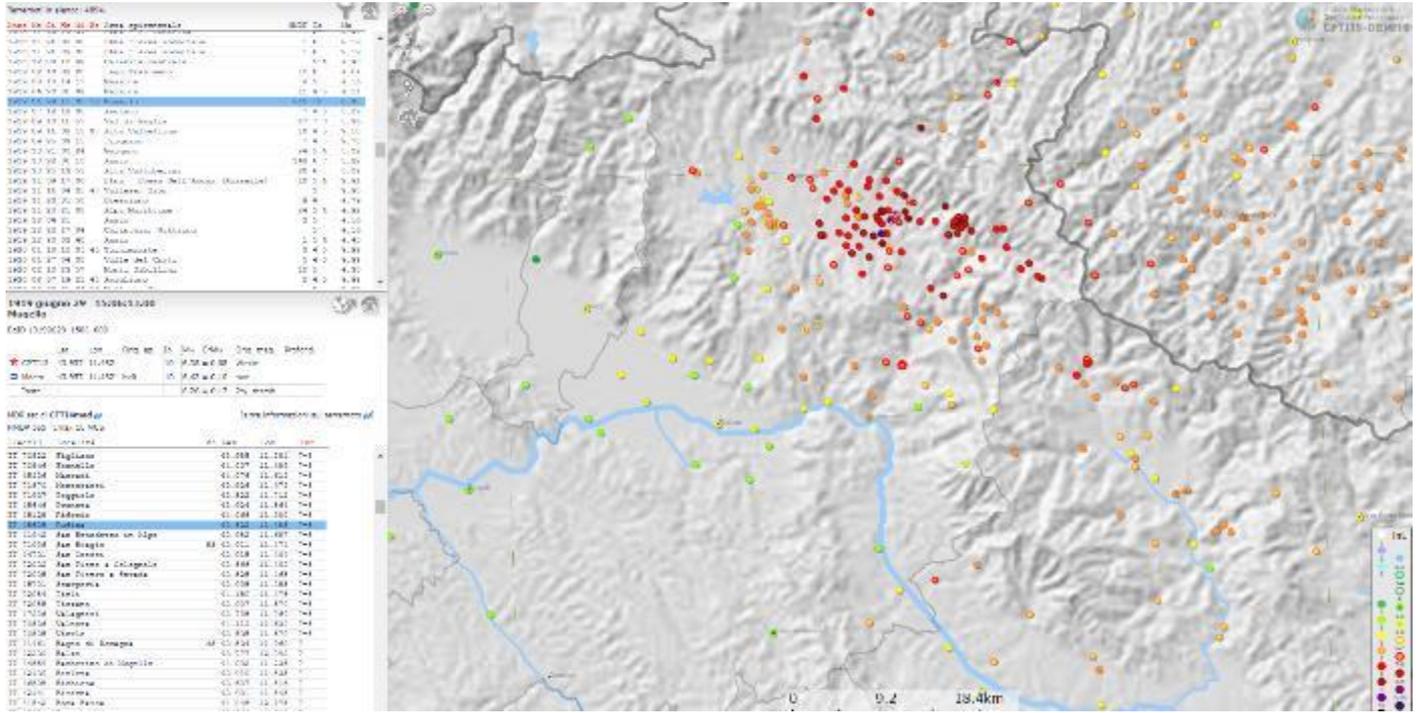


Figura 7-4 – CPT115: dati relativi al terremoto in loc. Mugello del Giugno 1919

Secondo l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Toscana 2014 (cfr. Allegato 1 alla D.G.R. Toscana n. 421 del 26-05-2014 in attuazione dell'Ord. P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 e D.M. 14 gennaio 2008) il Comune di Pontassieve risulta classificato in **Zona 3** mentre il Comune di Rufina risulta classificato in **Zona 2** (cfr. Figura 7-5).



Figura 7-5 – Regione Toscana - Stralcio della mappa di classificazione sismica comunale con evidenziati i comuni di Pontassieve e Rufina

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. B	FOGLIO 48 di 351
				Data 02/2024

7.2 Microzonazione sismica

È stata consultata la cartografia delle MOPS dei comuni di Pontassieve e Rufina (FI), messa a disposizione dal Piano Strutturale Intercomunale (PSI) dell'unione dei Comuni Valdarno e Valdisieve.

Da tali cartografie, riportate come stralci nelle figure sottostanti, è stato possibile identificare le microzone omogenee che caratterizzano la quasi totalità del tracciato, ad eccezione del tratto che va dal Viadotto Sieve 1 all'imbocco sud della Galleria Montebonello, ricadenti in aree del comune di Pontassieve non analizzate in prospettiva sismica e dunque non associate ad alcuna microzona omogenea. I terreni coinvolti dalla realizzazione del tracciato vengono assimilati a diverse zone stabili suscettibili di amplificazione locale, mediante classificazione del territorio a "Microzone Z", corrispondenti ad aree con affioramento di determinati litotipi eventualmente coperti alla sommità da terreni di copertura.

Nella **Figura 7-6** è riportato lo stralcio cartografico delle MOPS che interessano la porzione iniziale del tracciato, fino all'innesto con il Viadotto Sieve 1. In particolare, la rotatoria dello svincolo Masseto interessa la microzona Z5 (2005), corrispondente ad affioramento di substrato con alternanza di litotipi stratificati a fronte di spessori di copertura alluvionale ghiaioso-limosi variabili tra 3 e 10 m. Il tratto successivo non è stato analizzato in prospettiva sismica ma in un intorno abbastanza contenuto della zona viene rinvenuta la microzona Z10 (2010), corrispondente ad affioramento di substrato lapideo stratificato a fronte di spessori di copertura alluvionale ghiaioso-limoso variabili tra 3 e 10 m.

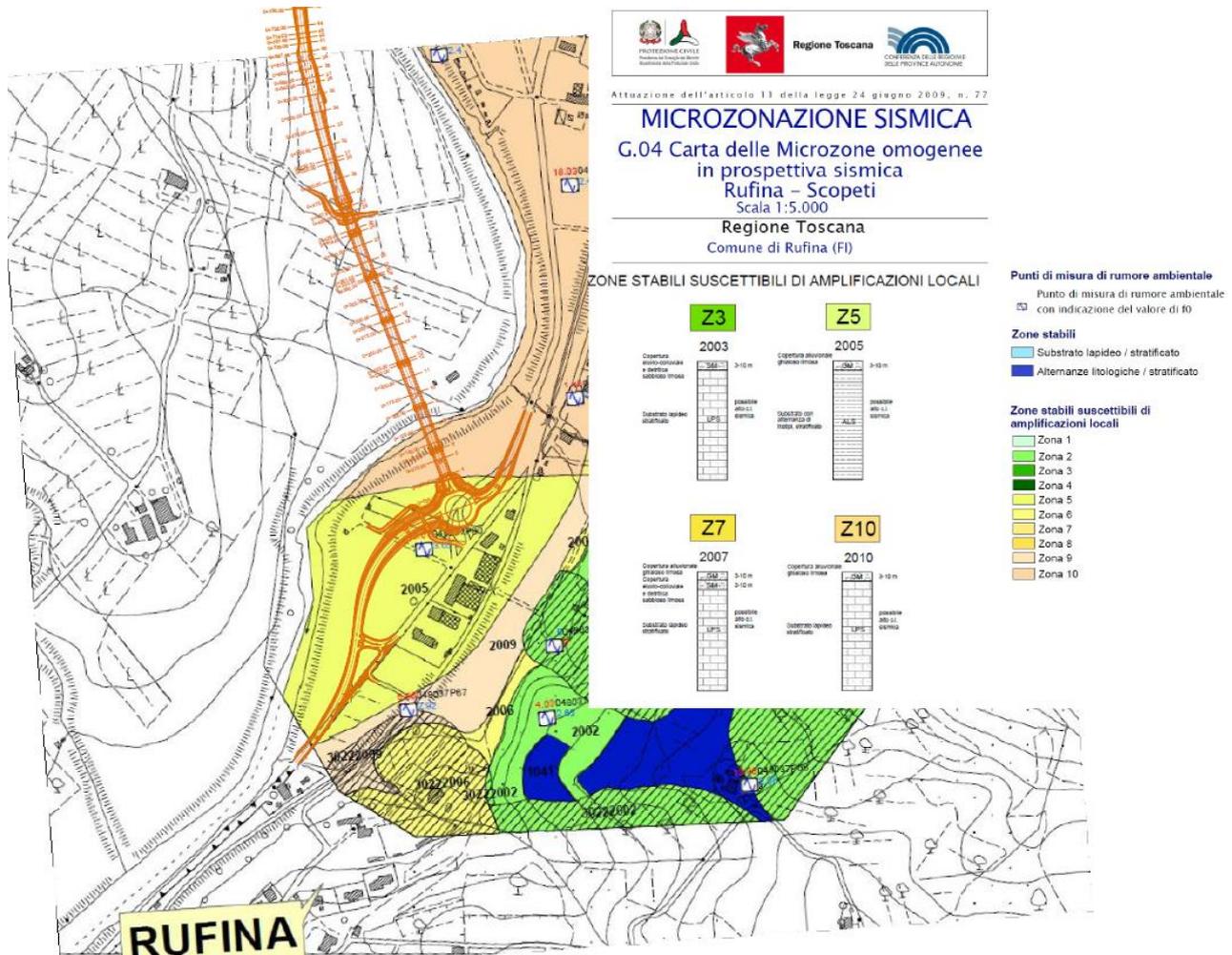


Figura 7-6 – Stralcio cartografia delle MOPS (Comune di Rufina) – inizio tracciato

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENEA ENERGIA VALLE D'ARNO s.r.l.	sinèrgo s.p.a.	VA DVisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 49 di 351
					Data 02/2024	

Nella **Figura 7-7** è riportato lo stralcio cartografico delle MOPS che interessano la porzione corrispondente alla futura realizzazione della Galleria Montebonello. In particolare, le microzone omogenee presenti lungo l'impronta di sviluppo dell'opera si alternano tra la Z18 (2018) caratterizzata da substrato lapideo stratificato con alternanza di litotipi ricoperti da depositi pleistocenici ghiaioso-limosi (5-20 m), la Z13 (2013) che identifica substrato stratificato con alternanza di litotipi ricoperto da spessori di alterazione dello stesso (3-10 m) a loro volta ricoperti da depositi alluvionali e detritici con spessori variabili tra 5 e 15 m, la Z4 (2004) che identifica substrato stratificato con alternanza di litotipi ricoperto da spessori di alterazione dello stesso (3-10 m), la Z1 (2001) caratterizzata da substrato lapideo stratificato con $i > 15^\circ$ e la Z10 (2010), quest'ultima solo parzialmente, che identifica substrato lapideo stratificato ricoperto da spessori variabili tra 5 e 15 m di depositi alluvionali ed eluvio-colluviali.

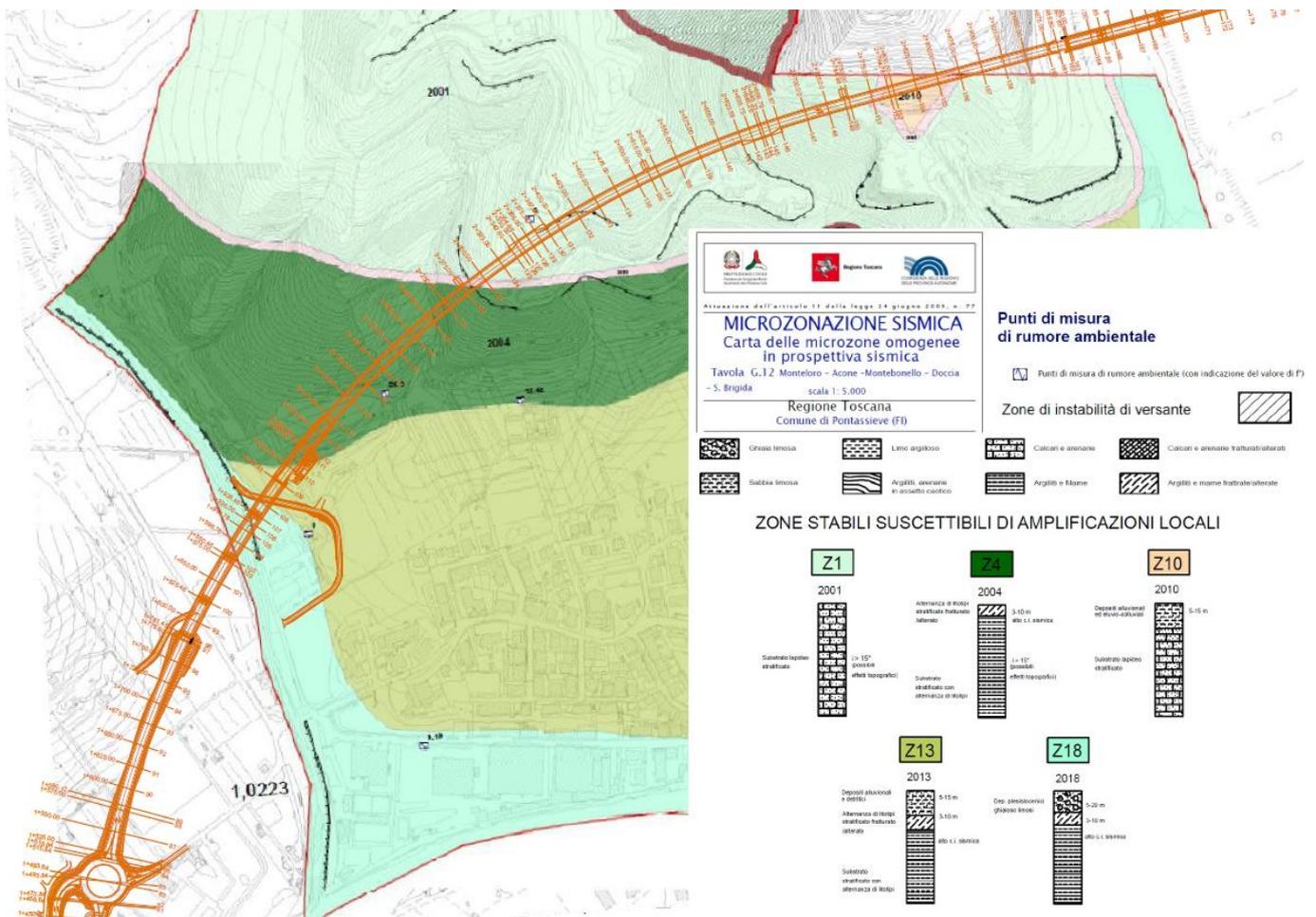


Figura 7-7 – Stralcio cartografia delle MOPS (Comune di Pontassieve) – Galleria Montebonello

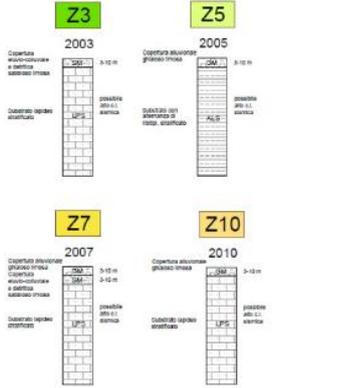
Infine, nella **Figura 7-8** è riportato lo stralcio cartografico delle MOPS che interessano la porzione di tracciato che va dalla futura realizzazione del Viadotto Sieve 2 alla rotatoria Scopeti di fine tracciato. In particolare, le microzone omogenee presenti lungo l'impronta di sviluppo dell'opera sono in sequenza la Z10 (2010), corrispondente ad affioramento di substrato lapideo stratificato a fronte di spessori di copertura alluvionale ghiaioso-limoso variabili tra 3 e 10 m, la Z7 (2007) che identifica substrato lapideo stratificato con coperture alluvionali ghiaioso-limose o eluvio-colluviali e detritico sabbioso-limose per spessori variabili tra 3 e 10 m, la zona Z3 (2003) che identifica substrato stratificato coperto da spessori di terreni eluvio-colluviali e detritico sabbioso-limosi per spessori variabili tra 3 e 10 m.



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

MICROZONAZIONE SISMICA
G.04 Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica
Rufina – Scopeti
 Scala 1:5.000
 Regione Toscana
 Comune di Rufina (FI)

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



Punti di misura di rumore ambientale

- Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di f0
- Zone stabili
 - Substrato lapideo / stratificato
 - Alternanze litologiche / stratificato

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- Zona 1
- Zona 2
- Zona 3
- Zona 4
- Zona 5
- Zona 6
- Zona 7
- Zona 8
- Zona 9
- Zona 10

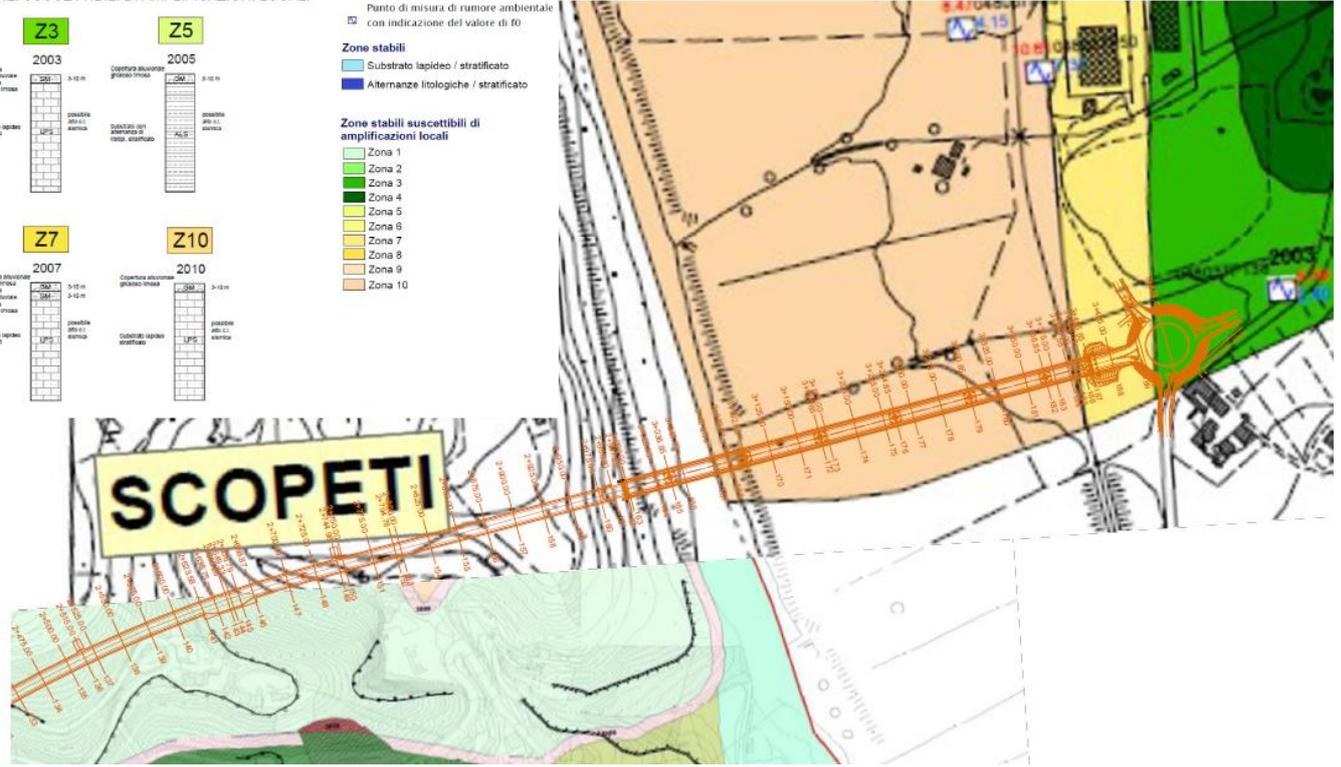


Figura 7-8 – Stralcio cartografia delle MOPS (Comune di Rufina, fraz. Scopeti) – Viadotto Sieve 2 e fine tracciato

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENEA ENEA ENERGIA VALORI AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024

7.3 Strutture sismogenetiche

Facendo infine riferimento allo studio pubblicato dall'INGV (*Database of Individual Seismogenic Sources – versione 3.3.0*, disponibile al collegamento web <http://diss.rm.ingv.it/diss>, è possibile verificare che sono presenti diverse strutture sismogenetiche, tra cui si riportano le più significative (cfr. **Figura 7-9** e **Figura 7-10**).

La prima struttura, classificata secondo DISS3 come *ITSD002* è corrispondente al sistema di subduzione dell'Arco Nord-Appenninico, che attraversa sostanzialmente tutta la regione lungo l'appennino in direzione NW-SE e che comprende il sistema sismogenetico *ITCS037 "Mugello Città di Castello-Leonessa"*, caratterizzato da magnitudo massime fino a 6.9. Il sistema *ITSD002*, ubicato a circa 5 km dall'intervento (cfr. **Figura 7-9**, zona identificata da segnaposto rosso), è in grado di produrre complessivamente sismi di magnitudo fino a 8.1 Richter e con profondità della superficie variabile tra 12 e 20 km. La seconda struttura, classificata da DISS3 come *ITDS015 Prato-Fiesole Fault System*, ha direzione NW-SE ed è ubicata ad ovest dell'intervento attraversando i comuni di Prato e Firenze. Tale struttura è identificata come "debated seismogenic sources", per cui non risultano ad oggi disponibili dettagli numerici a riguardo.

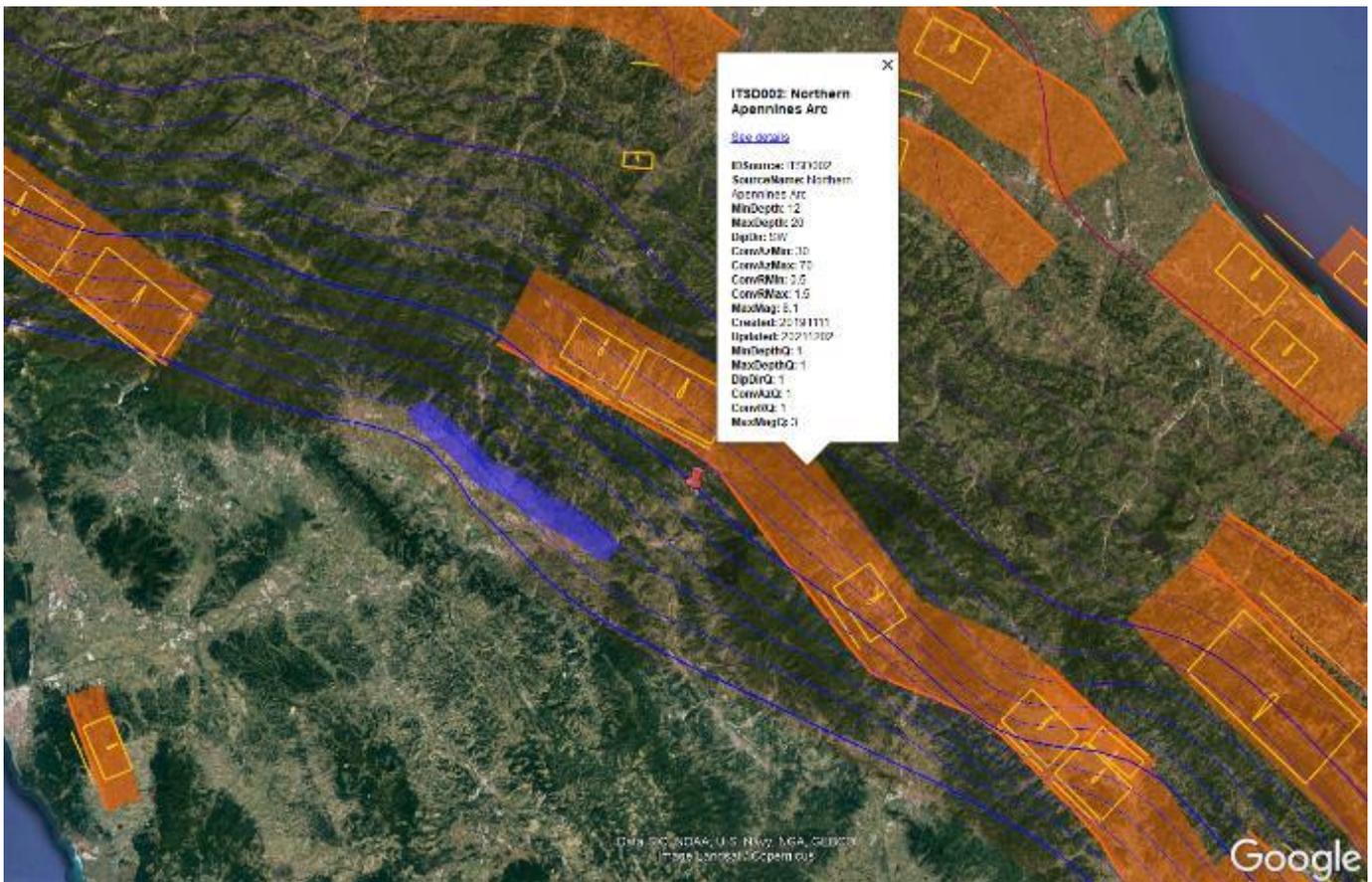


Figura 7-9 - INGV – DISS 3.2.1 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth: dettaglio ITSD002 (il segnaposto rosso identifica il sito in esame)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 52 di 351
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo DVISIONARCHITECTURE	Data 02/2024	



Figura 7-10 - INGV – DISS 3.2.1 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth: dettaglio ITDS015 (il segnaposto rosso identifica il sito in esame)

7.4 Faglie capaci

La consultazione del database “ITHACA – Catalogo delle faglie capaci”, possibile al link di collegamento <http://sqi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/index.html> ha consentito di verificare che il progetto non interferisce con alcuna delle faglie attive capaci ad oggi individuate, essendo la più vicina situata ad almeno 5 km dall’area di intervento (cfr. **Figura 7-11**) e corrispondente alla faglia normale del *Valdarno System*.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastruttura Territorio s.r.l.	MANDANTI ETI/VA s.r.l. ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 53 di 351
					Data 02/2024	

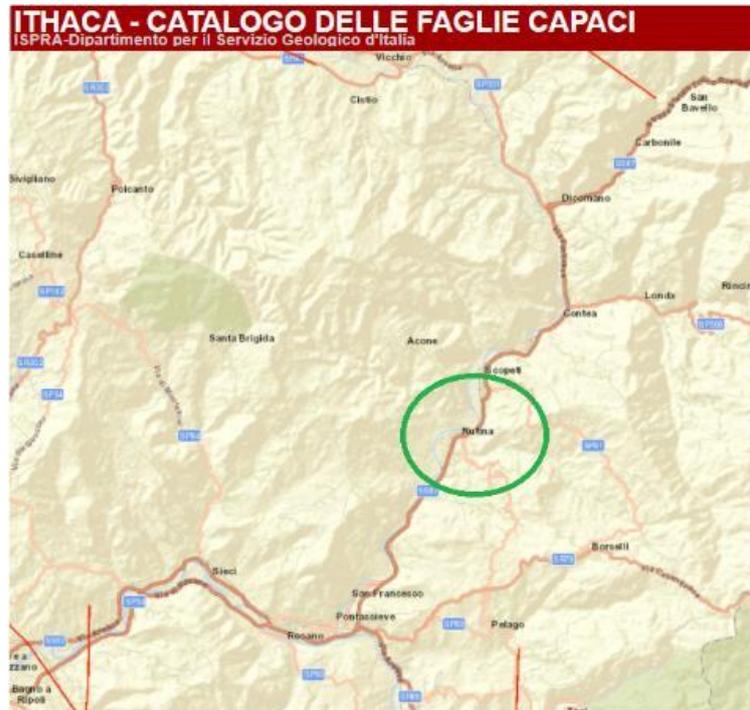


Figura 7-11 – ITHACA – Stralcio catalogo faglie capaci: nel cerchio verde la zona interessata dall'infrastruttura

7.5 Azione sismica di base per il progetto

7.5.1 Stati limite nei confronti delle azioni sismiche

Al paragrafo 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 vengono definiti gli stati limite nei confronti delle azioni sismiche, sia di esercizio che ultimi, riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio (SLE) sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi (SLU) sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	54 di 351
			Data 02/2024	

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento **PVR**, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono (Tab. 3.2.I D.M. 17/01/2018):

Stati Limite		PVR0: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

7.5.2 Periodo di riferimento per l'azione sismica

L'accelerazione orizzontale massima attesa al sito dipende dal periodo di riferimento considerato per la definizione dell'azione sismica. Si ritiene di attribuire alla infrastruttura in progetto, ai sensi della tabella 2.4.I del D.M. 17.01.2018, una vita nominale $V_N \geq 50$ anni nonché una classe d'uso IV. In base alla tabella 2.4.II il coefficiente d'uso vale $C_U = 2$.

Pertanto, il periodo di riferimento per l'azione sismica vale:

$$V_R = V_N C_U = 50 \times 2.0 = 100 \text{ anni}$$

7.5.3 Parametri sismici

In base a quanto descritto nel D.M. 17/01/2018 la *pericolosità sismica* in un generico sito deve essere descritta:

- in termini di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo, denominato reticolo di riferimento, i cui nodi non distano più di 10 km.

Le forme spettrali previste dal D.M. 17/01/2018 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nelle norme tecniche NTC 2018 sono forniti, secondo un reticolo di riferimento e per differenti intervalli di riferimento, i parametri sismici a_g , F_0 e T_c^* per un sito rigido orizzontale (come definiti al paragrafo 3.2) necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Qualora l'area in esame non ricada in corrispondenza dei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento, mediante la seguente espressione:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	55 di 351
			Data 02/2024	

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

in cui:

- p è il valore del parametro di interesse nel punto in esame;
- p_i è il valore del parametro di interesse nell'i-esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame;
- d_i è la distanza del punto in esame dall'i-esimo punto della maglia suddetta.

Di seguito si riportano i valori dei parametri sismici a_g agli SLV, ricavati mediante il programma “Spettri NTC ver.1.0.3.xls”, disponibile sul sito <http://www.cslp.it/cslp/>, inserendo le coordinate geografiche di inizio tracciato, fine tracciato e dei punti più significativi in corrispondenza delle principali opere d'arte maggiori.

Comune	Zona sismica	Opera	a _g [SLV; TR=949]
Rufina	2 [a _g =0.216]	Inizio tracciato	0,207
Pontassieve	3 [a _g =0.183]	Viadotto 1 - Spalla Nord	0,208
		Rotatoria	0,210
		Viadotto 2 - Spalla Nord	0,220
		Galleria - Imbocco Sud	0,220
		Galleria	0,222
Rufina	2 [a _g =0.216]	Galleria - Imbocco Nord	0,223
		Viadotto 3 - Spalla Nord	0,224
		Fine tracciato	0,224

I valori riportati sono stati ottenuti in funzione del periodo di ritorno T_R e di una vita di riferimento V_R=100 anni.

Nell'ottica di una caratterizzazione sismica adeguata, sulla base della tipologia di rilievo e delle opere attraversate dal tracciato, si è scelto di utilizzare i dati dei parametri sismici relativi a fine tracciato, che forniscono, per l'area in esame, i valori di a_g più elevati. In particolare, si riportano di seguito i valori dei parametri sismici a_g, F₀ e T*_{c(s)} ricavati mediante il programma “Spettri NTC ver.1.0.3.xls” da utilizzare in fase progettuale:

Fine tracciato (11.498576- 43.837345)

	T _R (anni)	a _g (g)	F ₀	T* _c (s)
SLO	60	0,079	2,461	0,272
SLD	101	0,098	2,441	0,278
SLV	949	0,224	2,377	0,303
SLC	1950	0,280	2,409	0,314

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	56 di 351
			Data 02/2024	

7.6 Analisi di disaggregazione della pericolosità sismica

La disaggregazione della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro & Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diversi sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in *magnitudo* e *distanza (M-R)*, che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza *R* capaci di generare terremoti di magnitudo *M*.

Il processo di disaggregazione in *M-R* fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo *M* a distanza *R* dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

In particolare, per effettuare tale analisi viene messo a disposizione il sito "<http://esse1-gis.mi.ingv.it>", dell'INGV, dove è possibile eseguire l'analisi di disaggregazione.

In particolare, all'interno del sito, è possibile compilare il "modello di pericolosità sismica MPS04-S1", dove dovranno essere riportati il comune oggetto d'indagine o le coordinate, la probabilità di accadimento di un sisma in 50 anni (indicando il valore più vicino al tempo di ritorno prossimo a quello di progetto) e il percentile, che corrisponde a "50" ai sensi delle NTC 2018. In questo modo è possibile avviare il software e ottenere i valori di magnitudo-distanza *M-R* con relativa probabilità di accadimento.

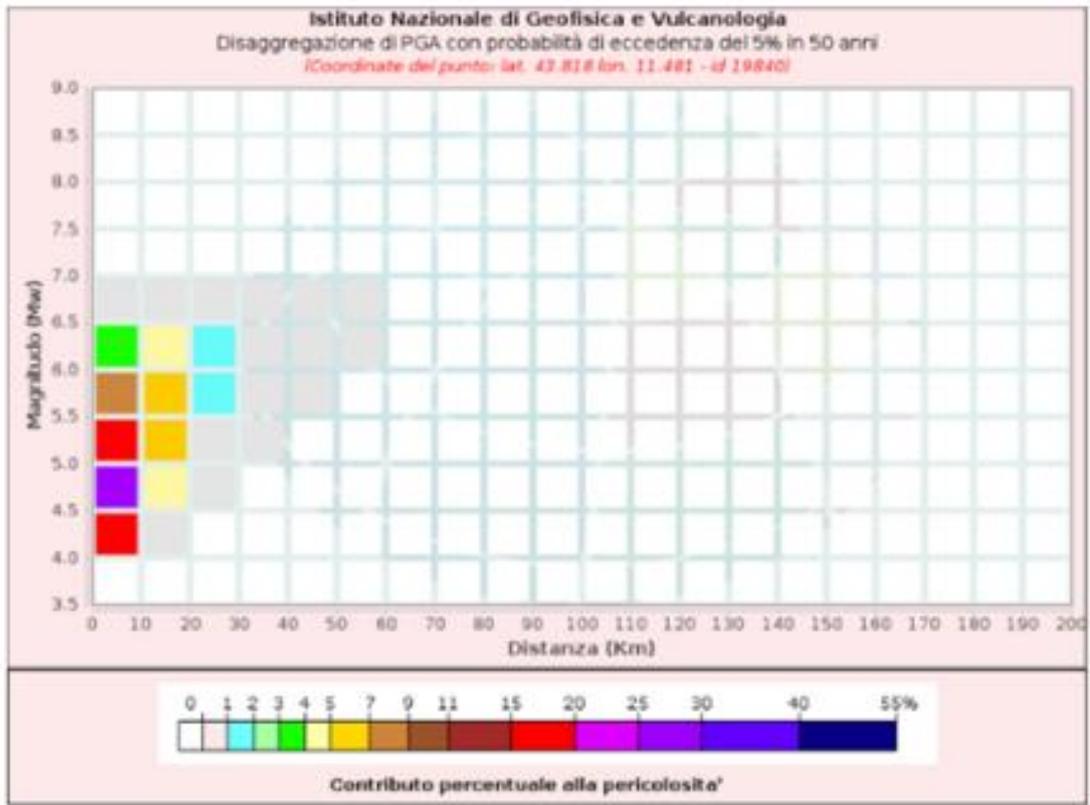
Nel caso dell'infrastruttura in oggetto, sono stati inputati i seguenti dati:

- Coordinate di fine tracciato: Lon. 11.498576; Lat. 43.837345;
- Valore vita di riferimento $V_R = V_N C_U = 50 \times 2.0 = 100$ anni
- Valore tempo di ritorno prossimo a quello di progetto (ovvero $T_r = 949$): $T_r = 975$, corrispondente alla probabilità di accadimento del 5% in 50 anni

I dati di disaggregazione sismica risultanti, nel caso in oggetto, sono i seguenti (cfr. **Figura 7-12**):

- Magnitudo (M) compresa tra 4.5 e 5.5 Mw
- Distanza (R) compresa tra 0 e 10 km

da cui è stata ricavata la coppia magnitudo-distanza (M-R) con maggior probabilità di accadimento, corrispondente ai valori medi di magnitudo 5.1 Mw e distanza 7.8 km.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.818 lon. 11.481 - id 19840)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	16.0000	29.8000	17.6000	7.8000	3.8100	0.4460	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.7730	4.1600	6.0800	5.2800	4.0000	0.6080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0004	0.4190	1.1800	1.2500	0.2410	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	0.1670	0.2350	0.0596	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0347	0.0164	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.11	7.77	1.28

Figura 7-12 – Risultati dell'analisi di disaggregazione della pericolosità sismica

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIWA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	sinèrgo	D_VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024

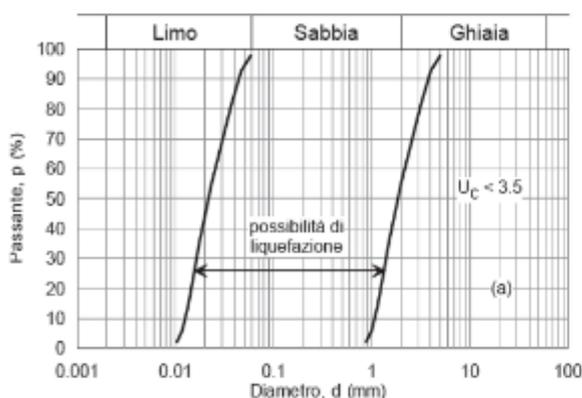
7.7 Suscettibilità alla liquefazione

Con il termine liquefazione si intende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche, in terreni saturi sabbiosi sollecitati in condizioni non drenate da azioni sismiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni.

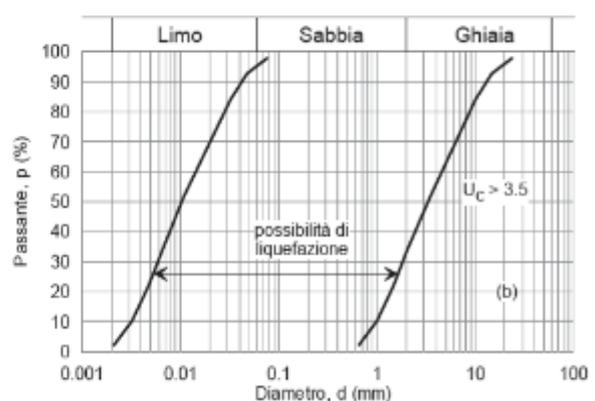
Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere dunque stabile nei confronti della liquefazione. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

In base al paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC2018 la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazione massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$, e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



a)



b)

Dato il valore di accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido, pari a 0.224 g, a prescindere dalle diverse conformazioni topografiche e categorie di sottosuolo (variabili tra A, B ed E), l'accelerazione massima risulta sicuramente superiore a 0.1 g.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	sinèrgo	D_VA D Vision Architecture	REV. B	FOGLIO 59 di 351
					Data 02/2024	

La profondità della falda misurata nei diversi piezometri installati nei fori di sondaggio è risultata variabile tra 2-3 m e 7-8 m nelle unità terrigene, quindi inferiore a 15 m dal p.c.

Durante la perforazione dei sondaggi eseguiti nella recente campagna di indagini geognostiche, sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati dei terreni. Sui campioni indisturbati e rimaneggiati dei due sondaggi sono state eseguite analisi granulometriche complete (setacciatura e sedimentazione).

Nella figura seguente viene riportato un grafico contenente le curve granulometriche dei terreni messe a confronto con i limiti di figura b) di cui sopra, validi per terreni con coefficiente di uniformità > 3.5, com'è nel caso in esame.

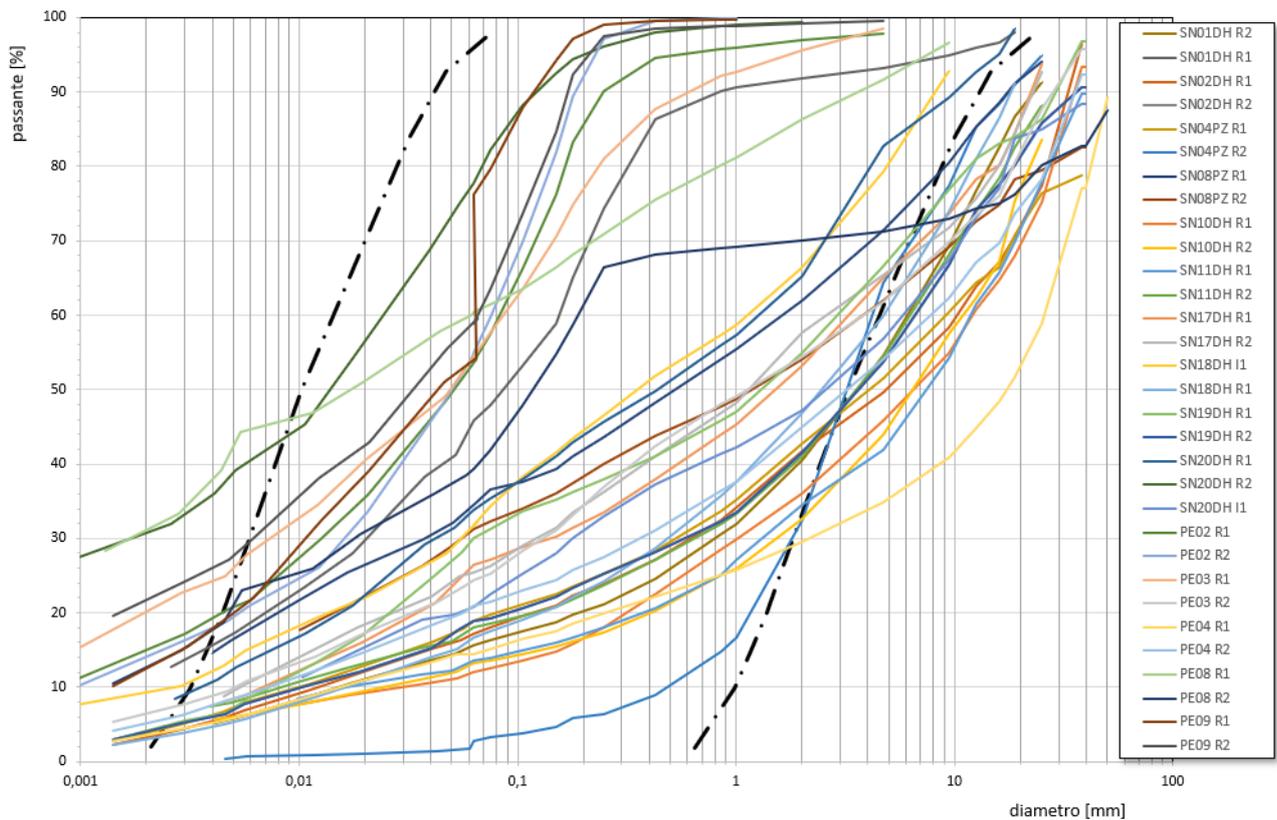


Figura 7-13 – Suscettibilità alla liquefazione: distribuzione granulometrica dei terreni

In particolare, è possibile verificare che la totalità dei campioni risulta avere una percentuale di materiale fine esterna al limite sinistro del fuso di riferimento, mediamente variabile tra 2% e 40%. I campioni con la più bassa percentuale di fine, in ogni caso, sono comunque rappresentativi degli orizzonti prossimi al piano campagna e sostanzialmente oggetto di preventiva bonifica. Altresì, tutti i campioni con una bassa percentuale di materiale fine denotano di contro una discreta quantità di materiale esterno al fuso destro di riferimento e che lo rende, comunque, non suscettibile alla liquefazione.

Il valore di N_{SPT} nei sondaggi in cui sono stati rinvenuti i campioni con bassa percentuale di materiale fine, appartenenti ai depositi alluvionali terrazzati, è risultato variabile tra 4 e rifiuto; con valori medi di circa 28.

Si può quindi affermare che, sulla base alle valutazioni sopra espresse, la probabilità di occorrenza del fenomeno di liquefazione è trascurabile e l'ambiente fisico entro cui ricadono le opere in progetto non risulta vulnerabile alla liquefazione.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	60 di 351
			Data 02/2024	

7.8 Categoria sismica dei suoli di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel paragrafo 7.11.3 del D.M. del 17/01/2018. In assenza di tali analisi o per una prima stima, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di *categorie di sottosuolo* di riferimento, identificate in funzione dei valori della velocità di propagazione V_s (velocità sismiche delle onde di taglio).

Con riferimento alla vigente normativa "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018) la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V_{Seq} (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell'*i*-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro V_{S30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella Tab.3.2.II del NTC 2018, riportata di seguito.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	61 di 351
			Data 02/2024	

7.8.1 Risultati delle prospezioni sismiche eseguite

Nel corso della campagna di indagini 2022 per la progettazione definitiva delle opere, la ditta “Geofisica Misure snc”, si è occupata dell’esecuzione di stendimenti sismici a rifrazione e alla realizzazione di prospezioni sismiche down-hole.

In particolare, lungo il tracciato di progetto, sono state realizzate prospezioni sismiche a rifrazione ad onde di compressione P e di taglio S, con elaborazione tomografica, i cui stendimenti sismici sono stati ottenuti utilizzando una spaziatura intergeofonica pari a 5 m e con un numero di canali tali da raggiungere le lunghezze previste soprattutto in relazione alle opere di nuova realizzazione. Le basi geofoniche nel complesso sono pari a 13, di lunghezze variabili tra 56 m e 280 m per un totale di 1206 m di indagini, riportate nell’elenco seguente:

- B1 (165 m): stendimento longitudinale al tracciato, realizzato nell’area che comprende la futura realizzazione della Spalla 1, Pila 1 e Pila 2 del Viadotto Argomena;
- B2 e B3 (57.5 m): stendimenti trasversali a B1, eseguiti in prossimità delle verticali SN09-DH e SN10-DH corrispondenti alle aree di futura realizzazione della Spalla 2 e Pila 2 del Viadotto Argomena, rispettivamente;
- B4 (165 m): stendimento longitudinale al tracciato, realizzato nell’area che comprende la futura realizzazione della Pila 3 del Viadotto Sieve 2 e l’imbocco sud della Galleria Montebonello;
- B5, B6 e B7 (57.5 m): stendimenti trasversali a B4, eseguiti in prossimità delle verticali SN11-DH, SN12-DH e SN13-PZ, corrispondenti alle aree di futura realizzazione della Pila 3 del Viadotto Sieve 2 e degli imbocchi artificiale e naturale della galleria in loc. Montebonello, rispettivamente;
- B9 (315 m): stendimento longitudinale al tracciato, realizzato nell’area che comprende la futura realizzazione della Pile 2, 3, 4, 5, 6 e della Spalla 2 del Viadotto Sieve 2;
- B8 (57.5 m): stendimento trasversale ubicato in prossimità della zona compresa tra l’imbocco nord della galleria in loc. Montebonello e l’innesto del Viadotto Sieve 2;
- B10, B11, B12 e B13 (57.5 m): stendimenti trasversali a B9, eseguiti in prossimità delle verticali SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH corrispondenti alle aree di futura realizzazione delle sottostrutture Pila 2, Pila 4, Pila 5 e Spalla 2 del Viadotto Sieve 2, rispettivamente.

I dati acquisiti dall’elaborazione dei sismogrammi costituiscono i primi tempi d’arrivo degli impulsi sismici longitudinali e trasversali (onde di compressione e di taglio) ai vari geofoni dello stendimento. Il metodo d’interpretazione utilizzato è stato del tipo tomografico, che ha consentito di evidenziare, in maniera migliore, eventuali variazioni laterali di velocità.

I risultati di tali indagini, in termini di modelli delle velocità di onde P ed S sono riportati nell’elaborato **T00GE01GEORE03** – “Documentazione indagini geognostiche - Indagini geofisiche” allegato alla documentazione del presente progetto definitivo. Di seguito si riportano i risultati e le sezioni interpretative della tomografia ad onde S dei diversi stendimenti.

Tratto centrale

Il tratto centrale comprende gli stendimenti di sismica a rifrazione B1, B2, B3, B4, B5, B6 e B7. Il loro allineamento si sviluppa sull’attraversamento del T. Argomena). I modelli tomografici elaborati sono caratterizzati da orizzonti superficiali lateralmente relativamente omogenei; si riscontra la presenza di un orizzonte superficiale, variabile tra 2 m dal p.c. e 5-6 m, costituito da una bassa velocità delle onde Vs attribuibile a coltri colluviali e/o di forte alterazione che

sui versanti si correla con la parte più superficiale del substrato. Lo spessore tende a crescere nel fondovalle e nei tratti di versante meno acclivi fino a 6 m circa; al di sotto di questo orizzonte si osserva un forte incremento del gradiente di velocità, indizio della presenza di un substrato che rapidamente diviene più rigido con la profondità.

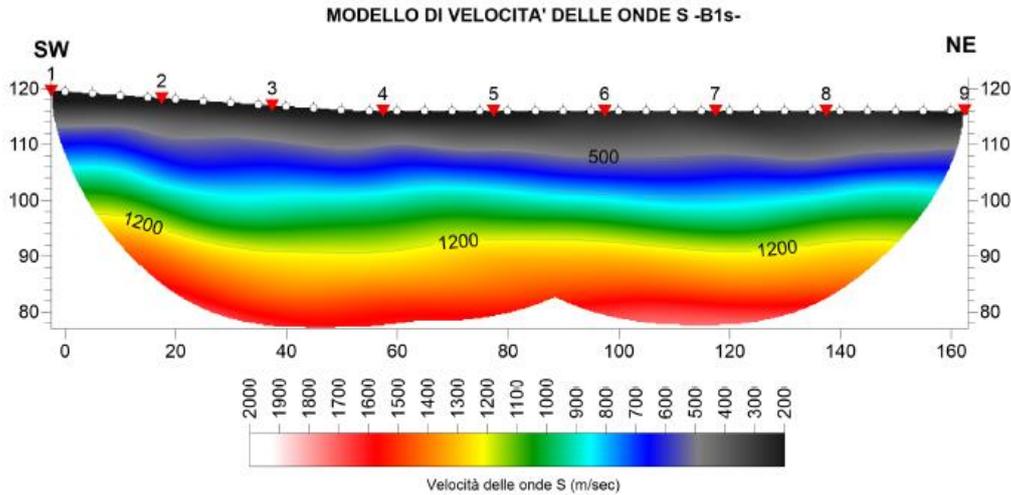


Figura 7-14 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B1: sezione tomografica interpretativa

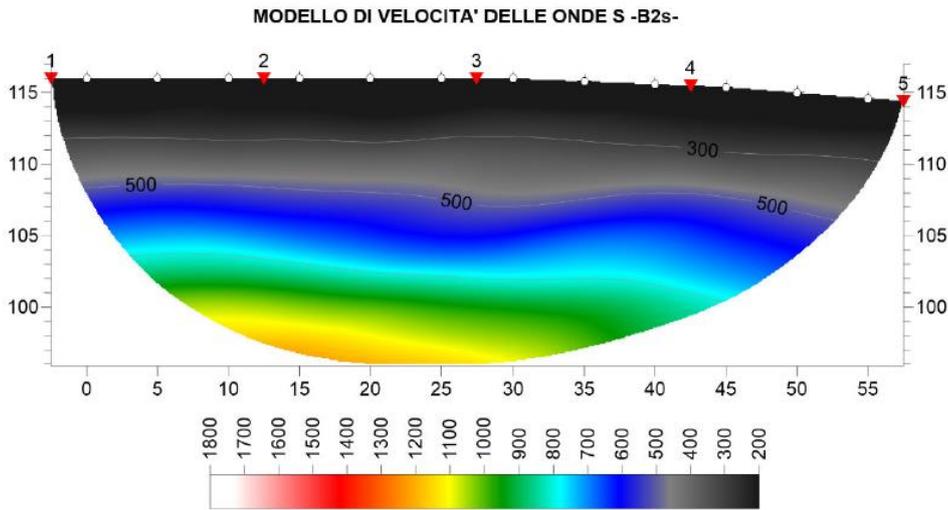


Figura 7-15 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B2: sezione tomografica interpretativa

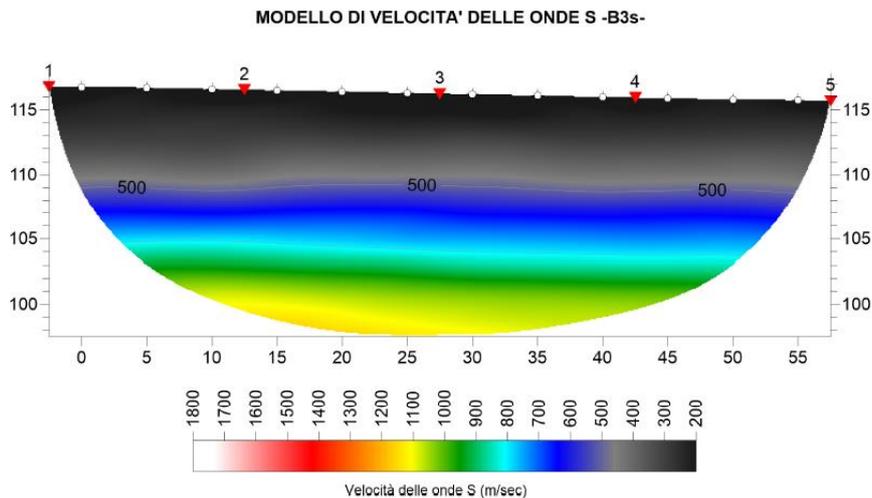


Figura 7-16 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B3: sezione tomografica interpretativa

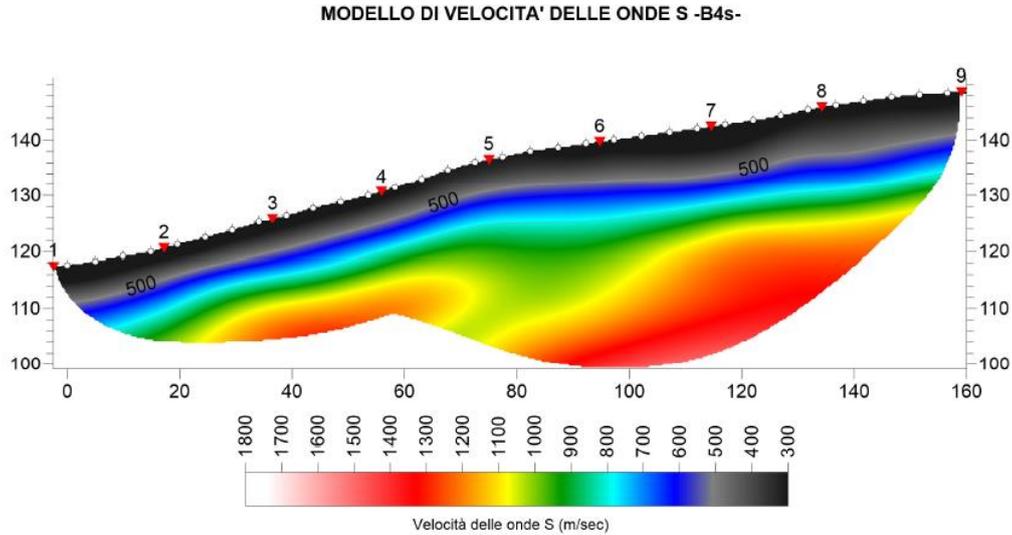


Figura 7-17 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B4: sezione tomografica interpretativa

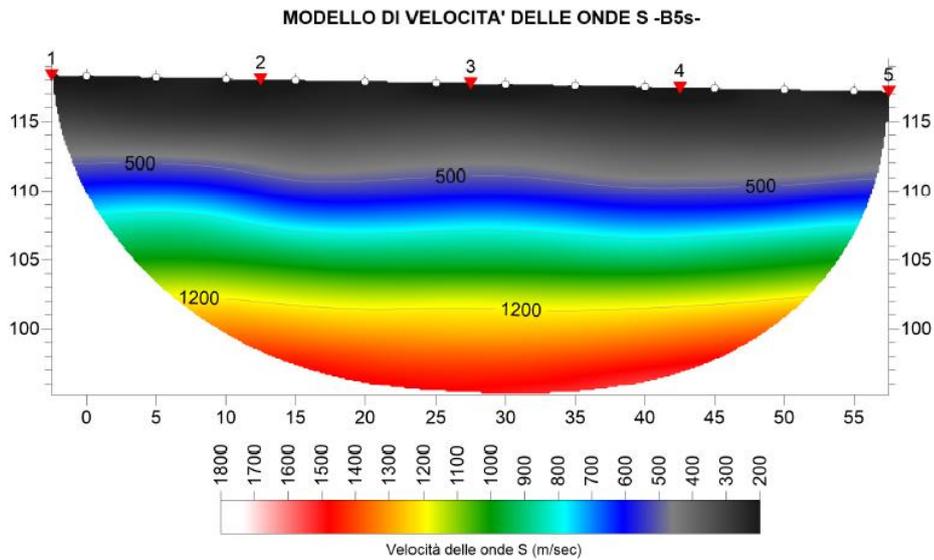


Figura 7-18 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B5: sezione tomografica interpretativa

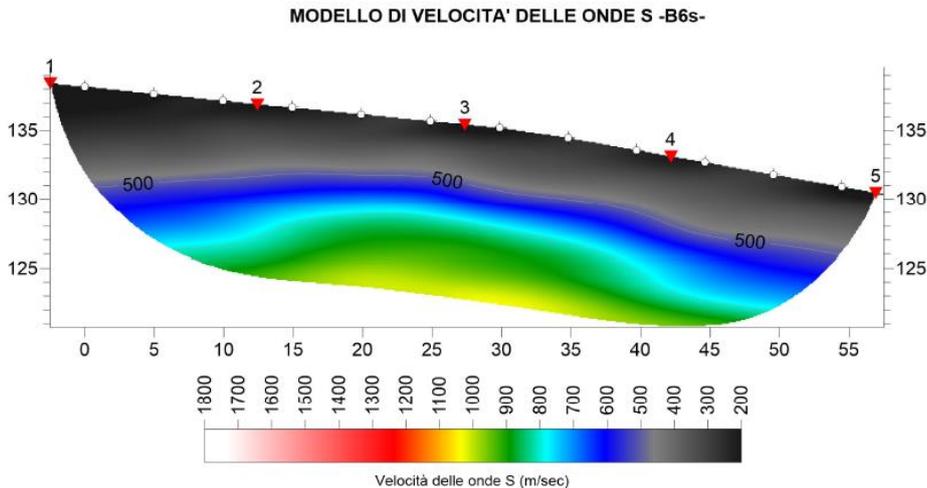


Figura 7-19 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B6: sezione tomografica interpretativa

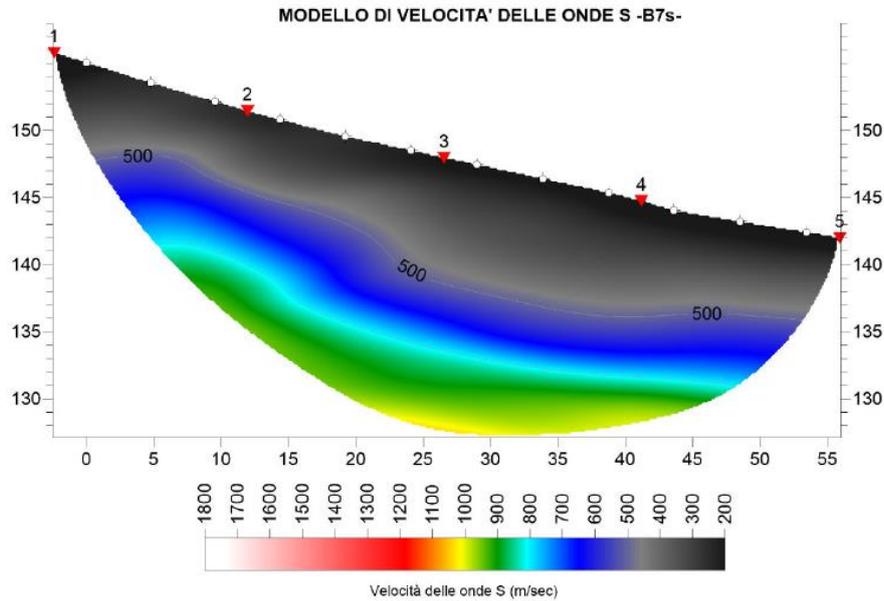


Figura 7-20 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B7: sezione tomografica interpretativa

Tratto orientale

L'allineamento delle basi geofoniche per la sismica a rifrazione del tratto orientale si sviluppa in direzione WSW-ENE, dalla base del versante in destra idrografica del Fiume Sieve, per poi interessare verso est la sua piana alluvionale. Gli stendimenti coinvolti sono B8, B9, B10, B11, B12 e B13.

Il contesto di indagine, quindi, è ancora caratterizzato dalla presenza di depositi alluvionali eterometrici giacenti sul substrato. Le prospezioni di superficie mostrano che i depositi di copertura alluvionale sono caratterizzati da valori delle velocità delle onde medio-basse fino a circa 5 m di profondità: i valori di Vs sono compresi tra 180 m/s e 300 m/s. Verso il basso, fino al substrato posto tra 7 e 12 m di profondità, il valore di velocità delle onde di taglio aumenta lievemente, in genere compreso tra 300 e 370 m/s. All'interno del substrato, infine, si rileva un rapido aumento del valore relativo alla velocità delle onde di taglio, che in 3-4 m si porta oltre i 1000 m/s.

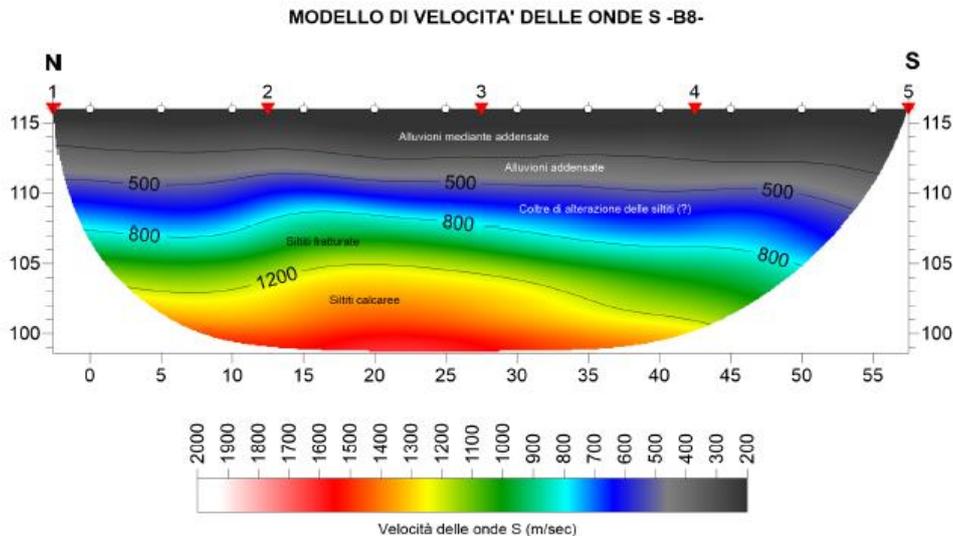


Figura 7-21 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B8: sezione tomografica interpretativa

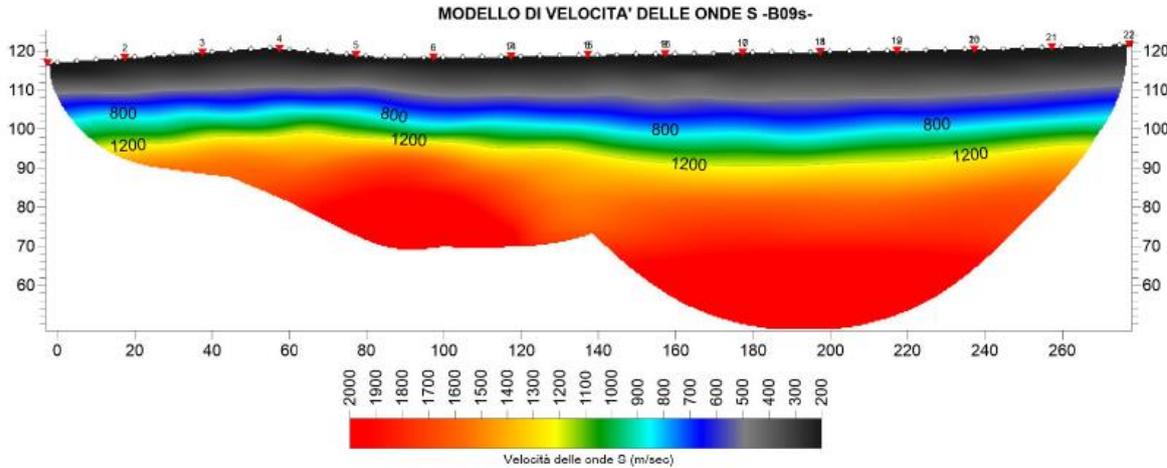


Figura 7-22 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B9: sezione tomografica interpretativa

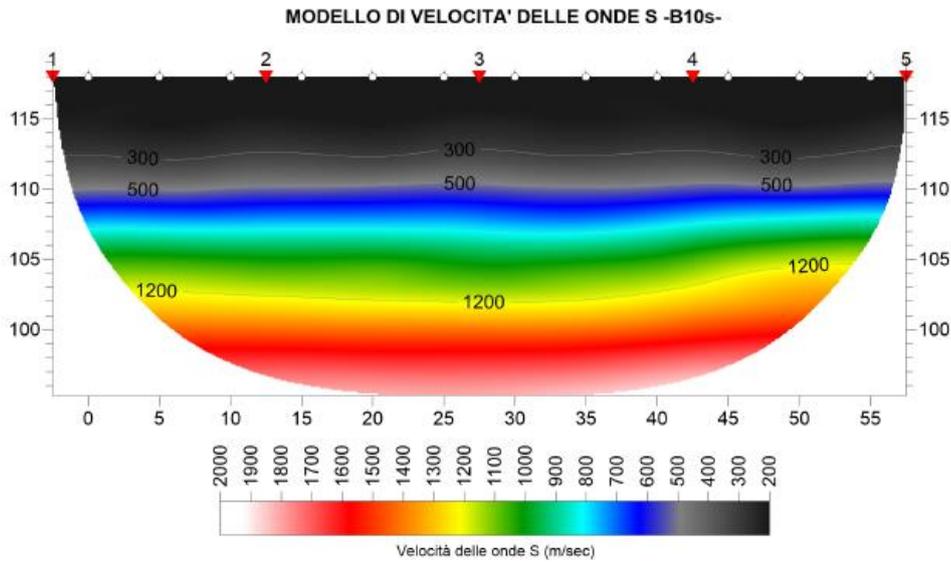


Figura 7-23 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B10: sezione tomografica interpretativa

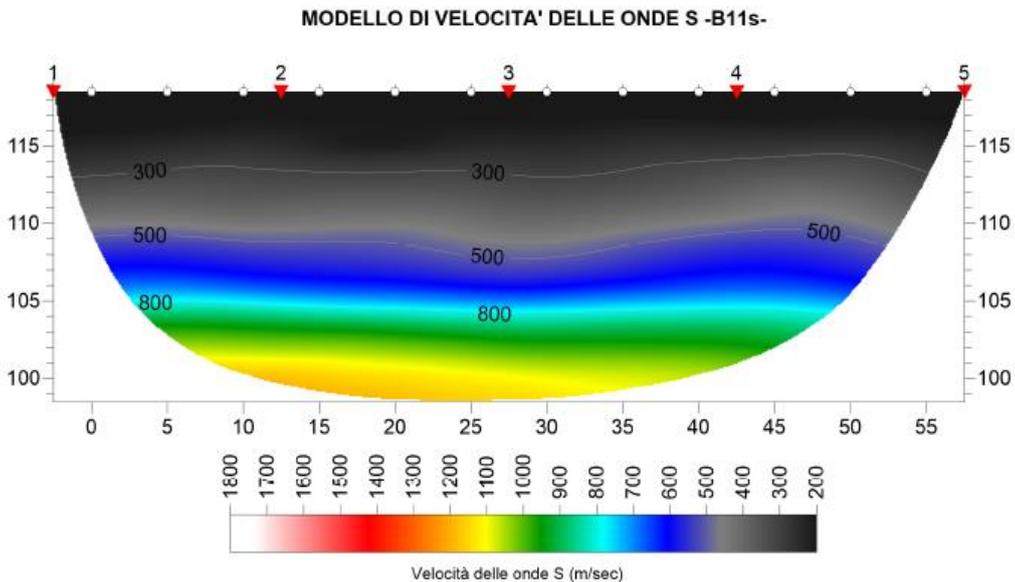


Figura 7-24 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B11: sezione tomografica interpretativa

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VALLE D'AOSTA s.r.l.	sinèrgo	VA D'VisionArchitecture
				Data 02/2024

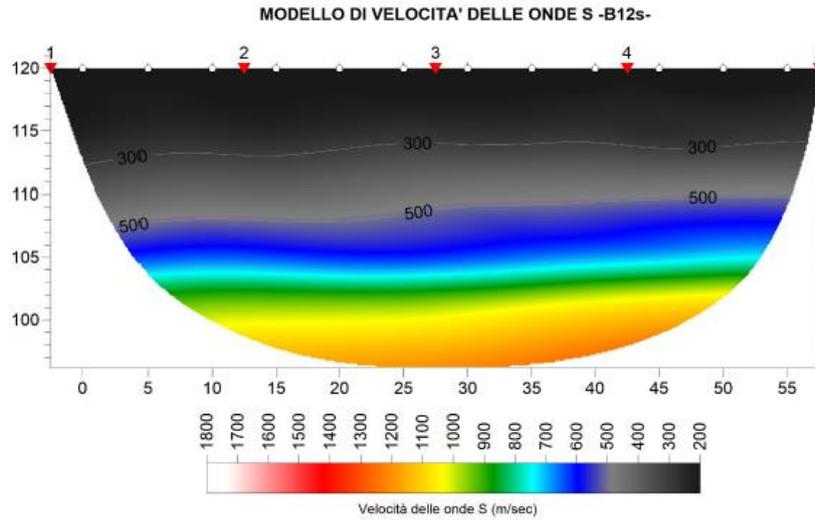


Figura 7-25 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B12: sezione tomografica interpretativa

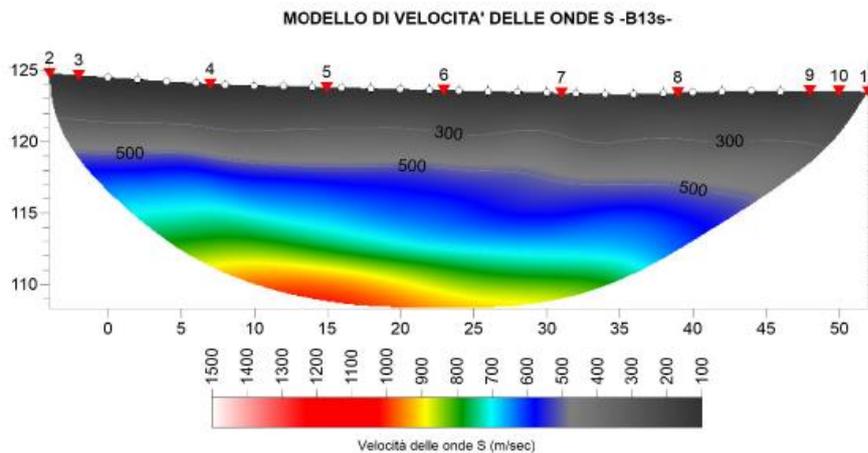


Figura 7-26 – Modello di velocità delle onde S per lo stendimento B13: sezione tomografica interpretativa

Per la determinazione diretta delle velocità delle onde di taglio, nell'ambito della medesima campagna di indagine sono state eseguite n. 11 prospezioni sismiche down-hole in corrispondenza delle verticali di sondaggio di seguito indicate, spinte fino a 35 m ciascuna e in relazione al tipo di opera coinvolta:

- Viadotto Sieve 1: SN01-DH, SN02-DH e SN03-DH;
- Viadotto Argomenna: SN09-DH, SN10-DH e SN11-DH;
- Galleria Montebonello – imbocco Sud: SN12-DH;
- Viadotto Sieve 2: SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH.

Si specifica che, per una corretta interpretazione delle verticali, in relazione a ciascuna opera coinvolta sono state considerati i valori delle velocità delle onde di taglio S compresi tra la profondità del piano di posa delle fondazioni e la profondità di rinvenimento del substrato rigido, ossia dove $V_s > 800$ m/s. In ogni caso, qualora i depositi rinvenuti fossero caratterizzati da profondità del substrato rigido superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è stata considerata nei 30 m di spessore al di sotto della profondità del piano di posa delle fondazioni, e dunque definita dal parametro V_{s30} così come descritto al **punto 7.8**.

Di seguito si riportano le interpretazioni delle prospezioni down-hole eseguite.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	67 di 351
			Data 02/2024	

Viadotto Sieve 1: prospezioni down-hole SN01-DH, SN02-DH e SN03-DH

Le indagini sismiche in foro eseguite dei sondaggi SN01-DH, SN02-DH e SN03-DH ricadono nel tratto del fondovalle del Fiume Sieve, nel settore più meridionale del tracciato, in corrispondenza delle principali strutture del futuro Viadotto Sieve 1.

Il sondaggio SN01-DH e relativa prospezione down-hole coinvolgono la futura Spalla 1 del Viadotto Sieve 1: il piano di posa della fondazione è pari a circa 3.54 m, mentre la profondità del substrato rigido ($V_s > 800$ m/s), considerando i valori di velocità delle onde V_s rinvenuti, è stata individuata a profondità comprese tra 26 e 27 m. I dati derivanti dall'elaborazione di tale prospezione mostrano, dai 4 m fino a circa 8 m di profondità sotto il piano campagna, valori di velocità delle onde di taglio inferiori a 360 m/s, a definire terreni mediamente addensati, in questo caso di origine alluvionale. Il substrato, costituito in quest'area da argille marnose, risulta probabilmente caratterizzato da un forte stato di fratturazione nei primi 2-3 m al di sotto dei terreni succitati e dunque a profondità comprese tra 9 e 12 m circa, con valori di velocità delle onde di taglio tendenzialmente bassi (inferiori a 500 m/s, nel complesso). L'alterazione del substrato è decrescente con la profondità, con valori di velocità delle onde S che si mantengono su valori prossimi o superiori a 600 m/s (circa 21 m sotto il p.c.) fino a circa 25-26 m, profondità oltre la quale, i valori di V_s subiscono un improvviso innalzamento fino a oltre 900 m/s.

Il sondaggio SN02-DH e relativa prospezione down-hole coinvolgono la futura Pila 2 del Viadotto Sieve 1: il piano di posa della fondazione è pari a circa 5.21 m, mentre la profondità del substrato rigido, corrispondente a valori di $V_s > 800$ m/s, è stata posta a 35 m, profondità coincidente con il fondo foro dell'indagine. I valori di V_s rinvenuti in SN02-DH mostrano, dai 6 m ai 13 m di profondità sotto il piano campagna, valori di velocità delle onde di taglio inferiori o prossimi a 360 m/s, a definire terreni con le medesime caratteristiche di quelli rinvenuti nella prospezione SN01-DH alle medesime profondità (depositi alluvionali). Il substrato argilloso-marnoso, a fronte di un tratto di forte alterazione tra i 14 e i 17 m sotto il p.c. (valori di V_s sempre inferiori a 500 m/s), mostra valori gradualmente crescenti delle velocità delle onde S da 500 m/s a oltre 700 m/s fino a fondo foro ($V_{s35 m} = 865$ m/s).

La prospezione sismica down-hole SN03-DH è ubicata in corrispondenza della Spalla 2 del viadotto. La profondità di posa della fondazione della spalla è pari a circa 2,04 m sotto il piano campagna e la profondità di substrato rigido è stata considerata sui 32 m, dove le V_s si attestano su valori prossimi o pari a 800 m/s. Fino a 10-11 m al di sotto del piano campagna, i terreni rinvenuti sotto la Spalla 2 sono caratterizzati da velocità V_s sempre molto bassi, talora mai superiori a 300 m/s, a definire un notevole spessore di alterazione del substrato argilloso-marnoso. A tali profondità e fino alle profondità investigate (fondo foro = 35 m) i valori di V_s subiscono un brusco innalzamento e crescono anche oltre i 900-1000 m/s, segnale che le caratteristiche meccaniche e di resistenza della formazione rocciosa attraversata siano presumibilmente molto buone.

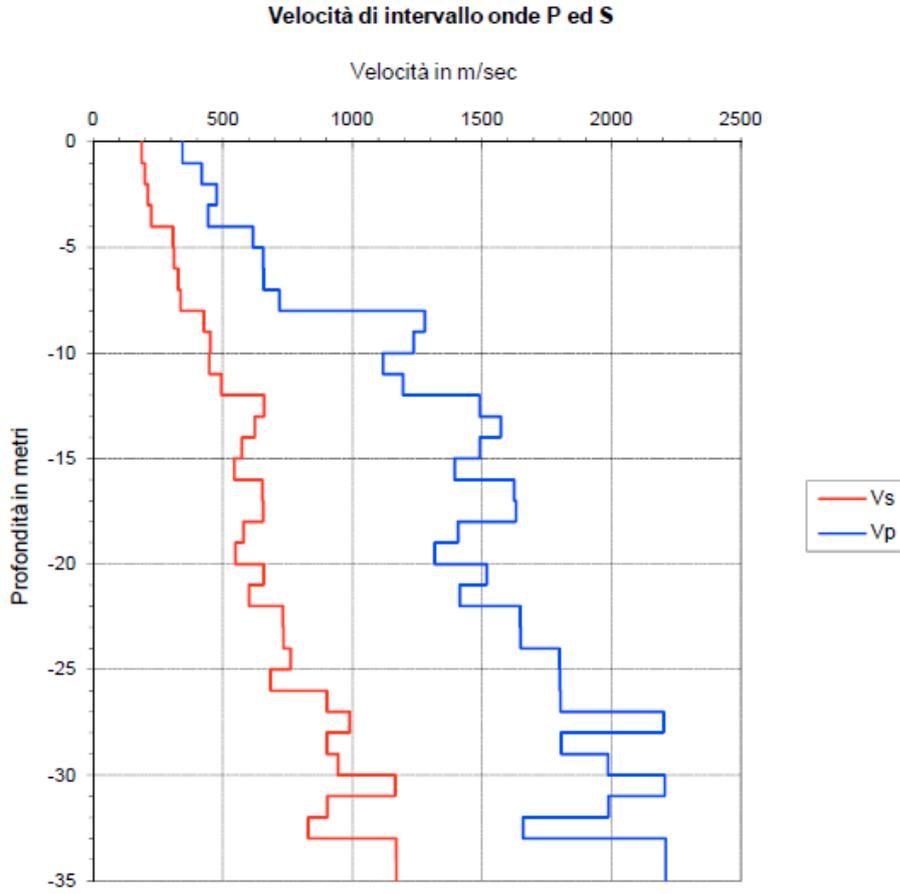


Figura 7-27 – Risultati dei profili delle velocità Vp e Vs relativa alla prospezione sismica down-hole SN01-DH

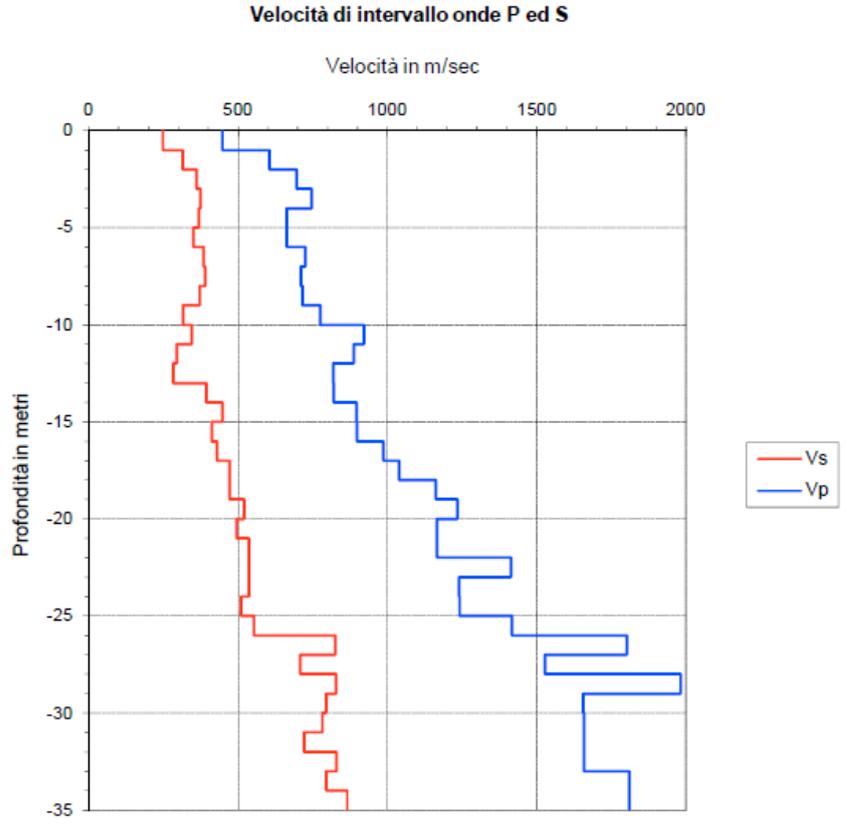


Figura 7-28 – Risultati dei profili delle velocità V_p e V_s relativa alla prospezione sismica down-hole SN02-DH

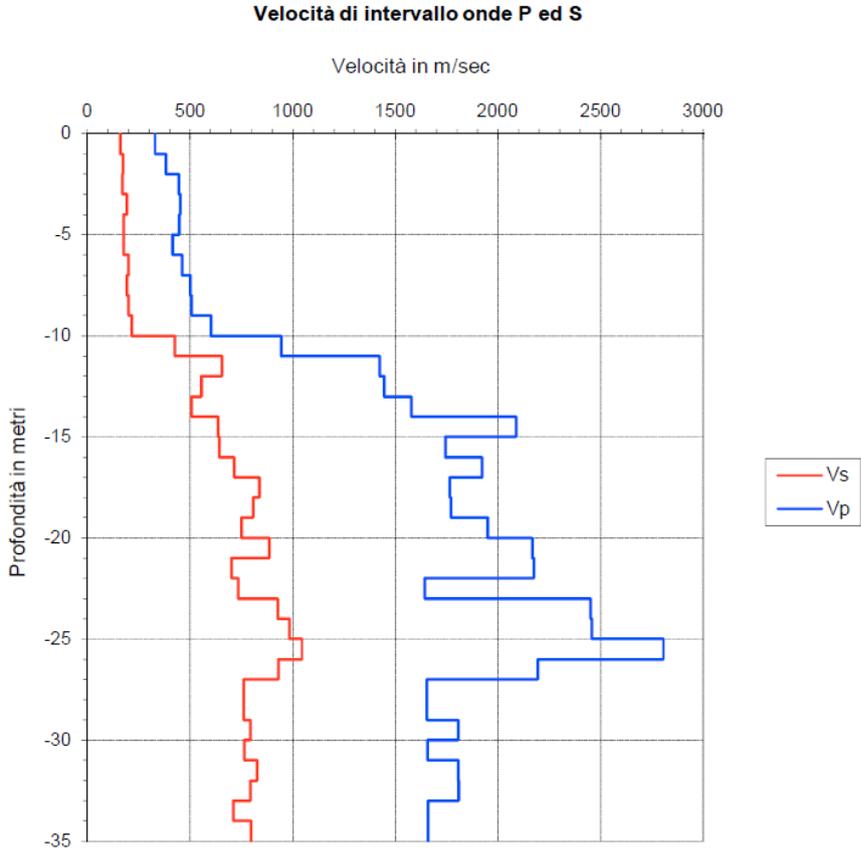


Figura 7-29 – Risultati dei profili delle velocità V_p e V_s relativa alla prospezione sismica down-hole SN03-DH

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

Viadotto Argomenna: prospezioni down-hole SN09-DH, SN10-DH e SN11-DH

Le indagini sismiche in foro eseguite dei sondaggi SN09-DH, SN10-DH e SN11-DH ricadono nella zona di attraversamento del torrente Argomenna, in corrispondenza delle principali strutture del futuro e omonimo viadotto.

La verticale SN09-DH e relativa prospezione down-hole hanno coinvolto la Spalla 1 del Viadotto Argomenna. Tale sottostruttura si atterrerà con le sue fondazioni a una profondità pari a 2.16 m circa; il substrato rigido è stato rinvenuto già tra i 6 e 7 m sotto il p.c., dove i valori di V_s della prospezione sismica subiscono un improvviso innalzamento da 549 m/s a oltre 900 m/s fino ad attestarsi su velocità di oltre 1000 m/s man mano che cresce la profondità. I terreni da attenzionare in questo caso, dunque, sono quelli di alterazione del substrato marnoso-calcareo compresi tra i 3 e i 6 m di profondità sotto il p.c., caratterizzati da valori di V_s sempre molto superiori a 360 m/s, segnale di una buona risposta meccanica degli stessi.

Analogamente, in corrispondenza della verticale SN10-DH, tra i 5 m e i 16 m di profondità, rispettivamente corrispondenti alla profondità di posa delle fondazioni della Pila 2 e alla profondità dove i valori di V_s superano notevolmente gli 800 m/s, i depositi sono caratterizzati da velocità crescenti con la profondità da 260 m/s tra 5 m e 8 m per i terreni di origine alluvionale a oltre 700 m/s per lo spessore di alterazione delle siltiti marnoso-calcaree.

I terreni in prossimità della futura Pila 3 del Viadotto Argomenna sono stati oggetto della realizzazione della verticale SN11-DH e relativa prospezione sismica down-hole: tale sottostruttura avrà le sue fondazioni che si intesteranno a profondità di circa 3.88 m sotto il piano campagna. I terreni di copertura alluvionale che interessano quest'area sono caratterizzati da valori di V_s pressochè costanti e sempre inferiori a 250 m/s da 5 m ai di profondità fino a 7-8 m sotto il p.c., dove si evince un brusco innalzamento prima a 632 m/s (8 m circa) e poi a oltre 1200 m/s dai 9 m in poi, profondità per la quale è stato definito il substrato rigido.

A completezza di informazione, per l'area di futura realizzazione della Spalla 2 (zona prossima alla verticale di sondaggio SN11-bis), si può tenere in considerazione quanto emerge dai risultati della prospezione sismica a rifrazione B4 eseguita nell'area e in particolare il relativo modello di velocità delle onde S. In quest'area, a profondità comprese tra 4 m (profondità di intestazione delle fondazioni della sottostruttura) e 10 m sotto il p.c. (profondità oltre la quale i valori di V_s giungono a 800 m/s), i terreni sono caratterizzati da valori di velocità delle onde S compresi tra 400 e 700 m/s, a conferma di una più che buona risposta di resistenza degli spessori di alterazione delle siltiti marnoso-calcaree.

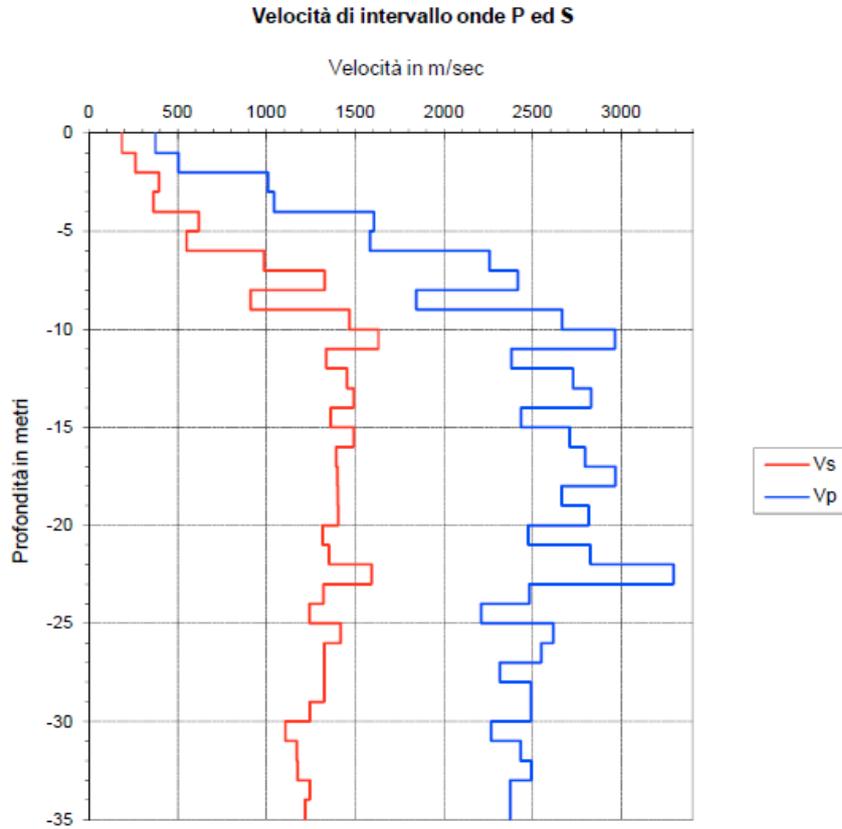


Figura 7-30 – Risultati dei profili delle velocità Vp e Vs relativa alla prospezione sismica down-hole SN09-DH

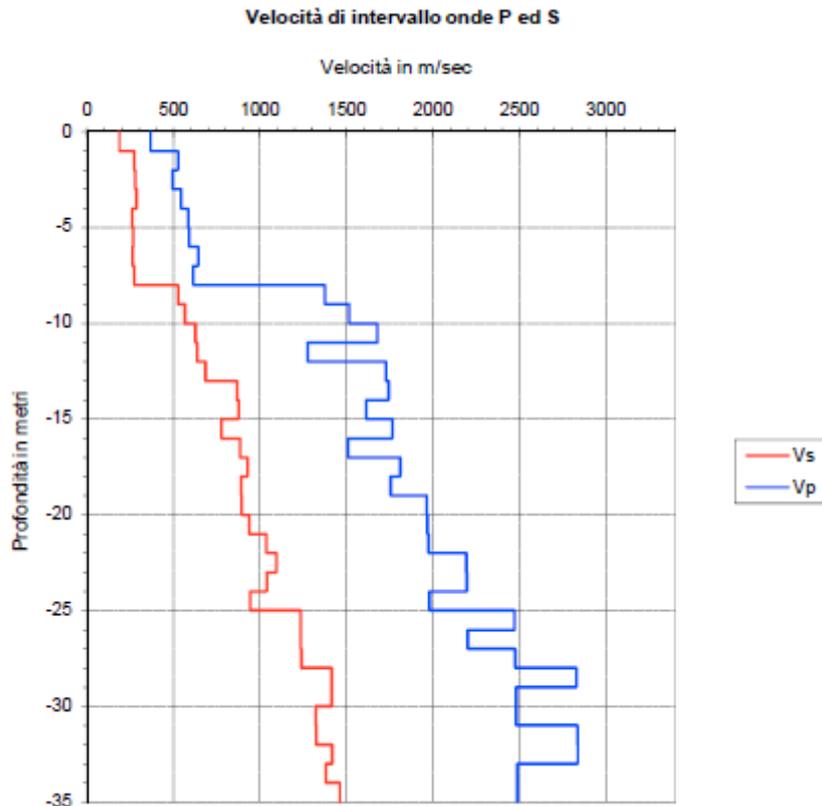


Figura 7-31 – Risultati dei profili delle velocità Vp e Vs relativa alla prospezione sismica down-hole SN10-DH

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VALLE D'AGOSTO s.r.l.	sinèrgo	VA D.VisionArchitecture
			Data 02/2024	

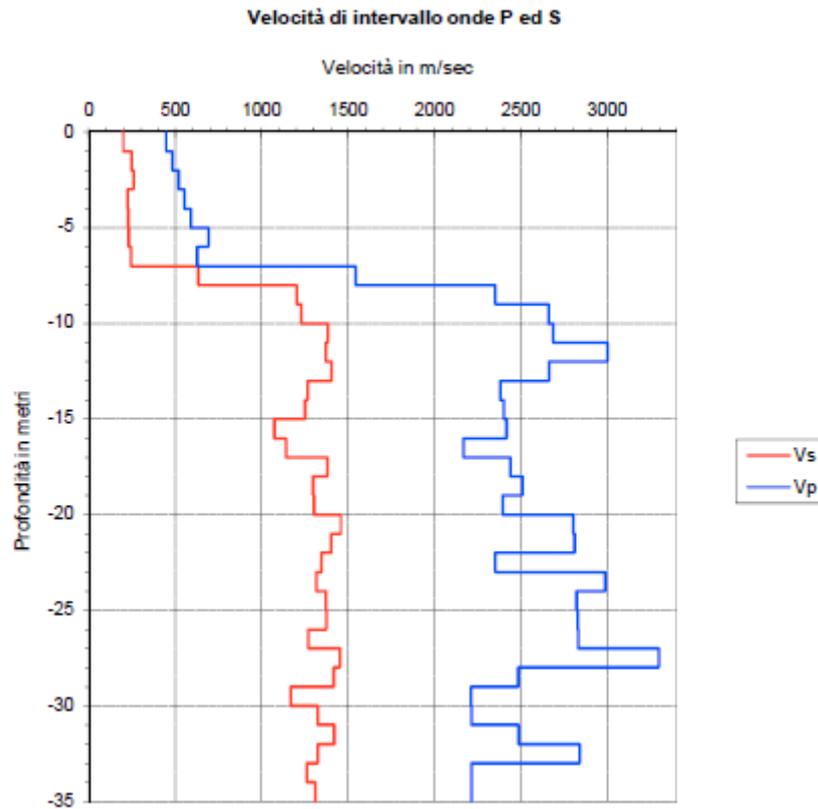


Figura 7-32 – Risultati dei profili delle velocità V_p e V_s relativa alla prospezione sismica down-hole SN11-DH

Galleria Montebonello – imbocco Sud: prospezione down-hole SN12-DH

In prossimità dell'imbocco sud della futura galleria in loc. Montebonello e relativa paratia di protezione, è stata eseguita una prospezione sismica down-hole sfruttando il foro di sondaggio SN12-DH.

Tale verticale, a fronte di un modesto spessore di ricoprimento eluvio-colluviale, interessa litotipi ascrivibili a siltiti marnoso-calcaree già dal piano campagna. I dati derivanti dall'elaborazione della prospezione sismica eseguita mostrano, dai 4 m di profondità in avanti, valori di V_s già oltre gli 800 m/s, a definire il substrato rigido. Tra 1 m e 4 m di profondità, dunque, i terreni attenzionati sono caratterizzati da valori pressochè costanti e sempre inferiori a 250 m/s fino a 2 m (coltre eluvio-colluviale di disfacimento del substrato) per passare improvvisamente a velocità di oltre 600 m/s nell'arco di un paio di metri (3-4 m sotto il p.c.) a definire l'orizzonte di alterazione del substrato marnoso-calcareo.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRITORIO AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
			B	73 di 351
			Data 02/2024	

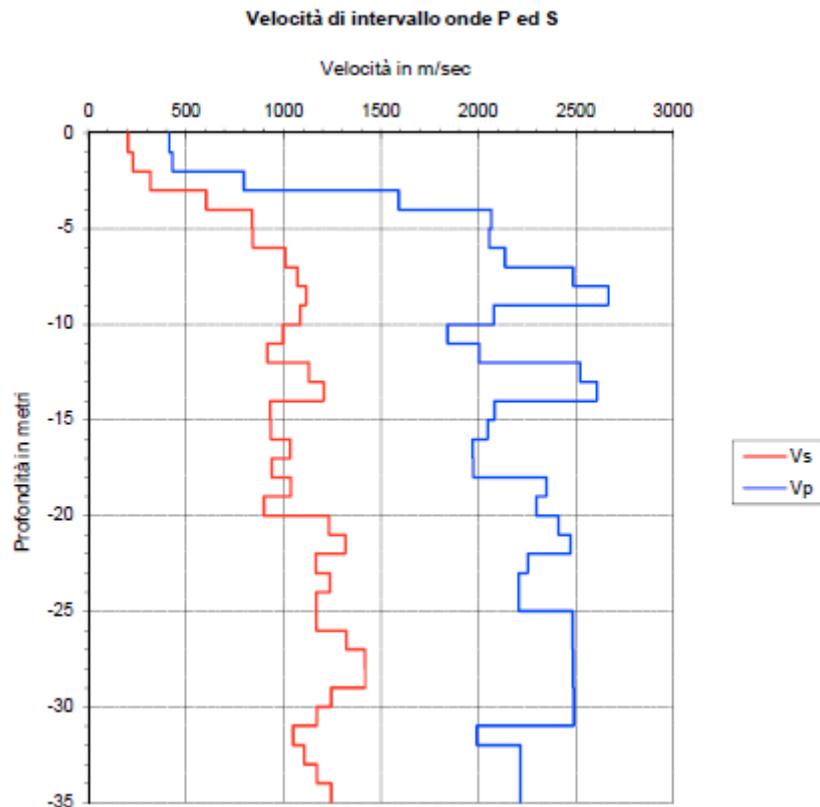


Figura 7-33 – Risultati dei profili delle velocità V_p e V_s relativa alla prospezione sismica down-hole SN12-DH

Viadotto Sieve 2: prospezioni down-hole SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH

Le indagini sismiche in foro eseguite dei sondaggi SN17-DH, SN18-DH, SN19-DH e SN20-DH ricadono nella piana coinvolta dalla futura realizzazione del Viadotto Sieve 2, necessario per il collegamento del tracciato in uscita dall'imbocco nord della futura Galleria Montebonello e la rotatoria dell'esistente SS67.

La verticale SN17-DH e relativa prospezione down-hole hanno coinvolto la zona relativa alla futura Pila 2 del Viadotto Sieve 2. Tale sottostruttura si atterrerà con le sue fondazioni a una profondità pari a 6.76 m circa; il substrato rigido è stato rinvenuto tra i 16 e i 17 m sotto il p.c., dove i valori di V_s subiscono un improvviso innalzamento da 500 m/s a oltre 800 m/s fino ad attestarsi su velocità di oltre 1000 m/s man mano che cresce la profondità. I terreni da attenzionare in questo caso, dunque, sono quelli compresi tra 8 m di profondità dal p.c. e 16 m, caratterizzati da valori di V_s crescenti gradualmente da 267 m/s a 379 m/s tra 8 e 10 m circa, identificando un orizzonte di alterazione delle sottostanti siltiti marnoso-calcaree, quindi da 470 m/s a 774 m/s tra 11-12 e 16 m di profondità.

Nell'area di realizzazione della futura Pila 4 del viadotto, è stata eseguita la verticale di sondaggio SN18-DH con relativa prospezione sismica. In prossimità di detta verticale, tra i 6 m e i 10 m di profondità, rispettivamente corrispondenti alla profondità di posa delle fondazioni della sottostruttura e alla profondità di rinvenimento del substrato rigido ($V_s > 800$ m/s), i terreni, pressochè di origine alluvionale, sono caratterizzati da velocità tendenzialmente costanti e sempre di poco inferiori o prossime a 360 m/s, eccetto il valore di 477 m/s a 10 m, termine di passaggio con il successivo valore di 917 m/s a 11 m, a identificare il substrato di siltiti calcaree.

I terreni in prossimità della futura Pila 5 del Viadotto Sieve 2 sono stati oggetto della realizzazione della verticale SN18-DH e relativa prospezione sismica down-hole: tale sottostruttura avrà le sue fondazioni che si intesteranno a profondità di circa 5.07 m sotto il piano campagna. I terreni di copertura alluvionale che interessano quest'area sono

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI EITRIVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
				Data 02/2024

caratterizzati da valori di V_s medi pari a 365 m/s nel complesso fino a 12 m circa sotto il p.c., profondità oltre la quale si ha un brusco innalzamento prima a 637 m/s (13 m circa) e poi a oltre 1000 m/s dai 14-15 m in poi, profondità per la quali viene dunque identificato il substrato rigido ($V_s > 800$ m/s).

La prospezione sismica down-hole SN20-DH è ubicata in corrispondenza della Spalla 2 del viadotto. La profondità di posa della fondazione della spalla è pari a circa 3.53 m sotto il piano campagna e la profondità di substrato rigido è stata considerata ai 10-11 m, dove le V_s si innalzano improvvisamente da valori medi di 500-600 m/s a oltre 900 m/s. Dai 4 m di profondità sotto il p.c. e fino a 7 m circa i terreni, di origine alluvionale, sono caratterizzati da valori di velocità V_s crescenti in maniera graduale da 282 a 377 m/s. Oltre gli 8 m e fino alla profondità definita di substrato rigido di 11 m i valori di V_s subiscono un più marcato innalzamento crescendo fino a oltre 600 m/s, identificando gli orizzonti di alterazione del sottostante substrato costituito dalle siltiti marnoso-calcaree.

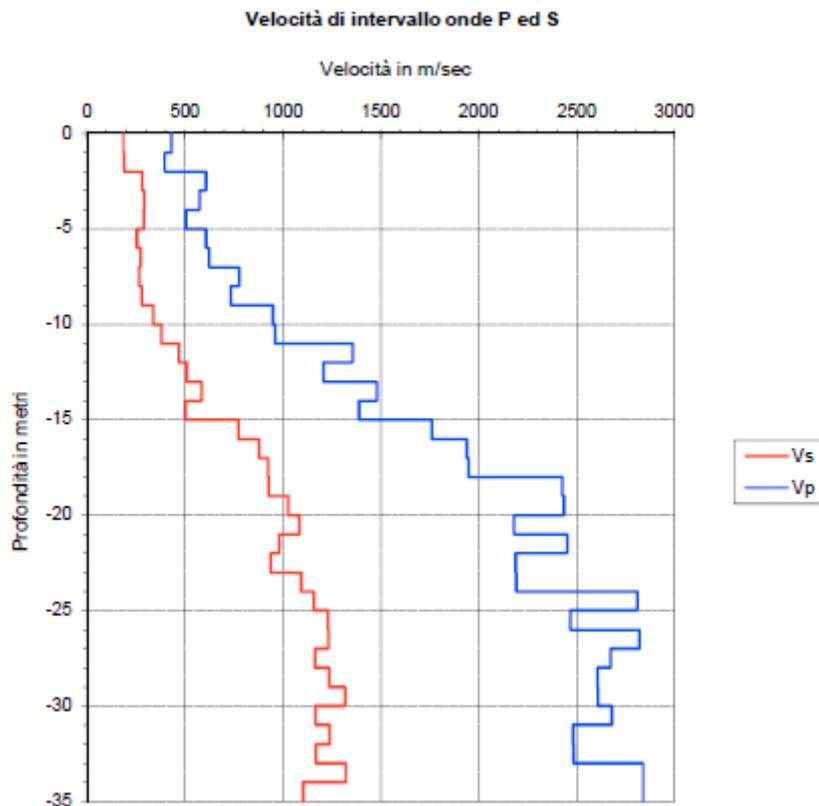


Figura 7-34 – Risultati dei profili delle velocità V_p e V_s relativa alla prospezione sismica down-hole SN17-DH

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.		MANDANTI ENERGIA VALLE D'AOSTA	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 75 di 351
							Data 02/2024

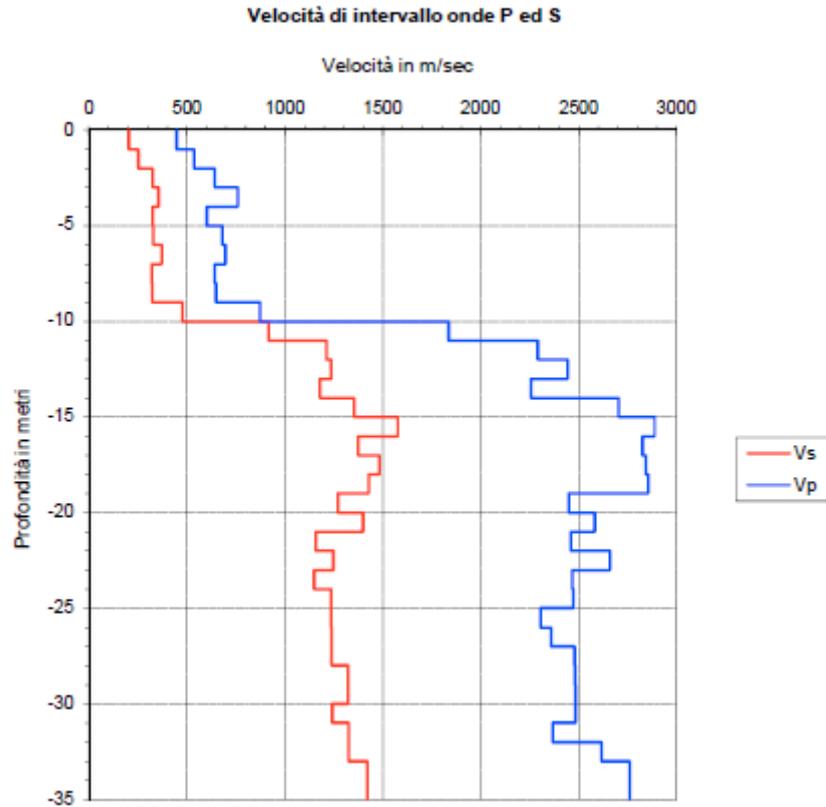


Figura 7-35 – Risultati dei profili delle velocità Vp e Vs relativa alla prospezione sismica down-hole SN18-DH

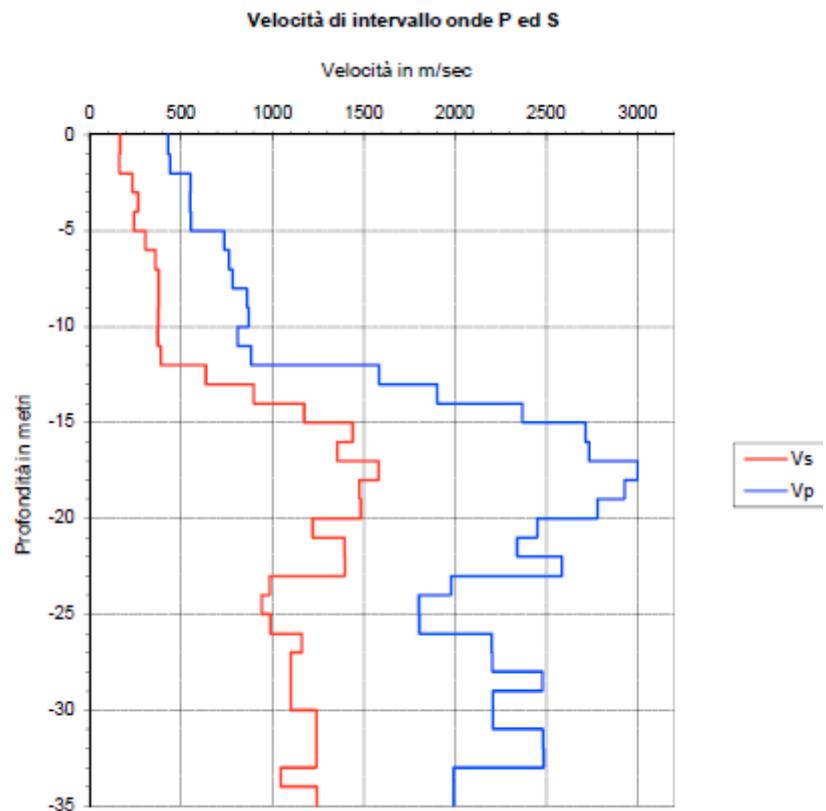


Figura 7-36 – Risultati dei profili delle velocità Vp e Vs relativa alla prospezione sismica down-hole SN19-DH

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 76 di 351
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VERDE AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo VA D'VisionArchitecture	
			Data 02/2024	

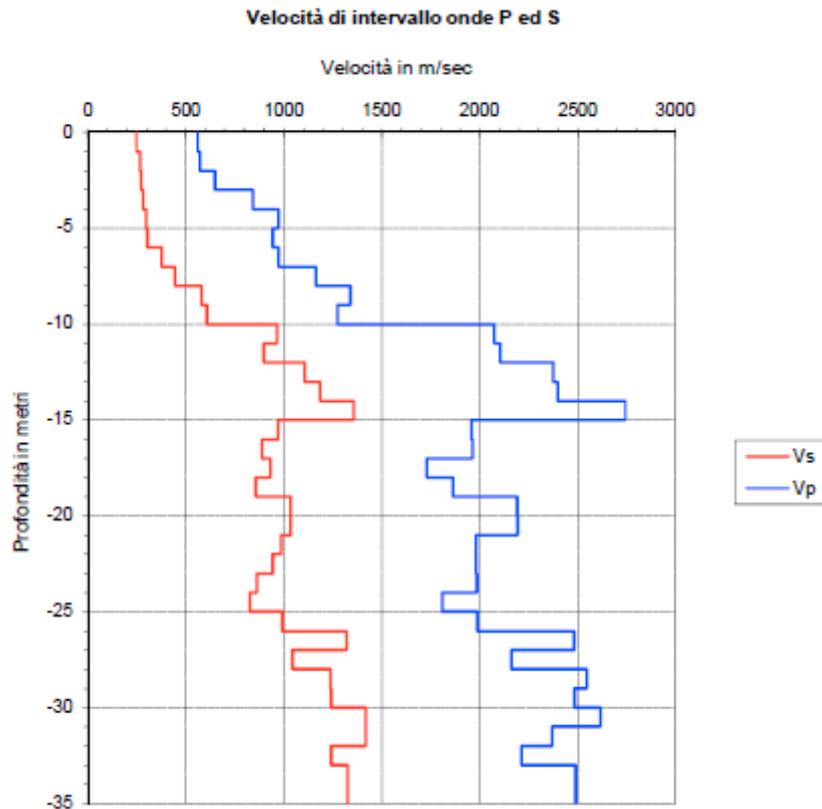


Figura 7-37 – Risultati dei profili delle velocità V_p e V_s relativa alla prospezione sismica down-hole SN20-DH

Infine, durante la campagna di indagine integrativa 2023 in prossimità dell'area segnalata in potenziale dissesto lungo il tracciato, la ditta Geoserving Srl ha previsto n.6 stendimenti sismici a rifrazione in onde P e SH con rielaborazione tomografica localizzati in tale zona. Per i risultati in termini di V_s per ciascuno stendimento si veda il **punto 10.3.3**, mentre per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato **T00GE01GEORE07** – “Documentazione indagini geognostiche integrative 2023”.

7.8.2 Definizione delle categorie di sottosuolo per la progettazione

Dai risultati delle prospezioni sismiche eseguite nelle diverse campagne di indagine, anche in considerazione della distribuzione delle formazioni geologiche lungo il tracciato e, soprattutto, delle opere da realizzare, è stato possibile definire, in modo cautelativo, le seguenti categorie di sottosuolo (cfr. anche l'elaborato di progetto **T00GE04GETCS01** - “Planimetria con classificazione sismica del territorio”):

- una **categoria di sottosuolo di tipo A**, corrispondente a *ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m*, nei seguenti tratti/opere:
 - all'imbocco nord della Galleria Montebonello;
 - dalla Spalla 1 alla Pila 1 del Viadotto Sieve 2 (comprese).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 77 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  	 D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

- una **categoria di sottosuolo di tipo B**, corrispondente a *rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S,eq}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s*, nei seguenti tratti/opere:
 - da inizio tracciato alla **Pila 2 del Viadotto Argomenna (comprese)**;
 - in corrispondenza **Spalla 2 del Viadotto Argomenna**.
- una **categoria di sottosuolo di tipo E**, corrispondente a *terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m*, nel seguente tratto:
 - in corrispondenza della **Pila 3 del Viadotto Argomenna**;
 - all'imbocco sud della **Galleria Montebonello**;
 - tra la **Pila 2 del Viadotto Sieve (compresa) e fine tracciato**;

7.8.3 Coefficiente di amplificazione topografica

In base alle condizioni topografiche presenti in sito (T1= superficie pianeggiante e T2 =pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$), si possono adottare i seguenti valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T (cfr. Tabella 3.2.V del D.M. 17/01/18):

Categoria topografica	S_T
T1	1.0
T2	1.2

7.9 Caratterizzazione sismica del Viadotto Sieve 1

Il Viadotto Sieve 1, nel suo complesso, è caratterizzato dalla **categoria di sottosuolo B**.

In questo caso si è in presenza di una **categoria topografica T1 ($S_T=1$)**, per cui il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.094
SLD	101	0.117
SLV	949	0.266
SLC	1950	0.316

7.10 Caratterizzazione sismica del Viadotto Argomenna

Il Viadotto Argomenna è caratterizzato in parte dalla **categoria di sottosuolo B** e in parte dalla **categoria di sottosuolo E**. Le casistiche in questione sottendono comunque sempre una **categoria topografica T1 ($S_T=1$)**.

Il valore di a_{max} per le aree in categoria tipo **B**, ovvero **tra la Spalla 1 e la Pila 2 comprese** e in corrispondenza della **Spalla 2**, risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.094

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 78 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITRIVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 D_VA D_VisionArchitecture	
					Data 02/2024

SLD	101	0.117
SLV	949	0.266
SLC	1950	0.316

Il valore di a_{max} per le aree in categoria tipo **E**, ovvero in corrispondenza della **Pila 3**, risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.126
SLD	101	0.157
SLV	949	0.317
SLC	1950	0.352

7.11 Caratterizzazione sismica imbocco sud della Galleria Montebonello

Questo tratto è caratterizzato dalla categoria di sottosuolo E.

In presenza di categoria topografica T1 ($S_T=1$) il valore di a_{max} risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.126
SLD	101	0.157
SLV	949	0.317
SLC	1950	0.352

mentre in presenza di una categoria topografica T2 ($S_T=1.2$) risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.151
SLD	101	0.188
SLV	949	0.380
SLC	1950	0.422

7.12 Caratterizzazione sismica del Viadotto Sieve 2

Il Viadotto Sieve 2 è caratterizzato in parte dalla categoria di sottosuolo A e in parte dalla categoria di sottosuolo E.

Il valore di a_{max} per le aree in categoria tipo **A**, ovvero **tra la Spalla 1 e la Pila 1 comprese**, sottende categorie topografiche tipo T2 e T1, rispettivamente per Spalla 1 e Pila 1.

Nel primo caso, in presenza di una categoria topografica T2 ($S_T=1.06$), il valore di a_{max} risulta il seguente (**Spalla 1**):

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.083
SLD	101	0.103

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITRVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	B	79 di 351
			Data 02/2024	

SLV	949	0.237
SLC	1950	0.295

mentre nel secondo caso, in presenza di una categoria topografica T1 ($S_T=1.0$), il valore di a_{max} risulta il seguente (**Pila 1**):

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.079
SLD	101	0.098
SLV	949	0.224
SLC	1950	0.280

Il valore di a_{max} per le aree in categoria tipo **E**, ovvero **tra la Pila 2 e la Spalla 2 comprese**, sottende categoria topografica T1 ($S_T=1$) e risulta il seguente:

Stato Limite	T_R [anni]	a_{max} [g]
SLO	60	0.126
SLD	101	0.157
SLV	949	0.317
SLC	1950	0.352

7.13 Analisi pseudostatiche

Nei metodi pseudo-statici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso del volume di terreno W considerato. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi mediante dei coefficienti di proporzionalità diretta denominati coefficienti sismici orizzontale e verticale e indicati con k_h e k_v rispettivamente. I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni (§ 7.11.6.2.1 del D.M. 17.01.2018):

$$\begin{aligned} F_h &= k_h \cdot W \\ F_v &= k_v \cdot W \end{aligned} \quad \text{con} \quad \begin{aligned} k_h &= \beta \cdot a_{max} / g \\ k_v &= \pm 0.5 \cdot k_h \end{aligned}$$

dove:

- a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- g = accelerazione di gravità;
- β = coefficiente di riduzione di a_{max} .

In assenza di analisi specifiche di risposta sismica locale, l'accelerazione massima può essere valutata mediante la relazione:

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

dove:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 80 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 D-Vision D Vision Architecture	
					Data 02/2024

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);
 S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);
 a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

7.13.1 Stabilità di fronti di scavo e rilevati

Il comportamento in condizioni sismiche dei fronti di scavo e dei rilevati può essere analizzato con gli stessi metodi impiegati per i pendii naturali. Nei metodi pseudostatici i valori dei coefficienti sismici k_h e k_v da utilizzare nelle verifiche geotecniche, in mancanza di studi specifici, sono stati ottenuti a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_s da utilizzare risulta (cfr. § 7.11.4.):

$$\beta_s = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

7.13.2 Opere di sostegno

La sicurezza delle opere di sostegno deve essere garantita prima, durante e dopo il terremoto. È ammesso l'uso di metodi pseudo-statici come specificato nel § 7.11.6.2.1.

I valori dei coefficienti sismici k_h e k_v da utilizzare nelle verifiche strutturali e geotecniche si ottengono a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** come visto nei precedenti paragrafi della relazione e il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_m da utilizzare risulta:

$$\beta_m = 0.38 \text{ nelle verifiche dello stato limite ultimo (SLV)}$$

Per i muri che non siano in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente β_m assume valore unitario.

7.13.3 Manufatti scatolari

Il calcolo delle spinte delle terre sui ritti dei manufatti scatolari è stato eseguito assimilando tali opere ad opere di sostegno rigide, che non sono in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno, il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito β_m può essere considerato pari a 1.

7.13.4 Paratie

Nel caso delle paratie l'azione sismica, nelle analisi pseudo-statiche, è definita mediante un'accelerazione orizzontale equivalente a_h pari a:

$$a_h = k_h g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove:

- g = accelerazione di gravità
 k_h = coefficiente sismico in direzione orizzontale
 α = coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera
 β = coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza

mentre la componente verticale a_v dell'accelerazione equivalente può essere posta uguale a 0.

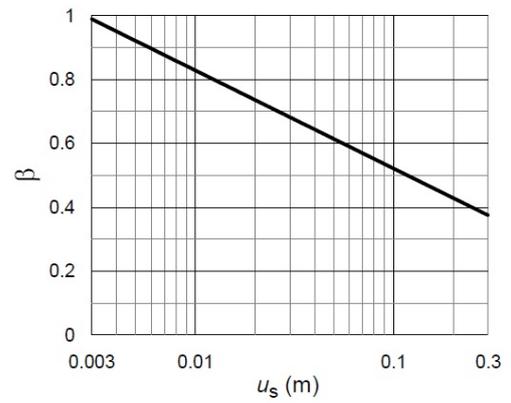
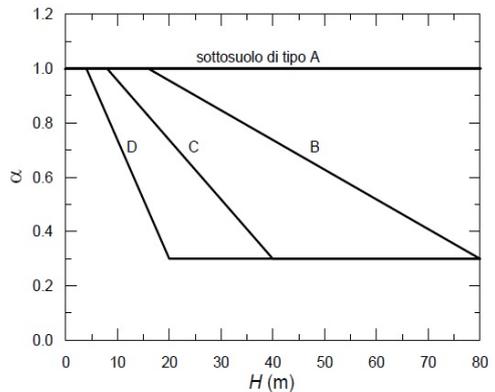
Anche in questo caso l'accelerazione massima può essere valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale oppure mediante la relazione:

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

dove:

- S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tab. 3.2.IV);
- S_T = coefficiente di amplificazione topografica (Tab. 3.2.V);
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I valori dei coefficienti α e β possono essere ricavati dai grafici sottostanti (cfr. *Figura 7.11.2I* e *Figura 7.11.3* delle NTC 2018):



CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D.VisionArchitecture	B	82 di 351
			Data 02/2024	

8 CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

I criteri adottati per l'interpretazione dei dati ottenuti dalle indagini in sito e dalle indagini di laboratorio sono illustrati nei paragrafi seguenti, in particolare:

- nel paragrafo **8.1** sono riportati i criteri adottati per l'interpretazione dei dati relativamente ai materiali a comportamento prevalentemente granulare;
- nel paragrafo **8.2** sono indicati i criteri utilizzati per l'interpretazione dei dati relativamente ai materiali con comportamento prevalentemente coesivo.

8.1 Terreni prevalentemente granulari

8.1.1 Premessa

Come noto, prelevare campioni indisturbati in terreni prevalentemente granulari, risulta molto difficile ed in particolare la caratterizzazione geotecnica di tali terreni è affidata principalmente all'interpretazione dei dati ottenuti dalle prove in sito e dai risultati delle prove di laboratorio effettuate su campioni rimaneggiati (granulometrie, pesi specifici, etc.). L'interpretazione dei dati delle prove in situ in correlazione con le prove di laboratorio è finalizzata a determinare principalmente le seguenti caratteristiche:

- grado di addensamento;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità.

8.1.2 Normalizzazione del valore di NSPT

L'interpretazione delle prove SPT è stata eseguita adottando una metodologia che si basa sulla definizione del valore del numero di colpi normalizzato $(N_1)_{60}$.

Le prove SPT a fondo foro consistono nel misurare il numero di colpi richiesto per provocare l'avanzamento per battitura di un campionatore standard per tre tratti consecutivi di 15 cm ciascuno. La resistenza dinamica puntuale, N_{SPT} , si ottiene sommando il numero di colpi necessario per l'avanzamento degli ultimi 30 cm.

Per tenere conto dei fattori di variabilità connessi ai diversi dispositivi di infissione presenti sul mercato e della pressione efficace del terreno alla profondità di esecuzione della prova, viene valutato in funzione della profondità il valore normalizzato di N_{SPT} , cioè $(N_1)_{60}$, ricavato dalla seguente espressione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \times \frac{ER}{60} \times C_N$$

in cui:

$C_N = (98.1/\sigma'_{v0})^{0.5}$ = coefficiente di correzione dipendente dal valore di σ'_{v0} ;

σ'_{v0} = pressione verticale efficace alla profondità di prova;

ER = rendimento medio del dispositivo di infissione effettivamente impiegato espresso in percentuale (per il presente caso assunto pari al 65%).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 83 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	
					Data 02/2024

Sulla base della definizione del parametro $(N_1)_{60}$ sono state applicate delle correlazioni di letteratura per interpretare i dati in termini di parametri di resistenza al taglio e deformabilità.

Di seguito si forniscono le correlazioni adottate per le stime della densità relativa D_R , dell'angolo di resistenza al taglio ϕ' e dei moduli di elasticità.

8.1.3 Densità relativa

I valori di densità relativa sono stati stimati utilizzando i valori del numero di colpi N_{SPT} normalizzati mediante il valore $(N_1)_{60}$.

La stima dei valori di densità relativa è necessaria per la successiva determinazione dei valori degli angoli di resistenza al taglio (cfr. 8.1.4) e dei moduli di deformabilità per i terreni granulari (cfr. 8.1.5).

In particolare, per la stima del valore di densità relativa è stata adotta la relazione di Skempton:

$$D_R = \left[\frac{(N_1)_{60}}{60} \right]^{0.5}$$

Nella valutazione dei risultati, è stato tenuto conto dell'effetto della granulometria come segue:

- nelle sabbie, la D_R è il valore medio "prudenziale" (valore caratteristico);
- nelle ghiaie, di ogni tipo, la D_R e/o i parametri da essa derivati saranno stabiliti in modo tale da essere prudentemente inferiori al valore minimo assoluto; ciò in ragione del fatto che le prove SPT forniscono valori in proporzione maggiori delle sabbie in ragione della differente granulometria.

8.1.4 Angolo di resistenza a taglio

I valori dell'angolo di resistenza al taglio sono calcolati dall'interpretazione di numero di colpi SPT, attraverso la determinazione della densità relativa, mediante la relazione di Schmertmann:

$$\phi'_p = 28 + 0.14 \cdot D_R$$

per sabbie fini uniformi,

$$\phi'_p = 31.5 + 0.115 \cdot D_R$$

per sabbie medie uniformi e sabbie fini ben gradate,

$$\phi'_p = 34.5 + 0.10 \cdot D_R$$

per sabbie grosse uniformi e sabbie medie ben gradate,

$$\phi'_p = 38.0 + 0.08 \cdot D_R$$

per ghiaietti uniformi e sabbie e ghiaie poco limose.

dove D_R è il corrispondente valore della densità relativa. Si noti come nella relazione sopra riportata, il valore dell'angolo di resistenza al taglio sia quello "di picco".

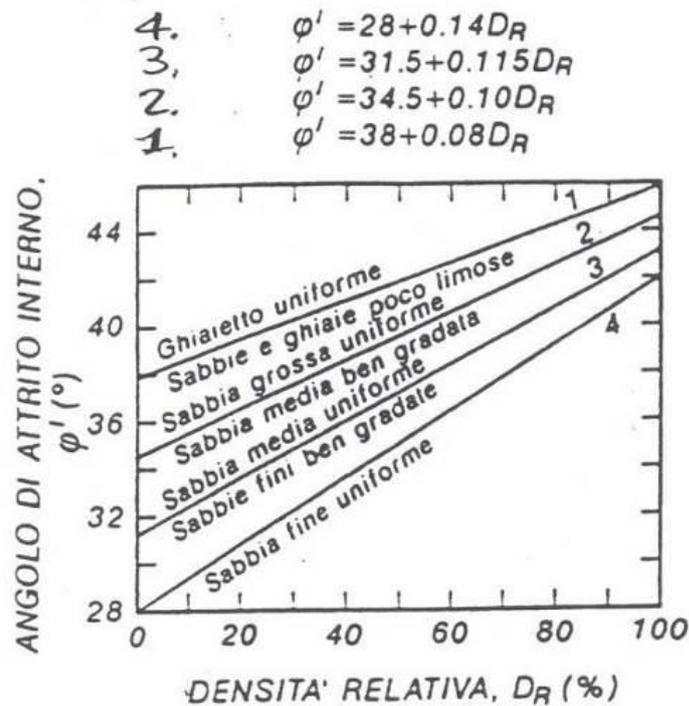


Figura 8-1 - Relazione tra angolo di attrito efficace (φ') e densità relativa (D_r) per diverse granulometrie (Schmertmann, 1975)

8.1.5 Parametri di deformabilità

Per una valutazione generale della rigidità dei materiali (paratie, opere di sostegno, etc.), il modulo elastico operativo E'_{25} (corrispondente ad un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%) è valutato mediante la correlazione proposta da Jamiolkowski, 1988:

- per terreni normalconsolidati:
 $E'_{25} = 0.0981 \times (10.5 - 3.5 D_R) \times N_{SPT}$ (MPa)
- per terreni sovraconsolidati:
 $E'_{25} = 0.0981 \times (52.5 - 35 D_R) \times N_{SPT}$ (MPa)

in cui:

- E'_{25} : modulo di Young secante, cui corrisponde un grado di mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%;
- D_R : densità relativa, espressa come frazione dell'unità;
- N_{SPT} : numero di colpi da prova SPT.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALORI AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

8.2 Terreni prevalentemente coesivi

8.2.1 Premessa

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine ci si è affidati sia all'interpretazione delle prove di laboratorio sia all'interpretazione delle prove in sito. Scopo delle indagini è quello di definire in particolar modo le seguenti proprietà:

- OCR – grado di consolidazione;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità;
- coefficienti di permeabilità.

8.2.2 Proprietà indice dei terreni coesivi

La classificazione dei terreni a grana fine, e pertanto a prevalente comportamento coesivo, è stata effettuata in primo luogo facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio in termini di:

- analisi granulometrica;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume naturale e secco;
- umidità naturale;

I primi due fattori consentono la classificazione del materiale secondo i riferimenti bibliografici correnti, come ad esempio la UNI 10006 ed il sistema USCS.

8.2.3 Resistenza al taglio non drenata

La resistenza al taglio non drenata c_u dei terreni limoso-argillosi saturi verrà valutata facendo riferimento:

- ai risultati delle prove di laboratorio triassiali non consolidate non drenate (TX-UU);
- all'interpretazione delle prove dinamiche SPT;
- all'interpretazione delle prove con pocket penetrometer e torvane sulle carote estratte durante la fase di sondaggi;
- all'interpretazione delle prove con pocket penetrometer e torvane sui campioni di laboratorio.

8.2.3.1 Valutazione di c_u da prove SPT

Nel caso dei terreni limoso-argillosi saturi, la resistenza al taglio non drenata è stata stimata sulla base di correlazioni empiriche.

Nello specifico, è adottata la correlazione di Terzaghi e Peck (coesione non drenata in kPa):

$$c_u = 6 N_{SPT} \quad (\text{kPa})$$

e la relazione di Jamiolkowski (1985), valida per terreni normalconsolidati:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D VisionArchitecture	B	86 di 351
			Data 02/2024	

$$C_{u \min} = 0.2 \cdot \sigma'_{vo} (\text{kPa})$$

dove:

σ'_{vo} = pressione verticale efficace alla profondità di prova;

N_{SPT} = numero di colpi della prova SPT.

8.2.4 Parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci

I parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci sono stati determinati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio di taglio diretto (TD) e delle prove triassiali consolidate non drenate (TX-CIU).

8.2.5 Caratteristiche di deformabilità

8.2.5.1 Modulo edometrico da prove edometriche

Il modulo edometrico è stato ricavato direttamente attraverso l'esecuzione di prove di compressibilità edometrica in laboratorio.

8.2.5.2 Modulo edometrico da prove SPT

Il valore del modulo edometrico o modulo elastico drenato confinato, M_{ds} è stato calcolato, sulla base dei risultati delle prove SPT, mediante la relazione di Stroud e Butler (1975):

$$M_{ds} = 0.6 \cdot N_{SPT} (\text{MPa})$$

8.3 Classificazione geotecnica dei terreni

La classificazione geotecnica dei terreni è stata effettuata facendo riferimento principalmente ai risultati delle seguenti prove di laboratorio:

- analisi granulometriche (setacciatura e sedimentazione);
- limiti di Atterberg.

Le classificazioni utilizzate per la descrizione dei terreni sono le seguenti:

- Classificazione AGI;
- Classificazione CNR-UNI 10006;
- Classificazione USCS.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l. MANDANTI  EITVA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 87 di 351
		Data 02/2024	

9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DELLE OPERE

Il presente capitolo, dopo un inquadramento degli interventi previsti per le opere in progetto, si propone di fornire un'interpretazione geologico-geotecnica globale delle aree interessate dalla progettazione, che sia comprensiva dei dati derivanti dai sondaggi geognostici, dalle indagini effettuate in sito e dalle eventuali prove di laboratorio.

La caratterizzazione geotecnica si è basata principalmente su:

- descrizione stratigrafica dei sondaggi e visione delle cassette catalogatrici;
- interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT;
- interpretazione dei risultati delle prove di laboratorio sui campioni rimaneggiati e indisturbati, qualora disponibili, prelevati nell'ambito della realizzazione delle indagini eseguite.

Di seguito, viene fornita una generale caratterizzazione geotecnica dei terreni in relazione agli interventi previsti per le opere.

9.1 Interventi previsti e caratterizzazione geotecnica generale

Da un punto di vista generale, le aree che vengono caratterizzate dal punto di vista geotecnico nell'ambito della presente relazione sono quelle che ospiteranno specificatamente le seguenti opere:

- Viadotto Sieve 1, Viadotto Argomenna, Viadotto Sieve 2;
- opere minori tra cui muri in terra armata in uscita dal Viadotto Sieve 1, tombini scatolari e muri di sostegno in corrispondenza di particolari porzioni di tracciato.

Di seguito, si riassumono i dettagli principali per ciascun intervento e, tenuto conto dell'esito delle stratigrafie dei sondaggi e prove ivi eseguiti, si forniscono le basi per la successiva identificazione delle principali unità geotecniche da associare ai terreni coinvolti nella realizzazione di tali opere (cfr. **punto 9.1.10**)

9.1.1 Rotatoria Masseto di inizio tracciato

Il tracciato della nuova variante di Rufina si innesta inizialmente tramite una rotatoria a raso che congiunge la stessa con la Strada Statale n.67. La rotatoria è situata in prossimità del centro abitato del Comune di Rufina, con a Nord l'asse principale in direzione Montebonello, a sud-ovest l'asse proveniente dall'inizio dell'intervento sulla S.S.67 e a nord-est l'asse di collegamento con la viabilità locale in direzione Rufina. In direzione Montebonello, dal ramo nord della rotatoria si innesta l'opera di attraversamento del Fiume Sieve che consiste nell'omonimo viadotto di seguito descritto.

I terreni rinvenuti al di sotto di questo tratto sono di tipo alluvionale terrazzato. I diversi pozzetti esplorativi ubicati in questa area, nonché il sondaggio SN01-PZ prossimo all'innesto del successivo Viadotto Sieve hanno identificato infatti terreni di tipo sabbioso-ghiaioso-limoso, talora debolmente argillosi.

9.1.2 Viadotto Sieve 1 (L=363 m)

L'opera è costituita da un impalcato a sette campate a luci di 55 m ciascuna, eccetto la prima e ultima caratterizzate da una luce di 44 m. Il ponte si sviluppa a partire dall'uscita nord della rotatoria di innesto tracciato con la SS n. 67 alla p.k. 0+050 e termina alla p.k. 0+458 con due spalle e n.6 pile; la larghezza dell'impalcato è di 10.50 m dei quali 7.50 m

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. B	FOGLIO 88 di 351
	Data 02/2024			

per la carreggiata stradale a due corsie (3.75 m per ciascuna corsia) e 1.50 m su ciascuna banchina. Le fondazioni sono su pali grande diametro.

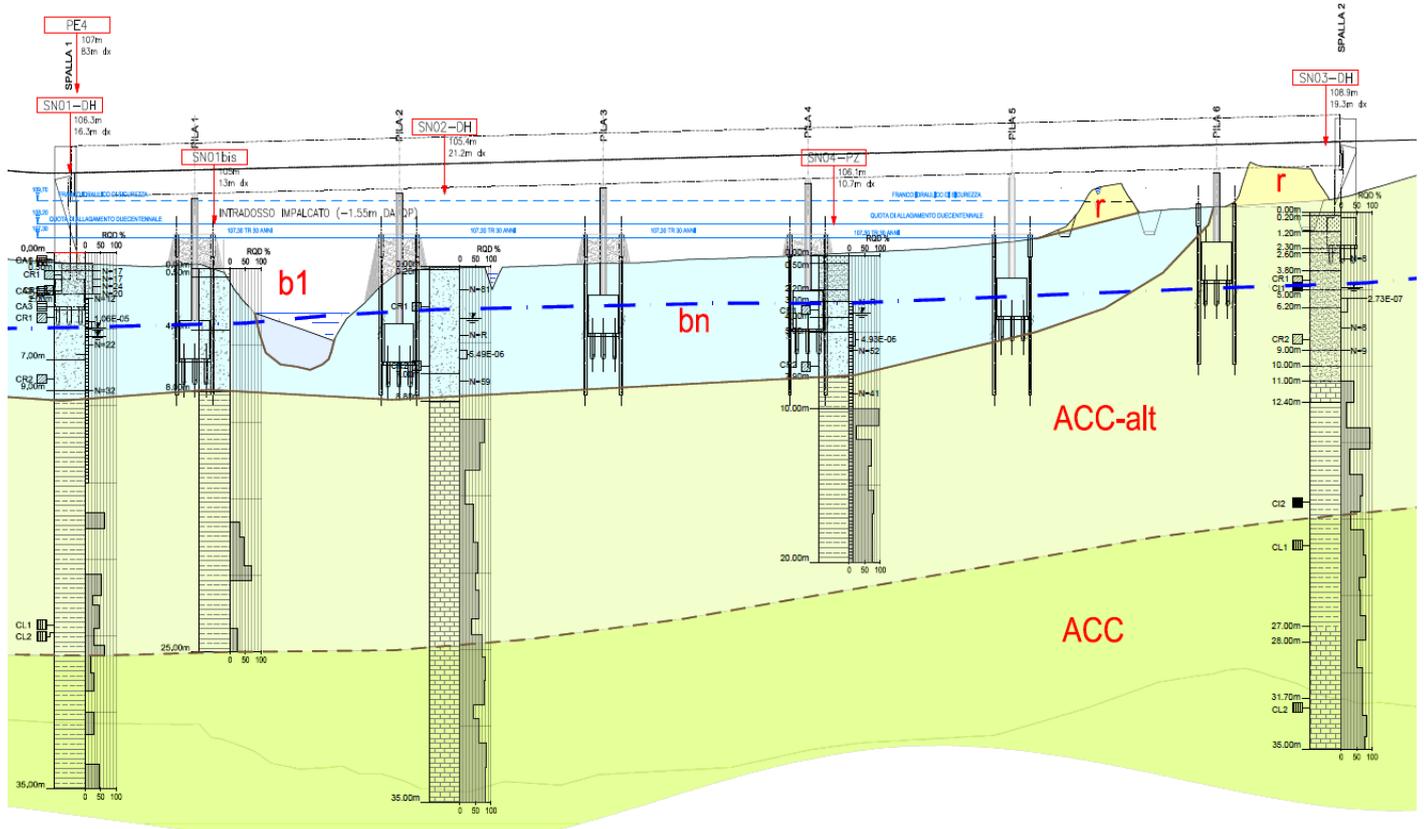


Figura 9-1 - Stralcio profilo geotecnico Viadotto Sieve 1

Le stratigrafie dei sondaggi disponibili, ubicati in asse all'opera, definiscono la presenza di terreni di origine alluvionale terrazzata costituiti da ghiaie con sabbie limose o sabbie con ghiaia limose, talora debolmente argillose, per spessori massimi di circa 8 m al di sotto del piano campagna. Tali terreni sono stati rinvenuti tra la Spalla 1 e la Pila 5 compresa. Al di sotto di tali terreni sono state rinvenute alternanze di limi argillosi sabbie limoso-argillose, talora ghiaiose, appartenenti al substrato lapideo fortemente alterato dell'unità di Canètole. La sequenza alternata di tali livelli è caratterizzata da valori di RQD progressivamente crescenti con la profondità, variabili fra pochi punti percentuali nelle porzioni più sommitali e mediamente 80÷100% oltre la profondità di circa 25 m sotto il piano campagna.

9.1.3 Muro in terra armata (L=288 m)

In uscita dal Viadotto Sieve 1, dopo un tratto di circa 150 m in rilevato tradizionale, il progetto prevede ora la realizzazione di un muro in terra armata sul fianco destro del rilevato dalla p.k. 0+608 alla p.k. 0+898.

Tale opera si rende necessaria per una lunghezza pari a circa 288 m e raggiunge altezze anche di 6-7 m, coinvolgendo perlopiù i terreni di alterazione del substrato lapideo dell'unità Canetolo e la copertura alluvionale terrazzata di tipo ghiaioso-sabbioso-limosa, così come evidenziato dalle stratigrafie ad esempio del sondaggio SN05-PZ, ubicato lungo il rilevato in questo tratto.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	B	89 di 351
			Data 02/2024	

9.1.4 **Barriere FOA e manufatti scatolari**

Contestualmente allo sviluppo del tratto in terra armata, a monte della carreggiata sinistra, tra la progressiva 0+860 e la progressiva 0+970, è prevista la realizzazioni di barriere fonoassorbenti di altezza pari a 3 m. Tali opere sono state previste anche tra la p.k. 1+093 e la p.k. 1+238, questa volta a valle della carreggiata destra.

Alla p.k. 0+925 circa, inoltre, è prevista la realizzazione di un nuovo tombino scatolare di lunghezza 31 m e di dimensioni 3x2 m, mentre alla p.k. 1+295 circa è prevista la realizzazione della medesima opera ma con lunghezza 17.50 m.

I terreni che interesseranno la realizzazione delle barriere FOA tra la p.k. 0+860 e la p.k. 0+970 sono quelli appartenenti ai depositi franosi, prevalentemente limoso-argilloso-sabbiosi, talora ghiaiosi, prodotti dell'alterazione del substrato argilloso-calcareo dell'unità di Canètole. Tali terreni sono stati rinvenuti nelle porzioni superficiali dei rilievi prospicienti il tracciato nelle verticali SN06bis-IN, SN06-PZ, SN06-IN, SN07-PZ e SN07-IN.

9.1.5 **Rotatoria Via Colognese e muro di sostegno**

Si tratta di una rotatoria a raso, con quattro rami di ingresso/uscita. Il ramo sud coincide con l'asse principale di tracciato proveniente dalla rotatoria di inizio progetto, il ramo nord-est predispone l'asse di collegamento con Via Colognese in direzione Montebonello mentre a nord-ovest il ramo della rotatoria collega Via Colognese in direzione San Martino e a nord l'asse principale del tracciato in direzione Dicomano. Tra il ramo sud della rotatoria di svincolo e il ramo nord-est in direzione Montebonello, è stata prevista la realizzazione di un muro di sostegno di lunghezza pari a 82 m.

I terreni rinvenuti al di sotto di questo tratto sono di tipo alluvionale terrazzato. Il sondaggio corto PE9 e il sondaggio SN08-PZ prossimi all'area hanno infatti identificato nei primi metri sotto al p.c. terreni di tipo sabbioso-ghiaioso-limoso, talora debolmente argillosi.

9.1.6 **Rilevato con barriere FOA**

Dal ramo nord della rotatoria di svincolo di via Colognese, l'asse principale in direzione Dicomano si sviluppa in rilevato e parzialmente a mezzacosta fino a giungere all'innesto dell'opera di attraversamento del Torrente Argomenna, ossia l'omonimo viadotto, descritto al punto successivo. Si segnala, tra la p.k. 1+651 e la p.k. 1+711, la realizzazione di barriere fonoassorbenti a monte del tracciato (lato carreggiata sinistra) per uno sviluppo pari a 60 m e un'altezza di 3 m.

Tali opere coinvolgono perlopiù i terreni di alterazione del substrato lapideo dell'unità Canetolo e la copertura alluvionale terrazzata di tipo ghiaioso-sabbioso-limoso, così come evidenziato anche dalla stratigrafia del sondaggio SN09-PZ in approccio al successivo Viadotto Argomenna.

9.1.7 **Viadotto Argomenna (L=198 m)**

Fra le progressive chilometriche di progetto 1+781 e 1+979 è prevista la realizzazione dell'opera di attraversamento del Torrente Argomenna. Il ponte è previsto con sviluppo complessivo ad asse curvilineo, per una lunghezza di 198 m. L'opera è costituita da n.4 campate isostatiche poggianti su due spalle e tre pile, con le seguenti luci: 44+55+55+44 m. Le fondazioni sono su pali grande diametro. La spalla terminale del viadotto coincide con l'imbocco sud della galleria artificiale di Montebonello.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLEA ASSOCIATI	sinèrgo	VA D'VisionArchitecture
			Data 02/2024	

Nella figura sottostante è possibile visualizzare uno stralcio del profilo geotecnico longitudinale al di sotto del Viadotto Argomenna. I sondaggi hanno permesso di identificare la presenza di terreni di origine alluvionale terrazzata, costituiti da ghiaie con sabbie limose o sabbie con ghiaia limose, talora debolmente argillose, per spessori massimi di circa 6-7 m al di sotto del piano campagna dalla Spalla 1 alla Pila 3 esclusa, mentre tra quest'ultima e la Spalla 2 sono stati rinvenuti spessori di circa 1-2 m di terreni eluvio-colluviali derivanti dal trasporto al piede del versante delle siltiti affioranti nei rilievi di Montebonello. Al di sotto dei terreni di copertura olocenici di cui sopra, i sondaggi hanno permesso di identificare il substrato marnoso-siltoso appartenente alle unità di Galiga previo spessore di qualche metro di alterazione dello stesso, come testimoniato anche dal livello di fratturazione delle marne rinvenute e dei valori di RQD spesso assenti. Per la caratterizzazione di tale unità, nonché delle unità per cui si assimila un comportamento di tipo geomeccanico, si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica” e al **punto 9.2** per una sintesi della stessa.

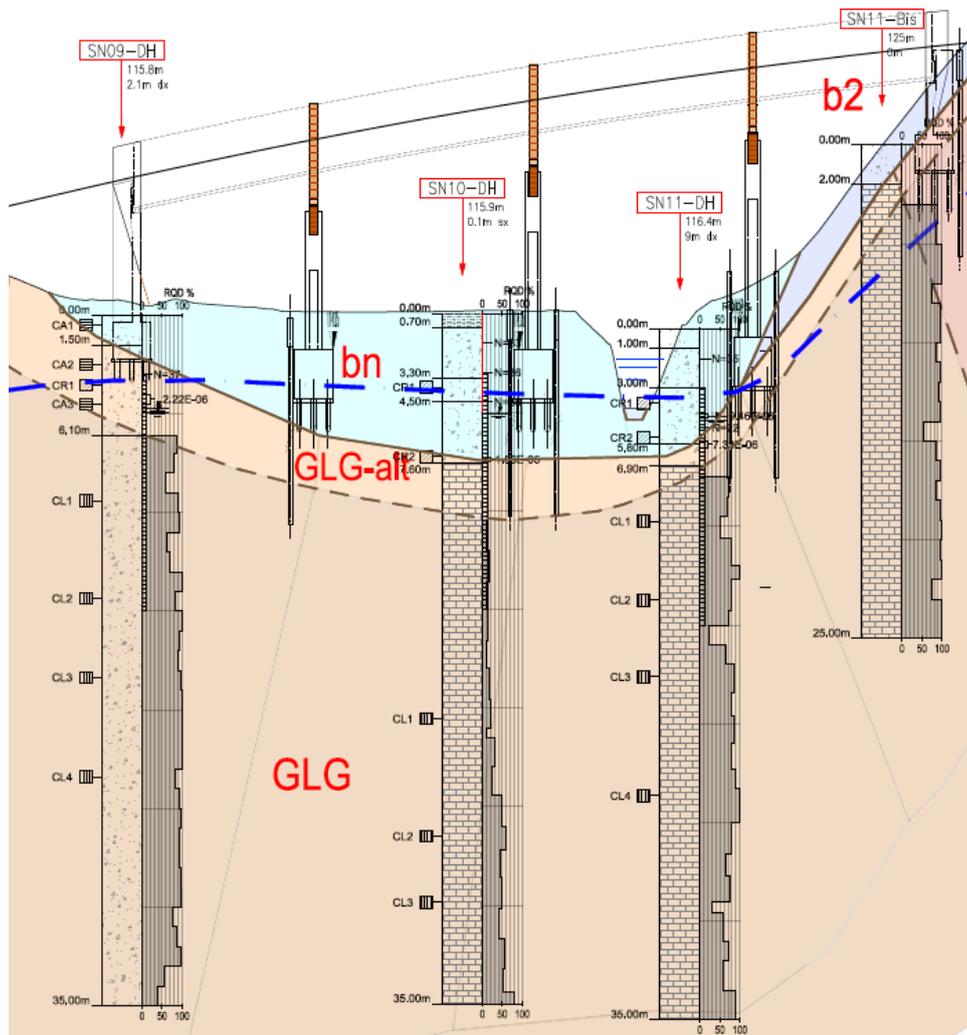


Figura 9-2 - Stralcio profilo geotecnico Viadotto Argomenna

9.1.8 Viadotto Sieve 2 (L=408 m)

In uscita dalla galleria di Montebonello, dalla p.k. 2+998 e la p.k. 3+405 è prevista l'ultima opera di attraversamento in progetto, ovvero il Viadotto Sieve 2. Tale opera si rende necessaria per bypassare nuovamente l'omonimo corso fluviale e per raccordarsi alla rotatoria di futura realizzazione che raccorderà il tracciato con l'esistente S.S. n.67.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D_VA D Vision Architecture	REV. B	FOGLIO 91 di 351
			Data 02/2024	

L'opera, di lunghezza pari a 408 m, è costituita da n.7 campate isostatiche poggianti su due spalle e sei pile, con le seguenti luci: 39+66+66+66+66+66+39 m ed è fondata su pali grande diametro.

Le stratigrafie dei sondaggi ubicati in asse all'opera hanno identificato, al di sotto di terreni di origine alluvionale terrazzata costituiti da ghiaie con sabbie limose o sabbie con ghiaia limose per spessori massimi di circa 8-10 m al di sotto del piano campagna dalla Pila 1 alla Spalla 2 compresa, di siltiti marnose appartenenti all'unità di Poggiolo Salaiole. Per la caratterizzazione di tale unità, nonché delle unità per cui si assimila un comportamento di tipo geomeccanico, si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – "Relazione geomeccanica" e al **punto 9.2** per una sintesi della stessa.

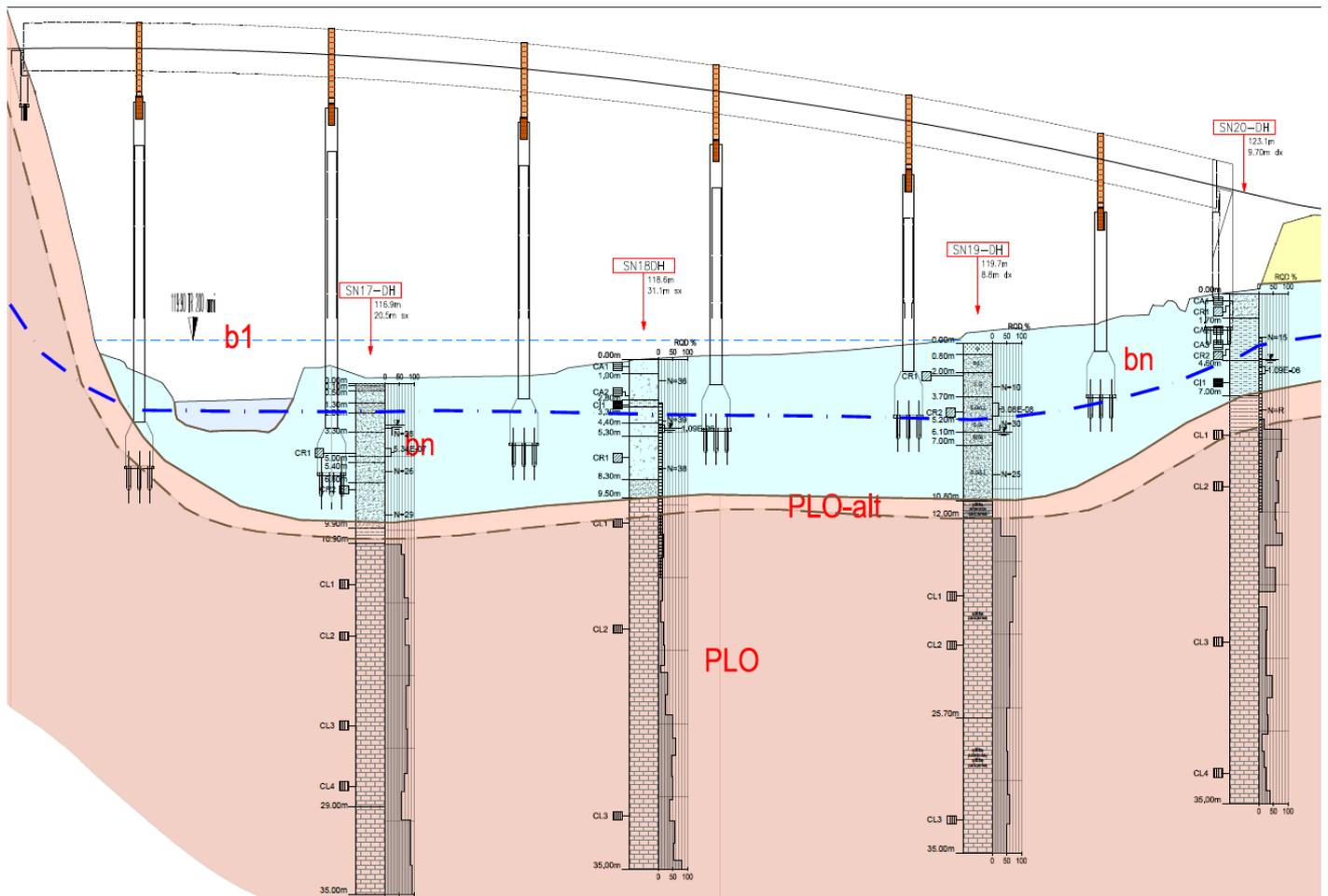


Figura 9-3 - Stralcio profilo geotecnico Viadotto Sieve 2

9.1.9 Rotatoria Scopeti di fine tracciato

La rotatoria Scopeti è un'intersezione a raso esistente, formata da tre rami di ingresso e uscita. Il progetto prevede la rimodulazione della stessa alla giusta quota e congiuntamente la realizzazione di un quarto ramo, ad ovest, necessario per raccordare il tracciato in uscita dal Viadotto Sieve 2 con la strada statale esistente n.67. I rami nord-est e sud, esistenti, raccordano la S.S. n.67 mentre il ramo a nord permette il collegamento con la zona industriale di Scopeti.

I terreni in questo tratto finale sono nuovamente ascrivibili, per i primi metri sotto al piano campagna, a depositi con origine di tipo alluvionale terrazzato. Le indagini geognostiche ubicate in questa area, nonché il sondaggio SN20-PZ ubicato in uscita dal Viadotto Sieve 2, hanno identificato infatti terreni di tipo sabbioso-ghiaioso-limoso, talora

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'ARBE S.p.A.	 sinèrgo	B
		 VA D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

debolmente argillosi per spessori di circa 6-7 m, lasciando spazio in profondità al substrato siltoso-marnoso appartenente all'unità di Poggiolo Salaiole.

9.1.10 Definizione delle unità geotecniche di riferimento

Dalla valutazione congiunta delle stratigrafie di sondaggio, dei dati geofisici e dalle informazioni desumibili dalle indagini in situ e dai campioni analizzati in laboratorio, ai fini prettamente geotecnici sono stati distinti i seguenti tipi di terreno in relazione alle loro litologie, caratteristiche granulometriche, di resistenza al taglio e di deformabilità:

- **Depositi antropici ("r")**: sabbie e ghiaie appartenenti ai rilevati stradali
- **Depositi alluvionali terrazzati ("bn")**: depositi eterogenei di ghiaie e sabbie con matrice limoso-argillosa
- **Coltre eluvio-colluviale ("b2")**: materiale eterogeneo limoso-sabbioso-argilloso, spesso ghiaioso, derivante dal disfacimento del substrato roccioso siltitico
- **Depositi di frana ("fa")**: depositi prevalentemente limoso-argilloso-sabbiosi, talora ghiaioso, prodotti dell'alterazione del substrato argilloso-calcareo dell'unità di Canètole
- **Argille e calcari di Canètole alterati ("ACC alt")**: alternanze di limi argillosi sabbie limoso-argillose, talora ghiaiose, appartenenti al substrato lapideo fortemente alterato dell'unità di Canètole

La distribuzione nel sottosuolo, lungo il tracciato, delle unità geotecniche sopra descritte, è mostrata nei seguenti elaborati di progetto:

- **T00GE03GEOFG01÷04** - "Profilo geotecnico asse principale" (4 tavv.);
- **T00GE03GEOFG05** - "Viadotto Sieve 1 – Profilo geotecnico";
- **T00GE03GEOFG06** - "Viadotto Argomenna – Profilo geotecnico";
- **T00GE03GEOFG07** - "Viadotto Sieve 2 – Profilo geotecnico".

9.2 Sintesi della caratterizzazione geomeccanica delle opere

Per completezza di informazione, si segnala che ai fini della caratterizzazione geomeccanica sono stati considerati gli esiti delle prove geomeccaniche di laboratorio eseguite sugli spezzoni di carota lapidea prelevati dai fori di sondaggio nella campagna di indagine eseguita.

Le prove geomeccaniche di laboratorio sono consistite sostanzialmente nell'esecuzione di compressioni monoassiali, triassiali e prove di tipo point-load. I risultati sono consultabili nell'elaborato di progetto **T00GE01GEORE05** - "Documentazione indagini geognostiche – Certificati prove geomeccaniche di laboratorio".

Le litologie sottoposte a prove sono quelle appartenenti alle unità tettoniche toscane del Galiga, e sono state descritte come alternanza di siltiti e siltiti marnose per l'unità delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (**PLO**), e marne siltose per l'unità delle Marne di Galiga (**GLG**), sempre senza una distinzione netta tra siltiti e marne. La distribuzione di quest'ultima è limitata alle fondazioni del Viadotto Argomenna mentre l'unità delle Siltiti di Poggiolo Salaiole è distribuita sia lungo la galleria sia al di sotto delle fondazioni del Viadotto Sieve 2, così come mostrato negli elaborati di progetto, tra cui l'elaborato **T00GE03GETFG08** - "Galleria Montebonello – Profilo geologico-geomeccanico" e i profili geotecnici seguenti:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 93 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EIVVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA D VisionArchitecture	
					Data 02/2024

- **T00GE03GEOFG01÷04** - “Profilo geotecnico asse principale” (4 tavv.);
- **T00GE03GEOFG05** - “Viadotto Sieve 1 – Profilo geotecnico”;
- **T00GE03GEOFG06** - “Viadotto Argomena – Profilo geotecnico”;
- **T00GE03GEOFG07** - “Viadotto Sieve 2 – Profilo geotecnico”.

I criteri che hanno portato alla caratterizzazione geomeccanica delle opere coinvolte sono meglio discussi all'interno della relazione di riferimento (cfr. elaborato **T00GE03GETRE02** - Relazione geomeccanica”).

In ogni caso, a partire dai risultati delle prove succitate, congiuntamente all'analisi dei valori di GSI (“Global Strength Index”) rilevati durante l'esecuzione dei rilievi geomeccanici sugli affioramenti o attraverso l'utilizzo di tabelle comparative (cfr. Hoek e Marinos, 2000) degli ammassi rocciosi dell'unità coinvolte, attraverso il software *Roclab* (version 1.033, Rocscience inc.) sono stati calcolati i parametri di resistenza e deformabilità degli ammassi rocciosi presenti lungo lo sviluppo delle opere d'arte principali, ovvero la Galleria Montebonello e le fondazioni del Viadotto Argomena e Viadotto Sieve 2.

Per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi sono stati utilizzati i seguenti parametri di ingresso:

- σ_{ci} = 46.5 MPa per le Siltiti di Poggiolo Salaiole e 18.0 MPa per le *Marne di Galiga* (valori caratteristici di resistenza a compressione monoassiale determinati sperimentalmente);
- m_i = parametro di curvatura dell'involuppo di rottura della roccia intatta, posto cautelativamente pari a 7, come suggerito da Hoek et al. per rocce tipo *siltstones* (siltiti) e *marls* (marne);
- E_i = 8150 MPa per le Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO) e 4680 MPa per le Marne di Galiga (GLG, valori caratteristici di modulo di elasticità secante della roccia intatta);

Il valore di peso di volume naturale dell'ammasso roccioso γ_N è stato posto pari a 25 kN/m³, a partire da un valore medio di peso di volume naturale della roccia intatta pari a 26 kN/m³.

Di seguito si riporta una sintesi della caratterizzazione geomeccanica delle unità rocciose in relazione a ciascun tipo di intervento.

9.2.1 Galleria Montebonello

L'opera in sotterraneo è resa necessaria per il superamento del promontorio presente nella frazione di Montebonello, permettendo al tracciato di mantenere le caratteristiche geometriche proprie della strada extraurbane secondaria, sia in termini di pendenza longitudinale che in termini di raggi di curvatura. Lo sviluppo della galleria è di poco inferiore al chilometro, presentando infatti un'estensione pari a 907 m. All'interno della galleria sono disposte n. 2 piazzole di sosta rispettivamente sulle due carreggiate, disposte in posizione sfalsate tra loro per questioni di sicurezza. Sono state previste inoltre n.3 vie di fuga.

I parametri di resistenza e deformabilità degli ammassi rocciosi presenti lungo lo sviluppo della Galleria Montebonello sono stati calcolati con il software *Roclab* suddividendo il tracciato della galleria naturale in diverse tratte assegnando per ogni tratta il valore di GSI di riferimento e il valore massimo di copertura (cfr. anche **T00GE03GETFG08** – “Galleria Montebonello – Profilo geologico-geomeccanico”), in modo da ricavare i parametri di resistenza nel giusto intervallo dell'involuppo di rottura (opzione: *Tunnels*).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 94 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI   		Data 02/2024	

I parametri sono espressi sia in condizioni di picco che residue, in quest'ultimo caso ricavando il valore del GSI residuo con la seguente relazione di *Cai et alii 2007*:

$$GSI_{RES} = GSI e^{-0.0134GSI}$$

I valori dei parametri di resistenza e deformabilità degli ammassi rocciosi lungo lo sviluppo della galleria sono stati riportati anche nell'elaborato di progetto **T00GE03GEOFG08** - "Galleria Montebonello – Profilo geologico-geomeccanico". In tale elaborato è stata riportata anche la classe dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski (1989), risultata variabile tra la classe III ($40 < RMR < 60$) e la classe IV ($20 < RMR < 40$), con la classe V ($RMR < 20$) presente solo nella zona di faglia. Nel profilo geologico-geomeccanico sono state rappresentate anche le condizioni idrauliche attese in galleria, funzione della permeabilità dell'ammasso, caratterizzato nel complesso da una bassa permeabilità, delle condizioni tettonico-strutturali e del livello di falda misurato nei piezometri installati lungo il tracciato della galleria (tratto fenestrato a cavallo della sezione di scavo), per le quali sono da attendersi generalmente condizioni di stillicidio su tutto lo sviluppo della galleria, con possibili venute d'acqua solo in corrispondenza del tratto a bassa copertura a p.k. 2+700 circa, per la presenza di un grosso impluvio in superficie e di una faglia subverticale con possibile presenza di una zona a maggiore fratturazione nell'ammasso roccioso.

		PLO - Siltiti di Poggiolo Salaiole							
copertura max.	[m]	10	20	60	100	60	15	40	20
sci	[MPa]	46,5	46,5	46,5	46,5	46,5	46,5	46,5	46,5
gn	[kN/m ³]	26	26	26	26	26	26	26	26
mi	[-]	7	7	7	7	7	7	7	7
Ei	[MPa]	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150	8150
GSI	[-]	40	40	40	50	40	25	40	50
gn	[kN/m ³]	25	25	25	25	25	25	25	25
c	[kPa]	213	243	353	617	353	109	300	413
phi	[°]	57	53	46	45	46	51	49	55
sc	[MPa]	1,54	1,54	1,54	2,80	1,54	0,56	1,54	2,80
scm	[MPa]	5,45	5,45	5,45	6,86	5,45	3,68	5,45	6,86
Erm	[MPa]	1301	1301	1301	2504	1301	487	1301	2504
GSI res	[-]	23	23	23	26	23	18	23	26
gn	[kN/m ³]	25	25	25	25	25	25	25	25
c res	[kPa]	84	113	202	301	202	77	161	128
phi res	[°]	52	48	40	38	40	47	43	49
sc res	[MPa]	0,48	0,48	0,48	0,60	0,48	0,31	0,48	0,60
scm res	[MPa]	3,45	3,45	3,45	3,79	3,45	2,89	3,45	3,79
Erm res	[MPa]	436	436	436	517	436	338	436	517
GSI	[-]	40	40	40	50	40	25	40	50

Tabella 9-1 – Caratterizzazione geomeccanica della Galleria Montebonello: parametri di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso a partire dai valori di resistenza e deformabilità della roccia intatta

9.2.1.1 Imbocco sud

L'imbocco sud della galleria Montebonello, che verrà scavato in artificiale previa realizzazione di una paratia di micropali, ha uno sviluppo di 46.50 m tra il becco di flauto (p.k. 2+019.50) e l'inizio della galleria naturale (p.k. 2+066), interseca un versante a modesta inclinazione ove sono presenti depositi eluvio-colluviali (b2) tra la Spalla 2 del

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	sinèrgo	VA D'VisionArchitecture
				Data 02/2024

Viadotto Argomena e circa p.k. 2+100 circa, per lasciare posto ad un substrato roccioso costituito dalle *Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO)*, caratterizzato da un orizzonte di alterazione e di completo detensionamento per diversi metri, dato che i primi affioramenti significativi si rinvencono più a monte dell'imbocco.

Per poter permettere l'attacco degli scavi della galleria Montebonello all'imbocco sud e ridurre al massimo gli sbancamenti, si è resa necessaria la realizzazione di una berlinese di micropali. La berlinese risulta costituita da micropali diam. 240mm di lunghezza variabile, disposti a passo 0.4m e collegati in testa mediante una trave di testata in calcestruzzo armato di dimensioni altezza 50cm e larghezza 50cm. Tali micropali sono armati mediante tubolari in acciaio S355 diam.139.7mm sp. 12mm con lunghezza totale da 10m a 20m. Al fine di evitare il possibile sgrottamento del materiale sciolto attraverso i micropali della berlinese si prevede di rivestire quest'ultima mediante uno spessore medio di 10cm di betoncino proiettato (spessore minimo da garantire 5cm) armato mediante rete elettrosaldata diam.8mm maglia 15cm x 15cm. Si prevede di contrastare la berlinese mediante uno o più ordini di ancoraggi attivi realizzati tramite tiranti a trefoli di lunghezza 10m, 12m o 13m disposti a interasse 3.2m e inclinati di 15° rispetto all'orizzontale in modo da garantire l'ancoraggio al substrato roccioso. La realizzazione del bulbo di ancoraggio di tali contrasti verrà eseguita mediante cementazione semplice a bassa pressione. Per ripartire adeguatamente l'azione di vicolo che gli ancoraggi applicati alla berlinese esercitano su di essa si prevede di utilizzare delle travi di ripartizione che, per il caso in esame, risultano essere costituite da due profilati HEB160 in acciaio S235. Infine, per allontanare l'acqua eventualmente presente dietro alla paratia, sono previsti dei drenaggi lunghi (L=12m) in corrispondenza della coltre e della roccia alterata e dei drenaggi corti (L=1.5m) nell'ammasso roccioso.

Per il dimensionamento dei tiranti della berlinese possono essere considerati i seguenti valori di resistenza allo sfilamento della barra di ancoraggio al contatto tra malta e ammasso roccioso τ_{lim} :

- 450 kPa nell'unità delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO), valore ottenuto dal grafico di Bustamante e Doix (1985, cfr. **Figura 9-4**) nel caso di ancoraggi iniettati a bassa pressione/gravità per rocce marnose e marnoso-calcaree sulla base di una pressione limite di 7 MPa, valore caratteristico ottenuto dall'esecuzione delle prove dilatometriche in tale unità;

MARNE E CALCARI

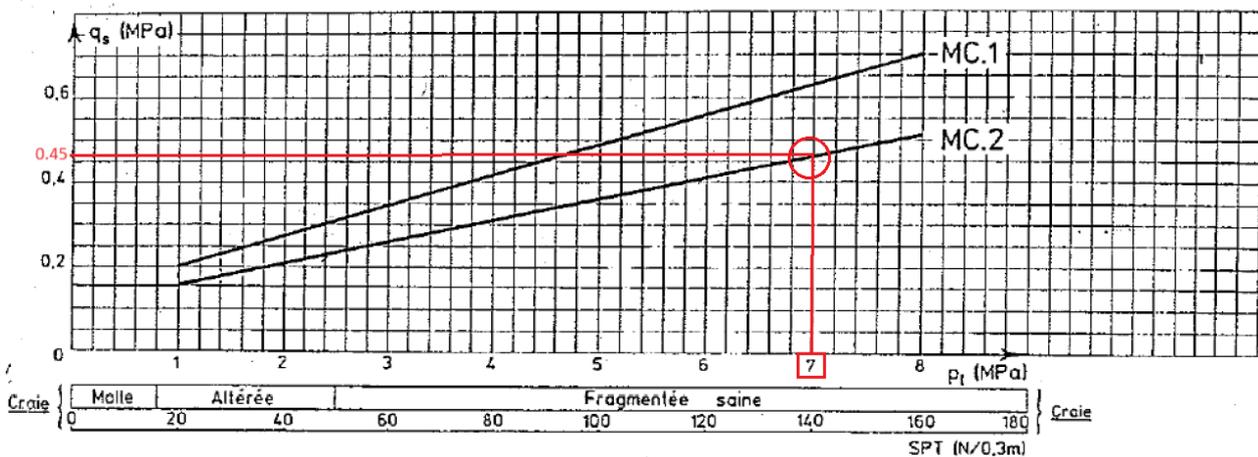


Fig. 18. — Abaques pour le calcul de q_s pour les craies, marnes et marne-calcaires.

Figura 9-4 - Abaco di Bustamante-Doix per il calcolo della resistenza allo sfilamento in rocce marnoso-calcaree rappresentative dell'unità PLO

- 200 kPa nella porzione alterata dell'unità delle Siltiti di Poggiolo Salaiole (PLO alt), valore ottenuto dallo stesso grafico (cfr. **Figura 9-5**) considerando un valore di pressione limite non superiore a 2 MPa, rappresentativo delle stesse rocce in condizioni di alterazione spinta;

MARNE E CALCARI

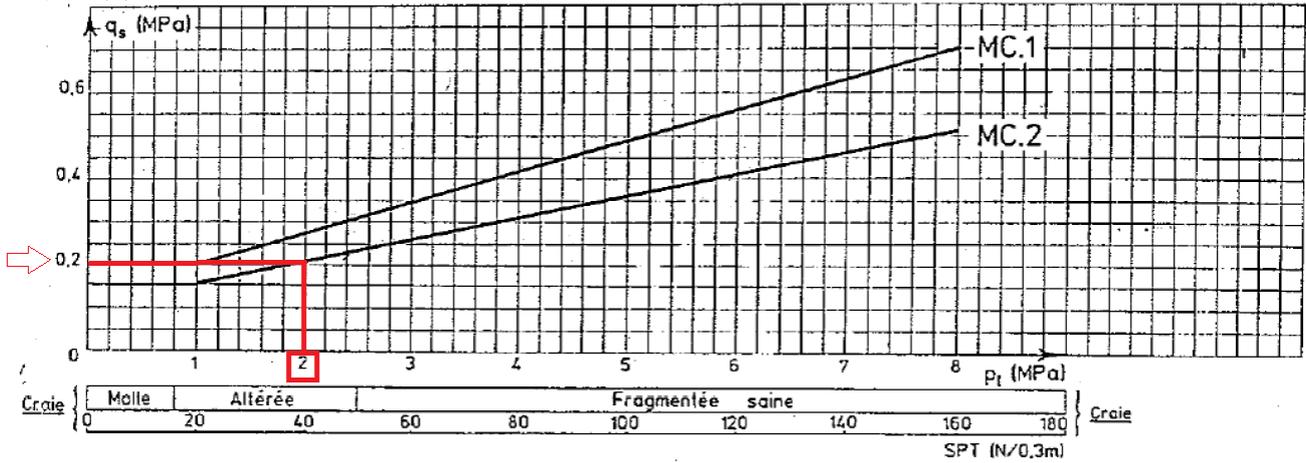


Fig. 18. — Abaques pour le calcul de q_s pour les craies, marnes et mano-calcaires.

Figura 9-5 - Abaco di Bustamante-Doix per il calcolo della resistenza allo sfilamento in rocce marnoso-calcaree rappresentative dell'unità PLO alterata

- 100 kPa nell'unità della coltre eluvio-colluviale (b2), valore ottenuto dal grafico di Bustamante e Doix (1985, cfr. **Figura 9-6**) nel caso di ancoraggi inietti a bassa pressione/gravità in terreni argilloso-limosi sulla base di un valore caratteristico di NSPT pari a 15.

LIMI E ARGILLE

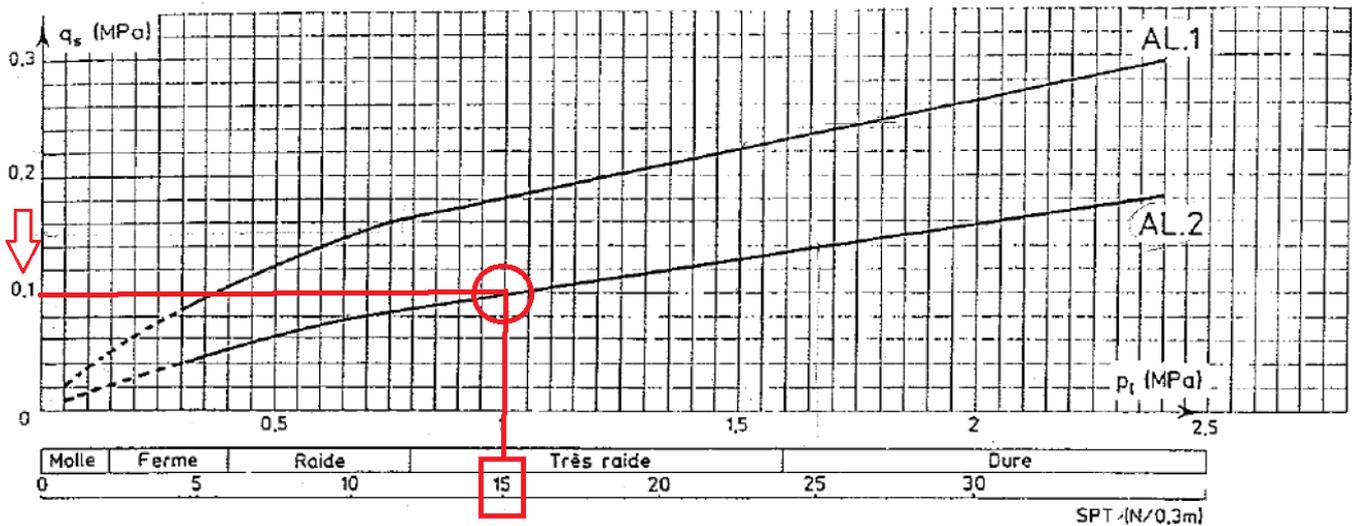


Fig. 17. — Abaques pour le calcul de q_s pour les argiles et limons.

Figura 9-6 - Abaco di Bustamante-Doix per il calcolo della resistenza allo sfilamento in terreni argilloso-limosi rappresentativi dell'unità b2

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 97 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	
					Data 02/2024

9.2.1.2 Imbocco nord

L'imbocco Nord della galleria Montebonello si trova a ridosso della Spalla 1 del Viadotto Sieve 2, ad una distanza di circa 10 m.

L'opera di imbocco nord interseca il versante a morfologia gradonata e a forte inclinazione costituito da ammassi rocciosi ascrivibili alle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO). L'origine della morfologia gradonata, presente in modo più evidente poco più a Nord rispetto all'asse di progetto, risiede nell'alternanza litologica arenaceo/pelitica degli ammassi rocciosi.

Le caratteristiche geomeccaniche buone delle *siltiti* PLO permettono di raggiungere il piano di scavo della galleria attraverso degli sbancamenti con pendenza 5V:1H, con berme di larghezza 2 m ogni 5 m di altezza, ad eccezione della prima scarpata che raggiunge un'altezza di circa 7.80m. La parete frontale di imbocco verrà scavata sempre con pendenza 5V:1H, ma senza berme, per un'altezza massima di circa 16m.

La pendenza di tali sbancamenti implica il rischio di instabilità di blocchi e quindi la necessità di prevedere la protezione degli scavi. Pertanto, la sicurezza della scarpata verrà garantita mediante l'utilizzo di:

- rete a doppia torsione a maglia esagonale;
- funi metalliche di rinforzo, a trefoli di acciaio, disposte in senso diagonale rispetto alla maglia dei chiodi;
- barre in acciaio di lunghezza L=3 m, disposte a maglia romboidale 3 m x 4 m.

Le barre verranno posizionate con direzione ortogonale al versante in modo da semplificarne l'installazione e massimizzarne l'efficienza.

Per le scarpate che rimarranno a vista dopo la sistemazione finale, gli interventi previsti (rete in aderenza e chiodature) assumeranno carattere definitivo.

Ai fini del dimensionamento dell'intervento, che interesserà l'affioramento delle *Siltiti di Poggiolo Salaiole* (PLO) presente all'imbocco nord della Galleria Montebonello è stato considerato un approccio che analizza le possibili instabilità dei cunei che risultano dall'intersezione dei giunti appartenenti alle principali famiglie di discontinuità (cfr. elaborato di progetto **T00GE03GETRE02** - "Relazione geomeccanica").

9.2.2 **Viadotto Argomenna e Viadotto Sieve 2**

L'opera di attraversamento dell'Argomenna si sviluppa per una lunghezza di 198 m. L'opera è costituita da n.4 campate isostatiche poggianti su due spalle e tre pile, con le seguenti luci: 44+55+55+44 m. Le fondazioni sono su pali grande diametro e la Spalla 2 del viadotto coincide con l'imbocco sud della galleria artificiale di Montebonello.

La determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità degli ammassi rocciosi nei quali verranno realizzate le fondazioni profonde (micropali o pali a grande diametro) dei viadotti Argomenna e Sieve 2 è stata eseguita anch'essa con il software *Roclab*, assegnando il valore di GSI di riferimento nell'area dei viadotti e un valore di copertura di 10 m rispetto al p.c. (utilizzando sempre l'opzione *Tunnels*), in modo da ricavare i parametri di resistenza nel giusto intervallo dell'involuppo di rottura.

Nella **Tabella 9-2** sono riepilogati i valori ricavati per le pile e le spalle dei due viadotti, dove i parametri sono espressi sia in condizioni di picco che residue, queste ultime utilizzabili per le condizioni di ammasso roccioso alterato presente nei primi metri di profondità appena al di sotto dei depositi alluvionali.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGRO	 sinèrgo	B	98 di 351
		 VA D_VisionArchitecture		Data 02/2024	

		Viadotto Argomena		Viadotto Sieve 2	
		Spalla 1 Pile 1, 2 e 3	Spalla 2	Spalla 1	Pile 1-6 Spalla 2
Unità		GLG	PLO	PLO	
copertura max.	[m]	10	10	10	10
sci	[MPa]	18,0	46,5	46,5	46,5
gn	[kN/m ³]	26	26	26	26
mi	[-]	7	7	7	7
Ei	[MPa]	4680	8150	8150	8150
GSI	[-]	40	40	50	40
gn	[kN/m ³]	25	25	25	25
c	[kPa]	102	213	388	213
phi	[°]	51	57	57	57
sc	[MPa]	0,60	1,54	2,80	1,54
scm	[MPa]	2,11	5,45	6,86	5,45
Erm	[MPa]	747	1301	2504	1301
GSI res	[-]	23	23	26	23
gn	[kN/m ³]	25	25	25	25
c res	[kPa]	51	84	99	84
phi res	[°]	46	52	53	52
sc res	[MPa]	0,18	0,48	0,60	0,48
scm res	[MPa]	1,34	3,45	3,79	3,45
Erm res	[MPa]	250	436	517	436

Tabella 9-2 – Caratterizzazione geomeccanica dei Viadotti Argomena e Sieve 2: parametri di resistenza e di deformabilità dell'ammasso roccioso a partire dai valori di resistenza e deformabilità della roccia intatta

Come anticipato in precedenza, ulteriori dettagli sulla procedura che ha portato a definire i parametri d'ammasso succitati sono definiti nell'elaborato di riferimento **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”.

9.3 Proprietà fisiche delle unità geotecniche: risultati delle prove di identificazione

Per la definizione delle proprietà fisiche dei terreni coinvolti nelle opere all'aperto sono stati considerati i risultati delle prove di identificazione eseguite in laboratorio sui campioni dei sondaggi disponibili per la campagna di indagine eseguita.

In particolare, per ogni campione sottoposto a prova, sono stati raccolti i risultati delle seguenti prove di identificazione geotecnica:

- determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- determinazione dei limiti di Atterberg (limite liquido, limite plastico, indice di plasticità);
- analisi granulometrica (% AGI delle diverse classi granulometriche);
- contenuto di materiale fine (< 0.075 mm);
- classificazione AGI, USCS e CNR-UNI.

Di seguito si riportano, per ogni campione sottoposto a prova, le tabelle riepilogative per ogni unità geotecnica, contenenti i risultati delle prove di identificazione di cui sopra.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 99 di 351
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLEA AMBIENTE	Data 02/2024	
		sinergo	D_VA D Vision Architecture	

Profondità media campione [m]	Unità geotecnica [-]	Sondaggio [-]	Campione indisturbato [-]	Profondità [m]	Peso specifico dei grani γ_s [kN/m ³]	Peso di volume naturale γ_N [kN/m ³]	Peso di volume secco γ_o [kN/m ³]	Contenuto naturale d'acqua W_N [%]	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica					Classificazione CNR-UNI [-]	Classificazione AGI [-]	Classificazione USCS [-]	
									W_L [%]	W_p [%]	IP [%]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	< 0.075 mm [%]				
4,75	bn	SN01DH	R1	4,00	5,50	26,44			26	19	7	8	47	34	11	48	A4	S,L(A)[G]	SC-SM	
8,25	bn	SN01DH	R2	8,00	8,50	26,58			31	19	7	59	26	12	3	16	A 2-4	G,S(L)[A]	GM	
2,63	bn	SN02DH	R1	2,40	2,85	26,58			25	19	6	58	25	14	3	18	A 2-4	G,S(L)[A]	GC-GM	
6,53	bn	SN02DH	R2	6,30	6,75	26,37			24	19	5	58	23	15	4	19	A 2-4	G(S,L)[A]	GC-GM	
3,55	bn	SN04PZ	R1	3,35	3,75	26,56			25	19	6	57	25	14	4	20	A 2-4	G,S(L)[A]	GC-GM	
7,25	bn	SN04PZ	R2	7,00	7,50	26,52			16	ND	NP	68	29	2	1	3	A 1-a	G,S(L)[A]	GC-GM	
3,25	bn	SN08PZ	R1	3,00	3,50	26,84			28	22	6	38	28	24	10	37	A 4	G,S(L,A)	GC	
6,25	bn	SN08PZ	R2	6,00	6,50	26,77			28	23	5	46	23	23	8	32	A 2-4	G(S,L)[A]	SM	
3,75	bn	SN10DH	R1	3,50	4,00	26,38			36	30	6	64	24	8	4	13	A 2-4	G(S)[L,A]	GM	
7,25	bn	SN10DH	R2	7,00	7,50	26,31			28	23	5	67	20	9	4	14	A 2-4	G(S)[L,A]	GM	
3,25	bn	SN11DH	R1	3,00	3,50	26,93			39	34	5	65	22	8	5	14	A 2-4	G(S)[L,A]	GM	
5,50	bn	SN11DH	R2	5,30	5,70	27,07			33	27	6	59	23	13	5	19	A 2-4	G(S,L)[A]	GM	
4,75	bn	SN17DH	R1	4,50	5,00	26,34			28	20	9	47	27	21	5	27	A 2-4	G,S(L)[A]	GC	
7,25	bn	SN17DH	R2	7,00	7,50	26,51			28	22	6	42	33	20	5	26	A 2-4	G,S(L)[A]	GC-GM	
3,15	bn	SN18DH	I1	3,00	3,30	26,83	20,72	17,91	15,7	29	23	6	34	35	22	9	34	A2-4	S,G(L)[A]	SM
6,75	bn	SN18DH	R1	6,50	7,00	26,61			26	21	5	53	31	13	3	18	A 2-4	G,S(L)[A]	SC-CM	
2,25	bn	SN19DH	R1	2,00	2,50	26,03			33	30	3	45	26	25	4	31	A 2-4	G,S,L[A]	SM	
4,75	bn	SN19DH	R2	4,50	5,00	26,62			34	23	11	16	32	38	14	59	A6	L,S(G,A)	CL	
0,85	bn	SN20DH	R1	0,70	1,00	26,08			35	24	11	35	32	26	7	35	A2-4	G,S,L[A]	GC	
3,85	bn	SN20DH	R2	3,70	4,00	26,06			42	22	20	1	22	47	30	82	A7-6	L,A(S)[G]	CL	
6,10	bn	SN20DH	I1	6,00	6,20	26,72	20,00	16,66	20,0	37	23	14	53	26	17	4	22	A 2-4	G,S(L)[A]	GC
0,75	bn	PE02	R1	0,50	1,00	26,24			27	21	6	3	44	38	15	57	A4	S,L(A)[G]	CL-ML	
1,75	bn	PE02	R2	1,50	2,00	26,29			ND	ND	NP	0	46	40	14	60	A4	S,L(A)	ML	
0,75	bn	PE03	R1	0,50	1,00	26,33			29	19	10	4	42	34	20	58	A4	S,L(A)[G]	CL	
1,75	bn	PE03	R2	1,50	2,00	25,80			29	21	8	46	30	18	6	25	A 2-4	G,S(L)[A]	GC	
0,75	bn	PE04	R1	0,50	1,00	25,87			33	24	6	70	16	10	4	15	A 2-4	G(S,L)[A]	GM	
1,75	bn	PE04	R2	1,50	2,00	26,61			30	24	6	55	25	15	5	22	A 2-4	G,S(L)[A]	GM	
0,75	bn	PE08	R1	0,50	1,00	25,78			44	21	23	14	26	29	31	61	A7-6	A,L,S(G)	CL	
1,75	bn	PE08	R2	1,50	2,00	26,15			31	24	23	30	31	26	13	42	A6	S,G,L(A)	SC	
0,75	bn	PE09	R1	0,50	1,00	25,83			37	25	12	0	25	52	23	80	A6	L,S(A)	ML	
1,75	bn	PE09	R2	1,50	2,00	25,87			34	22	12	1	41	36	22	64	A6	S,L(A)[G]	CL	

Figura 9-7 - Prove di identificazione geotecnica sui campioni appartenenti all'unità geotecnica "bn" – Risultati

Profondità media campione [m]	Unità geotecnica [-]	Sondaggio [-]	Campione indisturbato [-]	Profondità [m]	Peso specifico dei grani γ_s [kN/m ³]	Peso di volume naturale γ_N [kN/m ³]	Peso di volume secco γ_o [kN/m ³]	Contenuto naturale d'acqua W_N [%]	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica					Classificazione CNR-UNI [-]	Classificazione AGI [-]	Classificazione USCS [-]	
									W_L [%]	W_p [%]	IP [%]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	< 0.075 mm [%]				
1,35	b2	SN12DH	R1	1,00	1,70	27,3			42	27	15	35	24	31	10	43	A 7-6	G,L(A,S)	GM	
2,80	b2	SN13PZ	R1	2,60	3,00	27,10			48	24	24	40	14	29	17	47	A 7-6	G,L(A,S)	GC	
5,30	b2	SN13PZ	I1	5,00	5,60	26,35	19,69	15,89	23,90	54	25	29	0	1	49	50	99	A 7-6	A,L(S)	CH

Figura 9-8 - Prove di identificazione geotecnica sui campioni appartenenti all'unità geotecnica "b2" – Risultati

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLEA AMBIENTE	B	100 di 351
			Data 02/2024	

Profondità media campione [m]	Unità geotecnica	Sondaggio	Campione indisturbato	Profondità [m]	Peso specifico dei grani γ_s [kN/m ³]	Peso di volume naturale γ_N [kN/m ³]	Peso di volume secco γ_D [kN/m ³]	Contenuto naturale d'acqua W_N [%]	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica					Classificazione CNR-UNI	Classificazione AGI	Classificazione USCS
									W_L [%]	W_P [%]	IP [%]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	< 0.075 mm [%]			
1,90	fa	SN06IN	R1	1,80	2,00	25,63			57	27	30	23	24	27	26	54	A 7-6	L,A(S,G)	CH
4,70	fa	SN06IN	I1	4,50	4,90	26,05	19,27	27,0	48	30	18	2	18	58	22	82	A7-5	L(A,S)(G)	ML
1,20	fa	SN07IN	R1	1,00	1,40	25,04			53	23	30	43	20	20	17	37	A7-6	G(S,L,A)	GC
3,25	fa	SN07IN	I1	3,00	3,50	26,08	19,99	16,77	51	30	21	17	20	45	18	64	A7-5	L(S,A,G)	MH
6,75	fa	SN07IN	I2	6,50	7,00	26,25	20,32	17,37	54	28	26	7	20	48	25	74	A7-5	L(A)(S)(G)	CH

Figura 9-9 - Prove di identificazione geotecnica sui campioni appartenenti all'unità geotecnica "fa" – Risultati

Profondità media campione [m]	Unità geotecnica	Sondaggio	Campione indisturbato	Profondità [m]	Peso specifico dei grani γ_s [kN/m ³]	Peso di volume naturale γ_N [kN/m ³]	Peso di volume secco γ_D [kN/m ³]	Contenuto naturale d'acqua W_N [%]	Limiti di Atterberg			Composizione granulometrica					Classificazione CNR-UNI	Classificazione AGI	Classificazione USCS
									W_L [%]	W_P [%]	IP [%]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	< 0.075 mm [%]			
4,40	ACC-alt	SN03DH	R1	4,20	4,60	25,61			28	22	6	51	24	18	7	A 2-4	A 1-a	G,S(L)(A)	GC-GM
4,83	ACC-alt	SN03DH	I1	4,65	5,00	26,61	19,61	15,42	52	27	25	5	26	40	29	A 7-6	A 7-6	L,A(S)(G)	CH
7,75	ACC-alt	SN03DH	R2	7,50	8,00	26,12			34	21	13	24	36	23	17	A6	A6	S(G,L,A)	SC
18,90	ACC-alt	SN03DH	I2	18,50	19,30	27,17	21,88	18,86	48	24	24	0	5	60	35	A 7-6	A 7-6	L,A(S)	CL
6,65	ACC-alt	SN05PZ	R1	6,50	6,80	26,16			42	27	15	0	20	56	24	A 7-6	A 7-6	L(A,S)	ML
11,80	ACC-alt	SN05PZ	R2	11,60	12,00	27,03			39	22	18	2	16	55	27	A6	A6	L,A(S)(G)	CL
16,78	ACC-alt	SN05PZ	R3	16,55	17,00	26,84			32	23	9	1	24	59	16	A4	A4	L(S,A)(G)	CL
22,35	ACC-alt	SN06IN	I2	21,60	23,10	27,57	21,17	18,84	31	22	9	13	46	38	3	A4	A4	S,L(A)	SC
13,75	ACC-alt	SN07IN	I3	13,00	14,50	26,60	21,93	19,70	31	22	9	2	17	71	10	A4	A4	L(S,A)(G)	CL
19,30	ACC-alt	SN07IN	I4	18,60	20,00	26,35	20,63	18,78	34	23	11	25	33	30	12	A6	A6	S,L,G(A)	SC
9,75	ACC-alt	SN08PZ	R3	9,50	10,00	26,93			26	21	5	78	7	12	3	A 2-4	A 1-a	G(L)(S,A)	SC-SM
14,75	ACC-alt	SN08PZ	R4	14,50	15,00	26,98			38	22	16	2	18	53	27	A 6	A 6	L,A(S)(G)	CL

Figura 9-10 - Prove di identificazione geotecnica sui campioni appartenenti all'unità geotecnica "ACC alt" – Risultati

Analizzando quanto eseguito per la campagna di indagine, ovvero le prove di laboratorio su n. 53 campioni distribuiti nelle diverse verticali di sondaggio e pozzetti esplorativi, è emerso che la maggior parte di questi risultano appartenere all'unità geotecnica dei depositi alluvionali terrazzati (unità "bn"): tali campioni sono prevalentemente ghiaie con sabbie limose o sabbie con ghiaia limose, talora debolmente argillose, solo subordinatamente limi con sabbia argillosi. L'indice di plasticità di tutti i campioni è risultato essere sempre inferiori o prossimi al 20% e talvolta a i campioni sono risultati non plastici. Secondo la classificazione USCS, i campioni analizzati risultano per la maggior parte GM o GC-GM, subordinatamente SC-SM e CL. Secondo la classificazione CNR-UNI, invece, i campioni risultano perlopiù A 2-4, subordinatamente A 4 e A 7-6.

Soltanto n.3 campioni sono rappresentativi dell'unità geotecnica "b2" (depositi eluvio-colluviali) e tali campioni sono risultati molto eterogenei, passando da ghiaie con limi argillosi e sabbiosi ad argille con limi debolmente sabbiosi nelle porzioni meno superficiali della coltre. In ogni caso la porzione di materiale fine è sempre presente e considerando la classificazione CNR-UNI, infatti, tutti i campioni sono risultati appartenere alla classe A 7-6.

L'unità geotecnica dei depositi di frana "fa" è rappresentata da campioni eterogenei costituiti da limi con argilla e limi con sabbia argillosa, talora debolmente ghiaiosi. Soltanto un campione molto superficiale è risultato essere una ghiaia

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGOSTO	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

sabbiosa limosa argillosa. La percentuale di fine è sempre presente oltre il 50% e secondo la classificazione CNR-UNI i campioni risultano essere nel complesso A 7-6 e A 7-5.

La porzione alterata dell'unità rocciosa delle argille e calcari di Canèto, identificata come “**ACC alt**” è costituita di fatto da campioni di terreno sovraconsolidato, rappresentati nei diversi sondaggi alle diverse profondità prevalentemente da limi con argilla sabbiosi, talora debolmente ghiaiosi, subordinatamente da sabbie con limi argillosi. L'indice di plasticità di tutti i campioni è risultato essere variabile tra 5% e 25%, segno di una medio-bassa plasticità. Secondo la classificazione USCS, i campioni analizzati risultano per la maggior parte CL, subordinatamente ML, CH e SC-SM. Secondo la classificazione CNR-UNI, invece, i campioni risultano variabili tra A 4, A 6 e A 7-6, solo subordinatamente A 2-4.

Nella tabella di seguito si riassumono le caratteristiche fisiche desunte dai risultati delle prove di identificazione per le principali unità geotecniche. Tali risultati sono riportati anche nei grafici di **Appendice 1 (punto 19)**.

9.4 Proprietà meccaniche delle unità geotecniche dai risultati delle prove SPT e dalle prospezioni sismiche down-hole

Le proprietà meccaniche delle diverse unità geotecniche riconosciute sono state desunte in primis dai risultati delle prove SPT a disposizione nelle diverse unità.

Inoltre, come anticipato al **punto 3.1**, nell'ambito della campagna geognostica eseguita sono state eseguite prospezioni sismiche down-hole per la determinazione diretta delle velocità delle onde di taglio. In particolare, sono state eseguite n. 11 prospezioni sismiche down-hole in corrispondenza delle verticali di sondaggio di seguito indicate, spinte fino a 35 m ciascuna e in relazione al tipo di opera coinvolta. I risultati di tali prospezioni, utili alla definizione delle diverse categorie di sottosuolo così come definito al **punto 7.8.2**, sono stati considerati unitamente ai risultati delle prove SPT a disposizione per definire in maniera esaustiva le proprietà meccaniche delle diverse unità geotecniche riconosciute.

Di seguito si riporta una sintesi di tali proprietà mentre in **Appendice 1 (punto 19)** vi sono riportati i grafici.

Unità “bn” – Depositi alluvionali terrazzati

Resistenza alla penetrazione dinamica NSPT	=	5 ÷ 60	colpi/30cm
Densità relativa DR	=	45 ÷ 100	%
Angolo di attrito efficace ϕ'	=	34 ÷ 42	°
Modulo di elasticità a grandi deformazioni E'25	=	10 ÷ 30	MPa

Unità “fa” – Depositi di frana

Resistenza alla penetrazione dinamica NSPT	=	9 ÷ 28	colpi/30cm
Coesione non drenata	=	54 ÷ 168	KPa
Modulo edometrico	=	5 ÷ 17	MPa

Unità “ACC alt” – Argille e Calcari di Canèto alterati

Resistenza alla penetrazione dinamica NSPT	=	8 ÷ 46	colpi/30cm
--	---	--------	------------

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D.VisionArchitecture		B	102 di 351
				Data 02/2024	

Coesione non drenata = 48 ÷ 276 KPa

Modulo edometrico = 5 ÷ 60 MPa

9.5 Proprietà meccaniche delle unità geotecniche dalle prove edometriche

I risultati delle n. 6 prove edometriche, eseguite sui campioni prelevati in ciascuna verticale di sondaggio, hanno consentito di determinare i valori di modulo edometrico delle diverse unità riconosciute.

Profondità media campione	Unità geotecnica	Sondaggio	Campione	Profondità		Prova di compressibilità edometrica	
						intervallo di carico [KPa]	Modulo E _d [MPa]
[m]	[-]	[-]	[-]	[m]	[m]	[KPa]	[MPa]
4,83	ACC alt	SN03DH	I1	4,65	5,00	100-200	4,6
4,70	fa	SN06IN	I1	4,50	4,90		10,7
3,25	fa	SN07IN	I1	3,00	3,50		10,7
6,75	fa	SN07IN	I2	6,50	7,00		7,7
5,30	b2	SN13PZ	I1	5,00	5,60		8,6
3,15	bn	SN18DH	I1	3,00	3,30		6,2

Figura 9-11 – Risultati delle prove edometriche

In generale, per l'unità dei depositi di frana (**fa**) i valori di modulo edometrico E_d ottenuti dalle prove in questa unità hanno evidenziato valori prossimi a 10 MPa per l'intervallo di carico 100-200 KPa. Di poco inferiore il valore di modulo edometrico ottenuto a parità di carico per il campione rappresentativo dell'unità della coltre eluvio-colluviale **b2**, risultato pari a 8 MPa circa. La fascia di alterazione delle argille e calcari di Canèto **ACC alt**, per profondità simili e quindi per medesimo intervallo di carico denota valori di modulo edometrico prossimi a 5 MPa, mentre è di circa 6 MPa il valore di modulo risultante dalla prova edometrica eseguita in un campione all'interno dell'unità dei depositi alluvionali terrazzati (**bn**).

9.6 Permeabilità delle unità geotecniche

I risultati delle prove di permeabilità tipo Lefranc nei tratti terrigeni e i risultati delle prove di tipo Lugeon eseguite sugli spezzoni lapidei, a diverse profondità all'interno delle verticali di indagine della recente campagna geognostica, consentono di determinare il valore del *coefficiente di permeabilità K* dei terreni e delle rocce.

Il modello idrogeologico proposto al **punto 6** deriva dalla attribuzione del valore qualitativo del grado di permeabilità, assunto dalla letteratura tecnica, a ciascuna delle unità litostratigrafiche discriminate, unitamente a quanto rinvenuto dalle prove di permeabilità di cui sopra.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di coefficiente di permeabilità K derivante dalle prove eseguite in ciascun tratto e viene attribuito a ciascuna unità geotecnica di riferimento. Per le prove Lugeon si rimanda all'elaborato **T00GE03GETRE02** – “Relazione geomeccanica”.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLEA AMBIENTE	B	103 di 351
			Data 02/2024	

Unità	Sondaggio	Litologia	Prof. Prova			K	
			[m]	[m]	[m]	[cm/s]	[m/s]
bn	SN01-DH	sabbia con ghiaia debolm. limosa	4,50	5,00	4,75	1,1E-03	1,1E-05
bn	SN02-DH	sabbia con ghiaia	5,50	6,00	5,75	5,5E-04	5,5E-06
bn	SN04-PZ	ghiaia sabbiosa	4,10	5,00	4,55	4,9E-04	4,9E-06
ACC alt	SN03-DH	sabbia argillosa	5,60	6,50	6,05	2,7E-05	2,7E-07
ACC alt	SN05-PZ	sabbia limosa	5,50	6,00	5,75	7,8E-05	7,8E-07
fa	SN06-IN	limo sabbioso	5,50	6,00	5,75	4,6E-04	4,6E-06
fa	SN07-IN	limo con sabbia argilloso	4,20	4,70	4,45	3,6E-05	3,6E-07
bn	SN08-PZ	ghiaia con sabbia limosa	5,50	6,00	5,75	2,6E-05	2,6E-07
GLG alt	SN09-DH	siltite alterata	4,10	4,50	4,30	2,2E-04	2,2E-06
bn	SN10-DH	sabbia con ghiaia limosa	7,30	7,50	7,40	1,6E-03	1,6E-05
bn	SN11-DH	ghiaia con sabbia debolm. limosa	4,30	4,50	4,40	9,5E-04	9,5E-06
bn		ghiaia con sabbia limosa	5,70	6,00	5,85	7,3E-04	7,3E-06
bn	SN17-DH	ghiaia sabbiosa	4,40	5,00	4,70	5,3E-05	5,3E-07
bn	SN18-DH	ghiaia sabbiosa	5,50	6,00	5,75	1,8E-04	1,8E-06
bn	SN19-DH	sabbia con ghiaia limosa	4,10	5,00	4,55	3,8E-06	3,8E-08
bn	SN20-DH	limo sabbioso debolm. ghiaioso	4,50	5,00	4,75	1,1E-04	1,1E-06

Figura 9-12 – Risultati delle prove di tipo Lefranc in termini di coefficiente di permeabilità K nelle diverse unità

Questi risultati, unitamente alle analisi bibliografiche succitate, consentono di dettagliare meglio il range di permeabilità delle unità geotecniche coinvolte nell'area di studio.

Sono stati identificati innanzitutto terreni che mostrano una permeabilità primaria per porosità in genere medio-bassa, e comunque variabile da media a molto bassa a seconda della granulometria prevalente dei depositi. I terreni permeabili per porosità sono rappresentati nell'area in esame dai depositi alluvionali terrazzati (**bn**) ed eluvio-colluviali (**b2**), oltreché dai depositi antropici (**r**). L'unità dei depositi alluvionali terrazzati "bn" è anche la più rappresentata nelle diverse prove, per le quali si fornisce un grafico in **Figura 9-13** con la rappresentazione dei coefficienti di permeabilità K (m/s) delle prove eseguite, in relazione alla profondità dei terreni appartenenti all'unità stessa, evidenziando il range dei valori caratteristici rappresentativi dell'unità stessa.

I rimanenti terreni possono essere identificati come mediamente o molto impermeabili, ovvero sono rappresentati dalle litologie nelle quali si verifica una circolazione idrica praticamente trascurabile e che per tali caratteristiche fungono da substrato alle falde acquifere. In questa categoria si identificano tutti i terreni con facies costituite da una frazione argillosa prevalente e quindi le unità delle Argille e Calcari di Canetolo (**ACC**) e le Marne di Galiga (**GLG**). L'unità delle siltiti di Poggiolo Salaiole **PLO** denota permeabilità medie nelle porzioni superficiali mentre negli spezzoni lapidei più profondi, come si evince anche dalle prove Lugeon eseguite, denota valori di permeabilità molto maggiori a causa dell'elevato stato di compattazione dell'unità stessa.

Coefficiente di permeabilità da prove di permeabilità Lefranc
Unità "bn"

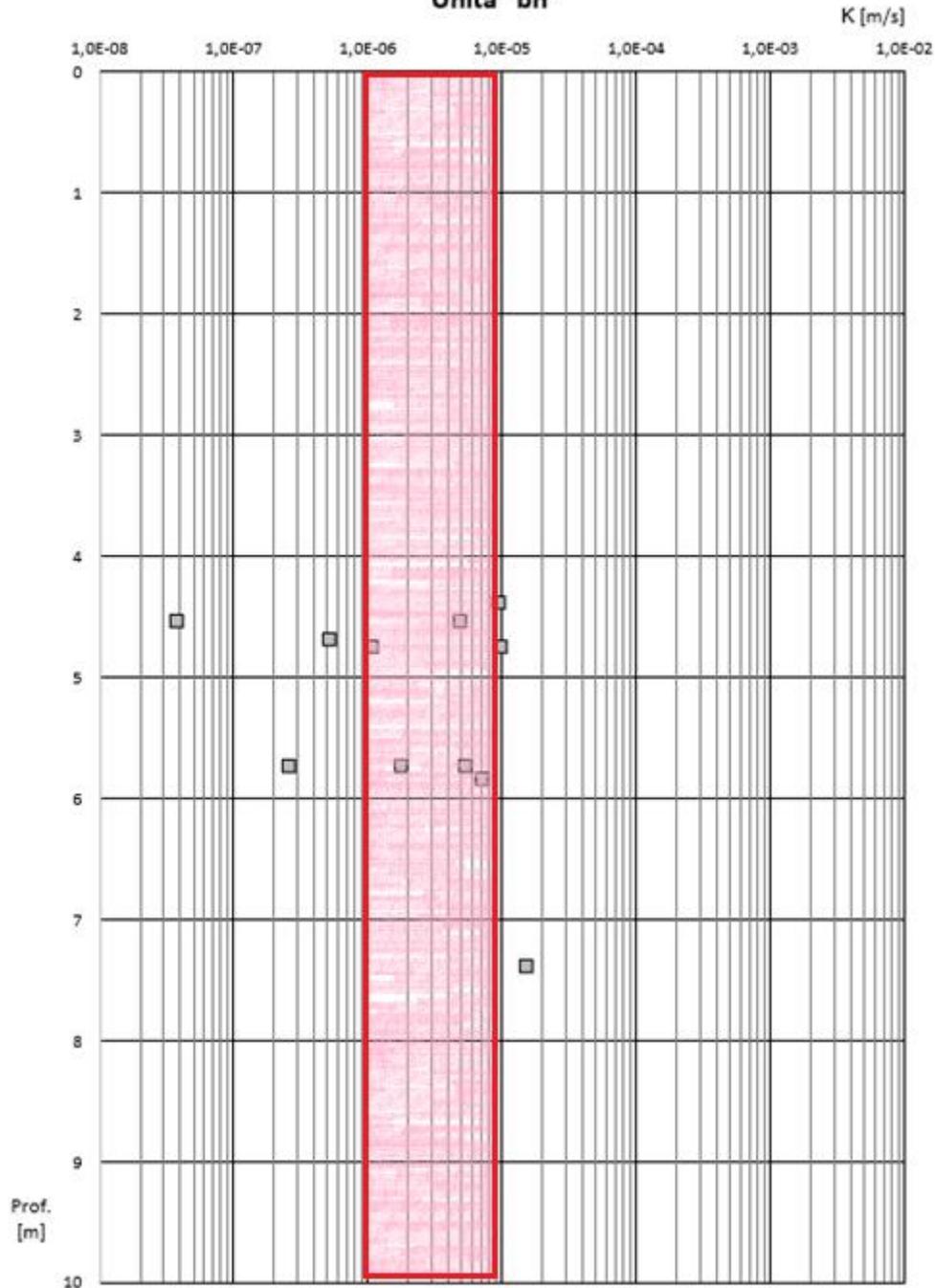


Figura 9-13 – Grafico con i risultati delle prove di tipo Lefranc in termini di coefficiente di permeabilità K per l'unità "bn" (in rosso il range di valori caratteristici rappresentativi dell'intervallo di permeabilità)

Nell'elaborato **T00GE01GEOCI01-03** – “**Carta idrogeologica**” (3 tavv.) allegata al progetto, sono stati rappresentati i range di permeabilità delle unità litostratigrafiche riconosciute, riportati anche nella figura sottostante.

In generale, il sottosuolo del tracciato in esame è caratterizzato nel complesso da unità geotecniche e geomeccaniche a permeabilità variabile, da **molto bassa** (*Argille e Calcari di Canetolo, ACC*) ad **alta-molto alta** (*Depositi alluvionali in evoluzione, b1*) con valori che variano rispettivamente tra 1E-07÷1E-08 m/s e 1E-03÷1E-04 m/s.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO	
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AGOSTO S.p.A.	sinèrgo	VA D.VisionArchitecture	B	105 di 351
					Data 02/2024	

	Unità Idrogeologiche	Unità Geologiche	Grado di permeabilità, k [m/s]			
			Molto Alto - Alto	Medio	Basso	Molto Basso
			1E-03 ÷ 1E-04	1E-05 ÷ 1E-06	1E-06 ÷ 1E-07	1E-07 ÷ 1E-08
Permeabilità primaria per porosità	Unità Idrogeologica 1 - UI1	Depositi alluvionali in evoluzione (b1)				
	Unità Idrogeologica 2 - UI2	Depositi alluvionali terrazzati (bn), rilevati antropici (h)				
	Unità Idrogeologica 3 - UI3	Depositi di versante, oltre eluvio-colluviale (b2)				
Permeabilità secondaria per fratturazione	Unità Idrogeologica 4 - UI4	Arenarie di M. Senario (SEN), Silti di Poggolo Salaiole (PLO), Marne di Galiga (GLG), Arenarie di M. Falterona - Membro di Montalto (FAL3)				
	Unità Idrogeologica 5 - UI5	Argille e calcari del Canetolo (ACC)				

Figura 9-14 – Unità idrogeologiche dell'area di progetto

9.7 Parametri di resistenza meccanica delle unità geotecniche dalle prove di taglio diretto e parametri di resistenza non drenata delle unità geotecniche dalle prove triassiali UU

I parametri di resistenza meccanica in termini di sforzi efficaci sono stati ottenuti a mezzo di prove di taglio diretto consolidate lente, eseguite nel corso della recente campagna di indagini geognostica.

I campioni sottoposti a prova sono stati distribuiti a diverse profondità nell'ambito delle differenti unità, in particolare per l'unità dei terreni di alterazione delle Argille e Calcari di Canetolo "ACC alt" e per i depositi di frana "fa" (oltre a un campione per l'unità "b2"). I risultati delle prove (cfr. anche tabella di Figura 9-15) hanno consentito di individuare il range di valori da cui ricavare i valori di resistenza caratteristici per le due unità geotecniche individuate.

Nel corso della recente campagna di indagini sono state eseguite anche prove triassiali non consolidate non drenate ("UU"). I campioni sottoposti a prova sono stati distribuiti a diverse profondità nell'ambito delle due medesime unità. I valori ricavati dalle prove eseguite in termini di coesione non drenata c_u sono stati distinti per ciascuna unità e rappresentati nella tabella sottostante.

Profondità media campione	Unità geotecnica	Sondaggio	Campione indisturbato	Profondità		TX-UU				
						TD		Coesione non drenata	Coesione drenata	Angolo di resistenza a taglio
[m]	[-]	[-]	[-]	[m]		c_u	c'	ϕ'	cr	ϕ_r
						[KPa]	[KPa]	[°]	[KPa]	[°]
4,83	ACC alt	SN03DH	I1	4,65	5,00	70-91				
18,90	ACC alt	SN03DH	I2	18,50	19,30		13,0	16,0		
22,35	ACC alt	SN06IN	I2	21,60	23,10		4,0	27,0		
13,75	ACC alt	SN07IN	I3	13,00	14,50		8,0	24,0		
19,30	ACC alt	SN07IN	I4	18,60	20,00		12,0	29,0		
5,30	b2	SN13PZ	I1	5,00	5,60		14,0	20,0		
4,70	fa	SN06IN	I1	4,50	4,90		7,0	26,0	0,0	25,0
3,25	fa	SN07IN	I1	3,00	3,50		7,0	34,0	0,0	28,0
6,75	fa	SN07IN	I2	6,50	7,00	123-215				

Figura 9-15 – Risultati delle prove di resistenza meccanica (prove di taglio diretto) e dalle prove di resistenza non drenata (prove triassiali UU)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	106 di 351
			Data 02/2024	

Di seguito si riportano quindi i range e relativi valori di resistenza caratteristici per le tre unità geotecniche di cui sopra, ricavati da tali prove:

Unità ACC alt – Argille e Calcari di Canèto alterati:

- $c' = 4 \div 10$ kPa;
- $\varphi' = 17 \div 30$ °
- valori caratteristici corrispondenti ai valori medi cautelativi: $c' = 7$ kPa, $\varphi' = 23$ °

Unità fa – Depositi di frana:

- $c' = 7$ kPa; $c_r = 0$ kPa;
- $\varphi' = 26 \div 34$ °; $\varphi_r = 25 \div 38$ °
- valori caratteristici corrispondenti ai valori medi/minimi: $c' = 7$ kPa, $\varphi' = 28$ °; $c_r = 0$ kPa, $\varphi_r = 25$ °

Unità b2 – Coltre eluvio-colluviale:

- $c' = 14$ kPa;
- $\varphi' = 20$ °
- valori caratteristici corrispondenti: $c' = 14$ kPa, $\varphi' = 20$ °

9.8 Grafici dei risultati delle prove in sito e di laboratorio eseguite con definizione dei valori caratteristici

Per la definizione dei parametri geotecnici caratteristici e, in particolare, dell'angolo di attrito efficace, della coesione non drenata e dei moduli di resistenza si è proceduto considerando, oltre alle prove di taglio diretto e alle prove triassiali non consolidate non drenate, i risultati delle prove SPT da cui è stato possibile ricavare i valori di tali parametri (cfr. **punto 9.4**).

Ciascun parametro caratteristico, o intervallo di valori caratteristici che contribuisce alla definizione del modello geotecnico, è stato evidenziato graficamente a confronto della nuvola di punti sperimentali esito delle prove di laboratorio e in sito eseguite sui campioni rappresentativi per le diverse unità (cfr. da **Tabella 9-3** a **Tabella 9-7**).

Sulla scorta di quanto evidenziato, per la sintesi dei valori caratteristici rappresentativi delle diverse unità, da utilizzare anche per le verifiche geotecniche di progetto, si rimanda al **punto 9.11**.

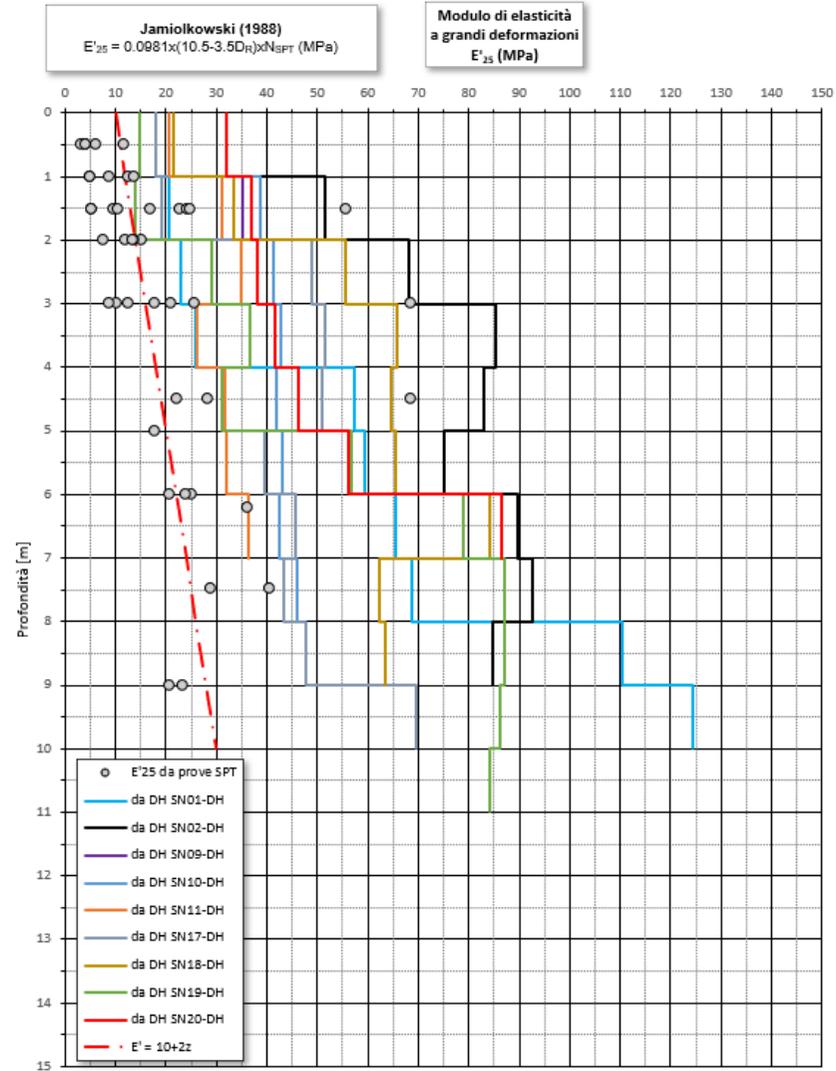
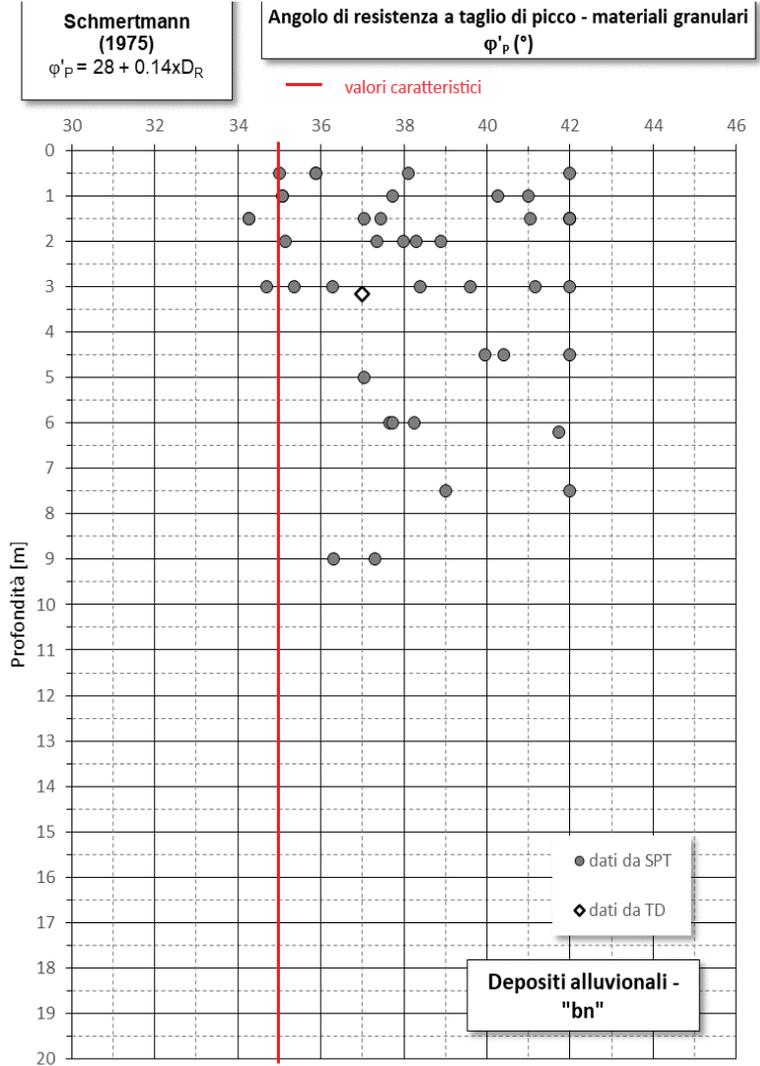
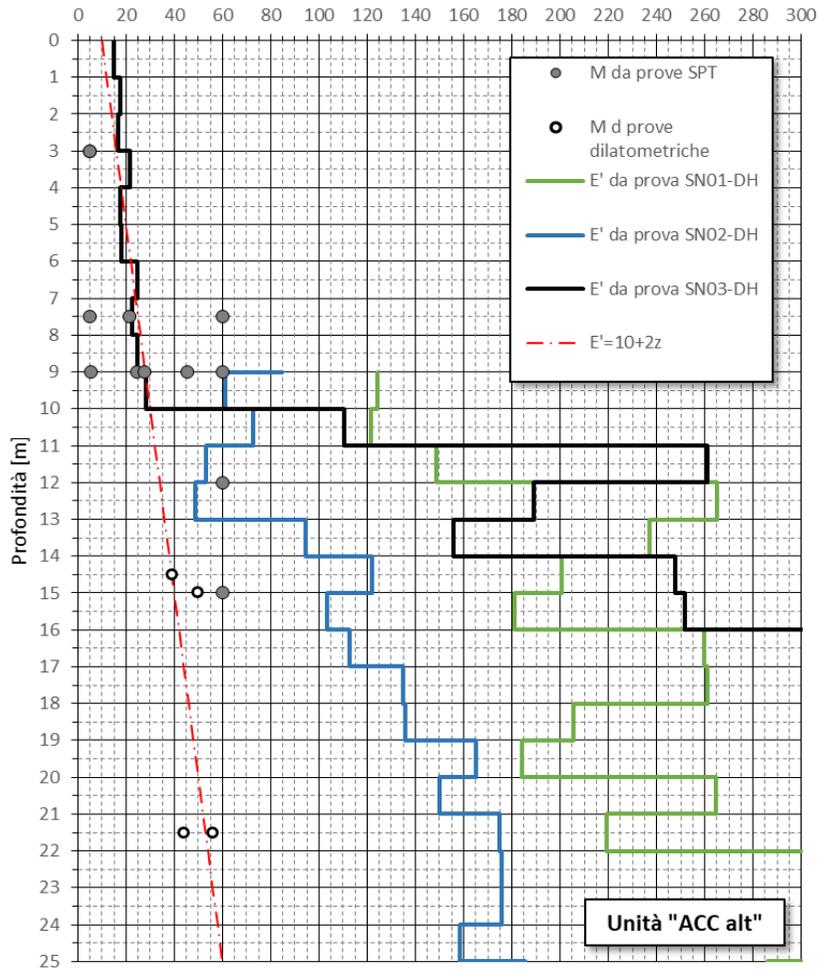


Tabella 9-3 – Risultati delle prove in sito e di laboratorio per la definizione dei range di valori caratteristici rappresentativi dell'unità geotecnica "bn"

Stroud e Butler (1975)
 $M_{ds} = 0.6 \times N_{SPT}$ (MPa)

Modulo edometrico
 M_{ds} (MPa)



Jamiolkowki, et al. (1985)
 $c_u (NC) = 0.2 \times \sigma'_{vo}$

range valori caratteristici

Coesione non drenata c_u (kPa)

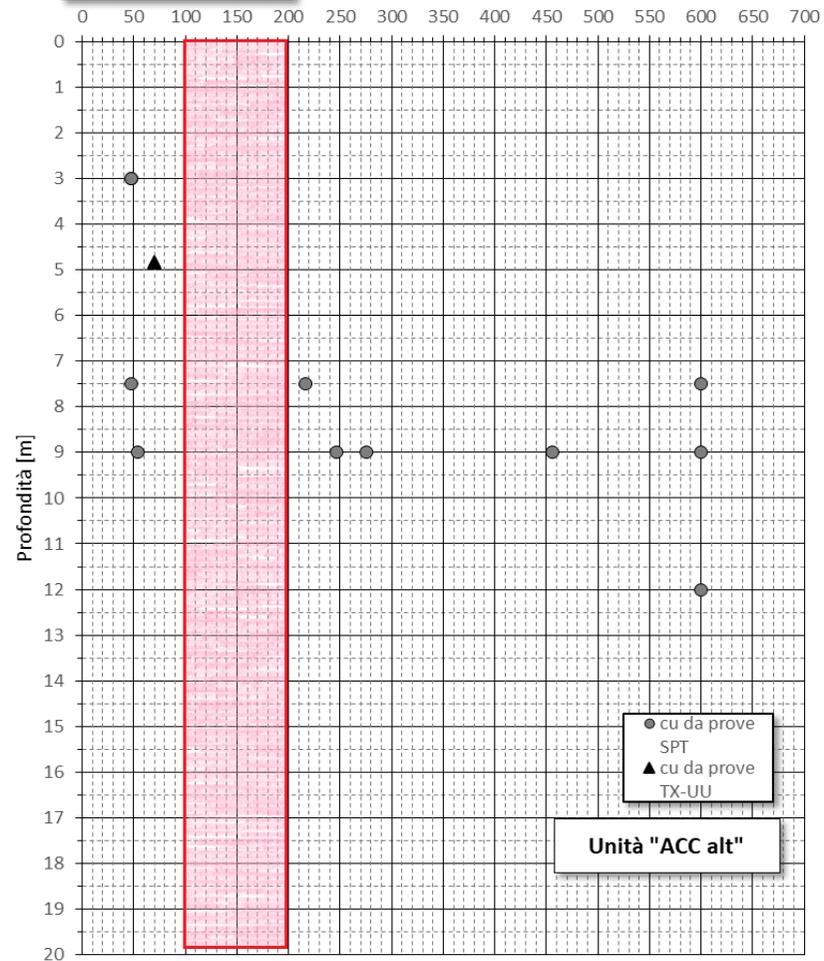


Tabella 9-4 – Risultati delle prove in sito e di laboratorio per la definizione dei range di valori caratteristici rappresentativi dell'unità geotecnica "ACC-alt"

Resistenza al taglio da prove di taglio diretto - Argille e calcari di Canetolo alterati (ACC alt)

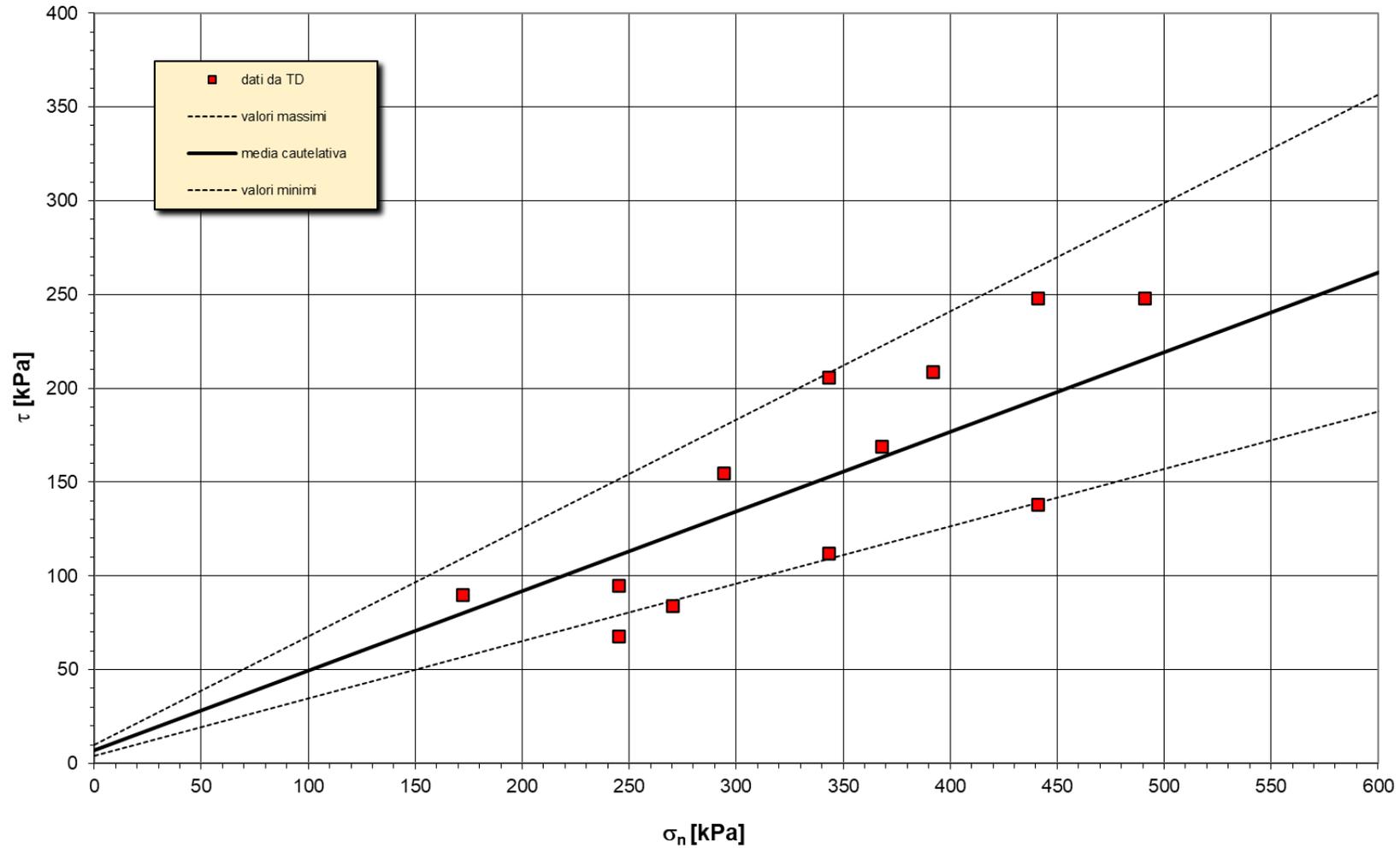


Tabella 9-5 - Risultati delle prove di laboratorio (TD) per la definizione di coesione e angolo di resistenza al taglio per l'unità geotecnica "ACC-alt"

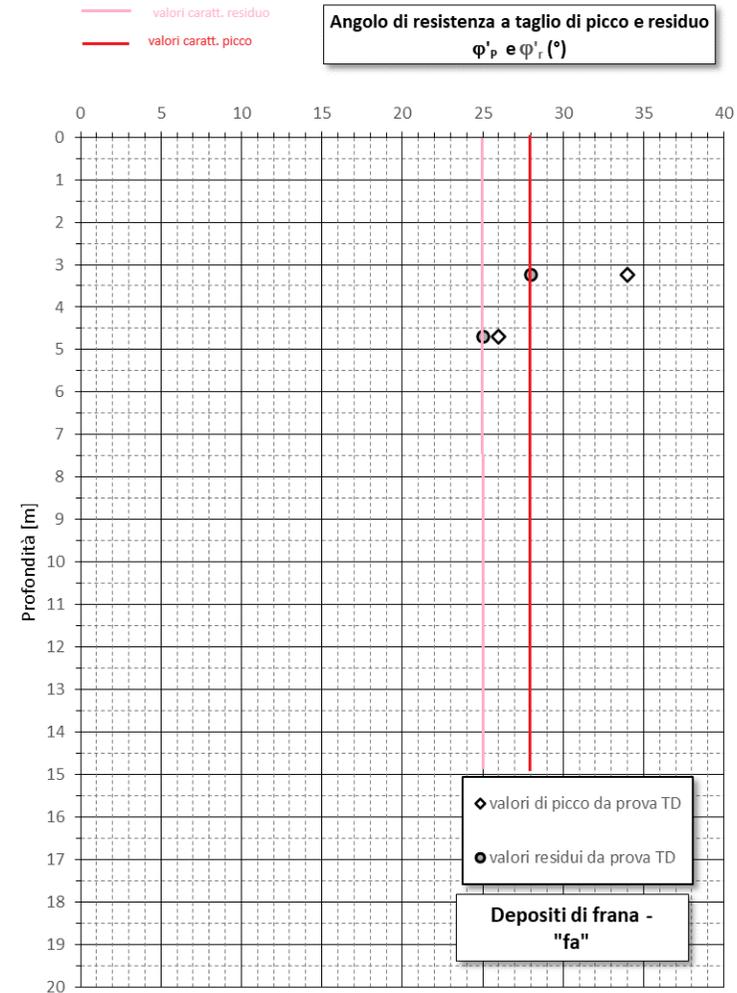
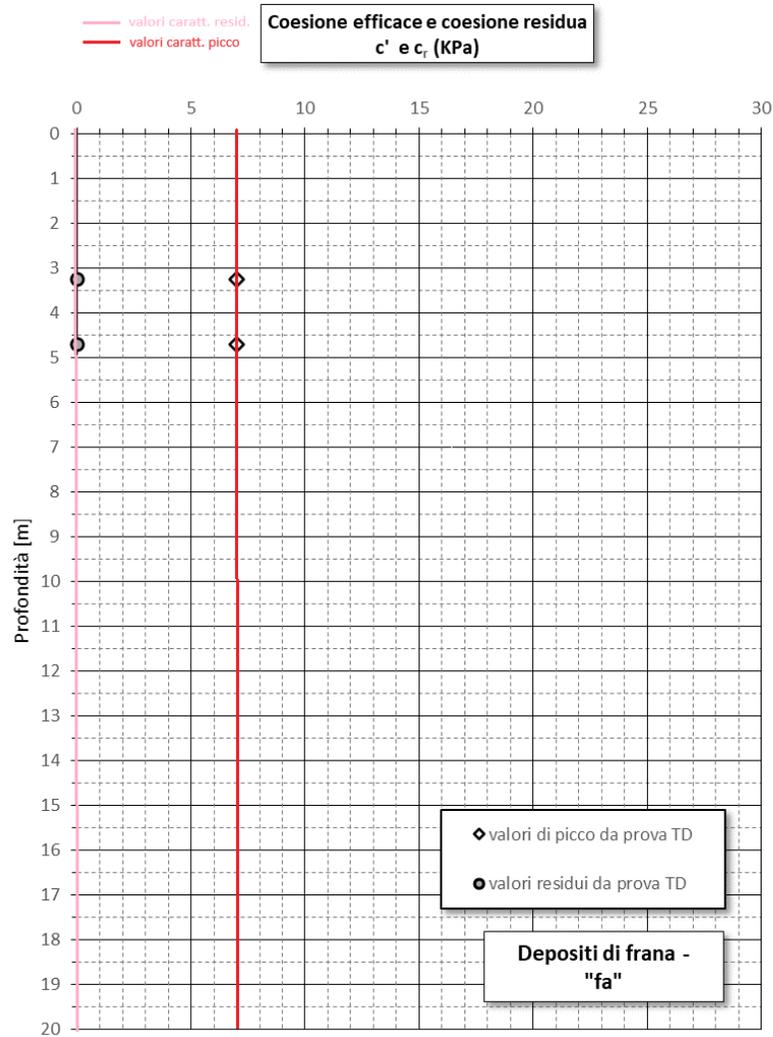


Tabella 9-6 - Risultati delle prove di laboratorio (TD) per la definizione di coesione e angolo di resistenza al taglio (efficaci e residue) per l'unità geotecnica "fa"

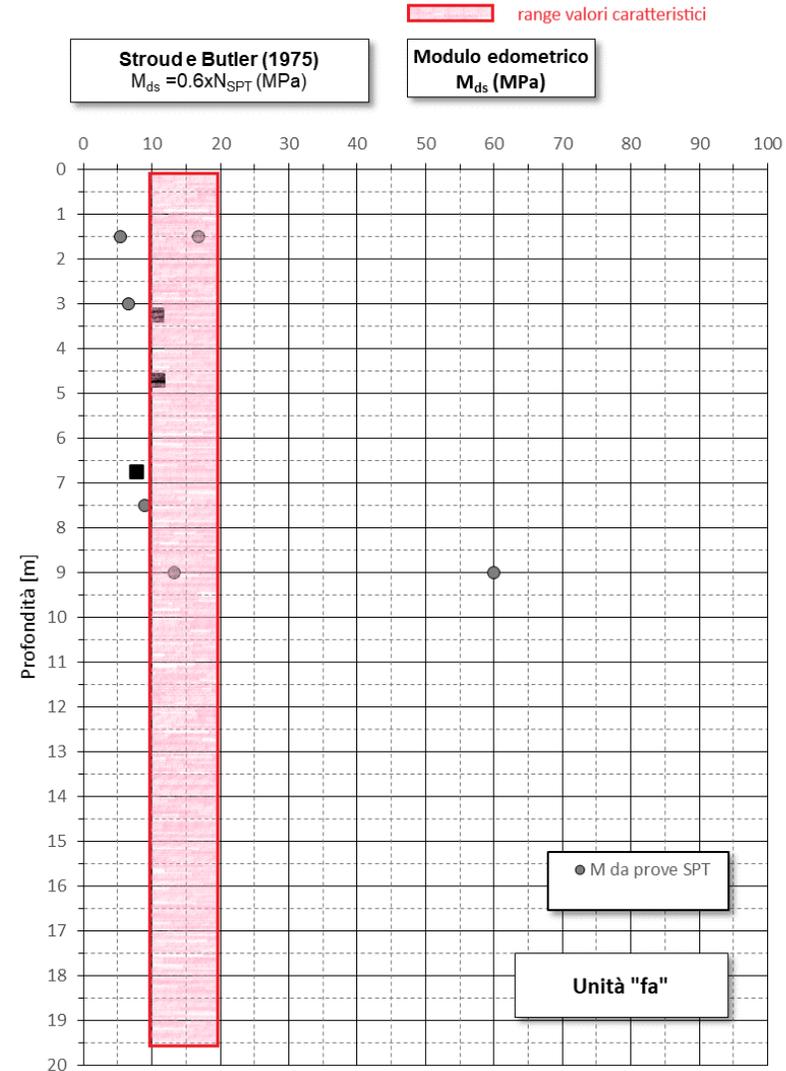
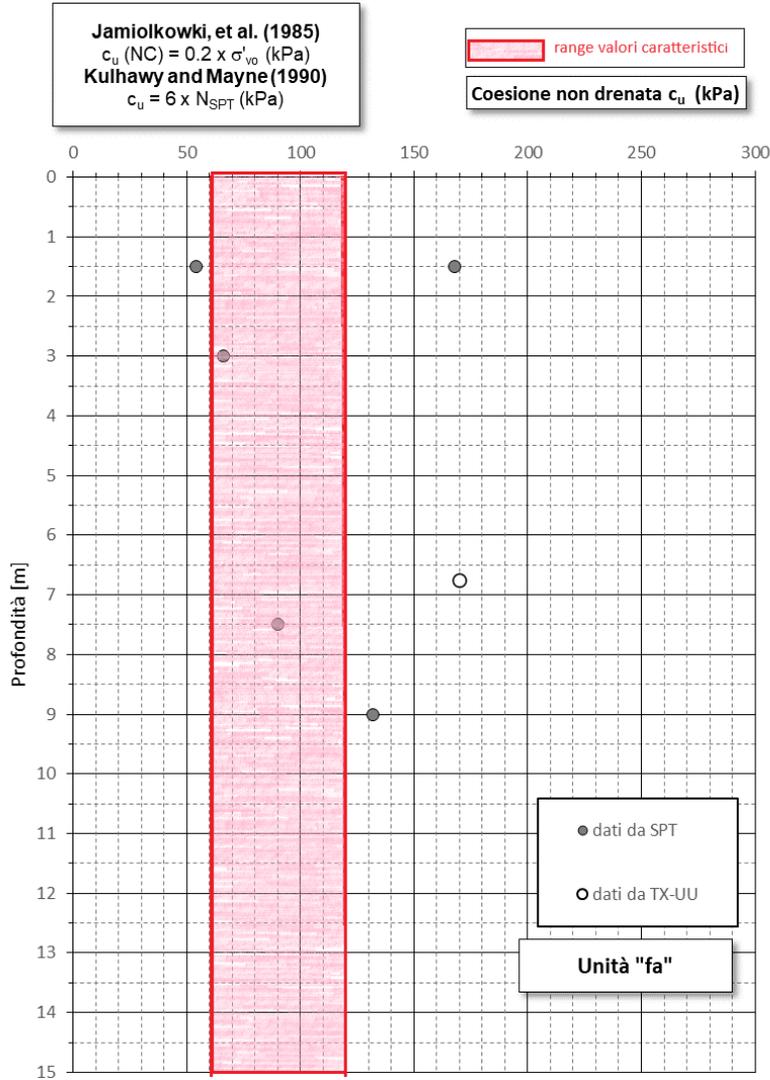


Tabella 9-7 - Risultati delle prove in sito e di laboratorio per la definizione dei range di valori caratteristici rappresentativi dell'unità geotecnica "fa"

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	112 di 351
			Data 02/2024	

9.9 Proprietà geotecniche dei depositi antropici (riporti stradali)

Non sono disponibili né prove di identificazione né prove meccaniche di resistenza sui materiali che costituiscono i rilevati stradali presenti nell'area e corrispondenti ai *depositi antropici (r)*. Tali materiali, presumibilmente non coesivi e con un buon grado di addensamento, possono essere caratterizzati, cautelativamente, con i seguenti parametri geotecnici:

- $\gamma_N = 19 \text{ KN/m}^3$
- $c' = 0 \text{ kPa}$
- $\varphi' = 35^\circ$
- $E = 20 \text{ MPa}$

9.10 Proprietà geotecniche dei materiali dei rilevati di nuova realizzazione

Per i nuovi rilevati, realizzati con materiali non coesivi con le caratteristiche di compattazione previste dalle specifiche tecniche di capitolato, in maniera cautelativa si possono ipotizzare i seguenti parametri geotecnici:

- $\gamma_N = 20 \text{ KN/m}^3$
- $c' = 0 \text{ kPa}$
- $\varphi' = 35^\circ$
- $E = 20 \text{ MPa}$

9.11 Sintesi dei parametri geotecnici (e geomeccanici) delle principali delle unità

A conclusione del processo di caratterizzazione geotecnica di cui ai punti precedenti, di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei principali parametri geotecnici (e geomeccanici) caratteristici delle diverse unità, da utilizzare per le verifiche di progetto.

Depositi antropici	Depositi alluvionali terrazzati	Coltre eluvio-colluviale	Depositi di frana	Argille e calcari di Canetolo alterati	Argille e calcari di Canetolo
r	bn	b2	fa	ACC alt	ACC
$\gamma_N = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_N = 18 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_N = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_N = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_N = 20 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_N = 21 \text{ KN/m}^3$
-	$\gamma_{\text{sat}} = 21 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_{\text{sat}} = 20 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_{\text{sat}} = 21 \text{ KN/m}^3$	$\gamma_{\text{sat}} = 22 \text{ KN/m}^3$
$c' = 0 \text{ KPa}$	$c' = 5 \text{ KPa}$	$c' = 14 \text{ KPa}$	$c' = 7 \text{ KPa}$	$c' = 7 \text{ KPa}$	$c' = 40 \text{ KPa}$
$\phi' = 35^\circ$	$\phi' = 35^\circ$	$\phi' = 20^\circ$	$\phi' = 28^\circ$	$\phi' = 23^\circ$	$\phi' = 30^\circ$
-	-	-	$c_r = 0 \text{ KPa}$	-	-
-	-	-	$\phi'_r = 25^\circ$	-	-
-	-	-	$c_u = 60 \div 120 \text{ KPa}$	$c_u = 100 \div 200 \text{ KPa}$	-
$E' = 20 \text{ MPa}$	$E' = 10+2z \text{ MPa}$	$E' = 15 \text{ MPa}$	$E' = 10 \div 20 \text{ MPa}$	$E' = 10+2z \text{ MPa}$	$E' = 60 \div 80 \text{ MPa}$

Opera	Viadotto Argomenna			Galleria Montebonello						Viadotto Sieve 2			
Opere minori e strutture	Spalla 1, Pila 1, Pila 2	Pila 3	Spalla 2	imbocco S [5-10 m]	min. copertura [10-20 m]	media copertura [20-60 m]	max. copertura [60-100 m]	media copertura [20-60 m]	zona di faglia [15 m]	media copertura [20-40 m]	imbocco N [5-20 m]	Spalla 1	Pila 1, Pila 2, Pila 3, Pila 4, Pila 5, Pila 6, Spalla 2

Marne di Galiga alterate GLG alt (GLG con parametri residui)	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$												
	$c' = 51 \text{ KPa}$												
	$\phi' = 46^\circ$												
	$E' = 250 \text{ MPa}$												
Marne di Galiga GLG	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$												
	$c' = 102 \text{ KPa}$												
	$\phi' = 51^\circ$												
	$E' = 747 \text{ MPa}$												
Siltiti di Poggiolo Salaiole alterate PLO alt (PLO con parametri residui)	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^4$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^4$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^4$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^4$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^4$			
	$c' = 84 \text{ KPa}$	$c' = 84 \text{ KPa}$	$c' = 113 \text{ KPa}$	$c' = 202 \text{ KPa}$	$c' = 301 \text{ KPa}$	$c' = 202 \text{ KPa}$	$c' = 77 \text{ KPa}$	$c' = 161 \text{ KPa}$	$c' = 128 \text{ KPa}$	$c' = 99 \text{ KPa}$	$c' = 84 \text{ KPa}$	$c' = 84 \text{ KPa}$	$c' = 84 \text{ KPa}$
	$\phi' = 52^\circ$	$\phi' = 52^\circ$	$\phi' = 48^\circ$	$\phi' = 40^\circ$	$\phi' = 38^\circ$	$\phi' = 40^\circ$	$\phi' = 47^\circ$	$\phi' = 43^\circ$	$\phi' = 49^\circ$	$\phi' = 53^\circ$	$\phi' = 52^\circ$	$\phi' = 52^\circ$	$\phi' = 52^\circ$
	$E' = 436 \text{ MPa}$	$E' = 517 \text{ MPa}$	$E' = 436 \text{ MPa}$	$E' = 338 \text{ MPa}$	$E' = 436 \text{ MPa}$	$E' = 517 \text{ MPa}$	$E' = 517 \text{ MPa}$	$E' = 517 \text{ MPa}$	$E' = 436 \text{ MPa}$	$E' = 436 \text{ MPa}$			
Siltiti di Poggiolo Salaiole PLO	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^4$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^4$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^4$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 25 \text{ KN/m}^4$					
	$c' = 213 \text{ KPa}$	$c' = 213 \text{ KPa}$	$c' = 243 \text{ KPa}$	$c' = 353 \text{ KPa}$	$c' = 617 \text{ KPa}$	$c' = 353 \text{ KPa}$	$c' = 109 \text{ KPa}$	$c' = 300 \text{ KPa}$	$c' = 413 \text{ KPa}$	$c' = 388 \text{ KPa}$	$c' = 213 \text{ KPa}$	$c' = 213 \text{ KPa}$	
	$\phi' = 57^\circ$	$\phi' = 57^\circ$	$\phi' = 53^\circ$	$\phi' = 46^\circ$	$\phi' = 45^\circ$	$\phi' = 46^\circ$	$\phi' = 51^\circ$	$\phi' = 49^\circ$	$\phi' = 55^\circ$	$\phi' = 57^\circ$	$\phi' = 57^\circ$	$\phi' = 57^\circ$	
	$E' = 1301 \text{ MPa}$	$E' = 2504 \text{ MPa}$	$E' = 1301 \text{ MPa}$	$E' = 487 \text{ MPa}$	$E' = 1301 \text{ MPa}$	$E' = 2504 \text{ MPa}$	$E' = 2504 \text{ MPa}$	$E' = 2504 \text{ MPa}$	$E' = 1301 \text{ MPa}$	$E' = 1301 \text{ MPa}$			

Figura 9-16 – Sintesi dei parametri geotecnici e geomeccanici delle diverse unità geotecniche e geomeccaniche

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'ARNO  sinèrgo  D_VA D_VisionArchitecture	B	114 di 351
			Data 02/2024	

10 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA AREA DI FRANA TRA LE P.K. 0+925 E 1+300

La caratterizzazione geotecnica dell'area di frana tra le p.k. 0+925 e 1+300 si è basata principalmente sui seguenti elementi:

- classificazione geomorfologica della frana
- analisi interferometrica di immagini radar satellitari
- indagini geognostiche eseguite nell'area di frana
- back-analysis del fenomeno franoso

10.1 Classificazione geomorfologica della frana

Tale frana, ubicata in destra idrografica del fiume Sieve:

- dal *Catalogo IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia* viene classificata come *scivolamento rotazionale/traslativo, con stato di attività n.d. (non determinato)*;
- dalla *Banca Dati geomorfologica della Regione Toscana (sito web GEOscopio della Regione Toscana)*, viene classificata come *frana di scorrimento (velocità indeterminata), con stato di attività indeterminata*;
- dal *PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale – Bacino del Fiume Arno*, viene classificata come *frana a pericolosità molto elevata PF4*;
- dal *PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale – Progetto di Piano - PAI "Dissesti geomorfologici"*, il dissesto viene classificato come *area a pericolosità molto elevata P4, scivolamento/colata lenta, attiva (S3), che continua a monte come scivolamento/colata lenta, inattiva potenzialmente instabile (S2)*.

10.2 Analisi interferometrica di immagini radar satellitari

In questa zona è segnalata dal PAI una *frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (P4)*, interferente direttamente con il tracciato tra le p.k. 0+925 e 1+300 circa, dove non sono previste opere d'arte particolari ma solo una sezione di rilevato/trincea (cfr. **Figura 10-1**). Nell'area il substrato della frana è riferibile alle *Argille e Calcari di Canétolo (ACC)*.

Per quest'area sono disponibili i dati di velocità media annua di alcuni PS registrate dal satellite ERS nel periodo 1992-2000, dal satellite ENVISAT nel periodo 2003-2010 e dal satellite SENTINEL-1 a partire dal 2014.

In corrispondenza del piede della frana, dove sono presenti alcuni edifici, sono presenti sia alcuni PS che indicano una sostanziale stabilità (velocità comprese tra $-1.9 \div 2$ mm/anno registrate con Envisat ascendente e Sentinel sia ascendente che discendente), sia un unico PS che indica una velocità compresa tra -4.9 e -2 mm/anno (Envisat ascendente). Considerando che il versante in esame è esposto ad Est e che quindi la traiettoria in grado di meglio descrivere l'eventuale movimento è quella ascendente, il dato di velocità relativo satellite Envisat ascendente deve essere considerato con particolare attenzione.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	sinèrgo	D_VA DVisionArchitecture
				Data 02/2024

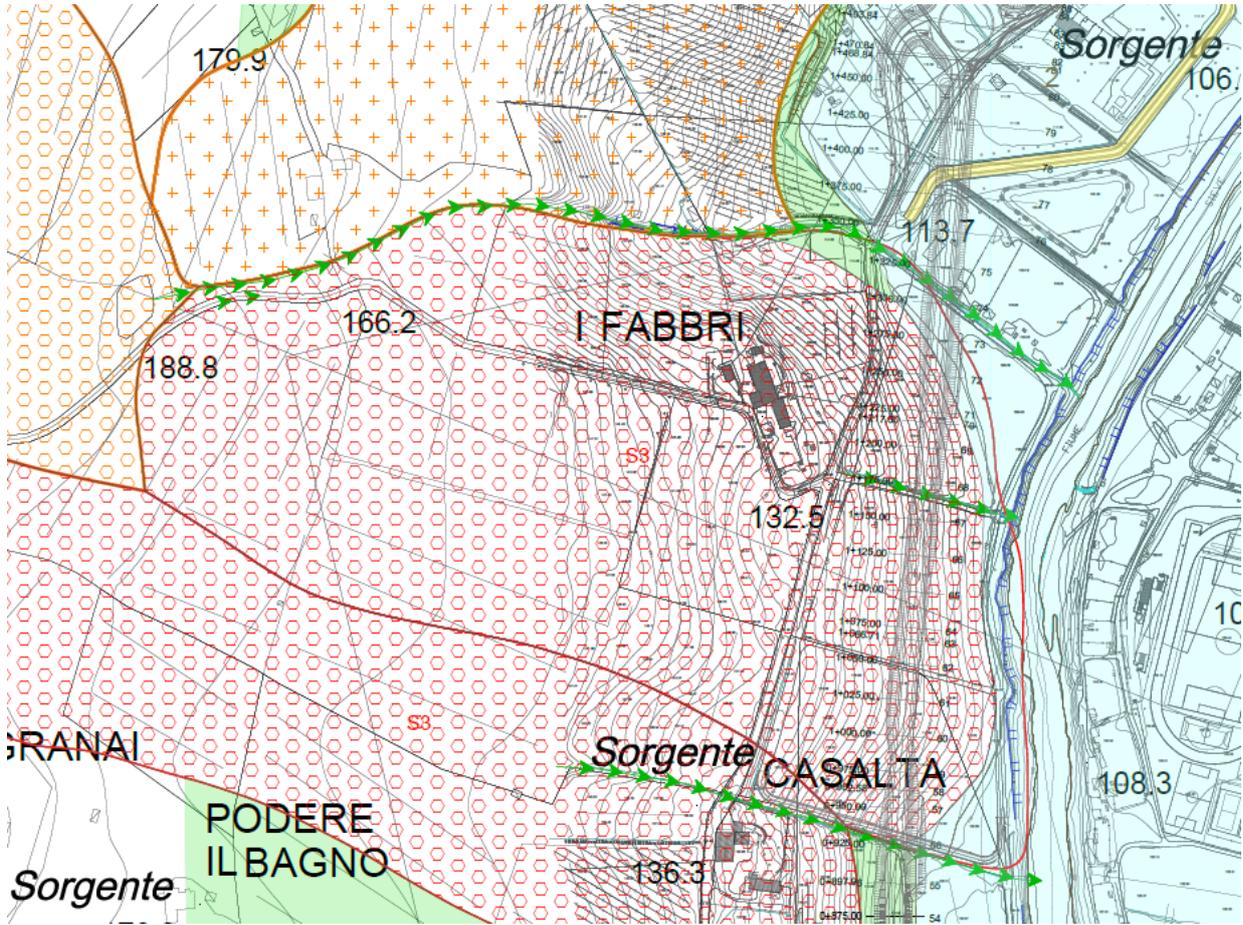


Figura 10-1 – Frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (P4), ubicata tra le progressive p.k. 0+925 e 1+300 circa

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. B	FOGLIO 116 di 351
				Data 02/2024

ENVISAT
ascendente



Velocità media



SENTINEL
ascendente



Figura 10-2 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'areale della frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (P4) - traiettoria ascendente

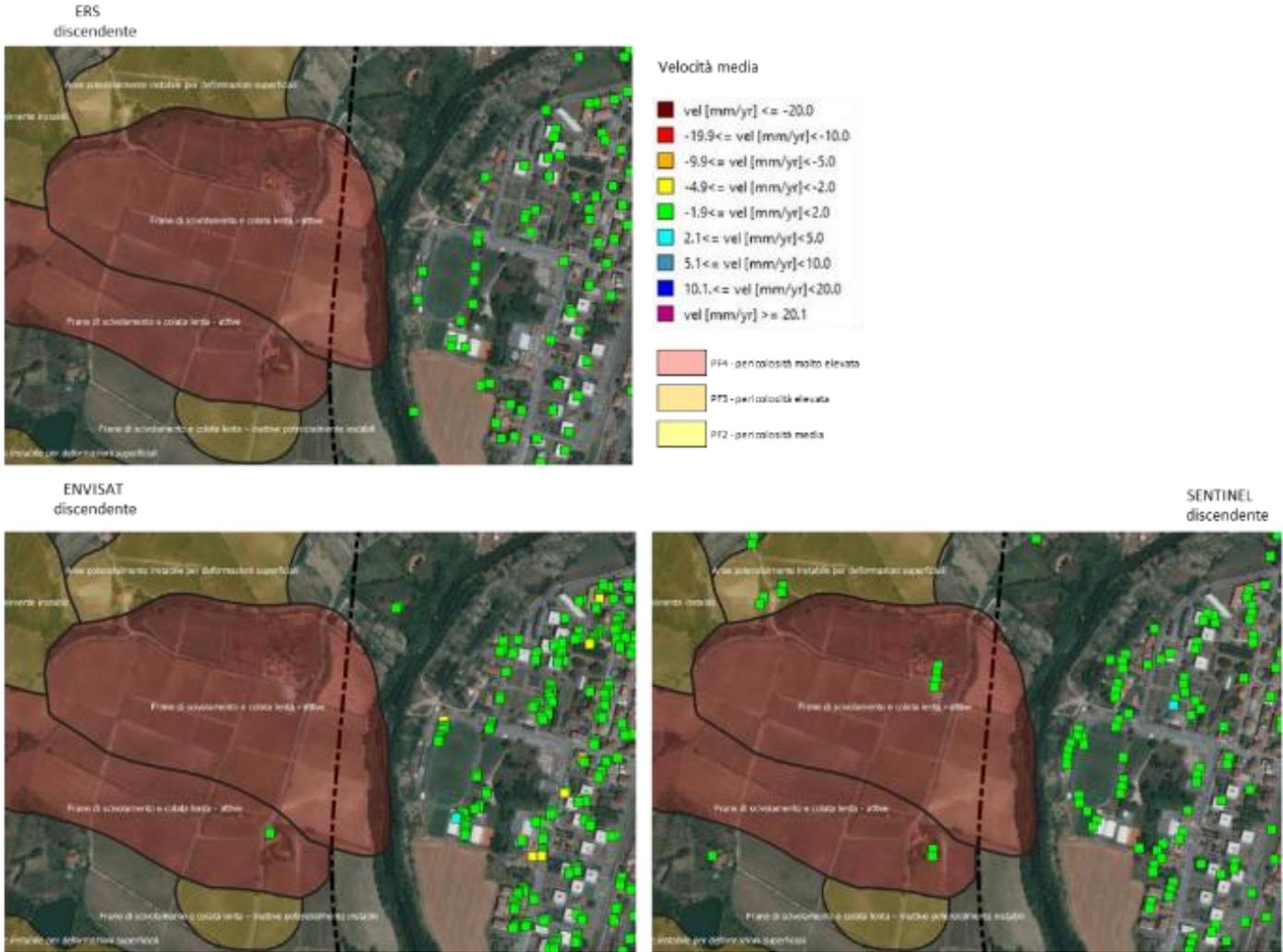


Figura 10-3 – Distribuzione dei PS e relativi valori di velocità nell'areale della frana di scivolamento e colata lenta attiva (S3) e pericolosità geomorfologica molto elevata (PF4) - traiettoria discendente

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	B	118 di 351
			Data 02/2024	

10.3 Indagini geognostiche eseguite nell'area di frana

Nell'area di frana tra le p.k. 0+925 e 1+300 circa nella campagna di indagini geognostiche del 2021-2022 è stata prevista l'esecuzione di n. 3 sondaggi a carotaggio continuo da 30 m, tutti strumentati con tubo inclinometrico (SN06-IN, SN06bis-IN e SN07-IN). Nel corso della perforazione dei sondaggi sono state previste prove SPT e prove di permeabilità Lefranc ed è stato previsto il prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio

I risultati delle indagini in sito eseguite nel 2021-2022 sono riportati nell'elaborato di progetto **T00GE01GEORE02** - "Documentazione indagini geognostiche – Indagini in sito", mentre i risultati delle prove geotecniche di laboratorio sono riportati nell'elaborato di progetto **T00GE01GEORE04** - "Documentazione indagini geognostiche – Certificati prove geotecniche di laboratorio"

Nel corso del 2023 nell'area di frana sono state previste indagini integrative costituite da:

- n.6 stendimenti sismici a rifrazione in onde P e in onde SH;
- n.6 stendimenti di geoelettrica in modalità ERT;
- n.3 prove con dilatometro piatto Marchetti (DMT1, DMT3, DMT4);
- misure inclinometriche manuali a cadenza mensile per un anno su n.3 inclinometri (SN06-IN, SN06bis-IN, SN07-IN); la lettura di zero è stata eseguita nel giugno 2023, ad oggi sono disponibili le misure di luglio e agosto 2023;
- misure piezometriche manuali a cadenza mensile per un anno su n. 3 piezometri (SN06-PZ, SN06bis-PZ, SN07-PZ).

I risultati delle indagini integrative eseguite nell'area di frana sono riportati nell'elaborato di progetto **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" e nell'elaborato **T00GE01GEORE08** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023 - Monitoraggio inclinometrico e piezometrico".

10.3.1 Sondaggi geognostici a carotaggio continuo

Le stratigrafie dei sondaggi SN06-IN, SN06bis-IN e SN07-IN eseguiti in quest'area mostrano un livello superficiale di 4÷6 m di spessore costituito da terreni da limoso-sabbiosi ad argilloso-limosi, con clasti e ciottoli calcareo-marnosi, livello seguito da trovanti calcareo-marnosi per circa 2÷4 m, al di sotto dei quali sono presenti ancora terreni limoso-sabbiosi e argilloso limosi con clasti calcareo-marnosi fino a 9÷15 m circa. Seguono siltiti e argilliti varicolori, fratturate, da alterate a debolmente alterate, con inclusi calcareo-marnosi, riconducibili alle porzioni alterata e non alterata della formazione delle Argille e Calcari del Canetolo (ACC), mentre le porzioni superficiali fino a 10÷15 m possono essere riconducibili ai depositi di frana attiva e quiescente.

I valori di N_{SPT} registrati fino a 9 m di profondità risultano variabili tra 9÷11 e 22÷28, mentre oltre 9 m risultano sempre a rifiuto.

Sono state eseguite anche n. 2 prove di permeabilità tipo Lefranc a 4.20÷4.70 e 5.50÷6.00 m di profondità che hanno fornito un valore di permeabilità variabile tra 3.6E-07 e 4.6E-06 m/s.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	B	119 di 351
			Data 02/2024	

10.3.2 Prove geotecniche di laboratorio

Le analisi granulometriche eseguite sui campioni rimaneggiati e indisturbati prelevati a profondità da 1 a 7 m circa hanno permesso di classificare i terreni prevalentemente come *limi con argilla sabbiosi deb. ghiaiosi* e *limi argillosi sabbioso ghiaiosi* secondo la Classificazione AGI, CH, MH, ML (GC) secondo la Classificazione USCS e A7-5, A7-6 secondo la Classificazione CNR-UNI 10006. Il valore dell'indice di plasticità dei terreni Ip è risultato variabile tra 18 e 30, mentre il peso di volume naturale è risultato variabile tra 19 e 20 kN/m³.

Sui n. 3 campioni indisturbati sono state eseguite prove di taglio diretto consolidate lente, con determinazione dei valori di picco e residui, che hanno fornito i seguenti valori di resistenza a taglio:

Campione	Profondità [m]	Resistenza a taglio di picco		Resistenza a taglio residua	
SN06-IN I1	4.50-4.90	$c'_p = 7 \text{ kPa}$	$\varphi'_p = 26^\circ$	$c'_r = 0 \text{ kPa}$	$\varphi'_r = 25^\circ$
SN07-IN I1	3.00-3.50	$c'_p = 7 \text{ kPa}$	$\varphi'_p = 34^\circ$	$c'_r = 0 \text{ kPa}$	$\varphi'_r = 28^\circ$
SN07-IN I2	6.50-7.00	$c'_p = 17 \text{ kPa}$	$\varphi'_p = 13^\circ$	$c'_r = 0 \text{ kPa}$	$\varphi'_r = 20^\circ$

Si deve tuttavia segnalare l'anomalia dei valori di resistenza registrati durante la prova eseguita sul campione SN07-IN I2, nella quale il valore di angolo di attrito di picco è risultato inferiore al valore residuo, a fronte di un valore di coesione di picco più elevata rispetto alle prove eseguite sugli altri due campioni.

Infine, sul campione SN07-IN I2 (6.50-7.00 m) è stata eseguita anche una prova triassiale UU, che ha fornito un valore di $c_u = 123 \text{ kPa}$.

10.3.3 Sismica a rifrazione in onde P e SH

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati in termini di V_P e V_S per ciascuno stendimento eseguito nell'area di frana, riportando le immagini relative alla loro interpretazione con metodo plus minus, dove vengono indicate due principali superfici di rifrazione, identificate nel caso delle onde P con le interfacce corrispondenti la più superficiale alle $V_P=1200\div 1500 \text{ m/s}$ e la più profonda alle $V_P=1900\div 2200 \text{ m/s}$ e nel caso delle onde SH con le interfacce corrispondenti la più superficiale alle $V_S=300\div 400 \text{ m/s}$ e la più profonda alle $V_{SH}=500\div 600 \text{ m/s}$. Per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023".

Linea B14

Attraverso la misura delle velocità tramite la pendenza delle dromocrone e l'applicazione del metodo del Plus-Minus è possibile individuare la presenza di tre sismostrati principali e quindi di due interfacce sismostratigrafiche (cfr.

Figura 10-4):

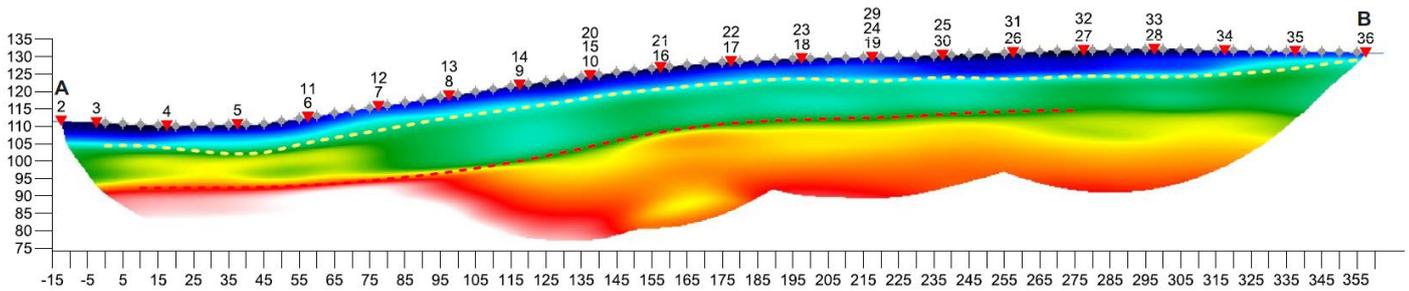
- *sismostrato 1*: materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie
 $V_P < 1300 \text{ m/s}$, interfaccia a profondità variabile tra -5 e -8 m dal p.c.
 $V_S < 400 \text{ m/s}$, interfaccia a profondità variabile tra -7 e -11 m dal p.c.
- *sismostrato 2*: materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie, verosimilmente saturo, con graduale aumento della compattazione
 $1300 \text{ m/s} \leq V_P < 1900 \text{ m/s}$, interfaccia a profondità variabile tra -16 e -19 m dal p.c.
 $400 \text{ m/s} \leq V_S < 550 \text{ m/s}$, interfaccia a profondità variabile tra -19 e -20 m dal p.c.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   		REV. B	FOGLIO 120 di 351
	Data 02/2024			

- *sismostrato 3*: materiale a comportamento lapideo o pseudo-lapideo, con un incremento delle proprietà meccaniche con la profondità.

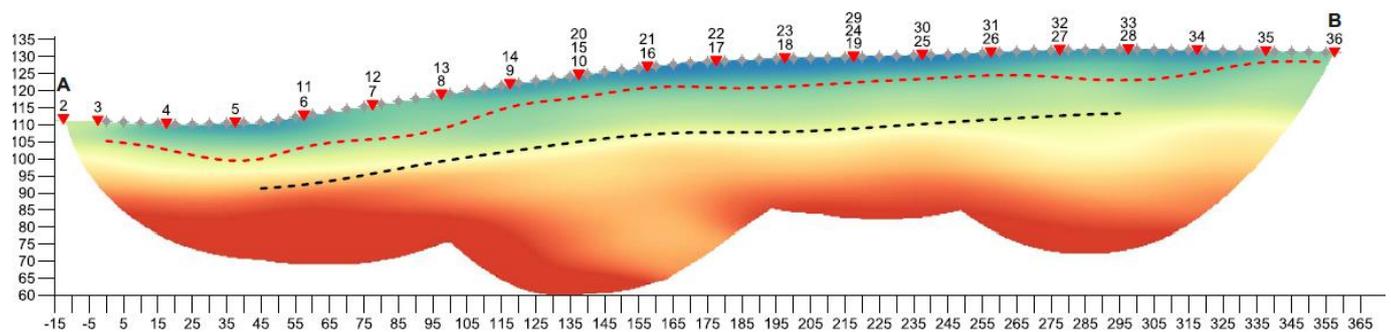
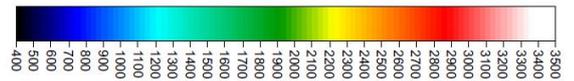
$$V_P \geq 1900 \text{ m/s}$$

$$V_S \geq 550 \text{ m/s}$$



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◆ GEOFONO
- - - - Interfaccia 1 : $V_p = [1300\text{m/s}]$
- - - - Interfaccia 2 : $V_p = [1900\text{m/s}]$



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◆ GEOFONO
- - - - Interfaccia 1 : $V_s = [400\text{m/s}]$
- - - - Interfaccia 2 : $V_s = [550\text{m/s}]$

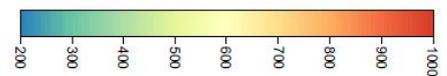


Figura 10-4 – Stendimento a rifrazione B14_P (sopra) e B14_SH (sotto) - Sezioni sismostratigrafiche - Metodo plus minus

Linea B15

Attraverso la misura delle velocità tramite la pendenza delle dromocrone e l'applicazione del metodo del Plus-Minus è possibile individuare la presenza di tre sismostrati principali e quindi di due interfacce sismostratigrafiche (cfr.

Figura 10-5):

- *sismostrato 1*: materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie
 $V_P < 1400 \text{ m/s}$, interfaccia a profondità variabile tra -6 e -7 m dal p.c.
 $V_S < 300 \text{ m/s}$, interfaccia a profondità variabile tra -6 e -7 m dal p.c.
- *sismostrato 2*: materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie, verosimilmente saturo, con graduale aumento della compattazione
 $1400 \text{ m/s} \leq V_P < 2000 \text{ m/s}$, interfaccia a profondità variabile tra -17 e -23 m dal p.c.

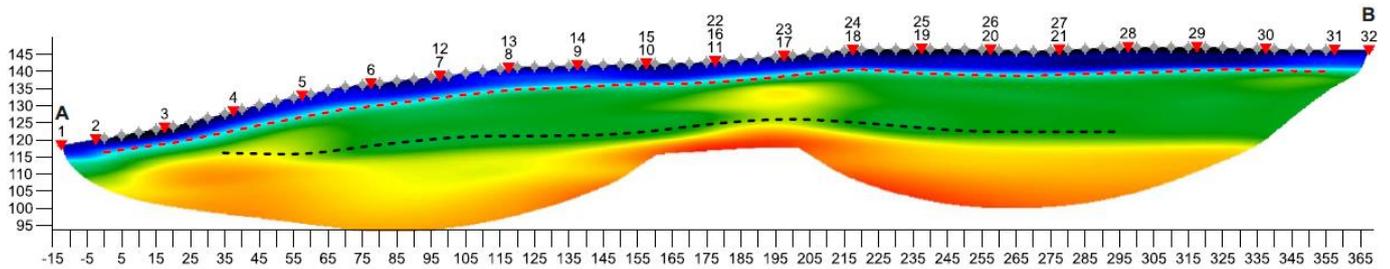
CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D'VisionArchitecture	B	121 di 351
			Data 02/2024	

300 m/s \leq V_s < 550 m/s, interfaccia a profondità variabile tra -17 e -20 m dal p.c.

- *sismostrato 3*: materiale a comportamento lapideo o pseudo-lapideo, con un incremento delle proprietà meccaniche con la profondità.

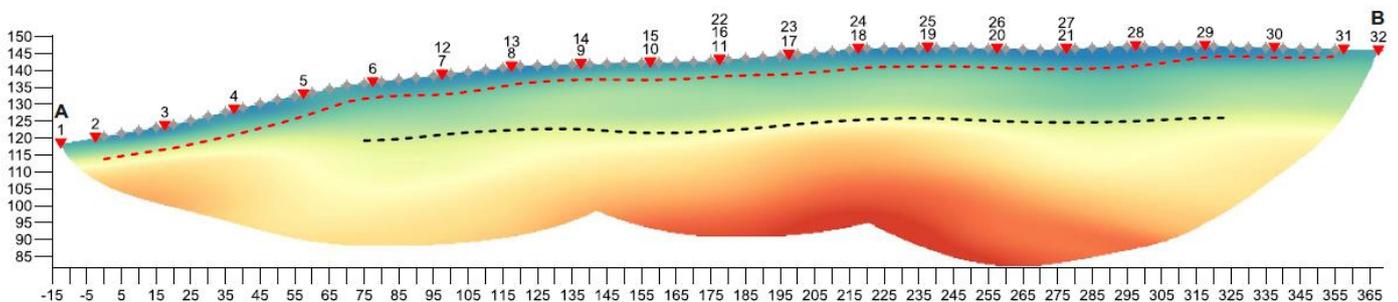
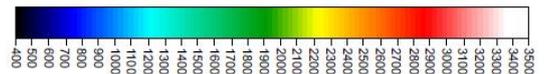
$$V_P \geq 2000 \text{ m/s}$$

$$V_S \geq 550 \text{ m/s}$$



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◆ GEOFONO
- - - Interfaccia 1 : $V_p = [1400 \text{ m/s}]$
- - - Interfaccia 2 : $V_p = [2000 \text{ m/s}]$



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◆ GEOFONO
- - - Interfaccia 1 : $V_s = [300 \text{ m/s}]$
- - - Interfaccia 2 : $V_s = [550 \text{ m/s}]$

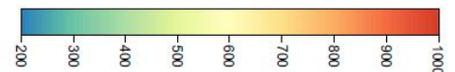


Figura 10-5 – Stendimento a rifrazione B15_P (sopra) e B15_SH (sotto) - Sezioni sismostratigrafiche - Metodo plus minus

Linea B16

Attraverso la misura delle velocità tramite la pendenza delle dromocrone e l'applicazione del metodo del Plus-Minus è possibile individuare la presenza di tre sismostrati principali e quindi di due interfacce sismostratigrafiche (cfr.

Figura 10-6):

- *sismostrato 1*: materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie

$$V_P < 1300 \text{ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -3 e -7 m dal p.c.}$$

$$V_S < 300 \text{ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -2 e -3 m dal p.c.}$$

- *sismostrato 2*: materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie, verosimilmente saturo, con graduale aumento della compattazione

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.		MANDANTI   	REV. B	FOGLIO 122 di 351
					Data 02/2024

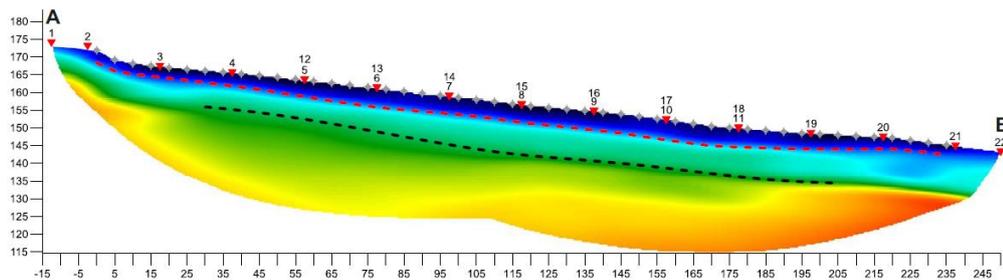
1300 m/s $\leq V_P < 1900$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -11 e -14 m dal p.c.

300 m/s $\leq V_S < 500$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -14 e -18 m dal p.c.

- *sismostrato 3*: materiale a comportamento lapideo o pseudo-lapideo, con un incremento delle proprietà meccaniche con la profondità.

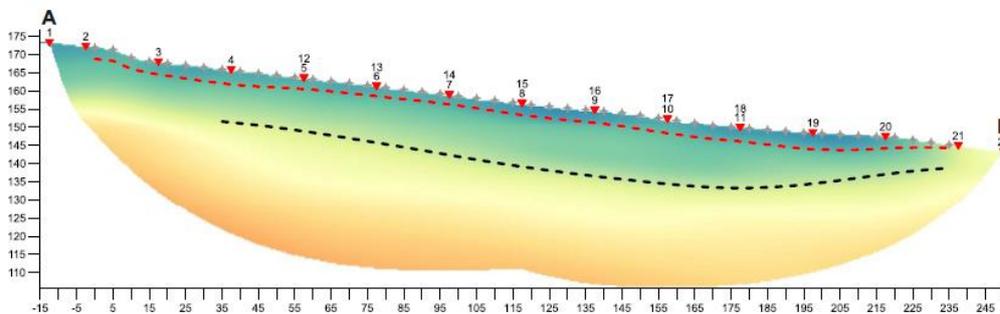
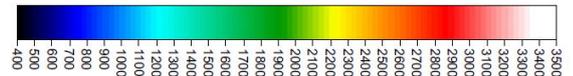
$V_P \geq 1900$ m/s

$V_S \geq 500$ m/s



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◆ GEOFONO
- - - Interfaccia 1 : $V_p = [1300\text{m/s}]$
- - - Interfaccia 2 : $V_p = [1900\text{m/s}]$



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◆ GEOFONO
- - - Interfaccia 1 : $V_s = [300\text{m/s}]$
- - - Interfaccia 2 : $V_s = [500\text{m/s}]$

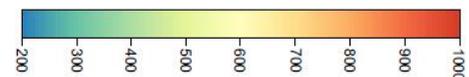


Figura 10-6 – Stendimento a rifrazione B16_P (sopra) e B16_SH (sotto) - Sezioni sismostratigrafiche - Metodo plus minus

Linea B17

Attraverso la misura delle velocità tramite la pendenza delle dromocrone e l'applicazione del metodo del Plus-Minus è possibile individuare la presenza di tre sismostrati principali e quindi di due interfacce sismostratigrafiche (cfr.

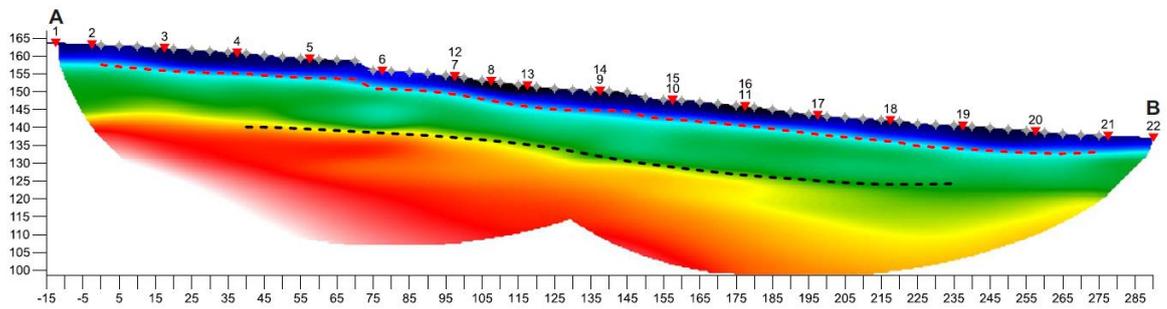
Figura 10-7):

- *sismostrato 1*: materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie

$V_P < 1200$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -4 e -6 m dal p.c.

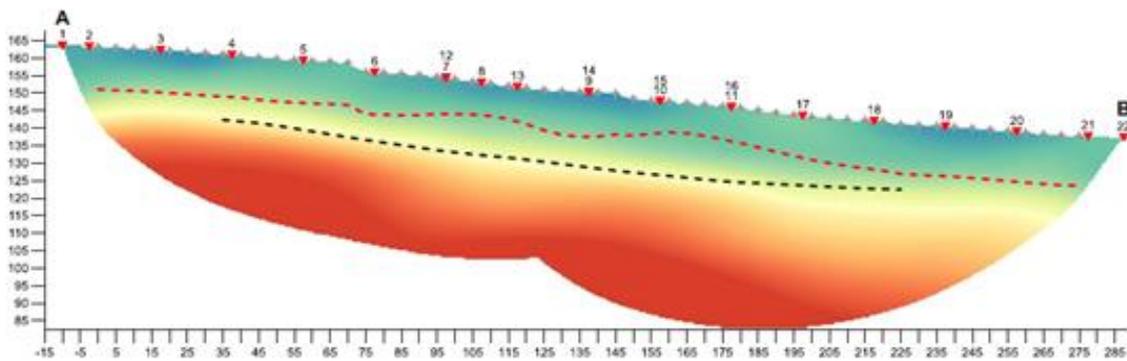
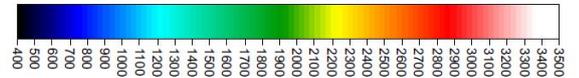
$V_S < 300$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -8 e -13 m dal p.c.

- *sismostrato 2*: materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie, verosimilmente saturo, con graduale aumento della compattazione
 $1200 \text{ m/s} \leq V_P < 2200 \text{ m/s}$, interfaccia a profondità variabile tra -17 e -19 m dal p.c.
 $300 \text{ m/s} \leq V_S < 500 \text{ m/s}$, interfaccia a profondità variabile tra -19 e -20 m dal p.c.
- *sismostrato 3*: materiale a comportamento lapideo o pseudo-lapideo, con un incremento delle proprietà meccaniche con la profondità.
 $V_P \geq 2200 \text{ m/s}$
 $V_S \geq 500 \text{ m/s}$



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◇ GEOFONO
- - - - Interfaccia 1 : $V_p = [1200\text{m/s}]$
- - - - Interfaccia 2 : $V_p = [2200\text{m/s}]$



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◇ GEOFONO
- - - - Interfaccia 1 : $V_p = [300\text{m/s}]$
- - - - Interfaccia 2 : $V_p = [500\text{m/s}]$

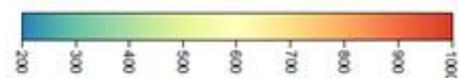


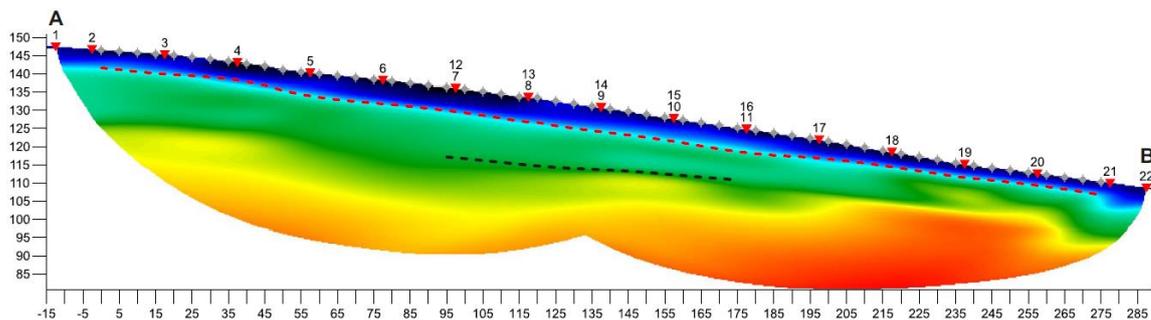
Figura 10-7 – Stendimento a rifrazione B17_P (sopra) e B17_SH (sotto) - Sezioni sismostratigrafiche - Metodo plus minus

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETA ENERGIA VALLE D'AGOSTO s.r.l.	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
			Data 02/2024	

Attraverso la misura delle velocità tramite la pendenza delle dromocrone e l'applicazione del metodo del Plus-Minus è possibile individuare la presenza di tre sismostrati principali e quindi di due interfacce sismostratigrafiche (cfr.

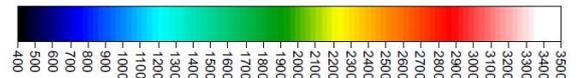
Figura 10-8):

- *sismostrato 1:* materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie
 $V_P < 1500$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -6 e -7 m dal p.c.
 $V_S < 350$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -5 e -7 m dal p.c.
- *sismostrato 2:* materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie, verosimilmente saturo, con graduale aumento della compattazione
 $1500 \text{ m/s} \leq V_P < 1900$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -15 e -19 m dal p.c.
 $350 \text{ m/s} \leq V_S < 500$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -16 e -22 m dal p.c.
- *sismostrato 3:* materiale a comportamento lapideo o pseudo-lapideo, con un incremento delle proprietà meccaniche con la profondità.
 $V_P \geq 1900$ m/s
 $V_S \geq 500$ m/s



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◆ GEOFONO
- - - - Interfaccia 1 : $V_p = [1500\text{m/s}]$
- - - - Interfaccia 2 : $V_p = [1900\text{m/s}]$



B18_SH, 20 WET iterations, RMS error 1.2 % = 4.45 ms, Version 3.34

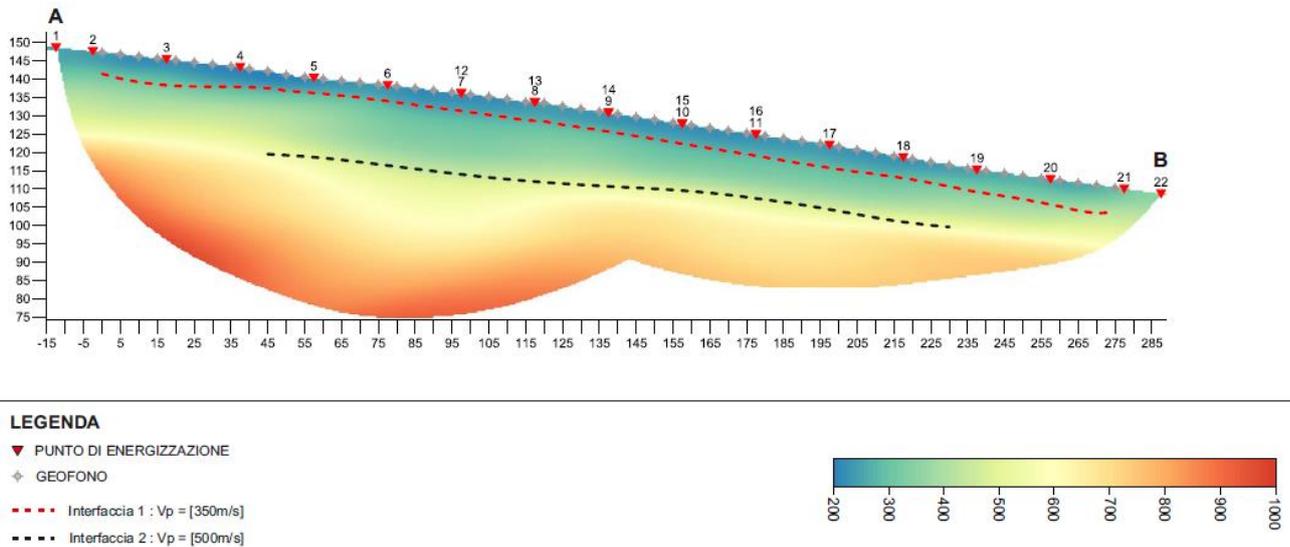


Figura 10-8 – Stendimento a rifrazione B18_P (sopra) e B18_SH (sotto) - Sezioni sismostratigrafiche - Metodo plus minus

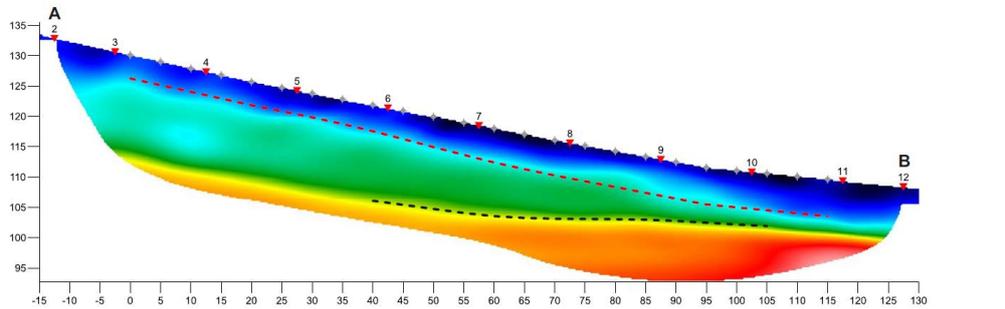
CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.		MANDANTI   	REV. B	FOGLIO 126 di 351
					Data 02/2024

Linea B19

Attraverso la misura delle velocità tramite la pendenza delle dromocrone e l'applicazione del metodo del Plus-Minus è possibile individuare la presenza di tre sismostrati principali e quindi di due interfacce sismostratigrafiche (cfr. **Figura 10-9** **Figura 10-8**):

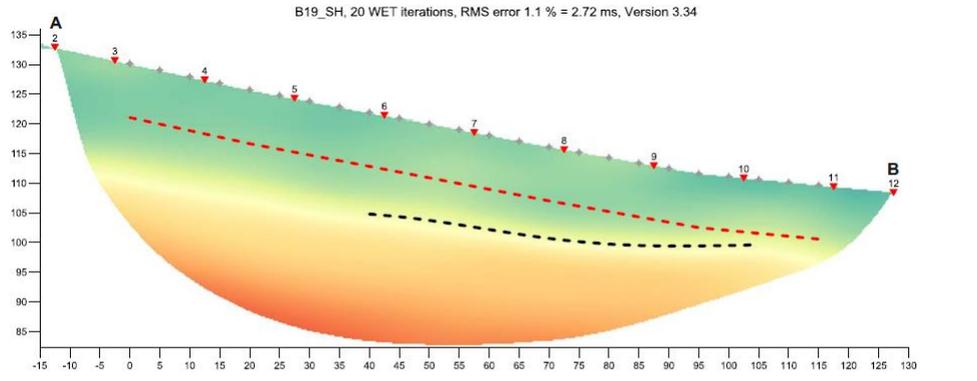
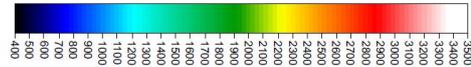
Figura 10-9 **Figura 10-8**:

- **sismostrato 1:** materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie
 $V_P < 1300$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -4 e -6 m dal p.c.
 $V_S < 400$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -9 e -10 m dal p.c.
- **sismostrato 2:** materiale limoso/argilloso con alternanze di sabbie e ghiaie, verosimilmente saturo, con graduale aumento della compattazione
 1300 m/s $\leq V_P < 2100$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -10 e -15 m dal p.c.
 400 m/s $\leq V_S < 600$ m/s, interfaccia a profondità variabile tra -12 e -16 m dal p.c.
- **sismostrato 3:** materiale a comportamento lapideo o pseudo-lapideo, con un incremento delle proprietà meccaniche con la profondità.
 $V_P \geq 2100$ m/s
 $V_S \geq 600$ m/s



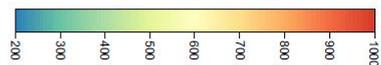
LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◆ GEOFONO
- - - Interfaccia 1 : $V_p = [1300\text{m/s}]$
- - - Interfaccia 2 : $V_p = [2100\text{m/s}]$



LEGENDA

- ▼ PUNTO DI ENERGIZZAZIONE
- ◆ GEOFONO
- - - Interfaccia 1 : $V_p = [400\text{m/s}]$
- - - Interfaccia 2 : $V_p = [600\text{m/s}]$



CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLE D'AOSTA	sinèrgo	VA D.VisionArchitecture
			Data 02/2024	

Figura 10-9 – Stendimento a rifrazione B19_P (sopra) e B19_SH (sotto) - Sezioni sismostratigrafiche - Metodo plus minus

10.3.4 Geoelettrica

Di seguito si riporta una sintesi dei risultati degli stendimenti di tomografia elettrica ERT eseguiti nell'area di frana, rimandando all'elaborato **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" per ulteriori dettagli.

ERT - B14

La massima profondità raggiunta è stata di 90 m. Dalla tomografia si rileva una porzione "alto-resistiva" ($150 \Omega \cdot m < \rho < 3000 \Omega \cdot m$) correlabile a terreni caratterizzati da elevate proprietà geomeccaniche e/o roccia. Invece, i valori "basso-resistivi" ($1 \Omega \cdot m < \rho < 10 \Omega \cdot m$) sono associabili a zone sature di fluidi, caratterizzate da diversi gradi di saturazione e mineralizzazione all'interno di una matrice di varia natura e grado di compattazione. E' stata riconosciuta, nei range di resistività visibili nella restante parte della tomografia ($5 \Omega \cdot m < \rho < 120 \Omega \cdot m$), una corrispondenza con litologie di tipo limoso/argilloso con anche alternanze di sabbie e ghiaie nei livelli più superficiali con un graduale aumento della compattazione e passaggio a orizzonti più litoidi con l'aumentare della profondità (cfr. **Figura 10-10**).

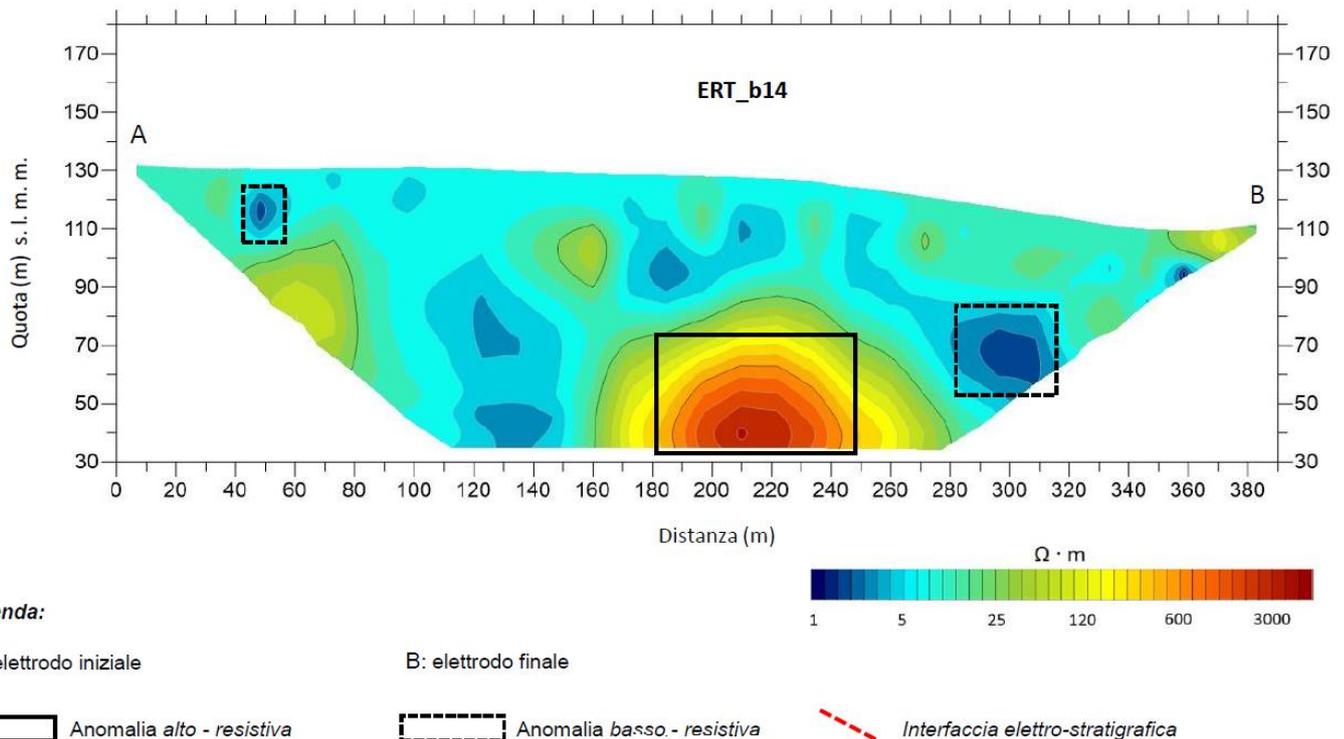


Figura 10-10 – Linea tomografica elettrica B14

ERT - B15

La massima profondità raggiunta è stata di 90 m. Dalla tomografia si rileva una porzione "alto-resistiva" inclinata nella porzione finale più profonda della tomografia ($500 \Omega \cdot m < \rho < 2000 \Omega \cdot m$) correlabile a terreni caratterizzati da elevate proprietà geomeccaniche e/o roccia. Invece, i valori "basso-resistivi" ($1 \Omega \cdot m < \rho < 10 \Omega \cdot m$) sono associabili a zone sature di fluidi, caratterizzate da diversi gradi di saturazione e mineralizzazione all'interno di una matrice di varia natura e grado di compattazione. E' stata riconosciuta inoltre, nei range di resistività visibili nella restante parte della tomografia ($5 \Omega \cdot m < \rho < 120 \Omega \cdot m$), una corrispondenza con litologie di tipo limoso/argilloso con anche alternanze di

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 128 di 351
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRITORIO AMBIENTE s.r.l.	Data 02/2024	
		sinèrgo	D_VA D_VisionArchitecture	

sabbie e ghiaie nei livelli più superficiali con un graduale aumento della compattazione e passaggio a orizzonti più litoidi con l'aumentare della profondità, come confermato dalla stratigrafia del sondaggio SN06bis-IN che in questo caso ricade in corrispondenza del centro della tomografia in oggetto. Ciò consente di tarare i risultati ottenuti con le litologie reali e anche di identificare e di tracciare una possibile interfaccia elettro-stratigrafica associabile al passaggio da materiale più conduttivi a porzioni di sottosuolo più resistenti, con un grado di compattazione maggiore ed una concentrazione inferiore di minerali argillosi (cfr. **Figura 10-11**).

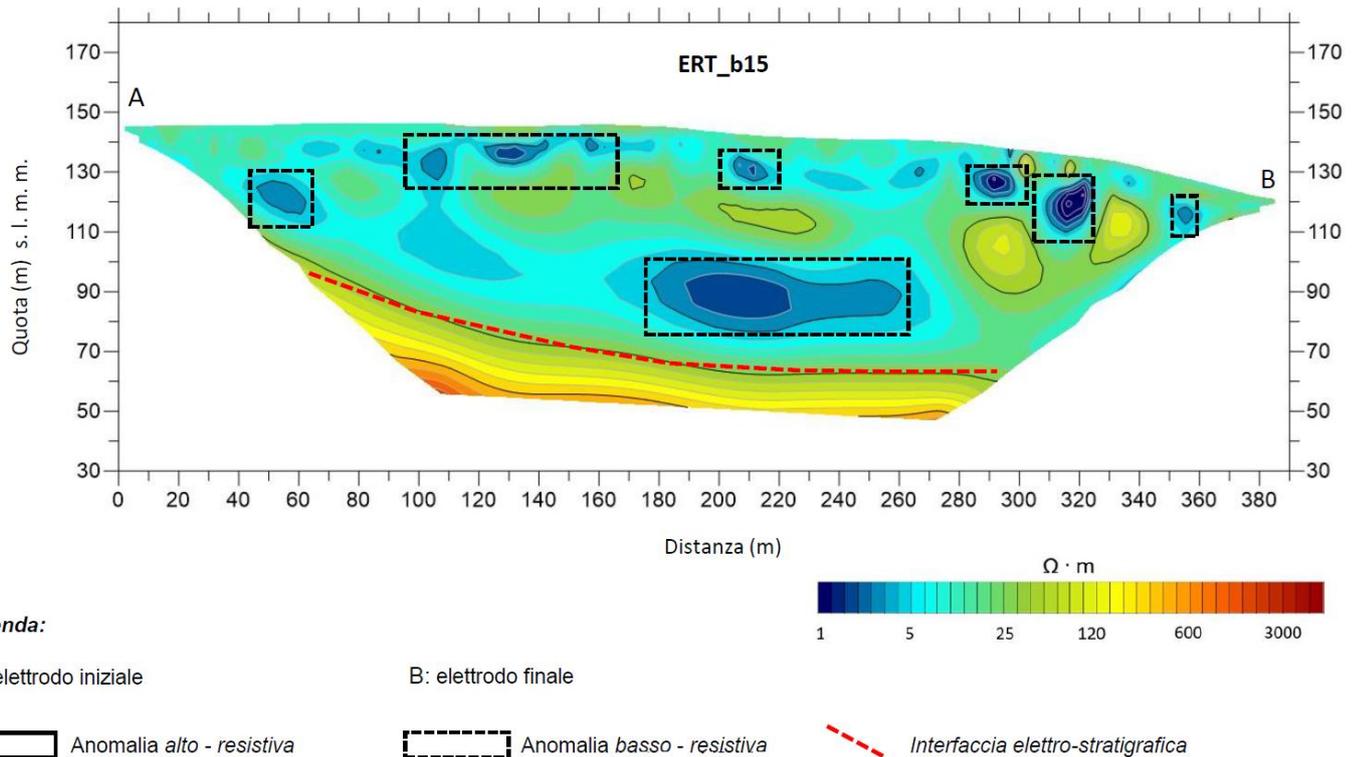


Figura 10-11 – Linea tomografica elettrica B15

ERT - B16

La massima profondità raggiunta è di 60 m. Dalla tomografia si rileva una porzione “alto-resistiva” nella porzione finale più profonda della tomografia verso il lato B ($500 \Omega \cdot m < \rho < 2000 \Omega \cdot m$) correlabile a terreni caratterizzati da elevate proprietà geomeccaniche e/o roccia. Invece, i valori “basso-resistivi” ($1 \Omega \cdot m < \rho < 10 \Omega \cdot m$) sono associabili a zone sature di fluidi, caratterizzate da diversi gradi di saturazione e mineralizzazione all’interno di una matrice di varia natura e grado di compattazione. E’ stata riconosciuta, nei range di resistività visibili nella restante parte della tomografia ($5 \Omega \cdot m < \rho < 120 \Omega \cdot m$), una corrispondenza con litologie di tipo limoso/argilloso con anche alternanze di sabbie e ghiaie nei livelli più superficiali con un graduale aumento della compattazione e passaggio a orizzonti più litoidi con l’aumentare della profondità, come confermato anche dalla stratigrafia del sondaggio SN6bis-IN, dal quale si evince la presenza di argilliti compatte a partire dai 25 m di profondità (cfr. **Figura 10-12**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 129 di 351
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRESTRE AMBIENTE	Data 02/2024	
		sinèrgo	VA D.VisionArchitecture	

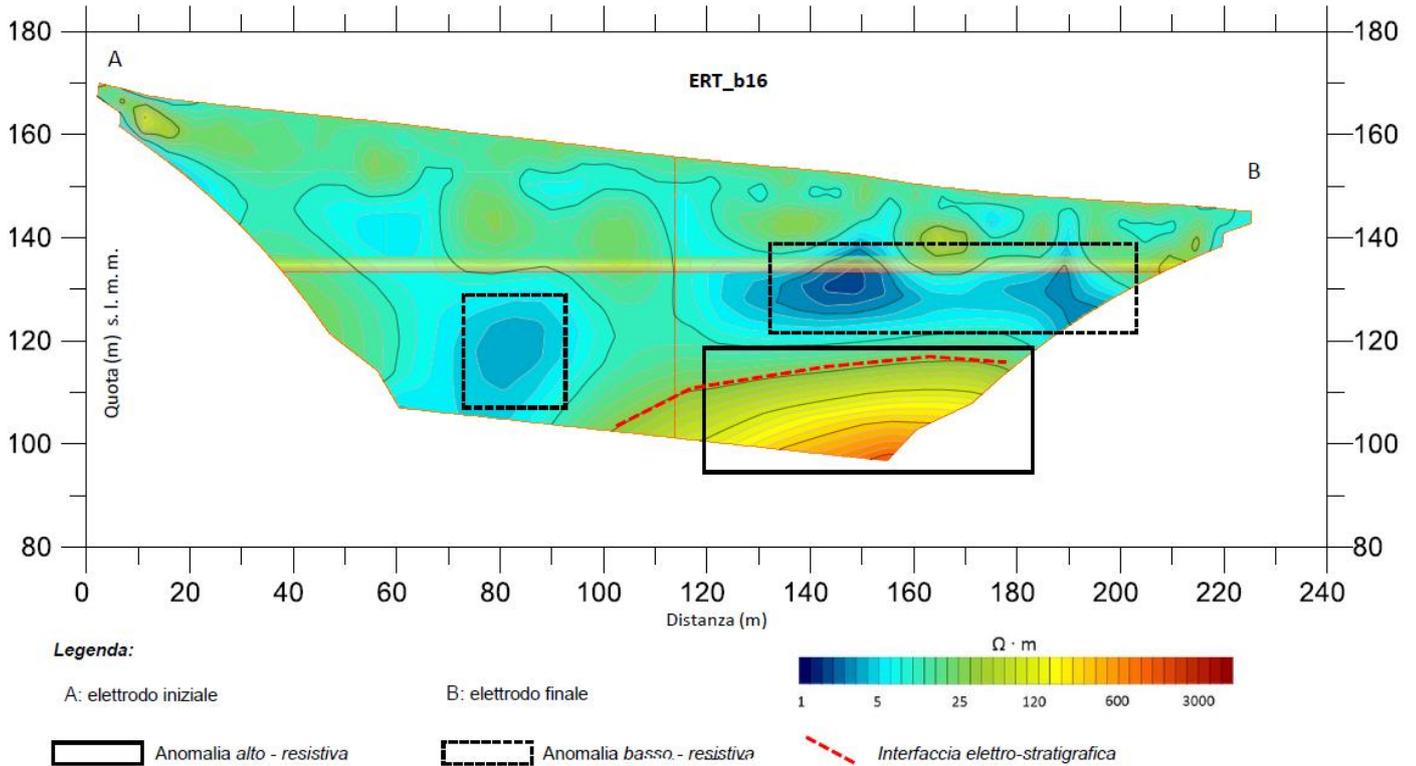


Figura 10-12 – Linea tomografica elettrica B16

ERT - B17

La massima profondità raggiunta è di 60 m. Dalla tomografia non si rilevano particolari anomalie; va segnalata solo una porzione “basso resistiva” ($1 \Omega \cdot m < \rho < 10 \Omega \cdot m$) associabile ad una lente saturata di fluidi, caratterizzata da diversi gradi di saturazione e mineralizzazione all’interno di una matrice di varia natura e grado di compattazione.

E’ stata riconosciuta, nei range di resistività visibili nella restante parte della tomografia ($5 \Omega \cdot m < \rho < 120 \Omega \cdot m$), una corrispondenza con litologie di tipo limoso/argilloso con anche alternanze di sabbie e ghiaie nei livelli più superficiali con un graduale aumento della compattazione. In questo caso sia dai range di resistività che dalle morfologie non è possibile riconoscere alcun passaggio o transizione a orizzonti più litoidi con l’aumentare della profondità in nessun punto della tomografia. Esclusivamente nella porzione marginale verso il punto di inizio, tra il metro 20 e il metro 60 di progressione orizzontale, è possibile riscontrare la presenza di una anomalia caratterizzata da un range di resistività $25 \Omega \cdot m < \rho < 120 \Omega \cdot m$ correlabile ad una porzione di materiale più compatto (cfr. **Figura 10-13**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.		MANDANTI ENERGIA VALLE D'AOSTA	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 130 di 351
							Data 02/2024

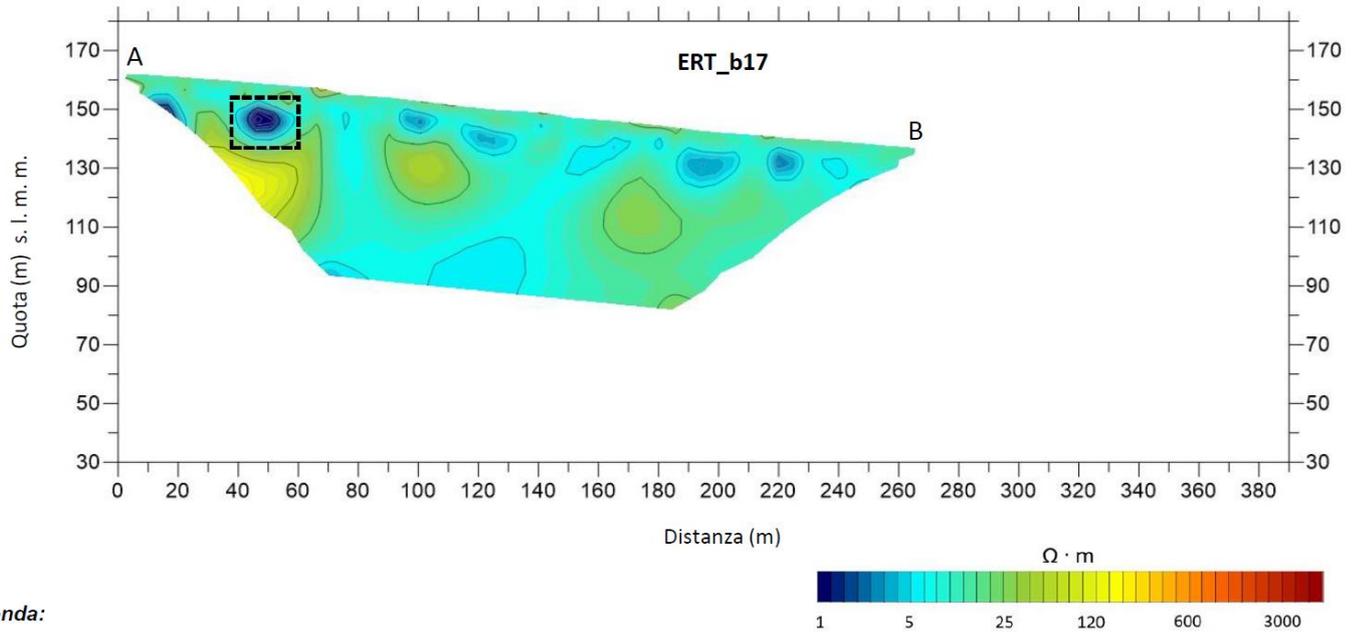


Figura 10-13 – Linea tomografica elettrica B17

ERT - B18

La massima profondità raggiunta è di 60. Dalla tomografia non si rilevano particolari anomalie; va segnalata solo una porzione “basso-resistiva” ($1 \Omega \cdot m < \rho < 10 \Omega \cdot m$) associabile ad una lente saturata di fluidi, caratterizzata da diversi gradi di saturazione e mineralizzazione all’interno di una matrice di varia natura e grado di compattazione.

In questo caso, tralasciando l’anomalia conduttiva appena descritta, è possibile riconoscere, nei range di resistività visibili nella restante parte della tomografia ($5 \Omega \cdot m < \rho < 25 \Omega \cdot m$), una correlazione con litologie di tipo limoso/argilloso con anche alternanze di sabbie e ghiaie mediamente saturate di fluidi visti i valori di resistività mediamente bassi. In questo caso sia dai range di resistività che dalle morfologie non è possibile riconoscere alcun passaggio o transizione a orizzonti più litoidi con l’aumentare della profondità in nessun punto della tomografia (cfr. **Figura 10-14**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.		MANDANTI   	REV. B	FOGLIO 131 di 351
					Data 02/2024

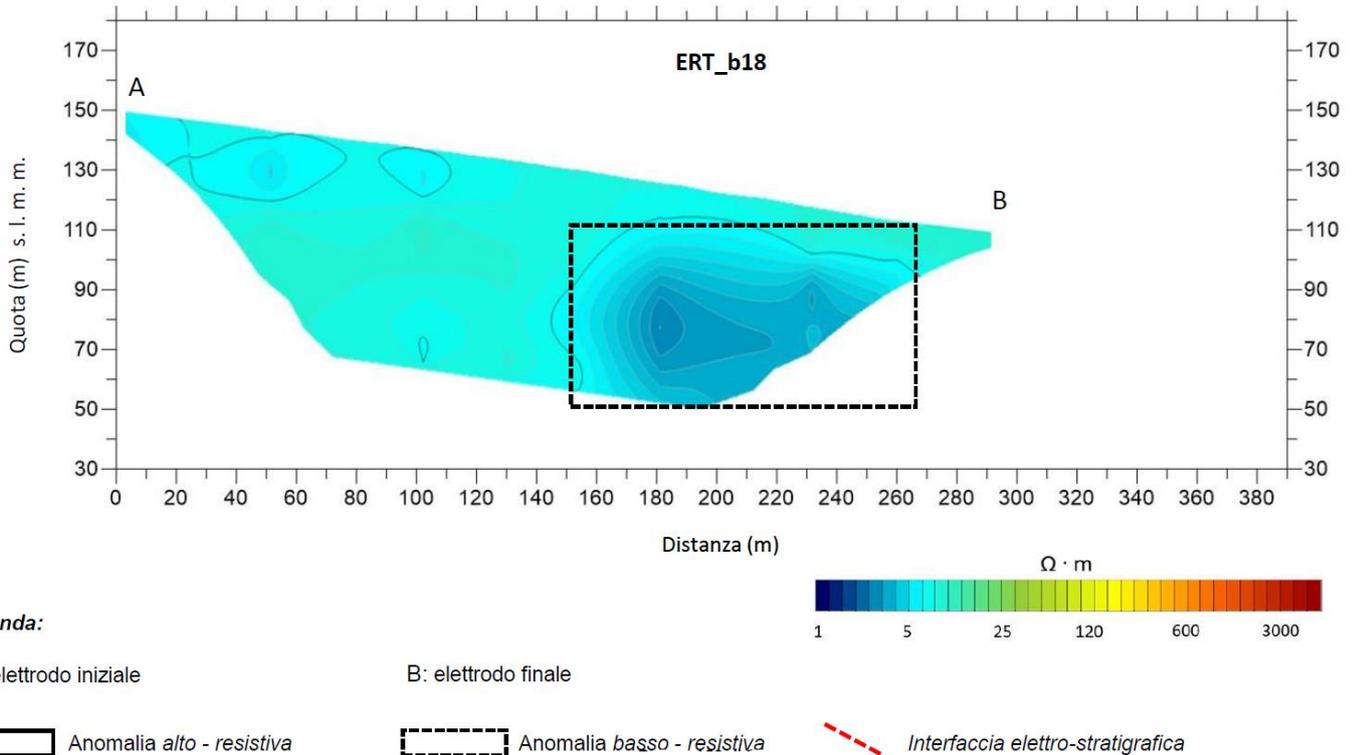


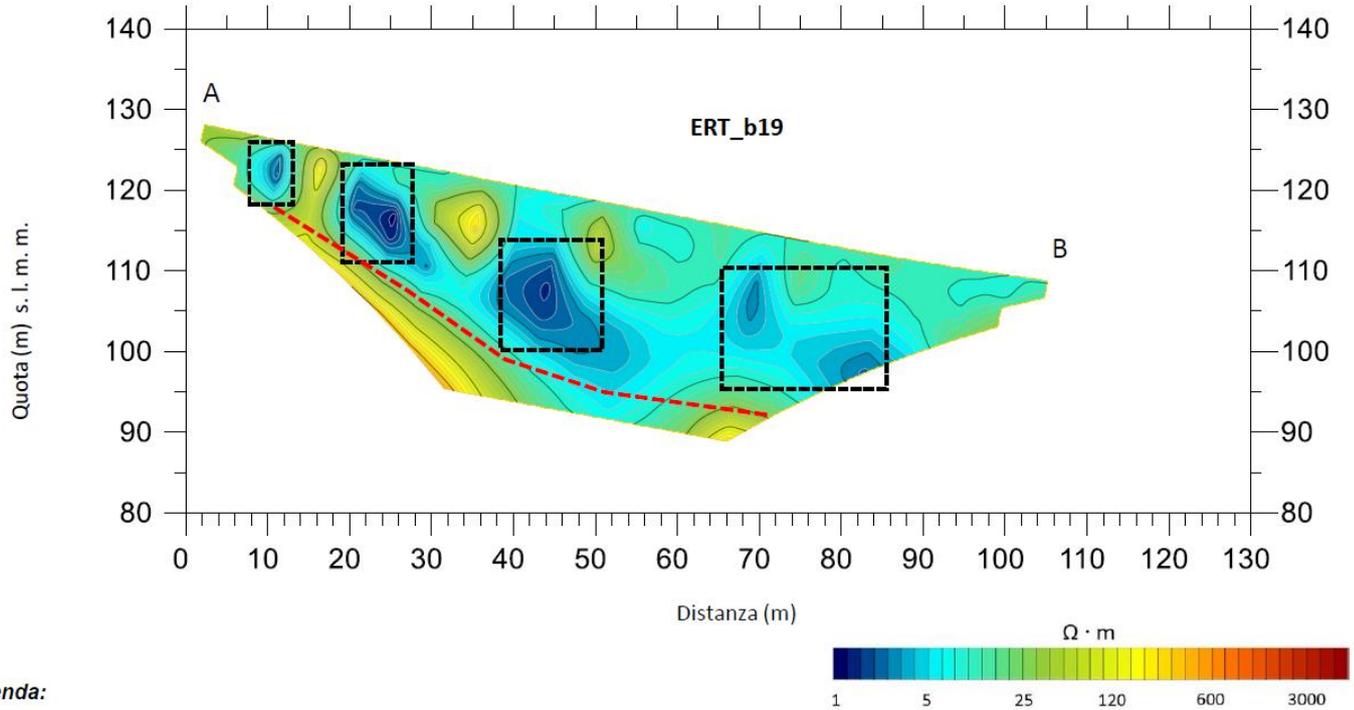
Figura 10-14 – Linea tomografica elettrica B18

ERT - B19

La massima profondità raggiunta è di 30 m. Dalla tomografia non si rilevano particolari anomalie; vanno segnalate quattro porzioni “basso-resistive” ($1 \Omega \cdot m < \rho < 10 \Omega \cdot m$) associabili probabilmente a lenti sature di fluidi, caratterizzate da diversi gradi di saturazione e mineralizzazione all’interno di una matrice di varia natura e grado di compattazione.

Alla base di queste anomalie conduttive si attesta un orizzonte abbastanza continuo caratterizzato da valori di resistività medio-alti con resistività $500 \Omega \cdot m < \rho < 1000 \Omega \cdot m$, correlabile alla sommità delle argilliti alterate, come confermato dalla stratigrafia del sondaggio SN07-IN che intercetta la linea in oggetto al metro 80 di progressione orizzontale; quest’ultimo consente di tarare i risultati ottenuti con le litologie reali e anche di correlare una possibile superficie di scorrimento. Dall’analisi della stratigrafia del sondaggio SN07-IN si rilevano, fino al metro 11 dal piano campagna, delle alternanze di limi e argille con inclusi litici, trovanti e grossi clasti sempre più compatti (coerente con i range di resistività riscontrati); dal metro 11 fino a fondo foro si rilevano le argilliti da mediamente compatte a compatte con livelli fratturati e presenza di marna mediamente compatta a fondo foro (anche in questo caso i valori di resistività misurati sono coerenti, tuttavia si tratta di una porzione marginale). Tale contatto basale, essendo ad una profondità variabile da 20 a 35 m, potrebbe essere riconducibile alla porzione sommitale del grosso banco di argilliti (cfr. **Figura 10-15**).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.		MANDANTI ENERGIA VALLEA AMBIENTE	REV. B	FOGLIO 132 di 351
	sinèrgo			Data 02/2024	



Legenda:

A: elettrodo iniziale

B: elettrodo finale

Anomalia alto - resistiva

Anomalia basso - resistiva

Interfaccia elettro-stratigrafica

Figura 10-15 – Linea tomografica elettrica B19

10.3.5 Prove con dilatometro piatto Marchetti

Per la caratterizzazione dell'area di frana sono state previste anche prove con dilatometro piatto Marchetti. La prova DMT, infatti, permette di verificare se un pendio in argille sovraconsolidate (OC) contiene superfici di scivolamento attive o quiescenti. Il metodo (Totani et al., 1997), che si basa sull'ispezione dei profili di K_D (cfr. **Figura 10-16**) si basa sulle seguenti considerazioni:

- la sequenza scorrimento-rimaneggiamento-riconsolidazione connessa con il verificarsi di una frana in un pendio costituito da argille OC in genere porta alla formazione di una zona rimaneggiata, ovvero di argilla pressoché normalconsolidata (NC) con perdita di struttura, aging o cementazione, nella fascia di terreno a cavallo della superficie di scorrimento;
- poiché in argille NC (prive di struttura, aging o cementazione) $K_D = 2$, se un pendio di argille OC contiene strati con $K_D = 2$ questi appartengono, con buona probabilità, ad una superficie di scorrimento attiva o quiescente. In pratica il metodo consiste nell'identificare strati di argilla NC in un pendio che per il resto è caratterizzato da un profilo OC (ad es. $K_D = 6 \div 8$), usando $K_D = 2$ come identificatore delle zone NC.

Dato che con questo metodo l'individuazione delle superfici di scorrimento è molto più veloce di quella ottenibile con gli inclinometri, per i quali occorre attendere il verificarsi di effettivi scivolamenti, sono state previste n. 3 prove con dilatometro piatto Marchetti DMT da associare alle n. 3 verticali inclinometriche (SN06-IN, SN06bis-IN, SN07-IN). Il metodo, infatti, è particolarmente adatto ad essere utilizzato in combinazione con gli inclinometri essendo in grado di rivelare anche eventuali superfici quiescenti, non rilevabili con gli inclinometri e che potrebbero riattivarsi ad es. in occasione di scavi, ma non consente di stabilire se la frana è in atto e l'entità degli spostamenti.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l. MANDANTI ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D_VA D.VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 133 di 351
		Data 02/2024	

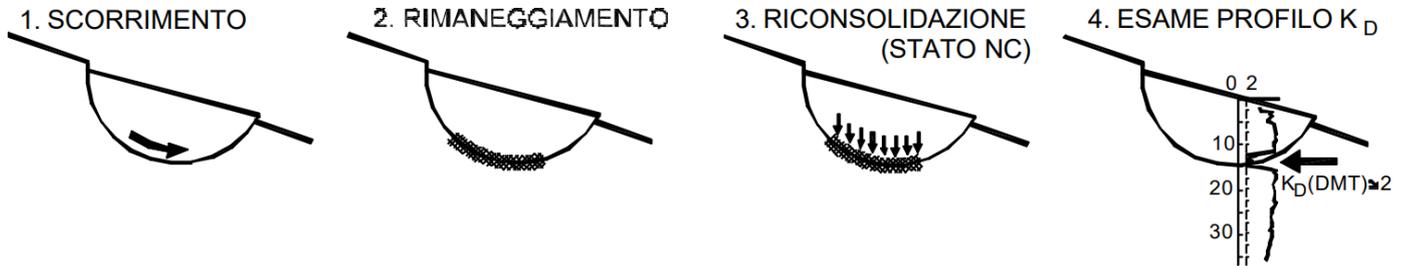


Figura 10-16 – Metodo KD per l'individuazione di superfici di scorrimento in argille OC (da G. Totani, S. Marchetti, P. Monaco, M. Calabrese, 1997)

Sono state eseguite n.3 prove con dilatometro piatto Marchetti (DMT1, DMT3, DMT4) utilizzando un penetrometro cingolato Pagani statico-dinamico TG63-200, con aste a doppio principio (2P). Tuttavia, in ciascuna ubicazione di prova, prevista inizialmente in adiacenza ad ogni verticale inclinometrica, è stato necessario eseguire l'ancoraggio più volte, poiché la presenza di alcuni corpi rocciosi ne impediva l'esecuzione. Date le difficoltà di ancoraggio, alcune ubicazioni di prova sono state modificate rispetto alla loro posizione originale. La prova DMT2 ha richiesto ben cinque tentativi di ancoraggio, dopo i quali è stato deciso di rinunciare alla sua esecuzione. Nell'ubicazione DMT 3 è stato eseguito un preforo sino alla profondità di circa 3.60 m, a partire dalla quale sono iniziate le misure. Tutte le prove sono terminate alla profondità di rifiuto del penetrometro, ovvero quando la spinta era massima e il penetrometro, seppur ancorato, iniziava a sollevarsi.

Nell'elaborato **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" sono riportati sia i report ufficiali sia l'interpretazione di tali prove.

Per le difficoltà di ancoraggio e di penetrazione delle prove, dovute alla presenza di blocchi rocciosi inglobati nel terreno, le prove si sono arrestate a modesta profondità (DMT1 a 5.20 m, DMT3 a 9.00 m, DMT4 a 3.20 m; la prova DMT3 inoltre ha dovuto prevedere un preforo fino a 3.60 m).

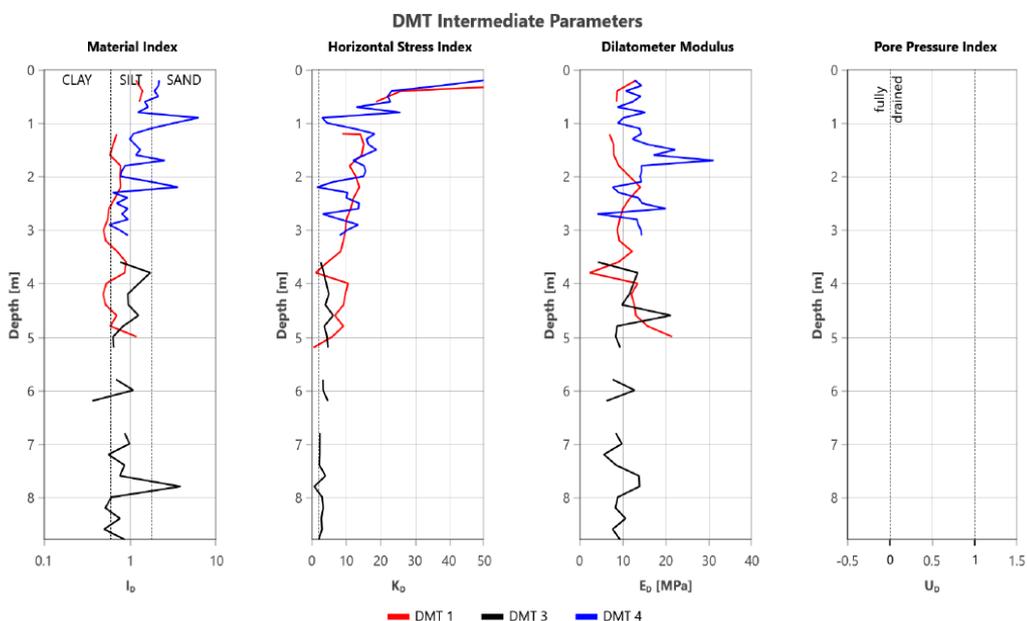


Figura 10-17 – Prove DMT – Parametri intermedi

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	B	134 di 351
			Data 02/2024	

Dal grafico di **Figura 10-17** è possibile verificare che a partire da 4 ÷ 5 m nelle prove DMT1 e DMT3 il valore di K_D risulta molto prossimo a $K_D=2$, tuttavia la lunghezza estremamente ridotta delle prove e, soprattutto, la mancanza del tratto inferiore sovraconsolidato, non consentono di individuare correttamente la profondità di una eventuale superficie di scivolamento, attiva o quiescente che sia.

10.3.6 Monitoraggio inclinometrico

Nel mese di giugno 2023 è stato avviato il monitoraggio inclinometrico dell'area di frana, nella quale erano state precedentemente realizzate, durante la campagna di indagini 2021-2022, n. 3 verticali inclinometriche (SN06-IN, SN06bis-IN e SN07-IN) di lunghezza pari a 30 m.

La "lettura di zero" è stata eseguita il 14/06/2023. I dati acquisiti sono stati elaborati con il software OG 390 Win PRO fornito dalla O.T.R. srl. e i risultati sono mostrati **T00GE01GEORE07** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023" a cui si rimanda.

Successivamente sono state eseguite due misure, la prima il 24/07/2023 e la seconda il 31/08/2023. Anche in questo caso i dati acquisiti sono stati elaborati con il software OG 390 Win PRO fornito dalla O.T.R. srl. mentre i risultati delle misure sono mostrati nell'elaborato **T00GE01GEORE08** - "Documentazione indagini geognostiche integrative 2023 - Monitoraggio inclinometrico e piezometrico".

I risultati delle prime misure finora eseguite sui tre inclinometri, con riferimento all'ultima misura del 31/01/2024 (oltre 7 mesi dalla lettura di zero del 14/06/2023) consentono di fare le seguenti osservazioni, con riferimento al grafico del movimento per punti e al grafico del movimento per sommatoria:

- **SN06-IN** (profondità del tubo inclinometrico 20.5 m): il grafico del movimento per punti rispetto all'origine mostra uno spostamento di 0.8 mm a 12 m di profondità, verificatosi solo nell'ultimo mese di misura (dopo il 20/12/2023); conseguentemente, il grafico del movimento per sommatoria mostra attualmente valori di deformazione che, a partire da 12 m, crescono leggermente arrivando ad un valore massimo di circa 2 mm a p.c. (0.5 m di profondità); l'azimut di tale deformazione (inteso come l'angolo tra la sommatoria ed Est misurato in senso antiorario) mostra un valore di 331°, corrispondente ad un azimut reale (rispetto a Nord in senso orario) pari a 119° (ESE), eventualmente compatibile con un movimento gravitativo del versante, esposto grosso modo a Est.
- **SN06bis-IN** (profondità del tubo inclinometrico 28.5 m): il grafico del movimento per punti rispetto all'origine mostrava uno spostamento di 0.7 mm a 8 m di profondità già nella prima misura del 24/07/2023, tuttavia senza mostrare una progressione di tale spostamento negli ultimi mesi, con un massimo misurato nell'ultima lettura di circa 1.3 mm a 0.5 m di profondità; l'azimut di tale deformazione mostra un valore di 17°, corrispondente ad un azimut reale pari a 73° (ENE), eventualmente compatibile con un movimento gravitativo del versante, esposto grosso modo a Est.
- **SN07-IN** (profondità del tubo inclinometrico 30 m): in questo ultimo caso il grafico del movimento per punti rispetto all'origine non mostra spostamenti apprezzabili lungo tutta la verticale; il grafico del movimento per sommatoria mostra un aumento graduale della deformazione da fondo foro fino a p.c., con un valore massimo misurato nell'ultima lettura di circa 1 mm a 0.5 m di profondità; pertanto, in quest'ultima verticale non è presente nessun indizio di una eventuale superficie di scivolamento.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D VisionArchitecture	B	135 di 351
			Data 02/2024	

10.3.7 Monitoraggio piezometrico

Nell'area di frana sono stati realizzati n. 3 piezometri a tubo di profondità pari a 15 m (SN06-PZ, SN06bis-PZ, SN07-PZ).

In sintesi, risultati delle misure del livello piezometrico nei tre piezometri sono i seguenti:

- SN06-PZ: i risultati mostrano una soggiacenza del livello piezometrico variabile tra un massimo 3.76 m da p.c. (agosto 2023) e un minimo di 0.95 m da p.c. (dicembre 2023);
- SN06bis-PZ: i risultati mostrano in questo caso una soggiacenza del livello piezometrico variabile tra un massimo di 1.50 m da p.c. (settembre 2023) e un minimo di 0.55 m da p.c. (dicembre 2023);
- SN07-PZ: i risultati mostrano una soggiacenza del livello piezometrico variabile tra un massimo 4.30 m da p.c. (ottobre 2023) e un minimo di 1.75 m da p.c. (dicembre 2023 – gennaio 2024).

10.4 Back-analysis del fenomeno franoso

Sulla base di tutti i dati sopra riportati, nell'eventualità che la frana sia attiva, è stata impostata un'analisi di stabilità a ritroso (back-analysis) con la finalità di determinare il valore della resistenza lungo la superficie di scorrimento. Tale analisi, eseguita con il programma di calcolo *Slide 6.0 (Rocscience inc.)*, che consente, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite per conci (nel caso specifico è stato utilizzato il metodo di Janbu semplificato), di calcolare il coefficiente di sicurezza anche per una singola superficie di rottura stabilita dall'utente, è stata impostata sulla base delle seguenti condizioni:

- estensione monte-valle della frana attiva di oltre 600 m (come da cartografia PAI);
- versante in frana caratterizzato da una pendenza media della superficie topografica di circa 7÷8°;
- superficie di scivolamento a profondità media pari a 8 m (cfr. inclinometro SN06bis-IN) almeno nel tratto più a valle della stessa, ipotizzata grosso modo parallela al pendio vista l'estensione della frana;
- condizioni piezometriche variabili tra pendio saturo e pendio asciutto (ovvero livello piezometrico ipotizzato al di sotto della superficie di scorrimento).

In particolare, nelle condizioni di pendio saturo, il valore dell'angolo di attrito residuo per il quale il coefficiente di sicurezza assume valore unitario risulta essere pari a circa 13.5° (cfr. **Figura 10-18** e **Figura 10-19**), mentre nelle condizioni corrispondenti a quelle misurate nella recente campagna di monitoraggio piezometrico, il valore dell'angolo di attrito residuo risulta essere pari a circa 10.5° (cfr. **Figura 10-20** e **Figura 10-21**). Infine, dato che la forma della superficie di scorrimento, ipotizzata grosso modo parallela al versante, risulta schematizzabile con il modello del *pendio indefinito*, in condizioni di pendio asciutto valore dell'angolo di attrito residuo si approssima a quello della pendenza media della superficie topografica, risultano pari a circa 7° (cfr. **Figura 10-22** e **Figura 10-23**).

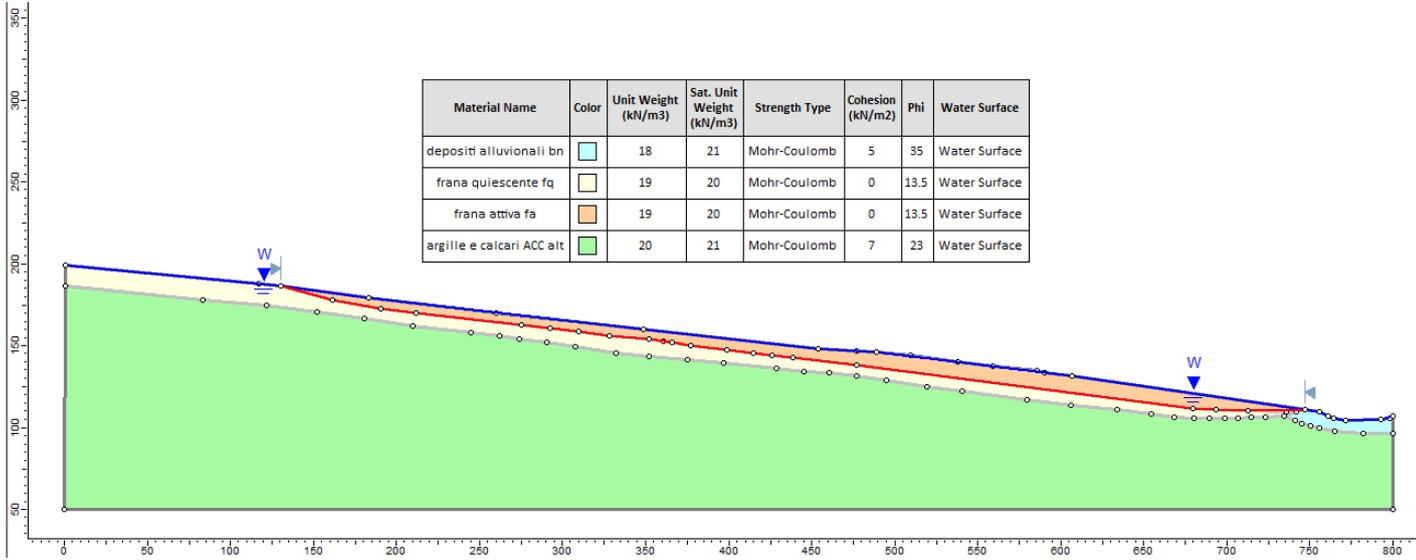


Figura 10-18 – Back-analisi fenomeno franoso – Condizioni di pendio saturo – Modello di calcolo

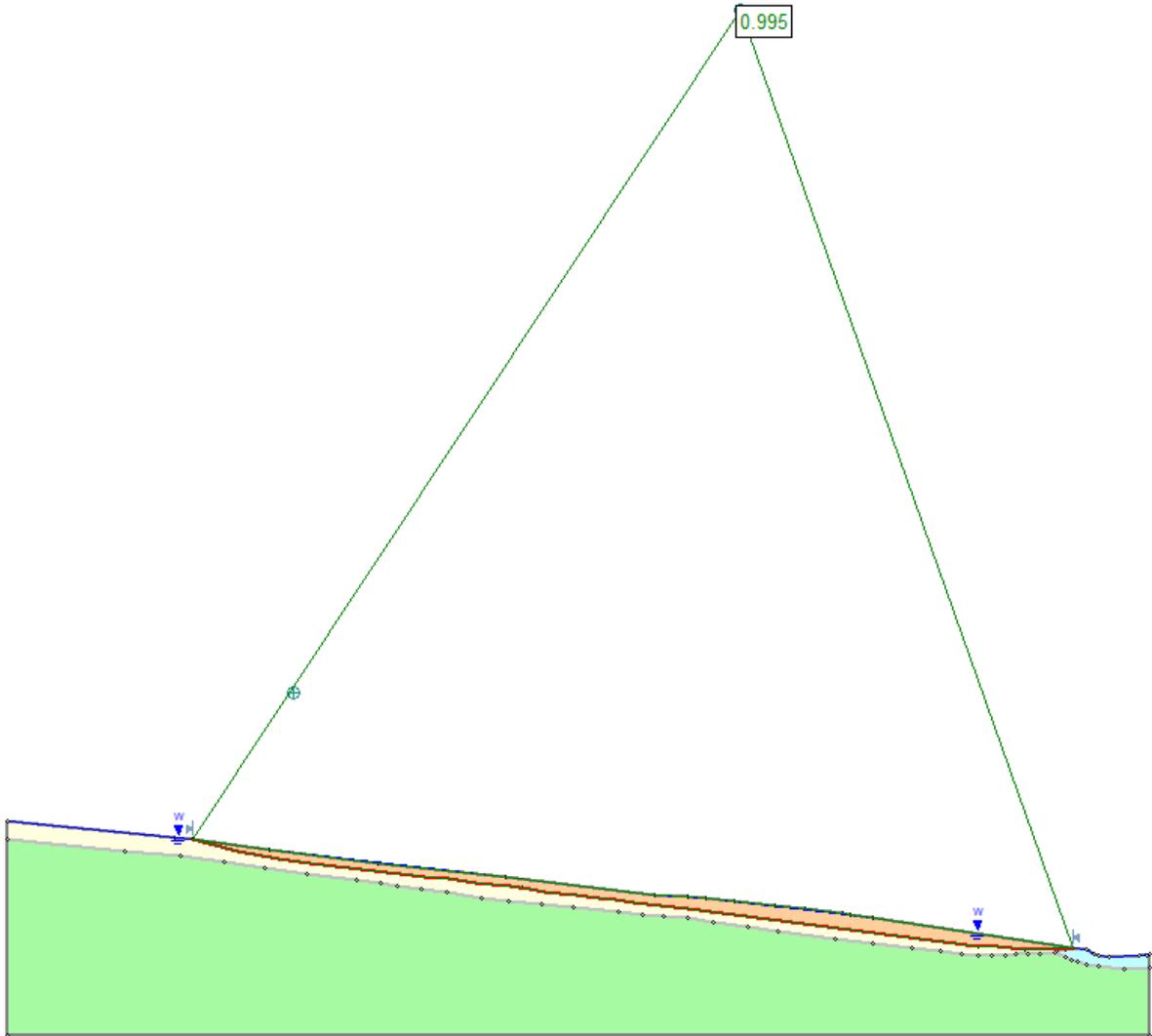


Figura 10-19 – Back-analisi fenomeno franoso – Condizioni di pendio saturo – Risultati

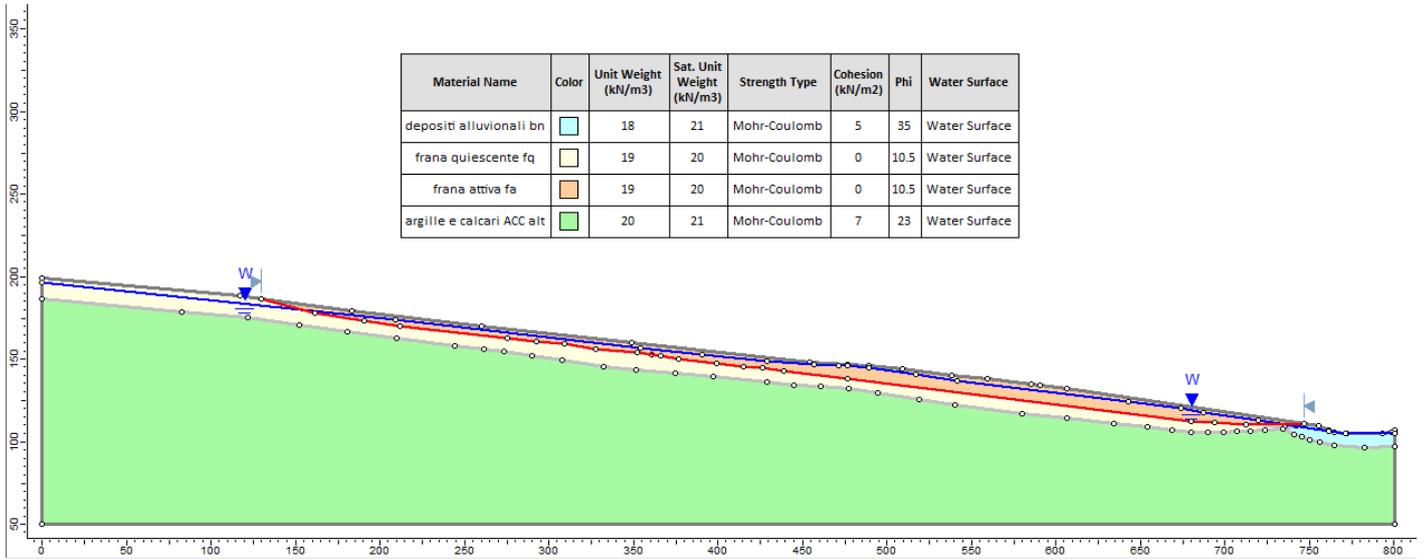


Figura 10-20 – Back-analisi fenomeno franoso – Condizioni di pendio parzialmente saturo – Modello di calcolo

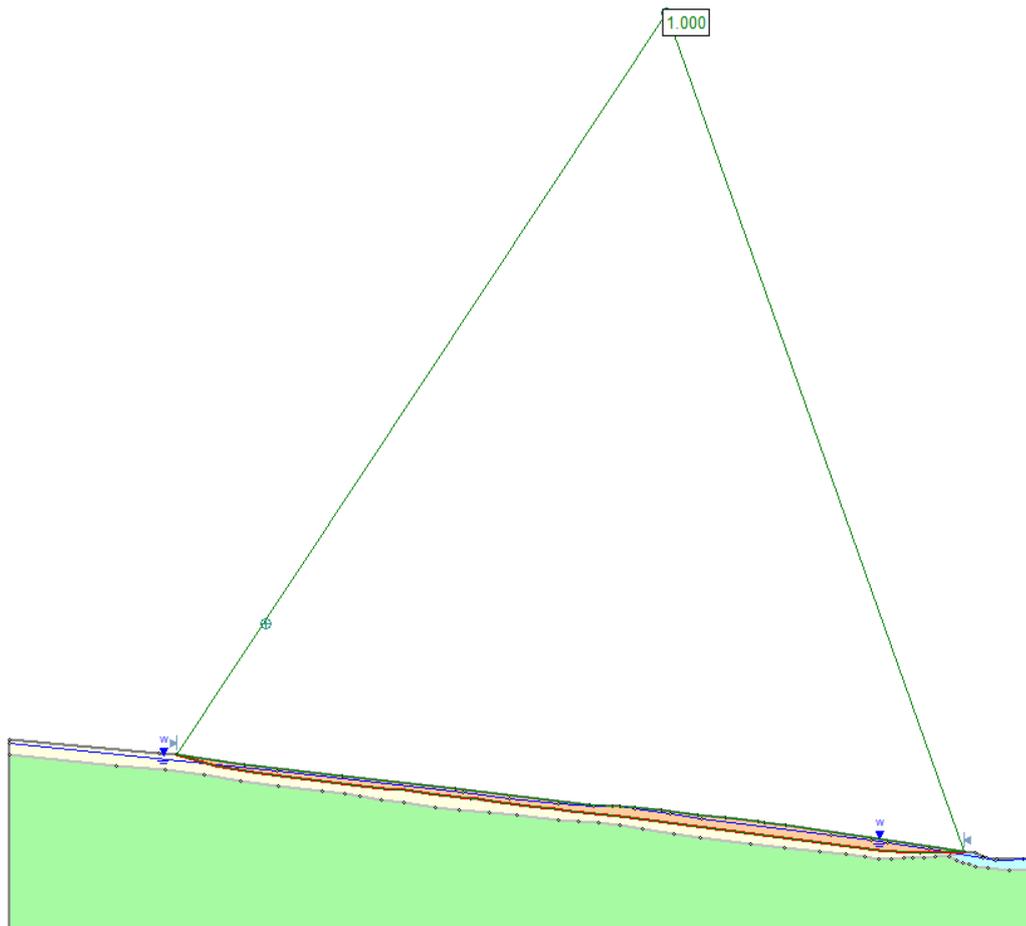


Figura 10-21 – Back-analisi fenomeno franoso – Condizioni di pendio parzialmente saturo – Risultati

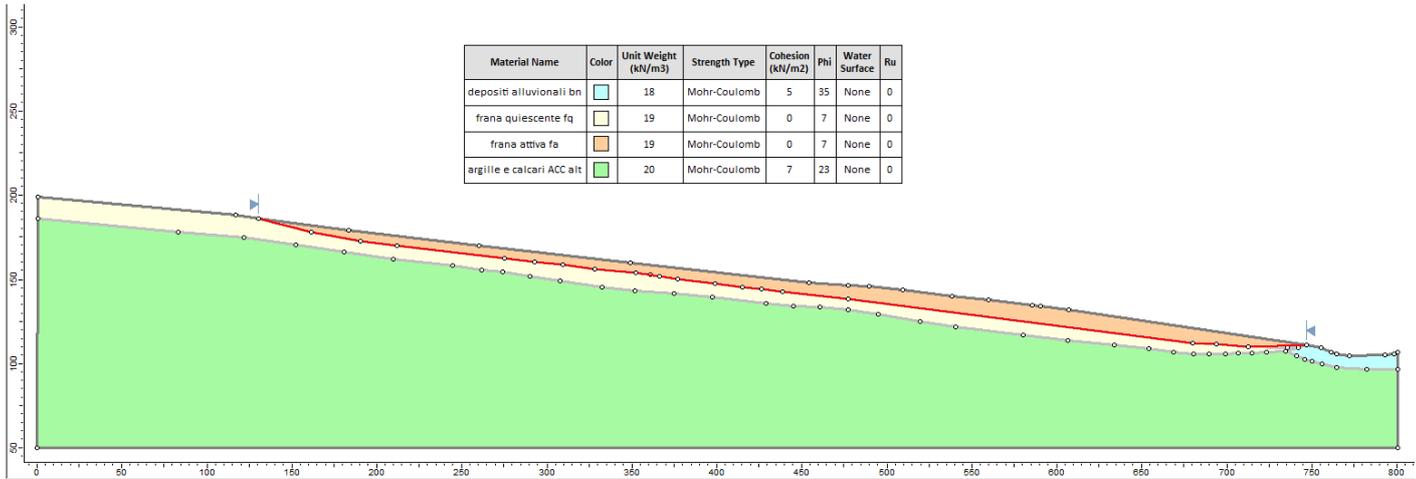


Figura 10-22 – Back-analisi fenomeno franoso – Condizioni di pendio asciutto – Modello di calcolo

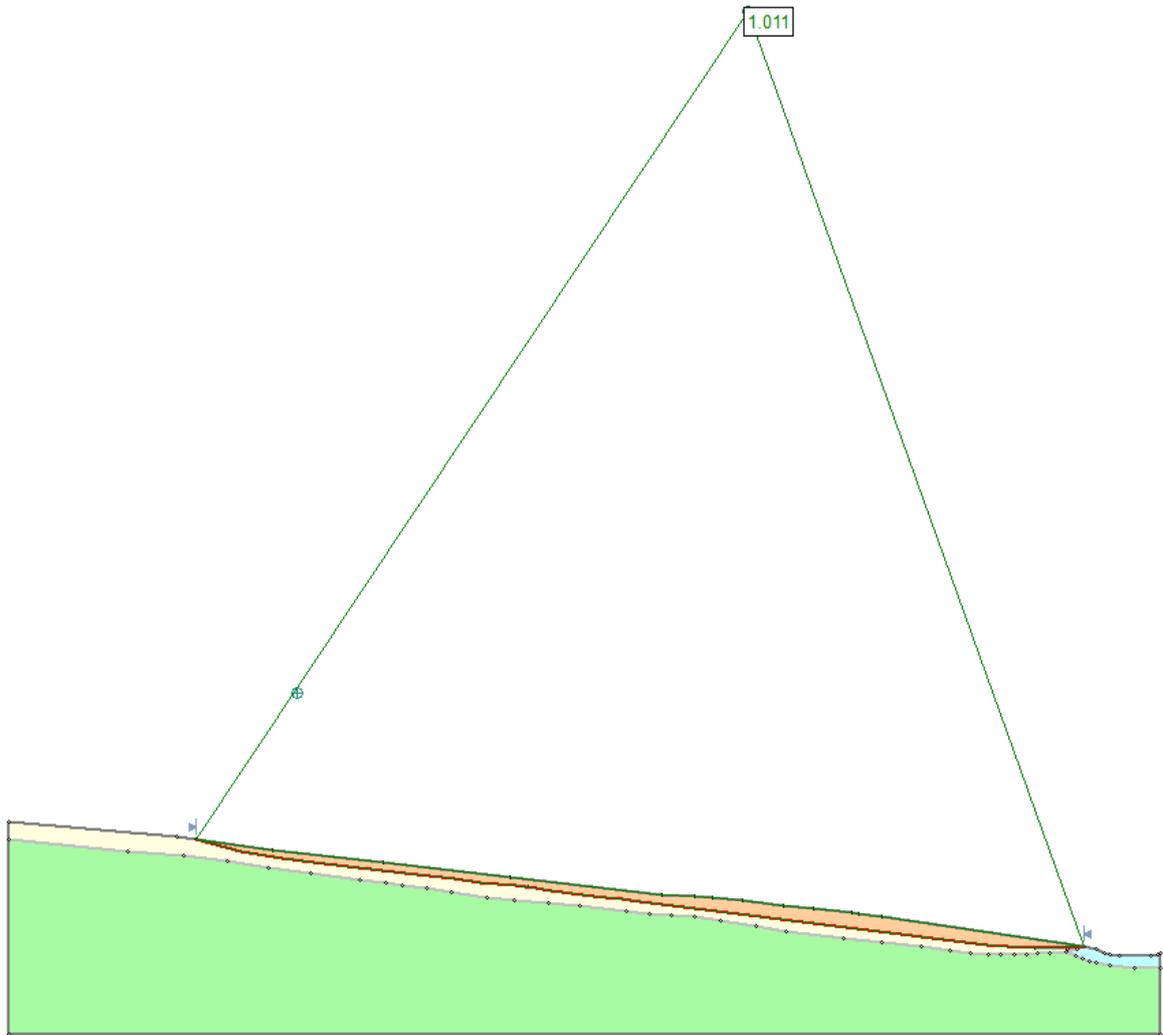


Figura 10-23 – Back-analisi fenomeno franoso – Condizioni di pendio asciutto - Risultati

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA 	MANDANTI   	B	139 di 351
			Data 02/2024	

10.5 Sintesi della caratterizzazione dell'area di frana

Dagli esiti di tutte le indagini eseguite nell'area di frana e sopra descritte emerge un quadro riassumibile nei seguenti punti principali:

- la frana, ubicata in destra idrografica del fiume Sieve:
 - dal *Catalogo IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia* viene classificata come *scivolamento rotazionale/traslato*, con *stato di attività n.d. (non determinato)*;
 - dalla *Banca Dati geomorfologica della Regione Toscana (sito web GEOscopio della Regione Toscana)*, viene classificata come *frana di scorrimento (velocità indeterminata)*, con *stato di attività indeterminata*;
 - dal *PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale – Bacino del Fiume Arno*, viene classificata come *frana a pericolosità molto elevata PF4*;
 - dal *PAI dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale – Progetto di Piano - PAI "Dissesti geomorfologici"*, il dissesto viene classificato come *area a pericolosità molto elevata P4, scivolamento/colata lenta, attiva (S3)*, che continua a monte come *scivolamento/colata lenta, inattiva potenzialmente instabile (S2)*;
- per quest'area sono disponibili i dati di velocità media annua di alcuni PS registrate dal satellite ERS nel periodo 1992-2000, dal satellite ENVISAT nel periodo 2003-2010 e dal satellite SENTINEL-1 a partire dal 2014; in corrispondenza del piede della frana, dove sono presenti alcuni edifici, sono presenti sia alcuni PS che indicano una sostanziale stabilità (velocità comprese tra -1.9÷-2 mm/anno registrate con Envisat ascendente e Sentinel sia ascendente che discendente), sia un unico PS che indica una velocità compresa tra -4.9 e -2 mm/anno (Envisat ascendente); dato che il versante in esame è esposto ad Est e che quindi la traiettoria in grado di meglio descrivere l'eventuale movimento è quella ascendente, il dato di velocità relativo al satellite Envisat ascendente deve essere considerato con particolare attenzione.
- le stratigrafie dei n. 3 sondaggi eseguiti nell'area, insieme con gli esiti delle prove SPT, hanno mostrato uno spessore di terreno che, nella sua porzione più superficiale fino a 10÷15 m di profondità, potrebbe essere potenzialmente riconducibile a depositi gravitativi di versante (frana attiva o quiescente);
- le indagini sismiche a rifrazione con misura delle V_P e delle V_S hanno consentito di individuare la presenza di tre sismostrati principali, il più superficiale ($V_P < 1200\div 1500$ m/s, $V_S < 300\div 400$ m/s), con uno spessore di 4÷8 m, potenzialmente assimilabile alla porzione attiva della frana, l'intermedio ($V_P < 1900\div 2200$ m/s, $V_S < 500\div 600$ m/s), con uno spessore di 8÷10 m circa, potenzialmente assimilabile alla porzione quiescente della frana, e quello più profondo ($V_P \geq 1900\div 2200$ m/s, $V_S \geq 500\div 600$ m/s), presente da profondità medie di 15÷20 m, assimilabile al substrato argillitico delle Argille e Calcari di Canetolo, da alterato a poco alterato;
- le indagini di tomografia elettrica ERT non sono risultate, nello specifico, particolarmente diagnostiche nell'individuazione di una potenziale superficie di scorrimento;
- gli esiti delle n. 4 prove con dilatometro piatto Marchetti eseguite, a causa della lunghezza estremamente ridotta delle prove e della mancanza del tratto inferiore sovraconsolidato, non hanno consentito di individuare con sicurezza la presenza di una eventuale superficie di scivolamento (attiva o quiescente);
- il monitoraggio eseguito sui n. 3 piezometri installati nell'area ha mostrato valori di soggiacenza del livello piezometrico della falda superficiale variabili tra 0.5 e 4 m circa da p.c.;

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EIVVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	140 di 351
			Data 02/2024	

- il monitoraggio eseguito sui n. 3 inclinometri installati nell'area non ha mostrato chiari indizi di una superficie di scivolamento attiva su tutte e tre le verticali; tuttavia, su due verticali (SN06bis-IN e SN06-IN) sembrerebbe possibile individuare una potenziale superficie di scivolamento attiva rispettivamente a 8 e 12 m di profondità;
- le prove di taglio diretto eseguite in laboratorio sui campioni della porzione più superficiale dei depositi di frana (profondità < 7 m), hanno fornito valori di resistenza a taglio di picco pari a $c'_p = 7$ kPa, $\varphi'_p = 26 \div 34^\circ$ e valori di resistenza a taglio residui pari a $c'_r = 0$ kPa, $\varphi'_r = 25 \div 28^\circ$;
- i valori ottenibili da una back-analysis del fenomeno franoso eseguita sulla base delle seguenti condizioni:
 - estensione monte-valle della frana attiva di oltre 600 m (come da cartografia PAI);
 - versante in frana caratterizzato da una pendenza media della superficie topografica di circa $7 \div 8^\circ$;
 - superficie di scivolamento a profondità media pari a 8 m (cfr. inclinometro SN06bis-IN) almeno nel tratto più a valle della stessa, ipotizzata grosso modo parallela al pendio vista l'estensione della frana;
 - condizioni piezometriche variabili tra pendio saturo e pendio asciutto (ovvero livello piezometrico ipotizzato al di sotto della superficie di scorrimento);

hanno fornito un valore dell'angolo di attrito residuo pari a circa 13.5° in condizioni di pendio saturo, un valore pari a circa 10.5° nelle condizioni corrispondenti a quelle misurate nella recente campagna di monitoraggio piezometrico e un valore pari a 7° in condizioni di pendio asciutto; tali valori possono essere considerati rappresentativi unicamente della resistenza residua presente in corrispondenza della superficie di scorrimento della frana, dato che risultano molto inferiori ai valori residui ottenuti da prove di taglio diretto su campioni indisturbati prelevati nel corpo della frana a profondità inferiori a 7 m.

Tuttavia, richiamato quanto prevedono le Norme di Attuazione del PAI all'Art. 10 per le Aree a pericolosità molto elevata da processi geomorfologici di versante e da frana, ovvero.

“Nelle aree P.F.4, per le finalità di cui al presente PAI, sono consentiti, purché nel rispetto del buon regime delle acque:

- a. *interventi di consolidamento, sistemazione e mitigazione dei fenomeni franosi, nonché quelli atti a indagare e monitorare i processi geomorfologici che determinano le condizioni di pericolosità molto elevata, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla conformità degli interventi con gli indirizzi dalla stessa fissati;*
- b. *interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;*
- c. *interventi di ristrutturazione delle opere e infrastrutture pubbliche nonché della viabilità e della rete dei servizi privati esistenti non delocalizzabili, purché siano realizzati senza aggravare le condizioni di instabilità e non compromettano la possibilità di realizzare il consolidamento dell'area e la manutenzione delle opere di consolidamento;*

[...]

- h. *nuovi interventi relativi a opere pubbliche o di interesse pubblico, non diversamente localizzabili, a condizione che siano preventivamente realizzate le opere funzionali al consolidamento e alla bonifica del movimento franoso previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla conformità di tali interventi con gli indirizzi dalla stessa fissati.”*

una progettazione geotecnica degli eventuali interventi di consolidamento e bonifica del movimento franoso che consideri un'estensione come quella indicata dalla cartografia PAI, una profondità media di 8 m come suggerito da

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 141 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	
					Data 02/2024

uno dei tre inclinometri disponibili per l'area, dei parametri di resistenza come quelli indicati dalle back-analysis di cui sopra, non appare realisticamente praticabile.

Pertanto, stante l'attuale indeterminatezza sulla reale attività della frana, sulla sua profondità e sulla sua effettiva estensione, l'interferenza dell'infrastruttura in progetto con la frana è stata affrontata con un approccio di minor impatto possibile, adottando questa soluzione:

- ottimizzazione della livelletta stradale in modo da limitare il più possibile l'altezza degli scavi e dei rilevati all'interno del corpo della frana, a scapito di un modesto incremento della pendenza longitudinale del tracciato, evitando in questo modo la realizzazione di opere di sostegno rigide importanti (muri, paratie in c.a., pali o pozzi strutturali di consolidamento contrastati) e onerose che, in caso di soluzione con livelletta più profonda, interferendo con la superficie di scivolamento, sarebbero state soggette a spinte notevoli con potenziali fessurazioni e/o rotture delle opere;
- inserimento di tubi drenanti sub-orizzontali sulla scarpata di scavo ($H_{max} < 4$ m) presente a monte della sede stradale, e contestuale realizzazione di uno strato di anticapillare al di sotto della fondazione stradale in trincea, in modo da contrastare l'eventuale risalita della superficie piezometrica in corrispondenza della sede stradale;
- predisposizione di una rete di monitoraggio geotecnico dell'area di frana a cavallo della sede stradale, prevedendo la realizzazione di inclinometri e piezometri con misure manuali da eseguire a cadenza almeno trimestrale, in modo da tenere sotto controllo l'eventuale tendenza evolutiva della frana, anche in relazione a periodi di precipitazioni intense e prolungate nel tempo (cfr. **Figura 10-24**);
- prevedere costantemente, in funzione degli esiti del monitoraggio geotecnico, un'attività di controllo e manutenzione della pavimentazione e del corpo stradale, in modo da assicurare in ogni momento le necessarie condizioni di sicurezza per l'utenza.

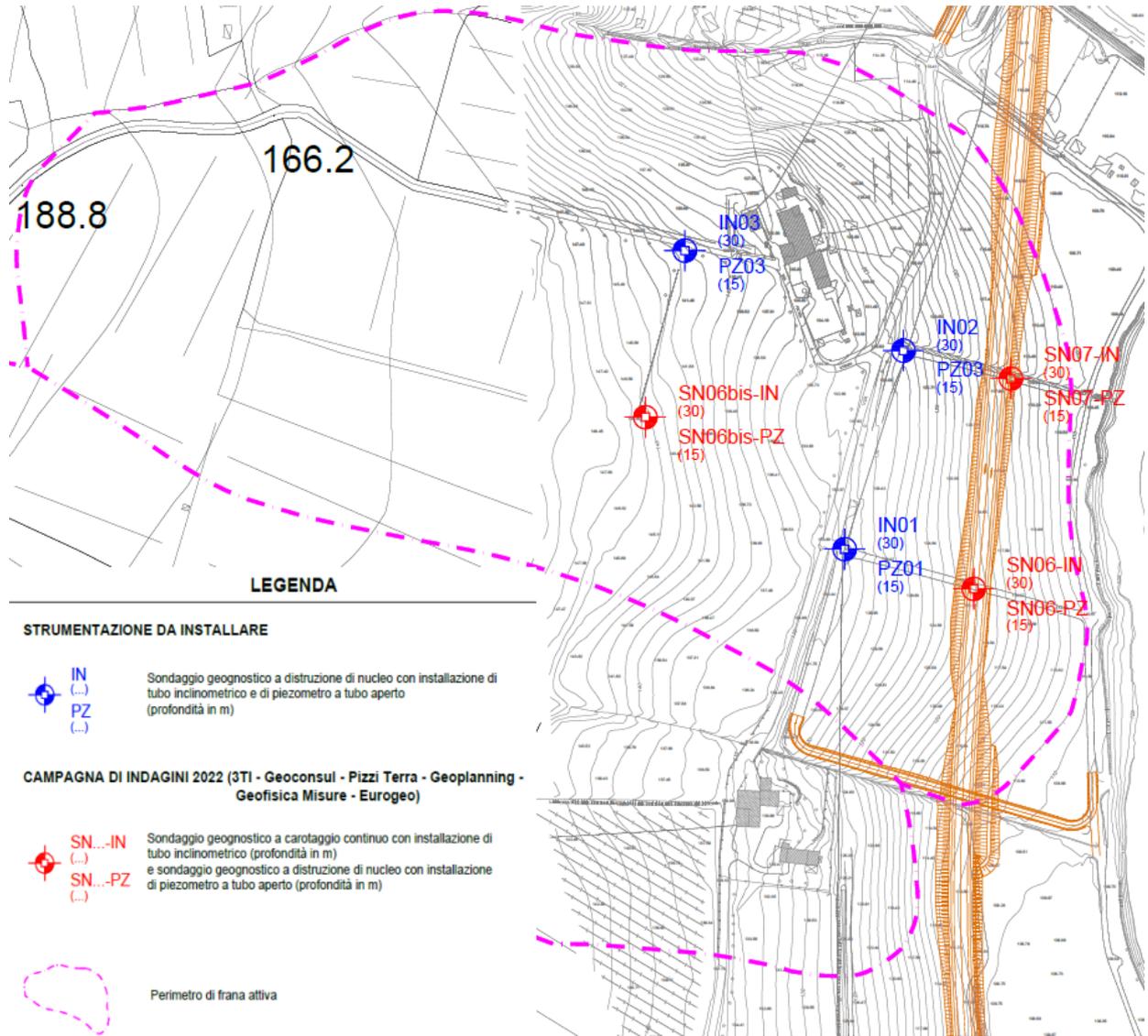


Figura 10-24 – Piano di monitoraggio geotecnico dell'area di frana tra le p.k. 0+925 e 1+300: ubicazione della strumentazione prevista

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  CIVIA Consorzio Val di Sieve  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	B	143 di 351
			Data 02/2024	

11 RILEVATI E TRINCEE

Le opere in oggetto interessano sostanzialmente tutto il tracciato in oggetto, ad eccezione delle opere d'arte maggiori costituite da viadotti e gallerie. In particolare, i rilevati stradali saranno realizzati lungo tutto il tratto stradale previsto per l'infrastruttura ad eccezione del tratto tra la p.k. 1+000 e la p.k. 1+050 circa ove è previsto un tratto con scavo in trincea, e in alcuni tratti ove la realizzazione del tracciato avverrà mediante scavo a mezzacosta. Il progetto prevede inoltre la realizzazione di un muro in terra armata sui fianchi del rilevato dalla p.k. 0+608 alla p.k. 0+898 circa.

11.1 Formazione dei rilevati

In corrispondenza di tutti i tratti all'aperto in approccio alle opere d'arte maggiori (viadotti) e nei tratti stradali di innesto alle rotatorie e svincoli, ad eccezione di un tratto di circa 100 m tra la p.k. 1+000 e la p.k. 1+050 circa, le opere geotecniche consistono nella realizzazione di **rilevati stradali**. I rilevati in oggetto presentano altezze variabili da 2 a 7-8 m circa.

Lo studio geologico generale del tracciato in progetto ha consentito di appurare che i rilevati da inizio tracciato al Viadotto Sieve 1 insistono su spessori dell'ordine di qualche metro fino alla decina di metri di terreno alluvionale costituito da granulometrie medio-grossolane ed eterogenee, sempre accompagnate da una discreta componente fine; al di sotto di tali spessori è presente l'unità delle argille e calcari di Canètole, talvolta nella sua porzione alterata. Tale unità funge da base per il corpo dei rilevati in tutti i tratti successivi al Viadotto Sieve 1, salvo essere ricoperta nuovamente da spessori metrici di terreni appartenenti ai depositi alluvionali terrazzati saltuariamente e fino a fine tracciato e ad eccezione del tratto tra la p.k. 0+925 circa e la p.k. 1+000 e tra la p.k. 1+100 e la p.k. 1+275 circa dove i terreni alla base dei tratti in rilevati, qui di altezza più modesta (da 2 a 4 m circa), sono costituiti dai depositi limoso-sabbioso-argillosi talora ghiaiosi appartenenti all'unità geotecnica "fa" (depositi di frana).

Per il corpo del rilevato dovranno essere impiegati materiali appartenenti ai gruppi A1-a, A1-b, A2-4, A2-5 e A3. In caso di utilizzo materiale appartenente al gruppo A3, il coefficiente di uniformità (D60/D10) dovrà essere maggiore o uguale a 7.

L'ultimo strato del rilevato, che andrà a costituire il piano di posa della fondazione stradale, dovrà avere uno spessore non inferiore a 30 cm dovrà essere realizzato con materiali appartenenti esclusivamente ai gruppi A1-a e A3.

I materiali impiegati dovranno essere del tutto esenti da frazioni o componenti vegetali, organiche e da elementi solubili, gelivi o comunque instabili nel tempo, non essere di natura argillo-scistosa nonché alterabili o molto fragili.

L'impiego di rocce frantumate è ammesso nella restante parte del rilevato, se di natura non geliva, se stabili con le variazioni del contenuto d'acqua e se tali da presentare pezzature massime non eccedenti i 20 cm. Di norma la dimensione delle massime pezzature ammesse non dovrà superare i due terzi dello spessore dello strato compattato. Inoltre, il materiale a pezzatura grossa (compreso tra 7 e 20 cm) deve essere di pezzatura disuniforme e non deve costituire più del 30% del volume del rilevato. In particolare, dovrà essere realizzato un accurato intasamento dei vuoti, in modo da ottenere, per ogni strato, una massa ben assestata e compattata.

A compattazione avvenuta i materiali costituenti il corpo del rilevato, ad eccezione dello strato terminale, di seguito descritto, dovranno presentare una massa volumica del secco pari o superiore al 90% della massa volumica del secco massima individuata dalle prove di compattazione AASHO Mod. (UNI EN 13286), (CNR 22-1972) e un valore del modulo di deformabilità Md al primo ciclo:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	B	144 di 351
			Data 02/2024	

- non inferiore a 20 MPa (nell'intervallo di carico compreso tra 50÷150 kPa, CNR 146 - 1992) sul piano di posa del rilevato posto a 1,00 m da quello della fondazione della pavimentazione stradale;
- non inferiore a 15 MPa (nell'intervallo di carico compreso tra 50÷150 kPa, CNR 146 - 1992) sul piano di posa del rilevato posto a 2,00 m, o più, da quello della fondazione della pavimentazione stradale.

L'ultimo strato di 30 cm, costituente il piano di posa della fondazione della pavimentazione, dovrà invece presentare un grado di costipamento pari o superiore al 95% della massa volumica del secco massima individuata dalle prove di compattazione AASHO Mod. (UNI EN 13286), (CNR 22-1972); il modulo di deformazione al primo ciclo di carico su piastra (diametro 30 cm) dovrà risultare non inferiore a 50 MPa, nell'intervallo compreso tra 150÷250 kPa (0,15 - 0.25 N/mm²) sul piano di posa della fondazione della pavimentazione stradale in rilevato.

La variazione di detti valori minimi al variare della posizione all'interno del corpo del rilevato, al termine del costipamento del singolo strato, dovrà risultare lineare.

Le caratteristiche di deformabilità dovranno essere accertate in modo rigoroso e dovranno essere garantite, anche a lungo termine, nelle condizioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli.

Su ciascuna sezione trasversale i materiali impiegati per ciascuno strato dovranno essere dello stesso gruppo.

Le scarpate dei rilevati avranno pendenze pari a 2V:3H. In caso di rilevati di altezza superiore a 5 m, dovranno essere realizzate banchine di scarpata della larghezza di 2 m ogni 5 m di altezza. Nelle zone interessate dalla realizzazione della terra armata le pendenze delle stesse saranno pari a 3V:2H.

La costruzione del rilevato dovrà essere programmata in maniera tale che il cedimento residuo da scontare, terminati i lavori, non sia superiore al 10% del cedimento teorico a fine consolidazione e comunque non superiore ai 5 cm.

11.2 Preparazione del piano di posa della pavimentazione stradale in trincea

Nel tratto che va dalla p.k. 1+000 circa alla p.k. 1+050 circa è stato previsto un andamento del tracciato in **trincea**. In particolare, la preparazione del piano di posa della pavimentazione stradale dello scavo in trincea, visti i terreni costituiti nel complesso da limi con argilla, sabbiosi o debolmente ghiaiosi, identificati come A7-6 e A7-5 secondo la classificazione CNR-UNI 10006 e che costituiranno il sottofondo della stessa, verrà realizzata eseguendo la semplice compattazione di 20 cm e uno strato di 80 cm di bonifica che nel complesso andranno a costituire il pacchetto di sottofondo da realizzare al di sotto del piano stradale. Le pendenze degli scavi in trincea dovranno risultare pari a 4V:7H.

11.3 Determinazione degli spessori di scotico e bonifica dei rilevati

Le prove di identificazione, eseguite sui campioni prelevati nelle diverse verticali di indagine (tra cui sondaggi limitati a 2 m di profondità) eseguiti lungo il tracciato hanno consentito di verificare che i terreni di sottofondo dei rilevati in progetto sono costituiti perlopiù da terreni di origine alluvionale molto eterogenei (unità "bn"), costituiti nel complesso da ghiaie con sabbie in matrice limoso-argillosa, talora da sabbie con limo argillose debolmente ghiaiose. Complessivamente, nel primo metro di profondità sotto il piano campagna, tali terreni risultano classificabili sia come A1-a (A1-b) o A4 e sia come A7-6 (classificazione CNR-UNI 10006), e secondo la classificazione USCS i terreni sono del tipo GC-GM e CL e CL-ML.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.	MANDANTI  EITVA S.p.A. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D Vision Architecture	B	145 di 351
			Data 02/2024	

Nei tratti in cui il substrato dell'unità di Canètole è affiorante nella sua componente di alterazione (unità "ACC alt"), i terreni di sottofondo risultano costituiti da terreni nel complesso limoso-argillosi, talora sabbiosi o ghiaiosi ma comunque con percentuali di materiale sempre presente in discreta quantità. Tali terreni hanno infatti una classificazione variabile dal punto di vista stradale che va da A1-a, passando per A4, A6 e A7-6; analogamente, secondo la classificazione USCS i terreni sono identificati come SC, SC-SM, ML, CL e CH.

Nel tratto che sottende l'area di frana (unità "fa"), il terreno di sottofondo dei rilevati risulta costituito nel complesso da limi con argilla, sabbiosi o debolmente ghiaiosi, identificati come A7-6 e A7-5 secondo la classificazione CNR-UNI 10006. Secondo la classificazione USCS, invece, i terreni in questo tratto sono identificati come CH, ML e MH (un solo campione rinvenuto è stato identificato come GC).

Come definito al **punto 3.1.2**, nel corso della campagna di indagine a cura della ditta Eurogeo S.r.l., si è resa necessaria l'esecuzione di sondaggi a carotaggio continuo di lunghezza ridotta (2 m da p.c.) con esecuzione di prove penetrometriche SPT per la determinazione della resistenza del terreno. Tali sondaggi sono stati eseguiti in mancanza dei dati relative alle prove di carico su piastra, inizialmente previste nel piano di indagini geognostiche, in ottica di definire comunque una prima "risposta" geotecnica dei terreni nei primi metri di profondità al di sotto dei rilevati stradali.

I sondaggi corti sono stati realizzati in prossimità della rotatoria di svincolo Masseto di inizio tracciato e lungo l'asse principale in approccio al Viadotto Argomena, su depositi appartenenti all'unità geotecnica dei depositi alluvionali terrazzati "bn". I risultati delle prove di tipo SPT in tali sondaggi hanno fornito, complessivamente, valori di N_{SPT} relativamente bassi nel primo metro, con valori compresi tra 3 e 14, che lasciano presumere una non così buona risposta dei terreni alle operazioni di compattazione legate alla preparazione dei piani di posa. Da un punto di vista prettamente geotecnico, nel primo metro, tali terreni risultano classificabili sia come A1-a (A1-b) o A4, sia come A7-6 secondo la classificazione CNR-UNI 10006, e del tipo GC-GM e CL e CL-ML secondo la classificazione USCS.

A fronte di ciò, in questa fase progettuale si dovrà prevedere, in modo cautelativo, oltre ad uno spessore di scotico di 20 cm uno spessore di bonifica di 80 cm lungo tutti i tratti in rilevato ad eccezione del tratto dell'asse principale compreso tra la Spalla 2 Viadotto Sieve 2 e lo Svincolo Scopeti (compresi rami di svincolo e rotatoria), dove sarà previsto uno spessore di 30 cm oltre i 20 cm di scotico data la prevalenza di materiale grossolano nei depositi alluvionali in questo tratto nonché la a causa della recente realizzazione della rotatoria che lascia presumere un già buona risposta dei terreni di sottofondo alle operazione di compattazione.

In ogni caso, in fase di progettazione esecutiva, sarà necessario predisporre la realizzazione di opportune prove di carico su piastra in corrispondenza dei rilevati, i cui dati risulteranno fondamentali per la definizione dell'effettivo comportamento dei terreni alle operazioni di compattazione nei primi metri al di sotto del corpo degli stessi.

Per quanto riguarda la bonifica sotto lo scotico, il terreno in sito dovrà essere sostituito con materiale selezionato appartenente ai gruppi (UNI 13242 - UNI 14688 - UNI 13285):

- A1-a, A1-b, A3 se proveniente da cave di prestito; nel caso in cui il materiale appartenga al gruppo A3, esso deve presentare un coefficiente di uniformità (D60/D10) maggiore o uguale a 7;
- A1, A2-4, A2-5, A3, se proveniente dagli scavi; il materiale appartenente al gruppo A3 deve presentare un coefficiente di uniformità (D60/D10) maggiore o uguale a 7.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 146 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGRO	 sinèrgo	 DVA DVisionArchitecture	
					Data 02/2024

Il modulo di deformazione dello strato bonificato dovrà risultare non inferiore a 20 MPa (nell'intervallo di carico compreso tra 50 e 150 kPa (0.05 e 0.15 N/mm²). Nel caso in cui la bonifica debba essere eseguita in presenza d'acqua, l'Impresa dovrà provvedere ai necessari emungimenti per mantenere costantemente asciutta la zona di scavo da bonificare fino ad ultimazione dell'attività stessa.

Sulla scorta di quanto detto, in definitiva, è stata prevista la realizzazione di:

- 20 cm di scotico
- 80 cm di bonifica

in corrispondenza dello Svincolo Masseto (rami di svincolo e rotatoria), lungo l'asse principale da rotatoria di inizio tracciato a Spalla 1 Viadotto Sieve 1 e lungo l'asse principale da Spalla 2 Viadotto Sieve 1 a Spalla 1 Viadotto Argomena (compresa rotatoria centrale e relativi rami di svincolo), per un totale di 100 cm di intervento di bonifica consistente nel completo asporto degli spessori vegetali di scotico e la realizzazione di uno spessore di bonifica con materiale selezionato.

Infine, è stata prevista la realizzazione di:

- 20 cm di scotico
- 30 cm di bonifica

lungo l'asse principale tra la Spalla 2 Viadotto Sieve 2 e lo Svincolo Scopeti (compresi rami di svincolo e rotatoria), per un totale di 50 cm di intervento di bonifica consistente nel completo asporto degli spessori vegetali di scotico e la realizzazione di uno spessore di bonifica con materiale selezionato.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	147 di 351
			Data 02/2024	

12 VERIFICHE DI STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO PROVVISORIALI

12.1 Premessa

Nel presente capitolo si definiscono le metodologie e i risultati di sintesi delle analisi di stabilità delle sezioni di scavo provvisoriale.

Le analisi di seguito illustrate, in particolare, sono state svolte valutando la stabilità, in corrispondenza dei principali viadotti, dei fronti di scavo non sostenuti da opere in fase provvisoriale.

A detta di ciò, sono state verificate le stabilità delle sezioni di scavo di maggiore altezza non sostenuti da opere in fase provvisoriale e in particolare il fronte di scavo di fondazione delle spalle dei seguenti viadotti:

- Spalla 2 – Viadotto Sieve 1;
- Spalla 1 – Viadotto Argomena.

12.2 Generalità sulle verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità sono state eseguite nel rispetto della normativa vigente, in particolare:

- *D.M. 17.01.2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” (Supplemento ordinario alla “Gazzetta Ufficiale”, n.42 del 20.02.2018).*
- *Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell’“Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*

Le norme suddette indicano che debba essere soddisfatta la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d rappresenta il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

L'approccio seguito per ottenere le azioni e le resistenze di progetto è l'Approccio 1, in particolare è stata applicata la Combinazione 2: A2+M2+R2, in cui:

- A2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_F da applicare alle azioni o all'effetto delle azioni (Tabella 6.2.I DM 17/01/2018);
- M2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_M da applicare ai parametri del terreno (Tabella 6.2.II DM 17/01/2018);
- R2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_R per le verifiche di sicurezza (Tabella 6.8.I DM 17/01/2018).

Le verifiche sono state eseguite nelle sole condizioni statiche, in quanto trattasi di fronti di scavo di tipo provvisoriale. I parametri sono stati abbattuti secondo quanto definito nel D.M. 17/01/2018 per l'Approccio 1 Combinazione 2 precedentemente definito.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastruttura Territoriale S.r.l.	MANDANTI  EITVA S.p.A. ENERGIA VALLE D'ADIGE  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	B	148 di 351
			Data 02/2024	

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE (γ_F)	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3

DM 17/01/2018: Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

PARAMETRO	GRANDEZZA	COEFFICIENTE PARZIALE (γ_M)	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c'_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_y	γ_y	1.0	1.0

DM 17/01/2018: Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

COEFFICIENTE PARZIALE (γ_R)	R2
γ_R	1.1

DM 17/01/2018: Tabella 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

Le verifiche di stabilità sono state condotte con il programma di calcolo *Slide 6.0 (Rocscience inc.)*, che utilizza, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite per conci, diversi modelli di calcolo, sulla base dei quali il programma consente di calcolare il coefficiente di sicurezza per una singola superficie di rottura imposta dall'utente, oppure di ricercare in maniera automatica la superficie critica, mediante una tecnica di generazione casuale. Al fine di valutare le condizioni di stabilità dei rilevati sono state condotte analisi di stabilità con il metodo di Bishop, basato sull'equilibrio dei momenti e delle forze verticali, con risultante delle forze tra i conci contigui assunta orizzontale. Le analisi sono state condotte con ricerca automatica della superficie critica. Nella sezione analizzata è stata ricostruita la situazione geologico-strutturale e morfologica originaria; come detto in precedenza, l'analisi di stabilità è stata eseguita per le sole condizioni statiche.

12.3 Risultati

Il valore del coefficiente di sicurezza FS_{min} per i casi analizzati con le relative superfici di scorrimento, calcolate secondo il metodo di Bishop, sono riportati di seguito. In **Appendice 2 (Capitolo 20)** vengono riportati i tabulati di calcolo completi per le verifiche di stabilità di tutti i fronti di scavo in oggetto.

12.3.1 Sezione longitudinale Spalla 2 – Viadotto Sieve 1 (p.k. 0+458)

Il fattore di sicurezza FS_{min} per la sezione longitudinale (cfr. **Figura 12-2**) della Spalla 1 del Viadotto Sieve 1, con fronte di altezza $h = 5.2$ m, risulta pari a 3.97, valore che soddisfa i requisiti minimi imposti dalla normativa vigente.

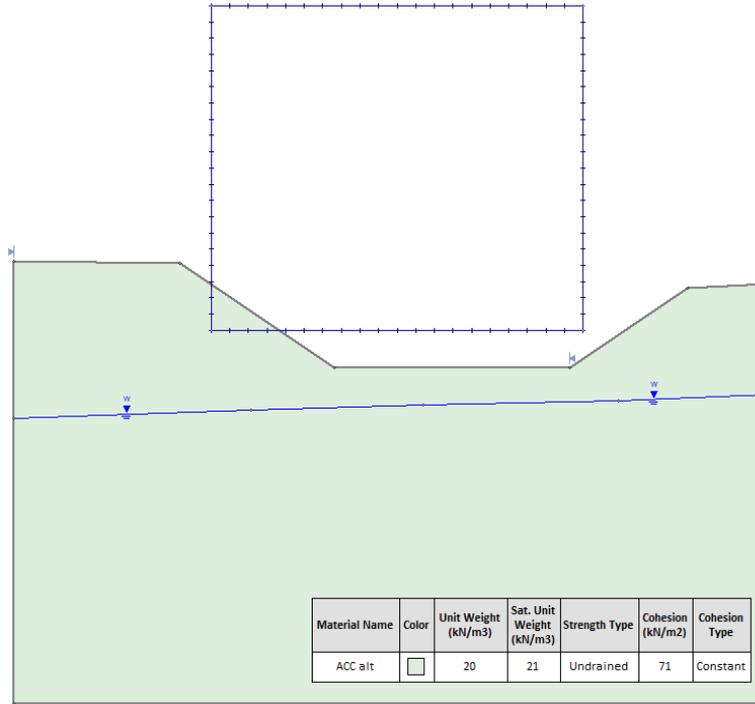


Figura 12-1 – Scavo provvisorio Spalla 1 Viadotto Sieve 1 alla p.k. 0+458: modello di calcolo

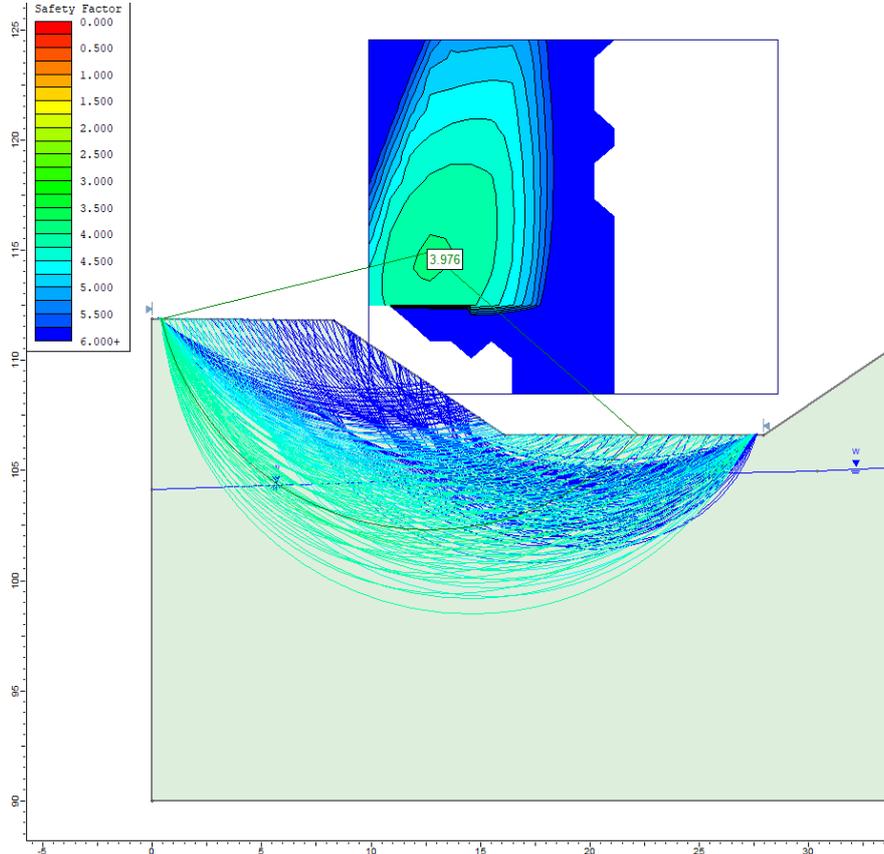


Figura 12-2 – Scavo provvisorio Spalla 2 Viadotto Sieve 1 alla p.k. 0+458: risultati

12.3.2 Sezione longitudinale Spalla 1 – Viadotto Argomenna (p.k. 1+781)

Il fattore di sicurezza FS_{min} per la sezione longitudinale (cfr. **Figura 12-4**) della Spalla 1 del Viadotto Argomenna, con fronte di altezza $h = 3.2$ m, risulta pari a 1.75, valore che soddisfa i requisiti minimi imposti dalla normativa vigente.

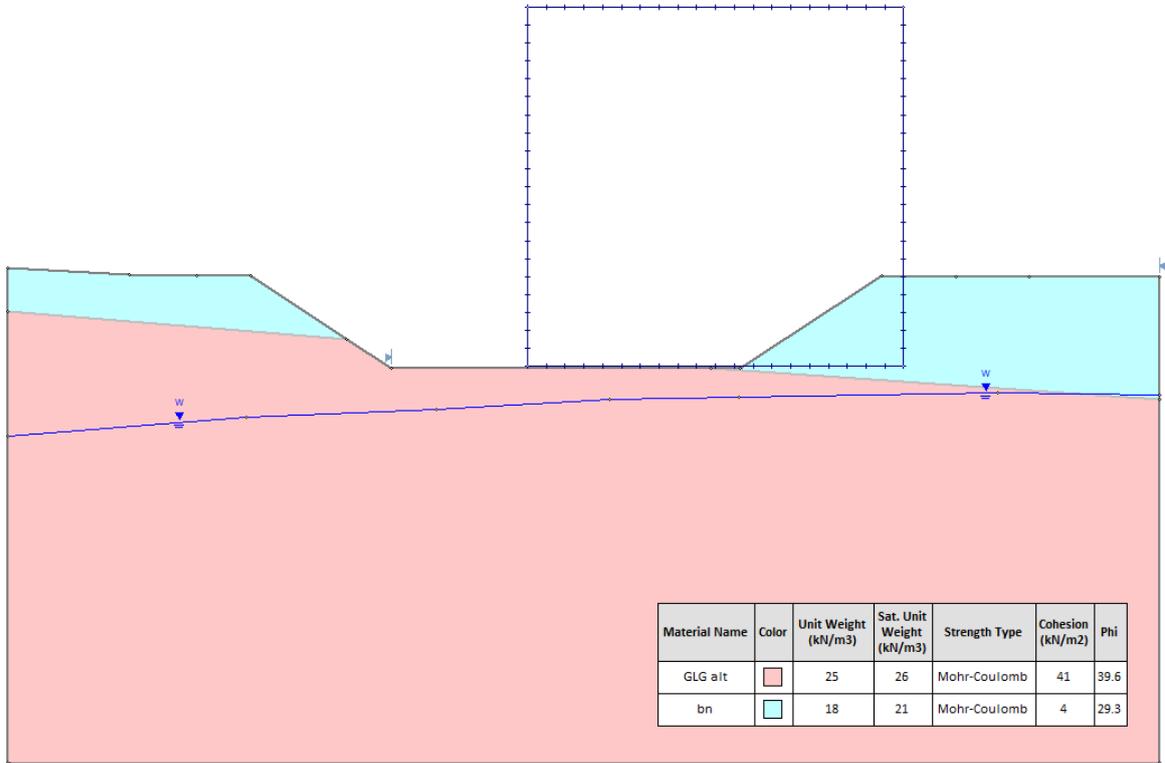


Figura 12-3 – Scavo provvisorio Spalla 1 Viadotto Argomenna alla p.k. 1+781: modello di calcolo

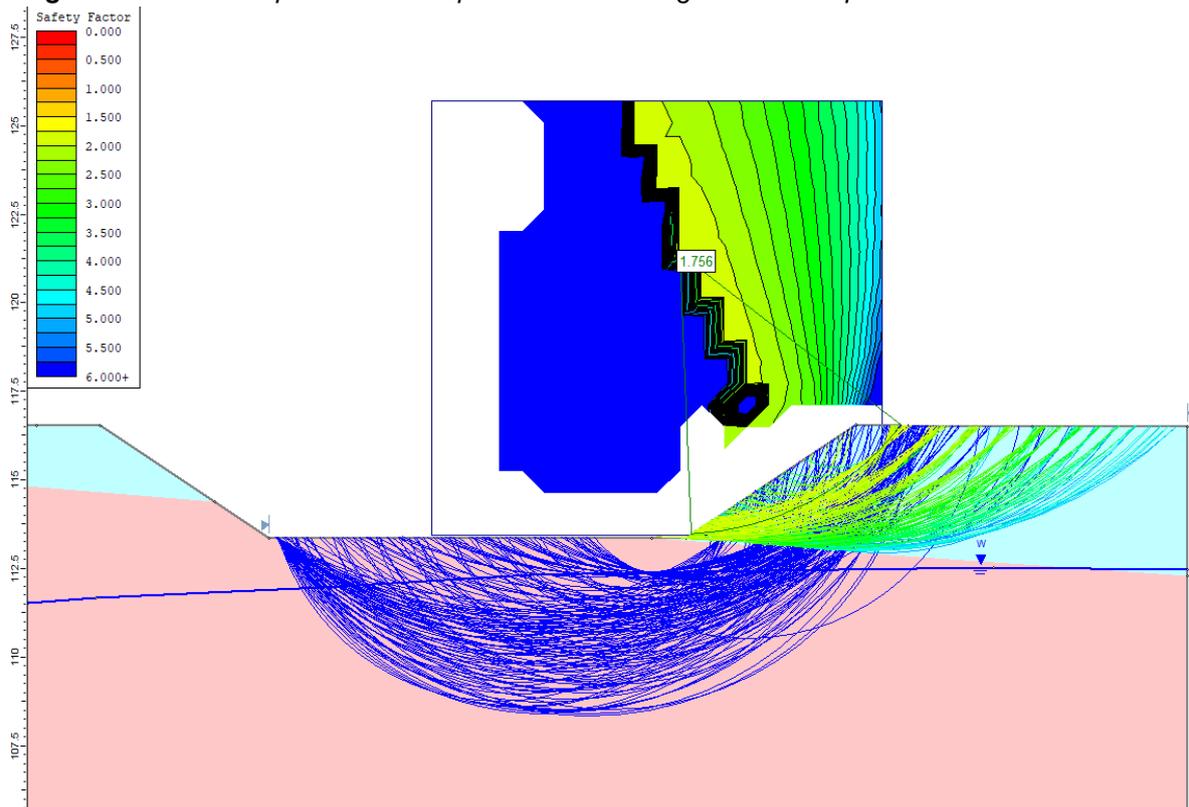


Figura 12-4 – Scavo provvisorio Spalla 1 Viadotto Argomenna alla p.k. 1+781: risultati

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	B	151 di 351
			Data 02/2024	

13 VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SEZIONI IN RILEVATO E TRINCEA

13.1 Premessa

Nel presente capitolo vengono definite le metodologie e i risultati delle verifiche di stabilità eseguite sulle sezioni in rilevato e trincea della sede stradale di progetto.

Le analisi illustrate in seguito sono state svolte valutando la stabilità delle sezioni di rilevato e trincea di maggiore altezza, sulla base della stratigrafia geotecnica e la stabilità delle sezioni in trincea non sostenute da opere di sostegno.

Per maggiori dettagli sull'ubicazione delle sezioni e relativi profili geotecnici si rimanda ai seguenti elaborati:

- **T00GE03GETFG01÷04** - "Profilo geotecnico asse principale" (4 tavv.)

Le sezioni individuate per le analisi di stabilità sono state preliminarmente oggetto di analisi per la ricostruzione geologico-stratigrafica e rappresentate successivamente nell'elaborato **T00GE01GEOSG02** - "Sezioni geologico-tecniche di dettaglio".

13.2 Generalità sulle verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità sono state eseguite nel rispetto della normativa vigente, in particolare:

- *D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.42 del 20.02.2018).*
- *Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*

Le norme suddette indicano che debba essere soddisfatta la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e R_d rappresenta il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

L'approccio seguito per ottenere le azioni e le resistenze di progetto è l'Approccio 1, in particolare è stata applicata la Combinazione 2: A2+M2+R2, in cui:

- A2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_F da applicare alle azioni o all'effetto delle azioni (Tabella 6.2.I DM 17/01/2018);
- M2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_M da applicare ai parametri del terreno (Tabella 6.2.II DM 17/01/2018);
- R2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali γ_R per le verifiche di sicurezza (Tabella 6.8.I DM 17/01/2018).

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITRIVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	152 di 351
			Data 02/2024	

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE (γ_F)	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_Q	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3

DM 17.01.2018: Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto di azioni

PARAMETRO	GRANDEZZA	COEFFICIENTE PARZIALE (γ_M)	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c'_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ_f	γ_f	1.0	1.0

DM 17.01.2018: Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

13.2.1 Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Le analisi sono state eseguite in condizioni a lungo termine, considerando i parametri del terreno in condizioni drenate.

Il sovraccarico stradale è stato posto pari al valore caratteristico 20 KPa amplificato per il coefficiente A2 corrispondente ai carichi variabili sfavorevoli (carico totale: $20 \times 1.3 = 26$ KPa, cfr. Tabella 6.2.I)

I parametri geotecnici sono stati abbattuti con i coefficienti parziali M2 secondo quanto definito nel D.M. 17.01.2018 per l'Approccio 1 Combinazione 2 precedentemente definito (cfr. Tabella 6.2.II).

I fattori di sicurezza globali risultanti dalle verifiche sono stati confrontati con il coefficiente parziale γ_R valido per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (cfr. Tabella 6.8.I).

COEFFICIENTE PARZIALE (γ_R)	R2
γ_R	1.1

DM 17.01.2018: Tabella 6.8.I - Coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo in condizioni statiche

13.2.2 Verifiche di stabilità in condizioni sismiche

Anche in questo caso le analisi sono state eseguite in condizioni a lungo termine, considerando i parametri del terreno in condizioni drenate.

In fase sismica, come previsto dalle NTC 2018, si sono posti pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITRIVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D_VisionArchitecture	B	153 di 351
			Data 02/2024	

Le verifiche del raggiungimento della condizione di Stato Limite Ultimo (SLU) sono state quindi sviluppate considerando le seguenti condizioni di analisi:

Condizione sismica: SISMA +

- Accelerazione sismica orizzontale, accelerazione sismica verticale diretta verso il basso;
- Sovraccarico stradale pari al valore caratteristico di 20 KPa ridotto per il coefficiente ψ_2 (carico totale: $20 \times 0.2 = 4$ KPa).

Condizione sismica: SISMA -

- Accelerazione sismica orizzontale, accelerazione sismica verticale diretta verso l'alto;
- Sovraccarico stradale pari al valore caratteristico di 20 KPa ridotto per il coefficiente ψ_2 (carico totale: $20 \times 0.2 = 4$ KPa).

La stabilità in condizioni sismiche è stata eseguita secondo il metodo pseudostatico che consente di rappresentare l'azione sismica mediante un'azione statica equivalente, costante nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

Come indicato in precedenza nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLV) le componenti orizzontali e verticali di tale forza possono essere definite come di seguito indicato:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale, variabili a seconda del tipo di categoria di sottosuolo e topografia caratterizzante ciascuna sezione analizzata (variabilità di a_{max} per SLV), nelle combinazioni seguenti:

- **Categoria B+T1:** $k_h = \beta_s a_{max}/g = 0.101$; $k_v = \pm 0.5 k_h = 0.050$

I fattori di sicurezza globali risultanti dalle verifiche sono stati confrontati con il coefficiente parziale γ_R valido per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo in condizioni sismiche (cfr. tabella sottostante).

COEFFICIENTE PARZIALE (γ_R)	R2
γ_R	1.2

DM 17.01.2018: Coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo in condizioni sismiche

13.2.3 Software di calcolo

Le verifiche di stabilità sono state condotte con il programma di calcolo *Slide 6.0 (Rocscience inc.)*, che utilizza, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite per conci, diversi modelli di calcolo, sulla base dei quali il programma consente di calcolare il coefficiente di sicurezza per una singola superficie di rottura imposta dall'utente, oppure di ricercare in maniera automatica la superficie critica, mediante una tecnica di generazione casuale.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 154 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 D_VA DVisionArchitecture	
					Data 02/2024

Al fine di valutare le condizioni di stabilità dei rilevati sono state condotte analisi di stabilità con il *metodo di Bishop*, basato sull'equilibrio dei momenti e delle forze verticali, con risultante delle forze tra i conci contigui assunta orizzontale. Le analisi sono state condotte con ricerca automatica della superficie critica.

13.3 Risultati

Nelle sezioni analizzate sono state ricostruite le situazioni geologico-strutturali e morfologiche originarie, come detto in precedenza, e le analisi di stabilità sono state eseguite sia in condizioni statiche sia sismiche.

In **Appendice 2 (Capitolo 20)** vengono riportati i tabulati di calcolo completi per le verifiche di stabilità di tutti i fronti di scavo in oggetto.

Di seguito vengono riportati i risultati delle verifiche di stabilità globale per i rilevati stradali. In particolare, sono riportati i valori del *fattore di sicurezza* FS_{min} per i casi analizzati e relativi a superfici di scorrimento calcolate secondo il sopracitato metodo di Bishop.

Nella tabella seguente sono riportati i risultati di sintesi delle verifiche di stabilità globale effettuate per le diverse sezioni di calcolo.

Sezione di progetto	Fase statica	Fase sismica $k_v \downarrow$	Fase sismica $k_v \uparrow$
56	1.21	1.23	1.22
61	1.38	1.40	1.38
74	1.23	1.29	1.28

13.3.1 Sezione 56 – Rilevato alla p.k. 0+925 (h = 8 m)

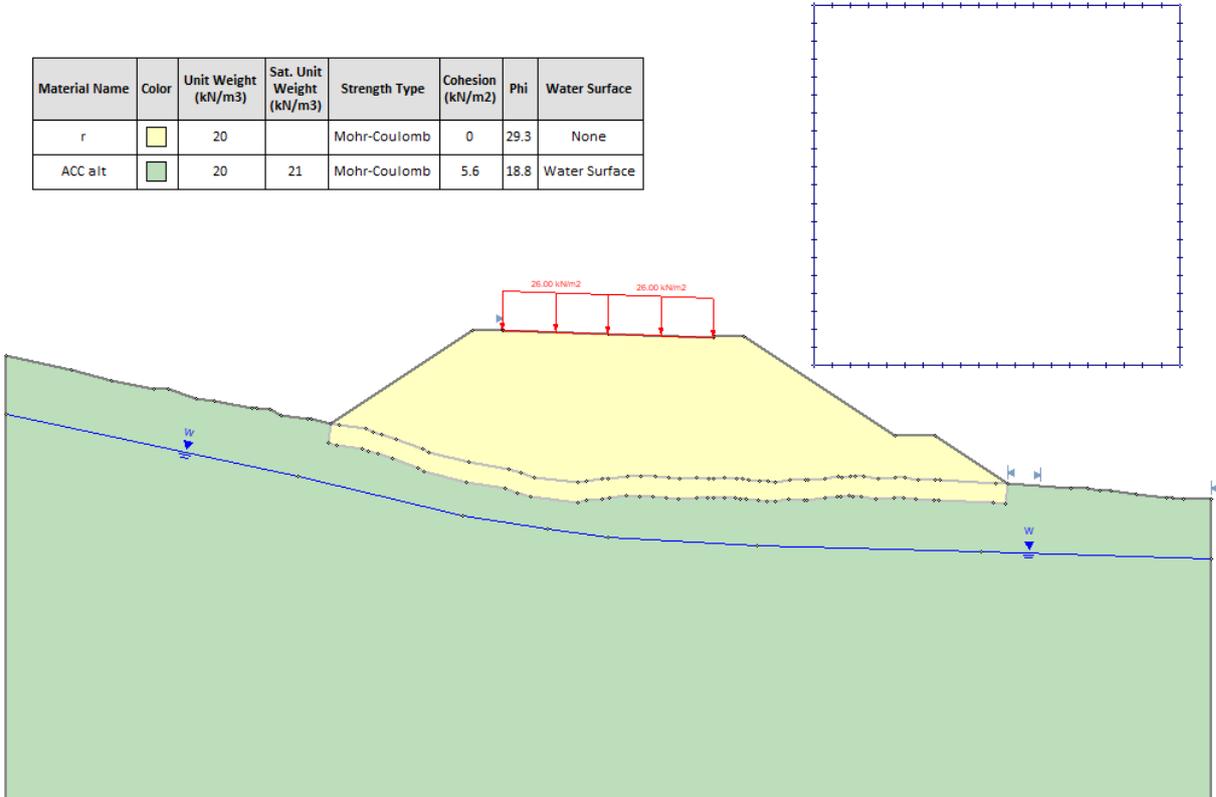


Figura 13-1 – Rilevato alla p.k. 0+925 – Modello di calcolo

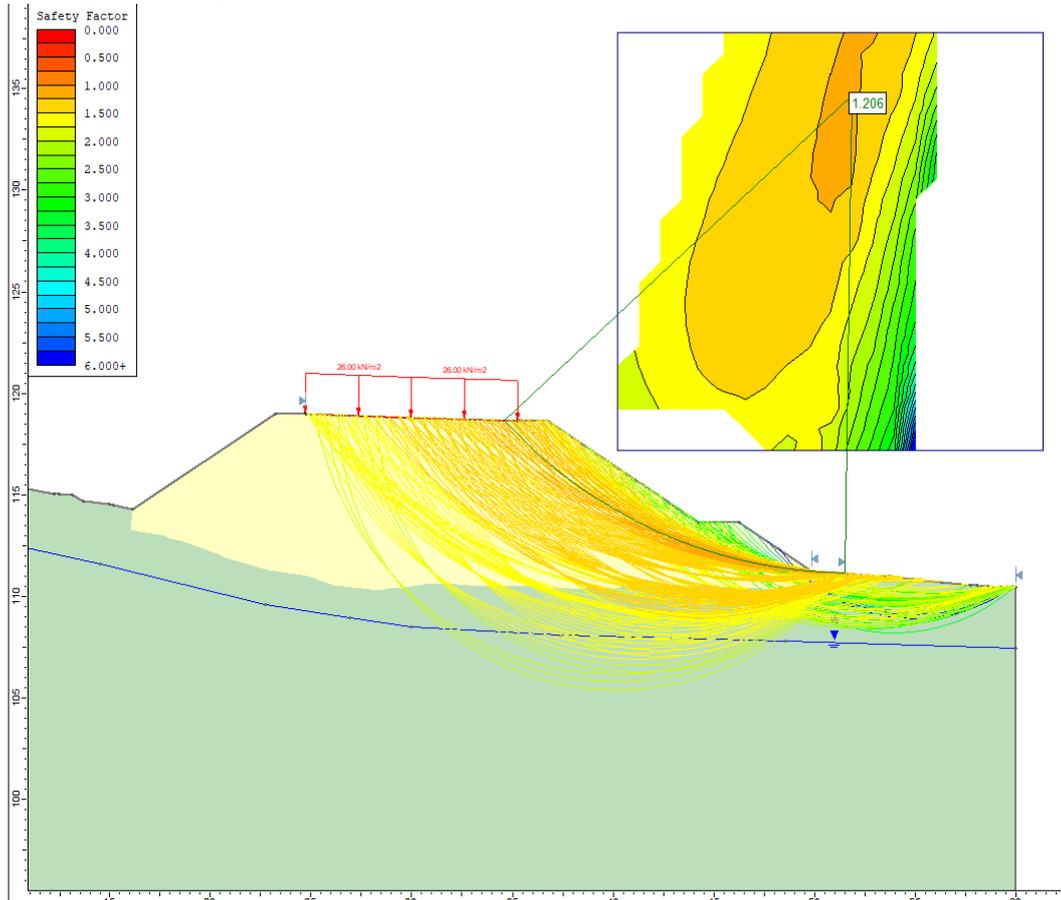


Figura 13-2 – Rilevato alla p.k. 0+925 – Verifica in condizioni statiche

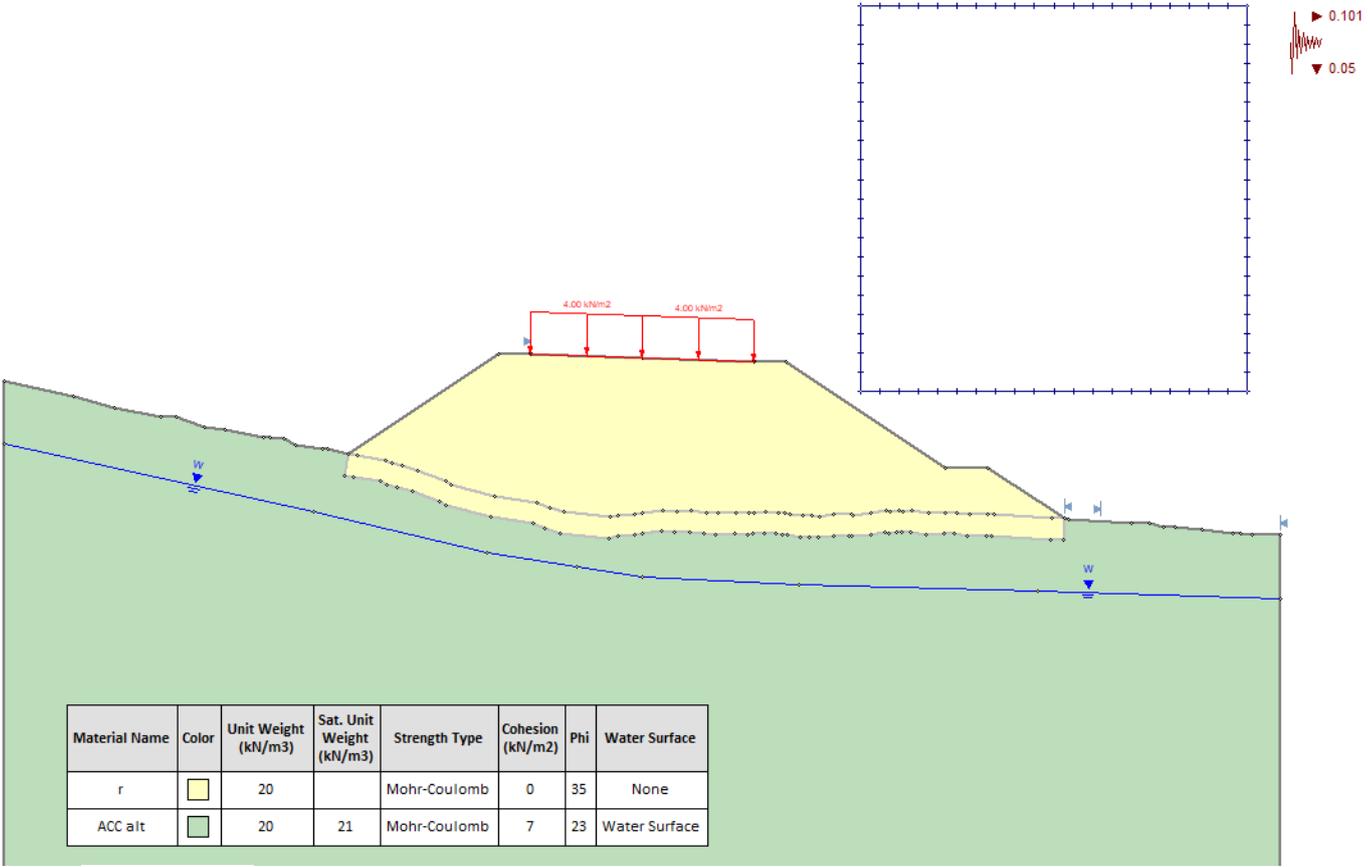


Figura 13-3 – Rilevato alla p.k. 0+925 – Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Modello di calcolo

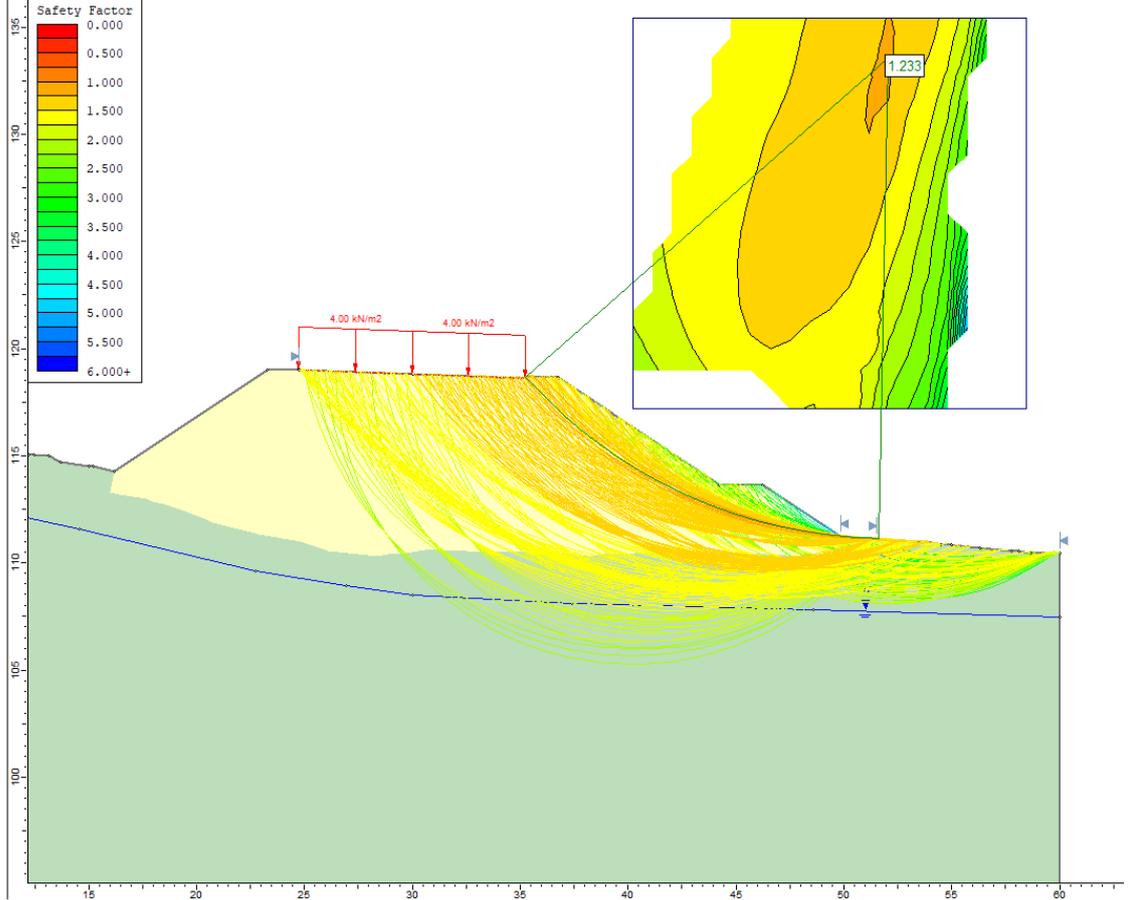


Figura 13-4 – Rilevato alla p.k. 0+925 – Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Risultati

13.3.2 Sezione 61 – Trincea alla p.k. 1+025 (h = 4 m)

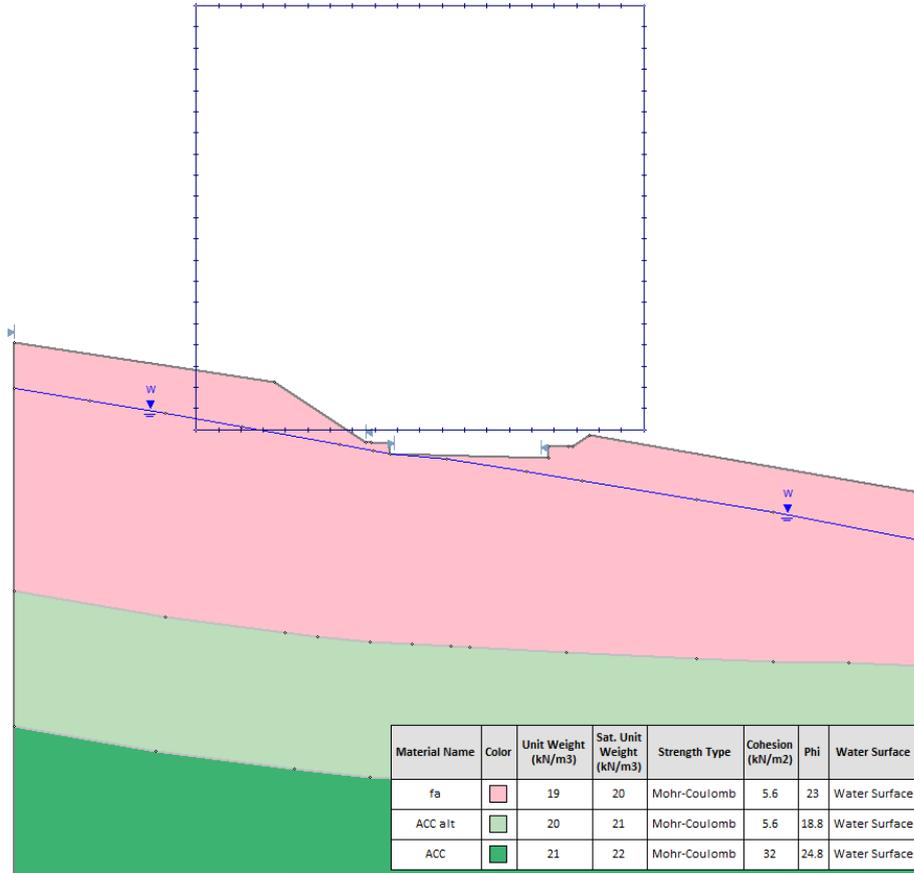


Figura 13-5 – Trincea alla p.k. 1+025 – Modello di calcolo

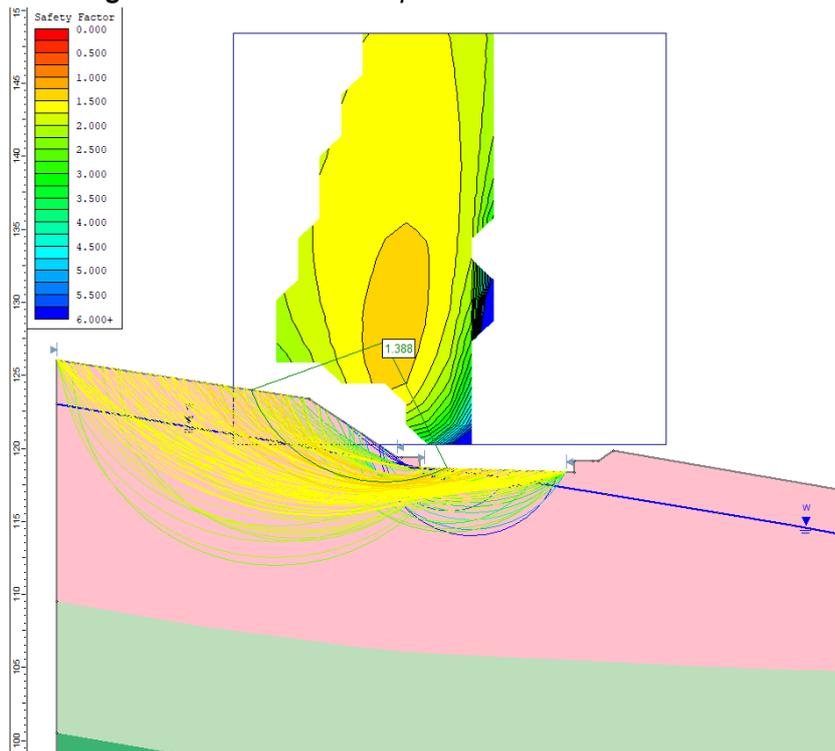


Figura 13-6 – Trincea alla p.k. 1+025 – Verifica in condizioni statiche

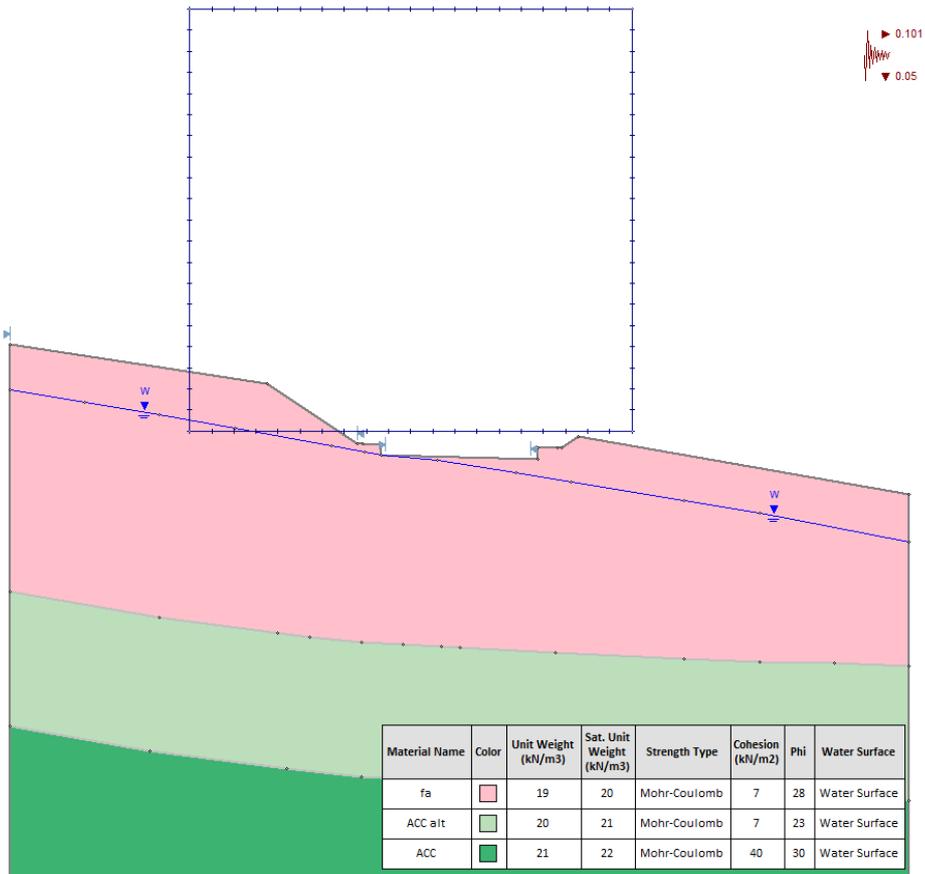


Figura 13-7 – Trincea alla p.k. 1+025 – Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Modello di calcolo

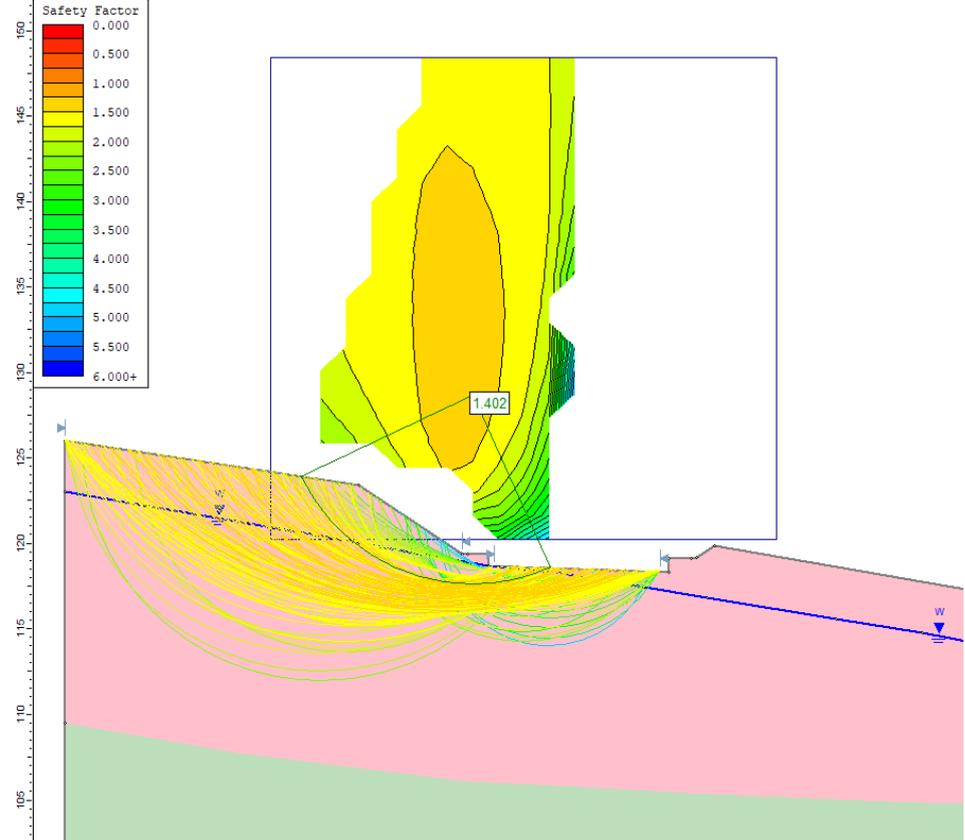


Figura 13-8 – Trincea alla p.k. 1+025 – Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Risultati

13.3.3 Sezione 74 – Rilevato alla p.k. 1+300 (h = 5 m)

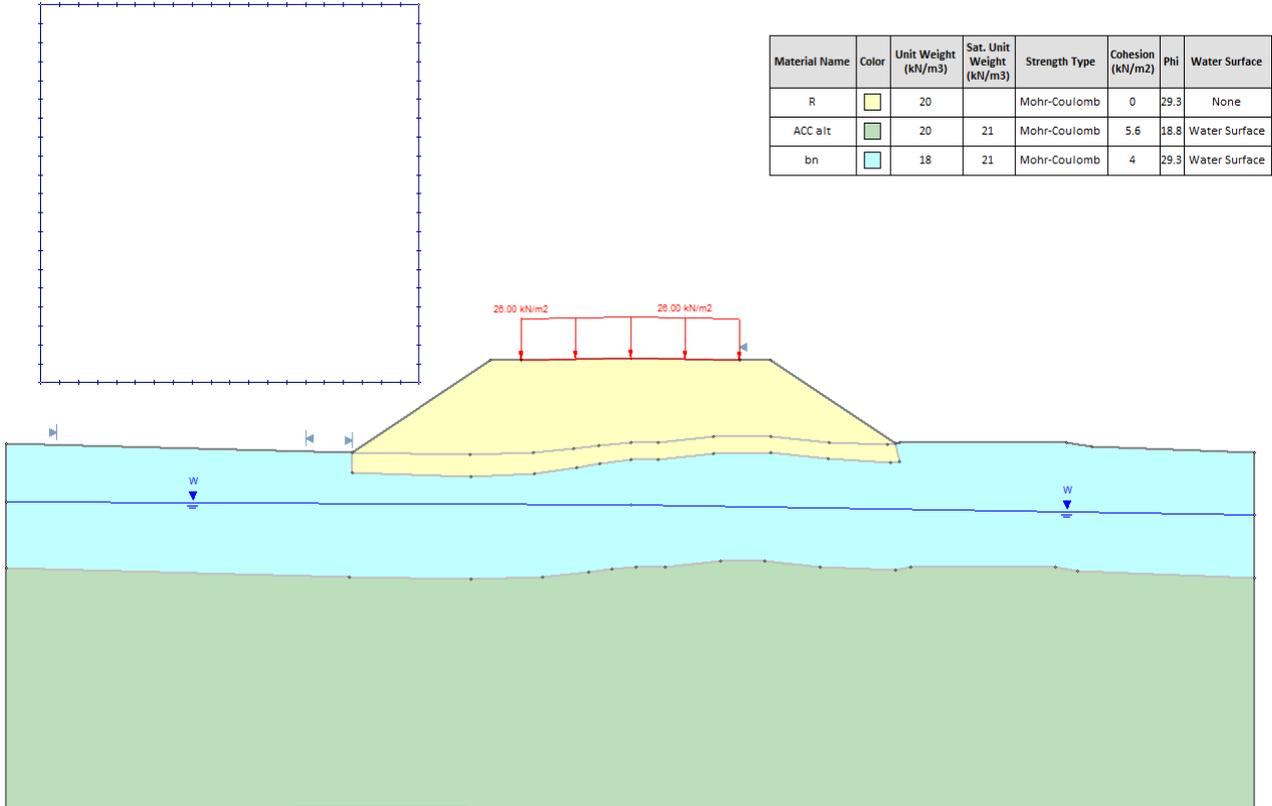


Figura 13-9 – Rilevato alla p.k. 1+300 – Modello di calcolo

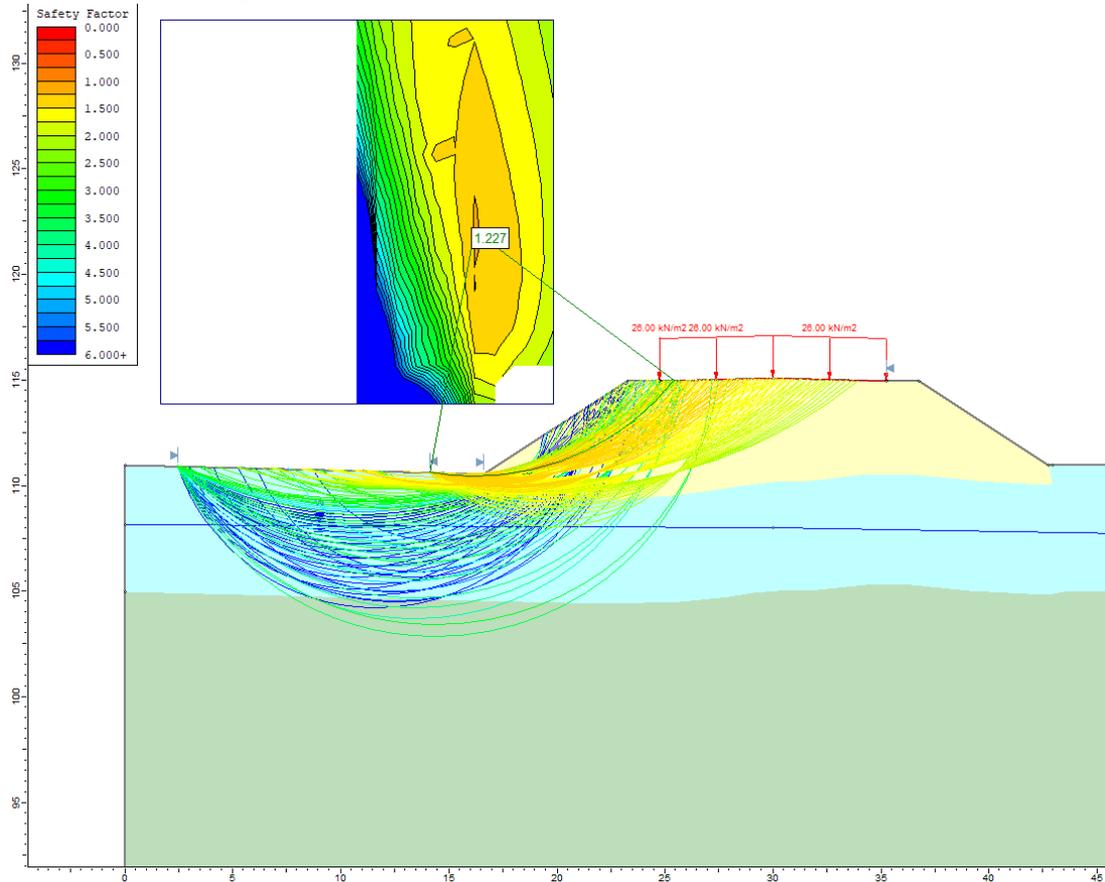


Figura 13-10 – Rilevato alla p.k. 1+300 – Verifica in condizioni statiche

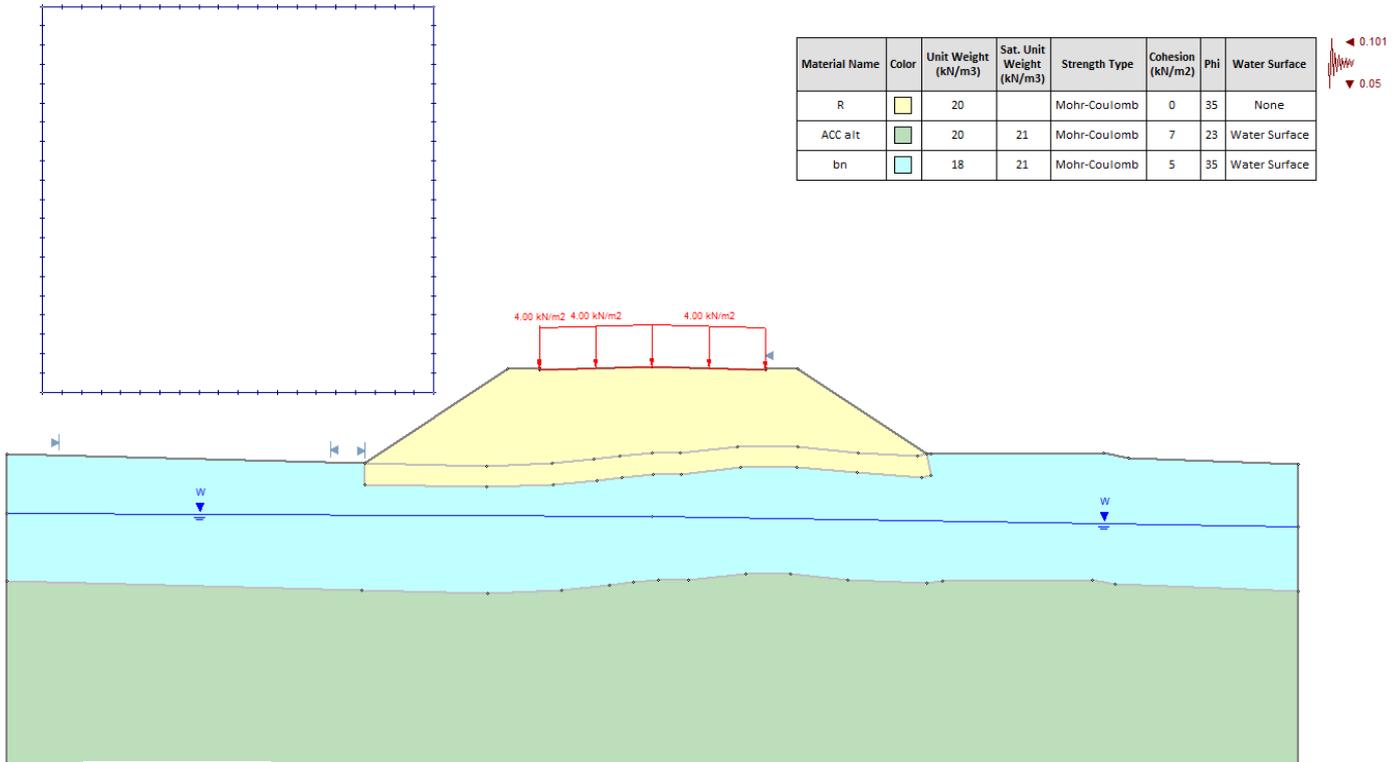


Figura 13-11 – Rilevato alla p.k. 1+300 – Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Modello di calcolo

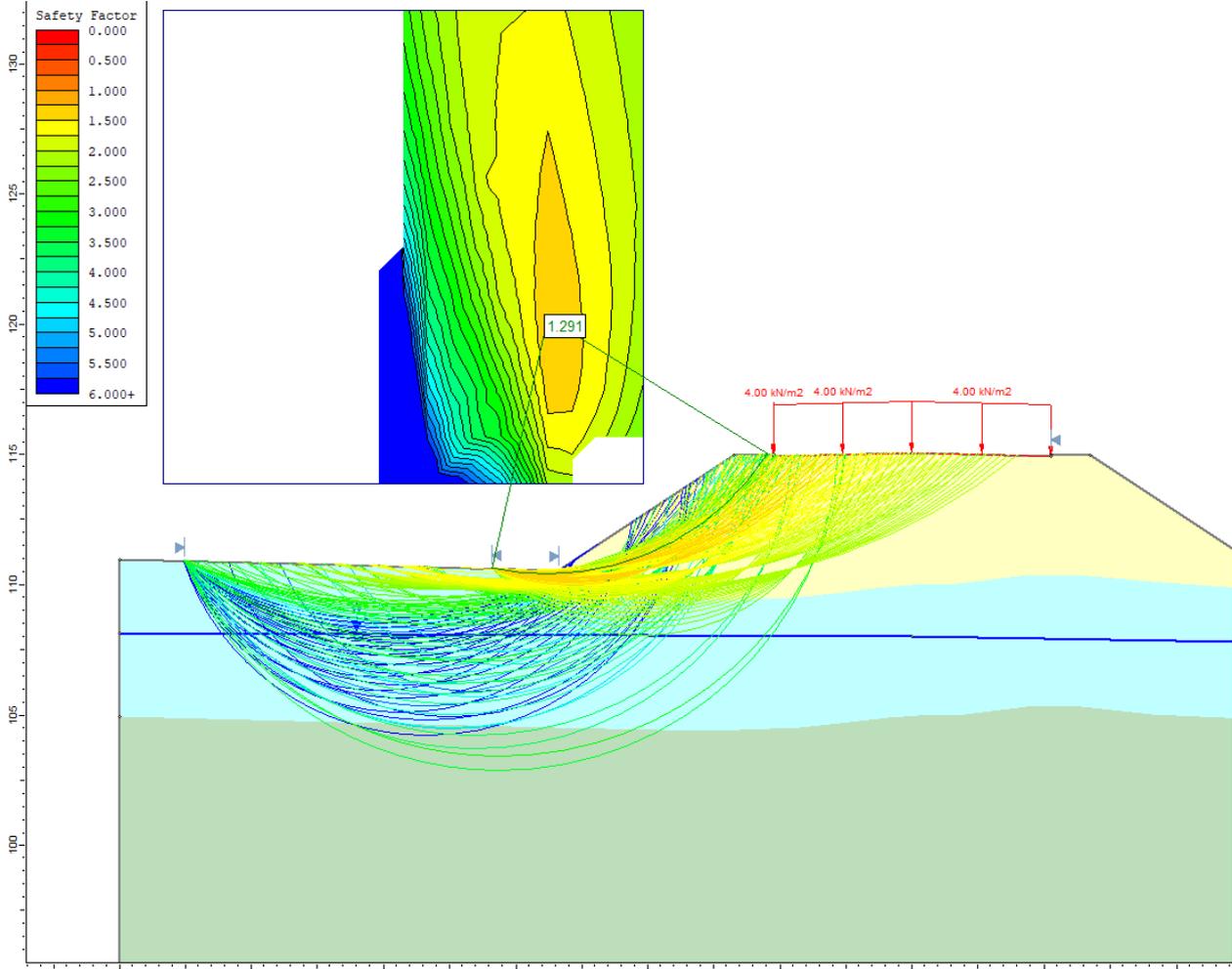


Figura 13-12 – Rilevato alla p.k. 1+300 – Verifica in condizioni sismiche (sisma+) – Risultati

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 161 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	
					Data 02/2024

14 VERIFICHE DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

Nei seguenti paragrafi viene descritto il metodo di calcolo impiegato per la stima dei cedimenti dei rilevati in progetto e sono presentati i risultati delle analisi eseguite in corrispondenza di differenti sezioni di calcolo.

14.1 Metodologia di calcolo dei cedimenti

Il calcolo dei cedimenti ha come obiettivo la determinazione delle deformazioni verticali del terreno indotte dai carichi agenti rappresentati dalla nuova sede stradale. La risultante delle deformazioni verticali che si manifestano in un terreno è comunemente indicata con il termine “cedimento” e di tale grandezza, nella pratica ingegneristica, interessa di solito conoscere sia l’entità sia l’evoluzione nel tempo.

La stima del valore di cedimento atteso è legata alle varie fasi di carico e dipende dal tipo di terreno incontrato.

In generale, i cedimenti che si verificano per effetto di deformazioni elasto-plastiche indotte dal carico applicato, sono definiti come cedimenti primari S_t , ottenuti dalla somma del cedimento immediato (o distorsionale) S_o , che si sviluppa nel momento in cui viene applicato il carico, ovvero al tempo uguale $t=0$, e quello di consolidazione primaria (S_c), che avviene al tempo $t > 0$. Il cedimento primario è espresso in funzione delle suddette aliquote secondo l’espressione seguente:

$$S_t = S_o + S_c.$$

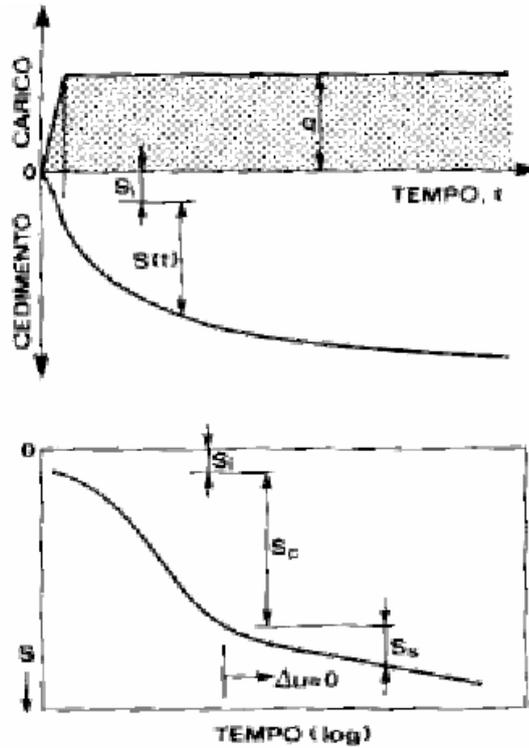
Il processo di consolidazione primaria è volto al termine quando tutte le sovrappressioni neutre, che sono state indotte dall’applicazione del carico, si sono dissipate e il sovraccarico totale applicato è interamente sopportato dallo scheletro solido (e cioè interamente equilibrato da un incremento delle pressioni verticali efficaci). Non essendoci più variazioni di tensioni efficaci il terreno è in equilibrio con il carico esterno applicato.

Quasi al termine del processo di consolidazione primaria, in funzione delle caratteristiche dei terreni, è possibile che si verifichino delle deformazioni di tipo viscoso dello scheletro solido; tali deformazioni, che avvengono anche a pressione efficace costante, e quindi anche (ma non solo) a consolidazione primaria esaurita in assenza di carico, generano i così detti cedimenti secondari.

Nei terreni granulari, ad elevata permeabilità, il processo di consolidazione primaria è molto rapido e quindi il cedimento distorsionale e quello volumetrico si verificano praticamente contemporanea-mente durante la fase di costruzione. Nel seguito quindi il contributo degli strati granulari verrà considerato nella sola stima del cedimento immediato.

Nella figura sottostante è rappresentato uno schema in cui in corrispondenza della storia temporale dei carichi, sono associati i corrispondenti cedimenti relativi al processo di consolidazione primaria e secondaria.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETZVA ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo D-VΛ D'VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 162 di 351
			Data 02/2024	



Schema di riferimento curva carico-cedimenti
(Viggiani, 1990)

Si tenga presente che la sommatoria dei cedimenti verticali è stata estesa a tutti gli strati, per i quali si producono incrementi degli sforzi verticali superiori al 10% dello sforzo verticale geostatico. In funzione di tale valore viene fissato lo spessore della zona compressibile (H_c).

14.2 Cedimenti: immediati e di consolidazione

14.2.1 Terreni granulari

Gli spostamenti verticali indotti dal carico applicato nei terreni granulari sono calcolati mediante l'espressione di seguito riportata:

$$S_t = \sum_i^n \frac{[\Delta\sigma_{zi} - \nu'(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})]h_i}{E'_i}$$

con:

S_t = cedimento immediato;

$\Delta\sigma_{xi}$, $\Delta\sigma_{yi}$, $\Delta\sigma_{zi}$ = incrementi di sforzo indotti dal carico applicato di rilevato nello strato i-esimo. Tali incrementi sono calcolati mediante la teoria dell'elasticità, secondo le soluzioni di Boussinesq;

h_i = spessore dello strato i-esimo;

E'_i = modulo di Young dello strato i-esimo (E_{25}).

ν' = coefficiente di Poisson dello strato i-esimo = 0.25;

n = numero di strati, appartenenti al volume di terreno interessato dagli spostamenti.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	B	163 di 351
			Data 02/2024	

14.2.2 Terreni coesivi sovraconsolidati ($OCR > 1$)

Per i terreni coesivi sovraconsolidati si considera, secondo quanto suggerito in (Lancellotta, 1980):

$$S_t = S_{ed};$$

$$S_{ed} = S_0 + S_c.$$

in cui

- S_t = cedimento primario o di fine consolidazione;
- S_{ed} = cedimento edometrico;
- S_0 = cedimento immediato.
- S_c = cedimento di consolidazione.

In genere il cedimento immediato atteso per questi materiali è compreso tra 1/3 e 2/3 rispetto al valore del cedimento di prima consolidazione ($1/3 S_t < S_0 < 2/3 S_t$), dove il limite superiore risulta più appropriato per strati di spessore rilevante e modulo costante con la profondità.

Il cedimento edometrico, calcolato sostituendo al modulo elastico il modulo edometrico, dello strato i -esimo, è dato dall'espressione riportata al **punto 14.2.1**, ovvero:

$$S_{ed} = \sum_i^n \frac{[\Delta\sigma_{zi} - \nu'(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})] h_i}{E'_d}$$

con:

- S_{ed} = cedimento edometrico;
- $\Delta\sigma_{xi}$, $\Delta\sigma_{yi}$, $\Delta\sigma_{zi}$ = incrementi di sforzo indotti dal carico applicato di rilevato nello strato i -esimo. Tali incrementi sono calcolati mediante la teoria dell'elasticità, secondo le soluzioni di Boussinesq;
- h_i = spessore dello strato i -esimo;
- E'_d = modulo edometrico dello strato i -esimo;
- ν' = coefficiente di Poisson dello strato i -esimo = 0.25;
- n = numero di strati, appartenenti al volume di terreno interessato dagli spostamenti.

14.2.3 Terreni coesivi normalconsolidati ($OCR \approx 1$)

Per i terreni coesivi normalconsolidati si considera, secondo quanto suggerito in (Lancellotta, 1980), che il cedimento edometrico corrisponda al cedimento di consolidazione e che il cedimento immediato sia circa il 10% di quello edometrico:

$$S_t \sim 1.1 S_{ed};$$

$$S_{ed} = S_c;$$

$$S_0 \sim 0.1 S_{ed}.$$

in cui:

- S_t = cedimento primario o di fine consolidazione;

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  MANDANTI   	REV. B	FOGLIO 164 di 351
		Data 02/2024	

- S_{ed} = cedimento edometrico;
- S_0 = cedimento immediato.
- S_c = cedimento di consolidazione.

Anche in questo caso il cedimento edometrico è dato dalla seguente espressione:

$$S_{ed} = \sum_i^n \frac{[\Delta\sigma_{zi} - \nu'(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})]h_i}{E'_d}$$

con:

- S_{ed} = cedimento edometrico;
- $\Delta\sigma_{xi}$, $\Delta\sigma_{yi}$, $\Delta\sigma_{zi}$ = incrementi di sforzo indotti dal carico applicato di rilevato nello strato i-esimo. Tali incrementi sono calcolati mediante la teoria dell'elasticità, secondo le soluzioni di Boussinesq;
- h_i = spessore dello strato i-esimo;
- E'_d = modulo edometrico;
- ν' = coefficiente di Poisson dello strato i-esimo = 0.25;
- n = numero di strati, appartenenti al volume di terreno interessato dagli spostamenti.

14.3 Sintesi dei risultati

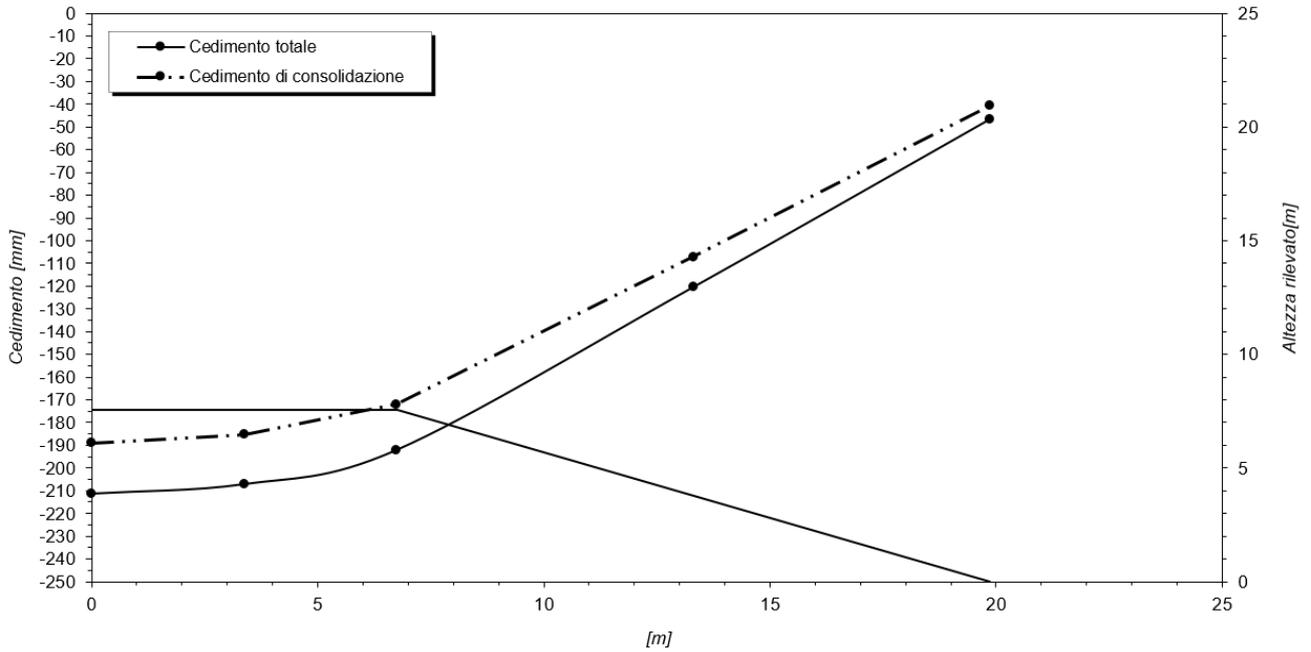
La verifica dei cedimenti delle sezioni di maggiore altezza e con peggiore stratigrafia dei rilevati in progetto è stata eseguita in corrispondenza della sezione 56 dell'asse principale, ubicata alla p.k. 0+925 circa e in corrispondenza della sezione 74 alla p.k. 1+300.

La prima sezione è caratterizzata da un'altezza di progetto del rilevato pari a $h = 8$ m circa e una stratigrafia costituita da importanti spessori di terreni di alterazione del substrato argilloso-calcareo del Canèto, che lasciano spazio in profondità agli orizzonti sani sovraconsolidati. La seconda sezione è caratterizzata da un'altezza di progetto del rilevato pari a $h = 4$ m circa e una stratigrafia costituita da uno spessore di pochi metri di depositi alluvionali terrazzati sciolti al di sopra di terreni più o meno alterati facenti parte del substrato argilloso-calcareo del Canèto.

Sulla base dei parametri geometrici delle sezioni in rilevato e dei parametri geotecnici caratteristici dei terreni (cfr. tabella in **Figura 9-16**) sono stati calcolati cedimenti massimi pari a 211 mm, ubicati in corrispondenza dell'asse del rilevato, per la sezione 56, mentre per la sezione 74 i cedimenti massimi calcolati sono pari a 116 mm (anch'essi in asse al rilevato).

Nel primo caso, i terreni alla base del rilevato risultano costituiti da materiale coesivo normalconsolidato (unità ACC alt) i cedimenti risultano quasi totalmente di consolidazione. Nel secondo caso, invece, i terreni al di sotto del rilevato sono sia perlopiù non coesivi (unità bn) sia coesivi normalconsolidati (unità ACC alt) e i cedimenti calcolati risultano per metà immediati (scontati durante la costruzione del rilevato) e per metà di consolidazione.

I risultati ottenuti sono riassunti nei tabulati riportati in **Appendice 3** e nel grafico sottostante.



Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	6,75
Larghezza scarpa esterna	[m]	13,11
Altezza	[m]	7,58
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Livello piezometrico da p.c.	[m]	3,00
------------------------------	-----	------

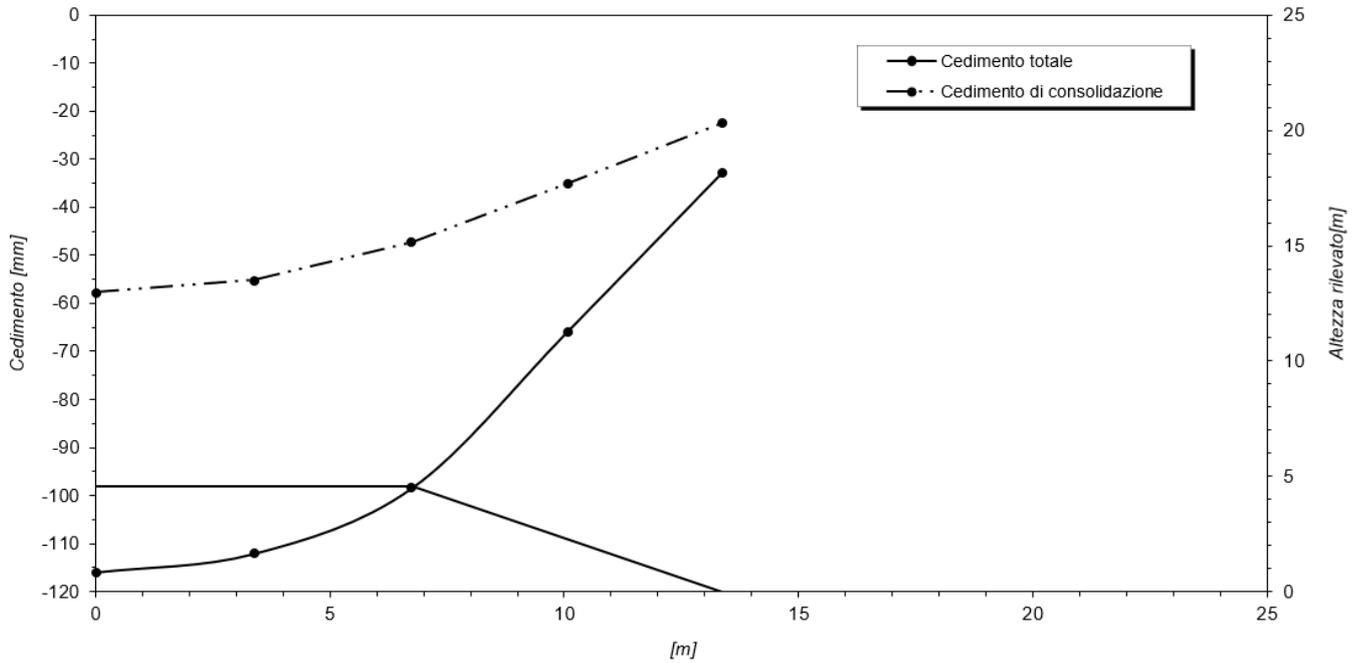
Tensione alla base del rilevato	[kPa]	171,6
---------------------------------	-------	-------

Sovraccarico stradale	[kPa]	20,0
-----------------------	-------	------

Stratigrafia

Profondità [m]	Unità [-]	Tipo Terreno	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_{dry} [kN/m ³]	E [MPa]	ϕ [°]	OCR [-]	K_0 [-]	ν [-]
0,0	ACC alt	cnc	21,0	20,0	10	23	1	0,61	0,30
1,0	ACC alt	cnc	21,0	20,0	10	23	1	0,61	0,30
2,0	ACC alt	cnc	21,0	20,0	10	23	1	0,61	0,30
3,0	ACC alt	cnc	21,0	20,0	10	23	1	0,61	0,30
4,0	ACC alt	cnc	21,0	20,0	10	23	1	0,61	0,30
5,0	ACC alt	cnc	21,0	20,0	10	23	1	0,61	0,30
6	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30
8	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30
10	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30
12	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30
14	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30
16	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30
18	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30
20	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,40
25	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,40
30	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,40
35	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,40
40	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,40
45	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,40
50	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,40

Figura 14-1 – Verifica dei cedimenti dei rilevati – Sezione 56: risultati



Caratteristiche del rilevato		
Semilarghezza in sommità	[m]	6,75
Larghezza scarpa esterna	[m]	6,63
Altezza	[m]	4,54
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00
Livello piezometrico da p.c.	[m]	3,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	110,8
Sovraccarico stradale	[kPa]	20,0

Stratigrafia										
Profondità [m]	Unità [-]	Tipo Terreno	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_{dry} [kN/m ³]	E [MPa]	ϕ [°]	OCR [-]	K_0 [-]	ν [-]	
0,0	bn	nc	21,0	18,0	10	35	1	0,43	0,30	
1,0	bn	nc	21,0	18,0	10	35	1	0,43	0,30	
2,0	bn	nc	21,0	18,0	10	35	1	0,43	0,30	
3,0	bn	nc	21,0	18,0	10	35	1	0,43	0,30	
4,0	bn	nc	21,0	18,0	10	35	1	0,43	0,30	
5,0	bn	nc	21,0	18,0	10	35	1	0,43	0,30	
6	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30	
8	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30	
10	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30	
12	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30	
14	ACC alt	cnc	21	20	10	23	1	0,61	0,30	
16	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,30	
18	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,30	
20	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,30	
25	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,30	
30	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,30	
35	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,30	
40	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,30	
45	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,30	
50	ACC	coc	22	21	60	30	3	0,87	0,30	

Figura 14-2 – Verifica dei cedimenti dei rilevati – Sezione 74: risultati

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALORIA AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

15 MURI DI SOSTEGNO

15.1 Metodologia di calcolo

Le verifiche dei muri di sostegno sono condotte secondo il metodo degli Stati Limite, come prescritto dalle “Nuove norme tecniche sulle costruzioni” del 17 gennaio 2018.

Si eseguono verifiche agli stati limite ultimi, con lo scopo di verificare la sicurezza delle opere, e agli stati limite di esercizio, necessarie per verificare che i cedimenti attesi siano compatibili con la funzionalità dei vari elementi e che i tassi di lavoro all'interno delle strutture garantiscano i livelli prestazionali richiesti per tutto il periodo di vita utile delle opere.

15.2 Verifiche agli Stati Limite Ultimi

Le verifiche sono effettuate con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
 - scorrimento sul piano di posa;
 - collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
 - ribaltamento;
 - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Per ogni stato limite considerato si accerta che sia soddisfatta la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d e R_d rappresentano rispettivamente le sollecitazioni e le resistenze di progetto.

In accordo con le NTC 2018 le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) delle opere in oggetto sono effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione A1 + M1 + R3 (dove il segno '+' in ossequio alla normativa ha il significato di 'combinato con').

I fattori di sicurezza parziali sulle azioni (A1), sui parametri geotecnici (M1) e sulle resistenze (R3) sono riportati rispettivamente nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITRVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	B	168 di 351
				Data 02/2024	

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ per la spinta delle terre si faccia riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Coefficienti parziali γ_F e γ_E per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tabella 6.2.I NTC 18)

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
		γ_M		
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_r	γ_r	1,0	1,0

Coefficienti parziali γ_M per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II NTC 18)

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE
	(R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno (Tabella 6.5.I NTC 18)

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera è effettuata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2:

$$A2+M2+R2$$

Il coefficiente parziale sulla resistenza R2 è pari a 1.1 (come riportato nella Tabella 6.8.I delle NTC2018), mentre i coefficienti A2 e M2 sono quelli già citati in precedenza.

Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di **azioni sismiche** devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali γ_R indicati nel Capitolo 7 delle NTC 2018 e riportate in Tabella 7.11.III.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLEA AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,2$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,0$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,2$

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi in condizioni sismiche di muri di sostegno (Tabella 7.11.III NTC 18)

Anche per le verifiche di stabilità del complesso muro terreno si pongono pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e si impiegano le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

15.2.1 Verifica a ribaltamento

Per la verifica a ribaltamento del muro si valutano il momento stabilizzante e quello ribaltante, controllando che il rapporto tra i due sia maggiore di $\gamma_R = 1.15$ per le combinazioni statiche (cfr. Tabella 6.5.I) e $\gamma_R = 1.0$ per le combinazioni sismiche (cfr. Tabella 7.11.III):

$$F_S = \frac{M_{STAB}}{M_{RIB}} = \frac{\sum_i \alpha_i \cdot N_i \cdot b_{i-ORIZ(O)}}{\sum_i \beta_i \cdot V_i \cdot b_{i-vert}} \geq \gamma_R$$

dove: α_i = coefficiente di combinazione della forza N_i ;
 N_i = forza stabilizzante;
 $b_{i-ORIZ(O)}$ = braccio della forza verticale rispetto al centro di rotazione;
 β_i = coefficiente di combinazione della forza V_i ;
 V_i = forza instabilizzante;
 b_{i-vert} = braccio della forza orizzontale rispetto al centro di rotazione.

15.2.2 Verifica a scorrimento

Nelle verifiche a scorrimento si valutano i valori delle forze resistenti e delle forze sollecitanti e si verifica che la seguente espressione risulti maggiore di $\gamma_R = 1.1$ per le combinazioni statiche (cfr. Tabella 6.5.I) e $\gamma_R = 1.0$ per le combinazioni sismiche (cfr. Tabella 7.11.III):

$$F_S = \frac{T_{RES}}{T_{SOLL}} = \frac{\mu \cdot \sum_i \alpha_i \cdot N_i}{\sum_i \beta_i \cdot V_i} \geq \gamma_R$$

dove: μ = coefficiente di attrito terreno/fondazione (posto pari alla tangente dell'angolo d'attrito δ fra terreno e fondazione assunto pari ai 2/3 dell'angolo d'attrito ϕ del terreno di fondazione);
 α_i = coefficiente di combinazione della forza N_i ;
 N_i = forza verticale che genera un contributo resistente allo scorrimento;

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 170 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 D_VisionArchitecture	
					Data 02/2024

β_i = coefficiente di combinazione della forza V_i ;

V_i = forza sollecitante.

15.2.3 Verifica di capacità portante della fondazione

La verifica di capacità portante della fondazione di un muro è soddisfatta se il rapporto tra la pressione limite e la pressione equivalente sul terreno risulta maggiore di $\gamma_R = 1.4$ per le combinazioni statiche (cfr. Tabella 6.5.I) e $\gamma_R = 1.2$ per le combinazioni sismiche (cfr. Tabella 7.11.III):

$$F_S = \frac{q_{lim}}{\sigma_{Sd}} \geq \gamma_R$$

dove: σ_{Sd} = pressione equivalente sul terreno;

q_{lim} = pressione limite della fondazione, calcolata secondo comprovate formulazioni presenti in letteratura (ad esempio mediante la formulazione di Brinch-Hansen).

15.3 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

15.3.1 Verifica di limitazione delle tensioni in esercizio

Le Verifiche di limitazione delle tensioni in condizioni di esercizio (SLE) sono svolte con riferimento ai valori caratteristici delle azioni e dei parametri di resistenza dei materiali e consistono nel controllare che i valori di tensione nei materiali strutturali siano inferiori ai limiti di normativa (punto 4.1.2.2.5 del D.M. 17/01/2018).

- Calcestruzzo compresso:
 - Combinazione caratteristica o rara $\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck}$
 - Combinazione quasi permanente $\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$
- Acciaio teso:
 - Combinazione caratteristica o rara $\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk}$

15.3.2 Verifiche a fessurazione

Per poter procedere alle verifiche a fessurazione è necessario effettuare una valutazione relativa al grado di protezione delle armature metalliche contro la corrosione (in termini di condizioni ambientali e sensibilità delle armature stesse alla corrosione).

La Tabella 4.1.III riassume le condizioni ambientali previste dalle NTC 2018 in funzione delle classi di esposizione.

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto Aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4,

Descrizione delle condizioni ambientali (da Tabella 4.1.III NTC 18)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 171 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	
					Data 02/2024

Le armature possono essere distinte in:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

I valori limite di apertura delle fessure ottenuti in base alle condizioni ambientali, alla sensibilità delle armature e alla combinazione di azioni sono riportati in Tabella 4.1.IV.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazioni di azioni S.L.E.	Armature	w_d	Armature	
A	Ordinarie	frequente	Poco sensibili	$\leq w_3 = 0.4\text{mm}$	Sensibili	$\leq w_2 = 0.3\text{mm}$
		quasi permanente		$\leq w_2 = 0.3\text{mm}$		$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$
B	Aggressive	frequente	Poco sensibili	$\leq w_2 = 0.3\text{mm}$	Sensibili	$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$
		quasi permanente		$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$		-
C	Molto aggressive	frequente	Poco sensibili	$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$	Sensibili	-
		quasi permanente		$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$		-

Criteria di scelta dello stato limite di fessurazione (da Tabella 4.1.IV NTC 18)

15.4 Azioni sismiche

L'azione sismica di progetto, desunta dal D.M. del 17/01/2018, deriva dalla pericolosità sismica di base del sito; in particolare, viene definita a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (a_g).

Lo stato limite di esercizio indagato è lo Stato Limite di Danno (SLD), lo stato limite ultimo indagato è lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

A partire dalle accelerazioni su suolo rigido si ricavano le accelerazioni attese al sito (a_{max}), ottenute moltiplicando a_g per i coefficienti correttivi che tengono conto delle possibili amplificazioni del moto del suolo dovute a effetti stratigrafici (S_s) e topografici (S_T):

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

I coefficienti sismici di progetto per le verifiche geotecniche e strutturali dei muri si deducono, in accordo con il D.M. del 17/01/2018, sulla base delle relazioni:

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

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove β_m è il coefficiente che porta in conto la riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito a causa della deformabilità dell'opera ed è pari a $\beta_m = 0.47$ per lo Stato Limite di Danno e $\beta_m = 0.38$ per lo Stato Limite di

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	B	172 di 351
			Data 02/2024	

salvaguardia della Vita. Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando valori di β_m incrementati del 50% e comunque non superiori all'unità.

Per i muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno il coefficiente β_m assume valore unitario.

Per muri di sostegno ubicati in corrispondenza di versanti o in prossimità di pendii naturali devono essere soddisfatte le condizioni di stabilità del pendio, in presenza della nuova opera, con i metodi di analisi di cui al paragrafo 7.11.3.5 delle NTC 2018. Deve inoltre essere soddisfatta la verifica di stabilità del complesso muro-terreno con i criteri indicati al paragrafo 7.11.4 delle NTC 2018.

I coefficienti sismici di progetto per la verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera si deducono, sulla base delle seguenti relazioni:

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

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Dove il valore del coefficiente β_s , che porta in conto la riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito a causa della deformabilità dell'opera, può essere desunto dalle indicazioni fornite nelle NTC 2018 ai paragrafi di cui sopra. Nella seguente Tabella 7.11.II delle NTC18 sono riportati i valori del coefficiente β_s al variare della categoria di sottosuolo e dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido (a_g).

	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

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (da Tabella 7.11.I NTC 18)

15.5 Analisi dei carichi

I carichi da considerare (se presenti) nell'analisi statica di un muro di sostegno sono:

- peso proprio degli elementi strutturali;
- carichi permanenti, tra cui ad esempio il peso del materiale di riempimento a tergo del muro);
- carichi accidentali, tra cui ad esempio il sovraccarico stradale;
- carichi eccezionali dovuti all'urto dei veicoli contro la barriera di sicurezza posta in sommità al muro;
- forze d'inerzia da considerarsi in fase sismica.

15.6 Spinta delle terre in fase statica

15.6.1 Coefficienti di spinta

15.6.1.1 Coefficiente di spinta a riposo

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRELLA AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo s.p.a.	VA D.VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 173 di 351
					Data 02/2024	

Il coefficiente di spinta a riposo è calcolato attraverso le seguenti formulazioni:

$$k_0 = 1 - \text{sen}\phi \quad \text{per i terreni normalconsolidati}$$

$$k_0 = (1 - \text{sen}\phi) \cdot \sqrt{OCR} \quad \text{per i terreni sovraconsolidati}$$

con:

ϕ angolo di attrito interno del terreno

OCR grado di sovraconsolidazione del terreno

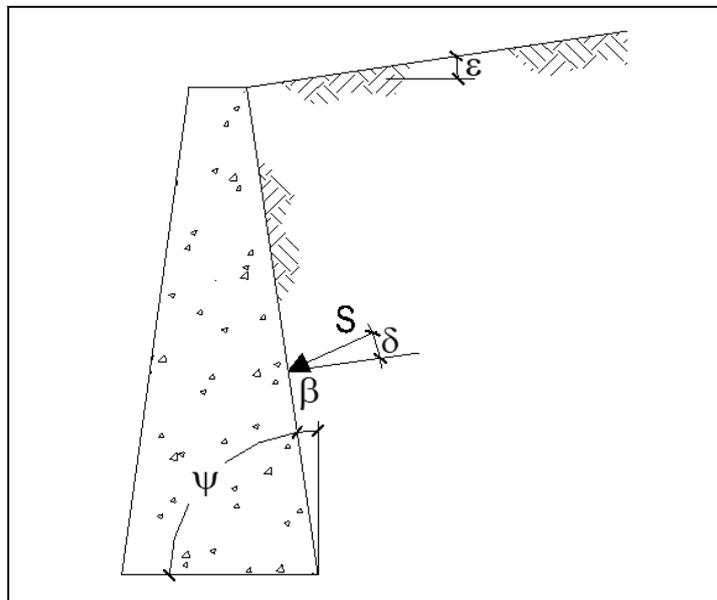
15.6.1.2 Coefficiente di spinta attiva in fase statica

Il valore del coefficiente di spinta attiva in fase statica può essere ottenuto mediante l'utilizzo di formulazioni presenti in letteratura di comprovata validità.

Per le verifiche geotecniche, il coefficiente di spinta attiva a tergo del muro deve essere valutato assumendo un valore dell'inclinazione della spinta delle terre δ pari al massimo a 2/3 dell'angolo d'attrito del terreno di riempimento ϕ .

A titolo esemplificativo si riporta di seguito la relazione di Coulomb per il calcolo del coefficiente di spinta attiva:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi')}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi' + \delta) \cdot \text{sen}(\phi' - \varepsilon)}{\text{sen}(\psi - \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$



Gli angoli, rappresentati nella figura soprastante, assumono i seguenti significati:

ϕ //

ψ inclinazione del paramento di monte del muro

δ angolo d'attrito all'interfaccia terreno-struttura

ε inclinazione del pendio a monte

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALORI AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

15.6.2 Spinta del terreno

Per i muri liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno le spinte del terreno sono valutate mediante le seguenti relazioni:

$$S_{ter,d} = \frac{1}{2} \cdot k_{a,d} \cdot \gamma_d \cdot H^2 - 2\sqrt{k_{a,d}} \cdot c'_d \cdot H$$

$$c'_d = \frac{c'_k}{\gamma_{cf}}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma}$$

con:

γ_k valore caratteristico del peso del terreno da rilevato per unità di volume

c'_k valore caratteristico della coesione efficace del terreno da rilevato

$k_{a,d}$ coefficiente di spinta attiva di progetto (paragrafo 15.6.1)

H profondità alla quale si calcola la sollecitazione

Per i muri vincolati le spinte del terreno sono valutate mediante le seguenti relazioni:

$$S_{ter,d} = \frac{1}{2} \cdot k_{0,d} \cdot \gamma_d \cdot H^2$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma} \quad \text{con } \gamma_\gamma \text{ da Tabella 6.2.II delle NTC18}$$

con:

γ_k valore caratteristico del peso del terreno da rilevato per unità di volume

$k_{0,d}$ coefficiente di spinta a riposo di progetto (paragrafo 15.6.1)

15.6.3 Spinta dei sovraccarichi permanenti

Per i muri liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno le spinte dovute all'azione del sovraccarico permanente sono valutate mediante la seguente relazione:

$$S_{perm,d} = k_{a,d} \cdot q_{perm,d} \cdot H$$

dove:

q_{perm} valore di progetto del sovraccarico permanente

$k_{a,d}$ coefficiente di spinta attiva di progetto (paragrafo 15.6.1)

H profondità alla quale si calcola la sollecitazione

Per i muri vincolati le spinte dovute all'azione del sovraccarico permanente sono valutate mediante la seguente relazione:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALORI AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

$$S_{perm,d} = k_{0,d} \cdot q_{per,d} \cdot H$$

dove:

$k_{0,d}$ coefficiente di spinta a riposo di progetto (paragrafo 15.6.1)

15.6.4 Spinta dei sovraccarichi accidentali

Per i muri liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno le spinte dovute all'azione del sovraccarico accidentale sono valutate mediante le seguenti relazioni:

$$S_{acc,d} = k_{a,d} \cdot q_{acc,d} \cdot H$$

dove:

q_{acc} valore di progetto del sovraccarico accidentale

$k_{a,d}$ coefficiente di spinta attiva di progetto (paragrafo 15.6.1)

H profondità alla quale si calcola la sollecitazione

Per i muri vincolati le spinte dovute all'azione del sovraccarico accidentale sono valutate mediante la seguente relazione:

$$S_{acc,d} = k_{0,d} \cdot q_{acc,d} \cdot H$$

dove:

$k_{0,d}$ coefficiente di spinta a riposo di progetto (paragrafo 15.6.1)

15.7 Spinta delle terre in fase sismica

15.7.1 Coefficienti di spinta

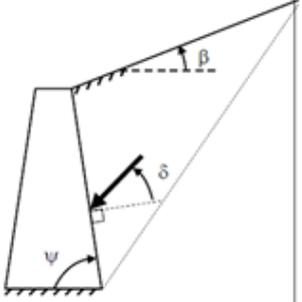
15.7.1.1 Coefficiente di spinta attiva in fase sismica

Il valore del coefficiente di spinta attiva in fase sismica può essere ottenuto mediante l'utilizzo di formulazioni presenti in letteratura di comprovata validità ipotizzando che la componente sismica orizzontale agisca contemporaneamente alla componente sismica verticale (assunta dapprima verso l'alto e poi verso il basso).

Si riporta nella figura seguente, a titolo esemplificativo, la relazione di Mononobe – Okabe per il calcolo del coefficiente di spinta attiva in fase sismica.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRENO AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo	VA D.VisionArchitecture
			B	176 di 351
			Data 02/2024	

$$\beta \leq \phi - \theta : K_{a,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta)\text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta)\text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta : K_{a,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$


Relazione di Mononobe – Okabe per il calcolo di $k_{a,sism}$

La convenzione con cui sono definiti gli angoli presenti nell'espressione di Mononobe – Okabe è riportata nella figura soprastante; inoltre, si definisce l'angolo $\vartheta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1-k_v}\right)$. Con il simbolo '↑' si intende che l'accelerazione sismica verticale è stata assunta positiva verso l'alto, e viceversa con '↓'. Per il calcolo dei coefficienti k_h e k_v , necessari per la determinazione dell'angolo ϑ , si veda quanto riportato al **punto 15.4**.

15.7.2 Spinta del terreno

La spinta del terreno in fase sismica è valutata come la somma della spinta attiva in condizioni statiche e dell'incremento di spinta attiva in condizioni sismiche, mediante le seguenti relazioni:

$$S_{ter,d} = S_{a,d} + \Delta S_{a,sism,d}$$

$$\Delta S_{a,sism,d} = S_{a,sism,d} - S_{a,d}$$

$$S_{a,d} = \frac{1}{2} \cdot k_{a,d} \cdot \gamma_d \cdot H^2 - 2\sqrt{k_{a,d}} \cdot c'_d \cdot H$$

$$S_{a,sism,d} = \frac{1}{2} \cdot k_{a,sism,d} \cdot \gamma_d \cdot H^2 - 2\sqrt{k_{a,sism,d}} \cdot c'_d \cdot H$$

$$c'_d = \frac{c'_k}{\gamma_{c'}} \quad \text{con } \gamma_{c'} \text{ da Tabella 6.2.II delle NTC18}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma} \quad \text{con } \gamma_\gamma \text{ da Tabella 6.2.II delle NTC18}$$

con:

- γ_k valore caratteristico del peso del terreno da rilevato per unità di volume
- c'_k valore caratteristico della coesione efficace del terreno da rilevato
- $k_{a,d}$ coefficiente di spinta attiva di progetto secondo la relazione di Coulomb calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno paria a $2/3 \cdot \phi$ (vedi paragrafo **15.6.1**)
- $k_{a,sism,d}$ coefficiente di spinta attiva sismica di progetto secondo Mononobe-Okabe calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno paria a $2/3 \cdot \phi$ (vedi paragrafo **15.7.1.1**)
- H profondità alla quale si calcola la sollecitazione

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 177 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D__VA D__VisionArchitecture	Data 02/2024	

Per i muri liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno si considera che la spinta attiva in condizioni statiche $S_{a,d}$ e l'incremento di spinta attiva dovuto al sisma $\Delta S_{a,sism,d}$ siano entrambe prodotte da un andamento delle tensioni orizzontali di tipo lineare.

Diversamente, per i muri vincolati, la spinta attiva in condizioni statiche $S_{a,d}$ è considerata ancora come risultante di un andamento delle tensioni orizzontali di tipo lineare, mentre l'incremento di spinta attiva in condizioni sismiche $\Delta S_{a,sism,d}$ è considerato come risultante di un andamento costante delle tensioni orizzontali.

15.7.3 Spinta dei sovraccarichi permanenti

Le spinte dovute all'azione del sovraccarico permanente sono valutate mediante la seguente relazione:

$$S_{perm,d} = k_{a,sism,d} \cdot q_{per,d} \cdot H$$

dove:

- q_{perm} valore di progetto del sovraccarico permanente
- $k_{a,sism,d}$ coefficiente di spinta attiva sismica di progetto secondo Mononobe-Okabe calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno paria a $2/3 \cdot \phi$ (vedi paragrafo 15.7.1.1)
- H profondità alla quale si calcola la sollecitazione

15.7.4 Spinta dei sovraccarichi accidentali

Le spinte dovute all'azione del sovraccarico accidentale sono valutate mediante le seguenti relazioni:

$$S_{acc,d} = k_{a,sism,d} \cdot q_{acc,d} \cdot H$$

dove:

- q_{acc} valore di progetto del sovraccarico accidentale
- $k_{a,sism,d}$ coefficiente di spinta attiva sismica di progetto secondo Mononobe-Okabe calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno paria a $2/3 \cdot \phi$ (vedi paragrafo 15.7.1.1)
- H profondità alla quale si calcola la sollecitazione

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D.VisionArchitecture	B	178 di 351
			Data 02/2024	

16 TERRE RINFORZATE

16.1 Metodologia di calcolo

Secondo quanto specificato al paragrafo 6.5 delle NTC 2018 le terre rinforzate vengono classificate come muri di sostegno: *“Le norme si applicano a tutte le costruzioni e agli interventi atti a sostenere in sicurezza un corpo di terreno o di materiale con comportamento simile: ... - omissis - ... strutture miste, che esplicano la funzione di sostegno anche per effetto di trattamenti di miglioramento e per la presenza di particolari elementi di rinforzo e collegamento”*.

Per le opere in terra rinforzata devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la condizione $E_d \leq R_d$ (dove E_d e R_d rappresentano rispettivamente il valore di progetto dell'azione e il valore di progetto della resistenza) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- ✓ SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - scorrimento sul piano di posa;
 - collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
 - ribaltamento;
 - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- ✓ SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Le verifiche di carattere strutturale per l'opera in esame sono riferite agli elementi di rinforzo e consistono in:

- verifica a sfilamento del singolo rinforzo dal terreno (pull-out);
- verifica della resistenza di design dell'elemento di rinforzo.

Tali verifiche dovranno essere eseguite sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al par. 6.8 delle NTC2018 (Opere di materiali sciolti e fronti di scavo), secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle NTC 2018, Tab. 6.2.I e Tab. 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali γ_R indicati nella Tab. 6.8.I per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

COEFFICIENTE PARZIALE (γ_R)	R2
γ_R	1.1

DM 17.01.2018: Tabella 6.8.I - Coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo in condizioni statiche

In condizioni sismiche, la verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata ponendo unitari i coefficienti parziali per le azioni e per i materiali e impiegando per la resistenza di progetto il coefficiente parziale $\gamma_R = 1.2$.

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>T 00-GE03-GET-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA  </p> <p>MANDANTI    </p>	<p>REV.</p> <p>B</p>	<p>FOGLIO</p> <p>179 di 351</p>
		<p>Data</p> <p>02/2024</p>	

Le verifiche di tipo Geotecnico (GEO) devono essere effettuate:

- in condizioni statiche secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle NTC 2018, Tab. 6.2.I e Tab. 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali γ_R indicati nella Tab. 6.5.I. per le verifiche degli SLU dei muri di sostegno.
- In condizioni sismiche ponendo unitari i coefficienti parziali per le azioni e per i materiali e impiegando per le resistenze di progetto i coefficienti parziali γ_R indicati nella Tabella 7.11.III delle NTC 18 e seguendo le indicazioni fornite al paragrafo **15.5**.

Le verifiche di tipo Strutturale (STR) devono essere effettuate:

- in condizioni statiche secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle NTC 2018, Tab. 6.2.I e Tab. 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali γ_R determinati in funzione della verifica considerata per la cui definizione si rimanda alle relative relazioni di calcolo;
- In condizioni sismiche ponendo unitari i coefficienti parziali per le azioni e per i materiali e impiegando per le resistenze di progetto i medesimi coefficienti parziali γ_R utilizzati per il caso statico e seguendo le indicazioni fornite al paragrafo **15.5**.

Una descrizione più approfondita della metodologia di calcolo da utilizzare per il dimensionamento delle terre rinforzate e i risultati ottenuti dalle analisi sono riportati nelle specifiche relazioni di calcolo alle quali si rimanda.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D VisionArchitecture	REV. B	FOGLIO 180 di 351
			Data 02/2024	

17 OPERE DI SOSTEGNO FLESSIBILI

Per opere di sostegno flessibili si intendono paratie, berlinesi e palancole.

17.1 Metodologia di calcolo: condizioni statiche

17.1.1 Stato Limite Ultimo (SLU)

La progettazione di una paratia, alla luce delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018, deve considerare i seguenti stati limite ultimi:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD):
 - Collasso per rotazione attorno a un punto dell'opera;
 - Collasso per carico limite verticale;
 - Sfilamento di uno o più ancoraggi;
 - Instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate;
 - Instabilità del fondo scavo per sollevamento;
 - Sifonamento del fondo scavo;
 - Instabilità globale dell'insieme terreno-opera.
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - Raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi;
 - Raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o sistemi di contrasto;
 - Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 dell'Approccio 1 – A2+M2+R2, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle successive.

Le verifiche allo stato limite ultimo, tra cui le verifiche strutturali dei tiranti, devono essere effettuate considerando due combinazioni di coefficienti, la prima generalmente dimensionante dal punto di vista strutturale, la seconda dal punto di vista geotecnico:

Comb 1: A1+M1+R1

Comb 2: A2+M2+R1

Azioni (coefficienti A):

La seguente tabella riporta i fattori di sicurezza parziali da applicare alle azioni nelle diverse combinazioni di carico

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 181 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA D_VisionArchitecture	
					Data 02/2024

carichi	effetto	coefficiente parziale	EQU	A1 (STR)	A2 (GEO)
Permanenti	favorevole	Y _{G1}	0.9	1.0	1.0
	sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	favorevole	Y _{G2}	0.8	0.8	0.8
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	favorevole	Y _{Qi}	0.0	0.0	0.0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Parametri geotecnici (coefficienti M):

Le analisi allo stato limite ultimo prevedono l'utilizzo di due set di parametri: i parametri caratteristici e i parametri ridotti. I primi sono deducibili da prove in sito o di laboratorio su campioni significativi, i secondi sono ricavabili riducendo i parametri caratteristici con i coefficienti M2:

Parametro	simbolo	coefficiente parziale	M1	M2
tangente angolo di attrito	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25
coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{c_u}	1.00	1.40
peso unità di volume	γ	γ_{γ}	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Resistenze (coefficienti R):

I coefficienti parziali sulle resistenze assumono i seguenti valori:

R1 = 1 nelle analisi SLU e SLE
R2 = 1.1 nelle analisi di stabilità globale.

Nelle verifiche di sicurezza dei tiranti di ancoraggio devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Gli stati limite ultimi dei tiranti di ancoraggio si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che li compongono.

Per il dimensionamento geotecnico, deve risultare rispettata la condizione $E_d \leq R_d$ con specifico riferimento ad uno stato limite di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. La verifica di tale condizione può essere effettuata con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle soprastanti.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 182 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGOSTO	 sinèrgo	 VA D_VisionArchitecture	
					Data 02/2024

La verifica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione di progetto E_d con la resistenza di progetto R_{ad} , determinata applicando alla resistenza caratteristica R_{ak} i coefficienti parziali γ_r riportati nella seguente tabella.

Tipologia ancoraggio	Simbolo	Coefficiente parziale
Ancoraggi temporanei	γ_r	1.1
Ancoraggi permanenti	γ_r	1.2

Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio R_{ak} può essere determinato mediante metodi di calcolo analitici, utilizzando i valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati di prove in sito e/o di laboratorio.

Seguendo tale procedimento, il valore della resistenza caratteristica R_{ak} può essere ottenuto considerando il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione ξ_{a3} e ξ_{a4} riportati nella tabella seguente rispettivamente al valor medio e al valor minimo delle resistenze $R_{a,c}$ ottenute dal calcolo.

$$R_{ak} = \min \left(\frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}} ; \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right)$$

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
ξ_{a3}	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ξ_{a4}	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero n di profili di indagine

Per la valutazione dei fattori ξ_{a3} e ξ_{a4} , si deve tenere conto che i profili di indagine sono solo quelli che consentono la completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo per il terreno di fondazione dell'ancoraggio.

17.1.2 Stato Limite di Esercizio (SLE)

In tutti i casi, nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti.

Le verifiche allo stato limite d'esercizio vengono eseguite con tutti i coefficienti amplificativi unitari e con i parametri caratteristici dei terreni.

17.2 Metodologia di calcolo: condizioni sismiche

Per le paratie devono essere soddisfatte le condizioni di sicurezza nei confronti dei possibili stati limite ultimi (SLV) verificando il rispetto della condizione $E_d \leq R_d$ ponendo unitari i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali γ_r specificati al paragrafo 17.1.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRITORIO AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
			B	183 di 351
			Data 02/2024	

Nelle verifiche, per azioni s'intendono le risultanti delle spinte a tergo della paratia e per resistenze s'intendono le risultanti delle spinte a valle della paratia e le reazioni dei sistemi di vincolo.

Nei metodi pseudo-statici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente, costante nello spazio e nel tempo. Le componenti orizzontale e verticale a_h e a_v dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. In mancanza di studi specifici, a_h può essere legata all'accelerazione di picco a_{max} attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

$$a_h = k_h \cdot g = \alpha \cdot \beta \cdot a_{max}$$

dove g è l'accelerazione di gravità, k_h è il coefficiente sismico in direzione orizzontale, $\alpha \leq 1$ è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e $\beta \leq 1$ è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Per le paratie si può porre $a_v = 0$.

L'accelerazione di picco a_{max} è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, oppure come:

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

dove S è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_S) e dell'amplificazione topografica (S_T) di cui al paragrafo 3.2.3.2 delle NTC 2018, ed a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Il valore del coefficiente α può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva H della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma riportato nella figura seguente.

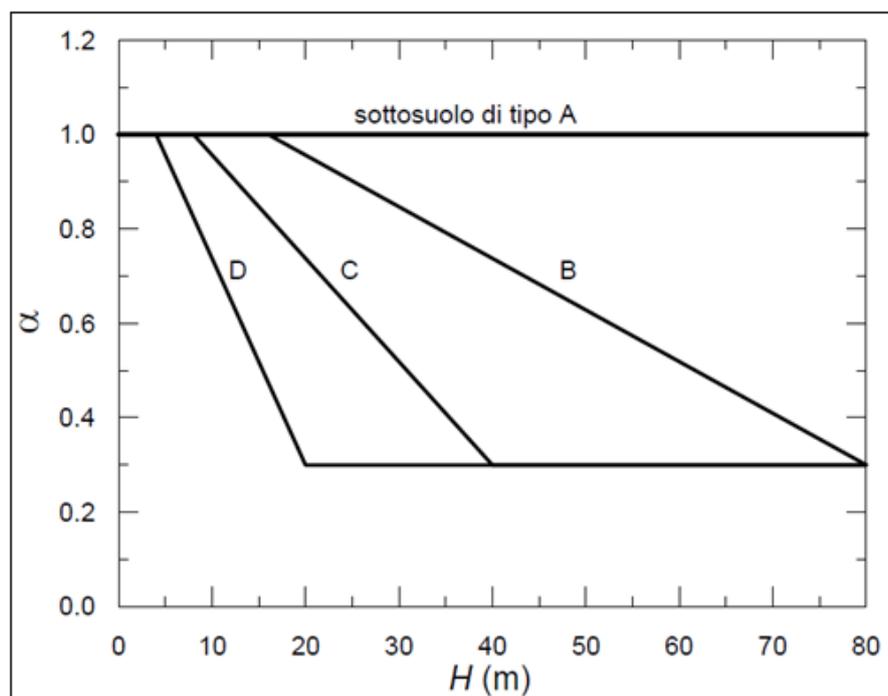


Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità α

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA TERRITORIO AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo	VA D.VisionArchitecture
				Data 02/2024

Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi $\alpha = 1$.

Il valore del coefficiente β può essere ricavato dal diagramma della figura successiva, in funzione del massimo spostamento permanente u_s che l'opera può tollerare, verificando l'effettivo sviluppo di meccanismi duttili nel sistema. In assenza di tale verifica, il coefficiente β vale 1.

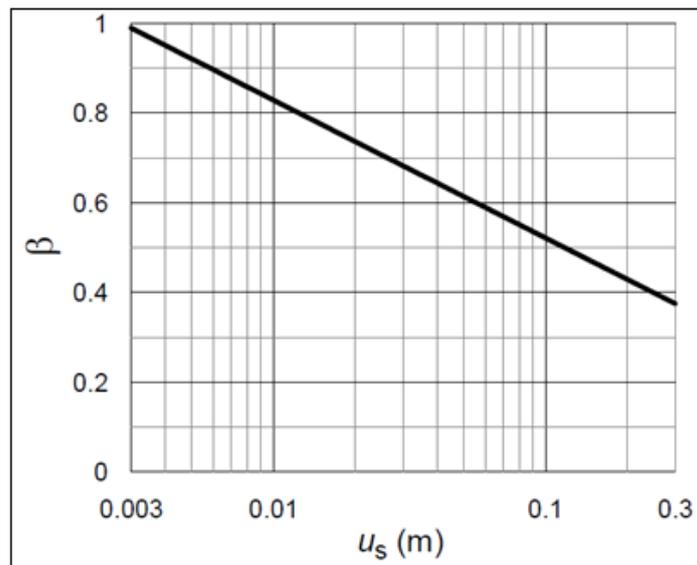


Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento β

Per $u_s = 0$ è $\beta = 1$. Deve comunque risultare:

$$u_s \leq 0.005 \cdot H$$

Se $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$ deve assumersi $k_h = 0.2 \cdot a_{max}/g$.

Possono inoltre essere trascurati gli effetti inerziali sulle masse che costituiscono la paratia.

Per valori dell'angolo di resistenza al taglio tra terreno e parete $\delta > \phi'/2$, ai fini della valutazione della resistenza passiva è necessario tener conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

L'analisi di stabilità globale in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, nei quali l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h \cdot W$ ed $F_v = k_v \cdot W$, con k_h e k_v rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

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

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITRIVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	B	185 di 351
			Data 02/2024	

Dove β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito e può essere ricavato dalla seguente tabella in base alla categoria di sottosuolo e al valore dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

	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

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

Le verifiche di stabilità globale in condizioni sismiche devono essere eseguite ponendo unitari i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali γ_r specificati al paragrafo 17.1.

17.3 Spinta delle terre

17.3.1 Coefficiente di spinta a riposo

Il coefficiente di spinta a riposo è calcolato attraverso le seguenti formulazioni:

$$k_0 = 1 - \text{sen}\phi \quad \text{per i terreni normalconsolidati}$$

$$k_0 = (1 - \text{sen}\phi) \cdot \sqrt{OCR} \quad \text{per i terreni sovraconsolidati}$$

con:

ϕ angolo di attrito interno del terreno

OCR grado di sovraconsolidazione del terreno

17.3.2 Coefficiente di spinta attiva in fase statica

I valori dei coefficienti di spinta attiva (k_a) possono essere calcolati mediante l'utilizzo di formulazioni disponibili in letteratura di comprovata validità (cfr. tabella seguente).

Autori	Sokolovskii (1965)	Rankine (1857)	Lancellotta (2002) Mylonakis et al. (2007)	Coulomb (1773) Muller Breslau (1906)	Caquot e Kerisel (1948)	Chen (1975)
metodo	linee caratter.	appr. statico	estr. inferiore appr. statico	equil. limite appr. cinemat. sup. piana	equil. limite appr. cinemat. sup. curvilinea	estr. superiore appr. cinemat. sup. curvilinea
δ	si	0	si	0	si	si
i	0	si	si	0	si	si
β	si	0	0	si	0	si

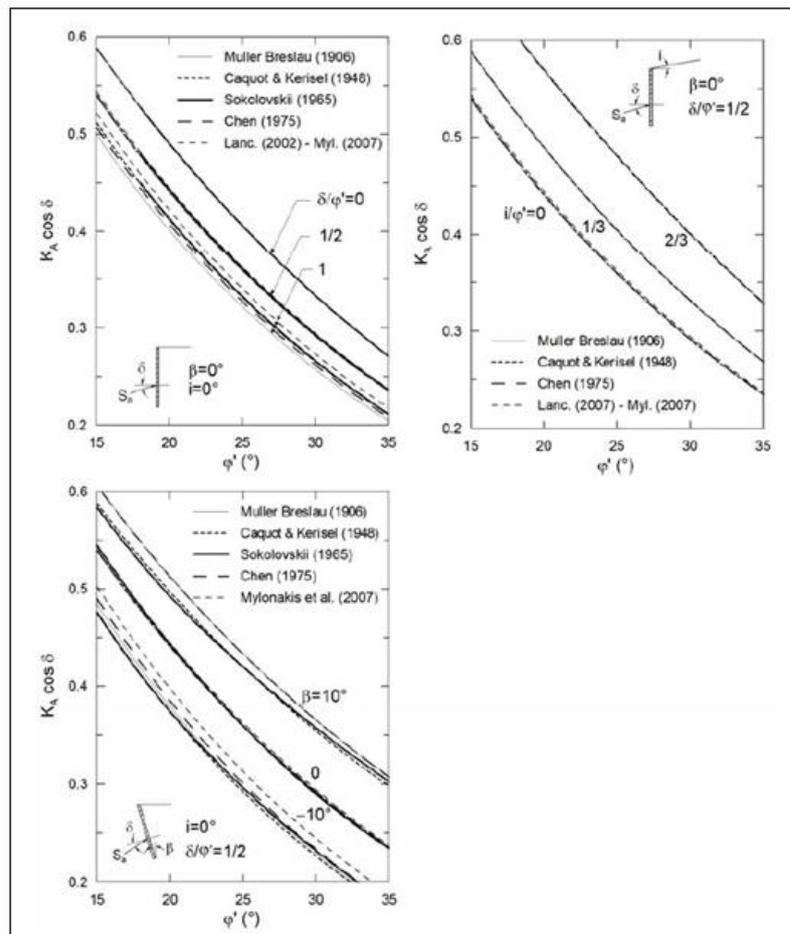
Soluzioni disponibili per gli stati limite in condizioni statiche [2]

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE	REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI sinèrgo	B
	ETREVA ENERGIA VALLE D'AOSTA	VA D Vision Architecture	Data 02/2024

In tale tabella sono specificati gli autori di alcune delle principali formulazioni per il calcolo di k_a disponibili in letteratura, indicando per ciascuna di esse:

- la tipologia di metodo utilizzato per il calcolo di k_a (approccio statico, approccio cinematico, equilibrio limite, linee caratteristiche);
- se nel caso di metodo cinematico la superficie di scorrimento considerata sia piana o curvilinea;
- se la formulazione tiene conto o meno degli angoli δ , i e β , rispettivamente angolo di attrito terreno-opera di sostegno, angolo di inclinazione del piano campagna e angolo di inclinazione del paramento dell'opera (l'angolo β è misurato a partire dalla verticale per cui si ha $\beta=0$ per un'opera di sostegno con paramento verticale).

Nel caso di condizioni attive, i valori di k_a ottenibili dalle formulazioni della tabella di cui sopra non differiscono in modo significativo come mostrato dai grafici in figura sottostante. Pertanto, la scelta della specifica formulazione da utilizzare per il calcolo del coefficiente di spinta attiva è lasciata alla discrezione del progettista.



Confronto tra i valori di $K_a \cos \delta$ ottenuti in condizioni statiche da alcune soluzioni di letteratura [2]

Nel caso si consideri l'angolo d'attrito fra terreno e opera di sostegno, questo non dovrà essere superiore ai $2/3$ del valore dell'angolo d'attrito del terreno ($\delta \leq 2/3 \phi'$). A titolo esemplificativo, si riporta di seguito l'espressione analitica della formulazione di Coulomb – Muller Breslau.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITRVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinergo  VA D'VisionArchitecture	B	187 di 351
			Data 02/2024	

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi' - \beta)}{\cos^2\beta \cdot \cos(\delta + \beta) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \cdot \sin(\phi' - i)}{\cos(\delta + \beta) \cdot \cos(i - \beta)}}\right)^2}$$

17.3.3 Coefficiente di spinta attiva in fase sismica

Le azioni sismiche possono essere tenute in considerazione mediante il metodo pseudostatico, nel quale si assume che un fissato valore di accelerazione agisce uniformemente nel volume di terreno esaminato.

I valori dei coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche ($k_{a,sim}$) possono essere calcolati mediante l'utilizzo di formulazioni disponibili in letteratura di comprovata validità (cfr. tabella seguente).

Autore	Lancellotta (2007)	Mylonakis <i>et al.</i> (2007)	Mononobe – Okabe (1924) (1929)	Chang (1981)
metodo	estr. inferiore appr. statico	estr. inferiore appr. statico	equil. limite appr. cinematic. sup. piana	estr. superiore appr. cinematic. sup. curvilinea
δ	sì	sì	sì	sì
i	sì	sì	sì	sì
β	0	sì	sì	sì

Soluzioni disponibili per gli stati limite in condizioni pseudostatiche [2]

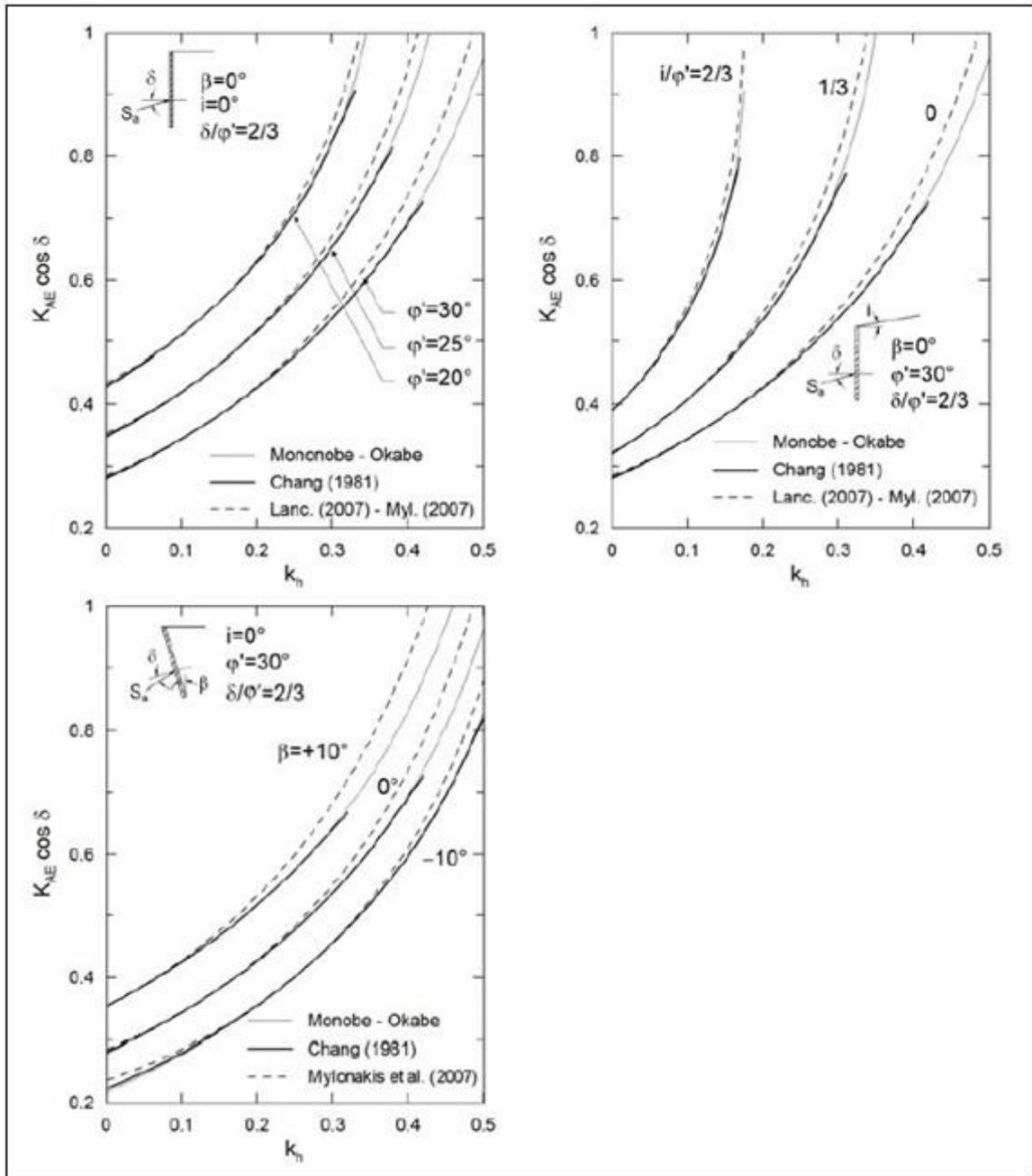
Analogamente a quanto già detto per il calcolo del k_a statico (paragrafo 17.3.2), anche nel caso di condizioni sismiche, la scelta della specifica formulazione da utilizzare per il calcolo del coefficiente $k_{a,sim}$ è lasciata alla discrezione del progettista, in quanto le varie formulazioni forniscono risultati simili come mostrato dai grafici riportati nella figura seguente.

A titolo esemplificativo, si riporta di seguito l'espressione analitica della formulazione di Lancellotta 2007.

$$K_{a,sism} = \frac{\cos\delta - \sqrt{\sin^2(\phi') - \sin^2(\delta)}}{\cos(i + \vartheta) + \sqrt{\sin^2(\phi') - \sin^2(i + \vartheta)}} \cdot e^{-2\Psi_e \tan\phi'} \cdot \frac{\cos i}{\cos\vartheta}$$

$$2\Psi_e = \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{\sin\delta}{\sin\phi'}\right) - \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{\sin(i + \vartheta)}{\sin\phi'}\right) - \delta + i - \vartheta$$

$$\vartheta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$$

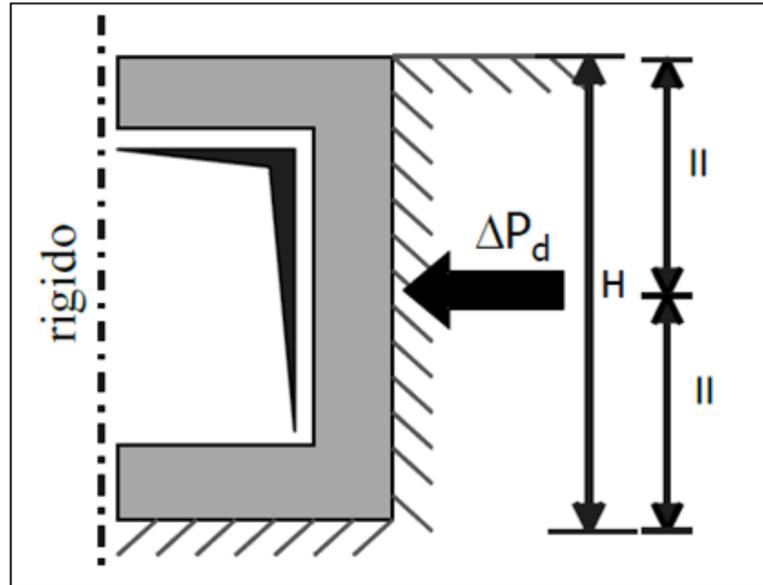


Confronto tra i valori di $K_{a,sism} \cdot \cos \delta$ ottenuti con $k_v = 0$ [2]

Nel caso in cui per la struttura in oggetto di studio si prevedano deformazioni e spostamenti molto contenuti sia in fase statica che in fase sismica, ad esempio per la presenza di vincoli che impediscono, laddove applicati, lo spostamento della paratia, è possibile tenere conto dell'incremento della spinta a monte dell'opera stessa per effetto dell'azione sismica mediante il metodo di Wood (1973).

Tale metodo fornisce la sovraspinta sismica del terreno su una parete interrata soggetta a piccole deformazioni, come mostrato nella figura successiva.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VERDE AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo	VA D'VisionArchitecture
				Data 02/2024



Applicazione del sovraccarico sismico secondo il metodo di Wood (1973)

La sovraspinta pseudostatica secondo il metodo di Wood è da considerarsi applicata ad una profondità dalla testa della paratia pari ad $H/2$ e può essere calcolata mediante la seguente espressione:

$$\Delta P_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

Dove:

- H è l'altezza di scavo considerata;
- a_g è l'accelerazione massima attesa in sito su suolo rigido;
- γ è il peso di volume del terreno;
- S è un coefficiente che tiene conto dell'amplificazione stratigrafica e topografica, così come definito al paragrafo 17.2.

Dal momento che la sovraspinta sismica ΔP_d è applicata a metà dell'altezza di scavo H , questa è il risultato dell'integrazione di una distribuzione di pressioni costante lungo l'intera altezza di scavo il cui valore è:

$$\Delta p_d = \frac{a_g}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H$$

La sovraspinta, così definita, deve essere considerata in aggiunta alla spinta del terreno in condizioni statiche calcolata secondo le indicazioni di cui al paragrafo 17.3.2.

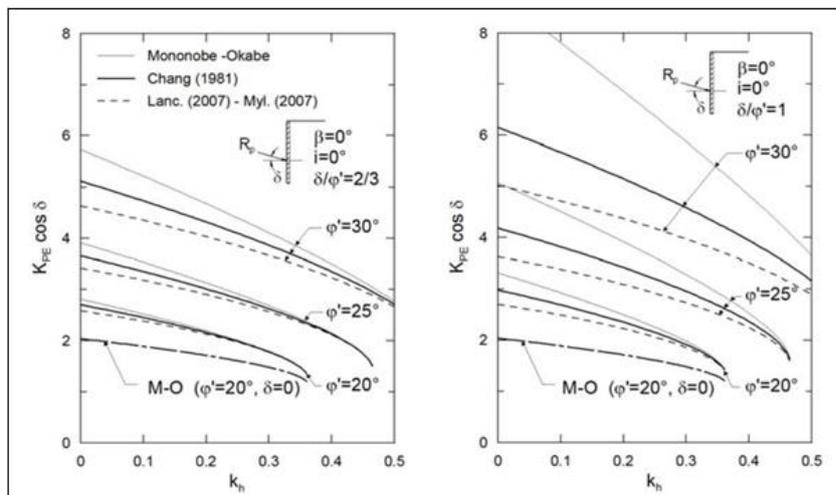
17.3.4 Coefficiente di spinta passiva in fase sismica

I valori dei coefficienti di spinta passiva in condizioni sismiche ($k_{p,sism}$) possono essere calcolati mediante l'utilizzo delle formulazioni riportate nella seguente tabella.

Autore	Lancellotta (2007)	Mylonakis <i>et al.</i> (2007)	Mononobe – Okabe (1924) (1929)	Chang (1981)
metodo	estr. inferiore appr. statico	estr. inferiore appr. statico	equil. limite appr. cinematic. sup. piana	estr. superiore appr. cinematic. sup. curvilinea
δ	si	si	si	si
i	si	si	si	si
β	0	si	si	si

Soluzioni disponibili per gli stati limite in condizioni pseudostatiche [2]

Ciononostante, dal momento che i risultati di tali formulazioni possono risultare molto differenti fra loro, come mostrato dai grafici nella figura seguente è consigliabile utilizzare le formulazioni ottenute mediante un approccio statico o mediante un approccio cinematico che tenga conto della non planarità della superficie di scorrimento.



Confronto tra i valori di $K_{p,sism} \cdot \cos \delta$ ottenuti con $k_v = 0$ [2]

Nel caso si consideri l'angolo d'attrito fra terreno e opera di sostegno, questo non dovrà essere superiore ai 2/3 del valore dell'angolo d'attrito del terreno ($\delta \leq 2/3 \phi'$). Inoltre, se $\delta > \phi'/2$ (e comunque $\leq 2/3 \phi'$), nel caso si utilizzi una formulazione derivante da un approccio cinematico, sarà necessario tenere conto della non planarità delle superfici di scorrimento. A titolo esemplificativo, si riporta di seguito l'espressione analitica della formulazione di Lancellotta 2007 (formulazione cautelativa in quanto ottenuta mediante approccio statico).

$$K_{p,sism} = \frac{\cos \delta + \sqrt{\sin^2(\phi') - \sin^2(\delta)}}{\cos(i + \vartheta) - \sqrt{\sin^2(\phi') - \sin^2(i + \vartheta)}} \cdot e^{+2\Psi_\varepsilon \tan \phi'} \cdot \frac{\cos i}{\cos \vartheta}$$

$$2\Psi_\varepsilon = \text{sen}^{-1}\left(\frac{\sin \delta}{\sin \phi'}\right) + \text{sen}^{-1}\left(\frac{\sin(i + \vartheta)}{\sin \phi'}\right) + \delta + i - \vartheta$$

$$\vartheta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$$

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	191 di 351
			Data 02/2024	

18 FONDAZIONI SU PALI

18.1 Metodologia di calcolo delle azioni in testa al palo

Il calcolo delle sollecitazioni assiale e tagliante in testa al singolo palo, a partire dalle sollecitazioni scaricate dalla sovrastruttura sulla platea di fondazione (considerate alla quota d'imposta della platea stessa) è stato eseguito tramite le seguenti formule analitiche:

$$N_i = \frac{N}{n} + \left[\frac{(M_x + \sum M_{tix}) \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n y_i^2} \right] - \left[\frac{(M_y + \sum M_{tiy}) \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2} \right]$$

$$V_{x,i} = \frac{V_x}{n}$$

$$V_{y,i} = \frac{V_y}{n}$$

dove, considerando un sistema di riferimento XYZ destrorso avente origine nel baricentro della palificata, asse x longitudinale al viadotto, asse y trasversale al viadotto e asse z rivolto verso l'alto, risultano:

- n, numero di pali;
- N, azione assiale sulla platea di fondazione;
- M_x , momento sulla palificata attorno all'asse x;
- M_y , momento sulla palificata attorno all'asse y;
- M_{tix} , momento in testa all'i-esimo palo attorno all'asse x;
- M_{tiy} , momento in testa all'i-esimo palo attorno all'asse y;
- x_i , distanza dall'asse y baricentrico della palificata;
- y_i , distanza dall'asse x baricentrico della palificata;
- V_x , taglio sulla palificata in direzione x;
- V_y , taglio sulla palificata in direzione y;
- $V_{x,i}$, taglio in testa all'i-esimo palo in direzione x;
- $V_{y,i}$, taglio in testa all'i-esimo palo in direzione y.

Il collegamento fra i pali di fondazione e la platea è stato schematizzato, a favore di sicurezza, come un incastro perfetto.

Per il calcolo del momento di incastro in testa all'i-esimo palo è stato considerato il comportamento a taglio-flessione del palo tenendo conto dell'interazione fra il palo e il terreno mediante molle elasto-plastiche orizzontali così come definite al successivo paragrafo **18.6.3**.

I valori delle azioni sulla platea di fondazione, utilizzati nelle equazioni sopra riportate, tengono conto dei rispettivi coefficienti amplificativi utilizzati nella fase progettuale della sovrastruttura in funzione dello stato limite e della combinazione di verifica considerata.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 192 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AGOSTO	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	
					Data 02/2024

18.2 Verifica agli Stati Limite Ultimi (SLU)

Gli stati limite ultimi delle fondazioni su pali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche delle fondazioni su pali devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la condizione $E_d \leq R_d$ sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
 - collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
 - collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
 - stabilità globale;
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza dei pali;
 - raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1 tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle per le azioni e i parametri geotecnici, e di $\gamma_R = 1.1$ per le resistenze globali.

Azioni (coefficienti A):

La seguente tabella riporta i fattori di sicurezza parziali da applicare alle azioni nelle diverse combinazioni di carico.

carichi	effetto	coefficiente parziale	EQU	A1 (STR)	A2 (GEO)
Permanenti	favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	favorevole	γ_{G2}	0.8	0.8	0.8
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 193 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA D VisionArchitecture	
					Data 02/2024

Parametri geotecnici (coefficienti M):

Le analisi allo stato limite ultimo prevedono l'utilizzo di due set di parametri: i parametri caratteristici e i parametri ridotti. I primi sono deducibili da prove in sito o di laboratorio su campioni significativi, i secondi sono ricavabili riducendo i parametri caratteristici con i coefficienti M2:

Parametro	simbolo	coefficiente parziale	M1	M2
tangente angolo di attrito	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25
coesione efficace	c'_k	γ_c	1.00	1.25
resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.00	1.40
peso unità di volume	γ	γ_v	1.00	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle di cui sopra e nelle tabelle del seguente **punto 18.3**.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale, il coefficiente γ_R non deve essere portato in conto.

18.3 Resistenze di pali soggetti a carichi assiali

Il valore di progetto R_d della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando i coefficienti parziali γ_R riportati nella tabella seguente.

Tipologia di palo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
Resistenza	R3	R3	R3
Base γ_b	1.15	1.35	1.3
Laterale in compressione γ_s	1.15	1.15	1.15
Laterale in trazione γ_{st}	1.25	1.25	1.25

Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

18.4 Resistenze di pali soggetti a carichi trasversali

Il valore di progetto $R_{tr,d}$ della resistenza trasversale si ottiene a partire dal valore caratteristico R_k applicando il coefficiente parziale γ_R riportato in tabella seguente.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D.VisionArchitecture	B	194 di 351
			Data 02/2024	

Coefficiente parziale (R3)	$\gamma_t = 1.3$
-----------------------------------	------------------

Coefficiente parziale γ_t per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali

18.5 Condizioni sismiche

Le verifiche di capacità portante dei pali in presenza di azioni sismiche consistono nel confronto tra le azioni (forza assiale e forza trasversale sul palo) e le corrispondenti resistenze, nel rispetto della condizione $E_d \leq R_d$ ponendo unitari i coefficienti amplificativi delle azioni e dei materiali e considerando i medesimi coefficienti di cui ai paragrafi **18.3** e **18.4** per le resistenze.

18.6 Capacità portante dei pali di fondazione

Nel seguito si riporta la procedura utilizzata per il calcolo della capacità portante verticale ed orizzontale dei pali di fondazione.

Si precisa che, nei casi in cui l'interasse fra i pali risulti inferiore a 3 volte il diametro degli stessi, è stato considerato l'effetto di interazione come suggerito da vari autori in letteratura. Per la visualizzazione del metodo utilizzato per tenere conto dell'interazione fra i pali si rimanda alle specifiche relazioni di calcolo.

Il calcolo della capacità portante è stato effettuato considerando la stratigrafia di ciascuna opera riportata all'interno delle specifiche relazioni di calcolo e i rispettivi parametri geotecnici definiti nella presente. In ogni caso sono state considerate le condizioni statiche a breve e a lungo termine e quelle sismiche a breve termine. Lo studio delle condizioni a breve e lungo termine si traduce per i materiali granulari nello studio delle sole condizioni drenate mentre per i materiali coesivi nello studio di entrambe le condizioni non drenate e drenate. Si specifica che per i materiali coesivi in presenza di azioni sismiche sono state considerate le sole condizioni non drenate ritenendo che la sollecitazione sismica, dato il ridotto lasso di tempo in cui agisce, debba necessariamente essere studiata in condizioni a breve termine.

Nei casi in cui sia presente una faglia in corrispondenza della fondazione le verifiche geotecniche di dimensionamento dei pali saranno effettuate considerando cautelativamente, tra le due stratigrafie a cavallo della faglia, quella che comporta una minore capacità portante della fondazione.

18.6.1 Capacità portante verticale

Il calcolo delle curve di capacità portante verticale dei pali è stato condotto in accordo con le NTC 2018, considerando i valori dei coefficienti parziali definiti per l'Approccio 2, combinazione A1+M1+R3 di cui ai paragrafi **18.2**, **18.3**, **18.4** e **18.5** rispettivamente in condizioni statiche e sismiche.

La capacità portante ultima dei pali è stata valutata mediante la seguente espressione:

$$R_k = R_{c,k} + R_{b,k} - W$$

dove:

- $R_{c,k}$ capacità portante caratteristica per attrito laterale
- $R_{b,k}$ capacità portante caratteristica di punta
- W peso del palo

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D'VisionArchitecture	B	195 di 351
			Data 02/2024	

La vigente normativa prevede di calcolare le resistenze caratteristiche $R_{c,k}$ e $R_{b,k}$ sopra menzionate a partire dalle resistenze di calcolo ottenute considerando i parametri medi e minimi dei terreni, e opportunamente fattorizzate:

$$R_{c/b,k} = \min \left(R_{cal,media} / \xi_3 ; R_{cal,min} / \xi_4 \right)$$

Le resistenze di calcolo, in condizione drenate e non drenate, sono state valutate mediante le seguenti espressioni:

Condizioni non drenate: $R_{c,cal} = \sum (\alpha \cdot c_u \cdot p \cdot \Delta L)$

$$R_{b,cal} = 9 \cdot c_u \cdot A_p$$

Condizioni drenate: $R_{c,cal} = \sum (\alpha \cdot c + K \cdot p_0' \cdot \tan \delta) \cdot p \cdot \Delta L$

$$R_{b,cal} = A_p \cdot [(q + L \cdot \gamma') \cdot N_q + c \cdot N_c]$$

dove:

- α coefficiente riduttivo dipendente dalle modalità di costruzione
- c_u coesione non drenata
- c coesione drenata
- p perimetro palo
- A_p area della base del palo
- ΔL lunghezza tratto omogeneo
- p_0' pressione geostatica efficace a metà del tratto ΔL
- K coefficiente di spinta laterale sul palo
- γ' peso di volume efficace del terreno di fondazione
- N_q, N_c coefficienti di capacità portante
- L lunghezza del palo (limitata superiormente da un valore pari a 15 diametri)
- δ angolo d'attrito fra terreno e palo
- q sovraccarico

Come si evince dalle formule sopra riportate, e in accordo con le prove sperimentali di Skempton, la capacità portante di punta $R_{b,cal}$ in condizioni non drenate è stata calcolata trascurando il contributo del sovraccarico qN_q .

Da letteratura, sono stati assunti i seguenti valori:

$$\alpha = 0.5$$

$$K = 1 - \sin \phi \text{ (e comunque } K \leq 0.5)$$

$$\delta = 0.7\phi$$

L'aderenza laterale è stata limitata a 100 KPa.

La capacità portante di base in condizione drenate è stata limitata superiormente al relativo valore calcolato ad una profondità L pari a 15 volte il diametro del palo.

I coefficienti ξ , viceversa, assumono i valori riportati nella seguente tabella in funzione del numero di verticali indagate:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	B	196 di 351
				Data 02/2024	

numero verticali indagate	1	2	3	4	5	7	≥10
ξ_3	1.7	1.65	1.6	1.55	1.5	1.45	1.4
ξ_4	1.7	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Fattori di correlazione ξ per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

I fattori di correlazione ξ saranno ottenuti considerando il numero complessivo di verticali indagate nell'ambito della medesima opera.

La capacità portante di progetto del singolo palo è stata valutata fattorizzando la capacità portante laterale $R_{c,k}$ e la capacità portante di base $R_{b,k}$, come prescritto dalla vigente normativa.

I valori dei coefficienti R3 utilizzati per il calcolo dei valori di progetto della capacità portante verticale, utilizzati per la realizzazione delle curve di capacità portante, sono quelli riportati nella seguente tabella per pali di tipo trivellato.

Tipologia di palo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
Resistenza	R3	R3	R3
Base γ_b	1.15	1.35	1.3
Laterale in compressione γ_s	1.15	1.15	1.15
Laterale in trazione γ_{st}	1.25	1.25	1.25

Coefficienti parziali γ_R da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

$$R_{c,d} = R_{c,k} / \gamma_s \quad \text{Capacità portante di progetto per attrito laterale in compressione}$$

$$R_{t,d} = R_{c,k} / \gamma_{st} \quad \text{Capacità portante di progetto per attrito laterale in trazione}$$

$$R_{b,d} = R_{b,k} / \gamma_b \quad \text{Capacità portante di progetto di punta}$$

$$N_{Rd,c} = R_{c,d} + R_{b,d} - W \cdot \gamma_G \quad \text{Resistenza di progetto in compressione}$$

$$N_{Rd,t} = R_{t,d} + W \cdot \gamma_G \quad \text{Resistenza di progetto in trazione}$$

Dove W rappresenta il peso del palo.

Per il calcolo della capacità portante a compressione, il coefficiente parziale amplificativo del peso del palo (γ_G) è stato assunto pari ad 1.3 nella combinazione STR/GEO e pari ad 1 nella combinazione SLV.

Per il calcolo della capacità portante a trazione $N_{Rd,t}$ il coefficiente γ_G è stato assunto unitario in tutte le combinazioni.

Le curve di capacità portante verticale in funzione della lunghezza del palo sono state ottenute per ciascuna delle opere in progetto attraverso un foglio Excel (in cui sono state implementate tutte le formulazioni sopra riportate) e sono riportate negli allegati delle specifiche relazioni di calcolo.

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ETIEM ENERGIA VERDE AMBIENTE s.r.l.	sinèrgo	VA D_VisionArchitecture
			B	197 di 351
			Data 02/2024	

18.6.2 Verifica di capacità portante verticale dei pali di fondazione

La verifica di capacità portante verticale dei pali risulta soddisfatta quando valgono le seguenti disequazioni:

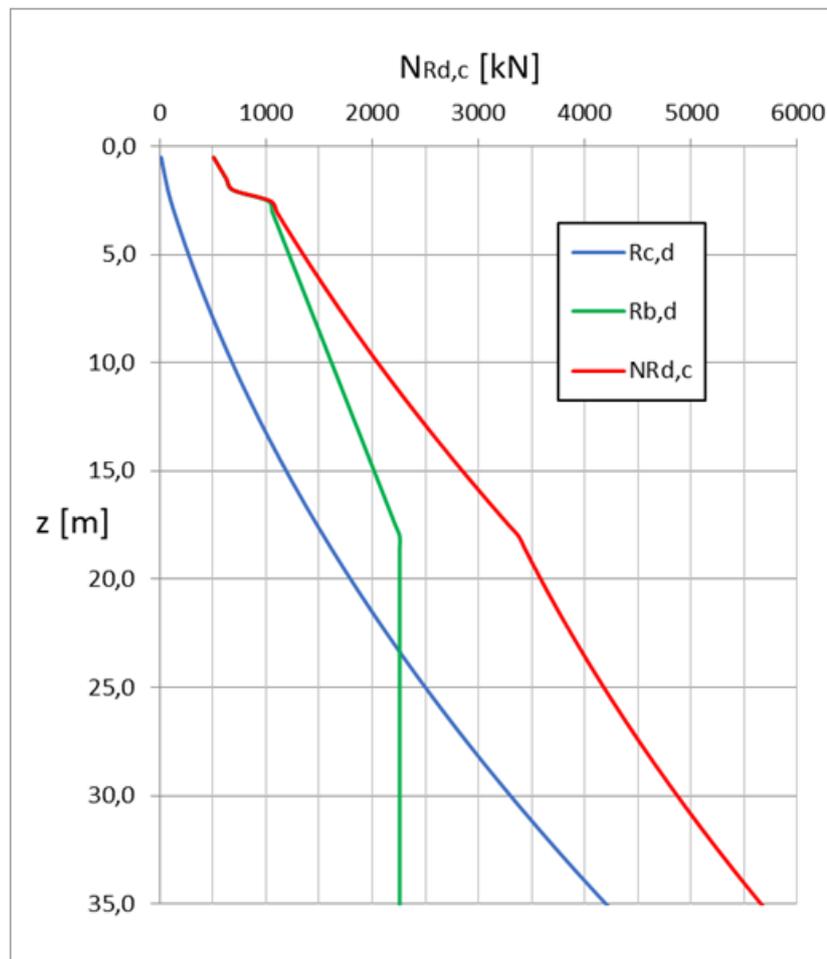
- in caso di palo soggetto ad azione di compressione

$$N_{Rd,c} \geq |N_{Ed}|$$

- in caso di palo soggetto ad azione di trazione

$$N_{Rd,t} \geq |N_{Ed}|$$

dove $N_{Rd,c}$ e $N_{Rd,t}$ sono rispettivamente le resistenze di progetto a compressione e a trazione del palo definite al paragrafo 18.6.1 mentre N_{Ed} è l'azione assiale sollecitante in testa al palo. Si specifica che la verifica di capacità portante è stata fatta considerando le resistenze di progetto calcolate in tutte le condizioni drenate/non drenate, SLU/SLV e parametri minimi/medi. Nella figura seguente si riporta a titolo d'esempio una curva di capacità portante verticale per pali compressi la quale fornisce il valore di $N_{Rd,c}$ al variare dell'altezza H del palo.



Esempio di curva di capacità portante verticale (contributo laterale in blu e contributo di base in verde)

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D VisionArchitecture	B	198 di 351
			Data 02/2024	

18.6.3 Capacità portante orizzontale

Nel seguito si riporta una sintetica descrizione della teoria delle curve p - y , nonché la metodologia utilizzata per la definizione di tali curve necessarie al fine di poter studiare il comportamento a taglio-flessione del palo tenendo conto dell'interazione fra questo e il terreno.

Nelle relazioni di calcolo di ciascuna opera sono riportati i diagrammi necessari per la definizione delle curve p - y ottenute considerando:

- le condizioni drenate per materiali non coesivi;
- le condizioni drenate e non drenate per i materiali coesivi;
- I parametri che caratterizzano i materiali sia minimi che medi.

Si sottolinea che per lo studio del comportamento dei pali soggetti a carichi orizzontali è stata considerata la condizione più restrittiva fra quella ottenute (ovvero parametri minimi, medi, condizioni drenate e non drenate).

Successivamente è riportato il procedimento utilizzato per eseguire la verifica di capacità portante trasversale dei pali di fondazione.

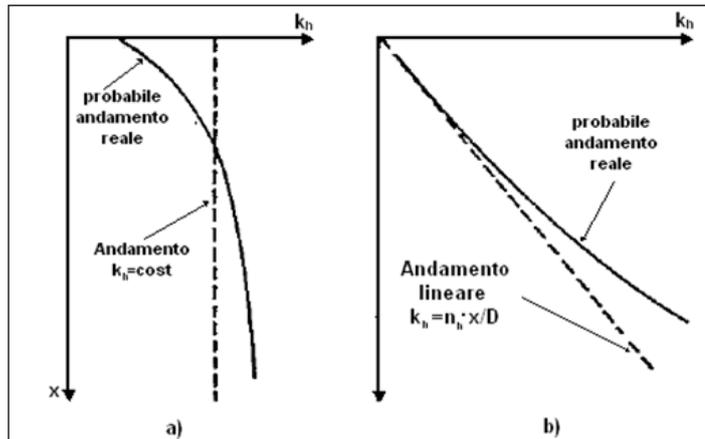
18.6.3.1.1 Teoria delle curve p - y

Nel caso di palo caricato in testa da una forza di taglio e da un momento flettente, per lo studio dell'interazione fra palo e terreno è possibile utilizzare un modello alla Winkler secondo il quale il terreno è assimilato ad un letto di molle orizzontali.

Il metodo richiede la definizione della legge *carico – spostamento* delle molle (curve p - y); la quale generalmente può variare con la profondità. Il modo più semplice per definire tale legge consiste nell'utilizzare un modello elastico lineare. In questo caso definiti k_h (kN/m^3) il coefficiente di reazione orizzontale del terreno, y lo spostamento orizzontale di un punto del palo ad una generica profondità x dalla testa del palo e p la pressione orizzontale alla stessa profondità, si ha:

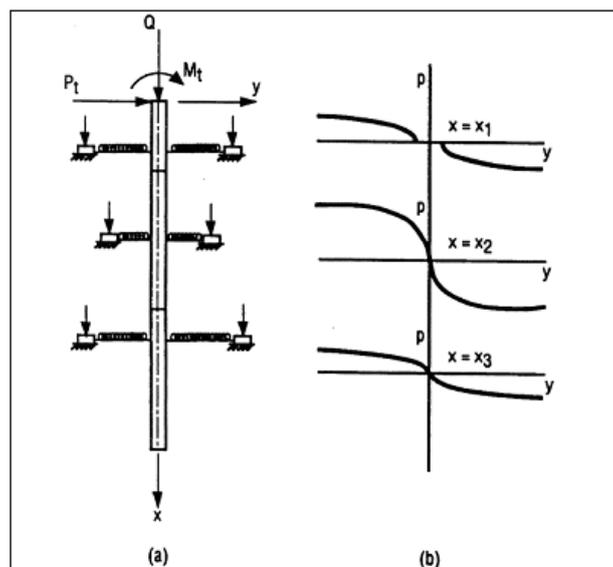
$$k_h \cdot y = p$$

Si possono assumere diversi andamenti di k_h con la profondità:



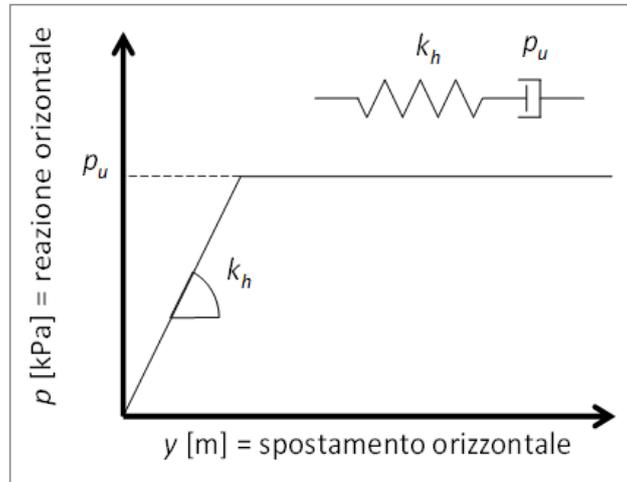
Andamenti del coefficiente di reazione orizzontale del terreno k_h (kN/m^3)
 a) argille sovraconsolidate, b) argille normalmente consolidate (Rossi & Salvi, 1996)

Il modello elastico lineare anche se concettualmente semplice non tiene conto del reale comportamento del terreno. È ragionevole, infatti, pensare che il comportamento del terreno non sia perfettamente lineare con la profondità (cfr. figura precedente) e che, di conseguenza, la pressione orizzontale p non vari linearmente con la profondità. Inoltre, la pressione nel terreno deve essere limitata ad un valore massimo definito in funzione della profondità: $p = p_u$. Il comportamento del terreno attorno al palo viene quindi modellato tramite una serie di molle non lineari e quindi da leggi p - y non lineari (nella figura seguente sono riportate alcune possibili curve p - y). La definizione delle curve p - y a diverse profondità sta quindi alla base della soluzione del problema di un palo caricato lateralmente e da questa dipendono le sollecitazioni che si sviluppano nel palo.



Modellazione di un palo caricato lateralmente usando le curve p - y

Nella figura successiva è riportato un esempio di curva p - y ottenuta considerando un legame costitutivo elastico-perfettamente plastico.



Esempio di curva p - y con legame costitutivo elastico-perfettamente plastico

18.6.3.1.2 Definizione delle curve p - y

Terreni non coesivi

Per la determinazione delle curve p - y in presenza di terreni non coesivi è possibile seguire le procedure sotto riportate.

Procedura A

- si calcola l'andamento di k_h (espresso in kN/m^3) con la profondità, ad esempio calcolandone il valore a ogni metro di profondità del palo, secondo la seguente formula:

$$k_h = n_h \cdot \frac{x}{D}$$

Dove n_h assume indicativamente i valori riportati nella tabella seguente.

Sabbie	Densità relativa		
	Sciolta	Media	Densa
Asciutte o umide	2200	6700	18000
Immerse	1300	4500	11000

Valori del coefficiente n_h [kN/m^3] (Ricceri, 1975)

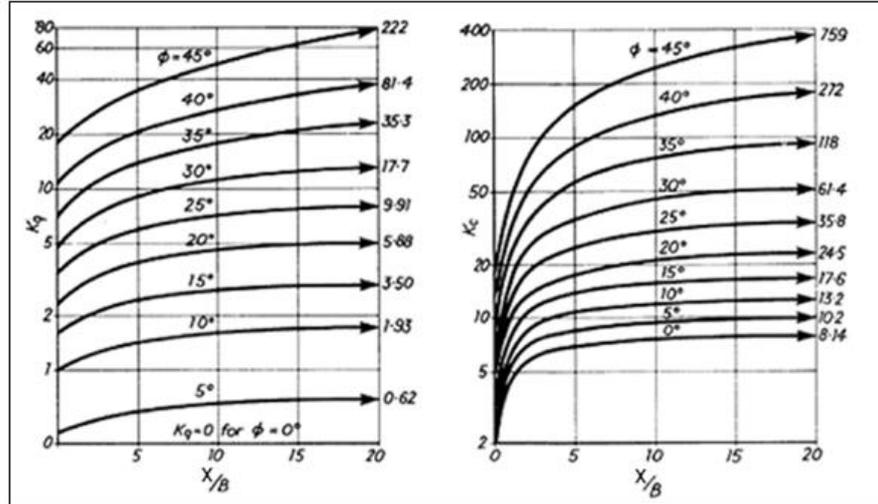
- Si valuta la pressione limite p_u (espressa in kPa) che il terreno è in grado di sopportare all'aumentare della profondità. Tale resistenza limite ad una profondità x dalla testa del palo è data dalla seguente espressione:

$$p_u = (q \cdot K_q + c \cdot K_c)$$

Dove:

- $q = \gamma \cdot x + q_{\text{superficie}}$ pressione litostatica che tiene conto anche dell'eventuale presenza di un sovraccarico;

- c coesione efficace;
- K_c, K_q coefficienti diagrammati nella figura seguente.



Coefficients del metodo di Brinch/Hansen (Tomlinson, 2004)

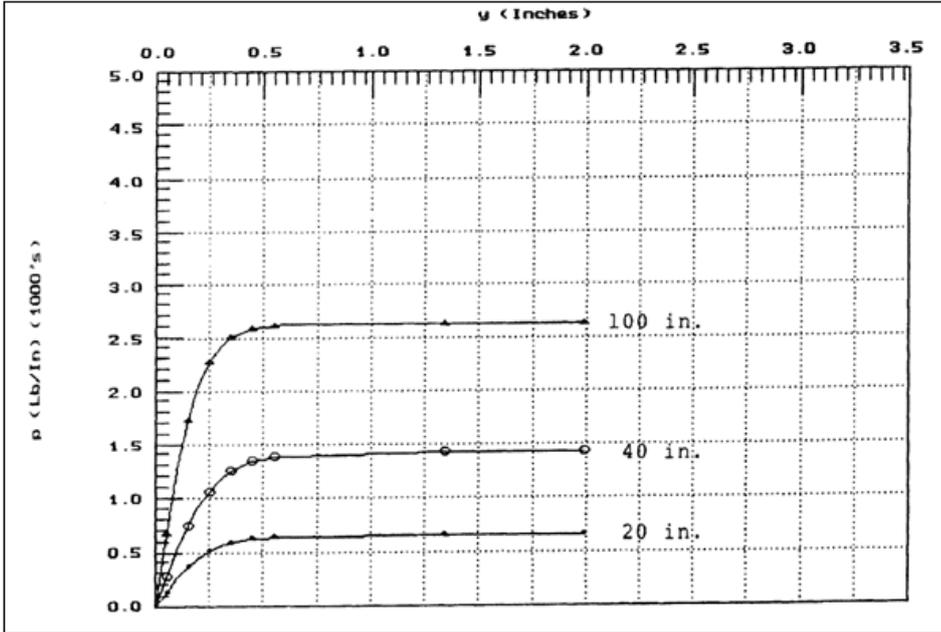
- Si valuta lo spostamento limite y_u per ogni profondità come rapporto tra k_h e p_u .
- Si costruisce ad ogni profondità la curva p - y secondo il seguente schema:

$$p_u = \begin{cases} k_h \cdot y & \text{per } y < y_u \\ p_u(x) & \text{per } y \geq y_u \end{cases}$$

Procedura B

Un altro metodo per il calcolo delle curve p - y è quello raccomandato dall'Istituto Americano del Petrolio (API) la cui validità è stata confermata mediante l'esecuzione di prove in sito.

Nella figura successiva sono riportate a titolo esemplificativo delle curve p - y ottenute con il metodo API.



Curve p-y ottenute con il metodo API

Tali curve, riferite ad una fissata profondità, possono essere ottenute mediante le formule di seguito riportate.

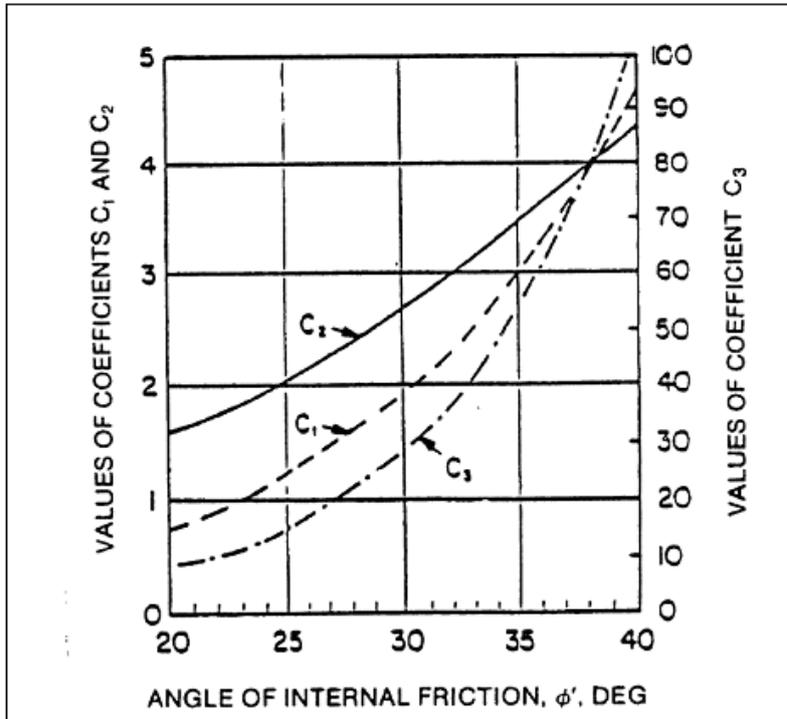
La resistenza limite del terreno per unità di lunghezza e per unità di diametro del palo p_u [kN/m^2] viene calcolata come il minimo dei due valori p_{us} e p_{ud} :

$$p_{us} = (C_1 \cdot x + C_2) \cdot \gamma' \cdot x$$

$$p_{ud} = C_3 \cdot \gamma' \cdot x$$

Dove x è la profondità da piano campagna.

I valori di C_i possono essere ricavati dalla successiva figura in funzione dell'angolo d'attrito del terreno.



Coefficienti da utilizzare per il calcolo di p_u con il metodo API

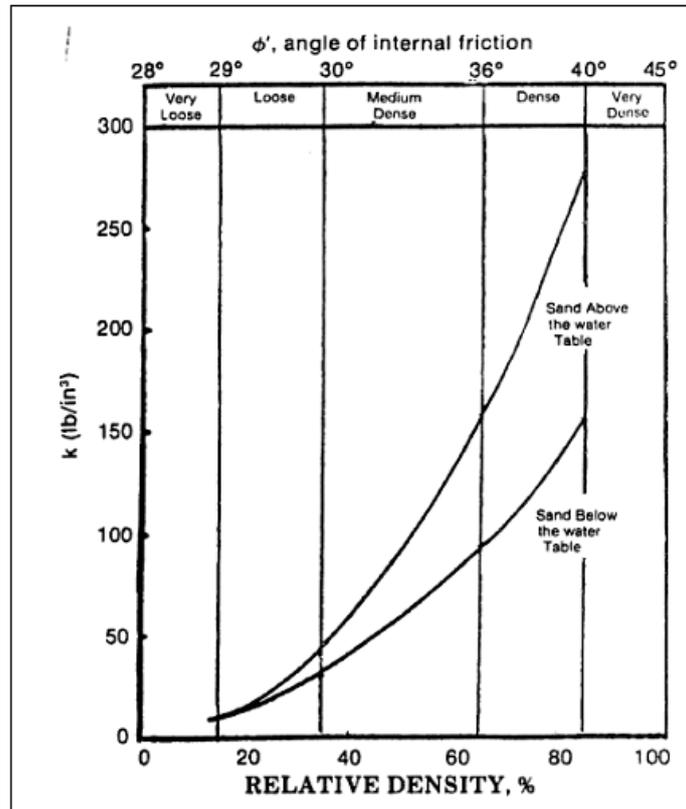
La curva p-y si ottiene mediante la seguente espressione:

$$p = A \cdot p_u \cdot \tanh\left(\frac{k_h \cdot x}{A \cdot p_u} y\right)$$

Dove il coefficiente A assume i seguenti valori a seconda che si consideri un carico di tipo ciclico o statico.

$$A = \begin{cases} 0.9 & \text{per carico ciclico} \\ \left(3.0 - 0.8 \frac{x}{D}\right) \geq 0.9 & \text{per carico statico} \end{cases}$$

Il valore di k_h può essere ottenuto dalla figura seguente.



Coefficiente di reazione orizzontale k_h secondo API

Terreni coesivi

Per la determinazione delle curve $p-y$ in presenza di terreni coesivi è possibile seguire le procedure sotto riportate.

Procedura A

- Si sceglie un valore di k_h (espresso in kN/m^3) da considerarsi costante con la profondità. I valori di k_h che si possono trovare in letteratura sono caratterizzati da un'elevata variabilità e perciò sarà compito del progettista scegliere di volta in volta il valore più adatto al caso in esame.
- La rigidità delle molle k_h si può ottenere a partire dal valore della coesione non drenata c_u (Poulos & Davis, 2002) utilizzando la correlazione proposta da Broms e di seguito riportata:

$$k_h = 1.67 \cdot \frac{E_{50}}{D}$$

Usando un valore di E_{50} compreso tra 50 e 200 volte c_u , come suggerito da Skempton, si ottiene:

$$k_h = (80 \div 320) \frac{c_u}{D}$$

In particolare, per il calcolo del valore di k_h è stata cautelativamente utilizzata la seguente formula:

$$k_h = 100 \frac{c_u}{D}$$

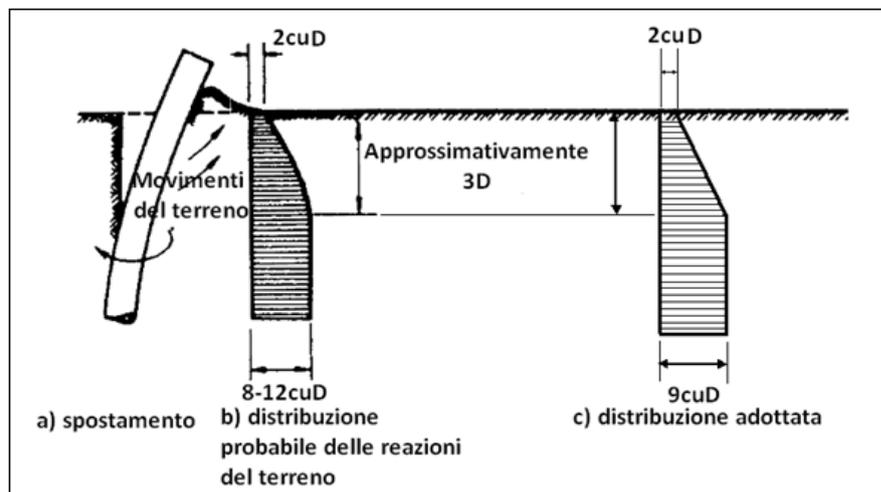
- Si valuta la pressione limite p_u (espressa in kPa) che il terreno è in grado di sopportare all'aumentare della profondità. Tale resistenza limite ad una determinata profondità x dalla testa del palo è fornita dalla seguente espressione:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastruttura Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLE D'AOSTA sinèrgo	B	205 di 351
			Data 02/2024	

$$p_u = \begin{cases} \left(\frac{7 \cdot c_u}{3 \cdot D} x + 2 \cdot c_u \right) & \text{per } x \leq 3 \cdot D \\ 9 \cdot c_u & \text{per } x > 3 \cdot D \end{cases}$$

Infatti, per quanto riguarda la pressione limite tutti gli autori concordano sul fatto che il valore massimo a cui si può arrivare è $9c_u$; inoltre (Poulos & Davis, 2002) riportano l'andamento della p_u con la profondità (cfr. figura sottostante, tipologia "b").

Si è quindi scelto di assumere uno schema simile alla distribuzione reale così come riportata da (Poulos & Davis, 2002) e, in particolare, di adottare un andamento della p_u lineare fino a $3D$ e successivamente costante con la profondità (cfr. figura sottostante, tipologia "c").



Distribuzione della resistenza laterale lungo il palo da (Poulos & Davis, 2002 [1])

- Si valuta lo spostamento limite y_u per ogni profondità come rapporto tra k_h e p_u ;
- Si costruisce ad ogni profondità la curva p - y secondo il seguente schema:

$$p_u = \begin{cases} k_h \cdot y & \text{per } y < y_u \\ p_u(x) & \text{per } y \geq y_u \end{cases}$$

Procedura B

Le curve p - y per terreni coesivi normalconsolidati possono essere ottenute mediante le correlazioni empiriche da letteratura fornite da Matlock (1970), le quali si basano sui risultati di prove in sito eseguite su pali caricati lateralmente in argille tenere.

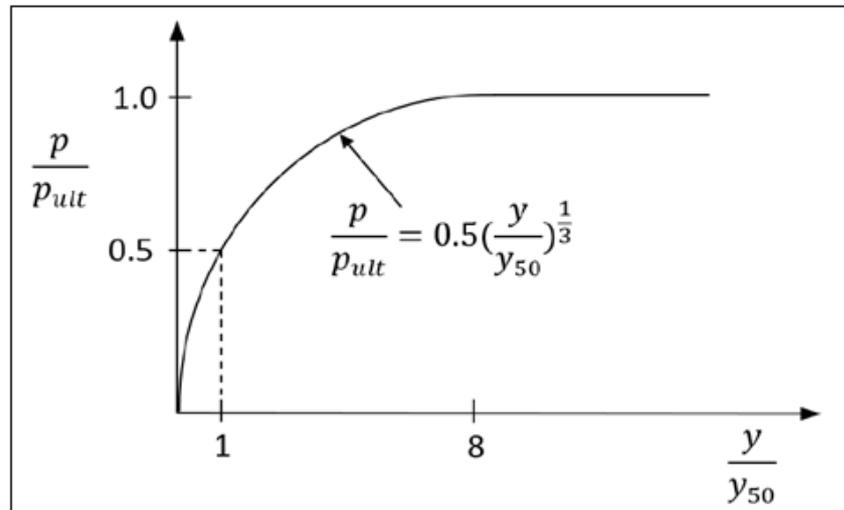
In particolare, il metodo di Matlock (1970) prevede il calcolo di curve p - y a diverse profondità mediante la schematizzazione di seguito descritta:

- quando lo spostamento trasversale del palo ad una fissata quota raggiunge un valore pari a $8 \cdot y_{50}$ la pressione nel terreno raggiunge il valore limite costante p_u ;
- il tratto iniziale della curva p - y è definito dalla seguente espressione:

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI ENERGIA VALLEA AMBIENTE	sinèrgo	B 206 di 351
			Data 02/2024	

$$\frac{p}{p_{ult}} = 0.5 \left(\frac{y}{y_{50}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Dove y_{50} è lo spostamento trasversale del palo ad una fissata quota corrispondente ad una pressione pari a $0.5 \cdot p_u$ come mostrato nella figura seguente.



Curva p - y per terreni coesivi normalconsolidati – Matlock, 1970

Per il calcolo di y_{50} si può utilizzare la seguente formula nella quale ϵ_{50} rappresenta la deformazione principale massima del terreno corrispondente ad uno spostamento trasversale del palo pari a y_{50} e può essere ricavato dalla seguente tabella.

$$y_{50} = 2.50 \cdot \epsilon_{50} \cdot D$$

Consistenza	C_u media [kPa]	ϵ_{50} [-]
Tenera	<48	0.020
Media	48-96	0.010
Compatta	96-192	0.005

Valori di ϵ_{50} per argille normalconsolidate (Peck et al. 1974)

La resistenza limite del terreno per unità di lunghezza e per unità di diametro p_u [kN/m²] viene calcolata come il valore minimo fornito dalle due seguenti espressioni:

$$p_u = \left[3 + \frac{\gamma'}{c_u} x + \frac{J}{D} x \right] c_u$$

$$p_u = 9 \cdot c_u$$

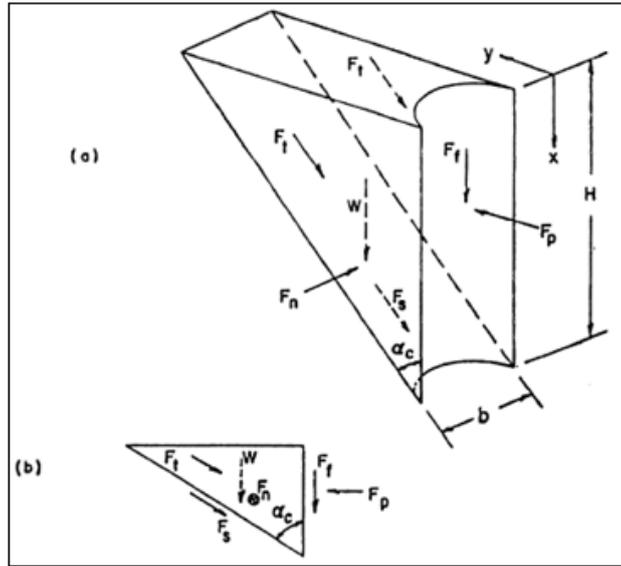
CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l. MANDANTI  ENERGIA VALLE D'ADIGE s.r.l.   D'VisionArchitecture	REV.	FOGLIO
		B	207 di 351
		Data 02/2024	

Il valore del parametro J è stato determinato da Matlock sperimentalmente e, per argille normalconsolidate può essere assunto pari a $J=0.5$.

Il valore del peso proprio γ' da utilizzare deve tenere conto dell'effettiva posizione della falda.

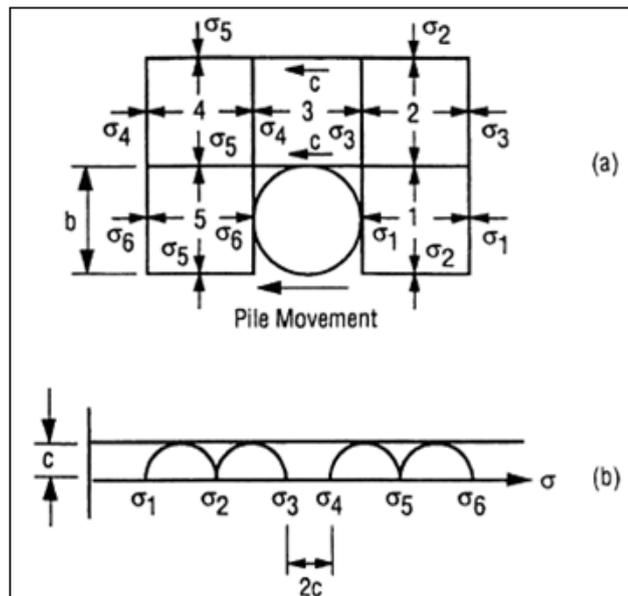
Si precisa che le due espressioni per il calcolo di p_u sopra riportate sono state ricavate considerando lo sviluppo di due possibili meccanismi di rottura differenti.

La prima espressione, infatti, si riferisce allo svilupparsi, nella parte superficiale del terreno, di un meccanismo di rottura di tipo cuneo, così come mostrato in figura seguente.



Cuneo di rottura

La seconda espressione invece si riferisce allo svilupparsi di un meccanismo di rottura di flusso del terreno attorno al palo come quello mostrato nella successiva figura.



Rottura del terreno per flusso del terreno attorno al palo

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 208 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA D_VisionArchitecture	
					Data 02/2024

18.6.4 Verifica di capacità portante trasversale dei pali di fondazione

Affinché la verifica allo Stato Limite Ultimo di tipo geotecnico nei riguardi di carichi orizzontali sia soddisfatta deve risultare che la sommatoria delle pressioni esercitate dal terreno a contatto con il palo ($p_{sollecitante}$), sia inferiore alla resistenza trasversale di progetto H_{lim} .

$$H_{lim} \geq \sum p_{sollecitante}$$

Si evidenzia che le pressioni dovute alla reazione del terreno possono svilupparsi, in funzione del comportamento del palo alle azioni orizzontali, o lungo tutto il fusto del palo (comportamento di palo corto) o interessando principalmente una sola porzione dello stesso (comportamento di palo lungo). In quest'ultimo caso l'altezza \bar{H} da considerare per il calcolo sia delle azioni resistenti che delle azioni sollecitanti, risulta minore dell'altezza H totale del palo.

Il calcolo della resistenza trasversale di progetto H_{lim} può essere effettuato, tenendo conto delle curve $p-y$, così come definite al precedente paragrafo **18.6.3.1.2**, e considerando le indicazioni fornite dalle NTC 2018 di cui ai paragrafi **18.2** e **18.6** della presente relazione, mediante la procedura di seguito descritta.

Noto l'andamento delle curve $p-y$ e quindi anche della resistenza ultima del terreno p_u con la profondità, H_{lim} risulta uguale alla sommatoria delle p_u , per un'altezza \bar{H} minore o uguale all'altezza totale del palo H , divisa per i coefficienti ξ_i e γ_T forniti dalla normativa (riportati rispettivamente nelle tabelle di cui ai punti **18.6.1** e **18.4**).

$$H_{lim} = \frac{\sum p_u}{\xi_i \cdot \gamma_T}$$

L'altezza \bar{H} ($\leq H$) da considerare sia per il calcolo dell'azione sollecitante ($\sum p_{sollecitante}$) che per la definizione della resistenza di progetto H_{lim} può essere ricavata dall'osservazione dell'andamento delle pressioni che si sviluppano nel terreno a contatto con il palo.

Si specifica che la capacità portante del palo è stata valutata nella condizione più sfavorevole tra quella drenata e non drenata. Si rimanda alle specifiche relazioni di calcolo di ciascuna opera per il dimensionamento dei pali e per la visualizzazione delle relative curve di capacità portante orizzontale.

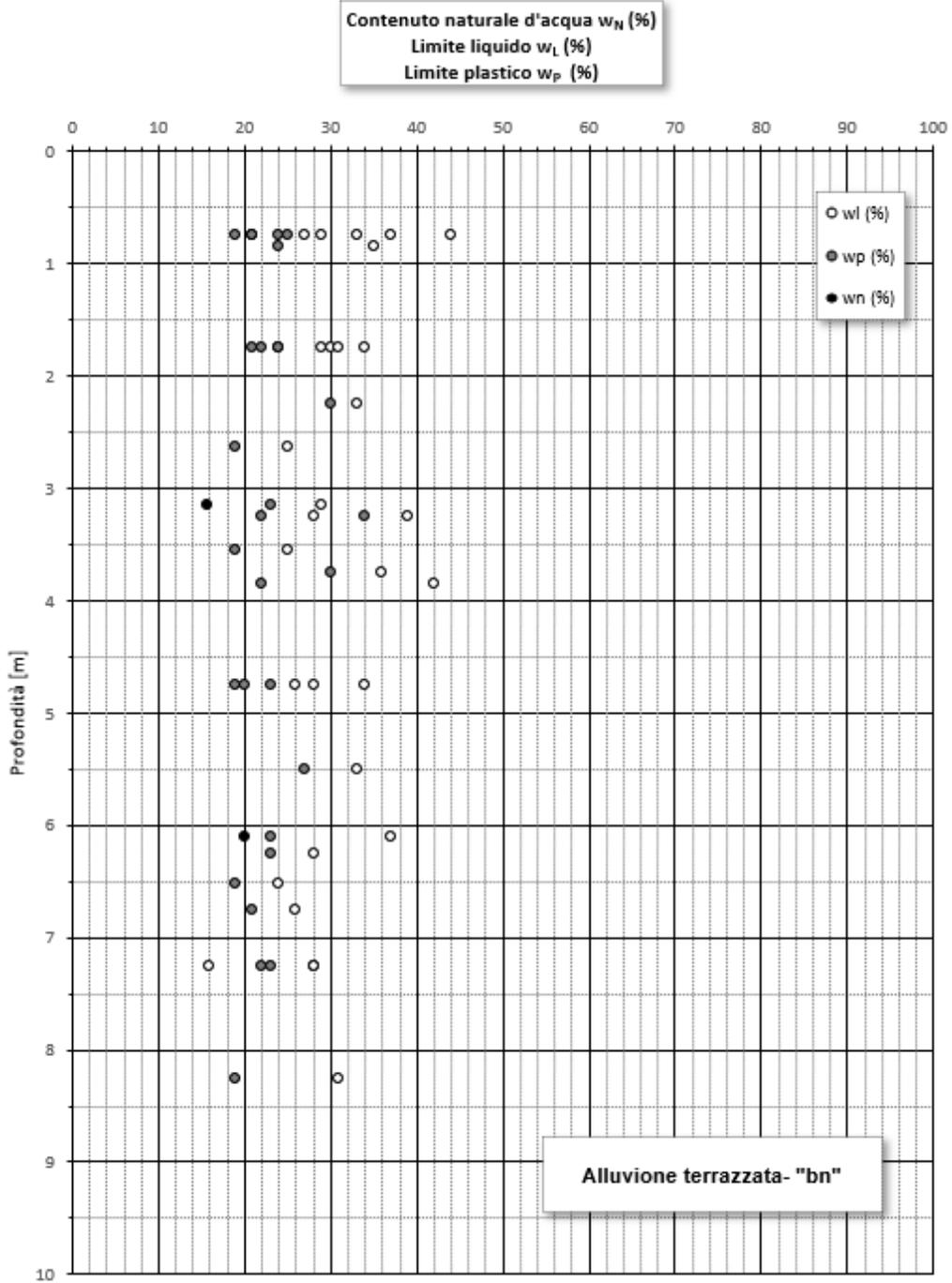
18.7 Verifiche agli Stati Limite in Esercizio

Per i pali di fondazione in condizioni SLE sono state considerate le verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio e le verifiche a fessurazione già precedentemente trattate ai rispettivi paragrafi **15.3.1** e **15.3.2** ai quali si rimanda.

<p>CODIFICA DOCUMENTO</p> <p>T 00-GE03-GET-RE 01</p>	<p>PROGETTAZIONE</p> <p>MANDATARIA  PRO ITER <small>Progetto Infrastruttura Territorio s.r.l.</small></p> <p>MANDANTI</p> <p> EIVIA s.r.l. <small>ENERGIA VALLE D'AOSTA AMBIENTE</small></p> <p> sinèrgo <small>ENERGIA</small></p> <p> D_VA <small>DVisionArchitecture</small></p>	<p>REV.</p> <p>B</p>	<p>FOGLIO</p> <p>209 di 351</p> <p>Data</p> <p>02/2024</p>
--	---	-----------------------------	--

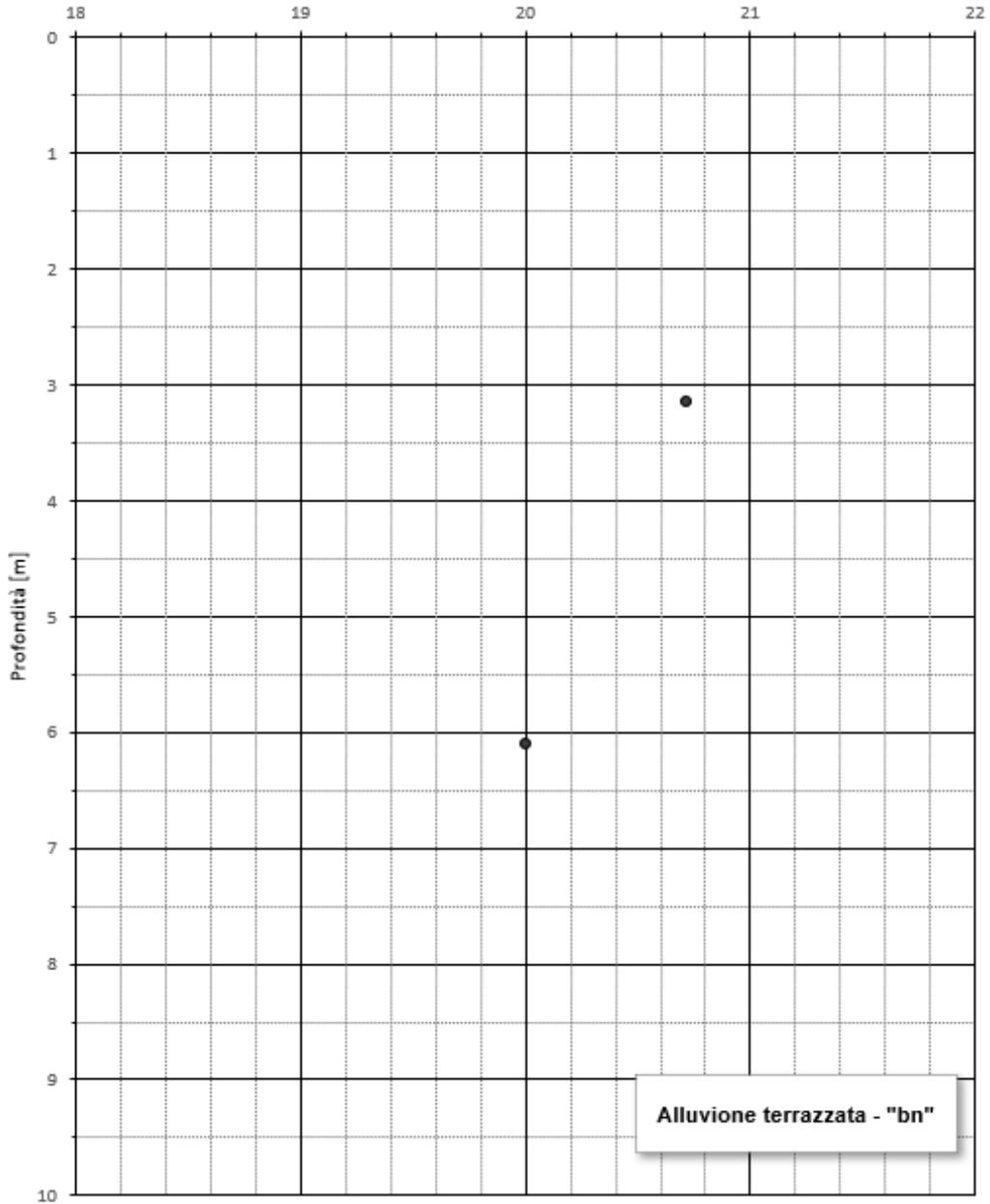
19 APPENDICE 1 – CARATTERISTICHE FISICHE E MECCANICHE DETERMINATE DALLE PROVE IN SITO E DALLE PROVE DI LABORATORIO

19.1 Unità "bn"

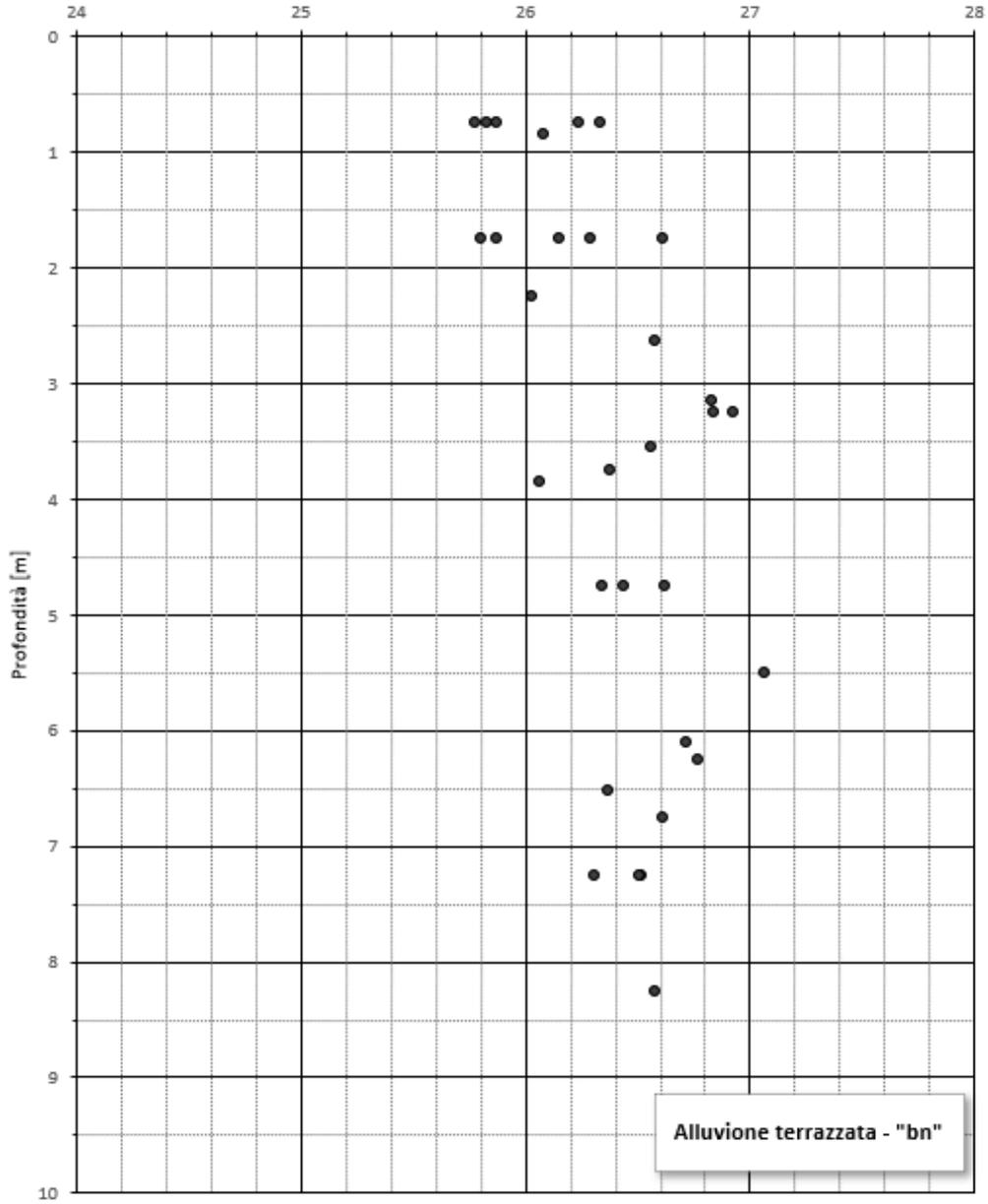




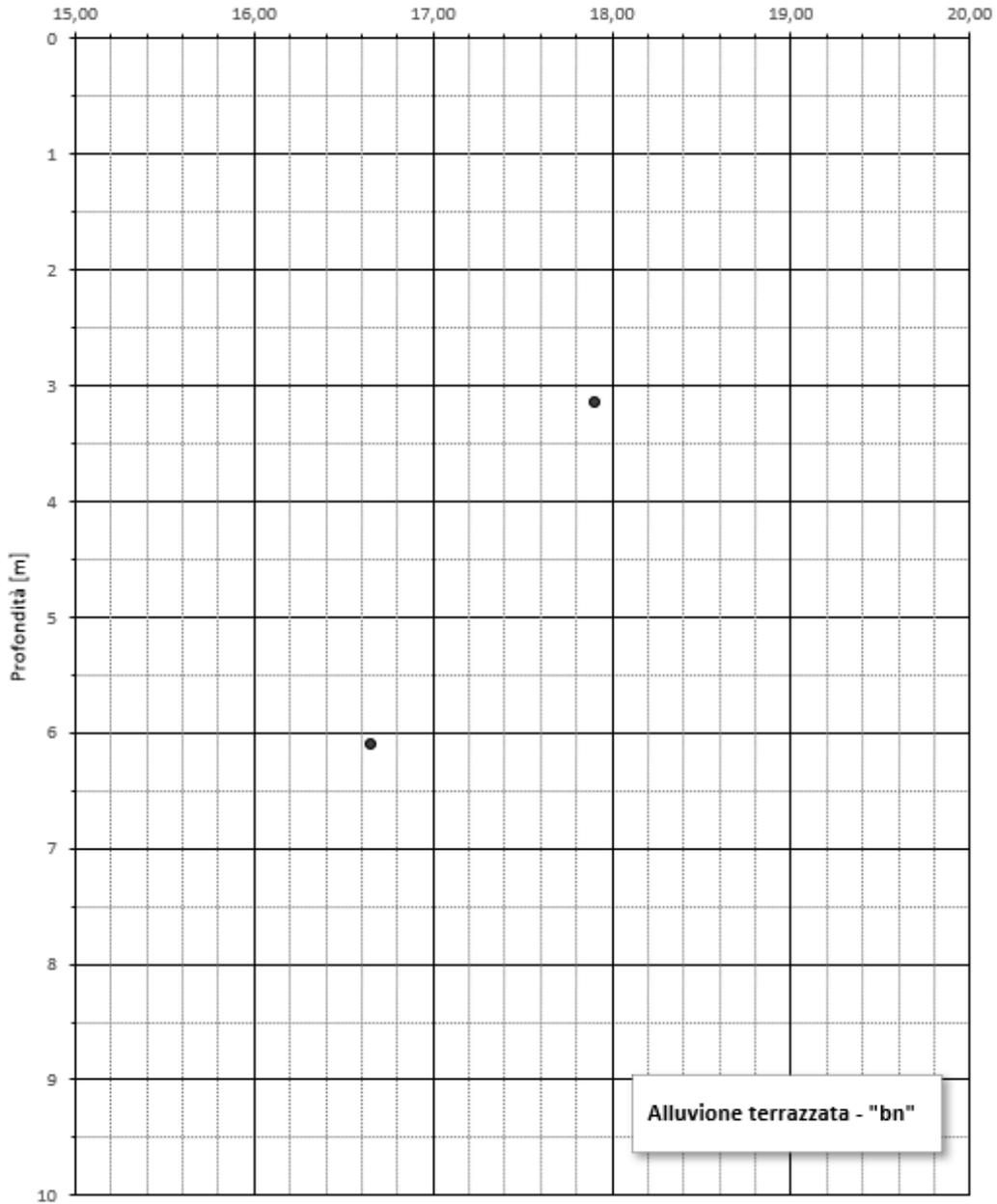
Peso di volume naturale γ_N (KN/m³)



Peso specifico dei granuli γ_s (KN/m³)

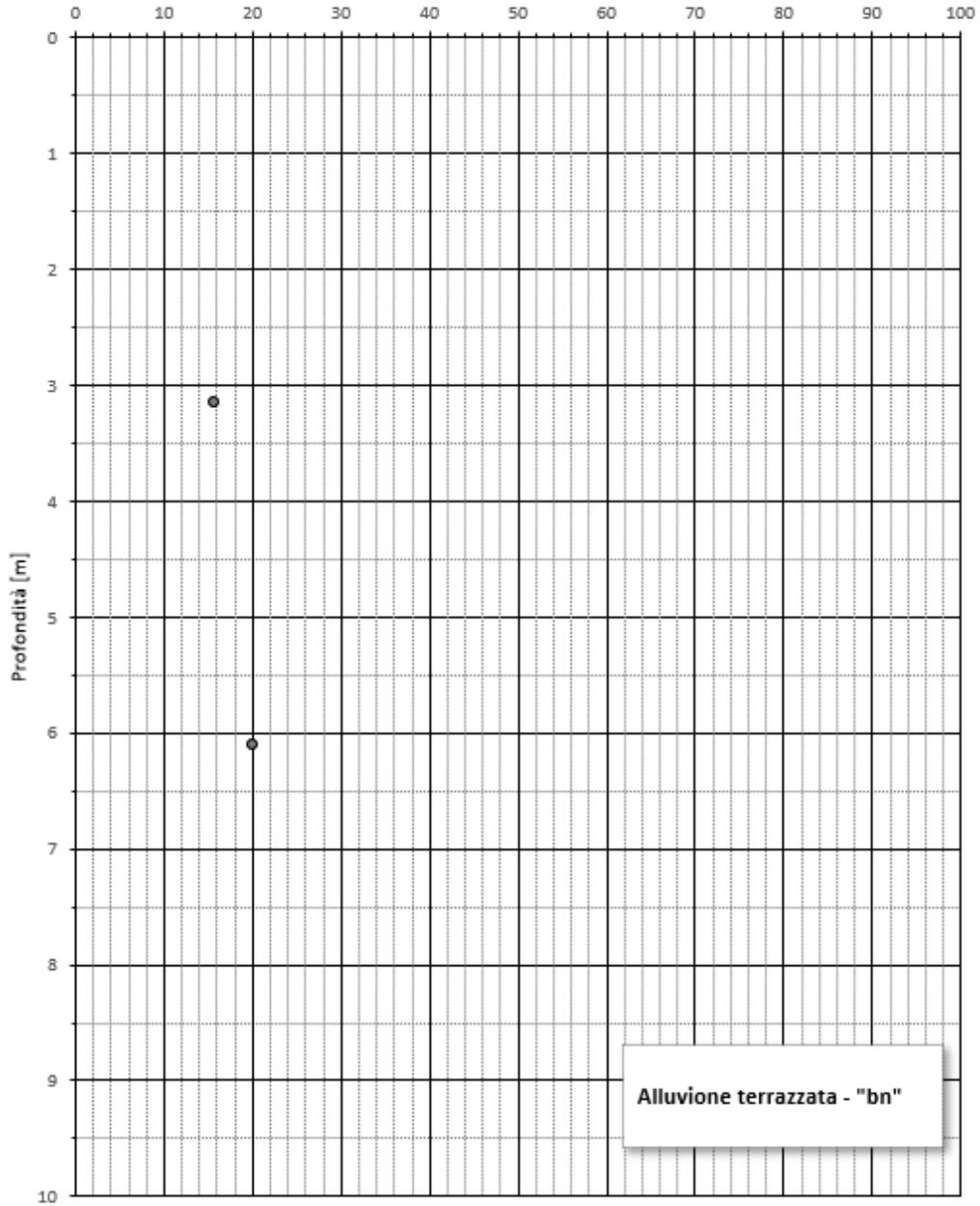


Peso di volume secco γ_d (KN/m³)

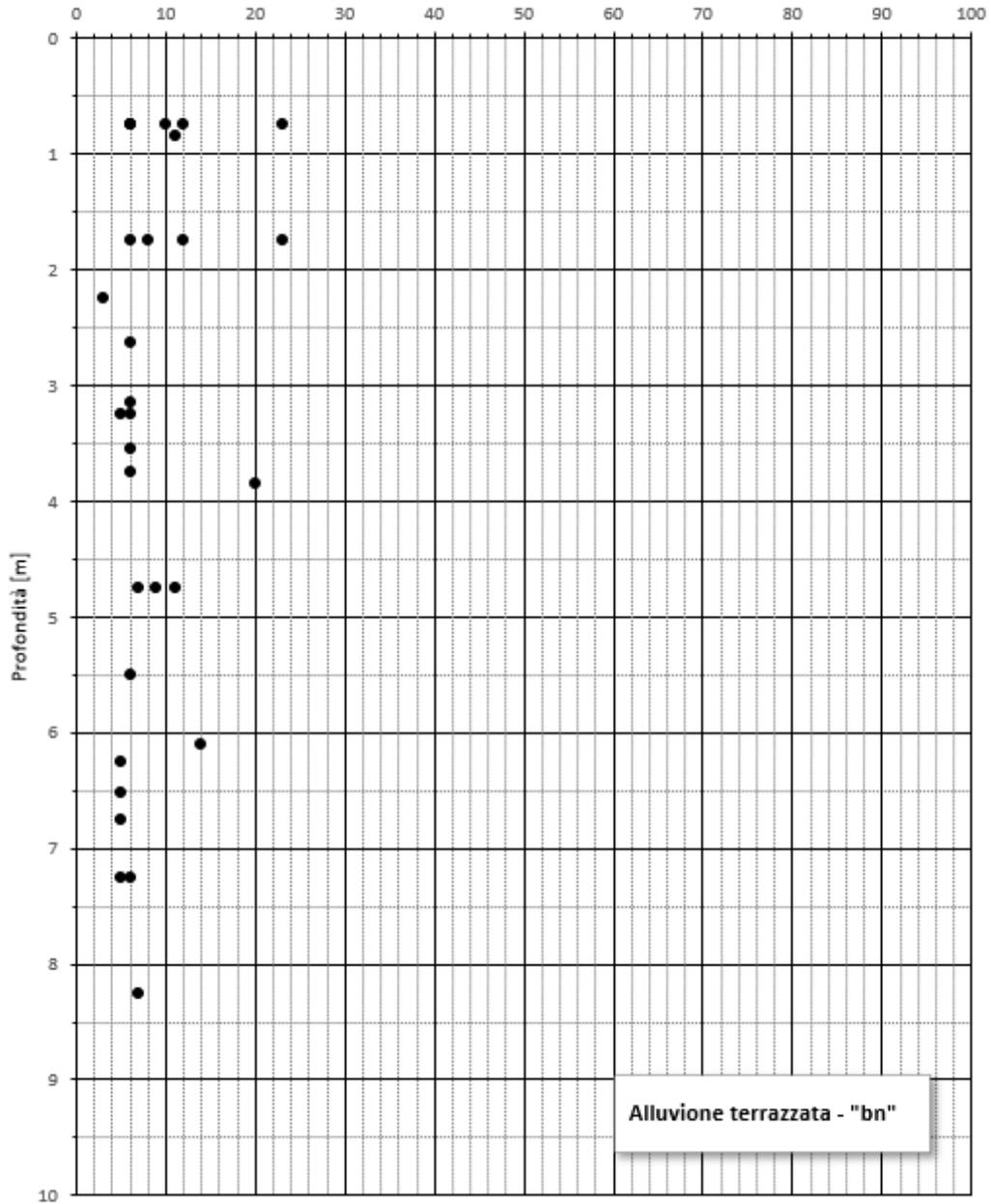




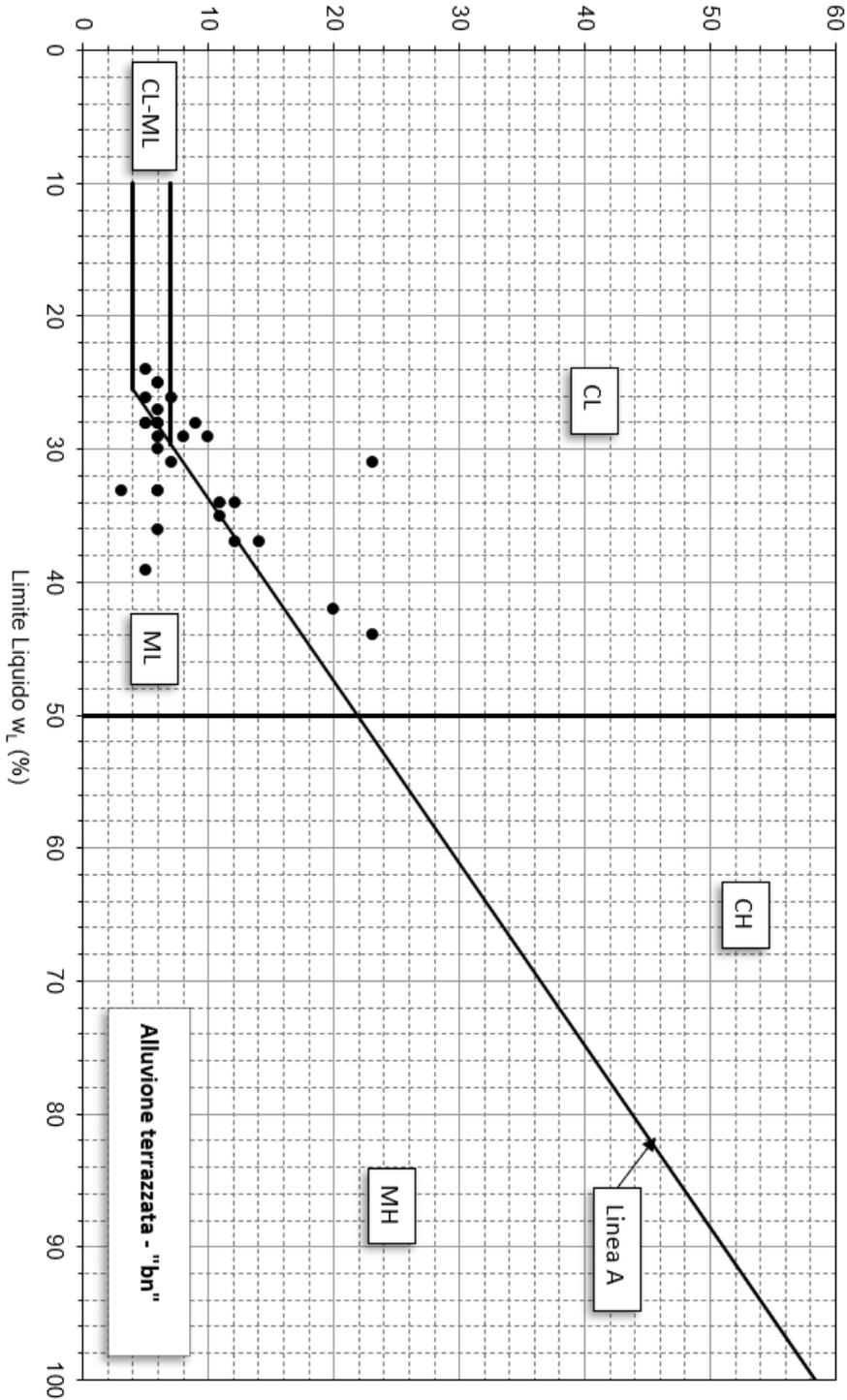
Contenuto naturale d'acqua w_N (%)



Indice di plasticità I_p (%)

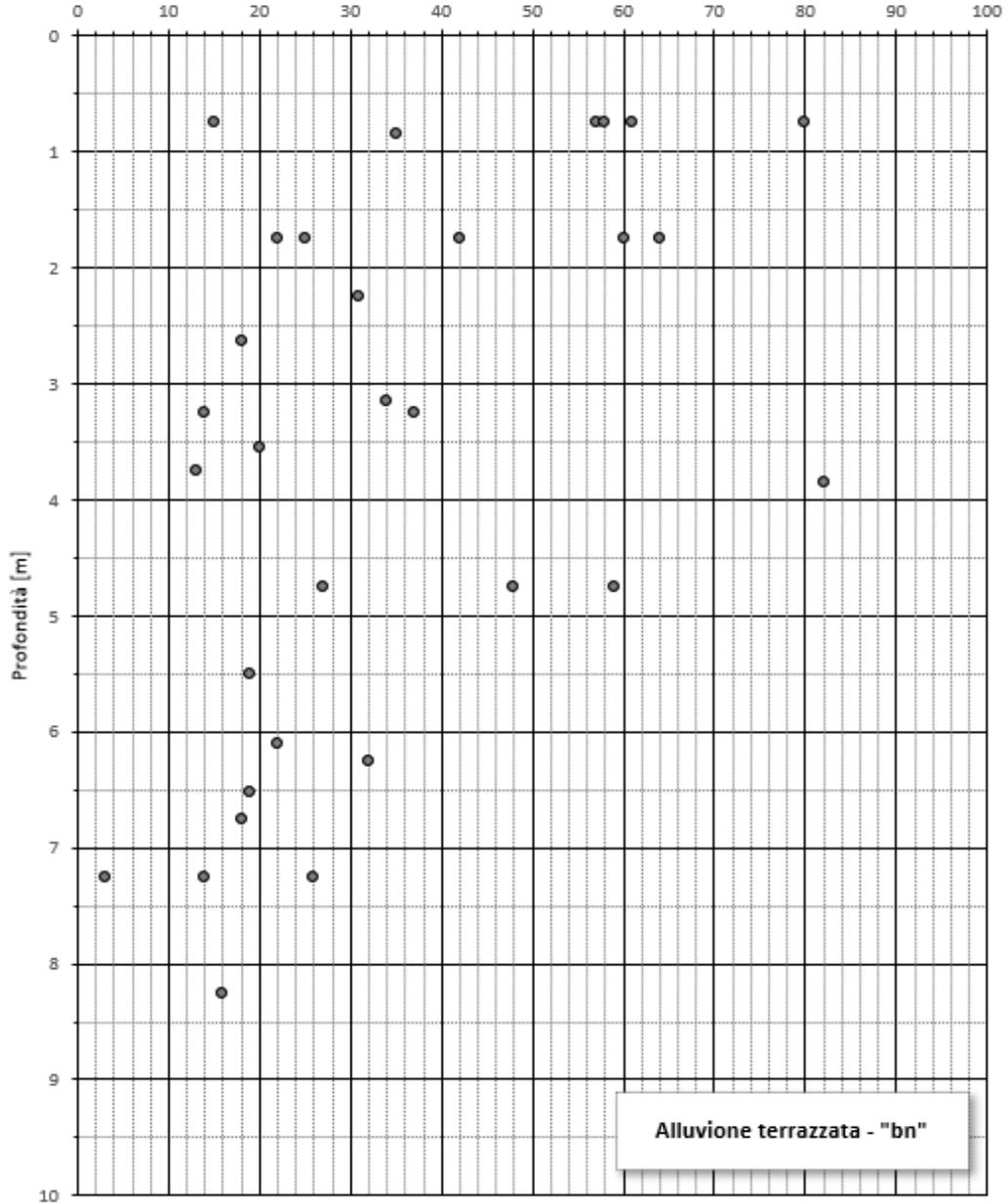


Indice di Plasticità Ip (%)



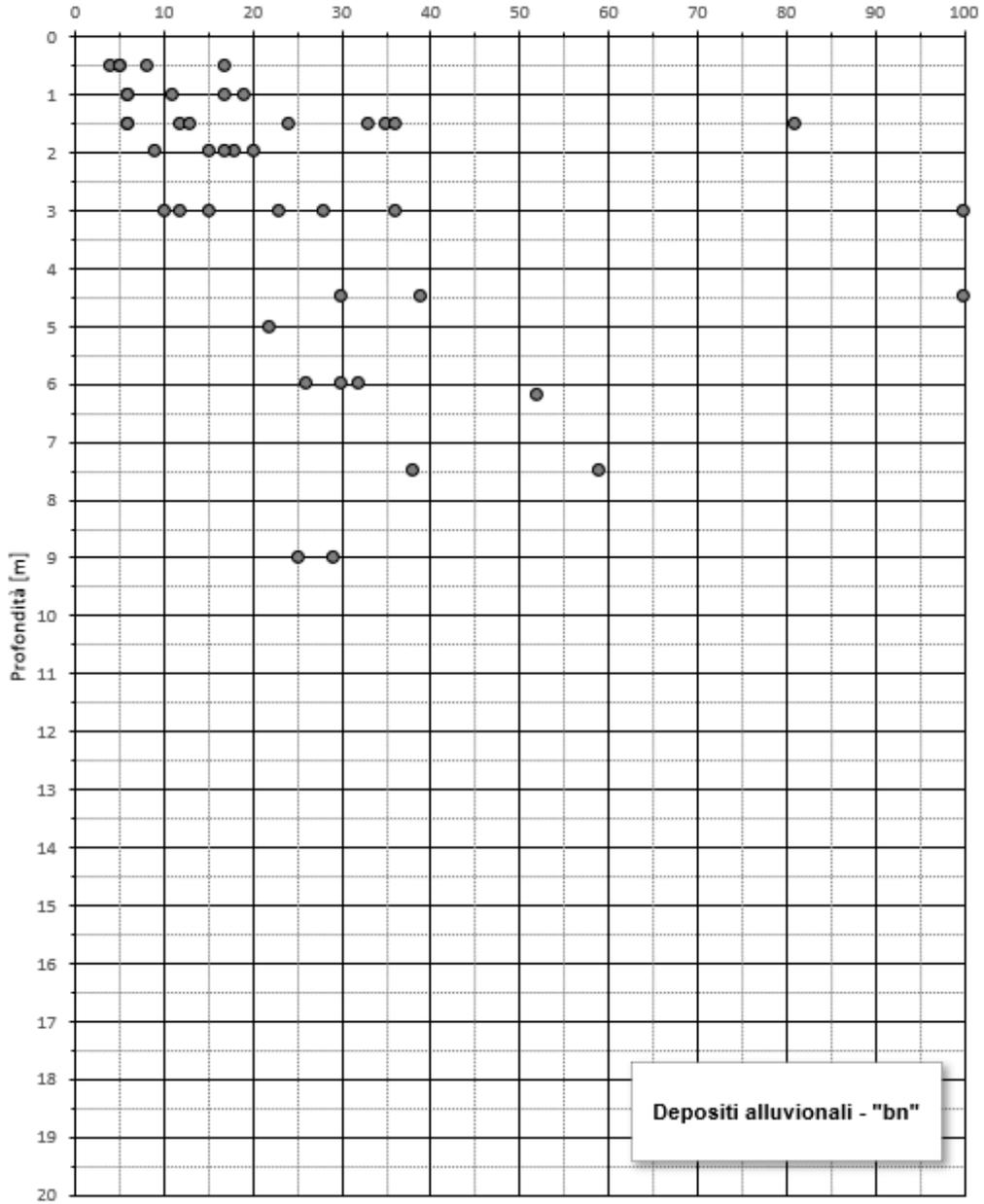
Carta di Plasticità

Frazione di materiale fine < 0.075 mm (%)



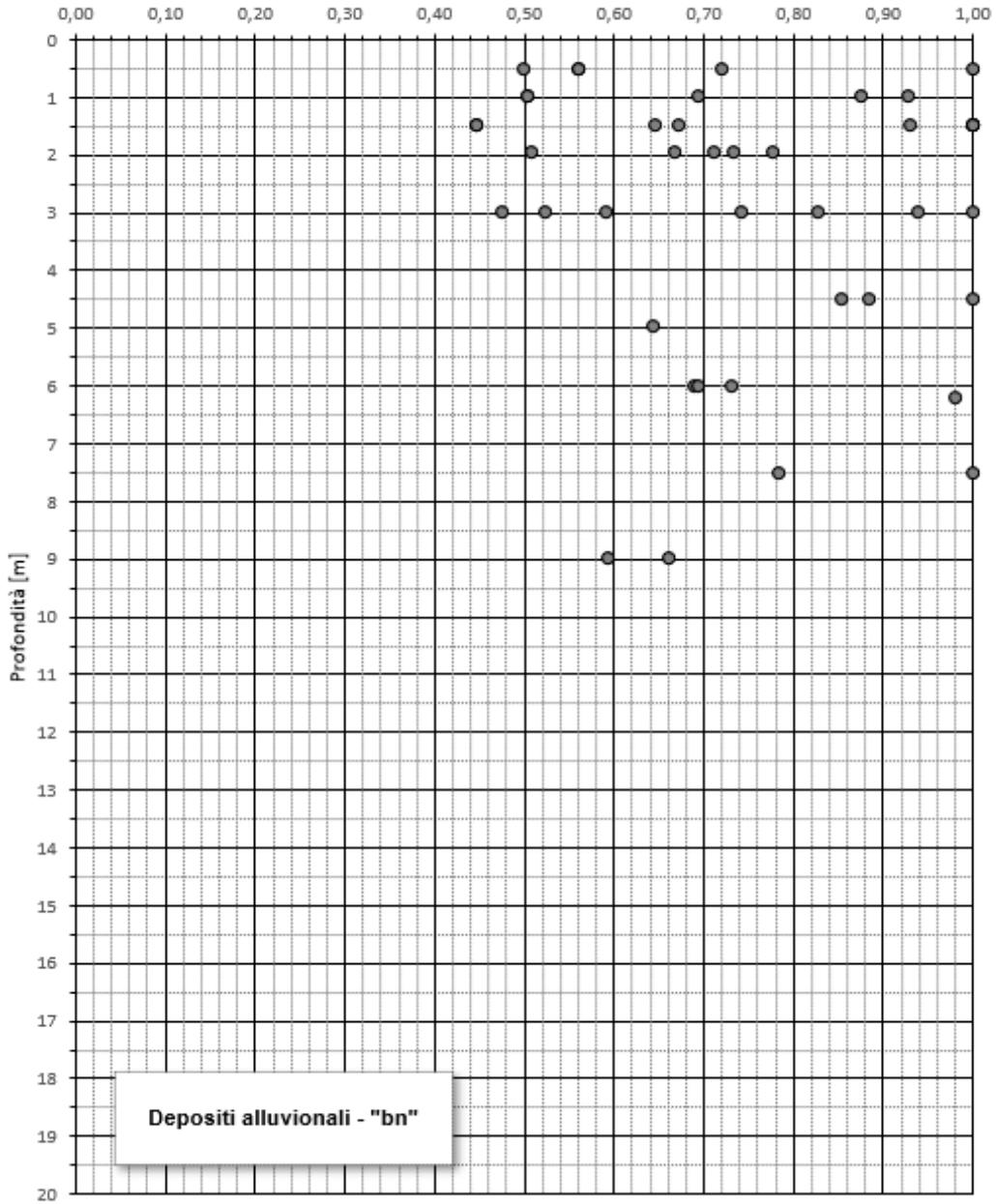


N° di colpi SPT (colpi/0.3m)



Skempton (1986)
 $D_{R} = [(N_1)_{80}/80]^{0.5}$

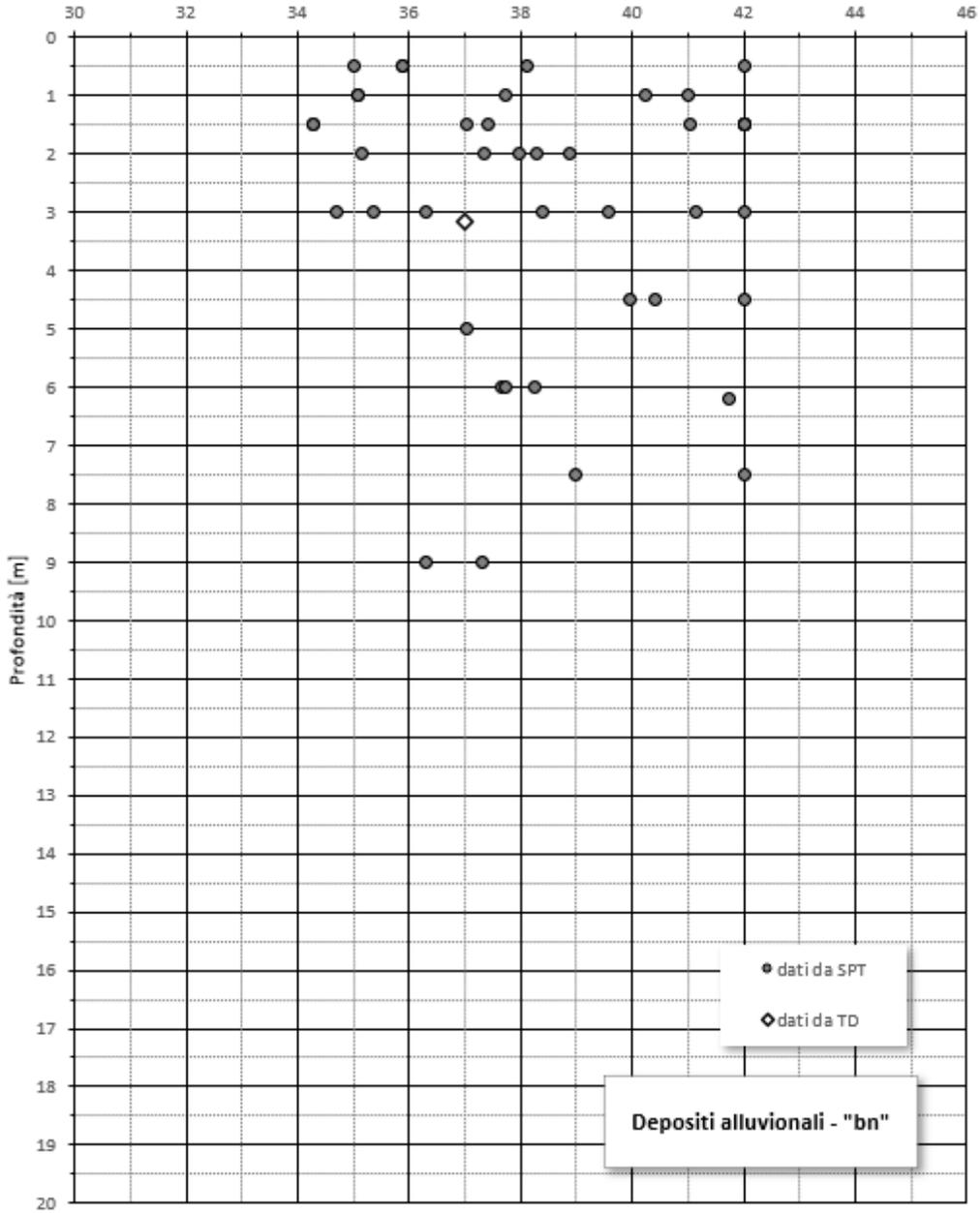
Densità relativa D_R (%)

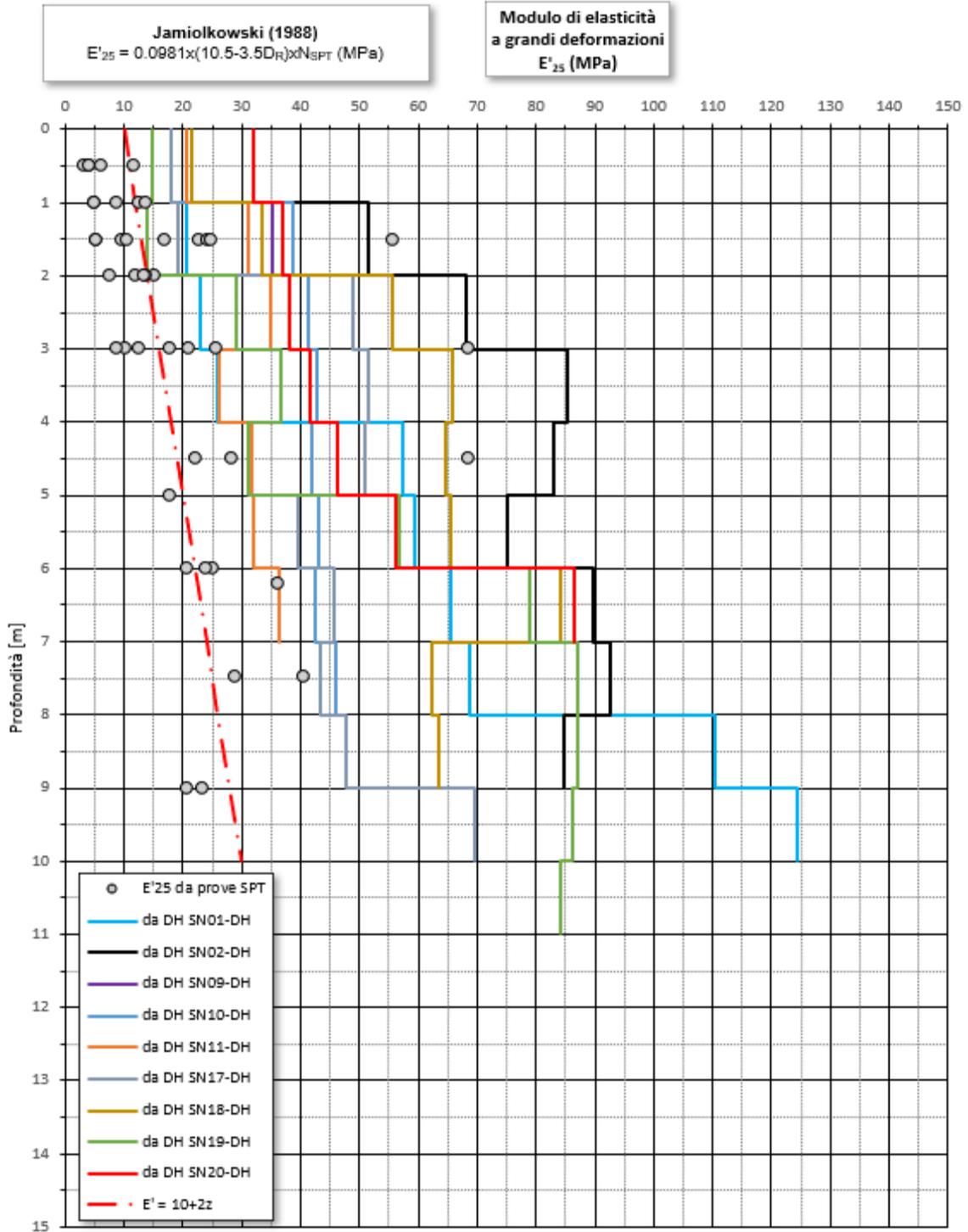


Depositi alluvionali - "bn"

Schmertmann (1975)
 $\varphi'_P = 28 + 0.14 \times D_R$

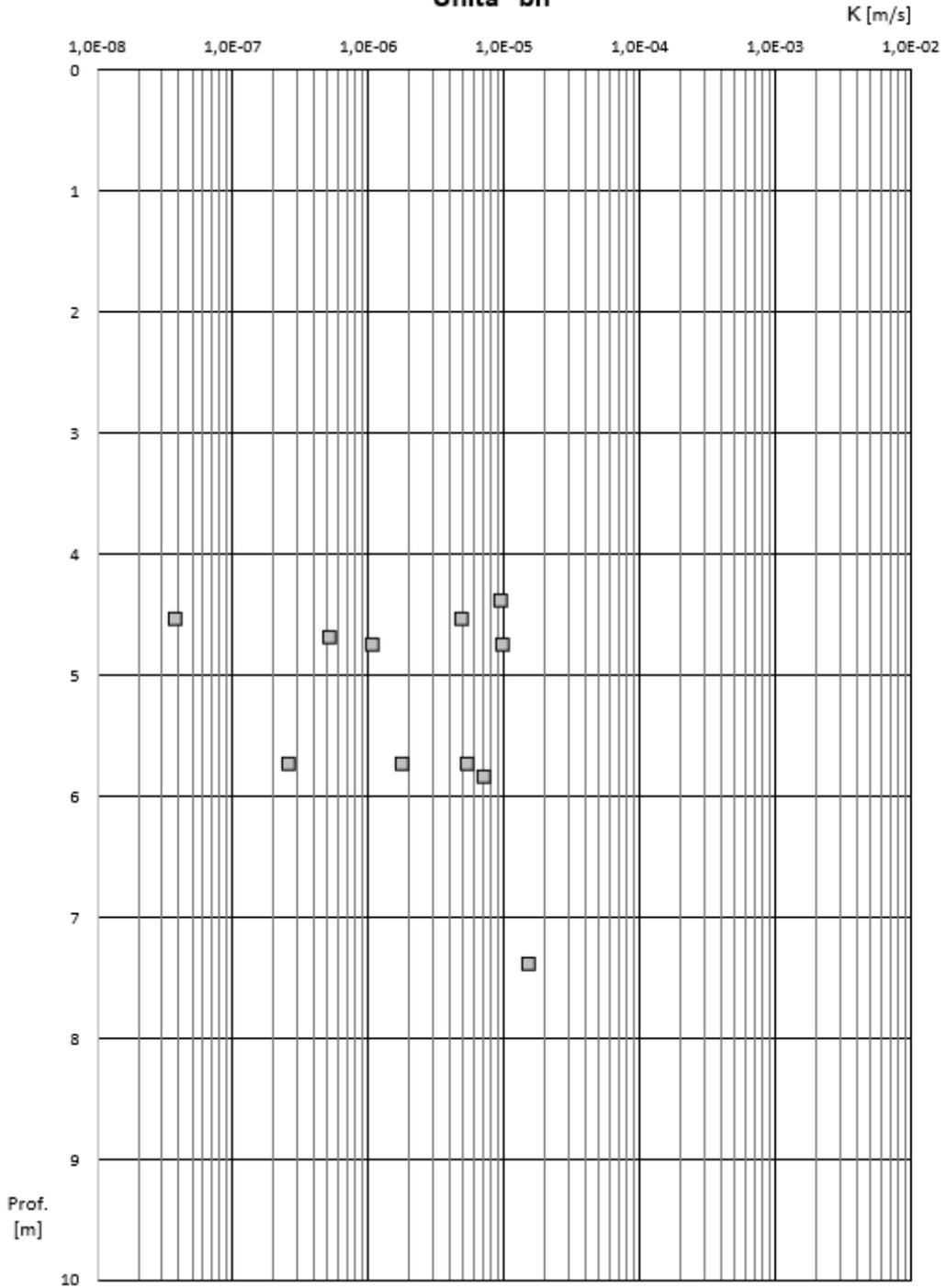
Angolo di resistenza a taglio di picco - materiali granulari
 φ'_P (°)



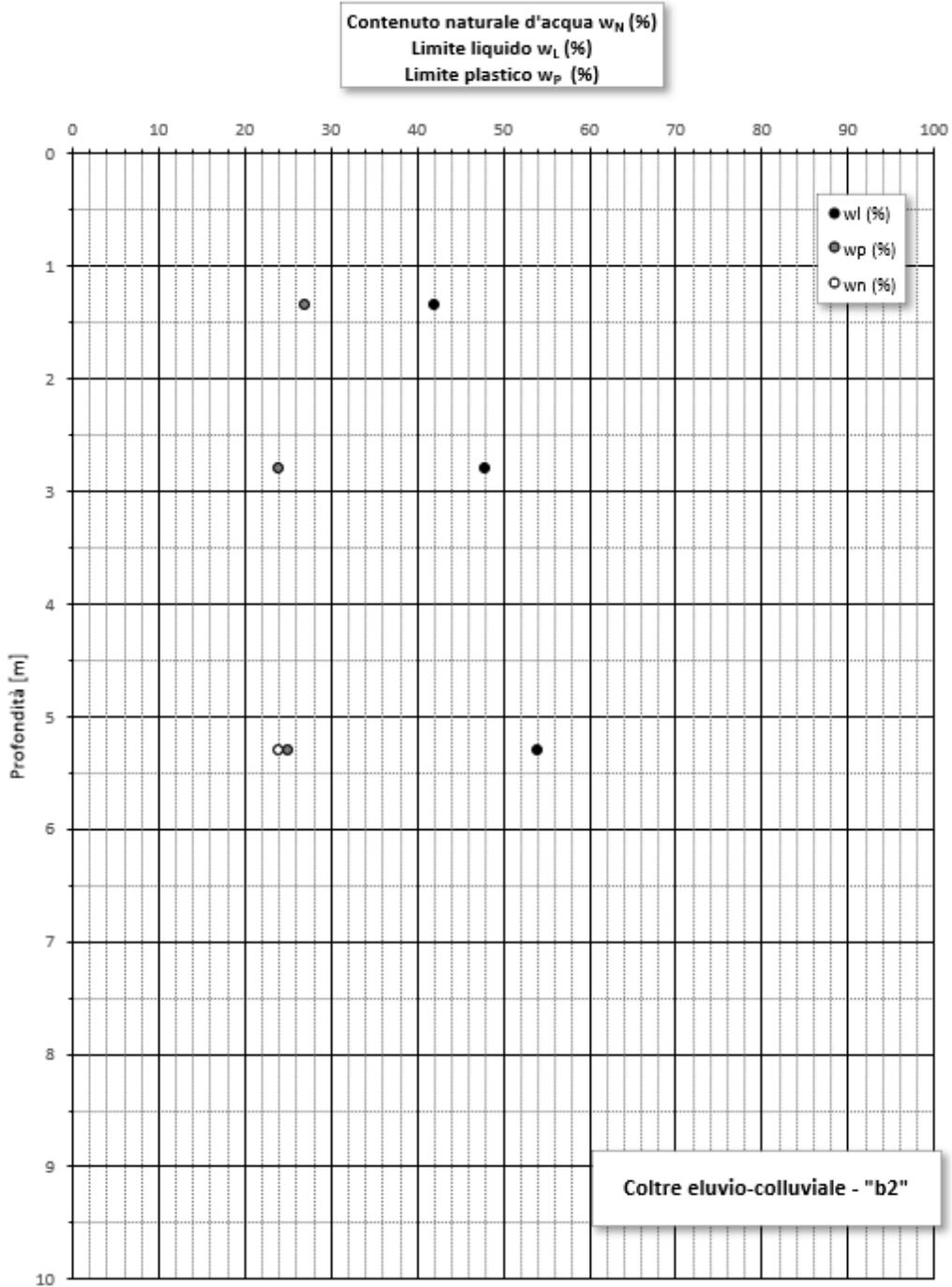




Coefficiente di permeabilità da prove di permeabilità Lefranc Unità "bn"

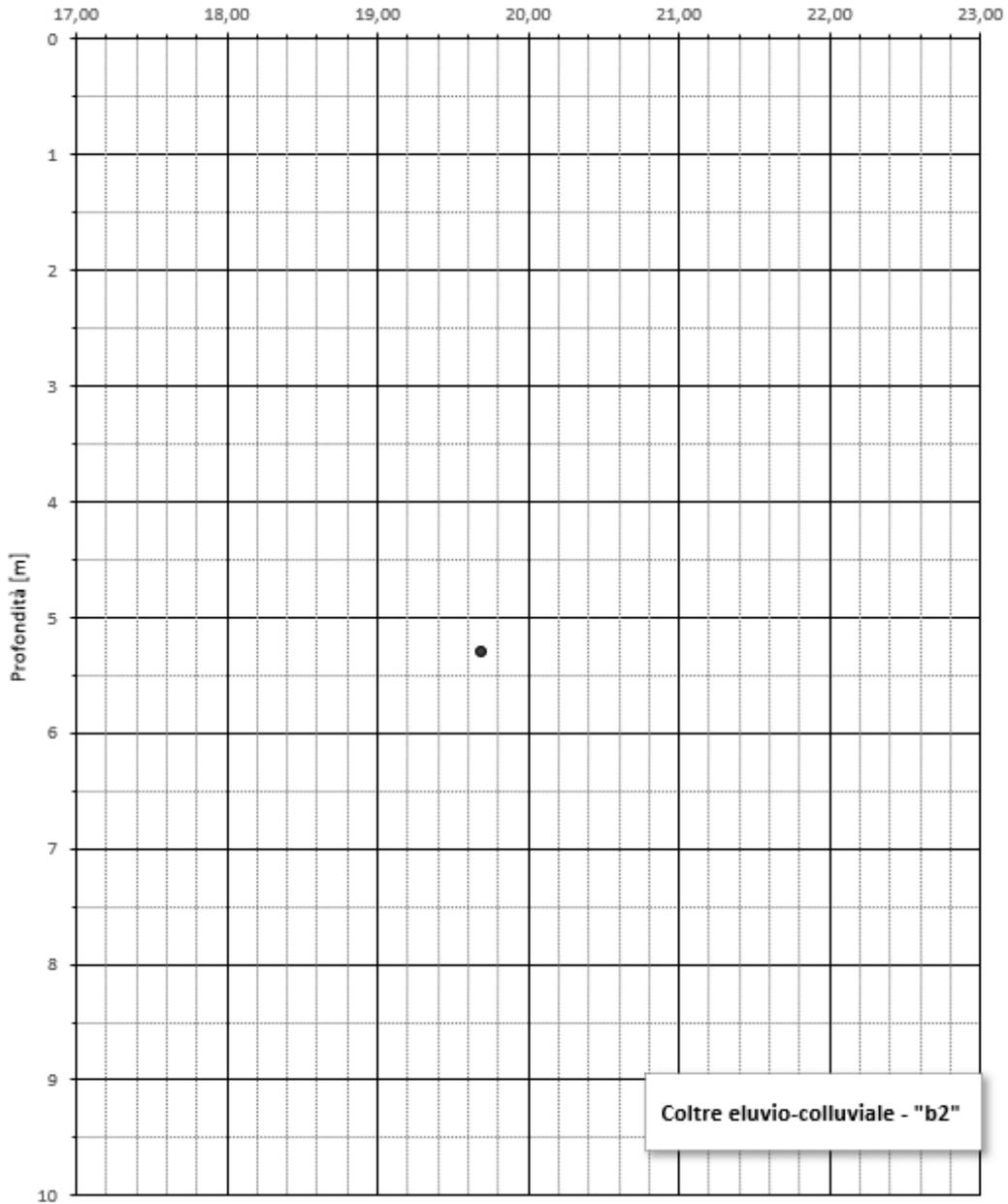


19.2 Unità "b2"



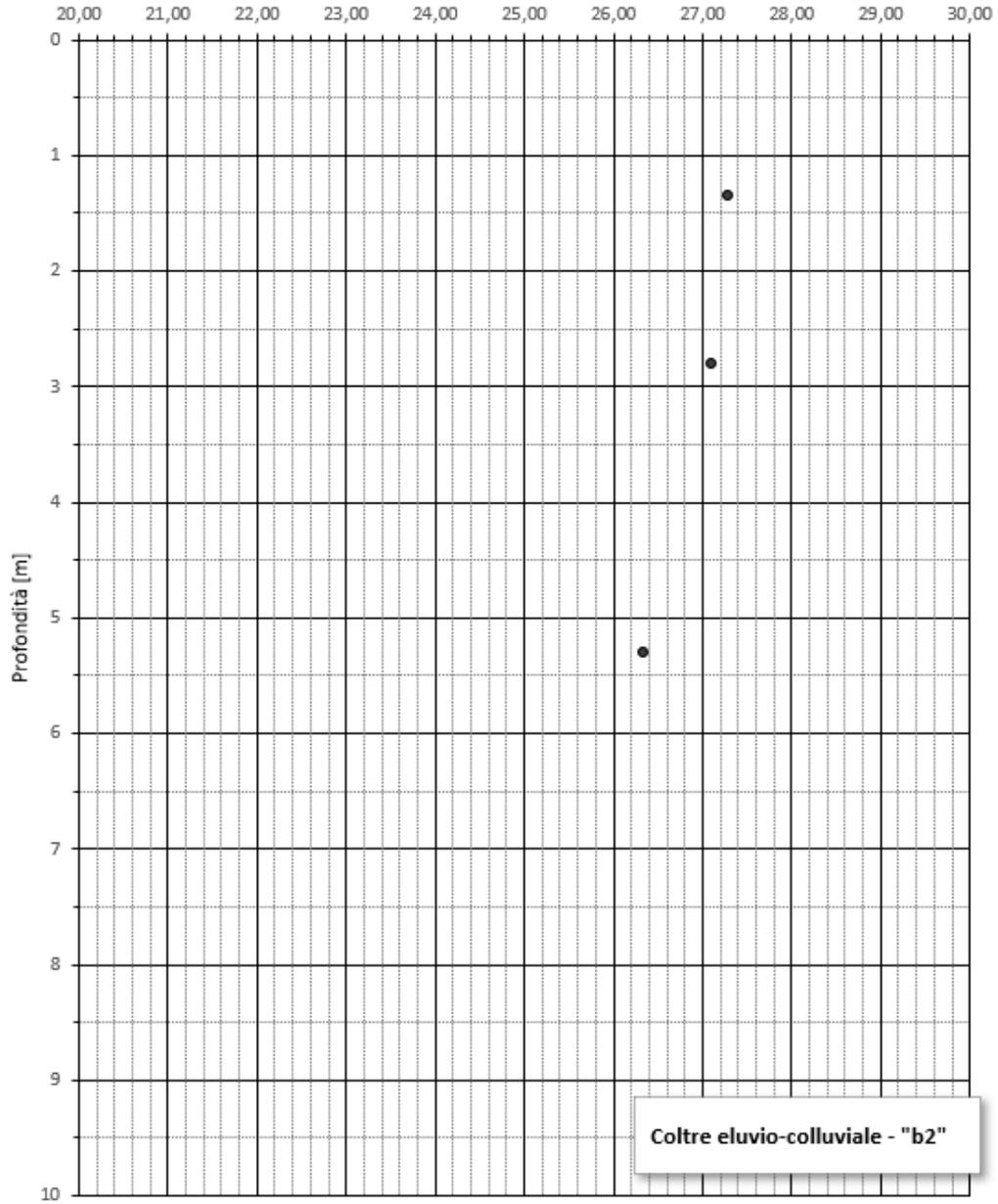


Peso di volume naturale γ_N (KN/m³)



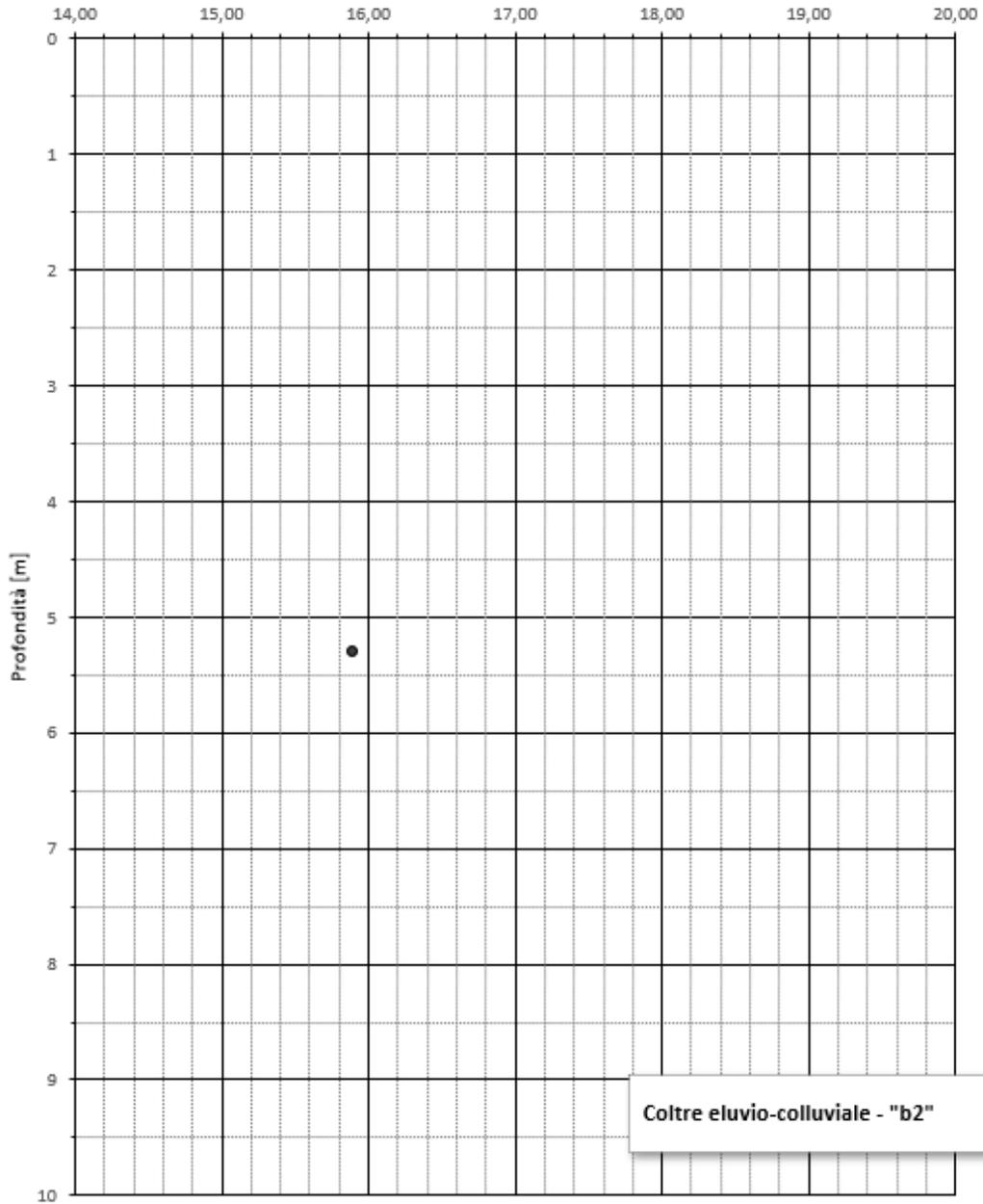


Peso specifico dei granuli γ_s (KN/m³)



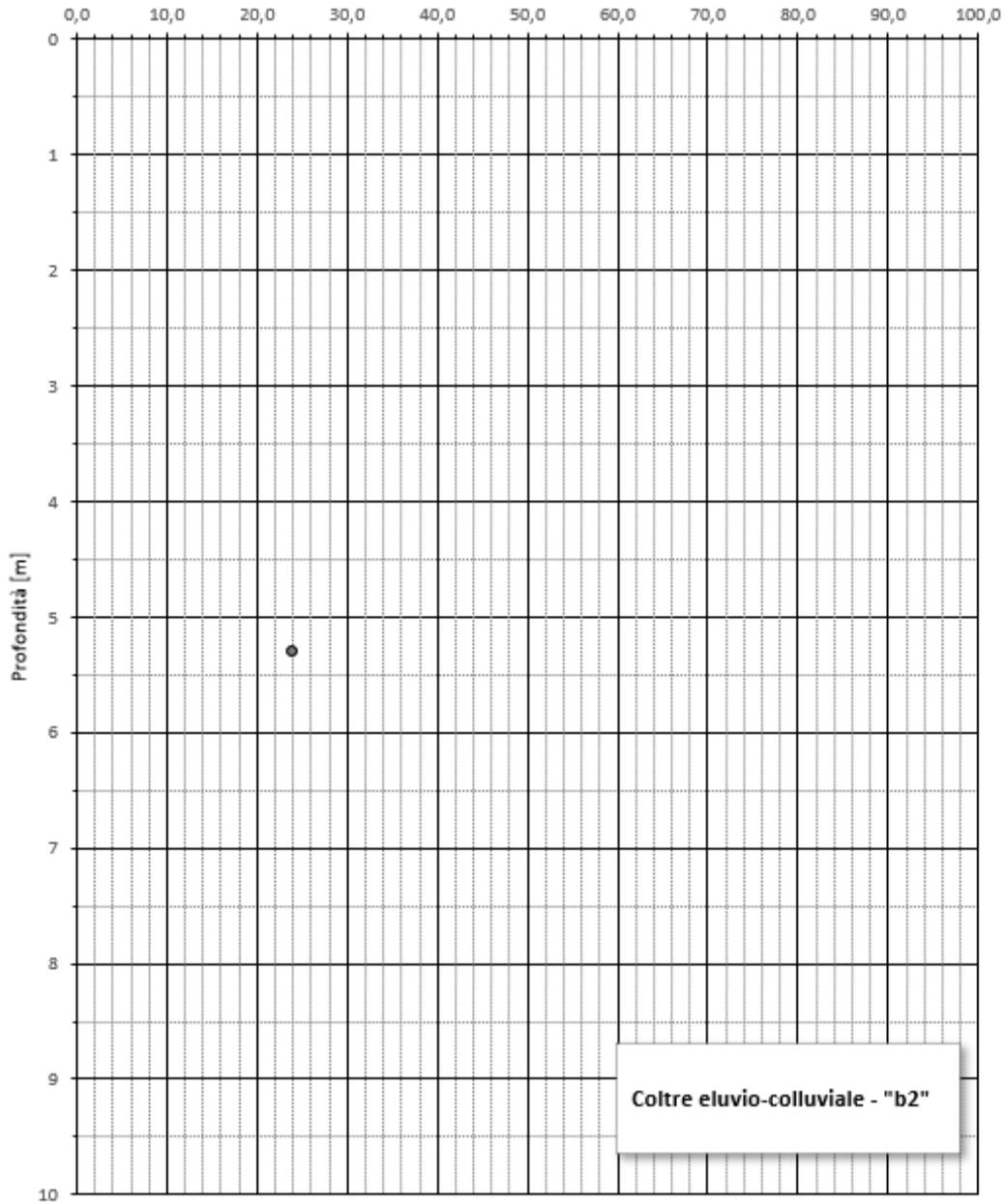


Peso di volume secco γ_d (KN/m³)



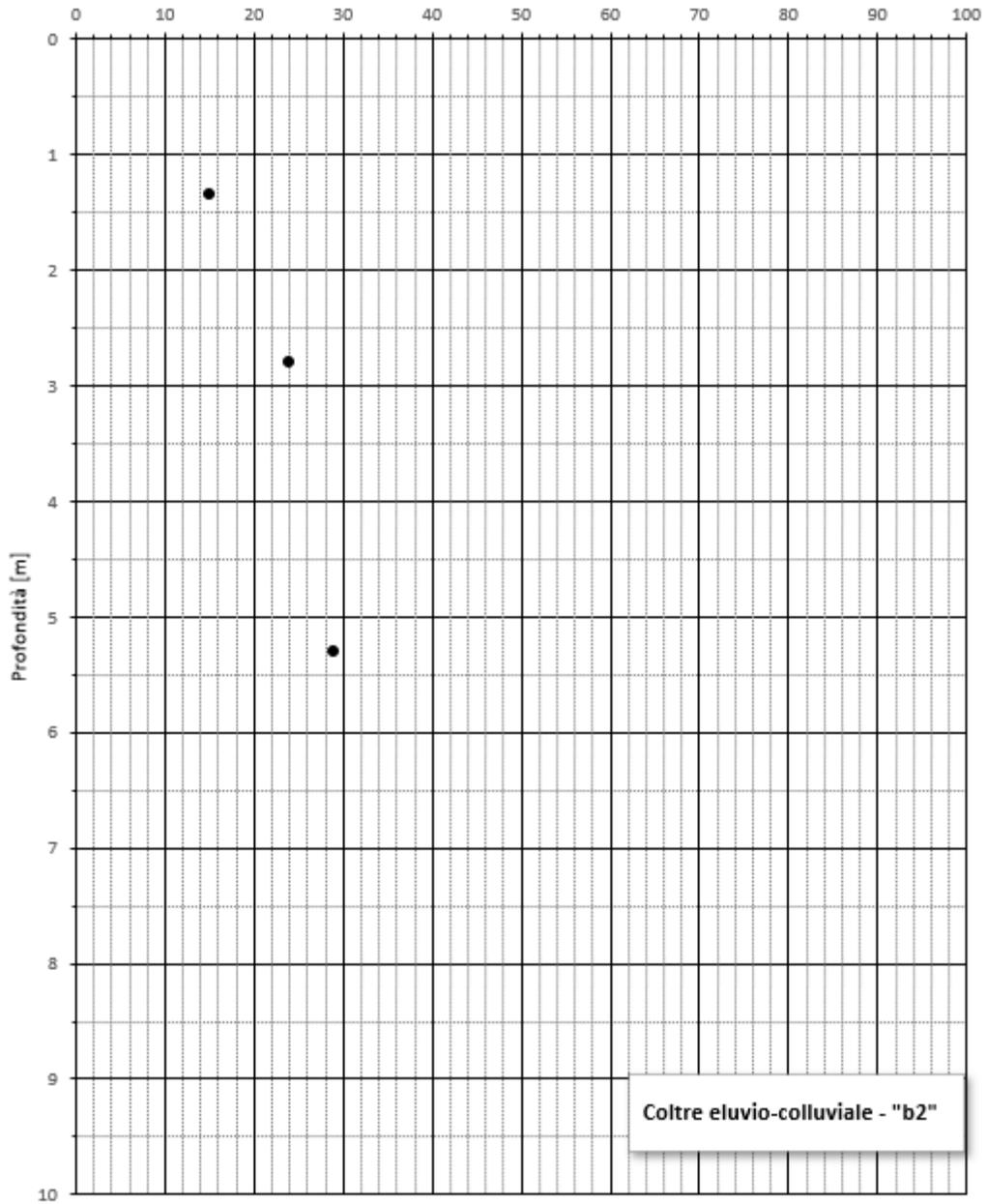


Contenuto naturale d'acqua w_N (%)



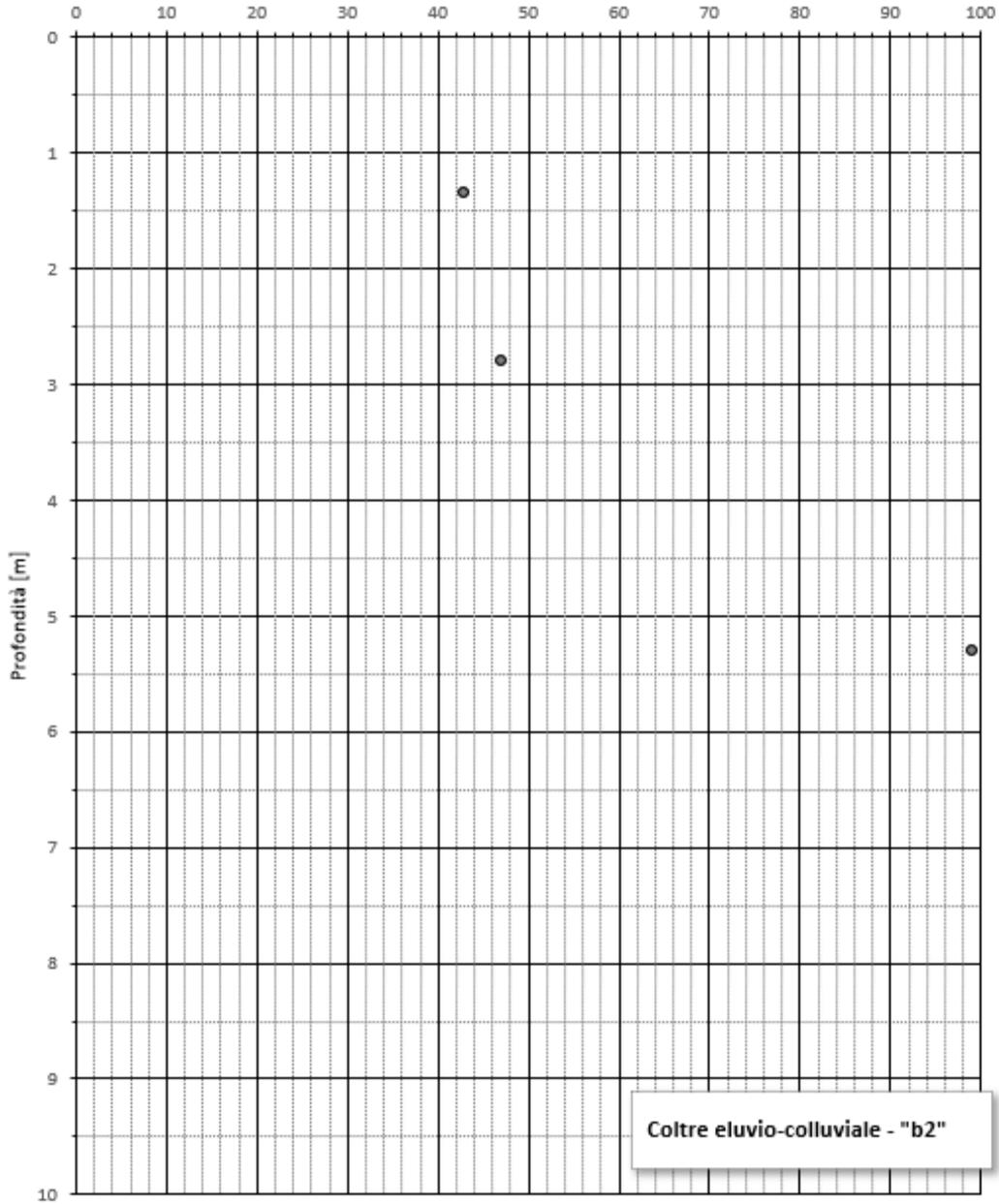


Indice di plasticità I_p (%)

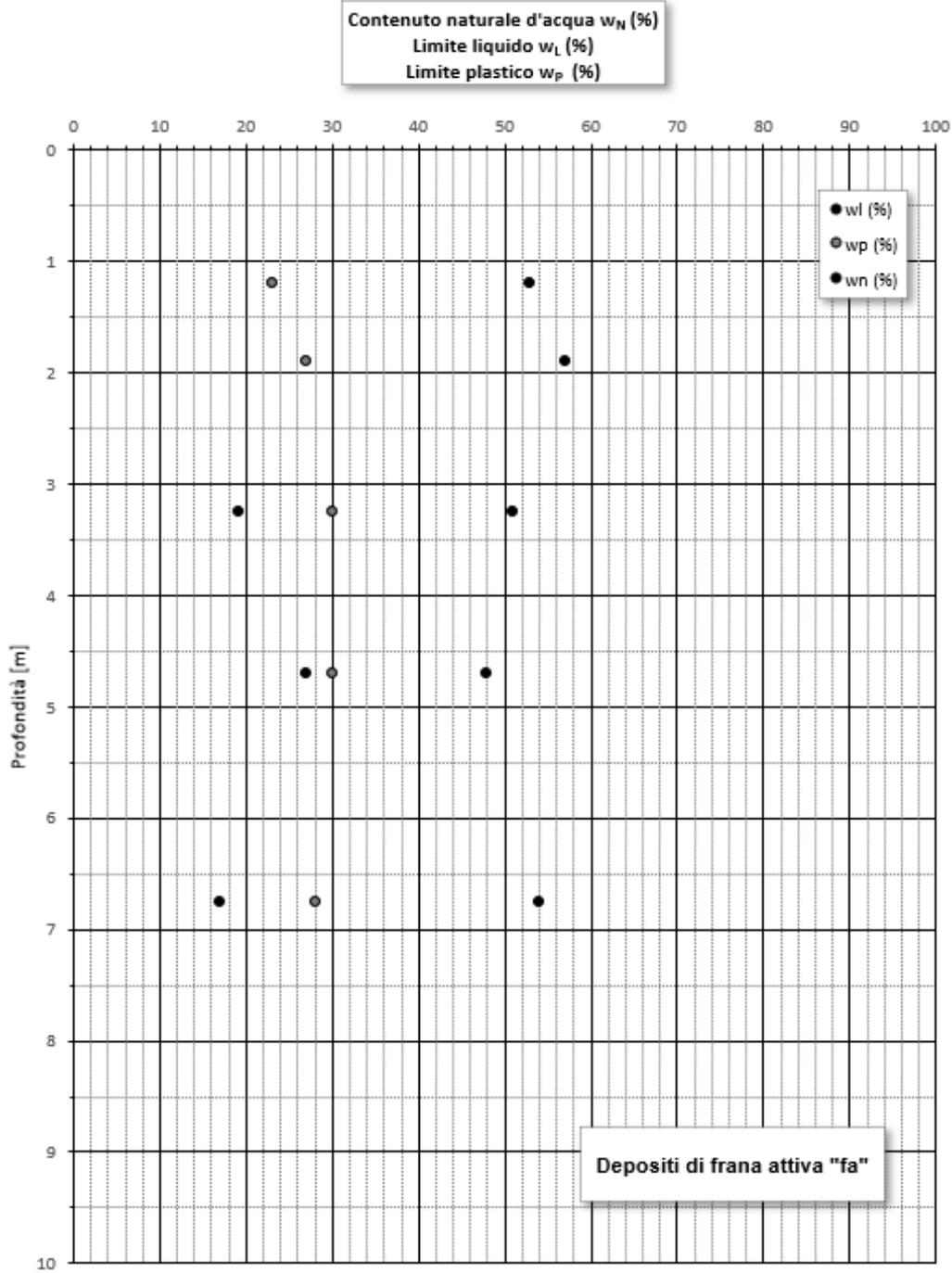


Coltre eluvio-colluviale - "b2"

Frazione di materiale fine < 0.075 mm (%)

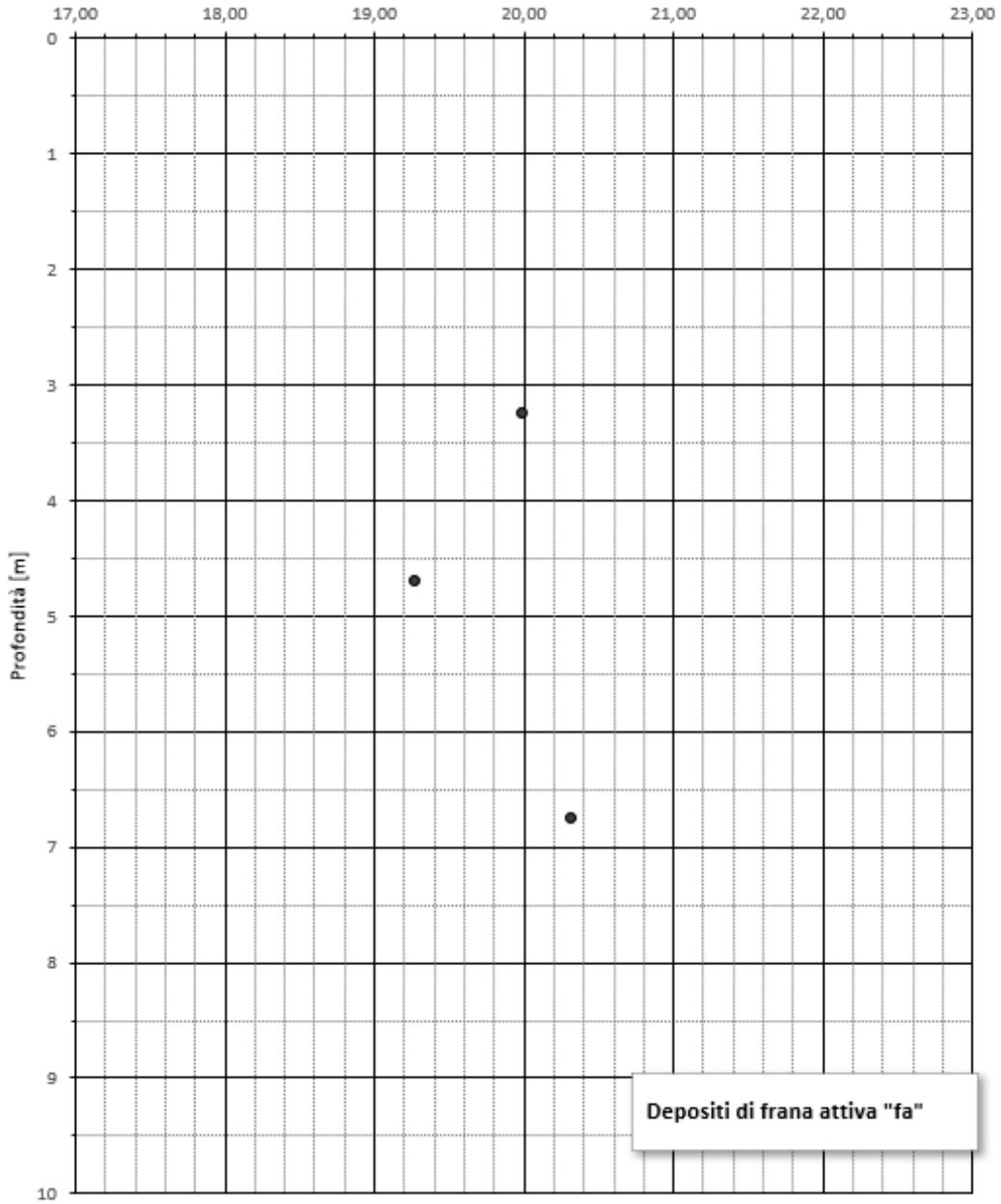


19.3 Unità "fa"

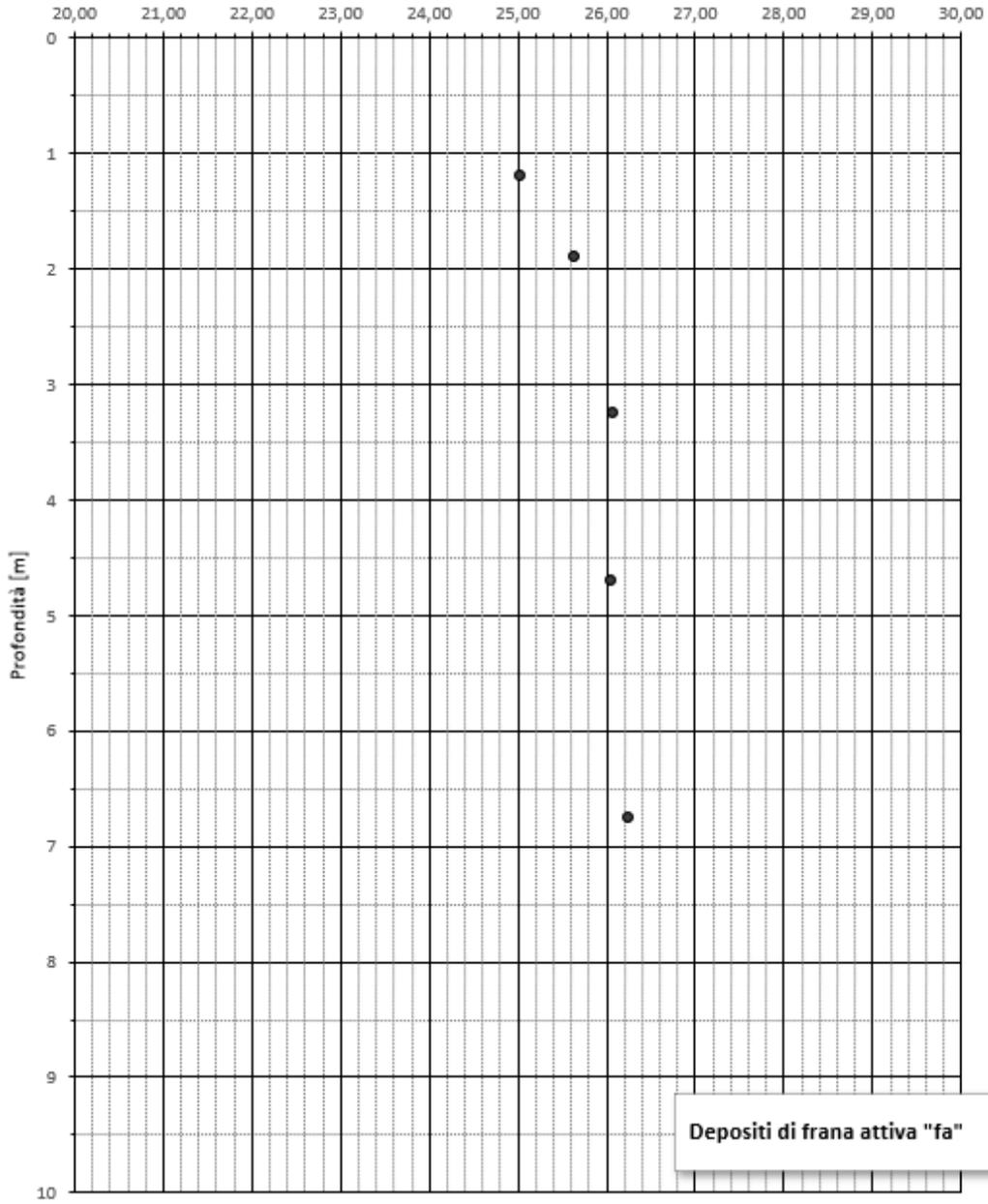




Peso di volume naturale γ_N (KN/m³)

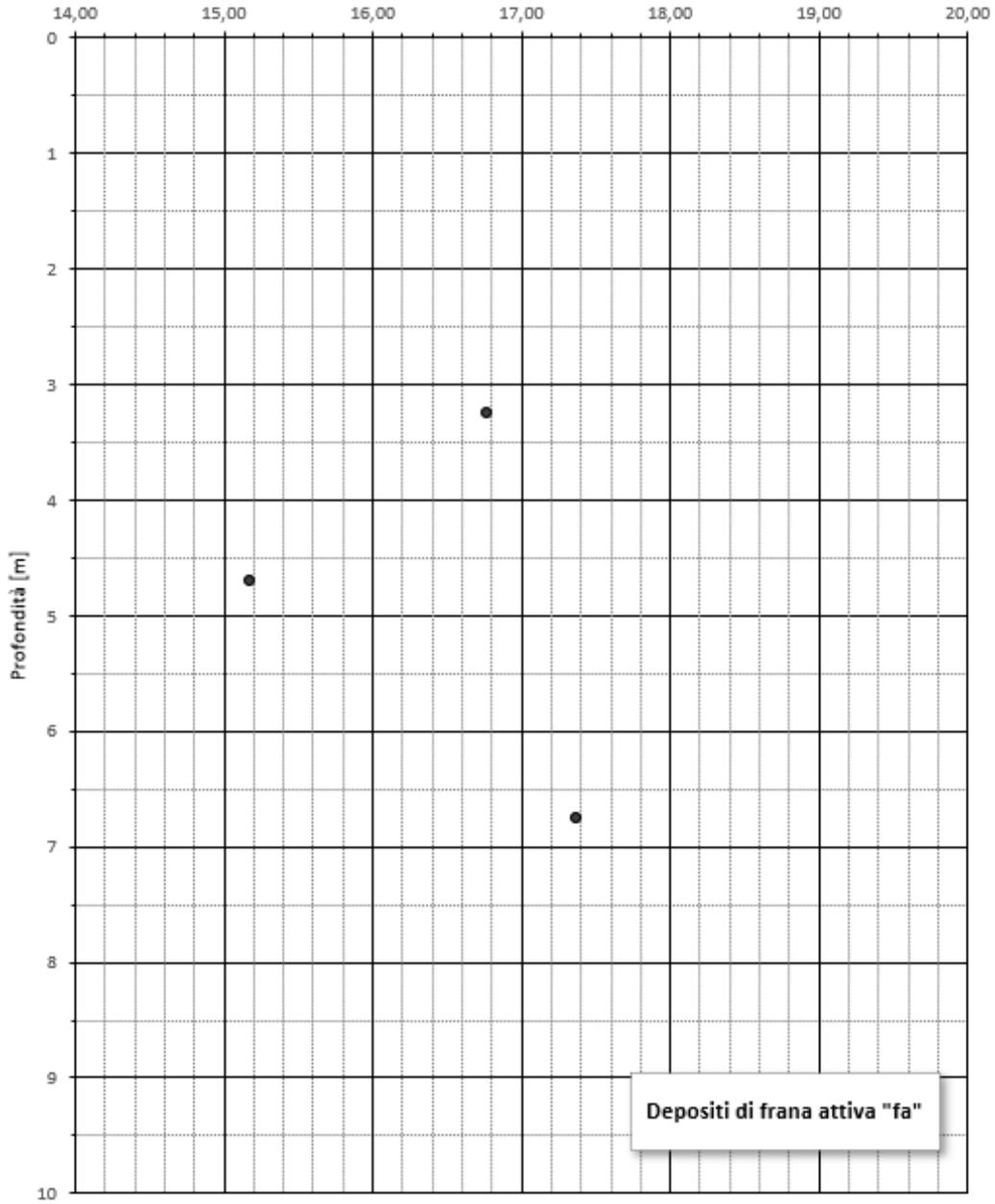


Peso specifico dei granuli γ_s (KN/m³)





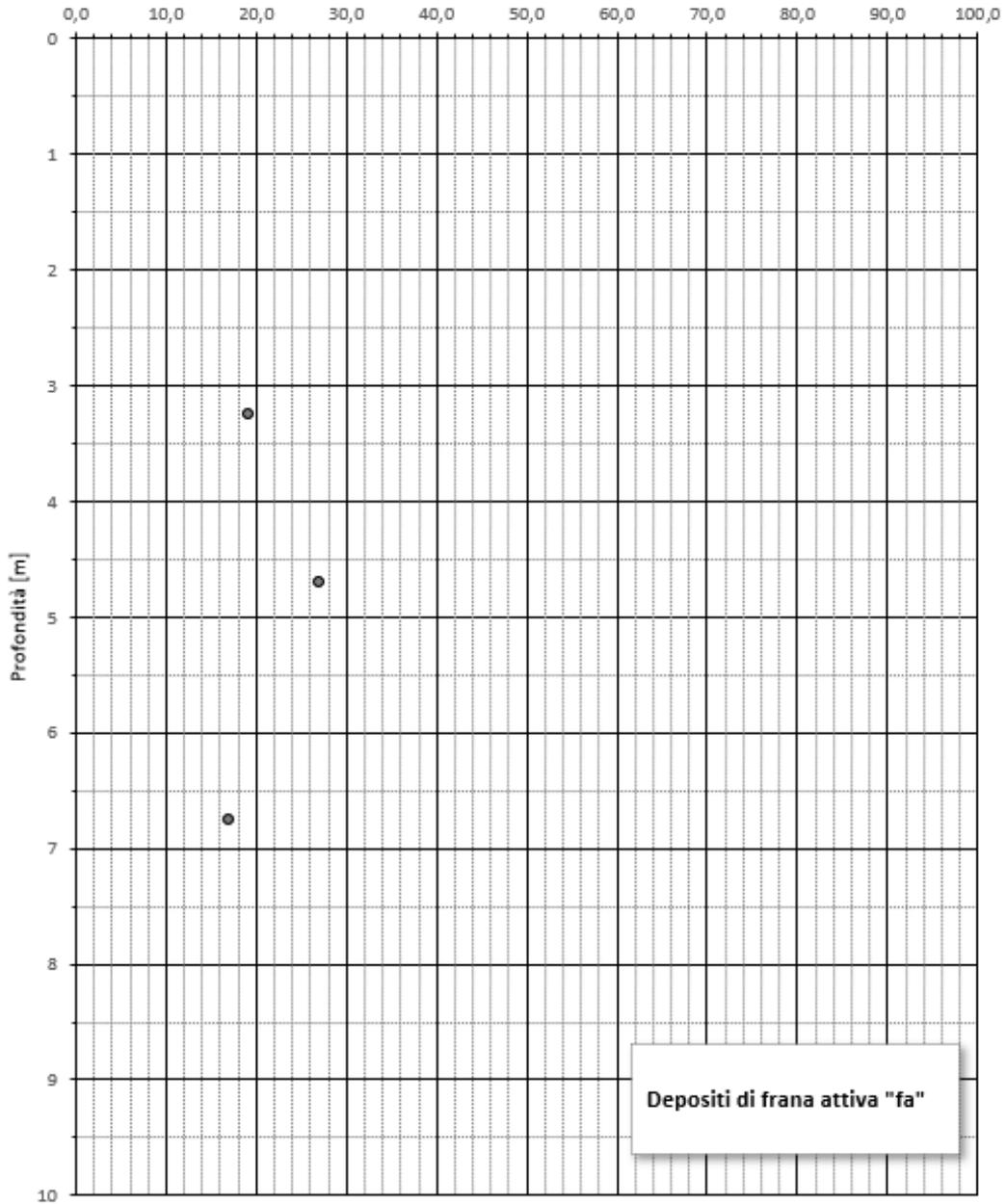
Peso di volume secco γ_d (KN/m³)



Depositi di frana attiva "fa"

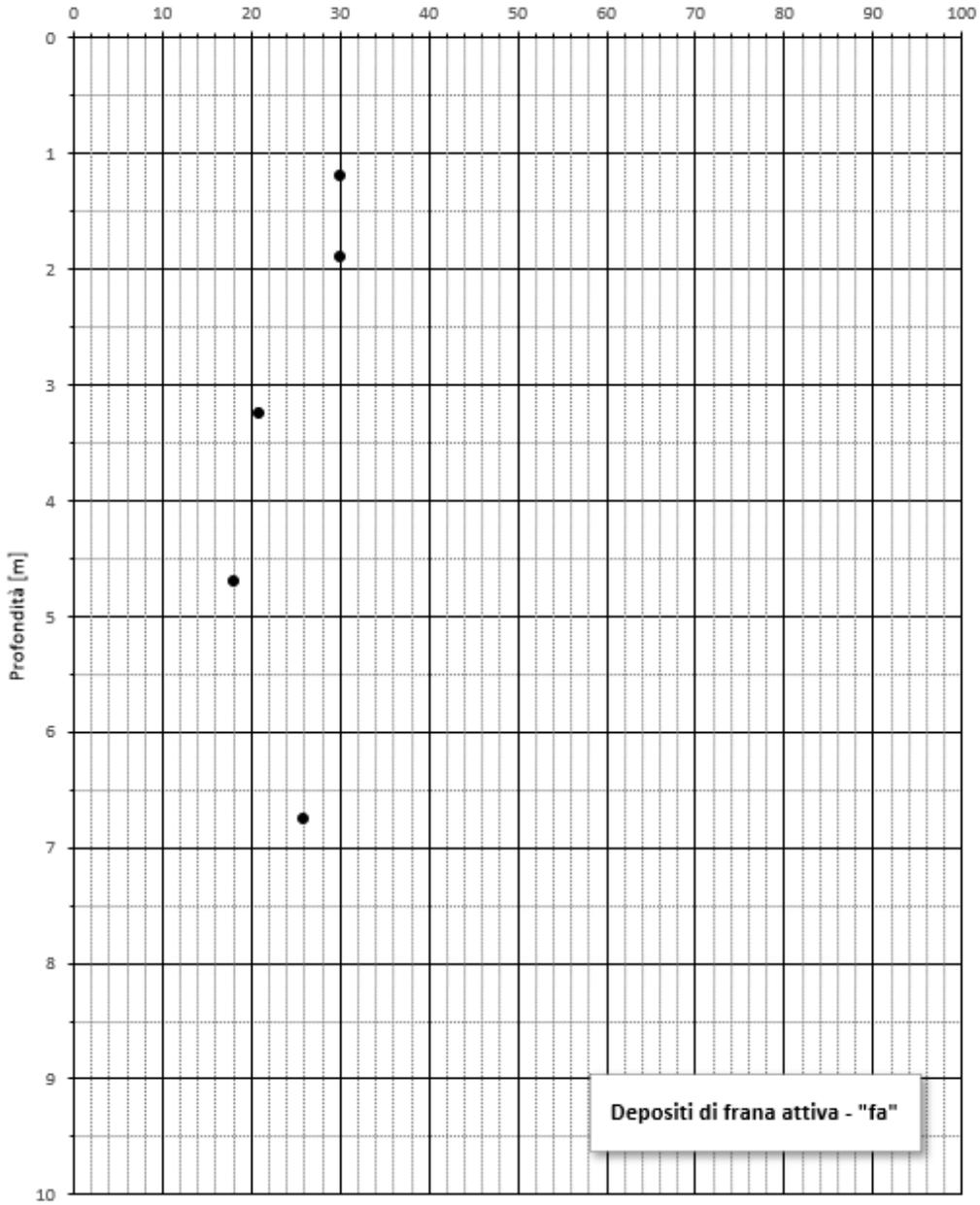


Contenuto naturale d'acqua w_N (%)

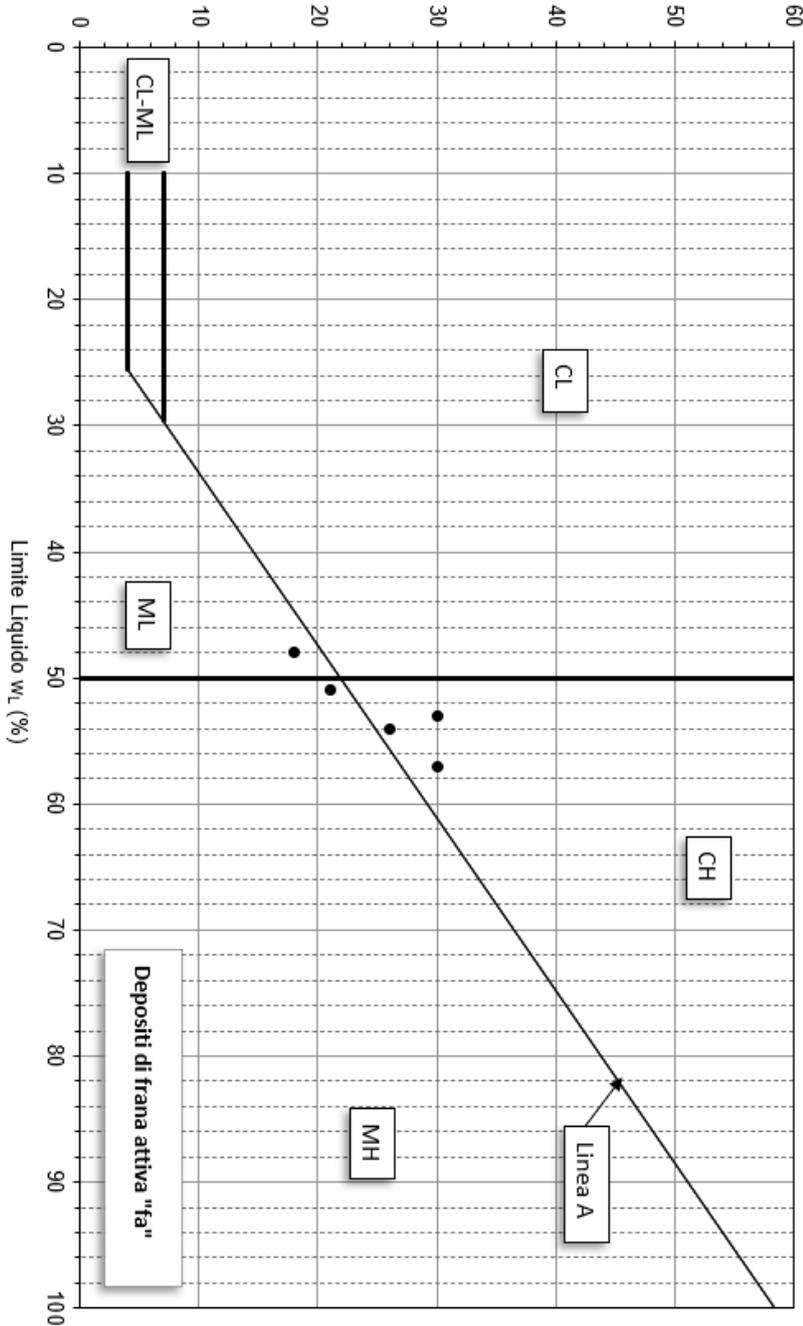




Indice di plasticità I_p (%)

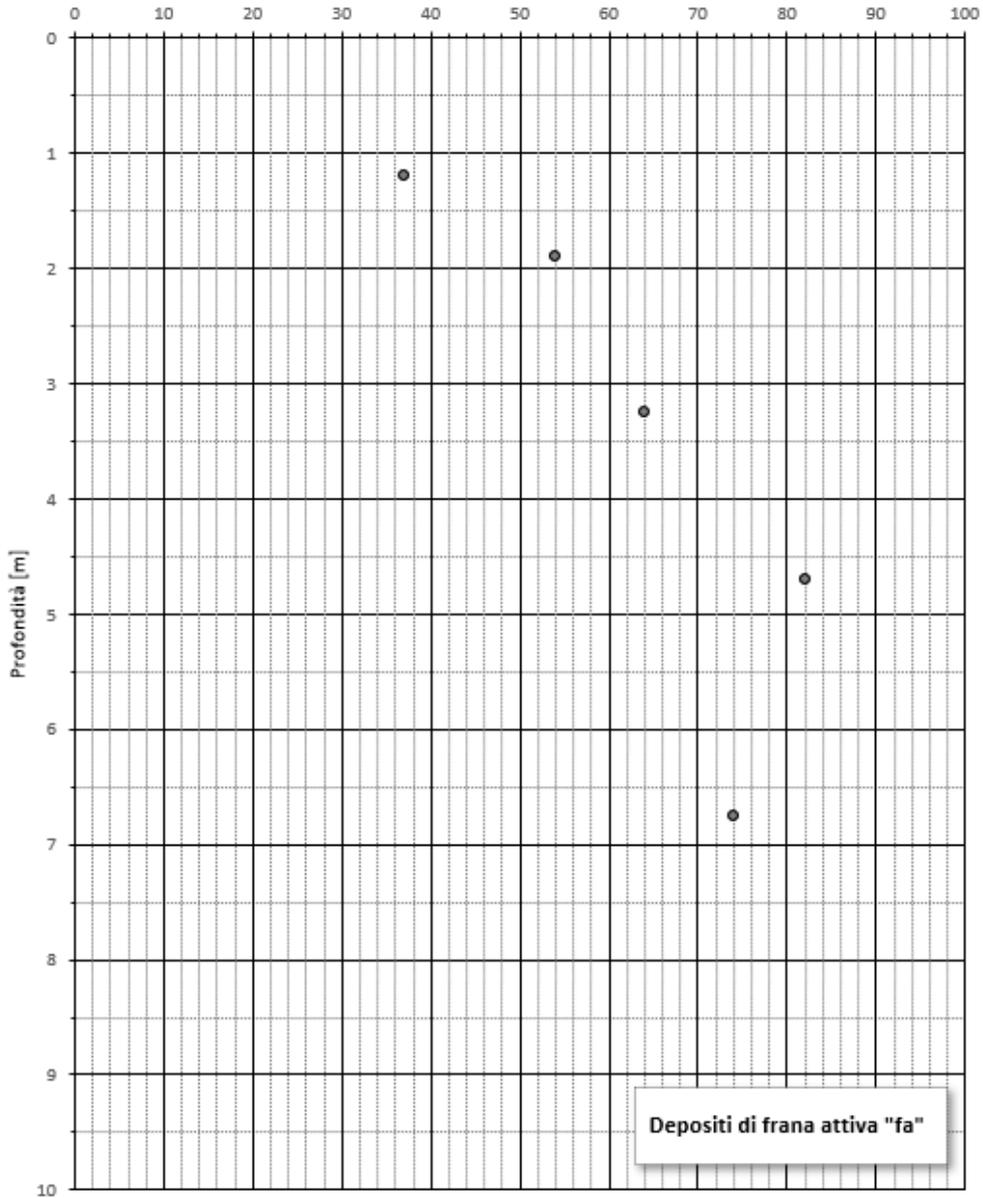


Indice di Plasticità I_p (%)

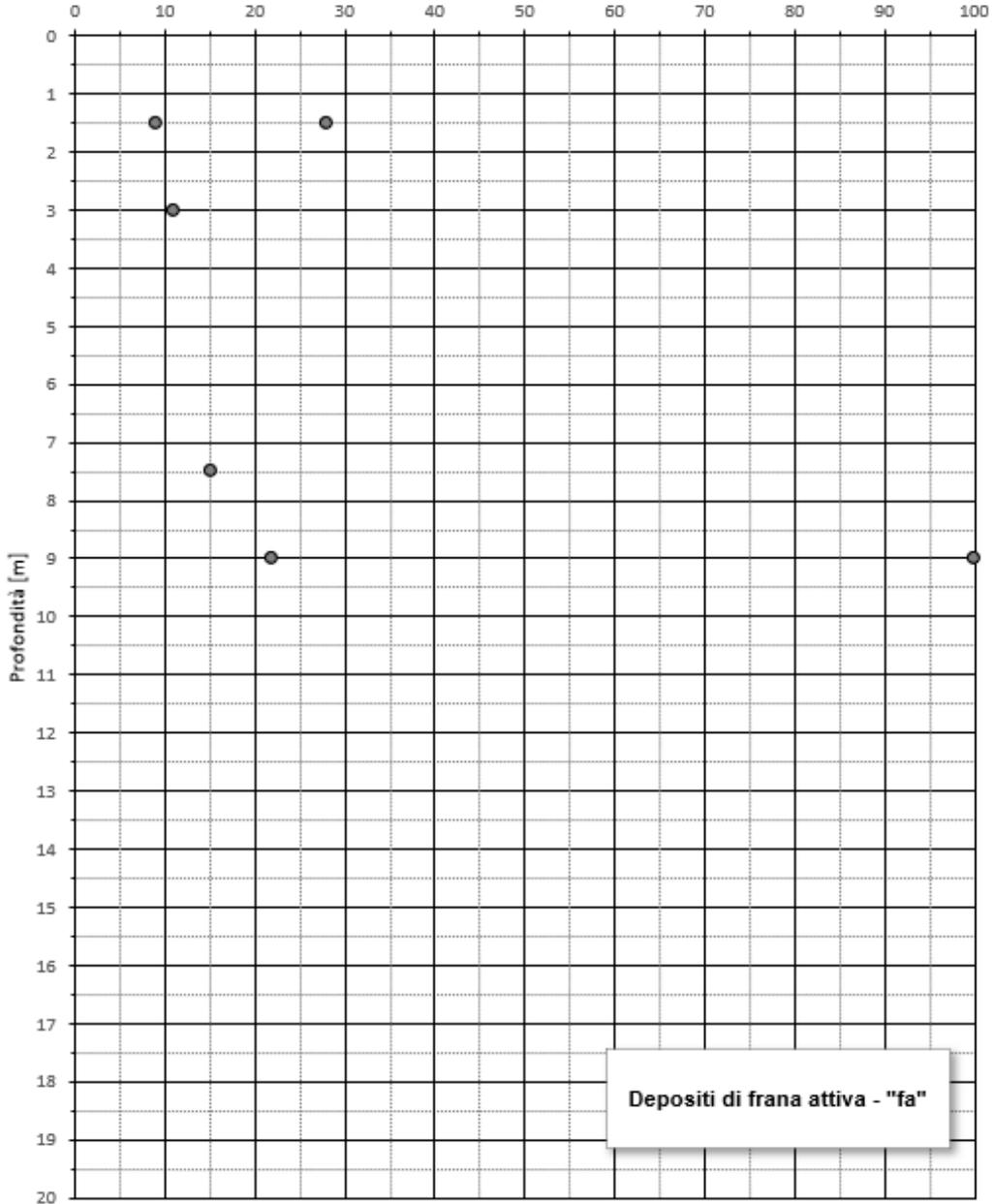


Carta di Plasticità

Frazione di materiale fine < 0.075 mm (%)



N° di colpi SPT (colpi/0.3m)



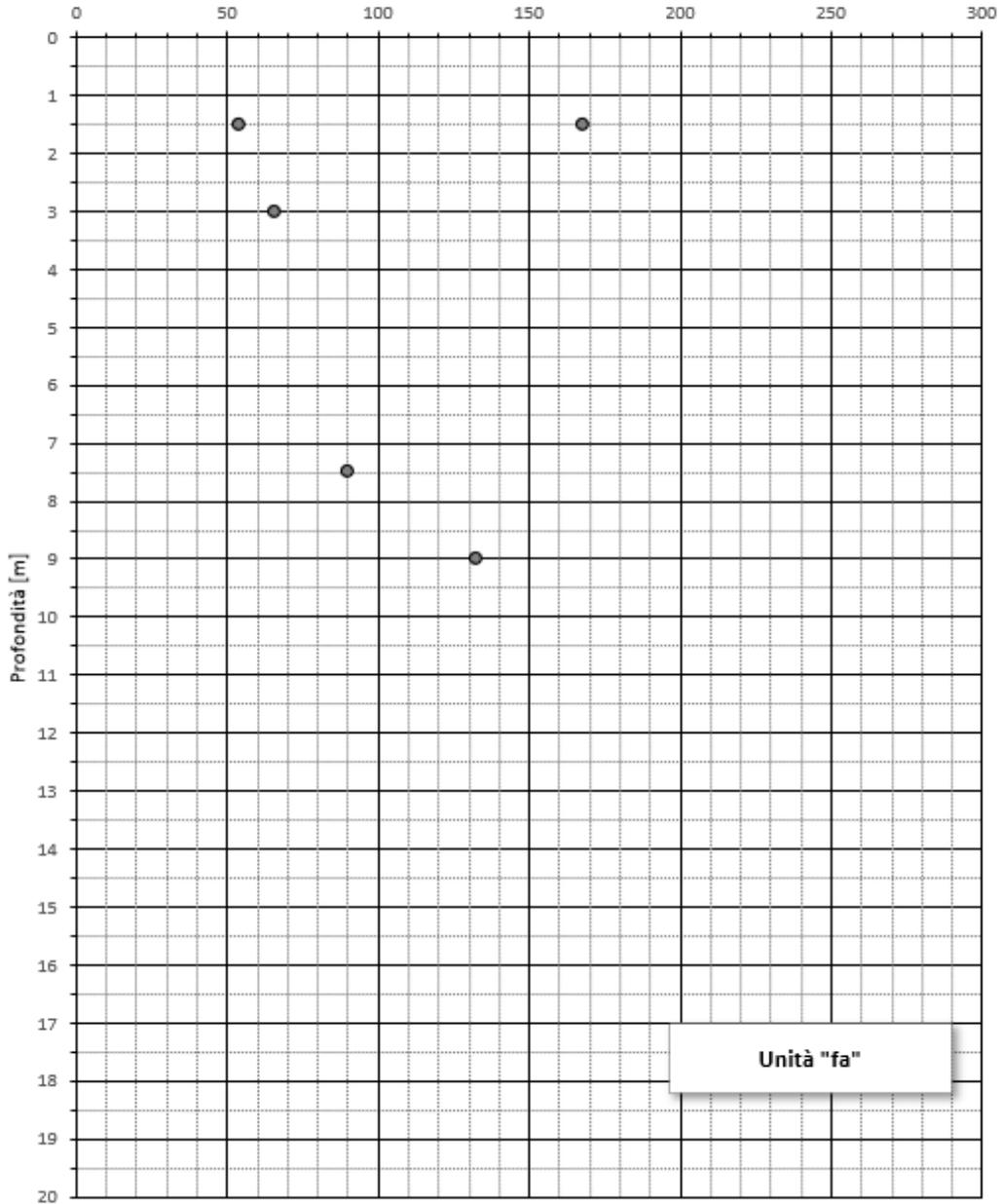


MANDANTI



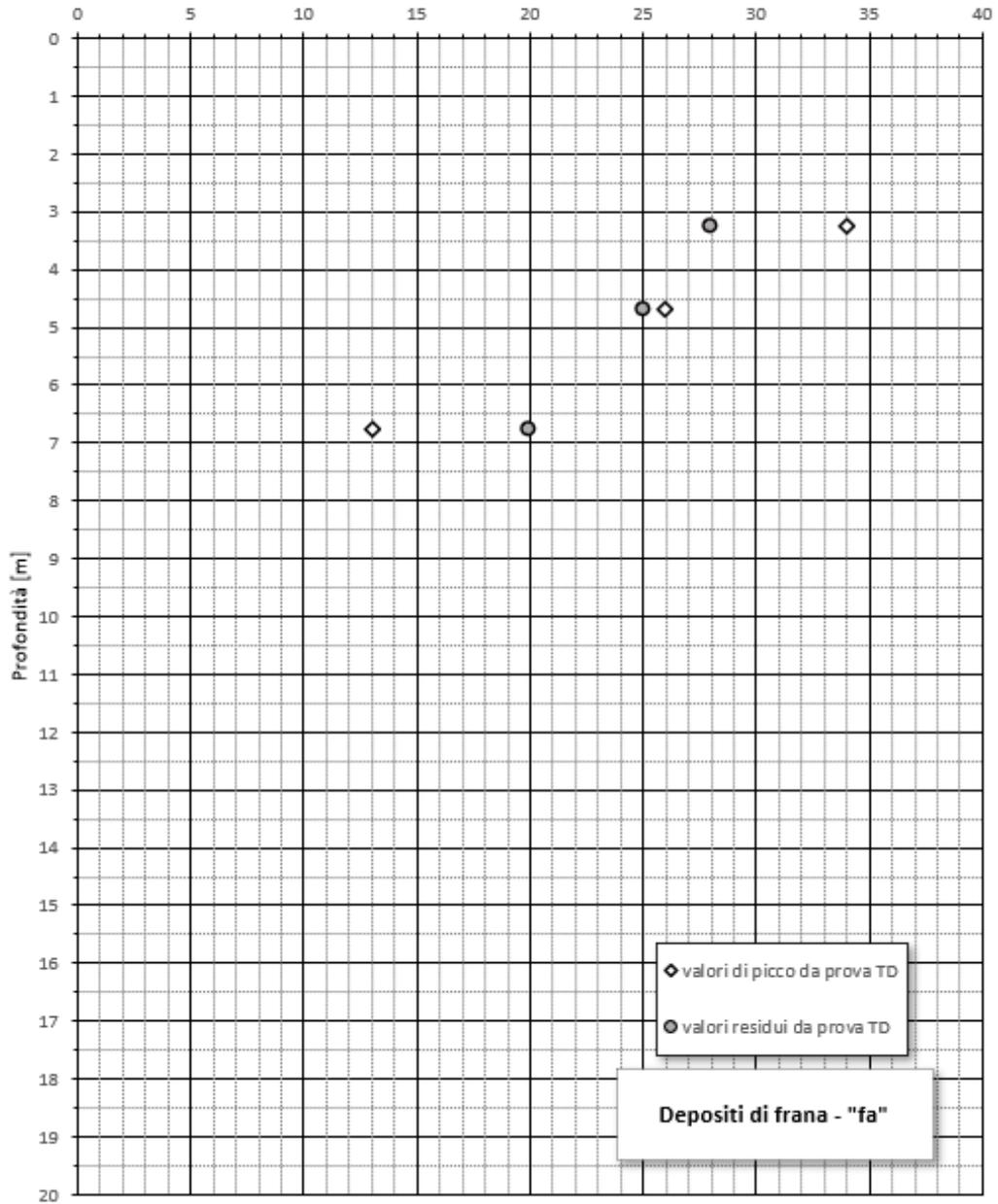
Jamiolkowki, et al. (1985)
 $c_u (NC) = 0.2 \times \sigma'_{vd}$ (kPa)
Kulhawy and Mayne (1990)
 $c_u = 8 \times N_{SPT}$ (kPa)

Coesione non drenata c_u (kPa)

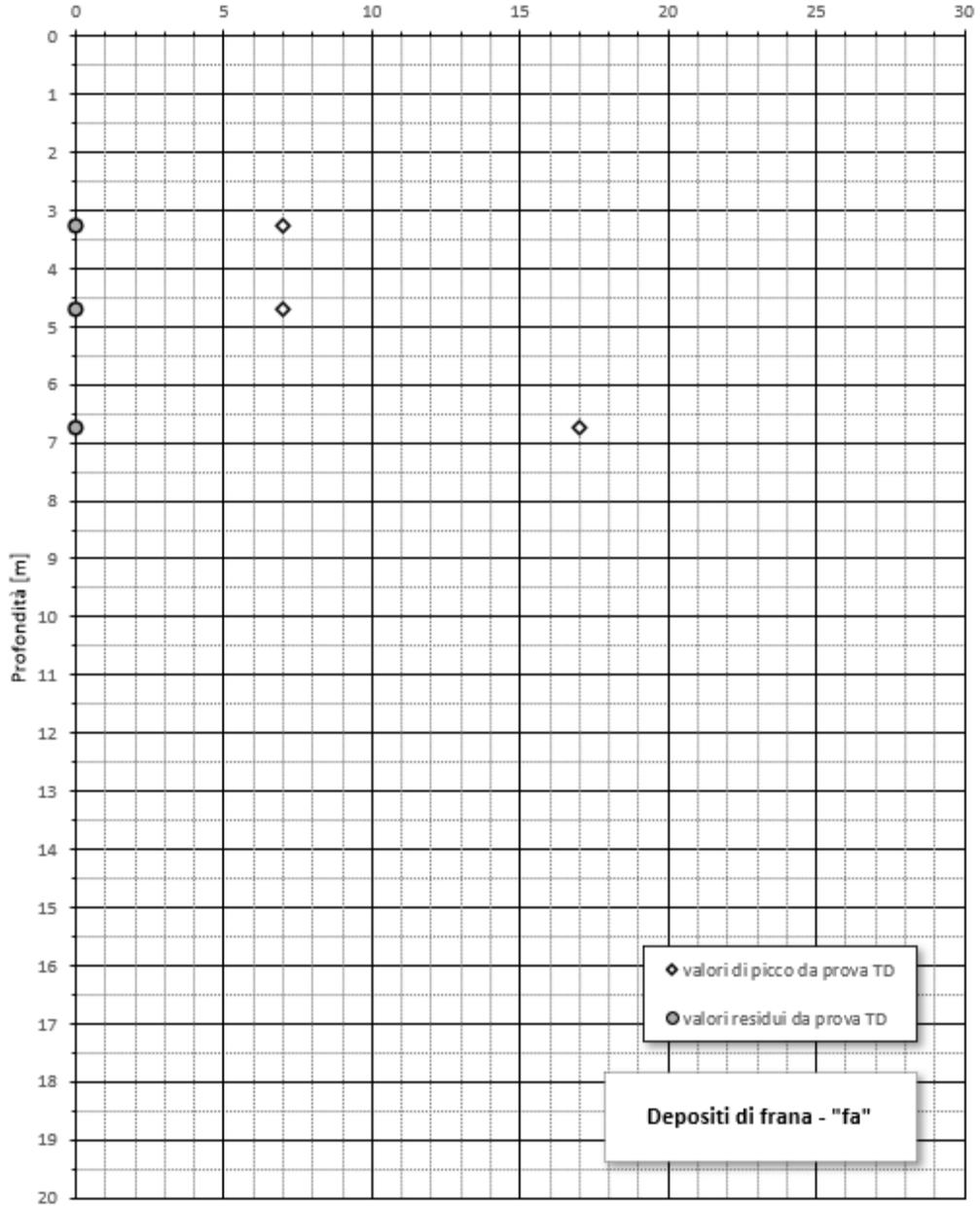


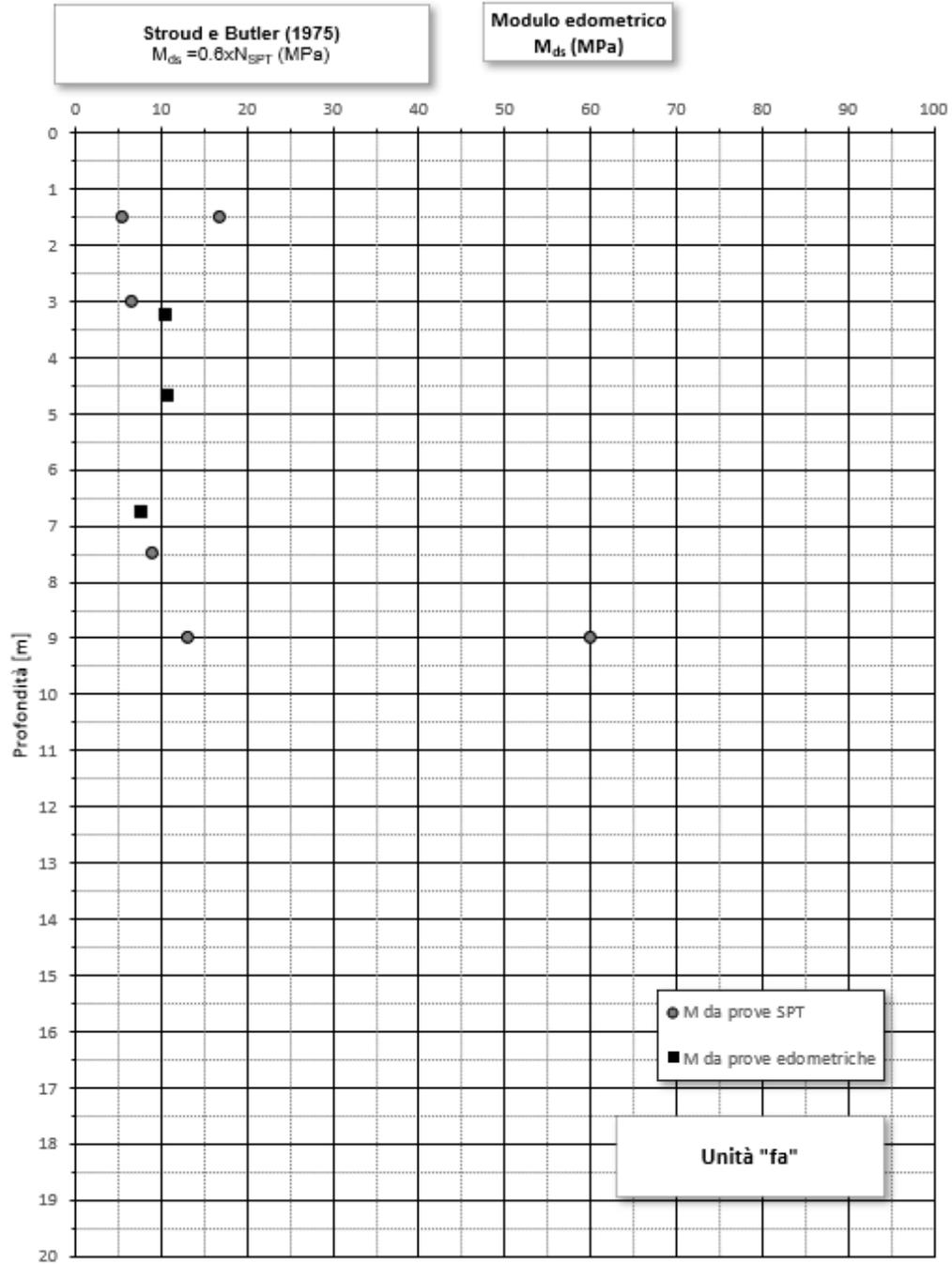
Unità "fa"

Angolo di resistenza a taglio di picco e residuo
 Ψ'_p e Ψ'_r (°)

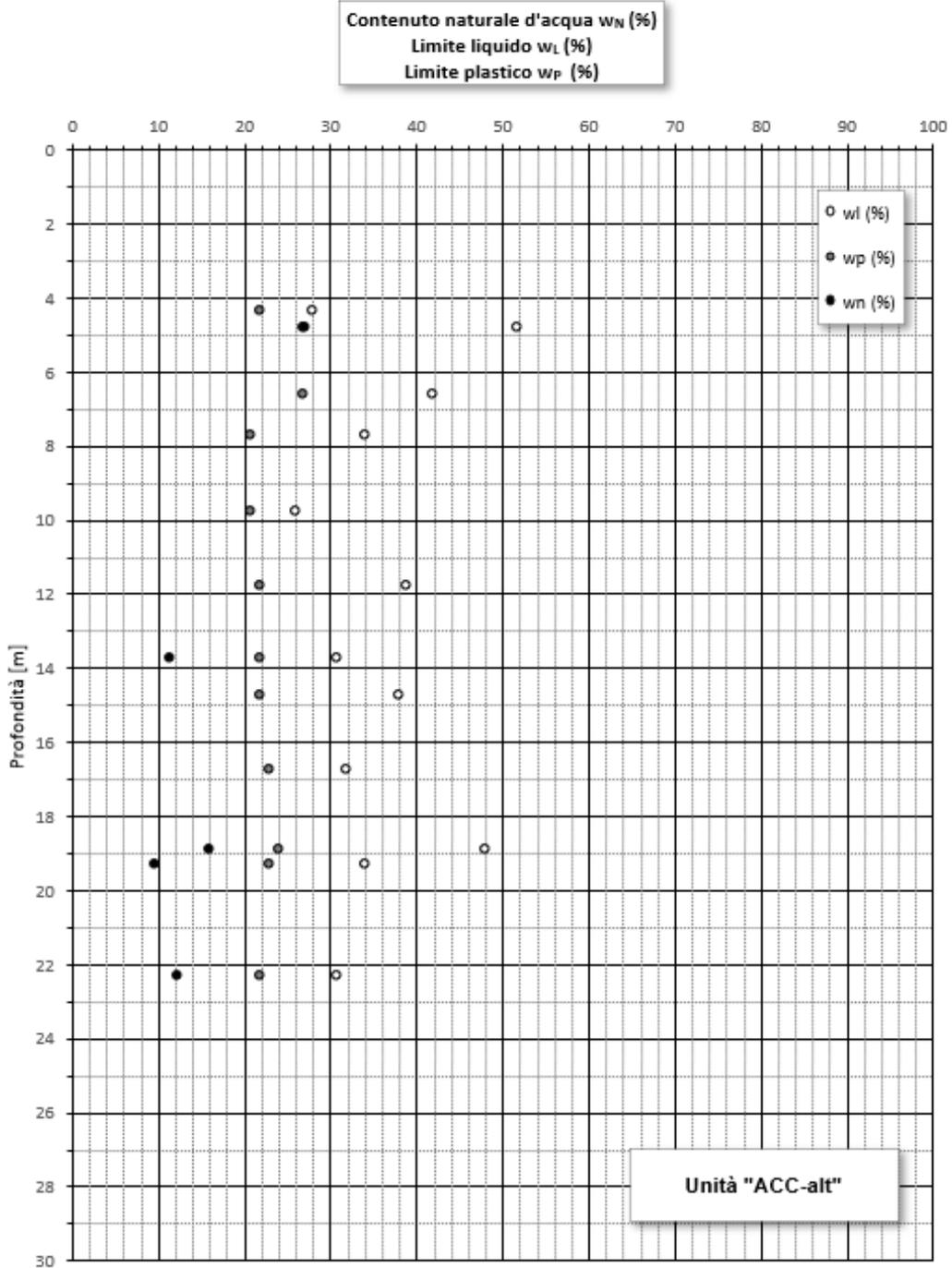


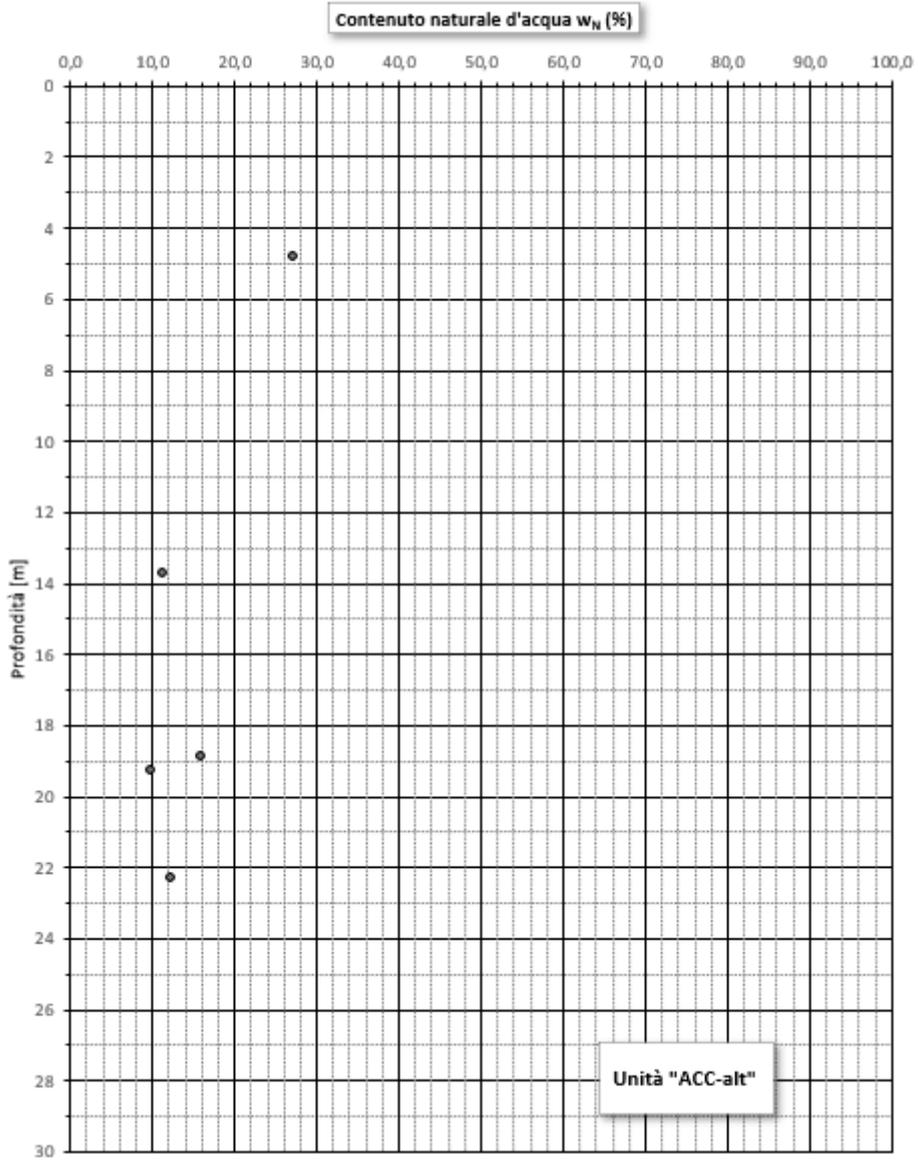
**Coesione efficace e coesione residua
 c' e c_r (KPa)**



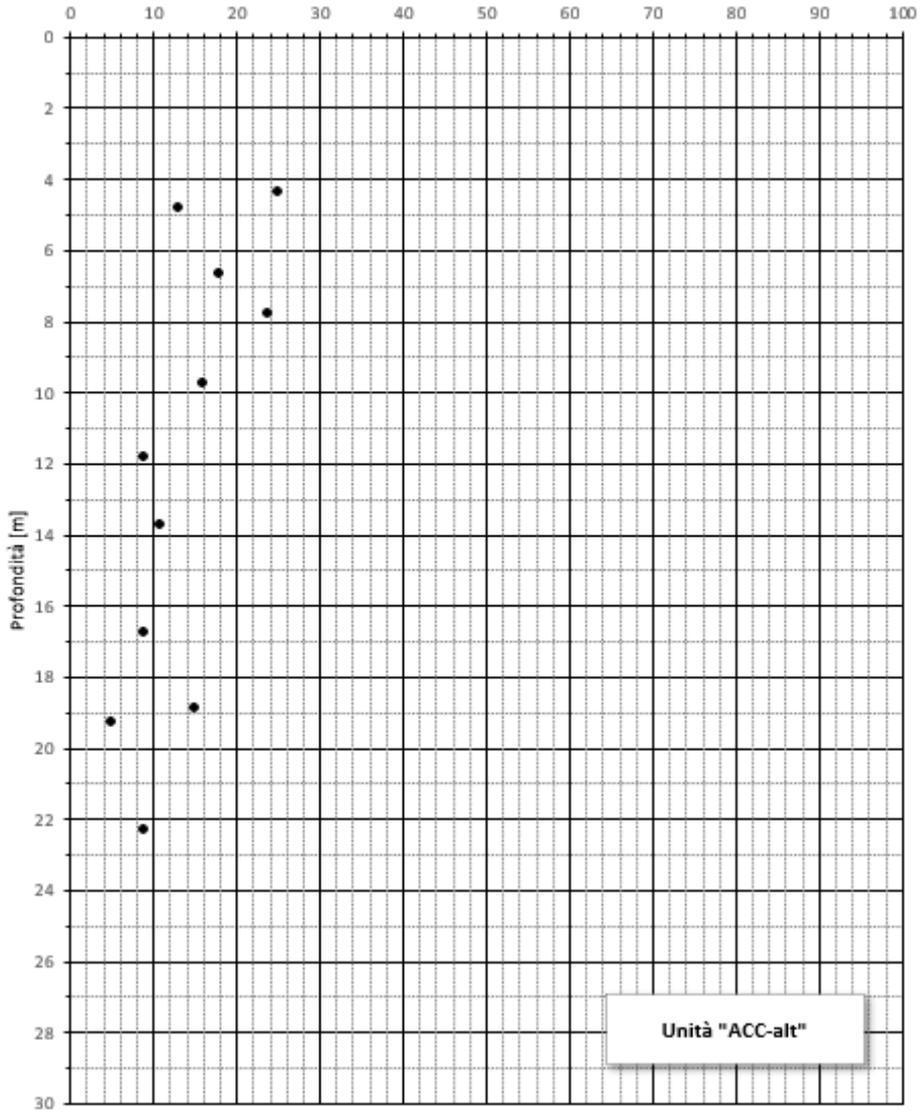


19.4 Unità "ACC alt"



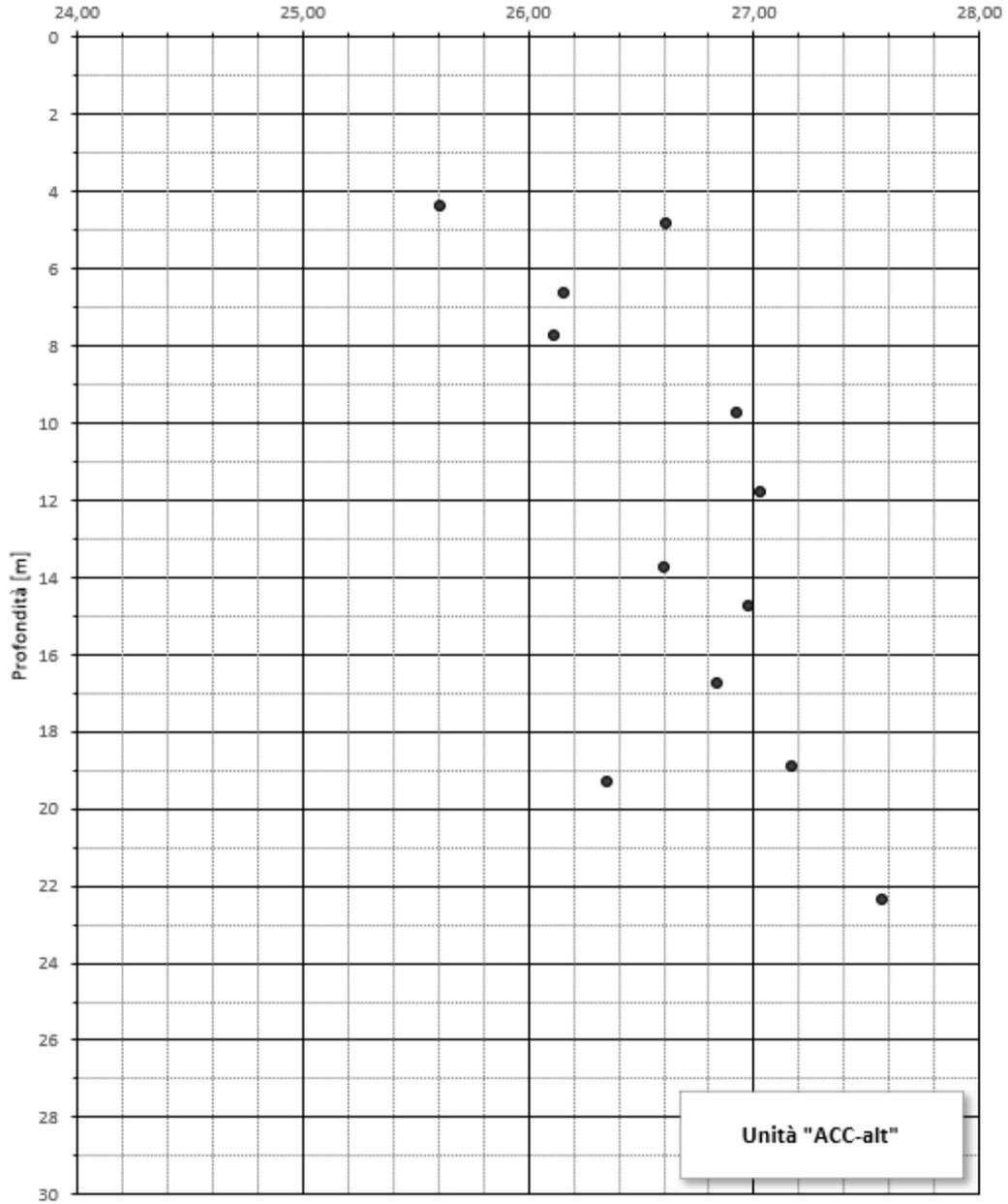


Indice di plasticità I_p (%)



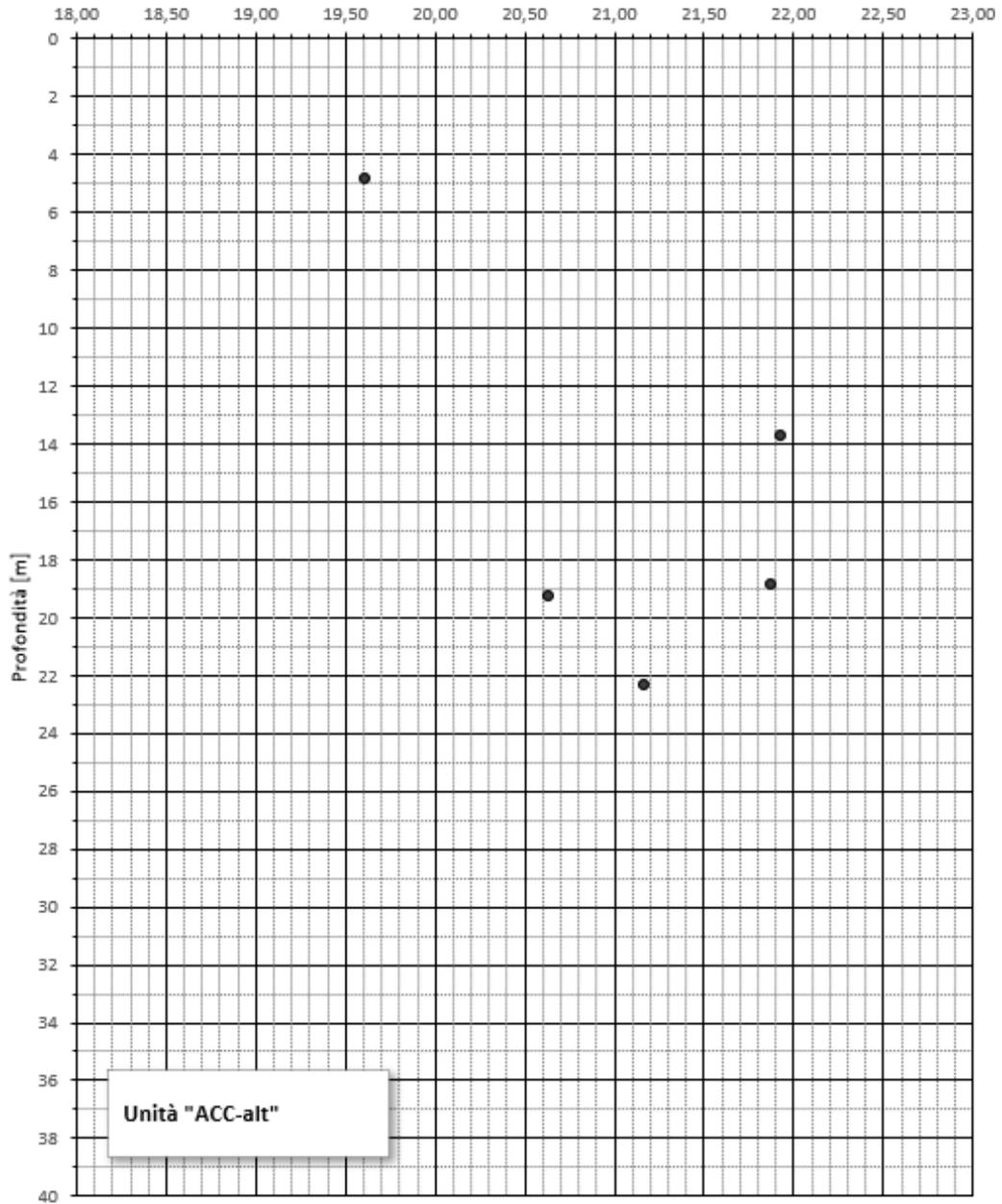


Peso specifico dei granuli γ_s (KN/m³)



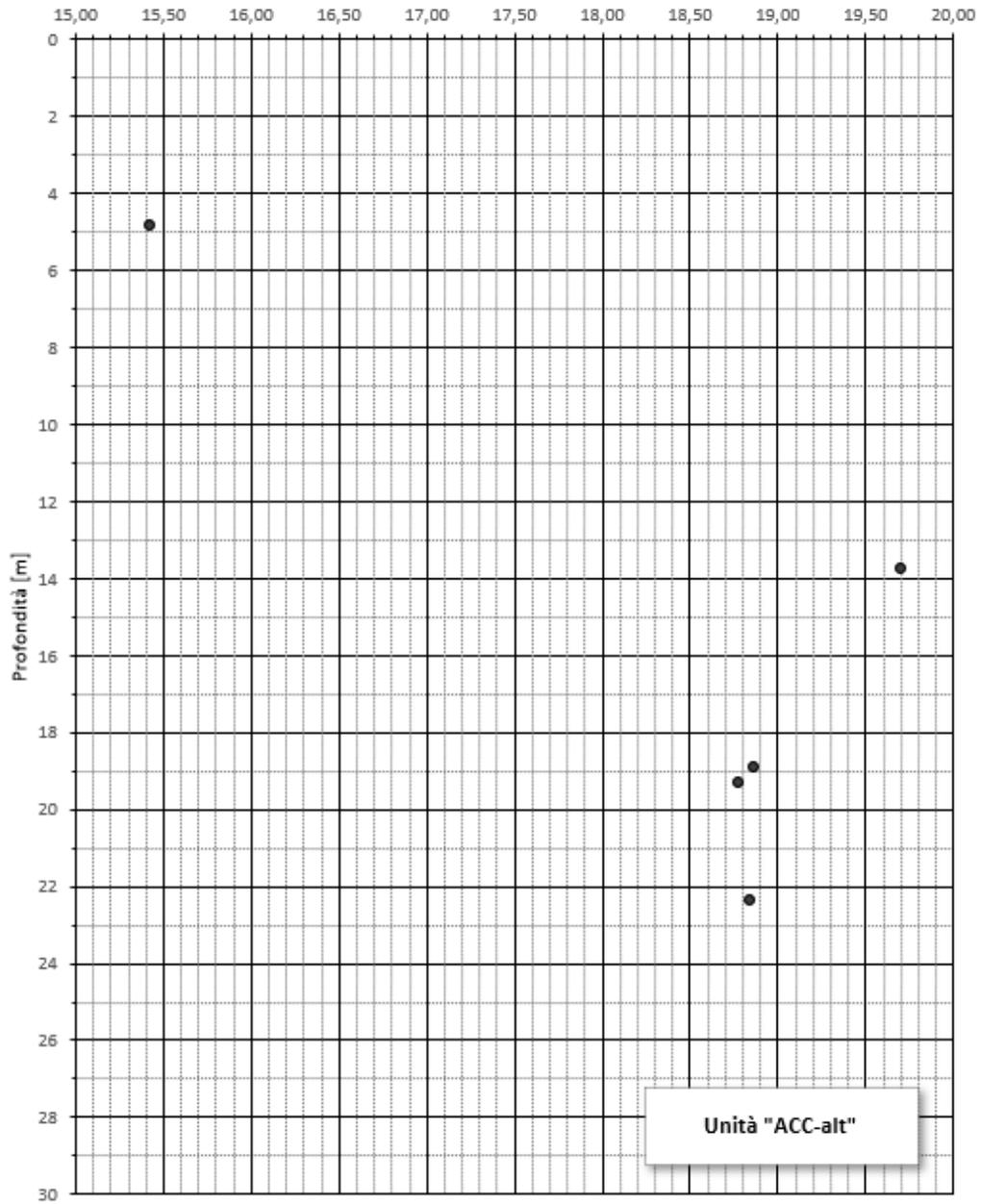


Peso di volume naturale γ_N (KN/m³)

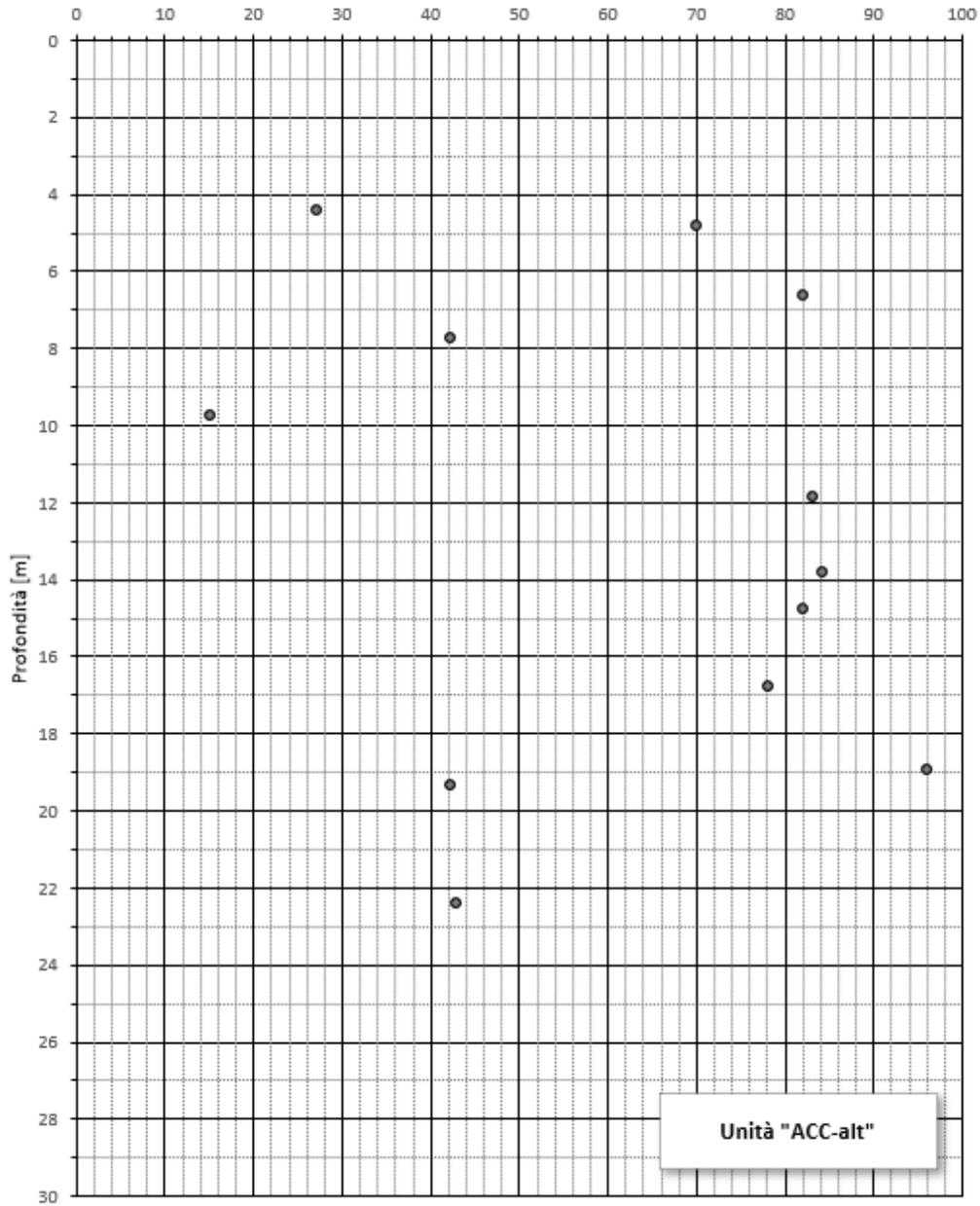




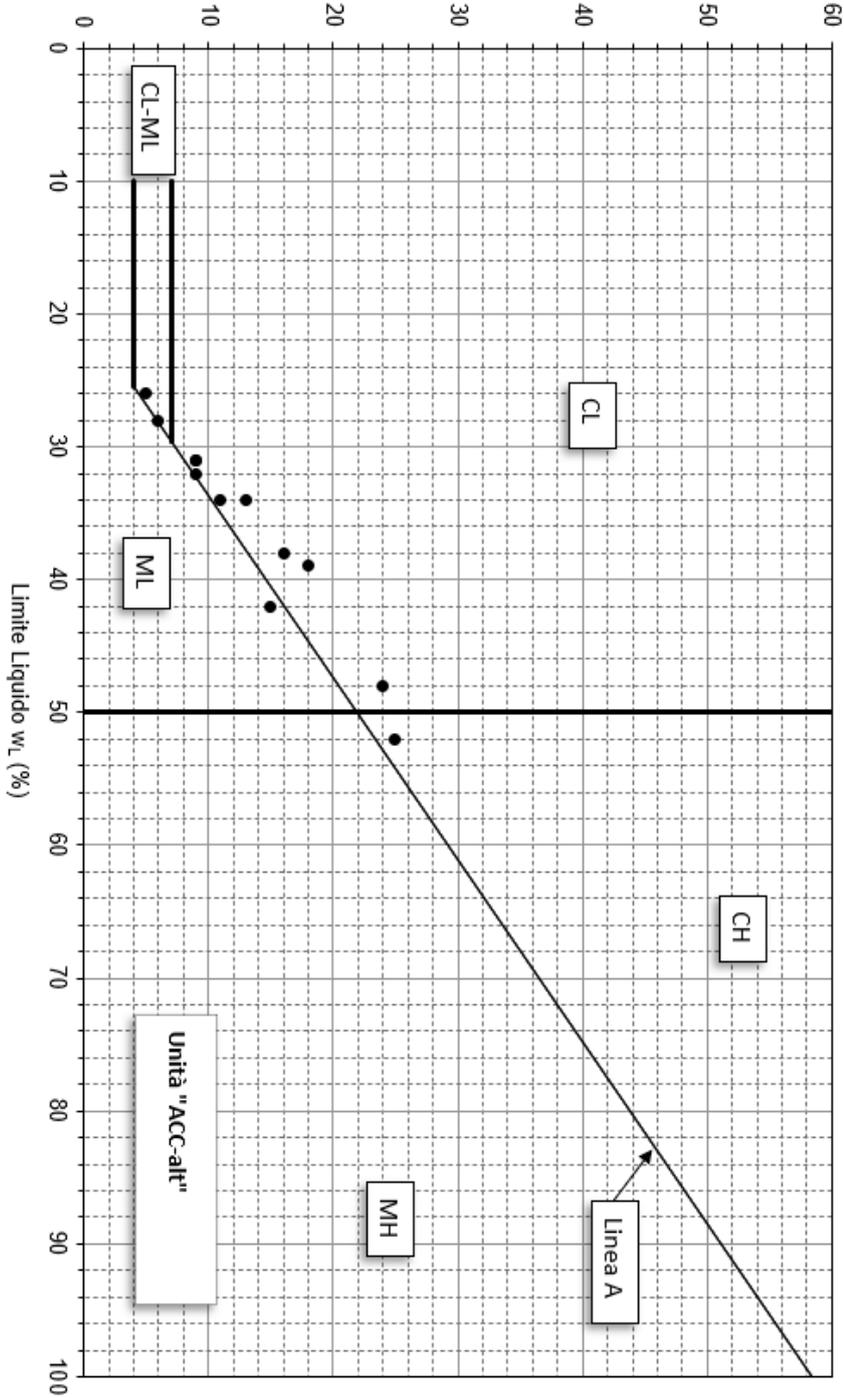
Peso di volume secco γ_d (KN/m³)



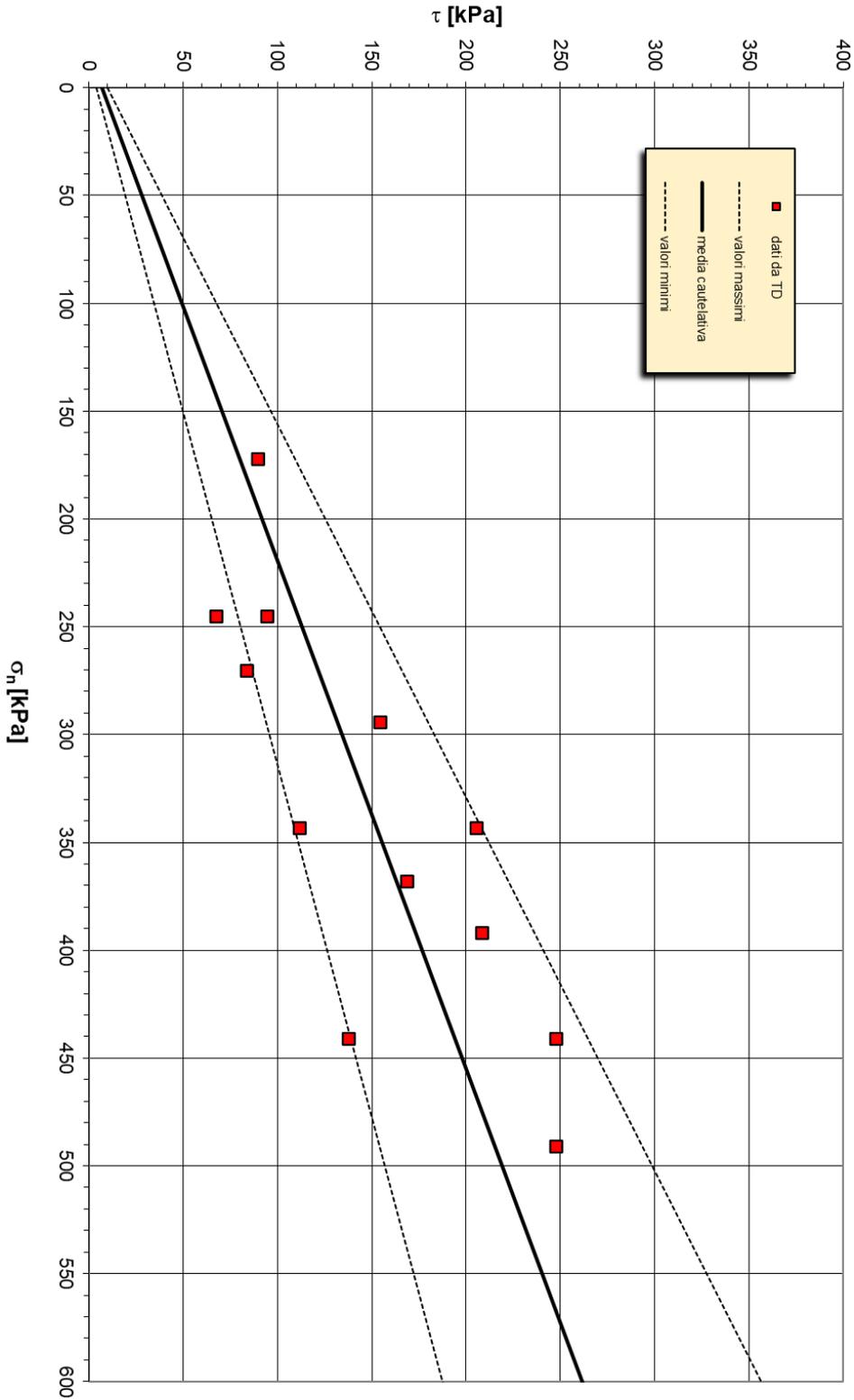
Frazione di materiale fine < 0.075 mm (%)



Indice di Plasticità Ip (%)

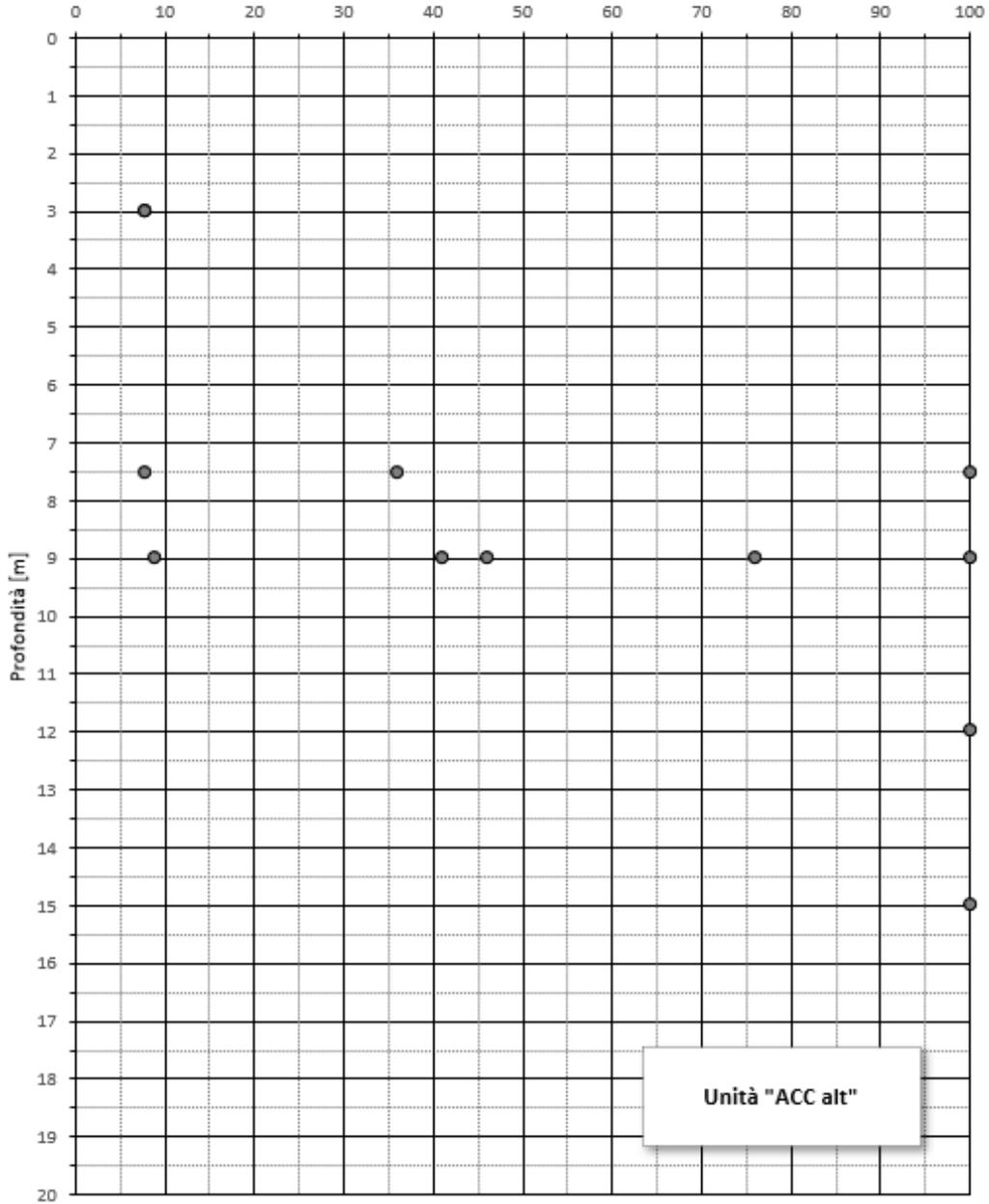


Carta di Plasticità



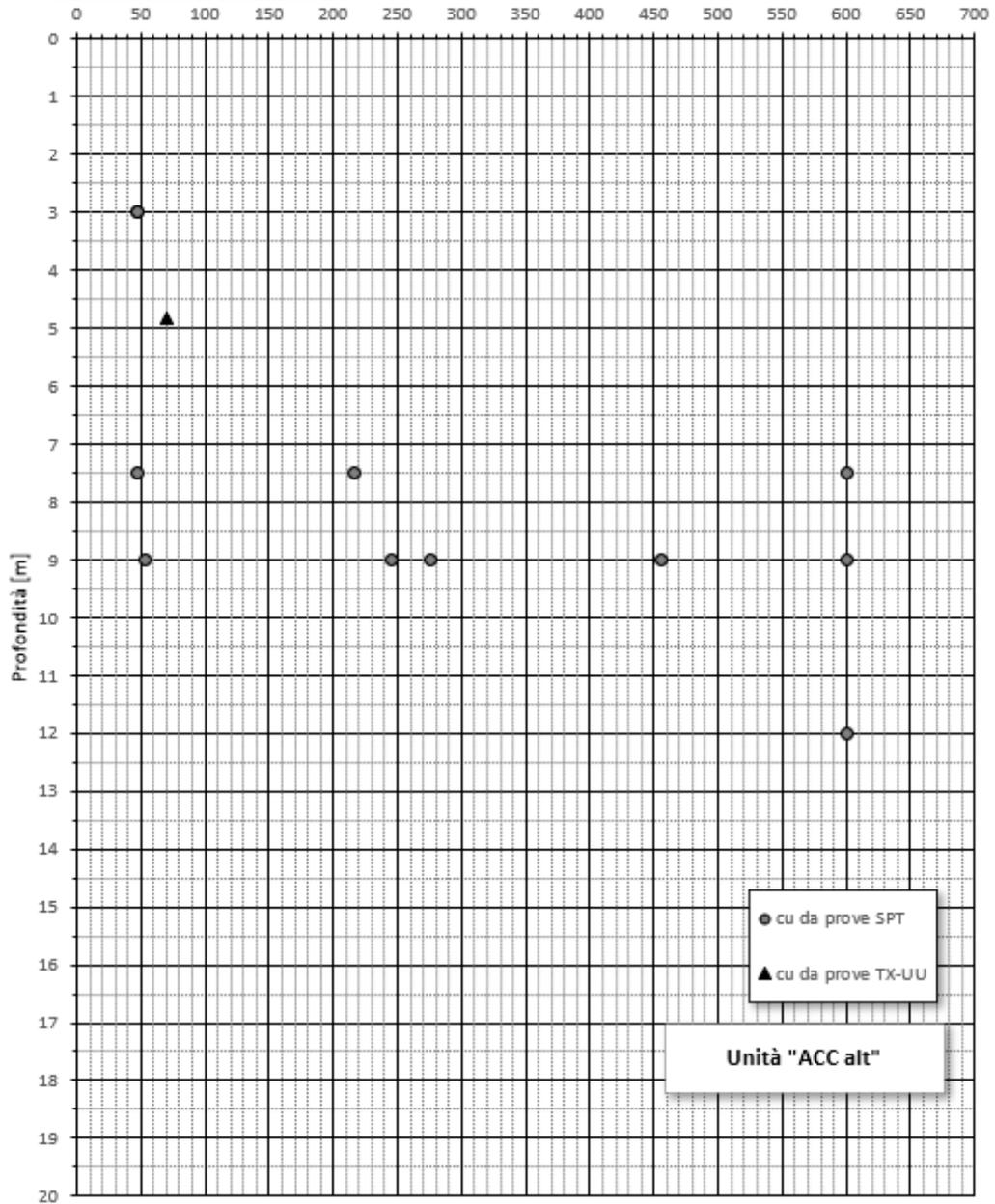
Resistenza al taglio da prove di taglio diretto - Argille e calcari di Canetolo alterati (ACC alt)

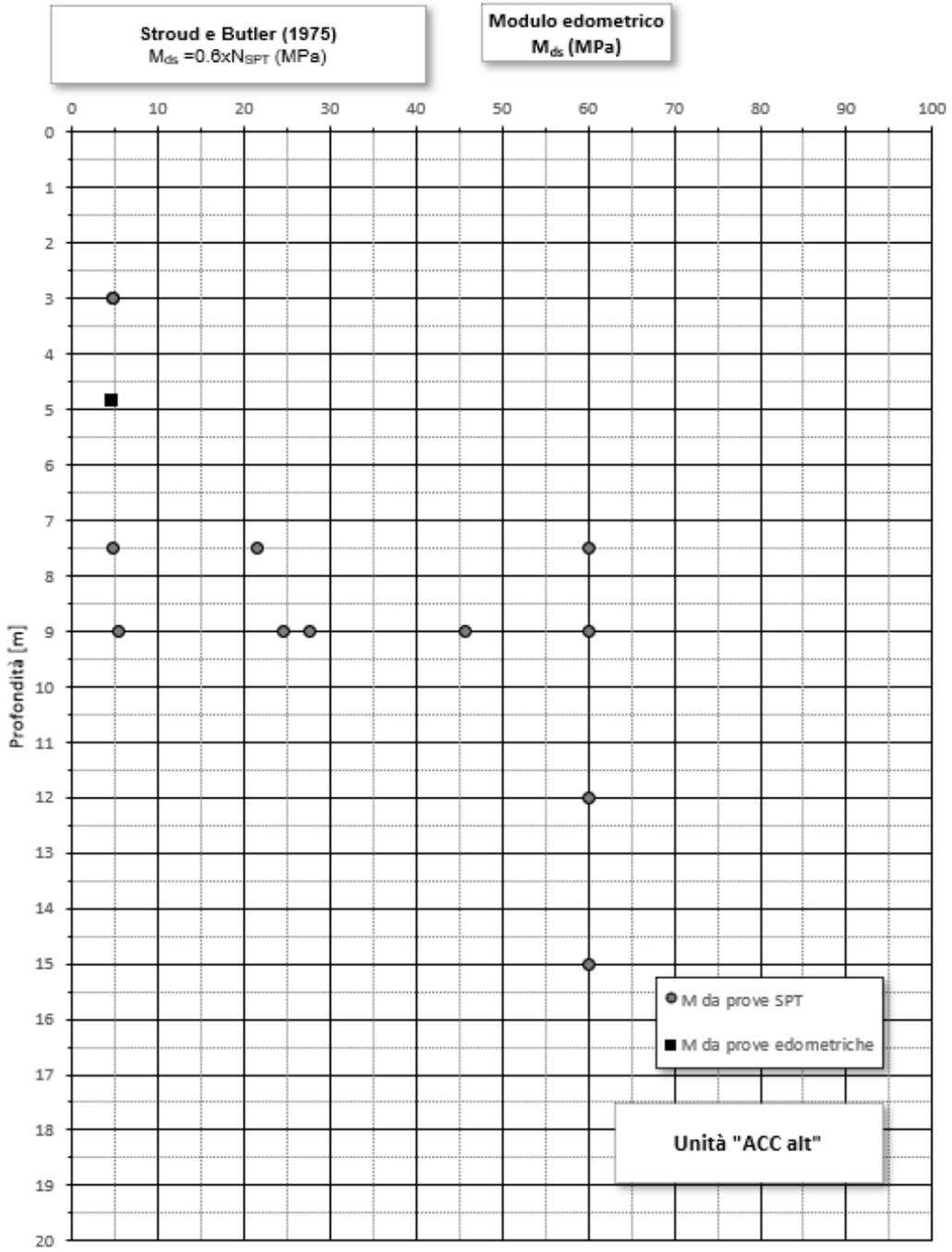
N° di colpi SPT (colpi/0.3m)



Jamiolkowki, et al. (1985)
 $c_u (NC) = 0.2 \times \sigma'_{vd}$ (kPa)
Kulhawy and Mayne (1990)
 $c_u = 6 \times N_{SPT}$ (kPa)

Coesione non drenata c_u (kPa)





CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	255 di 351
			Data 02/2024	

20 APPENDICE 2 – TABULATI DI CALCOLO VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI DI SCAVO PROVVISORIALI E DEFINITIVI

20.1 Sezione Spalla 2 – Viadotto Sieve 1

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

-
- File Name: Sezione longitudinale Spalla 2 - Viadotto Sieve 1.slim
 - Slide Modeler Version: 6.008
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: days
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Left to Right
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALORI AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Material Properties

Property	ACC alt
Color	
Strength Type	Undrained
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]	20
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	21
Cohesion Type	71
Water Surface	None
Ru Value	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 3.975760
- Center: 12.699, 114.911
- Radius: 12.651
- Left Slip Surface Endpoint: 0.415, 111.884
- Right Slip Surface Endpoint: 22.247, 106.611
- Resisting Moment=24812.6 kN-m
- Driving Moment=6240.96 kN-m

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	B
					Data
					02/2024

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 2339
- Number of Invalid Surfaces: 2512

Error Codes:

- Error Code -103 reported for 2 surfaces
- Error Code -107 reported for 53 surfaces
- Error Code -108 reported for 372 surfaces
- Error Code -112 reported for 13 surfaces
- Error Code -114 reported for 481 surfaces
- Error Code -115 reported for 73 surfaces
- Error Code -1000 reported for 1518 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- -107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- -112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1+\tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 3.97576

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.873287	21.1976	ACC alt	71	0	17.8582	71	-25.5601	0	-25.5601
2	0.873287	55.7389	ACC alt	71	0	17.8582	71	32.384	0	32.384
3	0.873287	79.1572	ACC alt	71	0	17.8582	71	66.8559	0	66.8559
4	0.873287	97.3008	ACC alt	71	0	17.8582	71	92.3283	0	92.3283

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	B	258 di 351
				Data 02/2024	

5	0.873287	112.005	ACC alt	71	0	17.8582	71	112.524	0	112.524
6	0.873287	124.155	ACC alt	71	0	17.8582	71	129.057	0	129.057
7	0.873287	134.451	ACC alt	71	0	17.8582	71	143.01	0	143.01
8	0.873287	143.291	ACC alt	71	0	17.8582	71	154.993	0	154.993
9	0.873287	150.56	ACC alt	71	0	17.8582	71	164.969	0	164.969
10	0.873287	152.059	ACC alt	71	0	17.8582	71	168.187	0	168.187
11	0.873287	146.636	ACC alt	71	0	17.8582	71	163.374	0	163.374
12	0.873287	139.971	ACC alt	71	0	17.8582	71	157.064	0	157.064
13	0.873287	132.143	ACC alt	71	0	17.8582	71	149.373	0	149.373
14	0.873287	123.183	ACC alt	71	0	17.8582	71	140.357	0	140.357
15	0.873287	113.108	ACC alt	71	0	17.8582	71	130.055	0	130.055
16	0.873287	101.923	ACC alt	71	0	17.8582	71	118.489	0	118.489
17	0.873287	89.6117	ACC alt	71	0	17.8582	71	105.659	0	105.659
18	0.873287	76.1461	ACC alt	71	0	17.8582	71	91.5546	0	91.5546
19	0.873287	66.8079	ACC alt	71	0	17.8582	71	82.2467	0	82.2467
20	0.873287	61.0092	ACC alt	71	0	17.8582	71	77.0929	0	77.0929
21	0.873287	53.8138	ACC alt	71	0	17.8582	71	70.4818	0	70.4818
22	0.873287	45.0685	ACC alt	71	0	17.8582	71	62.2957	0	62.2957
23	0.873287	34.5796	ACC alt	71	0	17.8582	71	52.4007	0	52.4007
24	0.873287	22.4301	ACC alt	71	0	17.8582	71	41.035	0	41.035
25	0.873287	7.93739	ACC alt	71	0	17.8582	71	27.6758	0	27.6758

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 3.97576

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	0.414751	111.884	0	0	0
2	1.28804	109.447	-77.8831	0	0
3	2.16133	107.91	-43.6856	0	0
4	3.03461	106.747	18.4862	0	0
5	3.9079	105.813	89.0855	0	0
6	4.78119	105.044	160.058	0	0
7	5.65447	104.402	227.217	0	0
8	6.52776	103.867	288.195	0	0
9	7.40105	103.423	341.49	0	0
10	8.27433	103.059	385.899	0	0
11	9.14762	102.769	419.122	0	0
12	10.0209	102.547	439.788	0	0
13	10.8942	102.389	448.896	0	0
14	11.7675	102.294	447.497	0	0
15	12.6408	102.26	436.699	0	0
16	13.5141	102.286	417.701	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA D.VisionArchitecture		B	259 di 351
				Data 02/2024	

17	14.3873	102.373	391.809	0	0
18	15.2606	102.522	360.48	0	0
19	16.1339	102.735	325.365	0	0
20	17.0072	103.016	286.664	0	0
21	17.8805	103.37	243.807	0	0
22	18.7538	103.803	197.675	0	0
23	19.6271	104.326	149.521	0	0
24	20.5004	104.952	101.118	0	0
25	21.3736	105.702	54.7196	0	0
26	22.2469	106.611	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
1.20284e-009	104.135
11.9211	104.544
20.5245	104.767
30.3648	104.978
37.8552	105.307

External Boundary

X	Y
0	90
37.8552	90
37.8552	110.772
33.8563	110.575
27.9115	106.611
16.1115	106.611
8.33249	111.797
1.86265e-009	111.889

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	260 di 351
			Data 02/2024	

20.2 Sezione Spalla 1 – Viadotto Argomenna

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

-
- File Name: Sezione longitudinale Spalla 1 - Viadotto Argomenna.slim
 - Slide Modeler Version: 6.008
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: days
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Right to Left
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $m_{\alpha} < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None
-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	261 di 351
			Data 02/2024	

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Material Properties

Property	GLG alt	bn
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	25	18
Saturated Unit Weight [kN/m3]	26	21
Cohesion [kPa]	41	4
Friction Angle [deg]	39.6	29.3
Water Surface	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.755640
- Center: 24.704, 121.410
- Radius: 7.961
- Left Slip Surface Endpoint: 25.042, 113.456
- Right Slip Surface Endpoint: 30.997, 116.534
- Resisting Moment=616.71 kN-m
- Driving Moment=351.274 kN-m

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	B	262 di 351
				Data 02/2024	

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 2868
- Number of Invalid Surfaces: 1983

Error Codes:

- Error Code -103 reported for 4 surfaces
- Error Code -107 reported for 9 surfaces
- Error Code -108 reported for 744 surfaces
- Error Code -112 reported for 14 surfaces
- Error Code -114 reported for 917 surfaces
- Error Code -115 reported for 97 surfaces
- Error Code -1000 reported for 198 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- -107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
- -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
- -112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1+\tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.75564

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.238207	0.310873	bn	4	29.3	2.64686	4.64694	1.15283	0	1.15283
2	0.238207	0.917214	bn	4	29.3	3.41352	5.99292	3.55135	0	3.55135
3	0.238207	1.49262	bn	4	29.3	4.12566	7.24317	5.77928	0	5.77928
4	0.238207	2.03681	bn	4	29.3	4.78412	8.39919	7.83927	0	7.83927

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	 VA D'VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

5	0.238207	2.5494	bn	4	29.3	5.38958	9.46216	9.73345	0	9.73345
6	0.238207	3.02991	bn	4	29.3	5.94251	10.4329	11.4633	0	11.4633
7	0.238207	3.47776	bn	4	29.3	6.44322	11.312	13.0298	0	13.0298
8	0.238207	3.89226	bn	4	29.3	6.89183	12.0996	14.4333	0	14.4333
9	0.238207	4.27258	bn	4	29.3	7.28828	12.7956	15.6736	0	15.6736
10	0.238207	4.61778	bn	4	29.3	7.63232	13.3996	16.7499	0	16.7499
11	0.238207	4.92675	bn	4	29.3	7.92355	13.9109	17.661	0	17.661
12	0.238207	5.19819	bn	4	29.3	8.16135	14.3284	18.405	0	18.405
13	0.238207	5.43062	bn	4	29.3	8.34488	14.6506	18.9791	0	18.9791
14	0.238207	5.62232	bn	4	29.3	8.47304	14.8756	19.3801	0	19.3801
15	0.238207	5.77131	bn	4	29.3	8.54463	15.0013	19.6041	0	19.6041
16	0.238207	5.87525	bn	4	29.3	8.55796	15.0247	19.6459	0	19.6459
17	0.238207	5.93145	bn	4	29.3	8.51126	14.9427	19.4997	0	19.4997
18	0.238207	5.9367	bn	4	29.3	8.40212	14.7511	19.1583	0	19.1583
19	0.238207	5.88725	bn	4	29.3	8.228	14.4454	18.6135	0	18.6135
20	0.238207	5.69734	bn	4	29.3	7.89889	13.8676	17.5839	0	17.5839
21	0.238207	4.92121	bn	4	29.3	6.95283	12.2067	14.6241	0	14.6241
22	0.238207	3.98082	bn	4	29.3	5.85743	10.2835	11.1971	0	11.1971
23	0.238207	2.96068	bn	4	29.3	4.70971	8.26855	7.60648	0	7.60648
24	0.238207	1.85018	bn	4	29.3	3.50744	6.15781	3.84517	0	3.84517
25	0.238207	0.63542	bn	4	29.3	2.24854	3.94762	-0.0933381	0	-0.0933381

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.75564

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	25.0423	113.456	0	0	0
2	25.2805	113.47	0.613833	0	0
3	25.5187	113.491	1.35162	0	0
4	25.7569	113.519	2.17039	0	0
5	25.9952	113.554	3.03042	0	0
6	26.2334	113.597	3.89509	0	0
7	26.4716	113.647	4.73063	0	0
8	26.7098	113.706	5.50607	0	0
9	26.948	113.772	6.19311	0	0
10	27.1862	113.846	6.7661	0	0
11	27.4244	113.928	7.20198	0	0
12	27.6626	114.019	7.48038	0	0
13	27.9008	114.119	7.58366	0	0
14	28.139	114.228	7.49706	0	0
15	28.3772	114.347	7.20892	0	0
16	28.6154	114.476	6.71097	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture		B	264 di 351
				Data 02/2024	

17	28.8536	114.616	5.99872	0	0
18	29.0918	114.767	5.07199	0	0
19	29.33	114.931	3.93568	0	0
20	29.5682	115.108	2.60067	0	0
21	29.8065	115.299	1.11651	0	0
22	30.0447	115.506	-0.25746	0	0
23	30.2829	115.731	-1.37853	0	0
24	30.5211	115.975	-2.11601	0	0
25	30.7593	116.242	-2.30722	0	0
26	30.9975	116.534	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0.15	111.05
8.22259	111.694
14.6246	111.973
20.5071	112.323
24.8409	112.407
33.5827	112.534
39.0471	112.464

External Boundary

X	Y
0.25	99.9
39.0471	99.95
39.0471	112.312
39.0471	116.517
34.657	116.517
32.1933	116.517
29.6913	116.554
24.9071	113.366
23.9071	113.366
13.1071	113.366
11.5881	114.378
8.36046	116.53
6.54882	116.531
4.26948	116.585
0.15	116.791

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l. MANDANTI ETEVA s.r.l. ENERGIA VERDE E AMBIENTE sinèrgo D_VA DVisionArchitecture			REV. B	FOGLIO 265 di 351
	Data 02/2024				

0.15	115.319
0.15	99.95

Material Boundary

X	Y
0.15	115.319
11.5881	114.378

Material Boundary

X	Y
23.9071	113.366
39.0471	112.312

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	266 di 351
			Data 02/2024	

20.3 Sezione 56

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 56.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $m_{\alpha} < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None
-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	267 di 351
			Data 02/2024	

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

Material Properties

Property	r	ACC alt
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		20
Saturated Unit Weight [kN/m3]		21
Cohesion [kPa]	0	5.6
Friction Angle [deg]	29.3	18.8
Water Surface	None	Water Table
Hu Value		1
Ru Value	0	

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  D_VA DVisionArchitecture	B	268 di 351
			Data 02/2024	

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.205870
- Center: 51.829, 134.679
- Radius: 23.563
- Left Slip Surface Endpoint: 34.552, 118.657
- Right Slip Surface Endpoint: 51.520, 111.118
- Resisting Moment=6294.1 kN-m
- Driving Moment=5219.54 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 2551
- Number of Invalid Surfaces: 2300

Error Codes:

- Error Code -101 reported for 170 surfaces
- Error Code -105 reported for 58 surfaces
- Error Code -109 reported for 3 surfaces
- Error Code -113 reported for 64 surfaces
- Error Code -114 reported for 167 surfaces
- Error Code -115 reported for 111 surfaces
- Error Code -1000 reported for 1727 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- -109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  	 D Vision Architecture	B	269 di 351
				Data 02/2024	

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.20587

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.665502	4.43446	r	0	29.3	10.2659	12.3793	22.0596	0	22.0596
2	0.665502	13.8139	r	0	29.3	7.10057	8.56236	15.2579	0	15.2579
3	0.665502	21.6589	r	0	29.3	10.7308	12.94	23.0589	0	23.0589
4	0.665502	27.5121	r	0	29.3	13.925	16.7917	29.9226	0	29.9226
5	0.665502	28.8736	r	0	29.3	14.9081	17.9772	32.035	0	32.035
6	0.665502	29.4812	r	0	29.3	15.5093	18.7022	33.327	0	33.327
7	0.665502	29.6274	r	0	29.3	15.8646	19.1306	34.0904	0	34.0904
8	0.665502	29.3434	r	0	29.3	15.9795	19.2692	34.3373	0	34.3373
9	0.665502	28.656	r	0	29.3	15.8587	19.1235	34.0777	0	34.0777
10	0.665502	27.5879	r	0	29.3	15.506	18.6982	33.3198	0	33.3198
11	0.665502	26.1588	r	0	29.3	14.9242	17.9967	32.0698	0	32.0698
12	0.665502	24.3857	r	0	29.3	14.1159	17.0219	30.3326	0	30.3326
13	0.665502	22.2831	r	0	29.3	13.082	15.7752	28.1111	0	28.1111
14	0.665502	19.8641	r	0	29.3	11.8237	14.2578	25.407	0	25.407
15	0.665502	17.6785	r	0	29.3	10.6657	12.8615	22.9189	0	22.9189
16	0.665502	19.5949	r	0	29.3	11.9798	14.4461	25.7428	0	25.7428
17	0.665502	22.193	r	0	29.3	13.7468	16.5769	29.5397	0	29.5397
18	0.665502	23.9856	r	0	29.3	15.0506	18.1491	32.3413	0	32.3413
19	0.665502	21.1117	r	0	29.3	13.4182	16.1806	28.8335	0	28.8335
20	0.665502	16.9833	r	0	29.3	10.9327	13.1834	23.4926	0	23.4926
21	0.665502	12.5915	r	0	29.3	8.20917	9.89919	17.6402	0	17.6402
22	0.665502	7.94014	r	0	29.3	5.2428	6.32213	11.2659	0	11.2659
23	0.665502	3.0324	r	0	29.3	2.02789	2.44537	4.3576	0	4.3576
24	0.830837	0.582533	ACC alt	5.6	18.8	4.75323	5.73178	0.387099	0	0.387099
25	0.830837	0.275606	ACC alt	5.6	18.8	4.69687	5.66382	0.187467	0	0.187467

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.20587

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	34.5517	118.657	0	0	0
2	35.2172	117.968	8.37454	0	0
3	35.8827	117.331	13.3611	0	0
4	36.5482	116.742	19.8088	0	0
5	37.2137	116.196	26.8986	0	0
6	37.8792	115.689	33.2396	0	0
7	38.5447	115.217	38.6383	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture		B	270 di 351
				Data 02/2024	

8	39.2102	114.78	43.0222	0	0
9	39.8758	114.373	46.3655	0	0
10	40.5413	113.995	48.6819	0	0
11	41.2068	113.646	50.0203	0	0
12	41.8723	113.323	50.4604	0	0
13	42.5378	113.025	50.1104	0	0
14	43.2033	112.751	49.105	0	0
15	43.8688	112.501	47.6035	0	0
16	44.5343	112.273	45.7321	0	0
17	45.1998	112.068	43.0672	0	0
18	45.8653	111.883	39.3807	0	0
19	46.5308	111.719	34.673	0	0
20	47.1963	111.576	29.89	0	0
21	47.8618	111.452	25.5243	0	0
22	48.5273	111.348	21.8999	0	0
23	49.1928	111.264	19.367	0	0
24	49.8583	111.199	18.3038	0	0
25	50.6891	111.144	14.3803	0	0
26	51.52	111.118	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	114.734
14.5638	111.592
22.716	109.612
26.9365	108.961
30	108.516
37.3786	108.115
48.5678	107.816
60	107.455

Line Load

X	Y
24.75	118.99
30	118.811
35.25	118.633

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VERDE E AMBIENTE	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture
				Data 02/2024

External Boundary

X	Y
0	117.734
0	94
60	94
60	110.455
58.6481	110.479
58.0926	110.537
57.765	110.53
56.2873	110.709
55.0018	110.864
54.4707	110.868
53.8454	111
52.9983	111.014
49.8612	111.235
46.25	113.643
44.25	113.643
36.75	118.643
35.25	118.703
35.25	118.633
30	118.811
24.75	118.99
24.75	119.06
23.25	119
16.1612	114.271
15.215	114.502
15	114.533
13.6931	114.694
13.1432	115
12.4861	115.035
12.2305	115.031
10.3896	115.395
9.44667	115.52
8.07962	116
7.35989	116.023
5.22298	116.455
3.27693	117

Material Boundary

X	Y
16.035	113.275
16.1612	114.271
16.5974	114.205

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 272 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VERDE ALTERNATIVE	 sinèrgo ENERGIA	D_VA DVisionArchitecture
			Data 02/2024	

17.9313	114
18.2493	113.837
18.7129	113.726
19.4499	113.483
20.7488	113
21.027	112.851
23.0498	112.313
25.0556	112
25.6568	111.772
26.2926	111.559
28.4734	111.314
28.8703	111.398
29.655	111.471
30	111.516
30.946	111.642
31.6188	111.587
32.3138	111.622
32.9888	111.529
33.5446	111.499
34.4122	111.531
35	111.51
35.25	111.52
35.7953	111.539
36.3713	111.52
36.6822	111.496
36.9609	111.453
37.5353	111.392
37.9515	111.377
38.3119	111.342
39.0108	111.447
39.8307	111.414
39.9177	111.411
40.7575	111.499
41.46	111.601
41.6395	111.574
42.0572	111.63
42.2707	111.586
42.6799	111.622
43.4195	111.487
44.25	111.524
44.7669	111.532
45.3949	111.445
46.25	111.433
46.5273	111.43
49.2684	111.27

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	273 di 351
			Data 02/2024	

49.8612 111.235

Material Boundary

X	Y
16.035	113.275
16.4712	113.208
17.7247	113.016
18.0242	112.862
18.5262	112.743
19.234	112.509
20.4922	112.041
20.7918	111.88
22.8963	111.32
24.8767	111.012
25.4384	110.799
26.1339	110.566
28.4476	110.306
28.8949	110.401
29.6603	110.471
30.0152	110.518
30.9084	110.637
31.5606	110.584
32.2415	110.618
32.8909	110.528
33.4902	110.497
34.3618	110.528
34.9514	110.507
35.2189	110.518
35.7453	110.536
36.2932	110.519
36.574	110.496
36.8462	110.455
37.4496	110.391
37.868	110.376
38.2745	110.336
38.9877	110.443
39.7607	110.412
39.8838	110.408
40.769	110.501
41.4091	110.593
41.5856	110.567
41.9889	110.621
42.1916	110.579
42.6061	110.616

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 274 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI   		Data 02/2024	

43.3349	110.482
44.2144	110.522
44.6858	110.529
45.3066	110.443
46.1939	110.43
46.4602	110.428
49.1888	110.269
49.7816	110.234
49.8612	111.235

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	275 di 351
			Data 02/2024	

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

-
- File Name: Sezione 56_sisma+.slim
 - Slide Modeler Version: 6.008
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: days
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Left to Right
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None
-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALORI AMBIENTE	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.101
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.05
- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m²]: 4
- Orientation: Vertical

Material Properties

Property	r	ACC alt
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]		20
Saturated Unit Weight [kN/m ³]		21
Cohesion [kPa]	0	7
Friction Angle [deg]	35	23
Water Surface	None	Water Table
Hu Value		1
Ru Value	0	

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	277 di 351
			Data 02/2024	

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.233140
- Center: 52.060, 133.581
- Radius: 22.474
- Left Slip Surface Endpoint: 35.250, 118.664
- Right Slip Surface Endpoint: 51.604, 111.111
- Left Slope Intercept: 35.250 118.703
- Right Slope Intercept: 51.604 111.111
- Resisting Moment=6140.63 kN-m
- Driving Moment=4979.67 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 3028
- Number of Invalid Surfaces: 1823

Error Codes:

- Error Code -101 reported for 214 surfaces
- Error Code -105 reported for 63 surfaces
- Error Code -109 reported for 1 surface
- Error Code -113 reported for 36 surfaces
- Error Code -114 reported for 201 surfaces
- Error Code -115 reported for 153 surfaces
- Error Code -1000 reported for 1155 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
 - -105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
 - -109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
 - -113 = Surface intersects outside slope limits.
 - -114 = Surface with Reverse Curvature.
 - -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
 - -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.
-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  	 D.VisionArchitecture	B	278 di 351
				Data 02/2024	

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.23314

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.664048	5.0906	r	0	35	2.8363	3.49756	4.99503	0	4.99503
2	0.664048	13.8638	r	0	35	7.97126	9.82968	14.0382	0	14.0382
3	0.664048	20.388	r	0	35	12.0629	14.8753	21.2442	0	21.2442
4	0.664048	22.4384	r	0	35	13.6308	16.8087	24.0053	0	24.0053
5	0.664048	23.7181	r	0	35	14.7657	18.2082	26.004	0	26.004
6	0.664048	24.4644	r	0	35	15.5844	19.2178	27.4459	0	27.4459
7	0.664048	24.7201	r	0	35	16.0931	19.845	28.3417	0	28.3417
8	0.664048	24.5209	r	0	35	16.2965	20.0959	28.6999	0	28.6999
9	0.664048	23.8969	r	0	35	16.1986	19.9751	28.5274	0	28.5274
10	0.664048	22.8734	r	0	35	15.8021	19.4862	27.8292	0	27.8292
11	0.664048	21.4722	r	0	35	15.1088	18.6313	26.6082	0	26.6082
12	0.664048	19.7119	r	0	35	14.1194	17.4112	24.8657	0	24.8657
13	0.664048	17.6087	r	0	35	12.8337	15.8257	22.6015	0	22.6015
14	0.664048	15.7633	r	0	35	11.6854	14.4097	20.5792	0	20.5792
15	0.664048	17.9939	r	0	35	13.563	16.7251	23.886	0	23.886
16	0.664048	20.8175	r	0	35	15.9511	19.6699	28.0916	0	28.0916
17	0.664048	22.7874	r	0	35	17.7459	21.8832	31.2525	0	31.2525
18	0.664048	20.0827	r	0	35	15.8932	19.5985	27.9896	0	27.9896
19	0.664048	16.1564	r	0	35	12.992	16.021	22.8804	0	22.8804
20	0.664048	11.9526	r	0	35	9.76613	12.043	17.1992	0	17.1992
21	0.664048	7.4761	r	0	35	6.20675	7.65379	10.9307	0	10.9307
22	0.664048	2.73074	r	0	35	2.30366	2.84073	4.05699	0	4.05699
23	0.581814	0.27492	ACC alt	7	23	5.68082	7.00525	0.0123657	0	0.0123657
24	0.581814	0.286873	ACC alt	7	23	5.73802	7.07578	0.178535	0	0.178535
25	0.581814	0.124934	ACC alt	7	23	5.68919	7.01557	0.0366822	0	0.0366822

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.23314

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	35.25	118.664	0	0	0
2	35.914	117.948	2.21244	0	0
3	36.5781	117.29	7.56487	0	0
4	37.2421	116.684	14.508	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	 VA DVisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

5	37.9062	116.124	21.1826	0	0
6	38.5702	115.606	27.2632	0	0
7	39.2343	115.126	32.5696	0	0
8	39.8983	114.682	36.9889	0	0
9	40.5624	114.271	40.4645	0	0
10	41.2264	113.89	42.988	0	0
11	41.8905	113.539	44.593	0	0
12	42.5545	113.216	45.3507	0	0
13	43.2186	112.919	45.367	0	0
14	43.8826	112.647	44.7796	0	0
15	44.5467	112.4	43.7177	0	0
16	45.2107	112.176	41.8945	0	0
17	45.8748	111.975	39.0774	0	0
18	46.5388	111.796	35.2152	0	0
19	47.2029	111.638	31.1203	0	0
20	47.8669	111.501	27.2641	0	0
21	48.531	111.386	23.99	0	0
22	49.195	111.29	21.6743	0	0
23	49.8591	111.215	20.7288	0	0
24	50.4409	111.165	17.458	0	0
25	51.0227	111.131	14.1607	0	0
26	51.6045	111.111	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	114.734
14.5638	111.592
22.716	109.612
26.9365	108.961
30	108.516
37.3786	108.115
48.5678	107.816
60	107.455

Line Load

X	Y
24.75	118.99
30	118.811

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	280 di 351
			Data 02/2024	

35.25 118.633

External Boundary

X	Y
0	117.734
0	94
60	94
60	110.455
58.6481	110.479
58.0926	110.537
57.765	110.53
56.2873	110.709
55.0018	110.864
54.4707	110.868
53.8454	111
52.9983	111.014
50	111.224
49.8612	111.235
46.25	113.643
44.25	113.643
36.75	118.643
35.25	118.703
35.25	118.633
30	118.811
24.75	118.99
24.75	119.06
23.25	119
16.1612	114.271
15.215	114.502
15	114.533
13.6931	114.694
13.1432	115
12.4861	115.035
12.2305	115.031
10.3896	115.395
9.44667	115.52
8.07962	116
7.35989	116.023
5.22298	116.455
3.27693	117

Material Boundary

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 281 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	Data 02/2024	

X	Y
16.009	113.269
16.1612	114.271
16.5974	114.205
17.9313	114
18.2493	113.837
18.7129	113.726
19.4499	113.483
20.7488	113
21.027	112.851
23.0498	112.313
25.0556	112
25.6568	111.772
26.2926	111.559
28.4734	111.314
28.8703	111.398
29.655	111.471
30	111.516
30.946	111.642
31.6188	111.587
32.3138	111.622
32.9888	111.529
33.5446	111.499
34.4122	111.531
35	111.51
35.25	111.52
35.7953	111.539
36.3713	111.52
36.6822	111.496
36.9609	111.453
37.5353	111.392
37.9515	111.377
38.3119	111.342
39.0108	111.447
39.8307	111.414
39.9177	111.411
40.7575	111.499
41.46	111.601
41.6395	111.574
42.0572	111.63
42.2707	111.586
42.6799	111.622
43.4195	111.487
44.25	111.524
44.7669	111.532

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinergo  VA DVisionArchitecture	B	282 di 351
			Data 02/2024	

45.3949	111.445
46.25	111.433
46.5273	111.43
49.2684	111.27
49.8612	111.235

Material Boundary

X	Y
16.009	113.269
16.4452	113.202
17.6987	113.01
17.9982	112.856
18.5002	112.737
19.208	112.503
20.4662	112.035
20.7658	111.874
22.8703	111.314
24.8507	111.006
25.4124	110.793
26.1079	110.56
28.4216	110.3
28.8689	110.395
29.6343	110.465
29.9892	110.512
30.8824	110.631
31.5346	110.578
32.2155	110.612
32.8649	110.522
33.4642	110.491
34.3358	110.522
34.9254	110.501
35.1929	110.512
35.7193	110.53
36.2672	110.513
36.548	110.49
36.8202	110.449
37.4236	110.385
37.842	110.37
38.2485	110.33
38.9617	110.437
39.7347	110.406
39.8578	110.402
40.743	110.495
41.3831	110.587

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 283 di 351
	MANDATARIA 	MANDANTI   	Data 02/2024		

41.5596	110.561
41.9629	110.615
42.1656	110.573
42.5801	110.61
43.3089	110.476
44.1884	110.516
44.6598	110.523
45.2806	110.437
46.1679	110.424
46.4342	110.422
49.1628	110.263
49.7556	110.228
49.8612	111.235

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D.VisionArchitecture	B	284 di 351
			Data 02/2024	

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

-
- File Name: Sezione 56_sisma-.slim
 - Slide Modeler Version: 6.008
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: days
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Left to Right
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $m\alpha < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	285 di 351
			Data 02/2024	

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.101
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.05
- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 4
- Orientation: Vertical

Material Properties

Property	r	ACC alt
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		20
Saturated Unit Weight [kN/m3]		21
Cohesion [kPa]	0	7
Friction Angle [deg]	35	23
Water Surface	None	Water Table
Hu Value		1
Ru Value	0	

Global Minimums

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinergo  VA DVisionArchitecture	B	286 di 351
			Data 02/2024	

Method: bishop simplified

- FS: 1.215200
- Center: 52.060, 133.581
- Radius: 22.474
- Left Slip Surface Endpoint: 35.250, 118.664
- Right Slip Surface Endpoint: 51.604, 111.111
- Left Slope Intercept: 35.250 118.703
- Right Slope Intercept: 51.604 111.111
- Resisting Moment=5563.76 kN-m
- Driving Moment=4578.47 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 3028
- Number of Invalid Surfaces: 1823

Error Codes:

- Error Code -101 reported for 214 surfaces
- Error Code -105 reported for 63 surfaces
- Error Code -109 reported for 1 surface
- Error Code -113 reported for 36 surfaces
- Error Code -114 reported for 201 surfaces
- Error Code -115 reported for 153 surfaces
- Error Code -1000 reported for 1155 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- -109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  	 D Vision Architecture	B	287 di 351
				Data 02/2024	

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.2152

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.664048	5.0906	r	0	35	2.58931	3.14653	4.4937	0	4.4937
2	0.664048	13.8638	r	0	35	7.27925	8.84574	12.6331	0	12.6331
3	0.664048	20.388	r	0	35	11.0188	13.39	19.1229	0	19.1229
4	0.664048	22.4384	r	0	35	12.4542	15.1343	21.614	0	21.614
5	0.664048	23.7181	r	0	35	13.4946	16.3986	23.4195	0	23.4195
6	0.664048	24.4644	r	0	35	14.2462	17.312	24.7241	0	24.7241
7	0.664048	24.7201	r	0	35	14.7146	17.8812	25.537	0	25.537
8	0.664048	24.5209	r	0	35	14.904	18.1113	25.8657	0	25.8657
9	0.664048	23.8969	r	0	35	14.8177	18.0065	25.7159	0	25.7159
10	0.664048	22.8734	r	0	35	14.4582	17.5696	25.092	0	25.092
11	0.664048	21.4722	r	0	35	13.8268	16.8023	23.9961	0	23.9961
12	0.664048	19.7119	r	0	35	12.924	15.7053	22.4295	0	22.4295
13	0.664048	17.6087	r	0	35	11.7496	14.2781	20.3913	0	20.3913
14	0.664048	15.7633	r	0	35	10.7005	13.0033	18.5706	0	18.5706
15	0.664048	17.9939	r	0	35	12.4226	15.0959	21.5592	0	21.5592
16	0.664048	20.8175	r	0	35	14.6128	17.7575	25.3602	0	25.3602
17	0.664048	22.7874	r	0	35	16.2605	19.7597	28.2199	0	28.2199
18	0.664048	20.0827	r	0	35	14.5658	17.7004	25.2788	0	25.2788
19	0.664048	16.1564	r	0	35	11.9096	14.4725	20.6689	0	20.6689
20	0.664048	11.9526	r	0	35	8.95441	10.8814	15.5401	0	15.5401
21	0.664048	7.4761	r	0	35	5.69209	6.91703	9.87854	0	9.87854
22	0.664048	2.73074	r	0	35	2.11312	2.56786	3.66728	0	3.66728
23	0.581814	0.27492	ACC alt	7	23	5.74619	6.98278	-0.040577	0	-0.040577
24	0.581814	0.286873	ACC alt	7	23	5.80411	7.05316	0.125235	0	0.125235
25	0.581814	0.124934	ACC alt	7	23	5.76479	7.00537	0.0126522	0	0.0126522

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.2152

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	35.25	118.664	0	0	0
2	35.914	117.948	2.01659	0	0
3	36.5781	117.29	6.902	0	0
4	37.2421	116.684	13.2494	0	0
5	37.9062	116.124	19.3627	0	0
6	38.5702	115.606	24.9446	0	0
7	39.2343	115.126	29.8301	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture		B	288 di 351
				Data 02/2024	

8	39.8983	114.682	33.9148	0	0
9	40.5624	114.271	37.1456	0	0
10	41.2264	113.89	39.5129	0	0
11	41.8905	113.539	41.0454	0	0
12	42.5545	113.216	41.806	0	0
13	43.2186	112.919	41.8889	0	0
14	43.8826	112.647	41.4176	0	0
15	44.5467	112.4	40.5098	0	0
16	45.2107	112.176	38.9194	0	0
17	45.8748	111.975	36.4372	0	0
18	46.5388	111.796	33.0136	0	0
19	47.2029	111.638	29.3688	0	0
20	47.8669	111.501	25.9262	0	0
21	48.531	111.386	22.9966	0	0
22	49.195	111.29	20.9206	0	0
23	49.8591	111.215	20.0717	0	0
24	50.4409	111.165	16.7595	0	0
25	51.0227	111.131	13.4211	0	0
26	51.6045	111.111	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	114.734
14.5638	111.592
22.716	109.612
26.9365	108.961
30	108.516
37.3786	108.115
48.5678	107.816
60	107.455

Line Load

X	Y
24.75	118.99
30	118.811
35.25	118.633

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	289 di 351
			Data 02/2024	

External Boundary

X	Y
0	117.734
0	94
60	94
60	110.455
58.6481	110.479
58.0926	110.537
57.765	110.53
56.2873	110.709
55.0018	110.864
54.4707	110.868
53.8454	111
52.9983	111.014
50	111.224
49.8612	111.235
46.25	113.643
44.25	113.643
36.75	118.643
35.25	118.703
35.25	118.633
30	118.811
24.75	118.99
24.75	119.06
23.25	119
16.1612	114.271
15.215	114.502
15	114.533
13.6931	114.694
13.1432	115
12.4861	115.035
12.2305	115.031
10.3896	115.395
9.44667	115.52
8.07962	116
7.35989	116.023
5.22298	116.455
3.27693	117

Material Boundary

X	Y
16.009	113.269
16.1612	114.271

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV. B	FOGLIO 290 di 351
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VALORI AMBIENTE	 sinèrgo ENERGIA	 VA DVisionArchitecture
			Data 02/2024	

16.5974	114.205
17.9313	114
18.2493	113.837
18.7129	113.726
19.4499	113.483
20.7488	113
21.027	112.851
23.0498	112.313
25.0556	112
25.6568	111.772
26.2926	111.559
28.4734	111.314
28.8703	111.398
29.655	111.471
30	111.516
30.946	111.642
31.6188	111.587
32.3138	111.622
32.9888	111.529
33.5446	111.499
34.4122	111.531
35	111.51
35.25	111.52
35.7953	111.539
36.3713	111.52
36.6822	111.496
36.9609	111.453
37.5353	111.392
37.9515	111.377
38.3119	111.342
39.0108	111.447
39.8307	111.414
39.9177	111.411
40.7575	111.499
41.46	111.601
41.6395	111.574
42.0572	111.63
42.2707	111.586
42.6799	111.622
43.4195	111.487
44.25	111.524
44.7669	111.532
45.3949	111.445
46.25	111.433
46.5273	111.43
49.2684	111.27

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA ENERGIA VERDE ITALIA ASSOCIATI	 sinèrgo	B
			Data 02/2024	

49.8612 111.235

Material Boundary

X	Y
16.009	113.269
16.4452	113.202
17.6987	113.01
17.9982	112.856
18.5002	112.737
19.208	112.503
20.4662	112.035
20.7658	111.874
22.8703	111.314
24.8507	111.006
25.4124	110.793
26.1079	110.56
28.4216	110.3
28.8689	110.395
29.6343	110.465
29.9892	110.512
30.8824	110.631
31.5346	110.578
32.2155	110.612
32.8649	110.522
33.4642	110.491
34.3358	110.522
34.9254	110.501
35.1929	110.512
35.7193	110.53
36.2672	110.513
36.548	110.49
36.8202	110.449
37.4236	110.385
37.842	110.37
38.2485	110.33
38.9617	110.437
39.7347	110.406
39.8578	110.402
40.743	110.495
41.3831	110.587
41.5596	110.561
41.9629	110.615
42.1656	110.573
42.5801	110.61

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 292 di 351
	MANDATARIA 	MANDANTI   		Data 02/2024	

43.3089	110.476
44.1884	110.516
44.6598	110.523
45.2806	110.437
46.1679	110.424
46.4342	110.422
49.1628	110.263
49.7556	110.228
49.8612	111.235

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA AMBIENTE	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture
				Data 02/2024

20.4 Sezione 61

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 61.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $m_{\alpha} < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None
-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 294 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  		Data 02/2024	

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Material Properties

Property	fa	ACC alt	ACC
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19	20	21
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20	21	22
Cohesion [kPa]	5.6	5.6	32
Friction Angle [deg]	23	18.8	24.8
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.388190
- Center: 22.322, 127.303
- Radius: 9.693
- Left Slip Surface Endpoint: 13.212, 123.990
- Right Slip Surface Endpoint: 26.599, 118.605
- Resisting Moment=3065.84 kN-m
- Driving Moment=2208.52 kN-m

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA AMBIENTE	 sinèrgo	B	295 di 351
				Data 02/2024	

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1717
- Number of Invalid Surfaces: 3134

Error Codes:

- Error Code -101 reported for 12 surfaces
- Error Code -103 reported for 36 surfaces
- Error Code -113 reported for 1 surface
- Error Code -114 reported for 340 surfaces
- Error Code -115 reported for 72 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2673 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.38819

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.535453	5.72787	fa	5.6	23	4.32477	6.0036	0.950821	0	0.950821
2	0.535453	15.5892	fa	5.6	23	8.56508	11.89	14.8182	0	14.8182
3	0.535453	22.9671	fa	5.6	23	12.1567	16.8758	26.5642	0	26.5642
4	0.535453	28.8535	fa	5.6	23	15.2709	21.1989	36.7488	0	36.7488
5	0.535453	33.72	fa	5.6	23	17.9603	24.9323	45.7977	0.253653	45.544
6	0.535453	37.9189	fa	5.6	23	19.5489	27.1376	54.7132	3.97386	50.7394
7	0.535453	41.4401	fa	5.6	23	20.9707	29.1113	62.4428	7.05364	55.3892
8	0.535453	43.8067	fa	5.6	23	21.9716	30.5007	68.2525	9.59007	58.6624
9	0.535453	43.6101	fa	5.6	23	21.8228	30.2942	69.8275	11.6517	58.1758

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE				REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.p.a. ENERGIA VALLE D'AOSTA		 sinergo	B	296 di 351
					Data 02/2024	

10	0.535453	42.7628	fa	5.6	23	21.4078	29.7181	70.1073	13.2887	56.8186
11	0.535453	41.493	fa	5.6	23	20.8301	28.9161	69.468	14.5386	54.9294
12	0.535453	39.8317	fa	5.6	23	20.0994	27.9018	67.9698	15.4299	52.5399
13	0.535453	37.8027	fa	5.6	23	19.2227	26.6848	65.6569	15.9844	49.6725
14	0.535453	35.424	fa	5.6	23	18.2043	25.271	62.5606	16.2185	46.3421
15	0.535453	32.709	fa	5.6	23	17.0466	23.6639	58.7003	16.1446	42.5557
16	0.535453	29.6673	fa	5.6	23	15.7496	21.8635	54.0872	15.7729	38.3143
17	0.535453	26.3057	fa	5.6	23	14.3074	19.8614	48.7235	15.1258	33.5977
18	0.535453	22.6265	fa	5.6	23	12.7216	17.66	42.5994	14.1877	28.4117
19	0.535453	18.9552	fa	5.6	23	11.1778	15.5169	36.3212	12.9585	23.3627
20	0.535453	17.6385	fa	5.6	23	11.0795	15.3805	34.477	11.4356	23.0414
21	0.535453	16.5375	fa	5.6	23	11.2325	15.5928	33.0884	9.54679	23.5416
22	0.535453	11.8696	fa	5.6	23	9.29163	12.8986	24.5428	7.34848	17.1944
23	0.535453	6.13961	fa	5.6	23	6.55055	9.09341	13.5481	5.31818	8.22995
24	0.535453	3.93318	fa	5.6	23	6.08369	8.44532	9.67894	2.97578	6.70316
25	0.535453	1.34883	fa	5.6	23	5.48085	7.60846	5.00704	0.275386	4.73165

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.38819

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	13.2124	123.99	0	0	0
2	13.7478	122.781	-1.16344	0	0
3	14.2833	121.886	7.51887	0	0
4	14.8187	121.166	20.1512	0	0
5	15.3542	120.564	34.0995	0	0
6	15.8896	120.051	47.9825	0	0
7	16.4251	119.61	61.6967	0	0
8	16.9606	119.227	74.3531	0	0
9	17.496	118.896	85.1917	0	0
10	18.0315	118.611	93.4563	0	0
11	18.5669	118.367	99.1406	0	0
12	19.1024	118.16	102.351	0	0
13	19.6378	117.989	103.244	0	0
14	20.1733	117.851	102.017	0	0
15	20.7087	117.745	98.9112	0	0
16	21.2442	117.67	94.2025	0	0
17	21.7796	117.625	88.2097	0	0
18	22.3151	117.61	81.2982	0	0
19	22.8505	117.624	73.8806	0	0
20	23.386	117.669	66.2993	0	0
21	23.9214	117.743	57.8126	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture		B	297 di 351
				Data 02/2024	

22	24.4569	117.848	48.3263	0	0
23	24.9923	117.985	39.9936	0	0
24	25.5278	118.156	34.1822	0	0
25	26.0633	118.361	28.9386	0	0
26	26.5987	118.605	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	123.023
5	122.167
10	121.312
15	120.448
21.468	119.263
23.6666	118.869
24.75	118.661
28.5269	118.303
33.7978	117.448
37.4557	116.842
45	115.593
50	114.765
60	112.871

External Boundary

X	Y
0	90
60	90
60	95.562
60	104.562
60	116.034
37.8841	119.857
36.8408	119.162
36.5	119.142
35.25	119.142
35.25	118.342
24.75	118.661
24.75	119.361
23.5	119.381
23.1592	119.381

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VERDE E AMBIENTE	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture
				Data 02/2024

17.1565	123.383
0	126.023
0	109.533
0	100.533

Material Boundary

X	Y
0	109.533
10	107.772
17.877	106.744
20	106.498
23.4407	106.107
26.25	105.959
28.8	105.824
30	105.761
36.4	105.423
45	105.048
50	104.83
55	104.716
60	104.562

Material Boundary

X	Y
0	100.533
9.35924	98.8848
18.4583	97.6724
23.4407	97.1073
30	96.7607
36.5593	96.4142
46.9485	95.9635
60	95.562

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D.VisionArchitecture	B	299 di 351
			Data 02/2024	

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

-
- File Name: Sezione 61_sisma+.slim
 - Slide Modeler Version: 6.008
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: days
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Left to Right
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $m\alpha < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 300 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    ENERGIA VALLE D'AOSTA D_VisionArchitecture	Data 02/2024		

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.101
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.05

Material Properties

Property	fa	ACC alt	ACC
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19	20	21
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20	21	22
Cohesion [kPa]	7	7	40
Friction Angle [deg]	28	23	30
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.402040
- Center: 23.796, 128.713
- Radius: 11.120
- Left Slip Surface Endpoint: 13.770, 123.904
- Right Slip Surface Endpoint: 28.315, 118.553

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	B	301 di 351
				Data 02/2024	

- Resisting Moment=4156.59 kN-m
- Driving Moment=2964.67 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1717
- Number of Invalid Surfaces: 3134

Error Codes:

- Error Code -101 reported for 12 surfaces
- Error Code -103 reported for 36 surfaces
- Error Code -113 reported for 1 surface
- Error Code -114 reported for 340 surfaces
- Error Code -115 reported for 72 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2673 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.40204

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.581824	5.36895	fa	7	28	5.12793	7.18956	0.356516	0	0.356516
2	0.581824	14.9209	fa	7	28	9.80556	13.7478	12.6907	0	12.6907
3	0.581824	22.5087	fa	7	28	13.9805	19.6012	23.6995	0	23.6995
4	0.581824	28.7459	fa	7	28	17.7248	24.8509	33.5727	0	33.5727
5	0.581824	33.9594	fa	7	28	21.0939	29.5745	42.4565	0	42.4565
6	0.581824	38.3806	fa	7	28	23.7311	33.2719	50.8279	1.41761	49.4103

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	B	302 di 351
				Data 02/2024	

7	0.581824	40.075	fa	7	28	24.4227	34.2416	55.7661	4.53209	51.234
8	0.581824	40.0285	fa	7	28	24.2543	34.0055	57.9049	7.11497	50.7899
9	0.581824	39.4227	fa	7	28	23.8373	33.4209	58.9167	9.22634	49.6903
10	0.581824	38.311	fa	7	28	23.1895	32.5126	58.8935	10.9112	47.9823
11	0.581824	36.7342	fa	7	28	22.3235	31.2984	57.9027	12.204	45.6987
12	0.581824	34.7238	fa	7	28	21.248	29.7905	55.994	13.1313	42.8627
13	0.581824	32.3042	fa	7	28	19.9685	27.9966	53.2026	13.7136	39.489
14	0.581824	29.4946	fa	7	28	18.486	25.9181	49.5524	13.9726	35.5798
15	0.581824	26.3095	fa	7	28	16.7972	23.5504	45.0571	13.9304	31.1267
16	0.581824	22.7583	fa	7	28	14.9049	20.8973	39.7165	13.5795	26.137
17	0.581824	20.4377	fa	7	28	13.8769	19.4559	36.3518	12.9257	23.4261
18	0.581824	20.3406	fa	7	28	14.4641	20.2793	36.9103	11.9356	24.9747
19	0.581824	18.9089	fa	7	28	14.27	20.0071	35.0714	10.6085	24.4629
20	0.581824	11.3269	fa	7	28	9.64293	13.5198	21.5917	9.32979	12.2619
21	0.581824	10.1072	fa	7	28	9.5197	13.347	19.8895	7.95252	11.9369
22	0.581824	8.51636	fa	7	28	9.24867	12.967	17.4847	6.26238	11.2223
23	0.581824	6.54219	fa	7	28	8.816	12.3604	14.3305	4.24905	10.0814
24	0.581824	4.16815	fa	7	28	8.20383	11.5021	10.3658	1.89861	8.46722
25	0.581824	1.42468	fa	7	28	7.06834	9.9101	5.4731	0	5.4731

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.40204

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	13.7698	123.904	0	0	0
2	14.3517	122.843	-2.05749	0	0
3	14.9335	121.997	4.49556	0	0
4	15.5153	121.291	15.3707	0	0
5	16.0971	120.689	28.1904	0	0
6	16.679	120.169	41.4615	0	0
7	17.2608	119.716	54.5743	0	0
8	17.8426	119.321	66.475	0	0
9	18.4244	118.976	76.3797	0	0
10	19.0063	118.677	84.1359	0	0
11	19.5881	118.42	89.7054	0	0
12	20.1699	118.201	93.1375	0	0
13	20.7517	118.018	94.5528	0	0
14	21.3336	117.869	94.1335	0	0
15	21.9154	117.753	92.1201	0	0
16	22.4972	117.669	88.811	0	0
17	23.079	117.616	84.5579	0	0
18	23.6608	117.594	79.3748	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinergo  VA DVisionArchitecture		B	303 di 351
				Data 02/2024	

19	24.2427	117.602	72.7287	0	0
20	24.8245	117.64	64.9946	0	0
21	25.4063	117.71	59.0371	0	0
22	25.9881	117.811	52.5207	0	0
23	26.57	117.944	45.6786	0	0
24	27.1518	118.111	38.8281	0	0
25	27.7336	118.313	32.3903	0	0
26	28.3154	118.553	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	123.023
5	122.167
10	121.312
15	120.448
21.468	119.263
23.6666	118.869
24.75	118.661
28.5269	118.303
33.7978	117.448
37.4557	116.842
45	115.593
50	114.765
60	112.871

External Boundary

X	Y
0	90
60	90
60	95.562
60	104.562
60	116.034
37.8841	119.857
36.8408	119.162
36.5	119.142
35.25	119.142
35.25	118.342
24.75	118.661

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 304 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENERGIA VERDE ITALIA AMBIENTE	 sinèrgo	 D_VA DVisionArchitecture	Data 02/2024

24.75	119.361
23.5	119.381
23.1592	119.381
17.1565	123.383
0	126.023
0	109.533
0	100.533

Material Boundary

X	Y
0	109.533
10	107.772
17.877	106.744
20	106.498
23.4407	106.107
26.25	105.959
28.8	105.824
30	105.761
36.4	105.423
45	105.048
50	104.83
55	104.716
60	104.562

Material Boundary

X	Y
0	100.533
9.35924	98.8848
18.4583	97.6724
23.4407	97.1073
30	96.7607
36.5593	96.4142
46.9485	95.9635
60	95.562

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D.VisionArchitecture	B	305 di 351
			Data 02/2024	

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

-
- File Name: Sezione 61_sisma-.slim
 - Slide Modeler Version: 6.008
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: days
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Left to Right
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $m\alpha < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	306 di 351
			Data 02/2024	

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.101
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.05

Material Properties

Property	fa	ACC alt	ACC
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]	19	20	21
Saturated Unit Weight [kN/m3]	20	21	22
Cohesion [kPa]	7	7	40
Friction Angle [deg]	28	23	30
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.388010
- Center: 22.322, 128.713
- Radius: 11.569
- Left Slip Surface Endpoint: 11.657, 124.229
- Right Slip Surface Endpoint: 27.879, 118.566

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	B	307 di 351
				Data 02/2024	

- Resisting Moment=5466.73 kN-m
- Driving Moment=3938.54 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1717
- Number of Invalid Surfaces: 3134

Error Codes:

- Error Code -101 reported for 12 surfaces
- Error Code -103 reported for 36 surfaces
- Error Code -113 reported for 1 surface
- Error Code -114 reported for 340 surfaces
- Error Code -115 reported for 72 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2673 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -103 = Two surface / slope intersections, but one or more surface / nonslope external polygon intersections lie between them. This usually occurs when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.38801

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.648889	7.43672	fa	7	28	5.20523	7.22492	0.423003	0	0.423003
2	0.648889	20.4213	fa	7	28	10.3783	14.4052	13.9272	0	13.9272
3	0.648889	30.3793	fa	7	28	14.9129	20.6993	25.7646	0	25.7646
4	0.648889	38.4119	fa	7	28	18.9352	26.2822	36.2646	0	36.2646
5	0.648889	45.2551	fa	7	28	21.5238	29.8752	46.8589	3.83693	43.022
6	0.648889	51.0223	fa	7	28	23.5629	32.7055	56.4053	8.06013	48.3451

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	B	308 di 351
				Data 02/2024	

7	0.648889	55.8156	fa	7	28	25.4091	35.2681	64.6714	11.5068	53.1646
8	0.648889	59.776	fa	7	28	27.0768	37.5829	71.8418	14.3239	57.5179
9	0.648889	62.4387	fa	7	28	28.319	39.3071	77.3468	16.586	60.7608
10	0.648889	61.3656	fa	7	28	27.918	38.7504	78.0621	18.3482	59.7139
11	0.648889	59.2214	fa	7	28	27.0703	37.5739	77.1529	19.6517	57.5012
12	0.648889	56.5118	fa	7	28	26.0058	36.0963	75.25	20.5278	54.7222
13	0.648889	53.2682	fa	7	28	24.7309	34.3268	72.3945	21.0004	51.3941
14	0.648889	49.5142	fa	7	28	23.2493	32.2702	68.6133	21.087	47.5263
15	0.648889	45.2669	fa	7	28	21.561	29.9269	63.92	20.8008	43.1192
16	0.648889	40.5384	fa	7	28	19.6605	27.289	58.3176	20.1596	38.158
17	0.648889	35.3356	fa	7	28	17.5397	24.3453	51.796	19.1743	32.6217
18	0.648889	29.859	fa	7	28	15.3089	21.2489	44.6295	17.8312	26.7983
19	0.648889	27.5966	fa	7	28	15.0117	20.8364	42.1509	16.1285	26.0224
20	0.648889	26.1664	fa	7	28	15.3912	21.3631	40.9917	13.9785	27.0132
21	0.648889	17.1177	fa	7	28	11.1813	15.5198	27.6767	11.6534	16.0233
22	0.648889	13.065	fa	7	28	9.9079	13.7523	22.0605	9.36133	12.6992
23	0.648889	10.0102	fa	7	28	9.40732	13.0575	18.0554	6.66299	11.3925
24	0.648889	6.38543	fa	7	28	8.70943	12.0888	13.1043	3.53371	9.57059
25	0.648889	2.18126	fa	7	28	7.77628	10.7936	7.13466	0	7.13466

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.38801

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	11.6567	124.229	0	0	0
2	12.3056	122.923	-2.06954	0	0
3	12.9545	121.923	7.19242	0	0
4	13.6033	121.108	21.6014	0	0
5	14.2522	120.422	38.0631	0	0
6	14.9011	119.837	56.1226	0	0
7	15.55	119.332	74.4591	0	0
8	16.1989	118.897	91.818	0	0
9	16.8478	118.52	107.327	0	0
10	17.4967	118.198	120.243	0	0
11	18.1456	117.924	129.75	0	0
12	18.7945	117.694	135.873	0	0
13	19.4433	117.507	138.802	0	0
14	20.0922	117.36	138.792	0	0
15	20.7411	117.252	136.161	0	0
16	21.39	117.181	131.292	0	0
17	22.0389	117.147	124.635	0	0
18	22.6878	117.149	116.716	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 309 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture		Data 02/2024	

19	23.3367	117.188	108.078	0	0
20	23.9856	117.264	97.9476	0	0
21	24.6345	117.377	85.9735	0	0
22	25.2833	117.529	76.2498	0	0
23	25.9322	117.721	66.9057	0	0
24	26.5811	117.956	57.5805	0	0
25	27.23	118.236	48.9097	0	0
26	27.8789	118.566	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	123.023
5	122.167
10	121.312
15	120.448
21.468	119.263
23.6666	118.869
24.75	118.661
28.5269	118.303
33.7978	117.448
37.4557	116.842
45	115.593
50	114.765
60	112.871

External Boundary

X	Y
0	90
60	90
60	95.562
60	104.562
60	116.034
37.8841	119.857
36.8408	119.162
36.5	119.142
35.25	119.142
35.25	118.342
24.75	118.661

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE MANDATARIA PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l. MANDANTI ENERGIA VALLE D'AOSTA A.S. sinèrgo D_VA DVisionArchitecture			REV. B	FOGLIO 310 di 351
	Data 02/2024				

24.75	119.361
23.5	119.381
23.1592	119.381
17.1565	123.383
0	126.023
0	109.533
0	100.533

Material Boundary

X	Y
0	109.533
10	107.772
17.877	106.744
20	106.498
23.4407	106.107
26.25	105.959
28.8	105.824
30	105.761
36.4	105.423
45	105.048
50	104.83
55	104.716
60	104.562

Material Boundary

X	Y
0	100.533
9.35924	98.8848
18.4583	97.6724
23.4407	97.1073
30	96.7607
36.5593	96.4142
46.9485	95.9635
60	95.562

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D_VisionArchitecture	B	311 di 351
			Data 02/2024	

20.5 Sezione 74

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: Sezione 74.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $m_{\alpha} < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None
-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 312 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENERGIA VALLE D'AOSTA s.r.l.	 sinèrgo	 D_VA DVisionArchitecture	Data 02/2024

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

Material Properties

Property	R	ACC alt	bn
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		20	18
Saturated Unit Weight [kN/m3]		21	21
Cohesion [kPa]	0	5.6	4
Friction Angle [deg]	29.3	18.8	29.3
Water Surface	None	Water Table	Water Table
Hu Value		1	1
Ru Value	0		

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	313 di 351
			Data 02/2024	

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.226850
- Center: 16.199, 122.058
- Radius: 11.651
- Left Slip Surface Endpoint: 14.109, 110.596
- Right Slip Surface Endpoint: 25.440, 114.961
- Resisting Moment=1832.17 kN-m
- Driving Moment=1493.4 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 2176
- Number of Invalid Surfaces: 2675

Error Codes:

- Error Code -101 reported for 1 surface
- Error Code -105 reported for 56 surfaces
- Error Code -107 reported for 168 surfaces
- Error Code -108 reported for 1 surface
- Error Code -113 reported for 105 surfaces
- Error Code -114 reported for 143 surfaces
- Error Code -115 reported for 1 surface
- Error Code -1000 reported for 2200 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
 - -105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
 - -107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.
 - -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
 - -113 = Surface intersects outside slope limits.
 - -114 = Surface with Reverse Curvature.
 - -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
 - -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.
-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	B	314 di 351
				Data 02/2024	

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.22685

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.418181	0.217655	bn	4	29.3	3.78122	4.63899	1.13866	0	1.13866
2	0.418181	0.594661	bn	4	29.3	4.151	5.09265	1.94708	0	1.94708
3	0.418181	0.855856	bn	4	29.3	4.3767	5.36955	2.44051	0	2.44051
4	0.418181	1.0026	bn	4	29.3	4.46708	5.48044	2.63811	0	2.63811
5	0.418181	1.03577	bn	4	29.3	4.42965	5.43451	2.55628	0	2.55628
6	0.418181	0.955819	bn	4	29.3	4.27084	5.23968	2.20909	0	2.20909
7	0.46432	2.41176	R	0	29.3	2.3167	2.84224	5.0648	0	5.0648
8	0.46432	4.95855	R	0	29.3	4.67927	5.74076	10.2299	0	10.2299
9	0.46432	7.33093	R	0	29.3	6.79702	8.33892	14.8598	0	14.8598
10	0.46432	9.52643	R	0	29.3	8.67832	10.647	18.9726	0	18.9726
11	0.46432	11.5416	R	0	29.3	10.3296	12.6729	22.5828	0	22.5828
12	0.46432	13.3721	R	0	29.3	11.756	14.4228	25.7012	0	25.7012
13	0.46432	15.0122	R	0	29.3	12.9608	15.9009	28.3351	0	28.3351
14	0.46432	16.455	R	0	29.3	13.946	17.1097	30.489	0	30.489
15	0.46432	17.6921	R	0	29.3	14.7123	18.0498	32.1643	0	32.1643
16	0.46432	18.7131	R	0	29.3	15.2588	18.7203	33.3591	0	33.3591
17	0.46432	19.5055	R	0	29.3	15.5832	19.1183	34.0684	0	34.0684
18	0.46432	20.0542	R	0	29.3	15.6819	19.2393	34.284	0	34.284
19	0.46432	20.3405	R	0	29.3	15.5491	19.0764	33.9937	0	33.9937
20	0.46432	20.3412	R	0	29.3	15.1773	18.6203	33.181	0	33.181
21	0.46432	19.3348	R	0	29.3	14.0535	17.2415	30.7241	0	30.7241
22	0.46432	16.0764	R	0	29.3	11.3547	13.9305	24.8239	0	24.8239
23	0.46432	12.3094	R	0	29.3	8.42083	10.3311	18.4099	0	18.4099
24	0.46432	7.75465	R	0	29.3	10.1845	12.4949	22.2657	0	22.2657
25	0.46432	2.5776	R	0	29.3	9.2678	11.3702	20.2614	0	20.2614

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.22685

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	14.1086	110.596	0	0	0
2	14.5267	110.527	1.65721	0	0
3	14.9449	110.474	3.49403	0	0
4	15.3631	110.437	5.41396	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA D VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

5	15.7813	110.414	7.33917	0	0
6	16.1995	110.407	9.20844	0	0
7	16.6177	110.414	10.9756	0	0
8	17.082	110.44	11.9185	0	0
9	17.5463	110.485	13.6318	0	0
10	18.0106	110.548	15.8399	0	0
11	18.4749	110.631	18.2948	0	0
12	18.9393	110.733	20.7736	0	0
13	19.4036	110.856	23.0765	0	0
14	19.8679	110.999	25.025	0	0
15	20.3322	111.164	26.4614	0	0
16	20.7965	111.352	27.248	0	0
17	21.2609	111.563	27.2674	0	0
18	21.7252	111.8	26.4236	0	0
19	22.1895	112.064	24.6436	0	0
20	22.6538	112.358	21.8803	0	0
21	23.1181	112.683	18.117	0	0
22	23.5825	113.044	13.5385	0	0
23	24.0468	113.446	8.84409	0	0
24	24.5111	113.893	4.51592	0	0
25	24.9754	114.394	-1.92197	0	0
26	25.4397	114.961	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	108.148
30	107.998
60	107.51

Line Load

X	Y
24.75	115.014
24.75	114.944
30	115.075
35.25	114.944

External Boundary

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  D_VA DVisionArchitecture	B	316 di 351
			Data 02/2024	

X	Y
60	110.5
52.1358	110.787
50.9453	111.001
42.9264	110.985
42.75	110.954
36.75	114.954
35.25	115.014
35.25	114.944
30	115.075
24.75	114.944
24.75	115.014
23.25	114.954
16.6177	110.532
0	110.954
0	104.952
0	91
60	91
60	104.496

Material Boundary

X	Y
16.6177	109.533
16.6177	110.532
22.2927	110.405
25.3319	110.506
27.2763	110.712
28.4737	110.873
30	110.998
31.3024	111
33.9625	111.306
36.75	111.306
39.5439	111
42.3224	110.878
42.75	110.954

Material Boundary

X	Y
0	104.952
16.4743	104.534
22.3256	104.403
25.7485	104.517

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO	
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VERDE ALTERNATIVE	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	B	317 di 351
					Data 02/2024	

27.9915	104.754
29.1182	104.906
30.2497	104.998
31.6506	105
34.3062	105.306
36.4225	105.306
39.0857	105.014
42.7171	104.855
43.4579	104.986
50.4159	105
51.492	104.807
60	104.496

Material Boundary

X	Y
16.6177	109.533
22.353	109.339
25.356	109.518
27.42	109.793
28.524	109.994
30.039	110.163
31.345	110.163
33.997	110.486
36.731	110.501
39.493	110.211
42.491	110.016
42.935	110.092
42.75	110.954

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA AMBIENTE	 sinèrgo	 D_VA DVisionArchitecture
				Data 02/2024

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

-
- File Name: Sezione 74_sisma+.slim
 - Slide Modeler Version: 6.008
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: days
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Right to Left
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None
-

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 319 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI 		 D_VisionArchitecture	Data 02/2024

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.101
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.05
- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m²]: 4
- Orientation: Vertical

Material Properties

Property	R	ACC alt	bn
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m ³]		20	18
Saturated Unit Weight [kN/m ³]		21	21
Cohesion [kPa]	0	7	5
Friction Angle [deg]	35	23	35
Water Surface	None	Water Table	Water Table
Hu Value		1	1
Ru Value	0		

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALORI AMBIENTE	 sinergo	B
				Data 02/2024

Global Minimums

Method: bishop simplified

- FS: 1.290600
- Center: 16.199, 120.240
- Radius: 9.868
- Left Slip Surface Endpoint: 14.110, 110.596
- Right Slip Surface Endpoint: 24.565, 115.006
- Resisting Moment=1530.15 kN-m
- Driving Moment=1185.61 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 2342
- Number of Invalid Surfaces: 2509

Error Codes:

- Error Code -105 reported for 56 surfaces
- Error Code -112 reported for 3 surfaces
- Error Code -113 reported for 105 surfaces
- Error Code -114 reported for 144 surfaces
- Error Code -115 reported for 1 surface
- Error Code -1000 reported for 2200 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- -112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1+\tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.2906

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 321 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI	 ENERGIA VALLE D'AGOSTO	 sinergo	 D_VisionArchitecture

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.417894	0.265204	bn	5	35	4.73306	6.10849	1.58309	0	1.58309
2	0.417894	0.726047	bn	5	35	5.29334	6.83159	2.61579	0	2.61579
3	0.417894	1.04909	bn	5	35	5.62865	7.26433	3.2338	0	3.2338
4	0.417894	1.23659	bn	5	35	5.75823	7.43157	3.47264	0	3.47264
5	0.417894	1.29001	bn	5	35	5.69795	7.35378	3.36154	0	3.36154
6	0.417894	1.21008	bn	5	35	5.46104	7.04802	2.92487	0	2.92487
7	0.4183	2.31938	R	0	35	3.0534	3.94072	5.62794	0	5.62794
8	0.4183	4.35442	R	0	35	5.60671	7.23602	10.3341	0	10.3341
9	0.4183	6.23841	R	0	35	7.85774	10.1412	14.4831	0	14.4831
10	0.4183	7.96882	R	0	35	9.81954	12.6731	18.099	0	18.099
11	0.4183	9.54221	R	0	35	11.5023	14.8449	21.2007	0	21.2007
12	0.4183	10.954	R	0	35	12.9141	16.6669	23.8029	0	23.8029
13	0.4183	12.1986	R	0	35	14.0604	18.1463	25.9157	0	25.9157
14	0.4183	13.2688	R	0	35	14.9451	19.2881	27.5462	0	27.5462
15	0.4183	14.1558	R	0	35	15.5697	20.0943	28.6976	0	28.6976
16	0.4183	14.8489	R	0	35	15.9341	20.5646	29.3694	0	29.3694
17	0.4183	15.3348	R	0	35	16.0362	20.6963	29.5575	0	29.5575
18	0.4183	15.597	R	0	35	15.8715	20.4838	29.2539	0	29.2539
19	0.4183	15.6149	R	0	35	15.4335	19.9185	28.4466	0	28.4466
20	0.4183	15.3623	R	0	35	14.7128	18.9883	27.1182	0	27.1182
21	0.4183	14.8052	R	0	35	13.697	17.6774	25.246	0	25.246
22	0.4183	13.8757	R	0	35	12.35	15.9389	22.7631	0	22.7631
23	0.4183	11.1671	R	0	35	9.50876	12.272	17.5262	0	17.5262
24	0.4183	7.15508	R	0	35	5.78279	7.46327	10.6587	0	10.6587
25	0.4183	2.50531	R	0	35	1.89901	2.45086	3.50018	0	3.50018

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.2906

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	14.1103	110.596	0	0	0
2	14.5282	110.515	2.075	0	0
3	14.9461	110.452	4.37246	0	0
4	15.364	110.408	6.75713	0	0
5	15.7819	110.381	9.12536	0	0
6	16.1998	110.372	11.4004	0	0
7	16.6177	110.381	13.5292	0	0
8	17.036	110.408	14.4192	0	0
9	17.4543	110.452	15.8586	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture		B	322 di 351
				Data 02/2024	

10	17.8726	110.515	17.5988	0	0
11	18.2909	110.596	19.4206	0	0
12	18.7092	110.697	21.1307	0	0
13	19.1275	110.816	22.5595	0	0
14	19.5458	110.957	23.5596	0	0
15	19.9641	111.118	24.0049	0	0
16	20.3824	111.302	23.7905	0	0
17	20.8007	111.51	22.8328	0	0
18	21.219	111.744	21.0714	0	0
19	21.6373	112.005	18.4717	0	0
20	22.0556	112.297	15.0287	0	0
21	22.4739	112.624	10.7739	0	0
22	22.8922	112.988	5.7852	0	0
23	23.3105	113.398	0.212482	0	0
24	23.7288	113.861	-5.06493	0	0
25	24.1471	114.391	-9.01686	0	0
26	24.5654	115.006	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	108.148
30	107.998
60	107.51

Line Load

X	Y
24.75	115.014
24.75	114.944
30	115.075
35.25	114.944

External Boundary

X	Y
60	110.5
52.1358	110.787
50.9453	111.001

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITZIA s.r.l. ENERGIA VERDE E AMBIENTE	 sinergo	 VA DVisionArchitecture
				Data 02/2024

42.9264	110.985
42.75	110.954
36.75	114.954
35.25	115.014
35.25	114.944
30	115.075
24.75	114.944
24.75	115.014
23.25	114.954
16.6177	110.532
0	110.954
0	104.952
0	91
60	91
60	104.496

Material Boundary

X	Y
16.6177	109.531
16.6177	110.532
22.2927	110.405
25.3319	110.506
27.2763	110.712
28.4737	110.873
30	110.998
31.3024	111
33.9625	111.306
36.75	111.306
39.5439	111
42.3224	110.878
42.75	110.954

Material Boundary

X	Y
0	104.952
16.4743	104.534
22.3256	104.403
25.7485	104.517
27.9915	104.754
29.1182	104.906
30.2497	104.998
31.6506	105

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 324 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALORI AMBIENTE	 sinergo	 D_VisionArchitecture	
					Data 02/2024

34.3062	105.306
36.4225	105.306
39.0857	105.014
42.7171	104.855
43.4579	104.986
50.4159	105
51.492	104.807
60	104.496

Material Boundary

X	Y
16.6177	109.531
22.287	109.402
25.395	109.502
27.432	109.702
28.593	109.866
30.038	109.997
31.347	109.997
34.066	110.338
36.69	110.338
39.518	110.075
42.499	109.865
42.93	109.952
42.75	110.954

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI    D.VisionArchitecture	B	325 di 351
			Data 02/2024	

Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

-
- File Name: Sezione 74_sisma-.slim
 - Slide Modeler Version: 6.008
 - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

General Settings

-
- Units of Measurement: Metric Units
 - Time Units: days
 - Permeability Units: meters/second
 - Failure Direction: Right to Left
 - Data Output: Standard
 - Maximum Material Properties: 20
 - Maximum Support Properties: 20

Analysis Options

Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $m\alpha < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

Groundwater Analysis

-
- Groundwater Method: Water Surfaces
 - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 - Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 326 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  	 D_VisionArchitecture	Data 02/2024	

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.101
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.05
- 1 Distributed Load present

Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 4
- Orientation: Vertical

Material Properties

Property	R	ACC alt	bn
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		20	18
Saturated Unit Weight [kN/m3]		21	21
Cohesion [kPa]	0	7	5
Friction Angle [deg]	35	23	35
Water Surface	None	Water Table	Water Table
Hu Value		1	1
Ru Value	0		

Global Minimums

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	 VA DVisionArchitecture	B
					Data
					02/2024

Method: bishop simplified

- FS: 1.281470
- Center: 16.199, 120.240
- Radius: 9.868
- Left Slip Surface Endpoint: 14.110, 110.596
- Right Slip Surface Endpoint: 24.565, 115.006
- Resisting Moment=1394.85 kN-m
- Driving Moment=1088.48 kN-m

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 2337
- Number of Invalid Surfaces: 2514

Error Codes:

- Error Code -105 reported for 56 surfaces
- Error Code -112 reported for 8 surfaces
- Error Code -113 reported for 105 surfaces
- Error Code -114 reported for 144 surfaces
- Error Code -115 reported for 1 surface
- Error Code -1000 reported for 2200 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -105 = More than two surface / slope intersections with no valid slip surface.
- -112 = The coefficient $M\text{-Alpha} = \cos(\alpha)(1+\tan(\alpha)\tan(\phi))/F < 0.2$ for the final iteration of the safety factor calculation. This screens out some slip surfaces which may not be valid in the context of the analysis, in particular, deep seated slip surfaces with many high negative base angle slices in the passive zone.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28147

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion	Base Friction	Shear Stress	Shear Strength	Base Normal	Pore Pressure	Effective Normal
--------------	-----------	-------------	---------------	---------------	---------------	--------------	----------------	-------------	---------------	------------------

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	B	328 di 351
				Data 02/2024	

				[kPa]	Angle [degrees]	[kPa]	[kPa]	Stress [kPa]	[kPa]	Stress [kPa]
1	0.417894	0.265204	bn	5	35	4.7321	6.06404	1.5196	0	1.5196
2	0.417894	0.726047	bn	5	35	5.23112	6.70352	2.43288	0	2.43288
3	0.417894	1.04909	bn	5	35	5.52565	7.08096	2.97193	0	2.97193
4	0.417894	1.23659	bn	5	35	5.63326	7.21886	3.16885	0	3.16885
5	0.417894	1.29001	bn	5	35	5.56839	7.13573	3.05014	0	3.05014
6	0.417894	1.21008	bn	5	35	5.34308	6.847	2.63778	0	2.63778
7	0.4183	2.31938	R	0	35	2.78161	3.56455	5.09071	0	5.09071
8	0.4183	4.35442	R	0	35	5.10684	6.54426	9.34618	0	9.34618
9	0.4183	6.23841	R	0	35	7.15611	9.17034	13.0966	0	13.0966
10	0.4183	7.96882	R	0	35	8.94137	11.4581	16.3639	0	16.3639
11	0.4183	9.54221	R	0	35	10.4722	13.4198	19.1655	0	19.1655
12	0.4183	10.954	R	0	35	11.7559	15.0648	21.5147	0	21.5147
13	0.4183	12.1986	R	0	35	12.7976	16.3997	23.4212	0	23.4212
14	0.4183	13.2688	R	0	35	13.6009	17.4291	24.8914	0	24.8914
15	0.4183	14.1558	R	0	35	14.1673	18.155	25.9281	0	25.9281
16	0.4183	14.8489	R	0	35	14.4969	18.5773	26.5311	0	26.5311
17	0.4183	15.3348	R	0	35	14.5876	18.6936	26.6972	0	26.6972
18	0.4183	15.597	R	0	35	14.4356	18.4988	26.419	0	26.419
19	0.4183	15.6149	R	0	35	14.035	17.9854	25.6858	0	25.6858
20	0.4183	15.3623	R	0	35	13.3774	17.1427	24.4824	0	24.4824
21	0.4183	14.8052	R	0	35	12.4517	15.9565	22.7882	0	22.7882
22	0.4183	13.8757	R	0	35	11.225	14.3845	20.5431	0	20.5431
23	0.4183	11.1671	R	0	35	8.64086	11.073	15.8138	0	15.8138
24	0.4183	7.15508	R	0	35	5.25372	6.73249	9.61499	0	9.61499
25	0.4183	2.50531	R	0	35	1.7248	2.21028	3.15661	0	3.15661

Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.28147

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	14.1103	110.596	0	0	0
2	14.5282	110.515	2.06981	0	0
3	14.9461	110.452	4.33025	0	0
4	15.364	110.408	6.66074	0	0
5	15.7819	110.381	8.96922	0	0
6	16.1998	110.372	11.1879	0	0
7	16.6177	110.381	13.2704	0	0
8	17.036	110.408	14.0616	0	0
9	17.4543	110.452	15.3367	0	0
10	17.8726	110.515	16.8717	0	0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinèrgo	 VA DVisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

11	18.2909	110.596	18.4688	0	0
12	18.7092	110.697	19.9539	0	0
13	19.1275	110.816	21.1746	0	0
14	19.5458	110.957	21.9986	0	0
15	19.9641	111.118	22.313	0	0
16	20.3824	111.302	22.0241	0	0
17	20.8007	111.51	21.058	0	0
18	21.219	111.744	19.3614	0	0
19	21.6373	112.005	16.9046	0	0
20	22.0556	112.297	13.6852	0	0
21	22.4739	112.624	9.73359	0	0
22	22.8922	112.988	5.12268	0	0
23	23.3105	113.398	-0.00925821	0	0
24	23.7288	113.861	-4.85506	0	0
25	24.1471	114.391	-8.47489	0	0
26	24.5654	115.006	0	0	0

List Of Coordinates

Water Table

X	Y
0	108.148
30	107.998
60	107.51

Line Load

X	Y
24.75	115.014
24.75	114.944
30	115.075
35.25	114.944

External Boundary

X	Y
60	110.5
52.1358	110.787
50.9453	111.001
42.9264	110.985

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinèrgo  VA DVisionArchitecture	B	330 di 351
			Data 02/2024	

42.75	110.954
36.75	114.954
35.25	115.014
35.25	114.944
30	115.075
24.75	114.944
24.75	115.014
23.25	114.954
16.6177	110.532
0	110.954
0	104.952
0	91
60	91
60	104.496

Material Boundary

X	Y
16.6177	109.531
16.6177	110.532
22.2927	110.405
25.3319	110.506
27.2763	110.712
28.4737	110.873
30	110.998
31.3024	111
33.9625	111.306
36.75	111.306
39.5439	111
42.3224	110.878
42.75	110.954

Material Boundary

X	Y
0	104.952
16.4743	104.534
22.3256	104.403
25.7485	104.517
27.9915	104.754
29.1182	104.906
30.2497	104.998
31.6506	105
34.3062	105.306

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV. B	FOGLIO 331 di 351
	MANDATARIA  Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  ENERGIA VALLE D'AOSTA 	 	 D_VisionArchitecture	Data 02/2024

36.4225	105.306
39.0857	105.014
42.7171	104.855
43.4579	104.986
50.4159	105
51.492	104.807
60	104.496

Material Boundary

X	Y
16.6177	109.531
22.287	109.402
25.395	109.502
27.432	109.702
28.593	109.866
30.038	109.997
31.347	109.997
34.066	110.338
36.69	110.338
39.518	110.075
42.499	109.865
42.93	109.952
42.75	110.954

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.	MANDANTI  EITVIA S.p.A. ENERGIA VALLE D'AOSTA	B	332 di 351
			Data 02/2024	

21 APPENDICE 3 – TABULATI DI CALCOLO CEDIMENTI DEI RILEVATI

21.1 Sezione 56

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	6,75
Larghezza scarpa esterna	[m]	13,11
Altezza	[m]	7,58
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	171,6
---------------------------------	-------	-------

Coordinate verticale di calcolo	[m]	0,00
---------------------------------	-----	------

Livello piezometrico da p.c.	[m]	3,00
------------------------------	-----	------

Rapporto di rigidezza	1,00
-----------------------	------

Calcolo incremento tensionale indotto

Calcolo cedimenti indotti

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m ³]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
1,0	cnc	20,00	0,50	10,00	10,00	171,59
1,0	cnc	20,00	1,50	30,00	30,00	171,42
1,0	cnc	20,00	2,50	50,00	50,00	170,83
1,0	cnc	21,00	3,50	71,00	66,10	169,64
1,0	cnc	21,00	4,50	92,00	77,29	167,80
1,0	cnc	21,00	5,50	113,00	88,48	165,35
1,0	cnc	21,00	6,50	134,00	99,68	162,37
1,0	cnc	21,00	7,50	155,00	110,87	158,98
1,0	cnc	21,00	8,50	176,00	122,06	155,28
1,0	cnc	21,00	9,50	197,00	133,26	151,37
1,0	cnc	21,00	10,50	218,00	144,45	147,33
1,0	cnc	21,00	11,50	239,00	155,64	143,24
1,0	cnc	21,00	12,50	260,00	166,84	139,14
1,0	cnc	21,00	13,50	281,00	178,03	135,07
1,0	cnc	21,00	14,50	302,00	189,23	131,08
1,0	cnc	21,00	15,50	323,00	200,42	127,18
1,0	cnc	21,00	16,50	344,00	211,61	123,38
1,0	cnc	21,00	17,50	365,00	222,81	119,71
1,0	cnc	21,00	18,50	386,00	234,00	116,16
1,0	cnc	21,00	19,50	407,00	245,19	112,75
1,0	coc	22,00	20,50	429,00	257,39	109,46
1,0	coc	22,00	21,50	451,00	269,58	106,31
1,0	coc	22,00	22,50	473,00	281,77	103,28
1,0	coc	22,00	23,50	495,00	293,97	100,38
1,0	coc	22,00	24,50	517,00	306,16	97,61
1,0	coc	22,00	25,50	539,00	318,35	94,95
1,0	coc	22,00	26,50	561,00	330,55	92,40
1,0	coc	22,00	27,50	583,00	342,74	89,97
1,0	coc	22,00	28,50	605,00	354,93	87,64
1,0	coc	22,00	29,50	627,00	367,13	85,41
1,0	coc	22,00	30,50	649,00	379,32	83,27
1,0	coc	22,00	31,50	671,00	391,51	81,22
1,0	coc	22,00	32,50	693,00	403,71	79,26

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
10,0	0,61	0,30	1,1	10,9	12,0	10,9
10,0	0,61	0,30	1,1	10,9	12,0	10,9
10,0	0,61	0,30	1,1	10,8	11,9	10,8
10,0	0,61	0,30	1,1	10,8	11,8	10,8
10,0	0,61	0,30	1,1	10,6	11,7	10,6
10,0	0,61	0,30	1,0	10,5	11,5	10,5
10,0	0,61	0,30	1,0	10,3	11,3	10,3
10,0	0,61	0,30	1,0	10,1	11,1	10,1
10,0	0,61	0,30	1,0	9,9	10,8	9,9
10,0	0,61	0,30	1,0	9,6	10,6	9,6
10,0	0,61	0,30	0,9	9,3	10,3	9,3
10,0	0,61	0,30	0,9	9,1	10,0	9,1
10,0	0,61	0,30	0,9	8,8	9,7	8,8
10,0	0,61	0,30	0,9	8,6	9,4	8,6
10,0	0,61	0,30	0,8	8,3	9,1	8,3
10,0	0,61	0,30	0,8	8,1	8,9	8,1
10,0	0,61	0,30	0,8	7,8	8,6	7,8
10,0	0,61	0,30	0,8	7,6	8,4	7,6
10,0	0,61	0,30	0,7	7,4	8,1	7,4
10,0	0,61	0,30	0,7	7,2	7,9	7,2
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,6	0,6
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,2	0,4	0,4

Cedimento immediato	[mm]	22,4
Cedimento di consolidazione	[mm]	189,0
Cedimento totale	[mm]	211,4

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	 sinergo	 VA D'VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	19,86
Larghezza scarpa esterna	[m]	13,11
Altezza	[m]	7,58
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	0,00
---------------------------------	-----	------

Parametri di calcolo

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	171,6
---------------------------------	-------	-------

x	19,86
x'	19,86

Calcolo incremento tensionale indotto

z	R ₀	R ₁	R ₂	a	b	R ₀ '	R ₁ '	R ₂ '	α'	β'	Δσ _z
[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[kPa]
0,5	19,9	6,8	0,5	2,8	85,8	19,9	6,8	0,5	2,8	85,8	171,59
1,5	19,9	6,9	1,5	8,2	77,5	19,9	6,9	1,5	8,2	77,5	171,42
2,5	20,0	7,2	2,5	13,1	69,7	20,0	7,2	2,5	13,1	69,7	170,83
3,5	20,2	7,6	3,5	17,4	62,6	20,2	7,6	3,5	17,4	62,6	169,64
4,5	20,4	8,1	4,5	20,9	56,3	20,4	8,1	4,5	20,9	56,3	167,80
5,5	20,6	8,7	5,5	23,7	50,8	20,6	8,7	5,5	23,7	50,8	165,35
6,5	20,9	9,4	6,5	25,8	46,1	20,9	9,4	6,5	25,8	46,1	162,37
7,5	21,2	10,1	7,5	27,3	42,0	21,2	10,1	7,5	27,3	42,0	158,98
8,5	21,6	10,9	8,5	28,4	38,5	21,6	10,9	8,5	28,4	38,5	155,28
9,5	22,0	11,7	9,5	29,0	35,4	22,0	11,7	9,5	29,0	35,4	151,37
10,5	22,5	12,5	10,5	29,4	32,7	22,5	12,5	10,5	29,4	32,7	147,33
11,5	22,9	13,3	11,5	29,5	30,4	22,9	13,3	11,5	29,5	30,4	143,24
12,5	23,5	14,2	12,5	29,4	28,4	23,5	14,2	12,5	29,4	28,4	139,14
13,5	24,0	15,1	13,5	29,2	26,6	24,0	15,1	13,5	29,2	26,6	135,07
14,5	24,6	16,0	14,5	28,9	25,0	24,6	16,0	14,5	28,9	25,0	131,08
15,5	25,2	16,9	15,5	28,5	23,5	25,2	16,9	15,5	28,5	23,5	127,18
16,5	25,8	17,8	16,5	28,0	22,2	25,8	17,8	16,5	28,0	22,2	123,38
17,5	26,5	18,8	17,5	27,5	21,1	26,5	18,8	17,5	27,5	21,1	119,71
18,5	27,1	19,7	18,5	27,0	20,0	27,1	19,7	18,5	27,0	20,0	116,16
19,5	27,8	20,6	19,5	26,4	19,1	27,8	20,6	19,5	26,4	19,1	112,75
20,5	28,5	21,6	20,5	25,9	18,2	28,5	21,6	20,5	25,9	18,2	109,46
21,5	29,3	22,5	21,5	25,3	17,4	29,3	22,5	21,5	25,3	17,4	106,31
22,5	30,0	23,5	22,5	24,7	16,7	30,0	23,5	22,5	24,7	16,7	103,28
23,5	30,8	24,5	23,5	24,2	16,0	30,8	24,5	23,5	24,2	16,0	100,38
24,5	31,5	25,4	24,5	23,6	15,4	31,5	25,4	24,5	23,6	15,4	97,61
25,5	32,3	26,4	25,5	23,1	14,8	32,3	26,4	25,5	23,1	14,8	94,95
26,5	33,1	27,3	26,5	22,6	14,3	33,1	27,3	26,5	22,6	14,3	92,40
27,5	33,9	28,3	27,5	22,0	13,8	33,9	28,3	27,5	22,0	13,8	89,97
28,5	34,7	29,3	28,5	21,5	13,3	34,7	29,3	28,5	21,5	13,3	87,64
29,5	35,6	30,3	29,5	21,1	12,9	35,6	30,3	29,5	21,1	12,9	85,41
30,5	36,4	31,2	30,5	20,6	12,5	36,4	31,2	30,5	20,6	12,5	83,27
31,5	37,2	32,2	31,5	20,1	12,1	37,2	32,2	31,5	20,1	12,1	81,22
32,5	38,1	33,2	32,5	19,7	11,7	38,1	33,2	32,5	19,7	11,7	79,26

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	B
			Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	6,75
Larghezza scarpa esterna	[m]	13,11
Altezza	[m]	7,58
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	171,6
---------------------------------	-------	-------

Coordinate verticale di calcolo	[m]	3,38
---------------------------------	-----	------

Livello piezometrico da p.c.	[m]	3,00
------------------------------	-----	------

Calcolo incremento tensionale indotto

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m ³]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
1,0	cnc	20,00	0,50	10,00	10,00	171,58
1,0	cnc	20,00	1,50	30,00	30,00	171,21
1,0	cnc	20,00	2,50	50,00	50,00	170,06
1,0	cnc	21,00	3,50	71,00	66,10	168,10
1,0	cnc	21,00	4,50	92,00	77,29	165,46
1,0	cnc	21,00	5,50	113,00	88,48	162,32
1,0	cnc	21,00	6,50	134,00	99,68	158,83
1,0	cnc	21,00	7,50	155,00	110,87	155,09
1,0	cnc	21,00	8,50	176,00	122,06	151,19
1,0	cnc	21,00	9,50	197,00	133,26	147,20
1,0	cnc	21,00	10,50	218,00	144,45	143,17
1,0	cnc	21,00	11,50	239,00	155,64	139,16
1,0	cnc	21,00	12,50	260,00	166,84	135,18
1,0	cnc	21,00	13,50	281,00	178,03	131,28
1,0	cnc	21,00	14,50	302,00	189,23	127,46
1,0	cnc	21,00	15,50	323,00	200,42	123,75
1,0	cnc	21,00	16,50	344,00	211,61	120,14
1,0	cnc	21,00	17,50	365,00	222,81	116,66
1,0	cnc	21,00	18,50	386,00	234,00	113,30
1,0	cnc	21,00	19,50	407,00	245,19	110,06
1,0	coc	22,00	20,50	429,00	257,39	106,95
1,0	coc	22,00	21,50	451,00	269,58	103,96
1,0	coc	22,00	22,50	473,00	281,77	101,09
1,0	coc	22,00	23,50	495,00	293,97	98,33
1,0	coc	22,00	24,50	517,00	306,16	95,69
1,0	coc	22,00	25,50	539,00	318,35	93,16
1,0	coc	22,00	26,50	561,00	330,55	90,73
1,0	coc	22,00	27,50	583,00	342,74	88,40
1,0	coc	22,00	28,50	605,00	354,93	86,17
1,0	coc	22,00	29,50	627,00	367,13	84,04
1,0	coc	22,00	30,50	649,00	379,32	81,99
1,0	coc	22,00	31,50	671,00	391,51	80,02
1,0	coc	22,00	32,50	693,00	403,71	78,13

Rapporto di rigidezza

1,00

Calcolo cedimenti indotti

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
10,0	0,61	0,30	1,1	10,9	12,0	10,9
10,0	0,61	0,30	1,1	10,9	11,9	10,9
10,0	0,61	0,30	1,1	10,8	11,9	10,8
10,0	0,61	0,30	1,1	10,7	11,7	10,7
10,0	0,61	0,30	1,0	10,5	11,5	10,5
10,0	0,61	0,30	1,0	10,3	11,3	10,3
10,0	0,61	0,30	1,0	10,1	11,1	10,1
10,0	0,61	0,30	1,0	9,8	10,8	9,8
10,0	0,61	0,30	1,0	9,6	10,6	9,6
10,0	0,61	0,30	0,9	9,3	10,3	9,3
10,0	0,61	0,30	0,9	9,1	10,0	9,1
10,0	0,61	0,30	0,9	8,8	9,7	8,8
10,0	0,61	0,30	0,9	8,6	9,4	8,6
10,0	0,61	0,30	0,8	8,3	9,2	8,3
10,0	0,61	0,30	0,8	8,1	8,9	8,1
10,0	0,61	0,30	0,8	7,9	8,6	7,9
10,0	0,61	0,30	0,8	7,6	8,4	7,6
10,0	0,61	0,30	0,7	7,4	8,1	7,4
10,0	0,61	0,30	0,7	7,2	7,9	7,2
10,0	0,61	0,30	0,7	7,0	7,7	7,0
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,2	0,4	0,4

Cedimento immediato	[mm]	21,9
Cedimento di consolidazione	[mm]	185,2
Cedimento totale	[mm]	207,2

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio S.r.l.	MANDANTI  EITVA S.p.A. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	 VA D VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	19,86
Larghezza scarpa esterna	[m]	13,11
Altezza	[m]	7,58
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	3,38
---------------------------------	-----	------

Parametri di calcolo

x	16,49
x'	23,24

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	171,6
---------------------------------	-------	-------

Calcolo incremento tensionale indotto

z	R ₀	R ₁	R ₂	a	b	R ₀ '	R ₁ '	R ₂ '	α'	β'	Δσ _z
[m]	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[m]	[m]	[m]	[°]	[°]	[kPa]
0,5	16,5	3,4	3,4	6,7	163,1	23,2	10,1	3,4	1,6	5,6	171,58
1,5	16,6	3,7	3,7	18,8	132,1	23,3	10,2	3,7	4,7	15,5	171,21
2,5	16,7	4,2	4,2	27,9	106,9	23,4	10,4	4,2	7,7	22,7	170,06
3,5	16,9	4,9	4,9	34,1	87,9	23,5	10,7	4,9	10,5	27,0	168,10
4,5	17,1	5,6	5,6	37,9	73,7	23,7	11,1	5,6	13,0	29,2	165,46
5,5	17,4	6,5	6,5	40,0	63,1	23,9	11,5	6,5	15,2	30,0	162,32
6,5	17,7	7,3	7,3	41,0	54,9	24,1	12,0	7,3	17,1	29,9	158,83
7,5	18,1	8,2	8,2	41,3	48,5	24,4	12,6	8,2	18,6	29,2	155,09
8,5	18,5	9,1	9,1	41,1	43,3	24,7	13,2	9,1	19,9	28,3	151,19
9,5	19,0	10,1	10,1	40,5	39,1	25,1	13,9	10,1	20,9	27,3	147,20
10,5	19,5	11,0	11,0	39,7	35,6	25,5	14,6	11,0	21,7	26,1	143,17
11,5	20,1	12,0	12,0	38,7	32,7	25,9	15,3	12,0	22,3	25,0	139,16
12,5	20,7	12,9	12,9	37,7	30,2	26,4	16,1	12,9	22,7	23,9	135,18
13,5	21,3	13,9	13,9	36,6	28,1	26,9	16,9	13,9	23,0	22,8	131,28
14,5	22,0	14,9	14,9	35,6	26,2	27,4	17,7	14,9	23,1	21,8	127,46
15,5	22,6	15,9	15,9	34,5	24,6	27,9	18,5	15,9	23,1	20,9	123,75
16,5	23,3	16,8	16,8	33,4	23,1	28,5	19,4	16,8	23,1	20,0	120,14
17,5	24,0	17,8	17,8	32,4	21,8	29,1	20,2	17,8	23,0	19,1	116,66
18,5	24,8	18,8	18,8	31,4	20,7	29,7	21,1	18,8	22,8	18,4	113,30
19,5	25,5	19,8	19,8	30,4	19,6	30,3	22,0	19,8	22,6	17,6	110,06
20,5	26,3	20,8	20,8	29,5	18,7	31,0	22,9	20,8	22,3	16,9	106,95
21,5	27,1	21,8	21,8	28,6	17,8	31,7	23,8	21,8	22,0	16,3	103,96
22,5	27,9	22,8	22,8	27,7	17,1	32,3	24,7	22,8	21,7	15,7	101,09
23,5	28,7	23,7	23,7	26,9	16,3	33,0	25,6	23,7	21,4	15,1	98,33
24,5	29,5	24,7	24,7	26,1	15,7	33,8	26,5	24,7	21,0	14,6	95,69
25,5	30,4	25,7	25,7	25,3	15,1	34,5	27,4	25,7	20,7	14,1	93,16
26,5	31,2	26,7	26,7	24,6	14,5	35,2	28,4	26,7	20,3	13,7	90,73
27,5	32,1	27,7	27,7	23,9	14,0	36,0	29,3	27,7	20,0	13,2	88,40
28,5	32,9	28,7	28,7	23,3	13,5	36,8	30,2	28,7	19,6	12,8	86,17
29,5	33,8	29,7	29,7	22,7	13,1	37,6	31,2	29,7	19,3	12,4	84,04
30,5	34,7	30,7	30,7	22,1	12,6	38,3	32,1	30,7	18,9	12,1	81,99
31,5	35,6	31,7	31,7	21,5	12,2	39,1	33,1	31,7	18,6	11,7	80,02
32,5	36,4	32,7	32,7	21,0	11,9	40,0	34,0	32,7	18,3	11,4	78,13

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	 sinergo	 VA D_VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	19,86
Larghezza scarpa esterna	[m]	13,11
Altezza	[m]	7,58
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	6,75
---------------------------------	-----	------

Parametri di calcolo

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	171,6
---------------------------------	-------	-------

x	13,11
x'	26,61

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R ₀ [m]	R ₁ [m]	R ₂ [m]	a [°]	b [°]	R ₀ ' [m]	R ₁ ' [m]	R ₂ ' [m]	α' [°]	β' [°]	Δσ _z [kPa]
0,5	13,1	0,5	6,8	87,8	85,8	26,6	13,5	6,8	1,0	2,1	169,52
1,5	13,2	1,5	6,9	83,5	77,5	26,7	13,6	6,9	3,1	6,2	165,36
2,5	13,3	2,5	7,2	79,2	69,7	26,7	13,7	7,2	5,1	9,8	161,22
3,5	13,6	3,5	7,6	75,1	62,6	26,8	13,9	7,6	7,0	12,9	157,12
4,5	13,9	4,5	8,1	71,1	56,3	27,0	14,2	8,1	8,8	15,3	153,06
5,5	14,2	5,5	8,7	67,2	50,8	27,2	14,6	8,7	10,5	17,0	149,07
6,5	14,6	6,5	9,4	63,6	46,1	27,4	15,0	9,4	12,0	18,2	145,14
7,5	15,1	7,5	10,1	60,2	42,0	27,6	15,4	10,1	13,3	19,0	141,28
8,5	15,6	8,5	10,9	57,0	38,5	27,9	16,0	10,9	14,5	19,4	137,51
9,5	16,2	9,5	11,7	54,1	35,4	28,3	16,5	11,7	15,5	19,5	133,82
10,5	16,8	10,5	12,5	51,3	32,7	28,6	17,1	12,5	16,3	19,4	130,23
11,5	17,4	11,5	13,3	48,7	30,4	29,0	17,7	13,3	17,1	19,2	126,73
12,5	18,1	12,5	14,2	46,4	28,4	29,4	18,4	14,2	17,6	18,8	123,33
13,5	18,8	13,5	15,1	44,2	26,6	29,8	19,1	15,1	18,1	18,4	120,02
14,5	19,5	14,5	16,0	42,1	25,0	30,3	19,8	16,0	18,5	18,0	116,82
15,5	20,3	15,5	16,9	40,2	23,5	30,8	20,6	16,9	18,7	17,5	113,72
16,5	21,1	16,5	17,8	38,5	22,2	31,3	21,3	17,8	18,9	17,0	110,72
17,5	21,9	17,5	18,8	36,8	21,1	31,8	22,1	18,8	19,0	16,6	107,82
18,5	22,7	18,5	19,7	35,3	20,0	32,4	22,9	19,7	19,1	16,1	105,01
19,5	23,5	19,5	20,6	33,9	19,1	33,0	23,7	20,6	19,1	15,6	102,31
20,5	24,3	20,5	21,6	32,6	18,2	33,6	24,5	21,6	19,0	15,1	99,70
21,5	25,2	21,5	22,5	31,4	17,4	34,2	25,4	22,5	18,9	14,7	97,18
22,5	26,0	22,5	23,5	30,2	16,7	34,8	26,2	23,5	18,8	14,3	94,75
23,5	26,9	23,5	24,5	29,2	16,0	35,5	27,1	24,5	18,7	13,9	92,41
24,5	27,8	24,5	25,4	28,2	15,4	36,2	28,0	25,4	18,5	13,5	90,16
25,5	28,7	25,5	26,4	27,2	14,8	36,9	28,9	26,4	18,3	13,1	87,99
26,5	29,6	26,5	27,3	26,3	14,3	37,6	29,7	27,3	18,1	12,7	85,90
27,5	30,5	27,5	28,3	25,5	13,8	38,3	30,6	28,3	17,9	12,4	83,88
28,5	31,4	28,5	29,3	24,7	13,3	39,0	31,5	29,3	17,7	12,0	81,94
29,5	32,3	29,5	30,3	24,0	12,9	39,7	32,4	30,3	17,5	11,7	80,07
30,5	33,2	30,5	31,2	23,3	12,5	40,5	33,4	31,2	17,2	11,4	78,27
31,5	34,1	31,5	32,2	22,6	12,1	41,2	34,3	32,2	17,0	11,1	76,54
32,5	35,0	32,5	33,2	22,0	11,7	42,0	35,2	33,2	16,8	10,8	74,86

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA s.p.a. ENERGIA VALLEA ASSOCIATI	B	338 di 351
			Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	6,75
Larghezza scarpa esterna	[m]	13,11
Altezza	[m]	7,58
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	171,6
---------------------------------	-------	-------

Coordinate verticale di calcolo	[m]	13,31
---------------------------------	-----	-------

Livello piezometrico da p.c.	[m]	3,00
------------------------------	-----	------

Calcolo incremento tensionale indotto

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m ³]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
1,0	cnc	20,00	0,50	10,00	10,00	85,80
1,0	cnc	20,00	1,50	30,00	30,00	85,79
1,0	cnc	20,00	2,50	50,00	50,00	85,77
1,0	cnc	21,00	3,50	71,00	66,10	85,71
1,0	cnc	21,00	4,50	92,00	77,29	85,61
1,0	cnc	21,00	5,50	113,00	88,48	85,46
1,0	cnc	21,00	6,50	134,00	99,68	85,25
1,0	cnc	21,00	7,50	155,00	110,87	84,97
1,0	cnc	21,00	8,50	176,00	122,06	84,63
1,0	cnc	21,00	9,50	197,00	133,26	84,22
1,0	cnc	21,00	10,50	218,00	144,45	83,73
1,0	cnc	21,00	11,50	239,00	155,64	83,18
1,0	cnc	21,00	12,50	260,00	166,84	82,57
1,0	cnc	21,00	13,50	281,00	178,03	81,89
1,0	cnc	21,00	14,50	302,00	189,23	81,15
1,0	cnc	21,00	15,50	323,00	200,42	80,37
1,0	cnc	21,00	16,50	344,00	211,61	79,53
1,0	cnc	21,00	17,50	365,00	222,81	78,66
1,0	cnc	21,00	18,50	386,00	234,00	77,75
1,0	cnc	21,00	19,50	407,00	245,19	76,81
1,0	coc	22,00	20,50	429,00	257,39	75,84
1,0	coc	22,00	21,50	451,00	269,58	74,85
1,0	coc	22,00	22,50	473,00	281,77	73,85
1,0	coc	22,00	23,50	495,00	293,97	72,84
1,0	coc	22,00	24,50	517,00	306,16	71,82
1,0	coc	22,00	25,50	539,00	318,35	70,79
1,0	coc	22,00	26,50	561,00	330,55	69,77
1,0	coc	22,00	27,50	583,00	342,74	68,74
1,0	coc	22,00	28,50	605,00	354,93	67,72
1,0	coc	22,00	29,50	627,00	367,13	66,71
1,0	coc	22,00	30,50	649,00	379,32	65,70
1,0	coc	22,00	31,50	671,00	391,51	64,71
1,0	coc	22,00	32,50	693,00	403,71	63,73

Rapporto di rigidezza	1,00
-----------------------	------

Calcolo cedimenti indotti

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	6,0	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	6,0	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	6,0	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	6,0	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	6,0	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	6,0	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	5,9	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	5,9	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	5,9	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	5,9	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,3	5,9	5,3
10,0	0,61	0,30	0,5	5,3	5,8	5,3
10,0	0,61	0,30	0,5	5,3	5,8	5,3
10,0	0,61	0,30	0,5	5,2	5,8	5,2
10,0	0,61	0,30	0,5	5,2	5,7	5,2
10,0	0,61	0,30	0,5	5,1	5,7	5,1
10,0	0,61	0,30	0,5	5,1	5,6	5,1
10,0	0,61	0,30	0,5	5,0	5,6	5,0
10,0	0,61	0,30	0,5	5,0	5,5	5,0
10,0	0,61	0,30	0,5	4,9	5,4	4,9
10,0	0,61	0,30	0,5	4,9	5,4	4,9
60,0	0,87	0,40	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,40	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,40	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,40	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,40	0,2	0,1	0,3	0,3

Cedimento immediato	[mm]	13,3
Cedimento di consolidazione	[mm]	107,1
Cedimento totale	[mm]	120,4

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'AOSTA ASSOCIATI	 sinergo	 VA D'VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	19,86
Larghezza scarpa esterna	[m]	13,11
Altezza	[m]	7,58
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	13,31
---------------------------------	-----	-------

Parametri di calcolo

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	171,6
---------------------------------	-------	-------

x	6,56
x'	33,17

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R ₀ [m]	R ₁ [m]	R ₂ [m]	a [°]	b [°]	R ₀ ' [m]	R ₁ ' [m]	R ₂ ' [m]	α' [°]	β' [°]	Δσ _z [kPa]
0,5	6,6	6,6	13,3	171,3	2,2	33,2	20,1	13,3	0,6	0,7	85,80
1,5	6,7	6,7	13,4	154,2	6,5	33,2	20,1	13,4	1,7	2,2	85,79
2,5	7,0	7,0	13,5	138,2	10,2	33,3	20,2	13,5	2,8	3,5	85,77
3,5	7,4	7,4	13,8	123,8	13,4	33,3	20,4	13,8	3,9	4,8	85,71
4,5	8,0	8,0	14,0	111,1	15,8	33,5	20,6	14,0	4,9	6,0	85,61
5,5	8,6	8,6	14,4	100,0	17,5	33,6	20,8	14,4	5,9	7,1	85,46
6,5	9,2	9,2	14,8	90,5	18,7	33,8	21,1	14,8	6,9	8,1	85,25
7,5	10,0	10,0	15,3	82,3	19,4	34,0	21,4	15,3	7,8	8,9	84,97
8,5	10,7	10,7	15,8	75,3	19,8	34,2	21,8	15,8	8,6	9,6	84,63
9,5	11,5	11,5	16,3	69,2	19,9	34,5	22,2	16,3	9,4	10,2	84,22
10,5	12,4	12,4	16,9	64,0	19,7	34,8	22,6	16,9	10,1	10,6	83,73
11,5	13,2	13,2	17,6	59,4	19,5	35,1	23,1	17,6	10,7	11,0	83,18
12,5	14,1	14,1	18,3	55,3	19,1	35,4	23,6	18,3	11,3	11,3	82,57
13,5	15,0	15,0	19,0	51,8	18,7	35,8	24,2	19,0	11,8	11,5	81,89
14,5	15,9	15,9	19,7	48,7	18,2	36,2	24,7	19,7	12,3	11,6	81,15
15,5	16,8	16,8	20,4	45,8	17,7	36,6	25,3	20,4	12,7	11,7	80,37
16,5	17,8	17,8	21,2	43,3	17,2	37,0	26,0	21,2	13,0	11,7	79,53
17,5	18,7	18,7	22,0	41,1	16,7	37,5	26,6	22,0	13,3	11,6	78,66
18,5	19,6	19,6	22,8	39,0	16,2	38,0	27,3	22,8	13,5	11,6	77,75
19,5	20,6	20,6	23,6	37,2	15,7	38,5	28,0	23,6	13,7	11,5	76,81
20,5	21,5	21,5	24,4	35,5	15,3	39,0	28,7	24,4	13,9	11,4	75,84
21,5	22,5	22,5	25,3	33,9	14,8	39,5	29,4	25,3	14,0	11,3	74,85
22,5	23,4	23,4	26,1	32,5	14,4	40,1	30,1	26,1	14,1	11,1	73,85
23,5	24,4	24,4	27,0	31,2	13,9	40,6	30,9	27,0	14,2	11,0	72,84
24,5	25,4	25,4	27,9	30,0	13,5	41,2	31,7	27,9	14,2	10,8	71,82
25,5	26,3	26,3	28,8	28,8	13,1	41,8	32,4	28,8	14,3	10,6	70,79
26,5	27,3	27,3	29,7	27,8	12,8	42,5	33,2	29,7	14,3	10,5	69,77
27,5	28,3	28,3	30,5	26,8	12,4	43,1	34,0	30,5	14,2	10,3	68,74
28,5	29,2	29,2	31,5	25,9	12,1	43,7	34,8	31,5	14,2	10,1	67,72
29,5	30,2	30,2	32,4	25,1	11,7	44,4	35,7	32,4	14,1	9,9	66,71
30,5	31,2	31,2	33,3	24,3	11,4	45,1	36,5	33,3	14,1	9,8	65,70
31,5	32,2	32,2	34,2	23,5	11,1	45,7	37,3	34,2	14,0	9,6	64,71
32,5	33,2	33,2	35,1	22,8	10,9	46,4	38,2	35,1	13,9	9,4	63,73

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	 VA D'VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	19,86
Larghezza scarpa esterna	[m]	13,11
Altezza	[m]	7,58
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	19,86
---------------------------------	-----	-------

Parametri di calcolo

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	171,6
---------------------------------	-------	-------

x	0,00
x'	39,72

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R ₀ [m]	R ₁ [m]	R ₂ [m]	a [°]	b [°]	R ₀ ' [m]	R ₁ ' [m]	R ₂ ' [m]	α' [°]	β' [°]	Δσ _z [kPa]
0,5	0,5	13,1	19,9	87,8	0,7	39,7	26,6	19,9	0,4	0,4	2,08
1,5	1,5	13,2	19,9	83,5	2,2	39,7	26,7	19,9	1,1	1,1	6,22
2,5	2,5	13,3	20,0	79,2	3,6	39,8	26,7	20,0	1,8	1,8	10,28
3,5	3,5	13,6	20,2	75,1	5,0	39,9	26,8	20,2	2,5	2,5	14,20
4,5	4,5	13,9	20,4	71,1	6,2	40,0	27,0	20,4	3,1	3,2	17,96
5,5	5,5	14,2	20,6	67,2	7,3	40,1	27,2	20,6	3,8	3,8	21,52
6,5	6,5	14,6	20,9	63,6	8,2	40,2	27,4	20,9	4,4	4,4	24,86
7,5	7,5	15,1	21,2	60,2	9,1	40,4	27,6	21,2	5,0	4,9	27,96
8,5	8,5	15,6	21,6	57,0	9,8	40,6	27,9	21,6	5,6	5,5	30,81
9,5	9,5	16,2	22,0	54,1	10,4	40,8	28,3	22,0	6,2	5,9	33,42
10,5	10,5	16,8	22,5	51,3	10,8	41,1	28,6	22,5	6,7	6,3	35,79
11,5	11,5	17,4	22,9	48,7	11,2	41,4	29,0	22,9	7,2	6,7	37,92
12,5	12,5	18,1	23,5	46,4	11,4	41,6	29,4	23,5	7,7	7,0	39,83
13,5	13,5	18,8	24,0	44,2	11,6	42,0	29,8	24,0	8,1	7,3	41,53
14,5	14,5	19,5	24,6	42,1	11,7	42,3	30,3	24,6	8,5	7,5	43,04
15,5	15,5	20,3	25,2	40,2	11,8	42,6	30,8	25,2	8,9	7,8	44,36
16,5	16,5	21,1	25,8	38,5	11,8	43,0	31,3	25,8	9,2	7,9	45,51
17,5	17,5	21,9	26,5	36,8	11,8	43,4	31,8	26,5	9,6	8,1	46,50
18,5	18,5	22,7	27,1	35,3	11,7	43,8	32,4	27,1	9,8	8,2	47,35
19,5	19,5	23,5	27,8	33,9	11,6	44,2	33,0	27,8	10,1	8,2	48,06
20,5	20,5	24,3	28,5	32,6	11,5	44,7	33,6	28,5	10,3	8,3	48,65
21,5	21,5	25,2	29,3	31,4	11,4	45,2	34,2	29,3	10,5	8,3	49,13
22,5	22,5	26,0	30,0	30,2	11,2	45,7	34,8	30,0	10,7	8,4	49,51
23,5	23,5	26,9	30,8	29,2	11,0	46,2	35,5	30,8	10,8	8,4	49,80
24,5	24,5	27,8	31,5	28,2	10,9	46,7	36,2	31,5	11,0	8,3	50,00
25,5	25,5	28,7	32,3	27,2	10,7	47,2	36,9	32,3	11,1	8,3	50,13
26,5	26,5	29,6	33,1	26,3	10,5	47,7	37,6	33,1	11,2	8,3	50,19
27,5	27,5	30,5	33,9	25,5	10,3	48,3	38,3	33,9	11,2	8,2	50,18
28,5	28,5	31,4	34,7	24,7	10,2	48,9	39,0	34,7	11,3	8,2	50,13
29,5	29,5	32,3	35,6	24,0	10,0	49,5	39,7	35,6	11,3	8,1	50,02
30,5	30,5	33,2	36,4	23,3	9,8	50,1	40,5	36,4	11,4	8,0	49,87
31,5	31,5	34,1	37,2	22,6	9,6	50,7	41,2	37,2	11,4	8,0	49,68
32,5	32,5	35,0	38,1	22,0	9,5	51,3	42,0	38,1	11,4	7,9	49,46

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'AOSTA  sinergo  VA D'VisionArchitecture	B	342 di 351
			Data 02/2024	

21.2 Sezione 74

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	6,75
Larghezza scarpa esterna	[m]	6,63
Altezza	[m]	4,54
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	110,8
---------------------------------	-------	-------

Coordinate verticale di calcolo	[m]	0,00
---------------------------------	-----	------

Livello piezometrico da p.c.	[m]	3,00
------------------------------	-----	------

Rapporto di rigidezza	1,00
-----------------------	------

Calcolo incremento tensionale indotto

Calcolo cedimenti indotti

ΔZ [m]	Tipo terreno	γ [kN/m ³]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
1,0	nc	18,00	0,50	9,00	9,00	110,79
1,0	nc	18,00	1,50	27,00	27,00	110,61
1,0	nc	18,00	2,50	45,00	45,00	109,98
1,0	nc	21,00	3,50	66,00	61,10	108,73
1,0	nc	21,00	4,50	87,00	72,29	106,84
1,0	nc	21,00	5,50	108,00	83,48	104,38
1,0	cnc	21,00	6,50	129,00	94,68	101,47
1,0	cnc	21,00	7,50	150,00	105,87	98,25
1,0	cnc	21,00	8,50	171,00	117,06	94,84
1,0	cnc	21,00	9,50	192,00	128,26	91,35
1,0	cnc	21,00	10,50	213,00	139,45	87,86
1,0	cnc	21,00	11,50	234,00	150,64	84,42
1,0	cnc	21,00	12,50	255,00	161,84	81,08
1,0	cnc	21,00	13,50	276,00	173,03	77,87
1,0	cnc	21,00	14,50	297,00	184,23	74,80
1,0	cnc	21,00	15,50	318,00	195,42	71,88
1,0	coc	22,00	16,50	340,00	207,61	69,11
1,0	coc	22,00	17,50	362,00	219,81	66,48
1,0	coc	22,00	18,50	384,00	232,00	64,01
1,0	coc	22,00	19,50	406,00	244,19	61,67
1,0	coc	22,00	20,50	428,00	256,39	59,47
1,0	coc	22,00	21,50	450,00	268,58	57,40
1,0	coc	22,00	22,50	472,00	280,77	55,44
1,0	coc	22,00	23,50	494,00	292,97	53,59
1,0	coc	22,00	24,50	516,00	305,16	51,85
1,0	coc	22,00	25,50	538,00	317,35	50,20
1,0	coc	22,00	26,50	560,00	329,55	48,65
1,0	coc	22,00	27,50	582,00	341,74	47,18
1,0	coc	22,00	28,50	604,00	353,93	45,78
1,0	coc	22,00	29,50	626,00	366,13	44,46
1,0	coc	22,00	30,50	648,00	378,32	43,21
1,0	coc	22,00	31,50	670,00	390,51	42,02
1,0	coc	22,00	32,50	692,00	402,71	40,89

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
10,0	0,43	0,30	8,2	-	8,2	-
10,0	0,43	0,30	8,2	-	8,2	-
10,0	0,43	0,30	8,2	-	8,2	-
10,0	0,43	0,30	8,1	-	8,1	-
10,0	0,43	0,30	8,0	-	8,0	-
10,0	0,43	0,30	7,8	-	7,8	-
10,0	0,61	0,30	0,6	6,4	7,1	6,4
10,0	0,61	0,30	0,6	6,2	6,9	6,2
10,0	0,61	0,30	0,6	6,0	6,6	6,0
10,0	0,61	0,30	0,6	5,8	6,4	5,8
10,0	0,61	0,30	0,6	5,6	6,1	5,6
10,0	0,61	0,30	0,5	5,4	5,9	5,4
10,0	0,61	0,30	0,5	5,1	5,7	5,1
10,0	0,61	0,30	0,5	4,9	5,4	4,9
10,0	0,61	0,30	0,5	4,7	5,2	4,7
10,0	0,61	0,30	0,5	4,6	5,0	4,6
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,6	0,6
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3

Cedimento immediato	[mm]	58,3
Cedimento di consolidazione	[mm]	57,7
Cedimento totale	[mm]	116,0

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	 VA D'VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	13,38
Larghezza scarpa esterna	[m]	6,63
Altezza	[m]	4,54
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	0,00
---------------------------------	-----	------

Parametri di calcolo

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	110,8
---------------------------------	-------	-------

x	13,38
x'	13,38

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R ₀ [m]	R ₁ [m]	R ₂ [m]	a [°]	b [°]	R ₀ ' [m]	R ₁ ' [m]	R ₂ ' [m]	α' [°]	β' [°]	Δσ _z [kPa]
0,5	13,4	6,8	0,5	2,1	85,8	13,4	6,8	0,5	2,1	85,8	110,79
1,5	13,5	6,9	1,5	6,1	77,5	13,5	6,9	1,5	6,1	77,5	110,61
2,5	13,6	7,2	2,5	9,7	69,7	13,6	7,2	2,5	9,7	69,7	109,98
3,5	13,8	7,6	3,5	12,7	62,6	13,8	7,6	3,5	12,7	62,6	108,73
4,5	14,1	8,1	4,5	15,1	56,3	14,1	8,1	4,5	15,1	56,3	106,84
5,5	14,5	8,7	5,5	16,8	50,8	14,5	8,7	5,5	16,8	50,8	104,38
6,5	14,9	9,4	6,5	18,0	46,1	14,9	9,4	6,5	18,0	46,1	101,47
7,5	15,3	10,1	7,5	18,7	42,0	15,3	10,1	7,5	18,7	42,0	98,25
8,5	15,9	10,9	8,5	19,1	38,5	15,9	10,9	8,5	19,1	38,5	94,84
9,5	16,4	11,7	9,5	19,2	35,4	16,4	11,7	9,5	19,2	35,4	91,35
10,5	17,0	12,5	10,5	19,1	32,7	17,0	12,5	10,5	19,1	32,7	87,86
11,5	17,6	13,3	11,5	18,9	30,4	17,6	13,3	11,5	18,9	30,4	84,42
12,5	18,3	14,2	12,5	18,6	28,4	18,3	14,2	12,5	18,6	28,4	81,08
13,5	19,0	15,1	13,5	18,2	26,6	19,0	15,1	13,5	18,2	26,6	77,87
14,5	19,7	16,0	14,5	17,7	25,0	19,7	16,0	14,5	17,7	25,0	74,80
15,5	20,5	16,9	15,5	17,3	23,5	20,5	16,9	15,5	17,3	23,5	71,88
16,5	21,2	17,8	16,5	16,8	22,2	21,2	17,8	16,5	16,8	22,2	69,11
17,5	22,0	18,8	17,5	16,3	21,1	22,0	18,8	17,5	16,3	21,1	66,48
18,5	22,8	19,7	18,5	15,8	20,0	22,8	19,7	18,5	15,8	20,0	64,01
19,5	23,6	20,6	19,5	15,4	19,1	23,6	20,6	19,5	15,4	19,1	61,67
20,5	24,5	21,6	20,5	14,9	18,2	24,5	21,6	20,5	14,9	18,2	59,47
21,5	25,3	22,5	21,5	14,5	17,4	25,3	22,5	21,5	14,5	17,4	57,40
22,5	26,2	23,5	22,5	14,0	16,7	26,2	23,5	22,5	14,0	16,7	55,44
23,5	27,0	24,5	23,5	13,6	16,0	27,0	24,5	23,5	13,6	16,0	53,59
24,5	27,9	25,4	24,5	13,2	15,4	27,9	25,4	24,5	13,2	15,4	51,85
25,5	28,8	26,4	25,5	12,9	14,8	28,8	26,4	25,5	12,9	14,8	50,20
26,5	29,7	27,3	26,5	12,5	14,3	29,7	27,3	26,5	12,5	14,3	48,65
27,5	30,6	28,3	27,5	12,2	13,8	30,6	28,3	27,5	12,2	13,8	47,18
28,5	31,5	29,3	28,5	11,8	13,3	31,5	29,3	28,5	11,8	13,3	45,78
29,5	32,4	30,3	29,5	11,5	12,9	32,4	30,3	29,5	11,5	12,9	44,46
30,5	33,3	31,2	30,5	11,2	12,5	33,3	31,2	30,5	11,2	12,5	43,21
31,5	34,2	32,2	31,5	10,9	12,1	34,2	32,2	31,5	10,9	12,1	42,02
32,5	35,1	33,2	32,5	10,6	11,7	35,1	33,2	32,5	10,6	11,7	40,89

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLEA ASSOCIATI	B	344 di 351
			Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	6,75
Larghezza scarpa esterna	[m]	6,63
Altezza	[m]	4,54
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	110,8
---------------------------------	-------	-------

Coordinate verticale di calcolo	[m]	3,38
---------------------------------	-----	------

Livello piezometrico da p.c.	[m]	3,00
------------------------------	-----	------

Calcolo incremento tensionale indotto

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m ³]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
1,0	nc	18,00	0,50	9,00	9,00	110,78
1,0	nc	18,00	1,50	27,00	27,00	110,35
1,0	nc	18,00	2,50	45,00	45,00	109,05
1,0	nc	21,00	3,50	66,00	61,10	106,89
1,0	nc	21,00	4,50	87,00	72,29	104,09
1,0	nc	21,00	5,50	108,00	83,48	100,90
1,0	cnc	21,00	6,50	129,00	94,68	97,49
1,0	cnc	21,00	7,50	150,00	105,87	94,00
1,0	cnc	21,00	8,50	171,00	117,06	90,50
1,0	cnc	21,00	9,50	192,00	128,26	87,06
1,0	cnc	21,00	10,50	213,00	139,45	83,72
1,0	cnc	21,00	11,50	234,00	150,64	80,49
1,0	cnc	21,00	12,50	255,00	161,84	77,40
1,0	cnc	21,00	13,50	276,00	173,03	74,44
1,0	cnc	21,00	14,50	297,00	184,23	71,63
1,0	cnc	21,00	15,50	318,00	195,42	68,96
1,0	coc	22,00	16,50	340,00	207,61	66,43
1,0	coc	22,00	17,50	362,00	219,81	64,03
1,0	coc	22,00	18,50	384,00	232,00	61,77
1,0	coc	22,00	19,50	406,00	244,19	59,63
1,0	coc	22,00	20,50	428,00	256,39	57,60
1,0	coc	22,00	21,50	450,00	268,58	55,68
1,0	coc	22,00	22,50	472,00	280,77	53,87
1,0	coc	22,00	23,50	494,00	292,97	52,15
1,0	coc	22,00	24,50	516,00	305,16	50,53
1,0	coc	22,00	25,50	538,00	317,35	48,99
1,0	coc	22,00	26,50	560,00	329,55	47,53
1,0	coc	22,00	27,50	582,00	341,74	46,15
1,0	coc	22,00	28,50	604,00	353,93	44,84
1,0	coc	22,00	29,50	626,00	366,13	43,59
1,0	coc	22,00	30,50	648,00	378,32	42,40
1,0	coc	22,00	31,50	670,00	390,51	41,27
1,0	coc	22,00	32,50	692,00	402,71	40,20

Rapporto di rigidezza

1,00

Calcolo cedimenti indotti

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
10,0	0,43	0,30	8,2	-	8,2	-
10,0	0,43	0,30	8,2	-	8,2	-
10,0	0,43	0,30	8,1	-	8,1	-
10,0	0,43	0,30	8,0	-	8,0	-
10,0	0,43	0,30	7,7	-	7,7	-
10,0	0,43	0,30	7,5	-	7,5	-
10,0	0,61	0,30	0,6	6,2	6,8	6,2
10,0	0,61	0,30	0,6	6,0	6,6	6,0
10,0	0,61	0,30	0,6	5,7	6,3	5,7
10,0	0,61	0,30	0,6	5,5	6,1	5,5
10,0	0,61	0,30	0,5	5,3	5,8	5,3
10,0	0,61	0,30	0,5	5,1	5,6	5,1
10,0	0,61	0,30	0,5	4,9	5,4	4,9
10,0	0,61	0,30	0,5	4,7	5,2	4,7
10,0	0,61	0,30	0,5	4,5	5,0	4,5
10,0	0,61	0,30	0,4	4,4	4,8	4,4
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,5	0,5
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,3	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	-	-	-	-

Cedimento immediato	[mm]	57,0
Cedimento di consolidazione	[mm]	55,1
Cedimento totale	[mm]	112,1

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	 VA D'VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	13,38
Larghezza scarpa esterna	[m]	6,63
Altezza	[m]	4,54
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	3,38
---------------------------------	-----	------

Parametri di calcolo

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	110,8
---------------------------------	-------	-------

x	10,01
x'	16,76

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R ₀ [m]	R ₁ [m]	R ₂ [m]	a [°]	b [°]	R ₀ ' [m]	R ₁ ' [m]	R ₂ ' [m]	α' [°]	β' [°]	Δσ _z [kPa]
0,5	10,0	3,4	3,4	5,6	163,1	16,8	10,1	3,4	1,1	5,6	110,78
1,5	10,1	3,7	3,7	15,4	132,1	16,8	10,2	3,7	3,3	15,5	110,35
2,5	10,3	4,2	4,2	22,5	106,9	16,9	10,4	4,2	5,4	22,7	109,05
3,5	10,6	4,9	4,9	26,8	87,9	17,1	10,7	4,9	7,3	27,0	106,89
4,5	11,0	5,6	5,6	28,9	73,7	17,3	11,1	5,6	8,9	29,2	104,09
5,5	11,4	6,5	6,5	29,7	63,1	17,6	11,5	6,5	10,3	30,0	100,90
6,5	11,9	7,3	7,3	29,5	54,9	18,0	12,0	7,3	11,5	29,9	97,49
7,5	12,5	8,2	8,2	28,9	48,5	18,4	12,6	8,2	12,4	29,2	94,00
8,5	13,1	9,1	9,1	28,0	43,3	18,8	13,2	9,1	13,1	28,3	90,50
9,5	13,8	10,1	10,1	26,9	39,1	19,3	13,9	10,1	13,6	27,3	87,06
10,5	14,5	11,0	11,0	25,8	35,6	19,8	14,6	11,0	14,0	26,1	83,72
11,5	15,2	12,0	12,0	24,7	32,7	20,3	15,3	12,0	14,2	25,0	80,49
12,5	16,0	12,9	12,9	23,6	30,2	20,9	16,1	12,9	14,3	23,9	77,40
13,5	16,8	13,9	13,9	22,5	28,1	21,5	16,9	13,9	14,3	22,8	74,44
14,5	17,6	14,9	14,9	21,5	26,2	22,2	17,7	14,9	14,2	21,8	71,63
15,5	18,4	15,9	15,9	20,6	24,6	22,8	18,5	15,9	14,1	20,9	68,96
16,5	19,3	16,8	16,8	19,7	23,1	23,5	19,4	16,8	13,9	20,0	66,43
17,5	20,2	17,8	17,8	18,8	21,8	24,2	20,2	17,8	13,7	19,1	64,03
18,5	21,0	18,8	18,8	18,1	20,7	25,0	21,1	18,8	13,5	18,4	61,77
19,5	21,9	19,8	19,8	17,3	19,6	25,7	22,0	19,8	13,2	17,6	59,63
20,5	22,8	20,8	20,8	16,7	18,7	26,5	22,9	20,8	13,0	16,9	57,60
21,5	23,7	21,8	21,8	16,0	17,8	27,3	23,8	21,8	12,7	16,3	55,68
22,5	24,6	22,8	22,8	15,4	17,1	28,1	24,7	22,8	12,4	15,7	53,87
23,5	25,5	23,7	23,7	14,9	16,3	28,9	25,6	23,7	12,2	15,1	52,15
24,5	26,5	24,7	24,7	14,4	15,7	29,7	26,5	24,7	11,9	14,6	50,53
25,5	27,4	25,7	25,7	13,9	15,1	30,5	27,4	25,7	11,7	14,1	48,99
26,5	28,3	26,7	26,7	13,4	14,5	31,4	28,4	26,7	11,4	13,7	47,53
27,5	29,3	27,7	27,7	13,0	14,0	32,2	29,3	27,7	11,1	13,2	46,15
28,5	30,2	28,7	28,7	12,6	13,5	33,1	30,2	28,7	10,9	12,8	44,84
29,5	31,2	29,7	29,7	12,2	13,1	33,9	31,2	29,7	10,7	12,4	43,59
30,5	32,1	30,7	30,7	11,8	12,6	34,8	32,1	30,7	10,4	12,1	42,40
31,5	33,1	31,7	31,7	11,5	12,2	35,7	33,1	31,7	10,2	11,7	41,27
32,5	34,0	32,7	32,7	11,2	11,9	36,6	34,0	32,7	10,0	11,4	40,20

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA ENERGIA VALLE D'AOSTA s.r.l.	 sinergo	B
			Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	13,38
Larghezza scarpa esterna	[m]	6,63
Altezza	[m]	4,54
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	6,75
---------------------------------	-----	------

Parametri di calcolo

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	110,8
---------------------------------	-------	-------

x	6,63
x'	20,13

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R ₀ [m]	R ₁ [m]	R ₂ [m]	a [°]	b [°]	R ₀ ' [m]	R ₁ ' [m]	R ₂ ' [m]	α' [°]	β' [°]	Δσ _z [kPa]
0,5	6,6	0,5	6,8	85,7	85,8	20,1	13,5	6,8	0,7	2,1	108,14
1,5	6,8	1,5	6,9	77,3	77,5	20,2	13,6	6,9	2,1	6,2	102,93
2,5	7,1	2,5	7,2	69,3	69,7	20,3	13,7	7,2	3,4	9,8	98,00
3,5	7,5	3,5	7,6	62,2	62,6	20,4	13,9	7,6	4,7	12,9	93,45
4,5	8,0	4,5	8,1	55,8	56,3	20,6	14,2	8,1	5,8	15,3	89,32
5,5	8,6	5,5	8,7	50,3	50,8	20,9	14,6	8,7	6,9	17,0	85,60
6,5	9,3	6,5	9,4	45,6	46,1	21,2	15,0	9,4	7,8	18,2	82,23
7,5	10,0	7,5	10,1	41,5	42,0	21,5	15,4	10,1	8,6	19,0	79,16
8,5	10,8	8,5	10,9	38,0	38,5	21,9	16,0	10,9	9,3	19,4	76,33
9,5	11,6	9,5	11,7	34,9	35,4	22,3	16,5	11,7	9,9	19,5	73,71
10,5	12,4	10,5	12,5	32,3	32,7	22,7	17,1	12,5	10,3	19,4	71,25
11,5	13,3	11,5	13,3	30,0	30,4	23,2	17,7	13,3	10,7	19,2	68,93
12,5	14,1	12,5	14,2	27,9	28,4	23,7	18,4	14,2	11,0	18,8	66,74
13,5	15,0	13,5	15,1	26,2	26,6	24,2	19,1	15,1	11,2	18,4	64,64
14,5	15,9	14,5	16,0	24,6	25,0	24,8	19,8	16,0	11,3	18,0	62,65
15,5	16,9	15,5	16,9	23,2	23,5	25,4	20,6	16,9	11,3	17,5	60,74
16,5	17,8	16,5	17,8	21,9	22,2	26,0	21,3	17,8	11,4	17,0	58,91
17,5	18,7	17,5	18,8	20,7	21,1	26,7	22,1	18,8	11,4	16,6	57,16
18,5	19,7	18,5	19,7	19,7	20,0	27,3	22,9	19,7	11,3	16,1	55,48
19,5	20,6	19,5	20,6	18,8	19,1	28,0	23,7	20,6	11,2	15,6	53,88
20,5	21,5	20,5	21,6	17,9	18,2	28,7	24,5	21,6	11,1	15,1	52,34
21,5	22,5	21,5	22,5	17,1	17,4	29,5	25,4	22,5	11,0	14,7	50,86
22,5	23,5	22,5	23,5	16,4	16,7	30,2	26,2	23,5	10,9	14,3	49,45
23,5	24,4	23,5	24,5	15,8	16,0	30,9	27,1	24,5	10,7	13,9	48,10
24,5	25,4	24,5	25,4	15,1	15,4	31,7	28,0	25,4	10,6	13,5	46,80
25,5	26,3	25,5	26,4	14,6	14,8	32,5	28,9	26,4	10,4	13,1	45,56
26,5	27,3	26,5	27,3	14,0	14,3	33,3	29,7	27,3	10,2	12,7	44,37
27,5	28,3	27,5	28,3	13,6	13,8	34,1	30,6	28,3	10,1	12,4	43,24
28,5	29,3	28,5	29,3	13,1	13,3	34,9	31,5	29,3	9,9	12,0	42,14
29,5	30,2	29,5	30,3	12,7	12,9	35,7	32,4	30,3	9,7	11,7	41,10
30,5	31,2	30,5	31,2	12,3	12,5	36,5	33,4	31,2	9,5	11,4	40,09
31,5	32,2	31,5	32,2	11,9	12,1	37,4	34,3	32,2	9,4	11,1	39,13
32,5	33,2	32,5	33,2	11,5	11,7	38,2	35,2	33,2	9,2	10,8	38,21

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE		REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVIA ENERGIA VALLEA ASSOCIATI	 sinergo	B
			Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza in sommità	[m]	6,75
Larghezza scarpa esterna	[m]	6,63
Altezza	[m]	4,54
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	110,8
---------------------------------	-------	-------

Coordinate verticale di calcolo	[m]	10,07
---------------------------------	-----	-------

Livello piezometrico da p.c.	[m]	3,00
------------------------------	-----	------

Rapporto di rigidezza	1,00
-----------------------	------

Calcolo incremento tensionale indotto

Calcolo cedimenti indotti

Δz [m]	Tipo terreno	γ [kN/m ³]	z_i [m]	σ_z [kPa]	σ'_z [kPa]	$\Delta\sigma_z$ [kPa]
1,0	nc	18,00	0,50	9,00	9,00	55,40
1,0	nc	18,00	1,50	27,00	27,00	55,39
1,0	nc	18,00	2,50	45,00	45,00	55,35
1,0	nc	21,00	3,50	66,00	61,10	55,27
1,0	nc	21,00	4,50	87,00	72,29	55,14
1,0	nc	21,00	5,50	108,00	83,48	54,94
1,0	cnc	21,00	6,50	129,00	94,68	54,66
1,0	cnc	21,00	7,50	150,00	105,87	54,31
1,0	cnc	21,00	8,50	171,00	117,06	53,89
1,0	cnc	21,00	9,50	192,00	128,26	53,39
1,0	cnc	21,00	10,50	213,00	139,45	52,82
1,0	cnc	21,00	11,50	234,00	150,64	52,18
1,0	cnc	21,00	12,50	255,00	161,84	51,49
1,0	cnc	21,00	13,50	276,00	173,03	50,75
1,0	cnc	21,00	14,50	297,00	184,23	49,97
1,0	cnc	21,00	15,50	318,00	195,42	49,16
1,0	coc	22,00	16,50	340,00	207,61	48,32
1,0	coc	22,00	17,50	362,00	219,81	47,47
1,0	coc	22,00	18,50	384,00	232,00	46,60
1,0	coc	22,00	19,50	406,00	244,19	45,73
1,0	coc	22,00	20,50	428,00	256,39	44,85
1,0	coc	22,00	21,50	450,00	268,58	43,98
1,0	coc	22,00	22,50	472,00	280,77	43,11
1,0	coc	22,00	23,50	494,00	292,97	42,25
1,0	coc	22,00	24,50	516,00	305,16	41,41
1,0	coc	22,00	25,50	538,00	317,35	40,57
1,0	coc	22,00	26,50	560,00	329,55	39,76
1,0	coc	22,00	27,50	582,00	341,74	38,96
1,0	coc	22,00	28,50	604,00	353,93	38,17
1,0	coc	22,00	29,50	626,00	366,13	37,41
1,0	coc	22,00	30,50	648,00	378,32	36,67
1,0	coc	22,00	31,50	670,00	390,51	35,94
1,0	coc	22,00	32,50	692,00	402,71	35,23

E [MPa]	K_0 [-]	ν [-]	S_i [mm]	S_c [mm]	S_t [mm]	S_{ED} [mm]
10,0	0,43	0,30	4,1	-	4,1	-
10,0	0,43	0,30	4,1	-	4,1	-
10,0	0,43	0,30	4,1	-	4,1	-
10,0	0,43	0,30	4,1	-	4,1	-
10,0	0,43	0,30	4,1	-	4,1	-
10,0	0,43	0,30	4,1	-	4,1	-
10,0	0,61	0,30	0,3	3,5	3,8	3,5
10,0	0,61	0,30	0,3	3,4	3,8	3,4
10,0	0,61	0,30	0,3	3,4	3,8	3,4
10,0	0,61	0,30	0,3	3,4	3,7	3,4
10,0	0,61	0,30	0,3	3,4	3,7	3,4
10,0	0,61	0,30	0,3	3,3	3,6	3,3
10,0	0,61	0,30	0,3	3,3	3,6	3,3
10,0	0,61	0,30	0,3	3,2	3,5	3,2
10,0	0,61	0,30	0,3	3,2	3,5	3,2
10,0	0,61	0,30	0,3	3,1	3,4	3,1
60,0	0,87	0,30	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,2	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,4	0,4
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	0,2	0,1	0,3	0,3
60,0	0,87	0,30	-	-	-	-
60,0	0,87	0,30	-	-	-	-
60,0	0,87	0,30	-	-	-	-

Cedimento immediato	[mm]	30,9
Cedimento di consolidazione	[mm]	35,1
Cedimento totale	[mm]	65,9

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	 VA D'VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	13,38
Larghezza scarpa esterna	[m]	6,63
Altezza	[m]	4,54
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	10,07
---------------------------------	-----	-------

Parametri di calcolo

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	110,8
---------------------------------	-------	-------

x	3,32
x'	23,45

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R ₀ [m]	R ₁ [m]	R ₂ [m]	a [°]	b [°]	R ₀ ' [m]	R ₁ ' [m]	R ₂ ' [m]	α' [°]	β' [°]	Δσ _z [kPa]
0,5	3,4	3,4	10,1	162,8	5,7	23,5	16,8	10,1	0,5	1,1	55,40
1,5	3,6	3,6	10,2	131,3	15,9	23,5	16,9	10,2	1,4	3,4	55,39
2,5	4,2	4,2	10,4	106,0	23,1	23,6	17,0	10,4	2,4	5,5	55,35
3,5	4,8	4,8	10,7	86,9	27,4	23,7	17,2	10,7	3,3	7,4	55,27
4,5	5,6	5,6	11,0	72,8	29,5	23,9	17,4	11,0	4,1	9,1	55,14
5,5	6,4	6,4	11,5	62,2	30,3	24,1	17,7	11,5	4,9	10,5	54,94
6,5	7,3	7,3	12,0	54,0	30,1	24,3	18,0	12,0	5,6	11,7	54,66
7,5	8,2	8,2	12,6	47,7	29,5	24,6	18,4	12,6	6,3	12,7	54,31
8,5	9,1	9,1	13,2	42,6	28,5	24,9	18,8	13,2	6,9	13,4	53,89
9,5	10,1	10,1	13,8	38,5	27,4	25,3	19,3	13,8	7,4	13,9	53,39
10,5	11,0	11,0	14,5	35,0	26,3	25,7	19,8	14,5	7,9	14,2	52,82
11,5	12,0	12,0	15,3	32,2	25,1	26,1	20,4	15,3	8,2	14,4	52,18
12,5	12,9	12,9	16,0	29,7	24,0	26,6	21,0	16,0	8,6	14,5	51,49
13,5	13,9	13,9	16,8	27,6	22,9	27,1	21,6	16,8	8,8	14,5	50,75
14,5	14,9	14,9	17,7	25,8	21,9	27,6	22,2	17,7	9,0	14,5	49,97
15,5	15,9	15,9	18,5	24,1	20,9	28,1	22,9	18,5	9,2	14,3	49,16
16,5	16,8	16,8	19,3	22,7	20,0	28,7	23,6	19,3	9,3	14,2	48,32
17,5	17,8	17,8	20,2	21,5	19,2	29,3	24,3	20,2	9,4	14,0	47,47
18,5	18,8	18,8	21,1	20,3	18,4	29,9	25,0	21,1	9,5	13,7	46,60
19,5	19,8	19,8	21,9	19,3	17,7	30,5	25,7	21,9	9,5	13,5	45,73
20,5	20,8	20,8	22,8	18,4	17,0	31,1	26,5	22,8	9,5	13,2	44,85
21,5	21,8	21,8	23,7	17,5	16,3	31,8	27,3	23,7	9,4	12,9	43,98
22,5	22,7	22,7	24,6	16,8	15,7	32,5	28,1	24,6	9,4	12,7	43,11
23,5	23,7	23,7	25,6	16,1	15,2	33,2	28,9	25,6	9,3	12,4	42,25
24,5	24,7	24,7	26,5	15,4	14,6	33,9	29,7	26,5	9,3	12,1	41,41
25,5	25,7	25,7	27,4	14,8	14,1	34,6	30,5	27,4	9,2	11,9	40,57
26,5	26,7	26,7	28,3	14,3	13,7	35,4	31,4	28,3	9,1	11,6	39,76
27,5	27,7	27,7	29,3	13,7	13,2	36,1	32,2	29,3	9,0	11,3	38,96
28,5	28,7	28,7	30,2	13,3	12,8	36,9	33,1	30,2	8,9	11,1	38,17
29,5	29,7	29,7	31,2	12,8	12,4	37,7	34,0	31,2	8,8	10,8	37,41
30,5	30,7	30,7	32,1	12,4	12,1	38,5	34,8	32,1	8,7	10,6	36,67
31,5	31,7	31,7	33,1	12,0	11,7	39,3	35,7	33,1	8,6	10,4	35,94
32,5	32,7	32,7	34,0	11,6	11,4	40,1	36,6	34,0	8,4	10,1	35,23

CODIFICA DOCUMENTO T 00-GE03-GET-RE 01	PROGETTAZIONE			REV.	FOGLIO
	MANDATARIA  PRO ITER Progetto Infrastrutture Territorio s.r.l.	MANDANTI  EITVA s.r.l. ENERGIA VALLE D'AOSTA	 sinergo	 VA D'VisionArchitecture	B
				Data 02/2024	

Caratteristiche del rilevato

Semilarghezza totale rilevato	[m]	13,38
Larghezza scarpa esterna	[m]	6,63
Altezza	[m]	4,54
Peso di volume del materiale	[kN/m ³]	20,00

Coordinate verticale di calcolo	[m]	13,38
---------------------------------	-----	-------

Parametri di calcolo

Tensione alla base del rilevato	[kPa]	110,8
---------------------------------	-------	-------

x	0,00
x'	26,76

Calcolo incremento tensionale indotto

z [m]	R ₀ [m]	R ₁ [m]	R ₂ [m]	a [°]	b [°]	R ₀ ' [m]	R ₁ ' [m]	R ₂ ' [m]	α' [°]	β' [°]	Δσ _z [kPa]
0,5	0,5	6,6	13,4	85,7	2,2	26,8	20,1	13,4	0,4	0,7	2,65
1,5	1,5	6,8	13,5	77,3	6,4	26,8	20,2	13,5	1,1	2,1	7,84
2,5	2,5	7,1	13,6	69,3	10,1	26,9	20,3	13,6	1,7	3,5	12,69
3,5	3,5	7,5	13,8	62,2	13,2	27,0	20,4	13,8	2,4	4,8	17,05
4,5	4,5	8,0	14,1	55,8	15,6	27,1	20,6	14,1	3,1	6,0	20,87
5,5	5,5	8,6	14,5	50,3	17,3	27,3	20,9	14,5	3,7	7,1	24,13
6,5	6,5	9,3	14,9	45,6	18,5	27,5	21,2	14,9	4,2	8,0	26,88
7,5	7,5	10,0	15,3	41,5	19,3	27,8	21,5	15,3	4,8	8,8	29,16
8,5	8,5	10,8	15,9	38,0	19,6	28,1	21,9	15,9	5,3	9,5	31,04
9,5	9,5	11,6	16,4	34,9	19,7	28,4	22,3	16,4	5,7	10,1	32,57
10,5	10,5	12,4	17,0	32,3	19,6	28,7	22,7	17,0	6,1	10,6	33,79
11,5	11,5	13,3	17,6	30,0	19,4	29,1	23,2	17,6	6,5	10,9	34,76
12,5	12,5	14,1	18,3	27,9	19,0	29,5	23,7	18,3	6,8	11,2	35,50
13,5	13,5	15,0	19,0	26,2	18,6	30,0	24,2	19,0	7,1	11,4	36,05
14,5	14,5	15,9	19,7	24,6	18,1	30,4	24,8	19,7	7,3	11,5	36,43
15,5	15,5	16,9	20,5	23,2	17,6	30,9	25,4	20,5	7,5	11,6	36,67
16,5	16,5	17,8	21,2	21,9	17,1	31,4	26,0	21,2	7,7	11,6	36,80
17,5	17,5	18,7	22,0	20,7	16,7	32,0	26,7	22,0	7,8	11,6	36,81
18,5	18,5	19,7	22,8	19,7	16,2	32,5	27,3	22,8	7,9	11,5	36,74
19,5	19,5	20,6	23,6	18,8	15,7	33,1	28,0	23,6	8,0	11,5	36,60
20,5	20,5	21,5	24,5	17,9	15,2	33,7	28,7	24,5	8,1	11,3	36,39
21,5	21,5	22,5	25,3	17,1	14,8	34,3	29,5	25,3	8,1	11,2	36,13
22,5	22,5	23,5	26,2	16,4	14,3	35,0	30,2	26,2	8,1	11,1	35,82
23,5	23,5	24,4	27,0	15,8	13,9	35,6	30,9	27,0	8,1	10,9	35,48
24,5	24,5	25,4	27,9	15,1	13,5	36,3	31,7	27,9	8,1	10,8	35,10
25,5	25,5	26,3	28,8	14,6	13,1	37,0	32,5	28,8	8,1	10,6	34,70
26,5	26,5	27,3	29,7	14,0	12,7	37,7	33,3	29,7	8,1	10,4	34,29
27,5	27,5	28,3	30,6	13,6	12,4	38,4	34,1	30,6	8,0	10,3	33,85
28,5	28,5	29,3	31,5	13,1	12,1	39,1	34,9	31,5	8,0	10,1	33,41
29,5	29,5	30,2	32,4	12,7	11,7	39,8	35,7	32,4	7,9	9,9	32,96
30,5	30,5	31,2	33,3	12,3	11,4	40,6	36,5	33,3	7,8	9,7	32,50
31,5	31,5	32,2	34,2	11,9	11,1	41,3	37,4	34,2	7,8	9,6	32,04
32,5	32,5	33,2	35,1	11,5	10,8	42,1	38,2	35,1	7,7	9,4	31,58