

S.S. n.131 "Carlo Felice"
Completamento itinerario Sassari – Olbia

Potenziamento–Messa in sicurezza dal km 192+500 al km 209+500

1° lotto (dal km 193 al km 199)

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA349

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)

RESPONSABILI D'AREA:

Responsabile Tracciato stradale: Dott. Ing. Massimo Capasso
(Ord. Ing. Prov. Roma 26031)

Responsabile Strutture: Dott. Ing. Giovanni Piazza
(Ord. Ing. Prov. Roma 27296)

Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: Dott. Ing. Sergio Di Maio
(Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

Responsabile Ambiente: Dott. Ing. Francesco Ventura
(Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma 15138)

RESPONSABILE SIA:

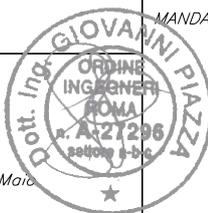
Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Salvatore Frasca

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:



MANDANTI:



GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA

Relazione Geotecnica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG. ANNO

DPCA0349 D 20

NOME FILE

CA349_T00GE00GETRE01_A

CODICE ELAB.

T00GE00GETRE01

REVISIONE

SCALA:

A

1:2000/1:200

D

C

B

A

REV.

EMISSIONE

DESCRIZIONE

NOV. 2020

VT

SDM

G. PIAZZA

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3	CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO	5
4	INDAGINI GEOTECNICHE	6
4.1	Campagna d'indagini 1997	7
4.2	Campagna d'indagini 2015:	8
4.3	Campagna d'indagini 2019:	8
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	13
5.1	Terreni di copertura	16
5.1.1	Terreno agrario o vegetale, Materiali di riporto - TR.....	16
5.1.2	Sabbia con limo e limo con sabbia - SL.....	16
5.1.3	Ghiaia con sabbia e sabbia ghiaiosa - G.....	22
5.1.4	Argille con limo sabbiose - AL.....	28
5.2	Substrato roccioso	34
5.2.1	Depositi saldati e calcari fratturati - CMF.....	34
5.2.2	Calcere marnoso compatto - CM	38
5.3	Falda	42
5.4	Caratterizzazione fisico – meccanica dei terreni	42
5.5	Caratterizzazione sismica dei terreni.....	43
6	RAPPORTI OPERE TERRENI.....	44
6.1	Viadotti – Galleria.....	45
6.1.1	VI01	45
6.1.2	VI02	47
6.1.3	VI03	48
6.1.4	VI04	49
6.1.5	GA01	51
6.1.6	VI05	52
6.1.7	VI06	53
6.2	Rilevati.....	54
7	QUESTIONI GEOTECNICHE	55

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

8	CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI	56
7.1	Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.....	56
7.2	Calcolo dei cedimenti in terreni a grana grossa	57
7.2	Calcolo dei cedimenti in terreni a grana fine	57
7.3	Risultati dei calcoli	59
9	VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE	61
9.1	Procedura di calcolo	61
9.2	Codice di calcolo	63
9.3	Caratteristiche geotecniche dei terreni	63
9.4	Risultati delle verifiche	64
	9.4.1 Rilevati	64
	9.4.2 Trincee	65
	9.4.3 Scavi provvisionali.....	66

ALLEGATO A: Colonne stratigrafiche dei sondaggi

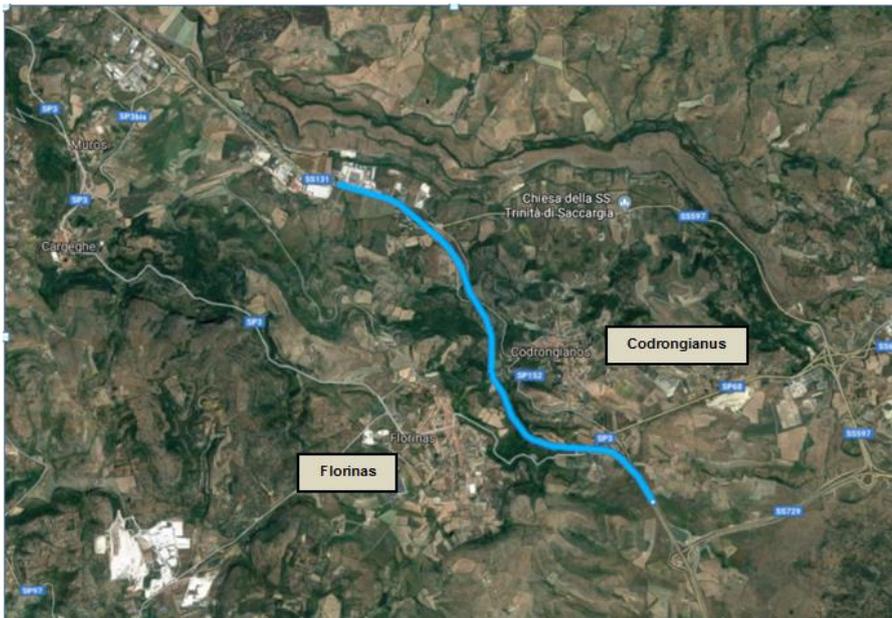
ALLEGATO B: Tabulati di calcolo – geo-studio

1 PREMESSA

La presente relazione geotecnica è stata redatta nell'ambito del progetto definitivo dei lavori di potenziamento e messa in sicurezza della S.S.131 "Carlo Felice" del lotto 1 dal km 193 al km 199.

L'intervento è inserito con codice CA349 nel Contratto di Programma 2016 - 2020 sottoscritto tra Ministero delle Infrastrutture ed Anas, approvato con Delibera CIPE n.65 del 7 agosto 2017, pubblicata sulla gazzetta Ufficiale n.292 del 15 dicembre 2017. La S.S.131 è la principale arteria stradale della Sardegna, collega Cagliari il capoluogo Sardo con Porto Torres.

Altimetricamente il tracciato prevede ampi tratti su rilevato intervallati da viadotti per il superamento delle incisioni più importanti. Tra le opere principali si segnalano sei viadotti e una galleria. Sono anche previsti svincoli in corrispondenza delle viabilità principali.



Ubicazione dell'area d'intervento

Lo studio geotecnico sviluppato nell'ambito del progetto definitivo, sul quale si riferisce con la presente relazione, ha compreso la programmazione delle indagini (in sito ed in laboratorio); l'elaborazione critica dei dati sperimentali; la caratterizzazione geotecnica dei terreni; la definizione dei rapporti opere-terreni; la ricerca, sotto il profilo geotecnico, delle soluzioni più idonee per la progettazione delle fondazioni delle opere d'arte e dei tratti in scavo e in rilevato; l'esecuzione di calcoli geotecnici di verifica.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (G.U. Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8).
- Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/09 n. 617 - Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni".
- D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni".
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274/2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica."; modificata dall'O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005.
- Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI.
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI.
- Eurocodice 8 (1998). Progettazione delle strutture per la resistenza sismica.
- Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. UNI.
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".
- D.M. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

3 CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico, nella successione stratigrafica dell'area interessata dal tracciato si possono riconoscere, dal basso verso l'alto, le seguenti unità litologiche:

- DISTRETTO VULCANICO DI OSILO-CASTELSARDO
 - o **Unità di monte sa silva.** Depositi di flusso piroclastico in facies ignimbratica, pomiceo-cincheritici, bianco-grigiastri, non saldati. Frazioni a granulometria più fine ascrivibile a sabbia con limo.
- SUCCESSIONE SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA DEL LOGUDORO-SASSARESE
 - o **Formazione del Rio minore.** Depositi epiclastici con intercalazioni di selci, siltiti e marne con resti di piante, conglomerati o calcari silicizzati di ambiente lacustre.
 - o **Formazione di Oppia nuova.** Sabbie quarzoso-feldspatiche e con presenza o di conglomerati eterometrici o con argille siltose, vulcaniti oligomioceniche e calcari mesozoici. Ambiente da conoide alluvionale a fluvio-deltizio.
 - o Litofacies nella **formazione di Mores.** Arenarie e conglomerati da grigi a beige con elementi di quarzo, metamorfiti, vulcaniti e calcari mesozoici localmente con intercalazioni carbonatiche.
 - o **Formazione di Borutta.** Marne, marne arenacee, siltiti e sabbie siltose.
- DEPOSITI ALLUVIONALI OLOCENICI
 - o **Depositi alluvionali.** Sabbie siltose, ghiaiose o siltoso argillose alternate a argille e sabbie siltose.
 - o **Terreno vegetale.** Sabbia, limo e argilla con presenza di conglomerati sub-arrotondati. Presenza di materiale organico.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geologica (vedi elaborato T00GE00GEORE01A).

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

4 INDAGINI GEOTECNICHE

Per lo sviluppo della progettazione delle opere sono state eseguite indagini di carattere geotecnico finalizzate:

- al riconoscimento ed alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, allo scopo di fornire i parametri fisico-meccanici per l'esecuzione dei calcoli strutturali e geotecnici delle opere d'arte;
- alla ricostruzione dei rapporti opere-terreni finalizzata alla progettazione delle fondazioni delle opere d'arte (viadotti, ponti).

Le caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce interessati dal tracciato della tangenziale sono state investigate in passato con diverse campagne di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche svolte nel febbraio del 1997, nel giugno del 2015 e nell'aprile del 2019.

Le campagne di indagini sono state condotte su incarico ANAS dalle società GEOTECNO S.R.L. di Monza (1997), SONDEDILE S.R.L. di Teramo (2015) e TECNO IN S.p.A. di Napoli (2019), nel rispetto delle disposizioni, delle specifiche tecniche e del capitolato d'appalto ANAS, nonché delle raccomandazioni AGI (1977) e hanno previsto:

Campagna 1997:

- n° 15 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo;
- n° 21 prove penetrometriche dinamiche S.T.P.;
- Analisi e prove geotecniche di laboratorio.

Campagna 2015:

- n° 1 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo;
- n° 21 prove penetrometriche dinamiche S.T.P.;
- n° 4 pozzetti esplorativi;
- Analisi e prove geotecniche di laboratorio.

Campagna 2019:

- n° 19 sondaggi a rotazione e carotaggio continuo (di cui n° 4 condizionati a piezometro e n° 6 condizionati con tubo per prove Down-Hole);
- n° 91 prove penetrometriche dinamiche S.T.P.;
- n° 4 piezometri, di cui n°3 a tubo aperto e n°1 con cella di Casagrande;
- n° 6 prove Down-Hole;
- n° 6 pozzetti esplorativi profondi 2,0m;
- n° 6 prelievi di campioni rimaneggiati da pozzetti esplorativi;
- n° 6 profili sismici con metodologia MASW;
- n° 182 campioni di terreno (di cui n° 43 indisturbati, n° 105 rimaneggiati) e n° 34 campioni di roccia lapidea, da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico.

Per le prove di laboratorio si è fatto riferimento alla normativa ASTM.

I risultati delle indagini in sito e delle prove di laboratorio sono illustrati negli elaborati redatti dalle società incaricate delle indagini, allegati al progetto. La posizione dei punti d'indagine è riportata nelle apposite Tavole di progetto.

Nel seguito si descrivono le principali attività svolte durante ciascuna campagna.

4.1 Campagna d'indagini 1997

Nell'ambito di altri lavori A.N.A.S. sono stati svolti 15 carotaggi lungo la S.S. 131 "Carlo Felice" nel febbraio del 1997. Di questi 5 ricadono in prossimità del tratto di interesse (sondaggi Si47, Si48, Si53, Si62 e Si63) e sono stati dunque considerati nello studio in esame.

Nella tabella seguente si riporta l'elenco dei sondaggi, con l'indicazione della profondità d'indagine raggiunta e l'ubicazione.

Sondaggio	Profondità [m]	Località
Si47	10	S.S. 131; km 194+390
Si48	10	S.S. 131; km 194+410
Si53	20	S.S. 131; km 195+250
Si62	15	S.S. 131; km 195+450
Si63	15	S.S. 131; km 194+100

Sondaggi eseguiti nella campagna d'indagini 1997

Durante le perforazioni sono state eseguite 3 prove SPT ed è stato prelevato un campione rimaneggiato. Vengono inoltre indicati i livelli di falda, che si posizionano alle seguenti profondità:

Sondaggio	Profondità falda [m]
Si47	7,5
Si48	7,0
Si53	1,5
Si62	6,0
Si63	9,3

Livello di falda riportato nella campagna d'indagini 1997

Nel seguito si riporta i valori N_{SPT} ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche.

Sondaggio	da [m]	N_{SPT}
Si47	1,5	88
Si48	1,5	22
Si63	3,0	51

Risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT

4.2 Campagna d'indagini 2015:

Sempre lungo la S.S. 131 "Carlo Felice", nel Giugno del 2015 è stato eseguito il carotaggio S8. Nel corso della perforazione sono state effettuate 3 prove S.P.T. e sono stati prelevati 5 campioni tra indisturbati e rimaneggiati (v. tabella).

Identificativo	da [m]	a [m]	Indagine eseguita
S8-CI1	1,50	1,80	Campione indisturbato
S8-SPT1	1,80	2,25	Prova S.P.T.
S8-CI2	3,50	4,15	Campione indisturbato
S8-SPT2	4,15	4,60	Prova S.P.T.
S8-CI3	6,00	6,65	Campione indisturbato
S8-SPT3	6,65	7,10	Prova S.P.T.
S8-CR1	10,30	10,50	Campione rimaneggiato
S8-CR2	19,00	19,50	Campione rimaneggiato

Indagini eseguite nella campagna d'indagini 2015

Si riportano di seguito i valori di N_{SPT} ottenuti:

Sigla	N_{SPT}
S8-SPT1	21
S8-SPT2	12
S8-SPT3	43

Risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT

4.3 Campagna d'indagini 2019:

Nel corso della presente fase di progettazione la campagna di indagini geognostiche ha compreso 19 sondaggi e condizionamento dei fori per prove SPT e installazione di piezometri.

Nelle tabelle che seguono si riportano l'elenco dei sondaggi e i risultati delle prove SPT.

Sondaggio	Data	Profondità [m]	Strumentazione
S01-PZ	25/03/2019	15	Piezometro a tubo aperto
S02-DH	02/05/2019	25	Down-Hole
S03-DH	30/04/2019	30	Down-Hole
S04-PZ	29/04/2019	25	Piezometro di Casagrande
S06	25/04/2019	25	-
S07-DH	24/04/2019	30	Down-Hole
S08	15/04/2019	25	-

CA349

Relazione Geotecnica

Sondaggio	Data	Profondità [m]	Strumentazione
S09	27/03/2019	25	-
S10-DH	28/03/2019	30	Down-Hole
S11	29/03/2019	25	-
S12-PZ	17/04/2019	20	Piezometro a tubo aperto
S13	02/04/2019	25	-
S14-DH	01/04/2019	30	Down-Hole
S15	04/04/2019	25	-
S16	05/04/2019	20	-
S17	03/04/2019	25	-
S18-DH	09/04/2019	30	Down-Hole
S19-PZ	18/04/2019	25	Piezometro a tubo aperto
S20	08/04/2019	20	-

Sondaggi eseguiti nella campagna d'indagini 2019

Sondaggio	da [m]	N _{SPT}	Sondaggio	da [m]	N _{SPT}	Sondaggio	da [m]	N _{SPT}
S01-PZ	1,00	11	S10-DH	2,55	9	S14-DH	21,40	45
	8,10	7		9,60	R		23,75	42
	11,70	47		17,20	39		26,80	65
S02-DH	4,00	4		22,50	85	S15	1,50	60
S03-DH	2,30	70		7,30	30		5,40	3
	5,85	6		11,60	62		8,45	7
S04-PZ	4,70	6	19,55	74	11,40		9	
	6,80	15	S11	16,05	40	S16	1,45	49
S06	6,60	19		2,60	R		3,80	49
	13,30	23		5,80	15		5,20	11
S07-DH	4,20	R		8,30	8		12,55	12
	6,25	5	S12-PZ	1,20	33	14,55	34	
	10,75	12		16,50	48	S17	4,60	53
	12,40	20		18,65	10		7,60	48
16,90	34	S13	1,00	8	13,00		20	
S08	1,65		39	21,30	21		15,40	28
	6,15		13	5,90	33	S18-DH	1,15	35
	12,00		72	7,80	21		2,25	10
	13,90		30	12,55	25		7,30	14
	15,90		R	14,80	27		17,85	40
	18,40	7	18,40	41	21,55		72	
S09	11,70	R	S14-DH	3,35	56		11,50	39
	2,55	18		9,60	57	S19-PZ	2,00	71
	7,70	R		11,55	53		6,00	R

CA349

Relazione Geotecnica

Sondaggio	da [m]	N _{SPT}	Sondaggio	da [m]	N _{SPT}	Sondaggio	da [m]	N _{SPT}
	9,80	57		13,90	18		8,50	61
	18,00	43		16,25	11			

Risultati delle Prove Penetrometriche Dinamiche SPT

Di seguito si riporta l'elenco dei campioni prelevati, distinguendoli in:

- CR: campioni rimaneggiati;
- CI: campioni indisturbati;
- CL: campioni di roccia lapidea.

Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo	Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo
S01-PZ	1,5	1,9	CR1	S06	0,4	0,9	CR1
	2,4	3	CR2		2,6	3,2	CI1
	4	4,5	CI1		7	7,3	CR2
	5,1	5,35	CL1		8,4	8,6	CL1
	6,1	6,6	CI2		12	12,5	CR3
	9	9,6	CR3		14,2	14,4	CL2
	12,2	12,5	CR4		17	17,3	CL3
	13,7	13,9	CL2		24	24,6	CL4
S02-DH	0,2	0,8	CR1	S07-DH	0,2	1	CR1
	1,6	2,2	CI1		2,3	2,9	CI1
	2,5	2,9	CR2		5,3	5,8	CR2
	4,4	5	CR3		8,7	9,3	CI2
	5,3	5,9	CI2		11,6	12	CR3
	14,6	14,8	CL1		13,3	13,9	CR4
	16	16,2	CL2		14,45	15	CI3
	18,2	18,4	CR4		18,5	18,9	CR5
	19	19,3	CL3		19,25	19,85	CI4
	22,3	22,6	CL4		23,5	24	CR6
24,5	24,7	CR5	28,1	28,4	CR7		
S03-DH	0,2	0,9	CR1	S08	3,2	3,8	CI1
	3	3,4	CR2		7,6	8,2	CI2
	4,3	4,9	CI1		9,4	10	CR1
	6,1	6,6	CR3		13	13,6	CR2
	8,6	9	CL1		17,5	18	CR3
	10,6	10,8	CL2	21,6	22	CR4	
	14,45	14,7	CL3	24,2	24,8	CR5	
	17,7	18	CL4	S09	3,5	4	CR1
	19	19,6	CL5		5,4	6	CI1
24,6	25	CR4	8,5		9	CR2	
29,1	29,3	CL6	12,4		12,8	CR3	
S04-PZ	2,35	2,95	CI1		13,2	13,65	CR4

CA349

Relazione Geotecnica

Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo
	5,5	6	CR1
	8,7	9	CL1
	11,8	12	CL2

Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo
	14,55	15,1	CI2
	18,7	19	CR5

Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo
S10-DH	2	2,4	CR1
	3,3	4	CR2
	5,1	5,7	CI1
	8,2	8,7	CR3
	12,2	12,6	CR4
	13,2	13,75	CI2
	15	15,4	CR5
	18	18,5	CR6
	22,1	22,5	CR7
	24,2	24,6	CR8
	25,5	25,9	CR9
S11	29,3	29,7	CR10
	1,5	2	CR1
	4,2	4,8	CR2
	7	7,5	CR3
	9	9,5	CR4
	12	12,5	CR5
	13,1	13,7	CI1
	15,5	16	CR6
	18,7	19	CR7
	21,5	22	CR8
24	24,5	CR9	
S12-PZ	3,9	4,5	CI1
	6,5	7	CI2
	10,1	10,2	CL1
	14,5	15	CR1
	16	16,5	CR2
S13	18,2	18,45	CR3
	0,2	1	CR1
	3,6	4,15	CI1
	5,1	5,8	CR2
	8,25	8,7	CR3
	10,45	11	CI2
	13	13,7	CR4
	16,4	17	CI3
19,1	19,7	CR5	

Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo
S14-DH	1,5	2	CI1
	4,6	5,1	CI2
	6,9	7,5	CI3
	10	10,5	CR1
	13	13,5	CR2
	14,4	14,8	CR3
	15	15,5	CR4
	18,45	19	CI4
	19,4	19,6	CR5
	23	23,7	CR6
	27,2	28	CR7
	S15	0,2	1
2,2		2,7	CR2
3,9		4,5	CI1
7		7,4	CR3
9,3		9,8	CR4
11		11,4	CR5
13,2		13,75	CI2
14,7		15	CR6
17,7		18	CR7
18,6		18,9	CR8
19,6		20	CR9
22,7		22,9	CR10
S16	23,2	23,4	CR11
	24,6	24,8	CR12
	0,2	0,8	CR1
	3,3	3,8	CR2
	5	5,3	CR3
	6,2	6,8	CI1
	9	9,5	CR4
	10	10,6	CI2
15,4	16	CR5	
17,2	17,7	CI3	
19	19,4	CR6	

CA349

Relazione Geotecnica

Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo
	20,2	20,5	CR6
	24	24,5	CR7

Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo
-----------	--------	-------	----------------

Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo
S17	0,2	0,85	CR1
	2,3	2,9	CI1
	6,6	7	CR2
	9,3	9,9	CI2
	10,85	11,4	CI3
	13,6	14	CR3
	16,3	16,5	CR4
	18,4	19	CI4
	20,3	20,6	CR5
	23	23,5	CR6
S18-DH	0,2	1	CR1
	2	2,3	CR2
	5,2	5,8	CI1
	7,75	8	CR3
	9,3	9,85	CI2
	10,5	11	CR4
	12,2	12,9	CR5
	13,7	14,3	CI3
	15,1	15,3	CL1
	19	19,6	CR6

Sondaggio	da [m]	a [m]	Identificativo
S19-PZ	4	4,5	CI1
	7	7,5	CR1
	9,5	10	CI2
	11	11,5	CR2
	13,5	14	CI3
	17	17,5	CR3
	18,5	19,1	CI4
	22	22,5	CR4
	24,5	24,7	CR5
	S20	2,1	2,3
4		4,3	CL2
7,1		7,1	CL3
10		10,3	CL4
12		12,3	CL5
13,7		14	CL6
14,4		14,9	CL7
15		15,3	CL8
17		17,4	CL9
18		18,4	CL10
19		19,4	CL11

Campioni litoidi, indisturbati e rimaneggiati prelevati

In laboratorio si è proceduto all'esecuzione di cicli completi di prove d'identificazione consistenti in determinazioni del contenuto d'acqua naturale, del peso di volume naturale, secco e dei granuli, della massa volumica reale, della porosità, dell'indice dei vuoti, del grado di saturazione, dei limiti di Atterberg, del limite di ritiro, della composizione granulometrica per stacciatura e sedimentazione.

Sono state anche eseguite prove meccaniche (prove di compressione edometrica, prove di taglio diretto consolidate drenate CD, prove di compressione triassiale consolidate isotropiche non drenate CIU, prove di compressione monoassiale ad espansione laterale libera ELL, prove di compressione triassiale non consolidate non drenate UU, prove di compressione triassiale consolidate isotropiche drenate CID).

Su campioni di roccia lapidea sono state eseguite prove di compressione monoassiale con misura delle deformazioni assiali e prove di carico puntuale in direzione assiale.

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce interessati dal tracciato stradale si è fatto riferimento ai risultati delle tre campagne di indagini, richiamate nel paragrafo precedente, a conoscenze acquisite nel corso di numerose indagini geotecniche svolte nei pressi del comune di Codrongianos e a dati di letteratura.

I terreni e le rocce che ricadono nel volume di terreno significativo ai fini geotecnici sono stati raggruppati in 2 classi, per ciascuna delle quali possono distinguersi i termini principali indicati nella tabella che segue.

TERRENI DI COPERTURA	
TR	Terreno vegetale , rimaneggiato, costituito da sabbia e ghiaia talvolta limosa argillosa, di colore marrone. Rara presenza di ciottoli di forma sub-arrotondata. Materiali di riporto , di varia natura (asfalto, cemento, etc.), rimaneggiati, aventi in genere la granulometria dalla sabbia con ghiaia alla sabbia con limo con rari ciottoli.
SL	Sabbia con limo e limo con sabbia , talora argillosa o ghiaiosa e generalmente addensata di colore variabile dal marrone al grigiastro al giallastro.
G	Ghiaia con sabbia e sabbia ghiaiosa a tratti limosa, da sciolta ad addensata, di colore marrone o marrone chiaro tendente talvolta al biancastro.
AL	Argilla con limo sabbiosa , consistente, di colore dal nerastro al grigiastro al marrone.
ROCCE DEL SUBSTRATO	
CMF	Depositi cementati, Calcari e calcari marnosi, da fratturati a molto fratturati , spesso prelevati nella granulometria da ghiaia a sabbia. Colore dal marrone scuro al grigio chiaro.
CM	Calcari marnosi compatti di colore dal marrone al biancastro.

Classificazione geotecnica dei terreni

Con riferimento alla classificazione geotecnica sopra riportata, in Appendice A si allegano le colonne stratigrafiche di sintesi dei sondaggi distinte per campagna d'indagine. Per ciascun sondaggio sono indicati i terreni riconosciuti dall'esame delle stratigrafie, la posizione dei campioni indisturbati e dei piezometri, i valori N_{30} ricavati dalle prove SPT, la profondità della falda ove presente.

Dal punto di vista geotecnico si identifica un primo tratto di tracciato, fino al km 2+500 circa, lungo il quale è presente uno strato continuo di sabbia limosa SL, con spessori variabili da 3 m a 15 m, al di sopra di un'alternanza di calcari marnosi CM e CMF.

Nel tratto successivo, fino al km 3+200, si rinviene limo sabbioso (SL) con lenti di ghiaie e sabbie (G) e marne (CMF) di spessore variabile da 3 m a 5 m circa.

Dal km 3+200 al km 3+700 è presente un deposito di terreni di origine alluvionale a grana fina, composto da argilla e limo (AL) fino alla profondità massima di 11,5 m. Al sotto il quale si rinvengono sabbie limose SL. Più avanti, fino al km 4+500, si alternano strati di AL e SL. Da questa progressiva in avanti la stratigrafia dei terreni resta approssimativamente costante,

presentandosi come uno strato uniforme di sabbia limosa (SL) nei primi metri che ricopre i calcari marnosi CMF, CM.

Nelle pagine che si illustrano, per ciascuno dei terreni indicati nella classificazione geotecnica, le principali caratteristiche fisiche e meccaniche determinate con le indagini in sito e di laboratorio. In particolare, si è fatto riferimento alle campagne di indagine eseguite sui terreni di fondazione, i cui risultati sono riportati negli specifici elaborati allegati al progetto, corredati di tabelle di sintesi, ai quali si rimanda per i dettagli sui valori sperimentali analizzati nella presente relazione.

I parametri di resistenza dei terreni a grana fina in termini di sforzi effettivi sono stati determinati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio (prove di taglio diretto CD, prove di compressione triassiale CIU e CID).

La resistenza a taglio non drenata dei terreni a grana fina Cu è stata valutata facendo riferimento sia ai risultati delle prove di laboratorio (prove di compressione monoassiale ad espansione laterale libera e prove triassiali non consolidate non drenate UU), sia all'interpretazione dei risultati delle misure con il penetrometro tascabile sulle carote estratte nel corso dei sondaggi e delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Per le prove SPT si è fatto riferimento a Stroud (1974), che correla Cu a N₆₀, con N₆₀ numero di colpi corretto per tenere conto dei fenomeni dissipativi durante il passaggio da energia cinetica del maglio a onda di energia di compressione delle aste (Schmertmann 1978).

I terreni a granulometria prevalentemente sabbioso-ghiaiosa sono stati caratterizzati da parametri di resistenza in termini di sforzi effettivi, determinati sulla base dei risultati di prove di laboratorio (taglio diretto CD, triassiali CIU e CID) e di correlazioni con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT utilizzando le seguenti correlazioni:

- Shioi & Fukuni (1982): $\varphi' = 0,3 \times N_{60} + 27^\circ$;
- Peck, Hanson and Thornburn (1956): $\varphi' = 0,28 \times N_{SPT} + 27,2^\circ$.

Per la determinazione della densità relativa Dr dei terreni sabbioso-ghiaiosi si è fatto riferimento alle correlazioni che legano il numero di colpi N_{SPT} a Dr:

- Gibbs & Holtz (1957):

$$N_{SPT} = \left(17 + 24 \cdot \frac{\sigma_{v0}}{p_a} \right) \cdot D_R^2$$

- Schultze & Mezembach (1961):

$$\ln(Dr\%) = 0,478 \times \ln(N_{SPT}) - 0,262 \times \ln(\sigma'_{v0}) + 2,84.$$

I valori del modulo di taglio G₀ e del modulo di elasticità E₀ iniziali sono stati ricavati a partire dai valori della velocità delle onde di taglio Vs ottenuti indirettamente a partire dai valori di N_{SPT}.

La velocità di propagazione delle onde di taglio Vs può essere ricavata direttamente dai risultati delle prove Down-Hole oppure valutata indirettamente, dai risultati delle prove SPT, per mezzo dell'equazione di Ohta & Goto (1978):

$$V_s = 67,3 \times N_{60}^{0.17} \times z^{0.199} \times A \times B$$

dove:

- ✓ z è la profondità di calcolo (m dal p.c.) della velocità di propagazione delle onde di taglio;
- ✓ A è il fattore che tiene conto dell'età geologica del deposito (v. tabella sotto);
- ✓ B è il fattore che tiene conto della granulometria del deposito (v. tabella sotto).

	Depositi recenti	Depositi antichi
A	1,0	1,3

Coefficiente A funzione dell'epoca geologica del deposito

	Ghiaia	Sabbia ghiaiosa	Sabbia grossa	Sabbia media	Sabbia fina
B	3500	3287	20336	329	62

Coefficiente B funzione della composizione granulometrica del deposito

Il modulo di taglio a piccolissime deformazioni G_0 si ricava dalla seguente espressione:

$$G_0 = V_s^2 \gamma / g$$

dove:

- ✓ γ è il peso dell'unità di volume del terreno (kN/m^3);
- ✓ g è l'accelerazione di gravità pari a 9.81 m/sec^2 .

Pertanto, risulta:

$$E_0 = 2 G_0 (1+\nu)$$

con ν modulo di Poisson.

Per la stima del modulo elastico operativo E'_{op} dei terreni a granulometria prevalentemente sciolta a partire dai risultati delle prove SPT, si è fatto ricorso a relazioni empiriche:

- $E'_{op} = 2,0 \times N_{60}$ (Schmertmann - per sabbia a grana grossa)
- $E'_{op} = (191 + 7,71 \times N_{60}) / 10$ (D'Appolonia – per sabbia e ghiaia normalmente consolidata)
- $E'_{op} = 1,2 \times (6 + N_{60} / 60 \times 55)$ (European Conference on SPT, 1974 – per sabbia ghiaiosa e ghiaia).

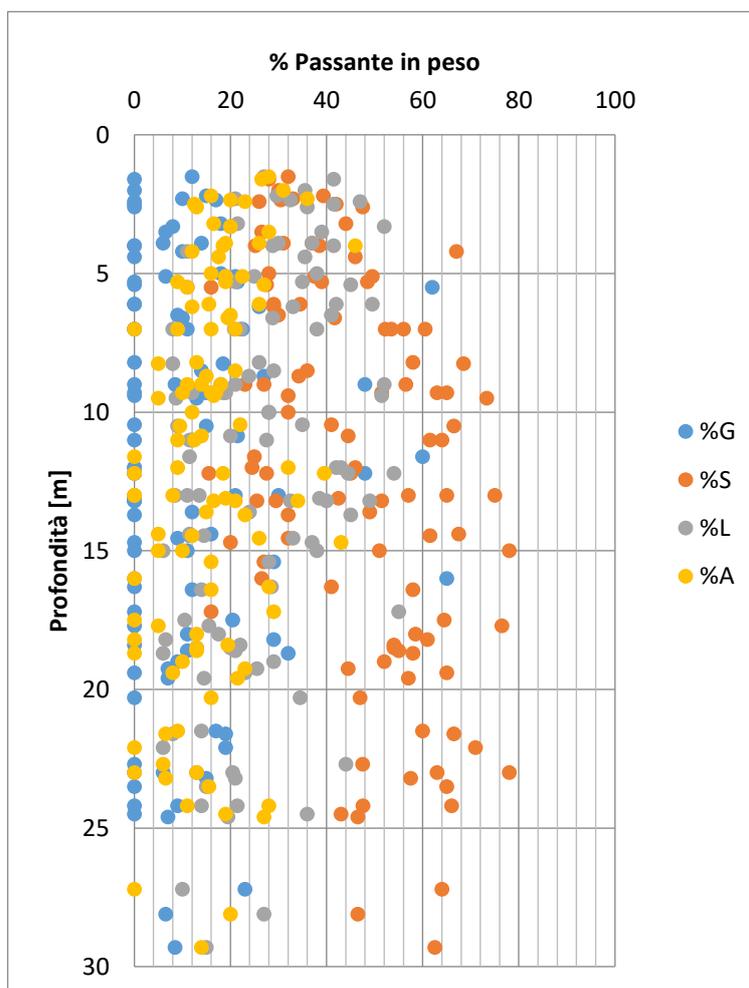
5.1 Terreni di copertura

5.1.1 Terreno agrario o vegetale, Materiali di riporto - TR

Il terreno agrario/vegetale, di spessore generalmente pari a 50-100 cm, è costituito di sabbie e ghiaie talora argillose limose di colore marrone, raramente con elementi lapidei di varia natura a spigoli sub-arrotondati. Localmente si rinvengono materiali di riporto di varia natura e granulometria.

5.1.2 Sabbia con limo e limo con sabbia - SL

I terreni SL sono costituiti di sabbia con limo a grana medio-fine e limo con sabbia, talora argillosa o ghiaiosa e generalmente addensata. La composizione granulometrica dei terreni SL è variabile dalla sabbia con limo argillosa al limo con sabbia o sabbioso. La percentuale della frazione argillosa è compresa tra il 10% e il 20%. Si osserva, di seguito, la distribuzione delle percentuali del passante in peso con la profondità per i campioni identificati come SL:

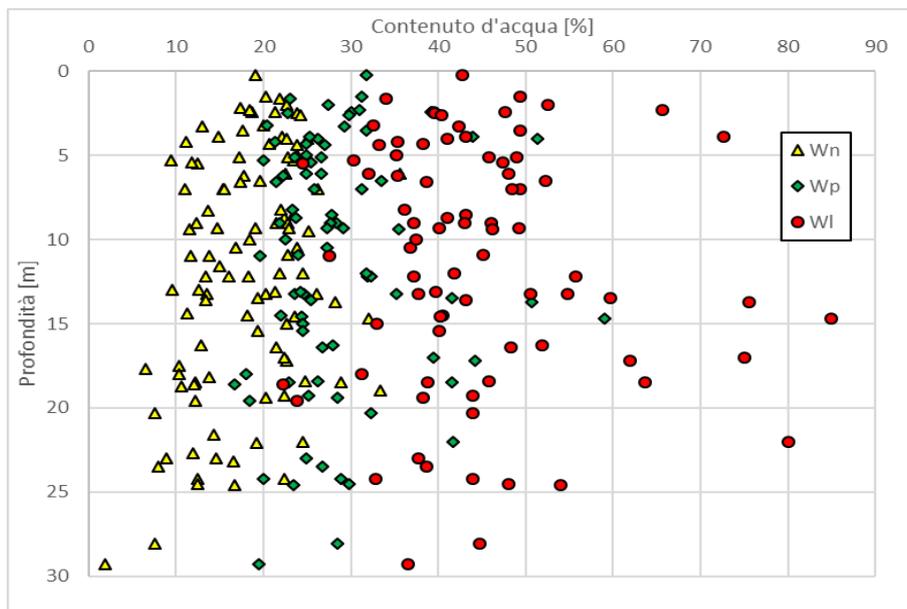


Terreni SL – Andamento del passante in peso con la profondità

L'unità geotecnica si presenta in maniera diffusa lungo tutto il tracciato. Il colore è variabile dal marrone al grigiastro al giallastro. Spesso sono a copertura di calcari marnosi o altre formazioni rocciose profonde e comprende terreni da diversa origine (depositi piroclastici, epiclastici e alluvionali, formazioni marnose sciolte). Include lenti di terreni a grana grossa (G) o a grana molto fine (AL).

Lo spessore minimo non scende mai al di sotto di 6,0 m (sondaggio S14-DH).

L'andamento del contenuto naturale d'acqua W_N e dei limiti di Atterberg W_P e W_L è illustrato nel grafico successivo in funzione della profondità.



Terreni SL – Andamento del contenuto naturale d'acqua e dei limiti di Atterberg con la profondità

Il contenuto naturale d'acqua W_N varia tra 2% e 33% ed è talora prossimo o maggiore del limite di plasticità W_P .

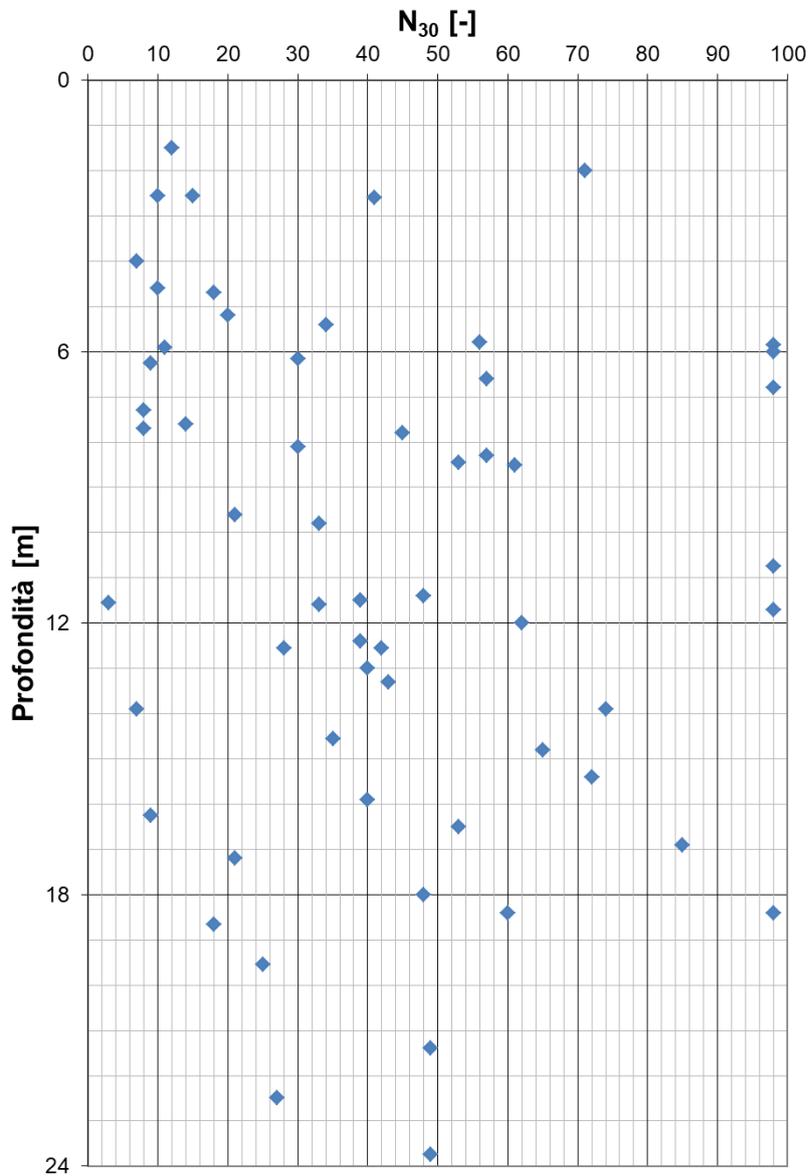
I limiti plasticità W_P e liquidità W_L rientrano nei seguenti campi di variazione:

$$W_P = 17 \div 60\%; \quad W_L = 22 \div 85\%$$

Risulta sempre $W_P < W_L$. L'indice di plasticità I_P è compreso tra il 5% ed il 49%.

Il peso dell'unità di volume γ varia nell'intervallo 18-20 kN/m³. Il limite di ritiro W_R vale mediamente il 20%.

Sono disponibili i risultati di numerose prove SPT riportati di seguito:

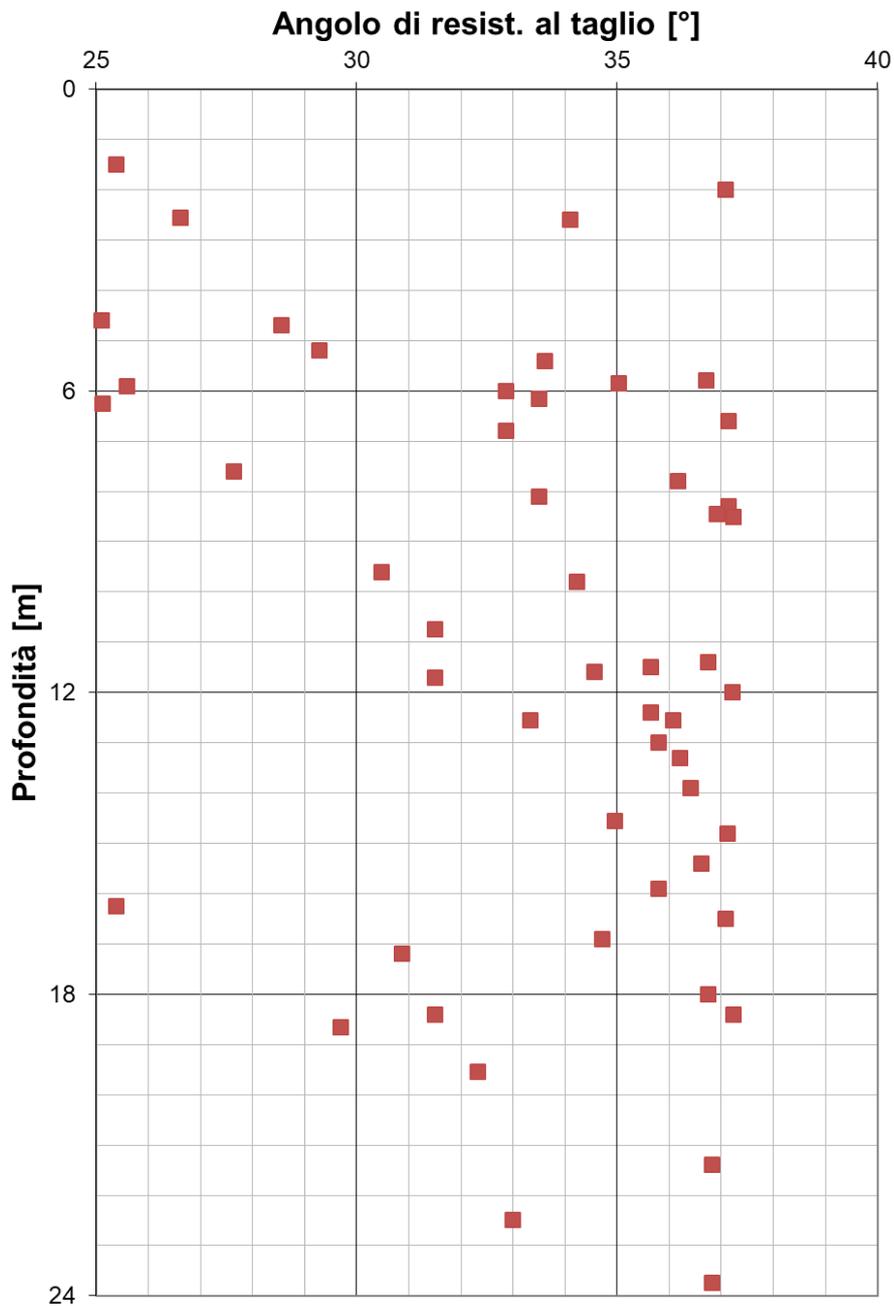


Terreni SL – Valori di N_{30} da prove SPT

Dal'elaborazione delle prove SPT si ricavano i seguenti valori medi di angolo d'attrito φ' in termini di pressioni effettive:

$$\varphi' = 34^\circ.$$

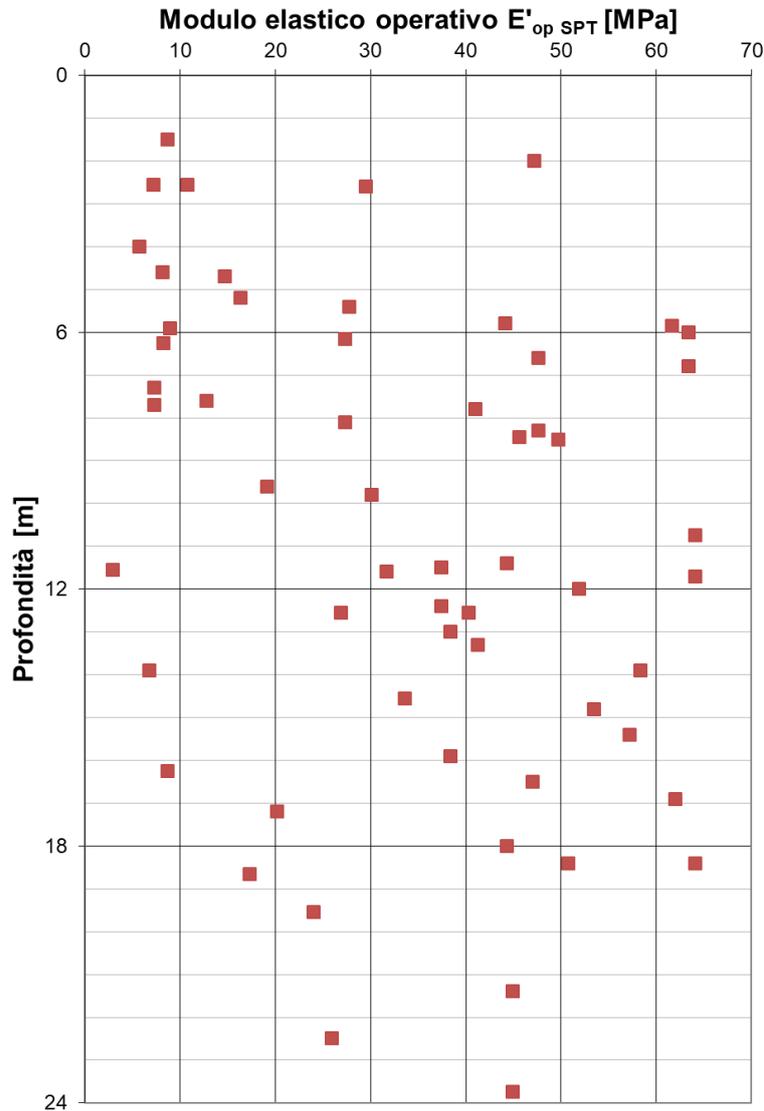
Si nota che l'angolo di resistenza al taglio risulta essere mediamente inferiore nei primi metri (vedi diagramma "Terreni SL – Valori dell'angolo d'attrito φ' da prove SPT"). Si assume, pertanto, un valore angolo medio $\varphi' = 30^\circ$ fino alla profondità di 8 m, $\varphi' = 34^\circ$ più in basso.



Terreni SL – Valori dell'angolo d'attrito φ' da prove SPT

Dalle prove SPT si ottiene un valore del modulo elastico operativo:

$$E'_{op\ SPT} = 10 \div 55\ MPa.$$



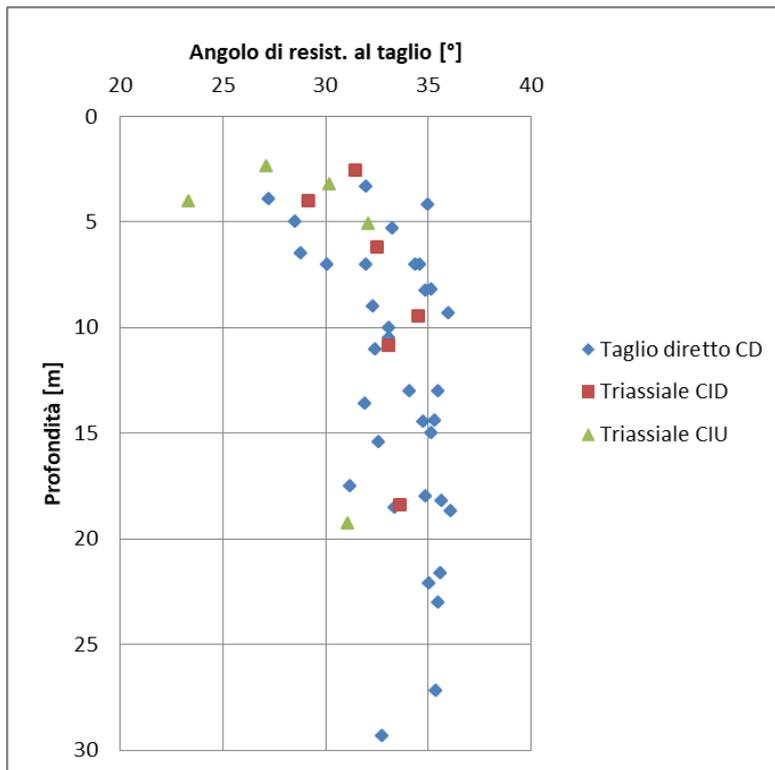
Terreni SL – Valori del modulo elastico operativo E'_{op} da prove SPT

Da 37 prove triassiali consolidate drenate CD, 8 prove triassiali consolidate non drenate CIU e 5 prove di taglio diretto CID effettuate sui campioni prevalentemente limosi si è ottenuto:

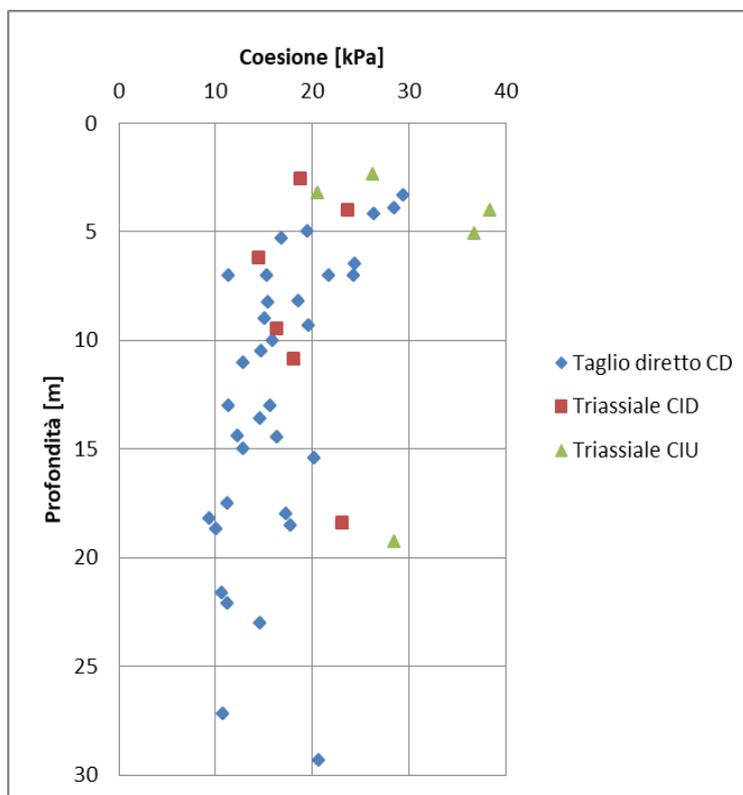
$$c' \cong 10 - 20 \text{ kPa}; \quad \varphi' = 30 - 36$$

In definitiva, al fine di tener conto della componente fine del terreno, si considera un valore di coesione pari a $c' = 10 \text{ kPa}$. Viene inoltre determinato, tramite l'analisi delle 32 prove ELL e delle 17 prove UU, un valore di coesione non drenata c_u mediamente pari a 100 kPa , non tenendo in considerazione, a vantaggio di sicurezza, valori molto elevati di coesione non drenata ottenuti nelle sezioni più limose.

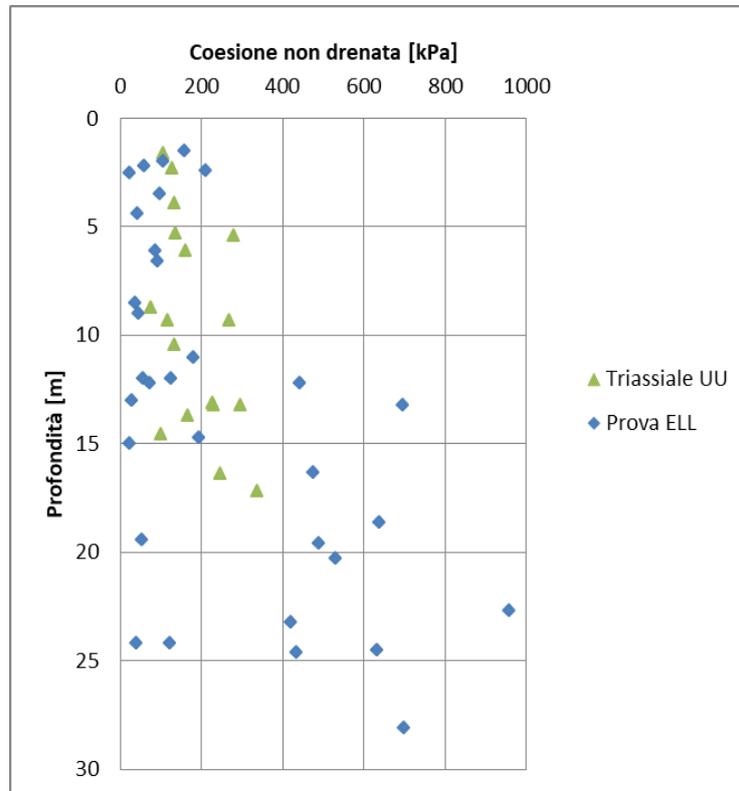
Si riportano di seguito i diagrammi riassuntivi delle varie prove di laboratorio analizzate durante la caratterizzazione:



Terreni SL – angolo di resistenza al taglio ϕ' da prove di laboratorio



Terreni SL – coesione c' da prove di laboratorio



Terreni SL – coesione non drenata c_u da prove di laboratorio

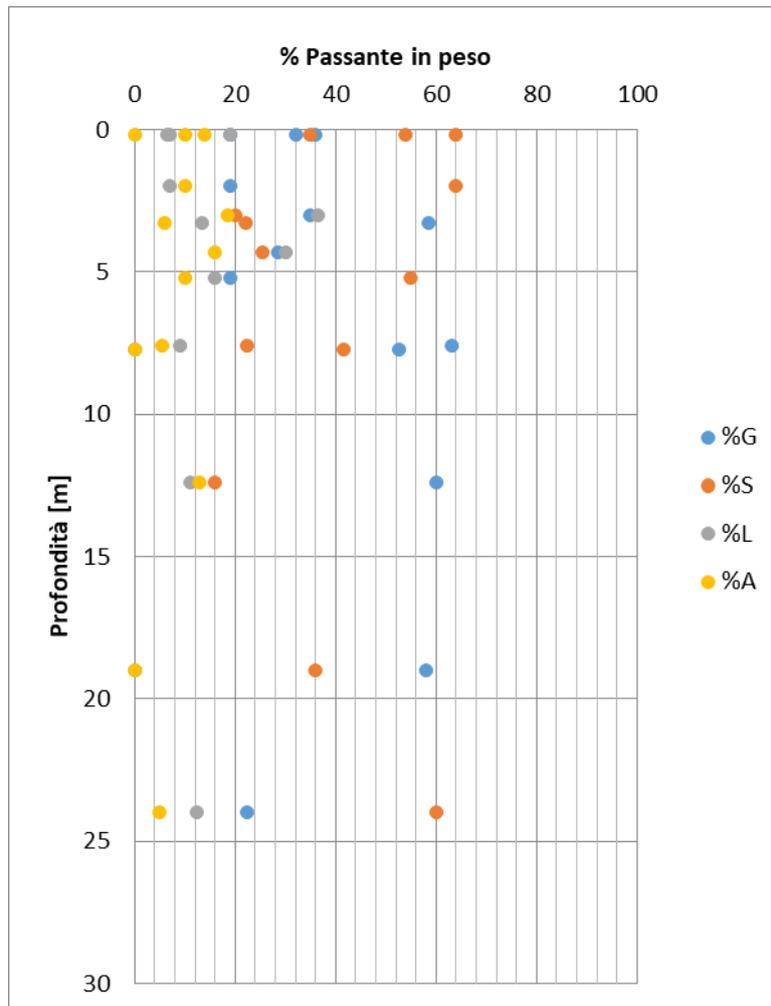
Dalle prove Down-Hole si ottengono i seguenti valori della velocità delle onde di taglio V_s e del modulo di taglio G_0 .

$$V_s = 220 \div 600 \text{ m/s}, \quad G_0 = 87 \div 648 \text{ MPa}$$

5.1.3 Ghiaia con sabbia e sabbia ghiaiosa - G

I terreni G si presentano nella sezione centrale del tracciato come lenti all'interno della sabbia limosa SL. L'unità geotecnica è rilevabile nei sondaggi S03-DH, S08, S09, S12-PZ, S13, S16, S17 e S18-DH con spessori compresi tra 0,8 m e 4 m; ad eccezione del sondaggio S18-DH dove si raggiunge lo spessore massimo pari a 7 m.

Possono essere descritti come ghiaia con sabbia e sabbia ghiaiosa a tratti limosa, da sciolta ad addensata. Il colore varia dal marrone chiaro al marrone scuro, tendente talvolta al biancastro. Dal punto di vista granulometrico si tratta di sabbia con ghiaia limosa o ghiaia sabbiosa limosa. La percentuale della frazione fine ($\%d < 0,075 \text{ mm}$) è variabile dal 6% al 40%. Si osserva, di seguito, la distribuzione delle percentuali del passante in peso con la profondità:



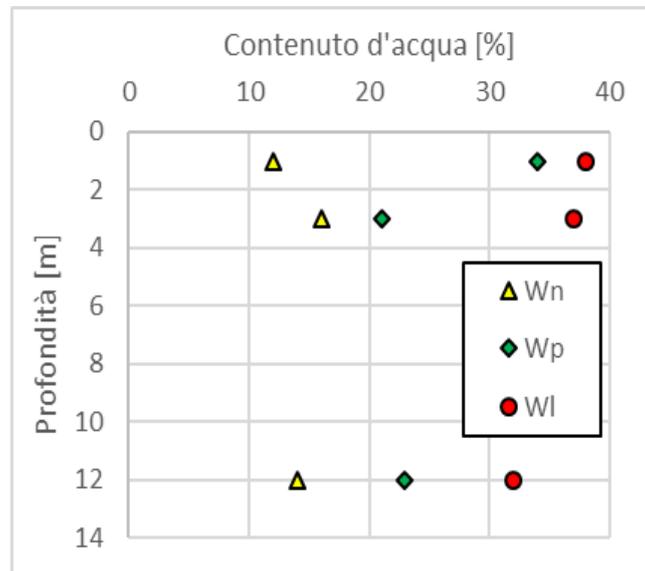
Terreni G – Andamento del passante in peso con la profondità

Sono disponibili i risultati di prove di laboratorio eseguite su campioni rimaneggiati.

I valori del contenuto naturale d'acqua W_N , dei limiti di consistenza W_P , W_L e del limite di ritiro W_R variano nei seguenti intervalli:

$$W_N = 9\div 19\%; W_P = 21\div 34\%; W_L = 32\div 38\%.$$

Nel grafico che segue i valori del contenuto naturale d'acqua e dei limiti di consistenza sono diagrammati in funzione della profondità. Risulta sempre $W_N < W_P$.



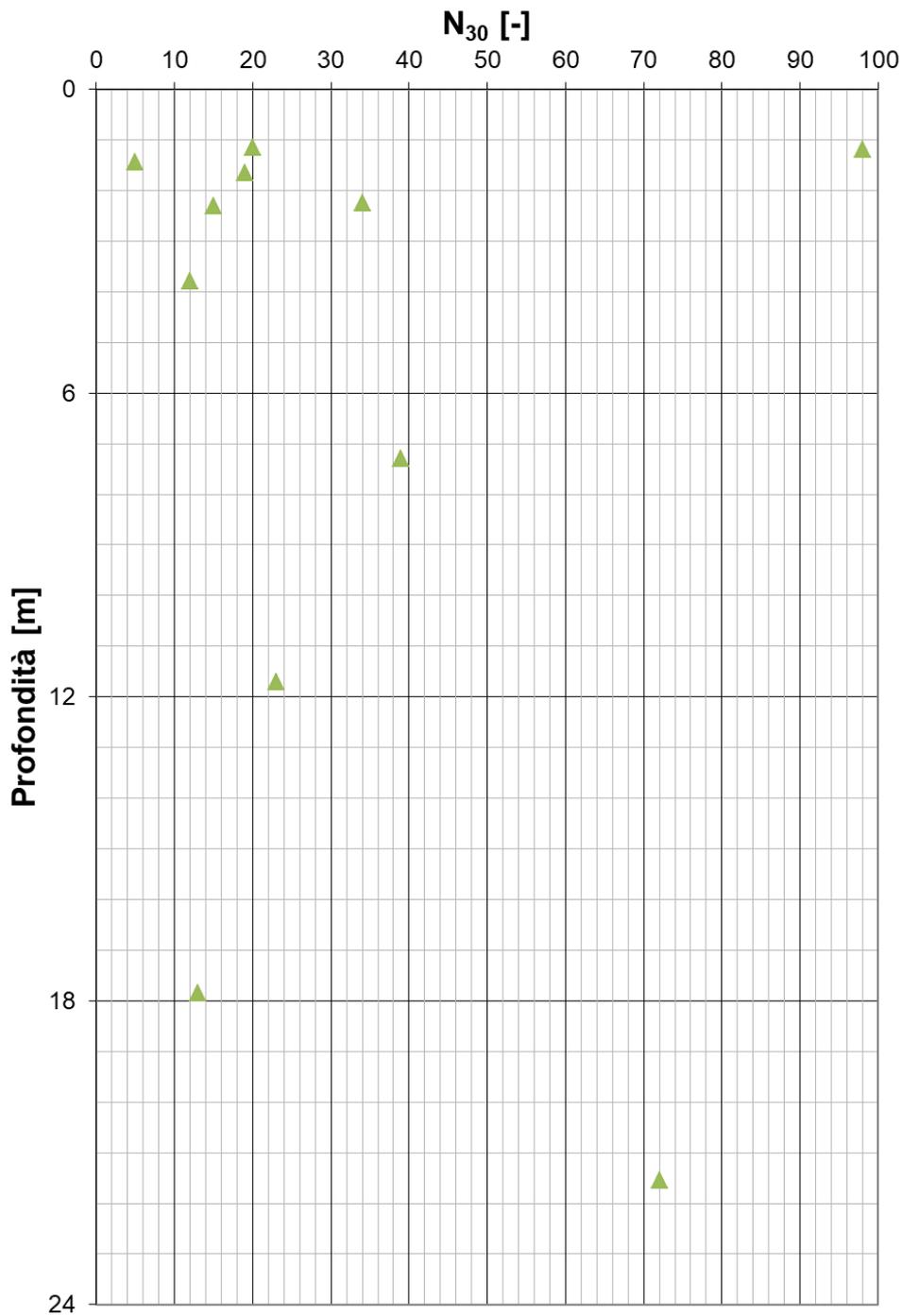
Terreni G – Andamento con la profondità del contenuto naturale d'acqua W_N e dei limiti di consistenza W_P W_L

Il peso dell'unità di volume γ è mediamente pari a $19,5 \text{ kN/m}^3$.

I valori dell'angolo d'attrito φ' e del modulo elastico operativo E_{op} ricavati dalle prove SPT e diagrammati nelle pagine seguenti si attestano, rispettivamente, sui valori medi di 31° e 22 GPa , con $N_{SPT} = 20 \div >50$.

CA349

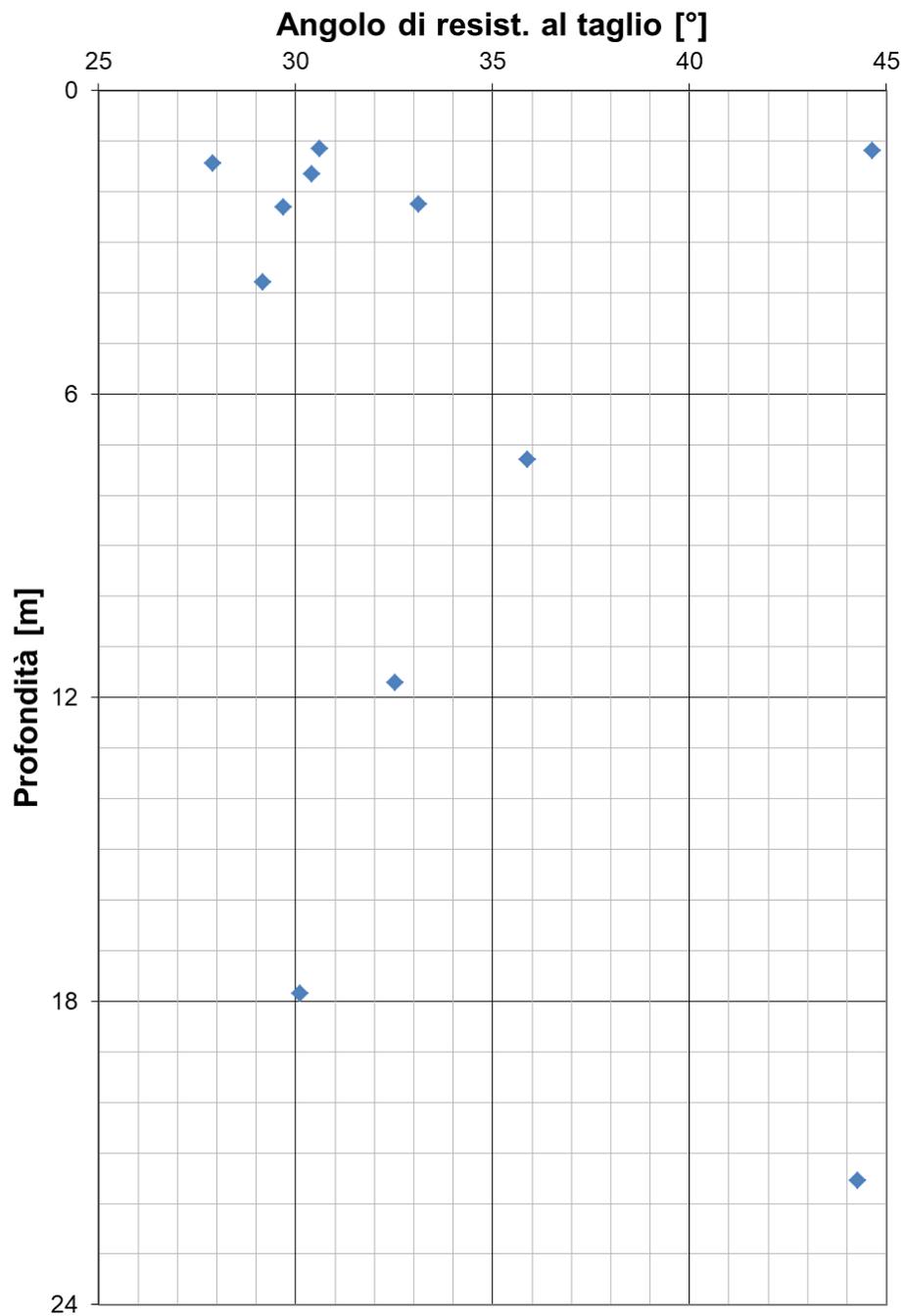
Relazione Geotecnica



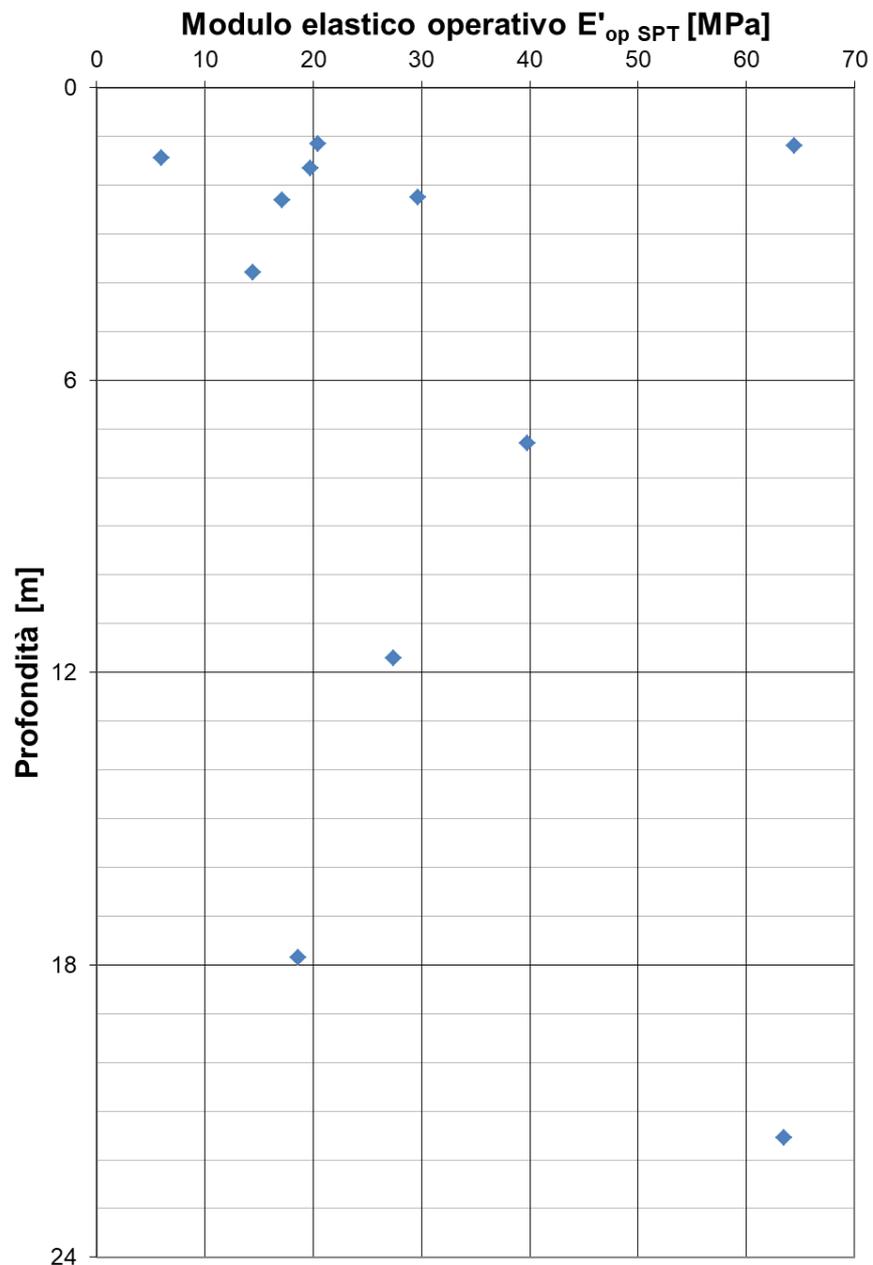
Terreni G - Valori di N_{30} da prove SPT

CA349

Relazione Geotecnica



Terreni G - Valori dell'angolo d'attrito ϕ' da prove SPT



Terreni G – Valori del modulo elastico operativo E'_{op} da prove SPT

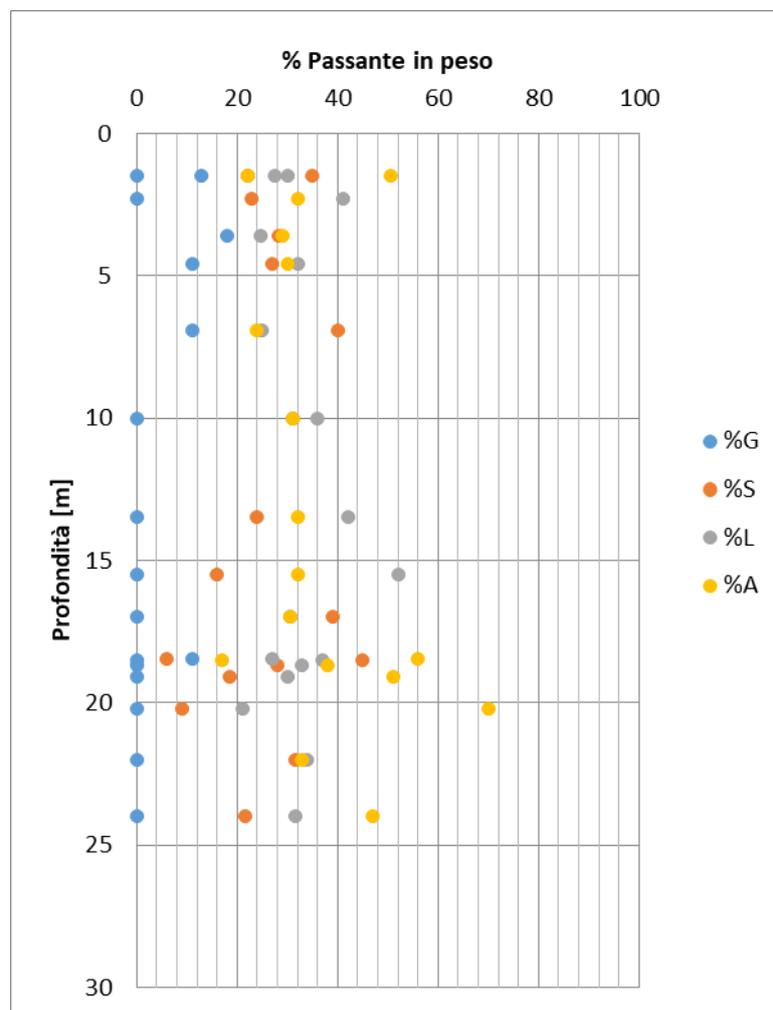
Dalle prove Down-Hole si ottengono i seguenti valori della velocità delle onde di taglio V_s e del modulo di taglio G_0 .

$$V_s = 200 \div 400 \text{ m/s}, \quad G_0 = 76 \div 304 \text{ MPa}$$

5.1.4 Argille con limo sabbiose - AL

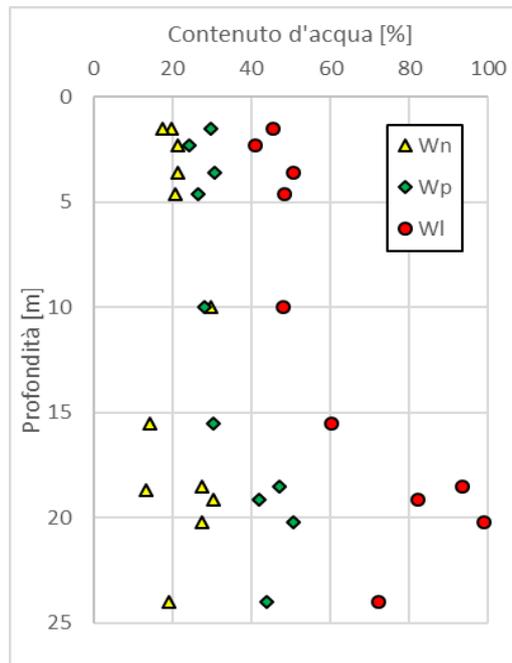
Lenti di terreni a grana fina AL sono state rinvenute diffusamente lungo il tracciato, similmente ai terreni a grana grossa G. Sono presenti tra la progressiva km 2+600 e km 4+400, principalmente negli strati superficiali.

Si tratta di argilla con limo e limo con argilla in matrice sabbiosa di colore dal nerastro al marrone. La composizione granulometrica è variabile dal limo con argilla sabbioso all'argilla limosa sabbiosa. La percentuale della frazione argillosa è compresa tra il 22% e il 70%. Si osserva, di seguito, la distribuzione delle percentuali del passante in peso con la profondità:



Terreni AL – Andamento del passante in peso con la profondità

Nel grafico successivo è illustrato l'andamento del contenuto naturale d'acqua e dei limiti di consistenza in funzione della profondità.



Terreni AL – Andamento del contenuto naturale d'acqua e dei limiti di Atterberg con la profondità

Il contenuto naturale d'acqua W_N varia tra 15% e 26%. I limiti plasticità W_P e liquidità W_L rientrano nei seguenti campi di valori:

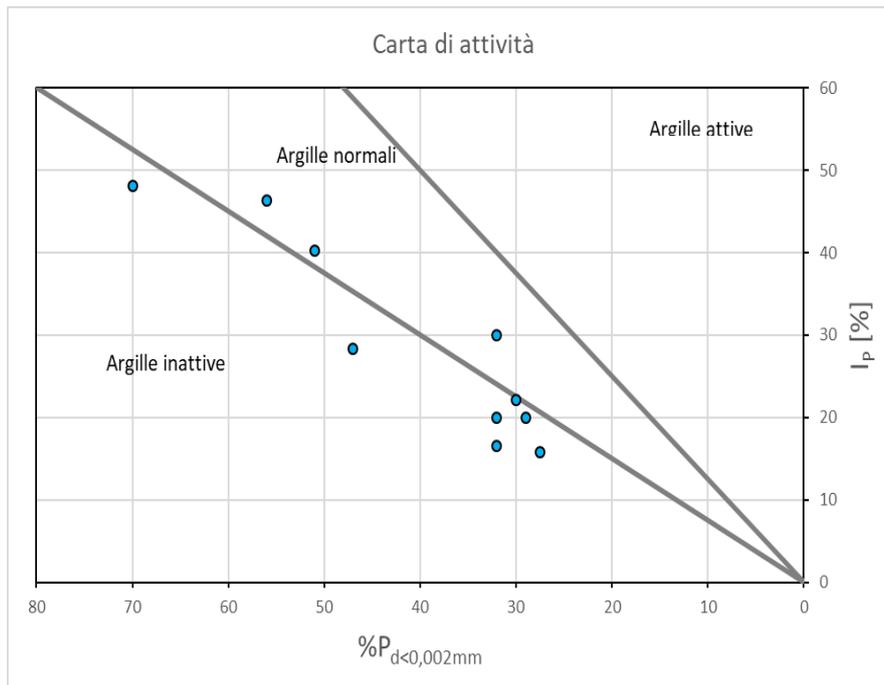
$$W_P = 24 \div 50\%; \quad W_L = 40 \div 99\%$$

Risulta sempre $W_P < W_L$.

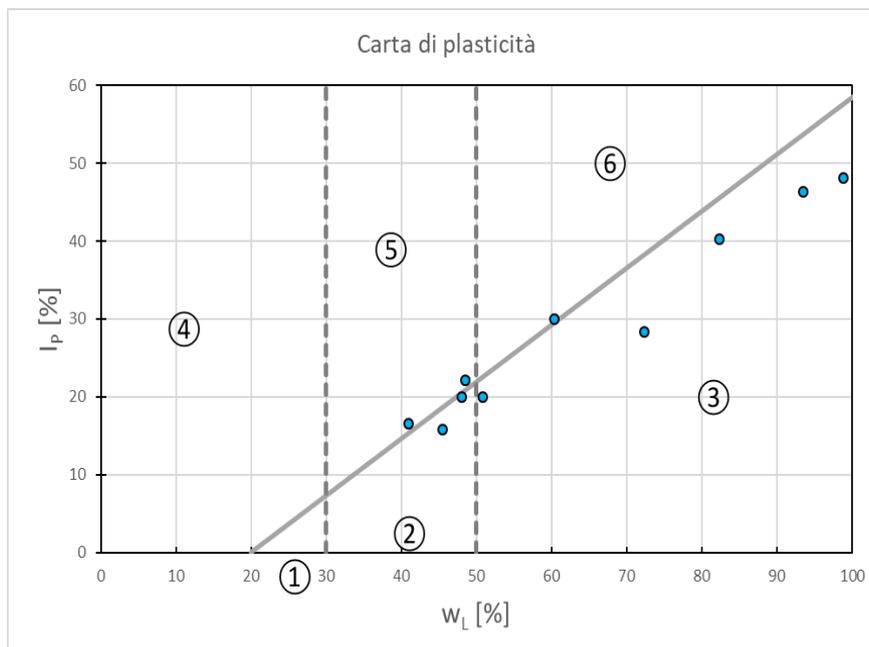
Nei grafici che seguono si riportano la "Carta di plasticità" e la "Carta di attività".

Si tratta di terreni di plasticità da media ad alta, da inattivi a normali. Alcuni dei punti sperimentali ricadono nell'area dei "limi inorganici ad alta compressibilità".

L'indice di plasticità I_P è compreso tra il 15% ed il 48%.



Terreni AL – Carta di attività



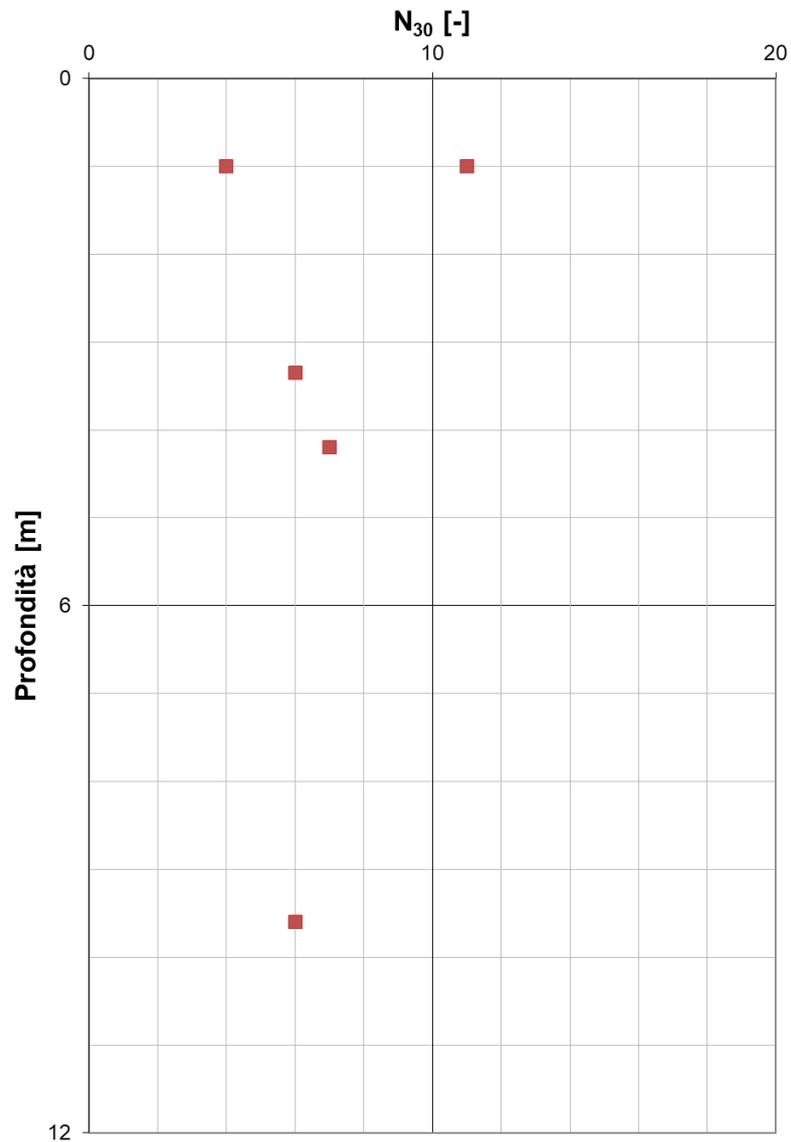
- ① limi inorganici di bassa compressibilità;
- ② limi inorganici di media compressibilità e limi organici;
- ③ limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche;
- ④ argille inorganiche di bassa plasticità;
- ⑤ argille inorganiche di media plasticità;
- ⑥ argille inorganiche di alta plasticità.

Terreni AL – Carta di plasticità

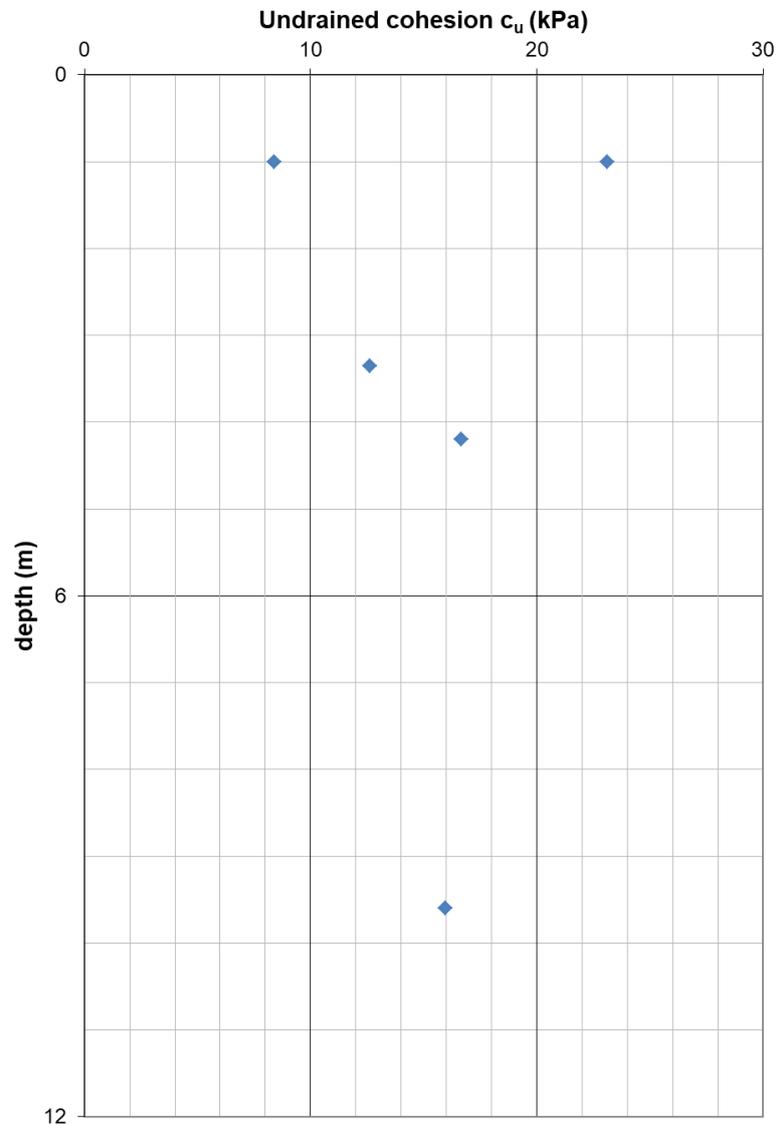
Il peso dell'unità di volume γ varia nell'intervallo 18-20 kN/m³.

Il limite di ritiro W_R vale 20%.(campione S01-PZ_CR1).

Dall'elaborazione delle prove SPT si ricava un valore medio di coesione non drenata $C_u \cong 16$ kPa.



Terreni AL – Valori di N_{30} da prove SPT



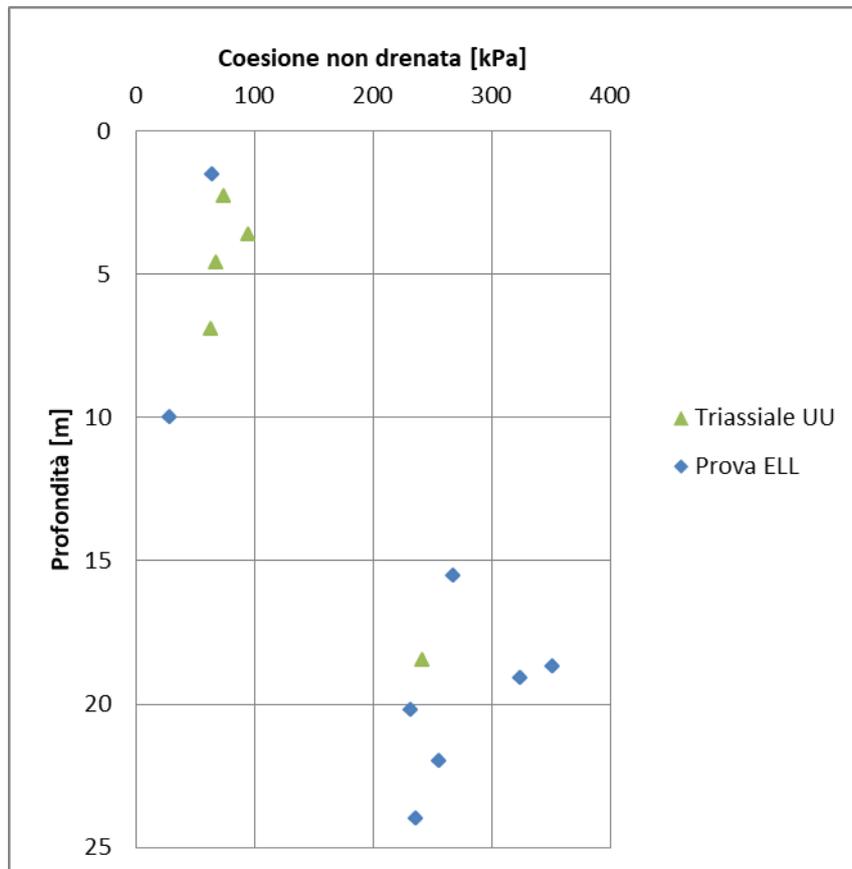
Terreni AL – Valori della coesione non drenata da prove SPT

Dalle stesse prove SPT si ottiene:

$$M = 5 \div 25 \text{ Mpa}$$

con M modulo edometrico.

I risultati delle prove triassiali non consolidate non drenate UU e delle prove monoassiali ad espansione laterale libera ELL forniscono valori di coesione non drenata sempre maggiore di 80 kPa, con un evidente incremento con la profondità.



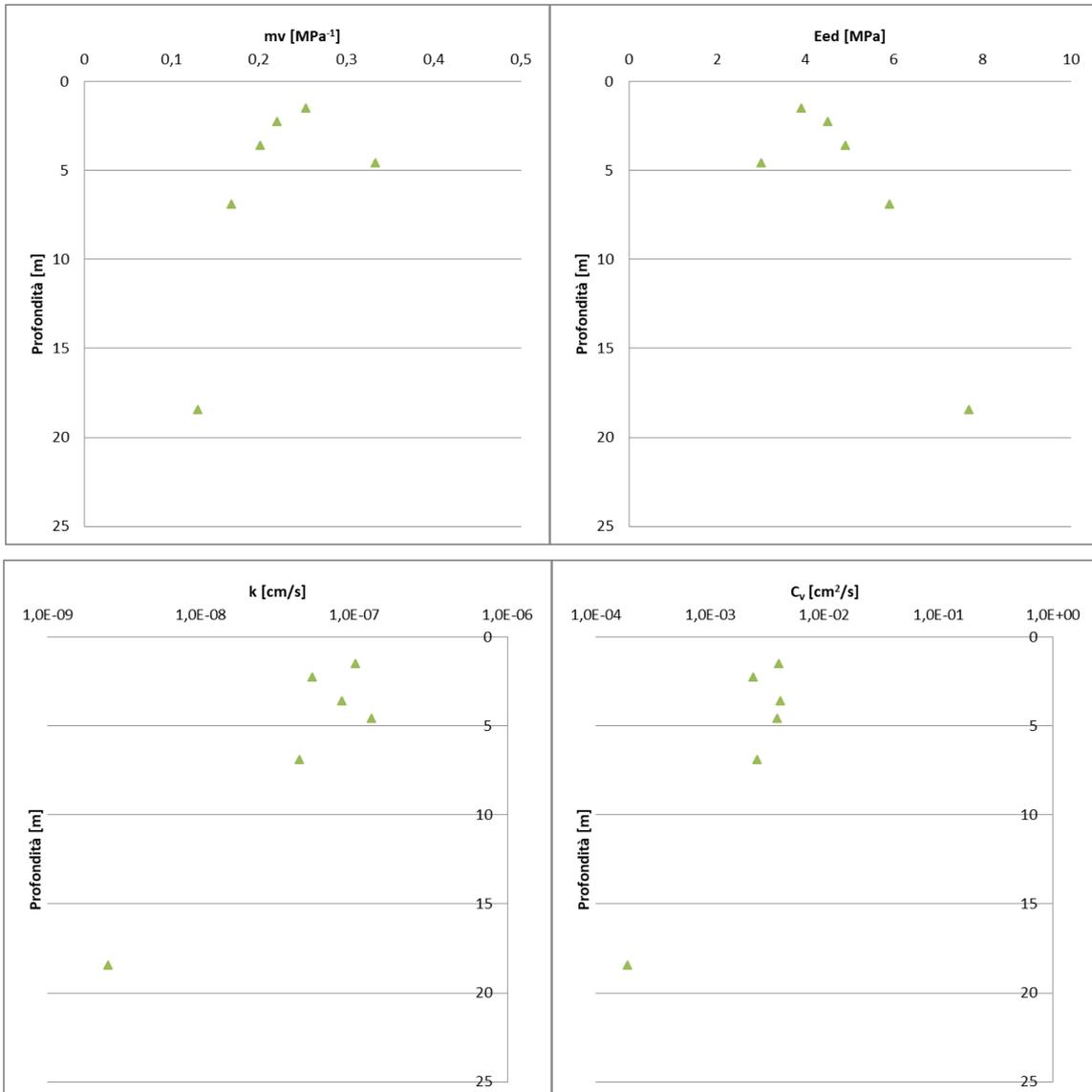
Terreni AL – coesione non drenata c_u da prove di laboratorio

I parametri di deformabilità ricavati dall'elaborazione delle prove di compressione edometrica disponibili variano nei seguenti intervalli:

$$m_v = 0,13 \div 0,35 \text{ MPa}^{-1}; \quad e_0 = 0,68 \div 0,81; \quad c_c = 0,19 \div 0,57;$$

$$E_{ed} = 3 \div 7,7 \text{ MPa}; \quad k = 2,0E-09 \div 1,0E-07 \text{ cm/s}; \quad c_v = 1,9E-04 \div 4,1E-03 \text{ cm}^2/\text{s}.$$

Si riportano di seguito i diagrammi delle prove edometriche in relazione alla profondità, evidenziando un evidente decremento, con la profondità, delle caratteristiche di permeabilità:



Terreni AL – risultati prove edometriche

Dalle prove Down-Hole si ottengono i seguenti valori della velocità delle onde di taglio V_s e del modulo di taglio G_0 .

$$V_s = 200 \div 600 \text{ m/s}, \quad G_0 = 72 \div 648 \text{ MPa}$$

5.2 Substrato roccioso

5.2.1 Depositi saldati e calcari fratturati - CMF

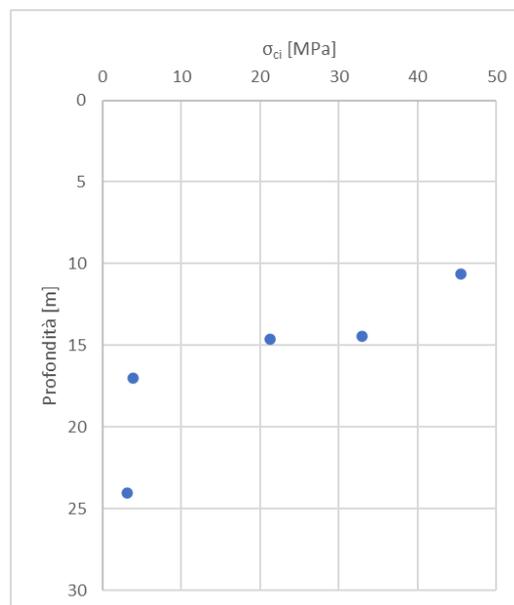
I depositi cementati e i calcari fratturati CMF si rinvennero al di sotto della sabbia limosa SL, a profondità variabile da 2 m fino ai 8 m e assumono spessori di oltre 20 m.

Sono presenti da inizio tracciato fino al km 2+000 lungo i sondaggi S02-DH, S03-DH, S04-PZ, S06 e S18-DH.

I termini CMF sono fratturati e alterati, di colore dal marrone al biancastro, spesso prelevati come sabbia o ghiaia.

Il peso γ è pari a 20 kN/m^3 .

La caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso si è basata su prove di compressione monoassiale non confinata e dell'osservazione delle cassette catalogatrici provenienti dai carotaggi.

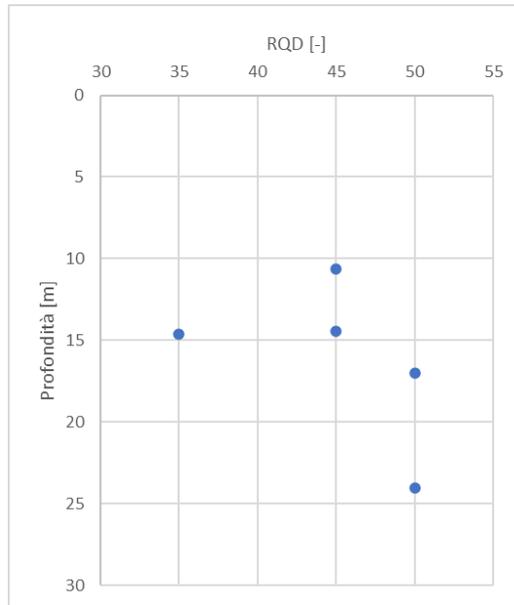


Roccia CMF – distribuzione σ_{ci} da prove di compressione monoassiale

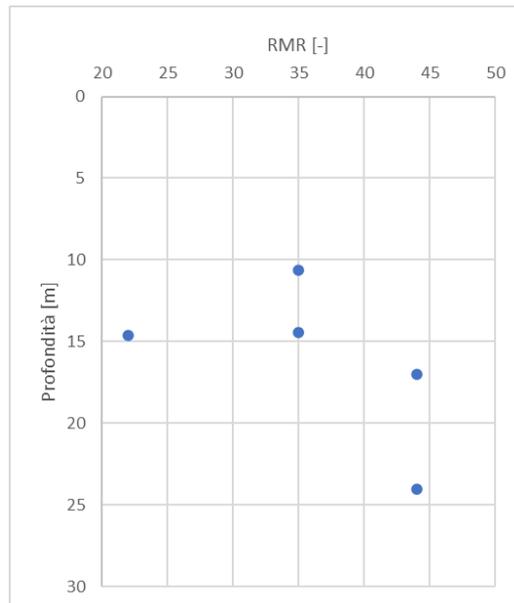
Le caratteristiche di resistenza e deformabilità (coesione c , angolo di resistenza al taglio φ , modulo di Young) sono state determinate sulla base della teoria di Hoek-Brown per ogni provino testato, interpretando le prove eseguite su roccia intatta sulla base del valore di RQD medio nello strato (vedi diagramma "Roccia CMF – valore medio di RQD nello strato"), del valore di RMR (e conseguentemente del valore di GSI), del modulo elastico della roccia intatta E_i e un valore costante di m_i pari a 7.

CA349

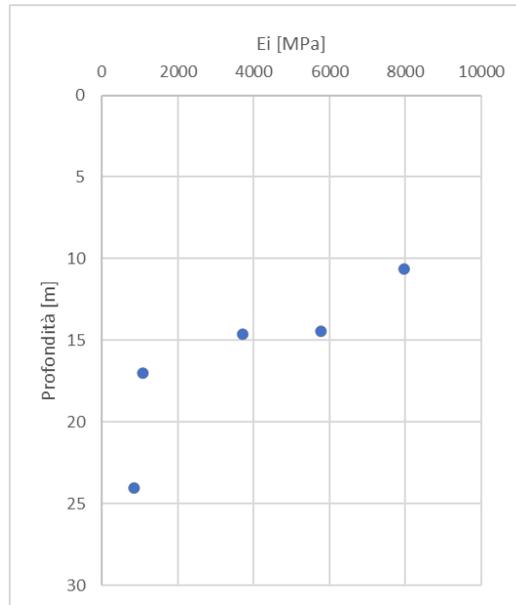
Relazione Geotecnica



Roccia CMF – valore medio di RQD nello strato

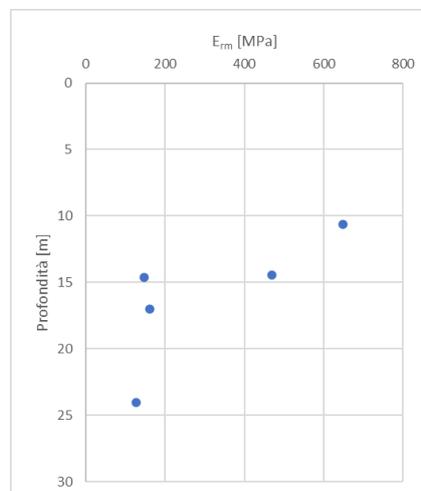
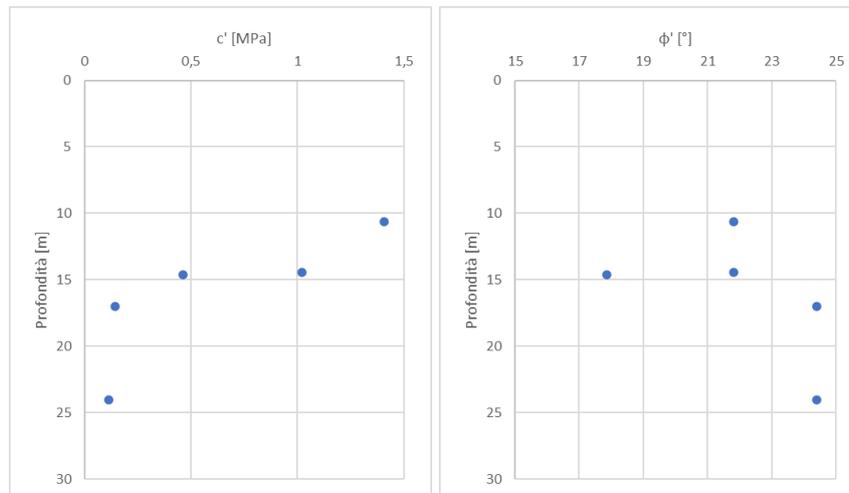


Roccia CMF – RMR



Roccia CMF – modulo elastico della roccia intatta

Ottenendo le seguenti distribuzioni delle caratteristiche di resistenza:



Roccia CMF – caratteristiche di resistenza e deformabilità

E i seguenti valori medi:

$$c = 0,63 \text{ MPa}; \quad \varphi = 22^\circ; \quad E_{rm} = 0,311 \text{ GPa}.$$

Dalle prove Down-Hole si ottengono i seguenti valori della velocità delle onde di taglio V_s e del modulo di taglio G_0 .

$$V_s = 600 \div 1000 \text{ m/s}, \quad G_0 = 800 \div 1900 \text{ MPa}$$

Durante la prova di compressione monoassiale nel provino S06_CL4 sono stati calcolati i valori di modulo di Young secante E_s , modulo di Young tangente E_t e coefficiente di Poisson ν , calcolati al 50% della tensione a rottura:

$$E_s = 1,3 \text{ GPa}; \quad E_t = 1,1 \text{ GPa}; \quad \nu = 0,35.$$

5.2.2 *Calcere marnoso compatto - CM*

Il **calcere marnoso** si presenta di colore dal marrone al biancastro, poco fratturato e mediamente cementato, spesso alternato a zone meno cementate e alterate (CMF).

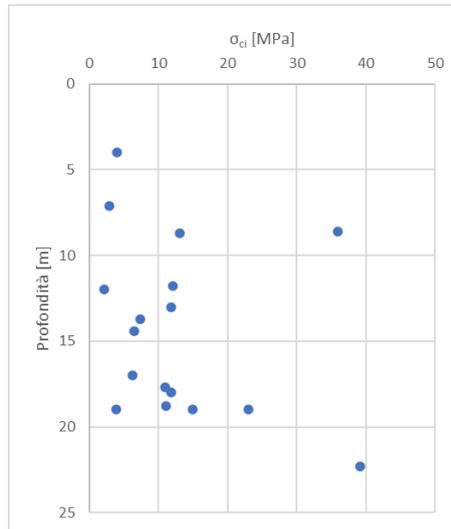
Si rinviene al di sotto della sabbia limosa SL e della parte alterata della formazione marnosa CMF, a partire da una profondità minima compresa tra 3 m e 10 m, con spessori massimi accertati da 20 m a 30 m (fondo foro sondaggi).

È presente lungo il tracciato dal km 0+000 al km 1+900 (v. sondaggi Si47, Si48 e Si63 del 1997, S02-DH, S03-DH e S06 del 2019) a partire da una profondità minima di 3 m alternato a strati di sabbia limosa SL.

I risultati delle prove in sito e di laboratorio mostrano una sostanziale uniformità di comportamento dei terreni CM. I parametri meccanici tendono a migliorare passando dalla parte alterata (CMF) e ai sottostanti calcari CM.

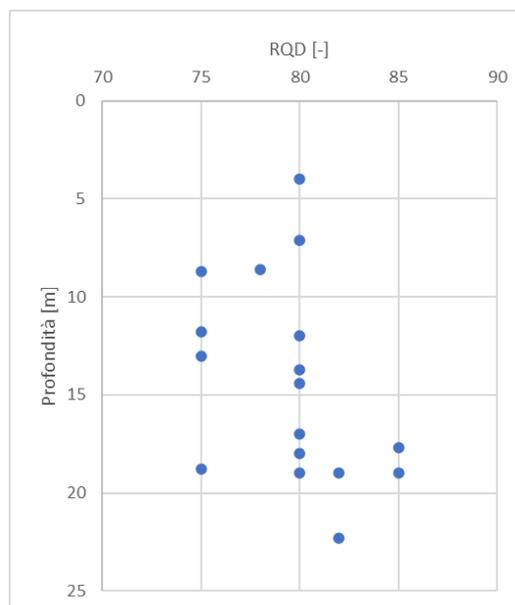
Il peso γ è pari a 21 kN/m^3 .

La caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso si è basata su prove di compressione monoassiale non confinata e dell'osservazione delle cassette catalogatrici provenienti dai carotaggi.

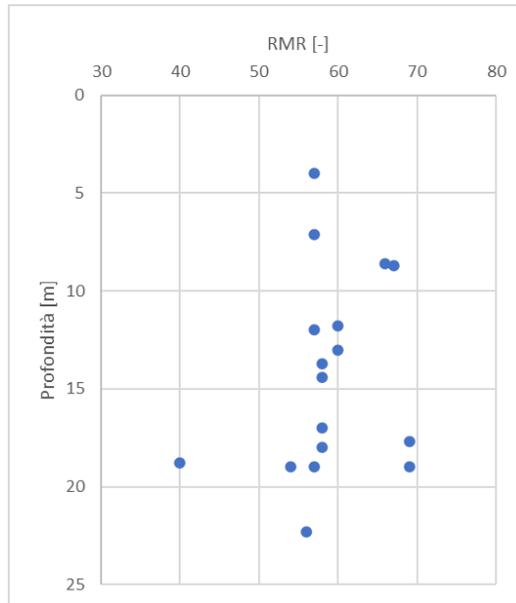


Roccia CM – distribuzione σ_{ci} da prove di compressione monoassiale

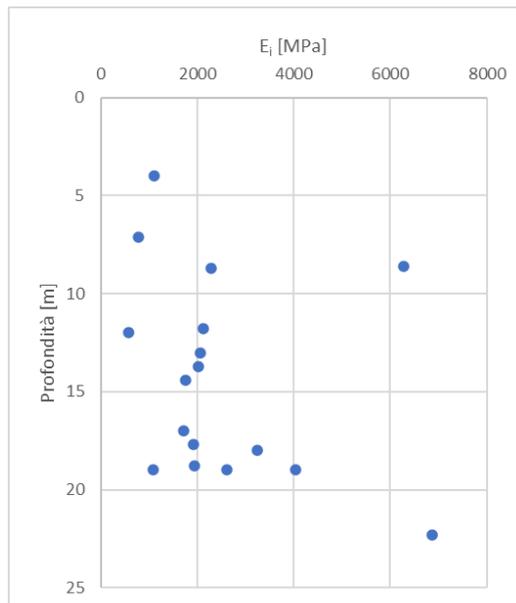
Le caratteristiche di resistenza e deformabilità (coesione c , angolo di resistenza al taglio ϕ , modulo di Young) sono state determinate sulla base della teoria di Hoek-Brown per ogni provino testato, interpretando le prove eseguite su roccia intatta sulla base del valore di RQD medio nello strato (vedi diagramma "Roccia CM – valore medio di RQD nello strato"), del valore di RMR (e conseguentemente del valore di GSI), del modulo elastico della roccia intatta E_i e un valore costante di m_i pari a 7.



Roccia CM – valore medio di RQD nello strato

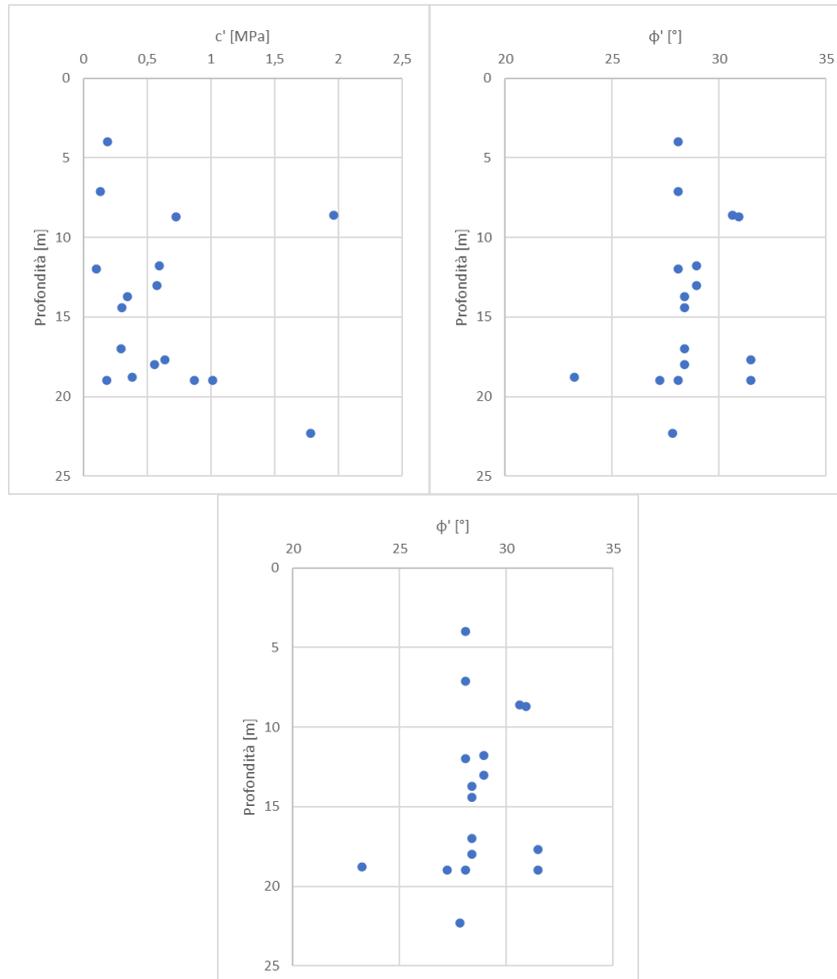


Roccia CM – RMR



Roccia CM – modulo elastico della roccia intatta

Ottenendo le seguenti distribuzioni delle caratteristiche di resistenza:



Roccia CM – caratteristiche di resistenza e deformabilità

E i seguenti valori medi:

$$c = 0,63 \text{ MPa}; \quad \varphi = 28^\circ; \quad E_{rm} = 1 \text{ GPa}.$$

Dalle prove Down-Hole si ottiene

$$V_s = 800 \div 1200 \text{ m/s}, \quad G_0 = 1280 \div 2880 \text{ MPa}$$

Durante le prove di compressione monoassiale nei provini S02-DH_CL4, S03-DH_CL1, S03-DH_CL5, S04-PZ_CL4, S20_CL5 e S20_CL11 sono stati calcolati i valori di modulo di Young secante E_s , modulo di Young tangente E_t e coefficiente di Poisson ν , calcolati al 50% dello sforzo a rottura, ottenendo i seguenti range:

$$E_s = 1,5 \div 20 \text{ GPa}; \quad E_t = 1 \div 18 \text{ GPa}; \quad \nu = 0,25 \div 0,36.$$

5.3 Falda

L'andamento del pelo libero della falda è stato ricavato dai risultati degli studi geologici, che hanno fornito:

- ❑ **dal km 1+000 al km 2+800**
falda a profondità di 3-5 m dal piano di campagna;
- ❑ **dal km 2+800 al km 3+900**
falda a profondità di 8-10 m dal piano di campagna.

Nelle rimanenti parti del tracciato non è desumibile la presenza di falda sulla base delle attuali conoscenze.

5.4 Caratterizzazione fisico – meccanica dei terreni

Di seguito sono riportati in sintesi i parametri geotecnici che è possibile attribuire ai terreni che costituiscono il volume significativo ai fini della progettazione delle opere.

Tali valori sono stati ricavati sia sulla base delle specifiche prove di laboratorio condotte sui campioni prelevati nel corso delle ultime due campagne d'indagine prese in esame, sia dai dati acquisiti in occasione di altri lavori su terreni simili a quelli in esame. Si è inoltre fatto riferimento a dati reperibili nella letteratura geotecnica regionale.

I parametri geotecnici valgono per i terreni di fondazione di tutto il tracciato e quindi per tutte le opere, in considerazione dell'omogeneità di comportamento dei vari termini desunta dai risultati delle indagini in sito e di laboratorio. Si osserva, infatti, che dall'esame del profilo geotecnico e dei dati di indagine, non si sono riscontrate situazioni particolari, tali da dovere considerare parametri specifici per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione di singoli tratti in rilevato e/o viadotto e/o trincea.

Nella tabella che segue si riportano i valori minimo e medio dei parametri fisico-meccanici dei terreni individuati, da utilizzare per il dimensionamento geotecnico e strutturale delle fondazioni delle opere d'arte.

In particolare, si riportano i valori delle seguenti grandezze:

- peso dell'unità di volume γ ;
- coesione non drenata C_u ;
- coesione effettiva c' ;
- angolo d'attrito effettivo ϕ' ;
- resistenza a rottura σ_f ;
- modulo di Young dello scheletro solido E_{young} ;

- velocità delle onde di taglio V_s ;
- modulo di taglio G_0 ;
- numero di colpi N_{SPT} ;

		γ [kN/m ³]	C_u [kPa]	c' [kPa]	φ' [°]	σ_f [MPa]	$E_{young,op}$ [MPa]	V_s [m/s]	G_0 [MPa]	N_{SPT}
G	min	19.0	-	-	28*	-	7*	200	76	30
	media	19.5	-	-	31*	-	22*	300	171	60
SL	min	18.0	0	10°	27**	-	10*	220	87	20
	media	19.0	100	15°	34***	-	34*	420	317	50
AL	min	18.0	16*	13.6	-	-	5*	200	72	10
	media	18.5	90°	29.0	-	-	16*	380	260	30
CM	min	20.0	-	150	27	5	600+	800	1280	-
	media	21.0	-	630	29	20	1010+	1000	2000	-
CMF	min	19.0	-	100	18	3	150+	600	800	-
	media	20.0	-	400	21	15	400+	850	1370	-

* Valori dedotti dai risultati delle prove SPT.

** Valori dedotti dai risultati delle prove SPT. Considerare 25° fino alla profondità di 8 m.

*** Valori dedotti dai risultati delle prove SPT. Considerare 30° fino alla profondità di 8 m.

° Valori dedotti da prove di laboratorio.

°° Valori dedotti da prove di laboratorio. Considerare il valore minimo.

+ Valori di modulo elastico dell'ammasso roccioso.

5.5 Caratterizzazione sismica dei terreni

La caratterizzazione sismica dei terreni è stata sviluppata nella Relazione Sismica T00GE00GEORE02A, alla quale si rimanda per i dettagli.

Nella tabella che segue si riportano per ciascun tratto omogeneo individuato, la categoria di suolo e il valore della velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} .

Indagine di riferimento	Categoria di suolo	V_{seq} [m/s]
S02-DH	B	528
S03-DH	E	306
S07-DH	B	436
S10-DH	C	373
S14-DH	C	341
S18-DH	B	401

Indagine di riferimento	Categoria di suolo	V _{seq} [m/s]
Tomografia BS1a	C (0-7m)	250
	B (>7m)	525
Tomografia BS1b	C (0-7m)	250
	B (7-20m)	475
	A (>20m)	>800
Tomografia BS2a	C (0-7,5m)	225
	B (>7,5m)	400
Tomografia BS2b	C (0-10m)	250
	B (>10m)	475
Tomografia BS3	D (0-10m)	150
	C (>10m)	325
Tomografia BS4	C (0-10m)	225
	B (>10m)	475
Tomografia BS5	C (0-12m)	325
	B (>12m)	500
Tomografia BS6	C (0-10m)	250
	B (>10m)	475

I valori dei parametri sismici sono riportati nelle tavole che illustrano il profilo geotecnico.

6 RAPPORTI OPERE TERRENI

Le conoscenze sui terreni di fondazione acquisite con i rilievi e le indagini hanno consentito di ricostruire con sufficiente dettaglio i rapporti tra le opere in progetto e i terreni di fondazione.

Con riferimento alla classificazione geotecnica riportata nel capitolo precedente, nelle tavole T00GE00GETFG_01A ÷ 06A si illustrano i terreni di fondazione presenti lungo il profilo longitudinale in asse del tracciato.

Nelle stesse tavole sono riportate la posizione e la colonnina schematica dei sondaggi e dei pozzetti. Nelle singole colonnine sono indicati il simbolo dell'unità geotecnica, la quota del boccaforo se nota, la profondità della falda se presente, il valore N₃₀ ricavato dalle prove SPT, la posizione dei campioni. Lungo il profilo è anche indicata la posizione delle indagini sismiche.

Nel seguito si illustrano i rapporti tra le opere ed i terreni con riferimento alle opere previste in progetto.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

6.1 Viadotti – Galleria

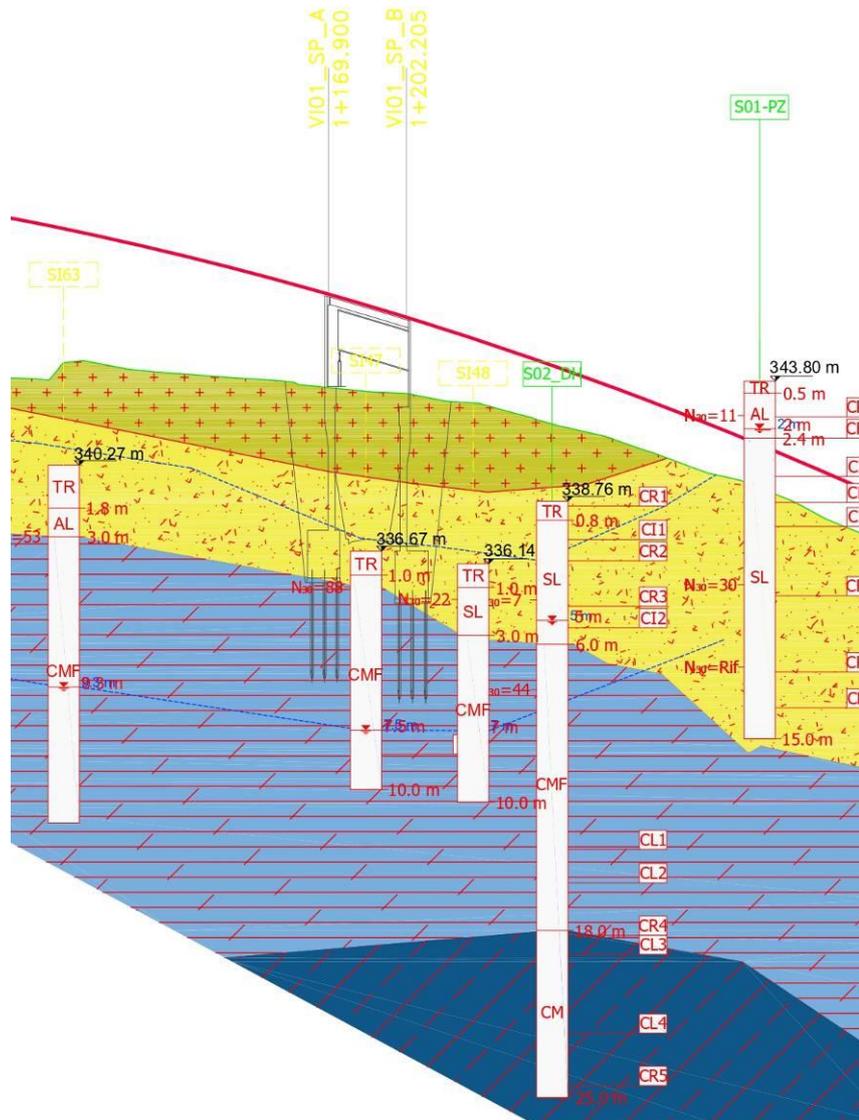
I rapporti che intercorrono tra i viadotti e la galleria in progetto ed i terreni di fondazione, illustrati nel seguito distinti per opera, sono stati ricostruiti sulla base dei sondaggi e dei rilievi di superficie effettuati nel corso dei sopralluoghi.

Gli schemi riportati sono da ritenersi puramente indicativi in termini di dimensioni geometriche delle opere e lunghezza dei pali di fondazione al di sotto delle pile, posizione della falda in caso di falda a quota variabile. In tutti gli schemi è stato sempre considerato uno spessore di terreno agrario o di riporto (TA) pari a 0,5 m. Per la lunghezza dei pali di fondazione si rimanda agli elaborati specifici di ciascun viadotto.

6.1.1 VI01

Il viadotto 01 si estende tra la progressiva 1+169 km e la progressiva 1+202 km. I terreni di fondazione del viadotto sono stati indagati con i sondaggi S01-PZ e S02-DH insieme ai sondaggi del 1997 in proiezione SI47, SI48 e SI63.

I rapporti che intercorrono tra il viadotto e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.



Il viadotto insisterà direttamente su calcari fratturati CMF, che raggiungono profondità elevate. I pali di fondazione si atterranno sempre all'interno del CMF.

Lo studio geologico segnala presenza di falda a profondità compresa tra 5 e 6 m dl piano campagna.

Sono stati scelti dei pali $\Phi 1200$, progettati facendo riferimento allo schema semplificato che prevede uno strato indefinito di CMF al di sotto dei plinti di fondazione. La falda viene considerata in via cautelativa coincidente con il piano di posa dei plinti.

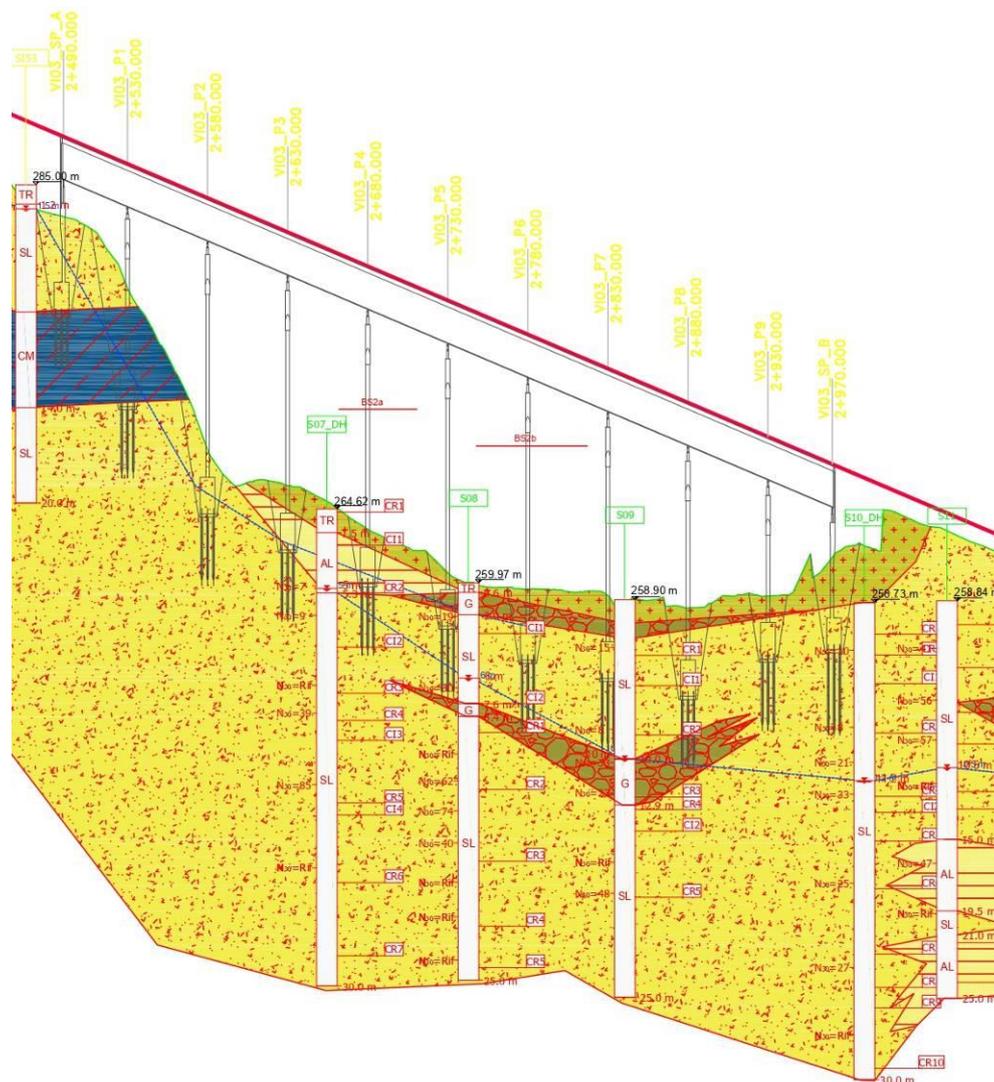
I plinti di base del ponte insisteranno sulle sabbie limose SL, che assumono uno spessore tra i 2 m e i 6 m, a ricoprimento dei calcari marnosi sottostanti. Viene utilizzato un sistema di micropali per le fondazioni dei plinti.

La falda viene considerata in via cautelativa sul piano di posa dei plinti.

6.1.3 VI03

Il viadotto 03 si estende tra la progressiva 2+490 km e la progressiva 2+970 km. I terreni di fondazione del viadotto sono stati indagati con i sondaggi S07-DH, S08, S09, S10-DH e S11, le tomografie BS2a e BS2b e insieme al sondaggio del 1997 SI53.

I rapporti che intercorrono tra il viadotto e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.



SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

I plinti di base del ponte insisteranno sulle sabbie limose, presenti fino in profondità, con rare lenti argillose o ghiaiose.

Sono stati progettati pali $\Phi 1200$ mm facendo riferimento allo schema semplificato che prevede, uno strato di sabbia limosa SL indefinitamente esteso al di sotto dei plinti di fondazione, con un piano di falda considerato cautelativamente sul piano di posa dei plinti.

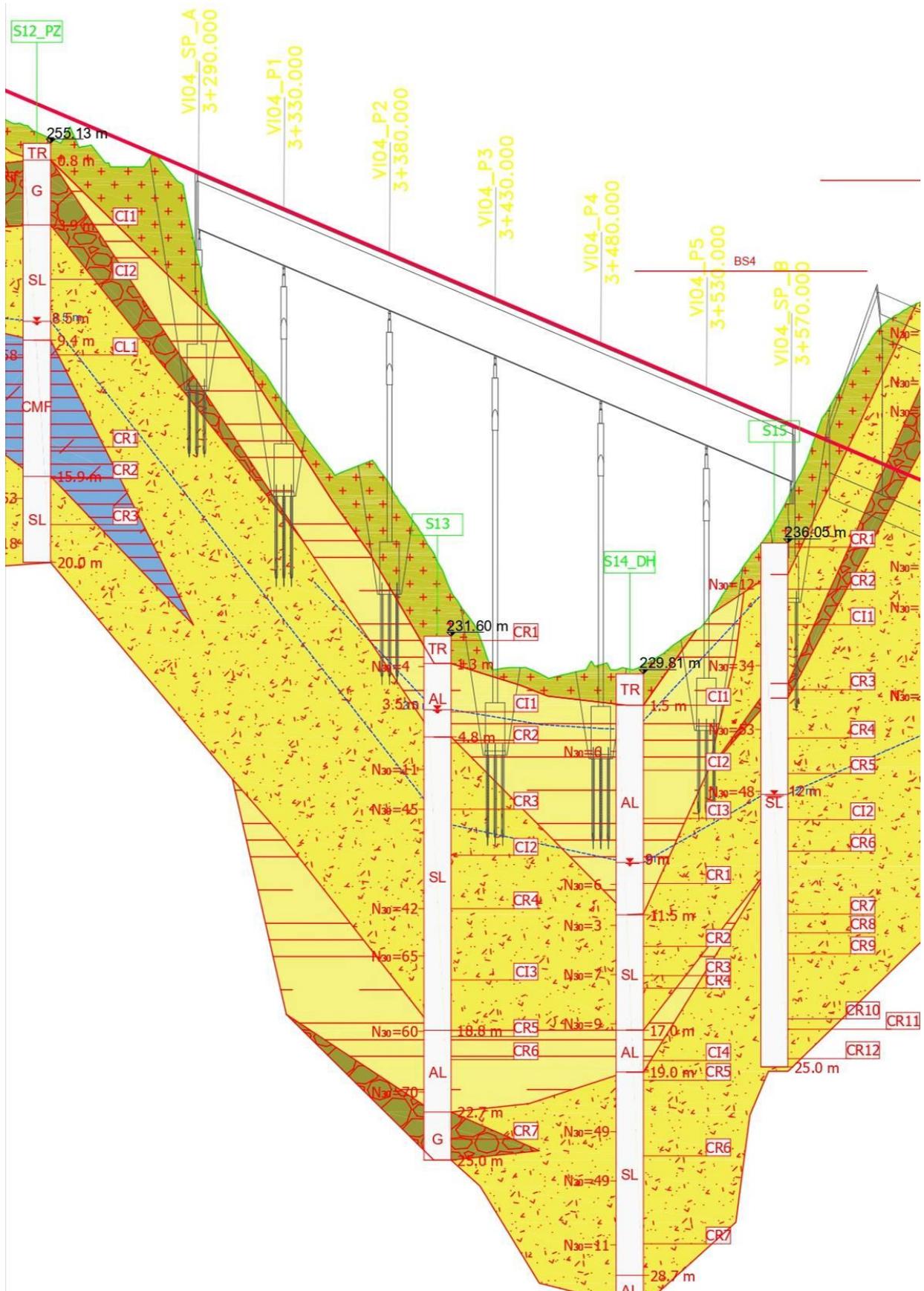
6.1.4 VI04

Il viadotto 04 si sviluppa tra la progressiva 3+290 km e la progressiva 3+570 km. I terreni di fondazione del viadotto sono stati indagati con i sondaggi S12-PZ, S13, S14-DH, S15 e S16, le tomografie BS4 e BS5.

I rapporti che intercorrono tra il viadotto e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.

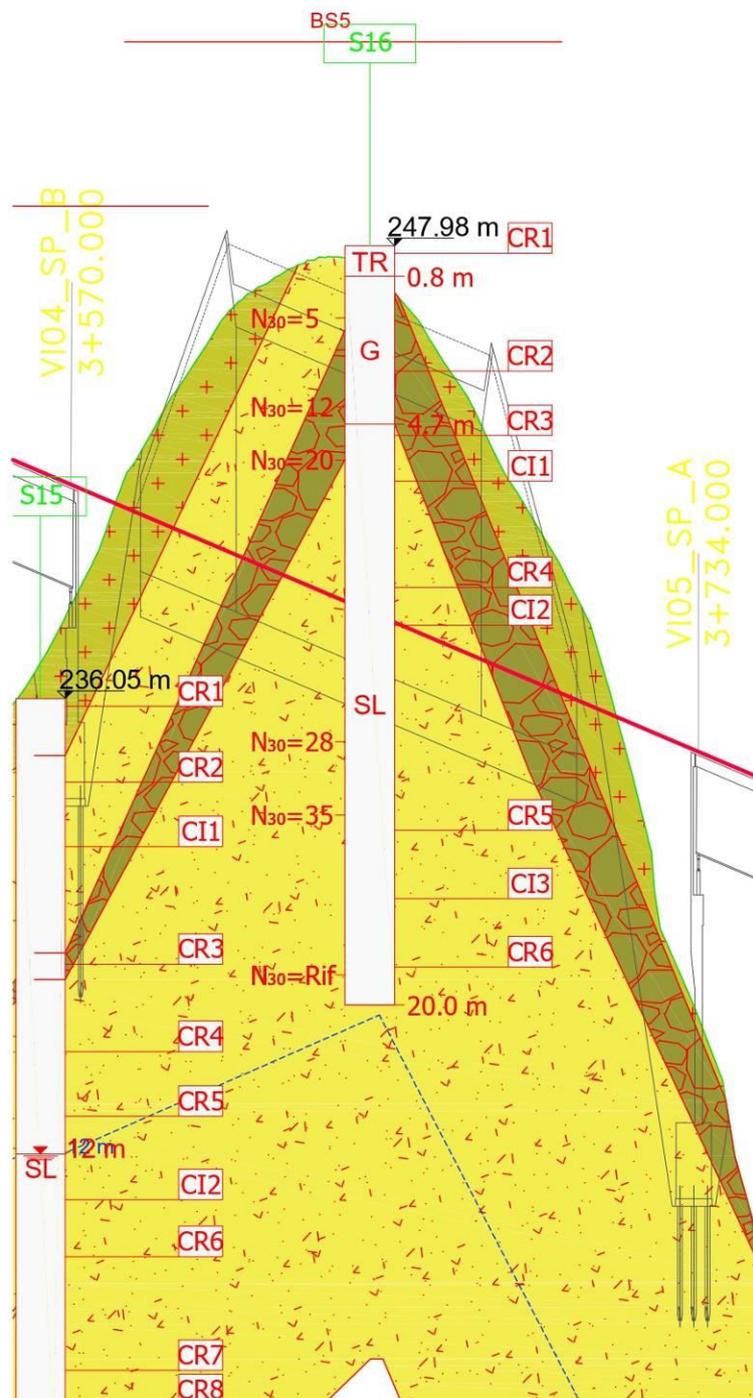
I plinti di base del viadotto insisteranno sull'argilla AL per una profondità compresa tra i 2 e i 6 m, per poi diventare sabbie limose con sezioni estremamente limitate di ghiaie e limi argillosi.

Sono stati scelti dei pali $\Phi 1200$, progettati facendo riferimento allo schema semplificato che prevede, al di sotto dei plinti di fondazione, uno strato indefinitamente profondo di SL, con un piano di falda considerato cautelativamente sul piano di posa dei plinti.



6.1.5 GA01

La galleria 01 si estende tra i viadotti 04 e 05. I terreni di fondazione sono stati indagati tramite il sondaggio S16 e S15 e la tomografia BS5. I rapporti che intercorrono tra il viadotto e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.



La galleria attraversa uno strato di sabbia limosa con spessori massimi di 4 m di ghiaie e sabbie.

6.1.6 VI05

Il viadotto 05 si estende tra la progressiva 3+734 km e la progressiva 3+964 km. I terreni di fondazione del viadotto sono stati indagati con i sondaggi S16, S17, S18-DH e S19-PZ e la tomografia BS6. I rapporti che intercorrono tra il viadotto e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.



I plinti di base poggeranno su terreni di diversa granulometria: le pile SP_A, P1, P2 e SP_B su sabbie limose; le pile P4 e P4 su ghiaie e sabbie.

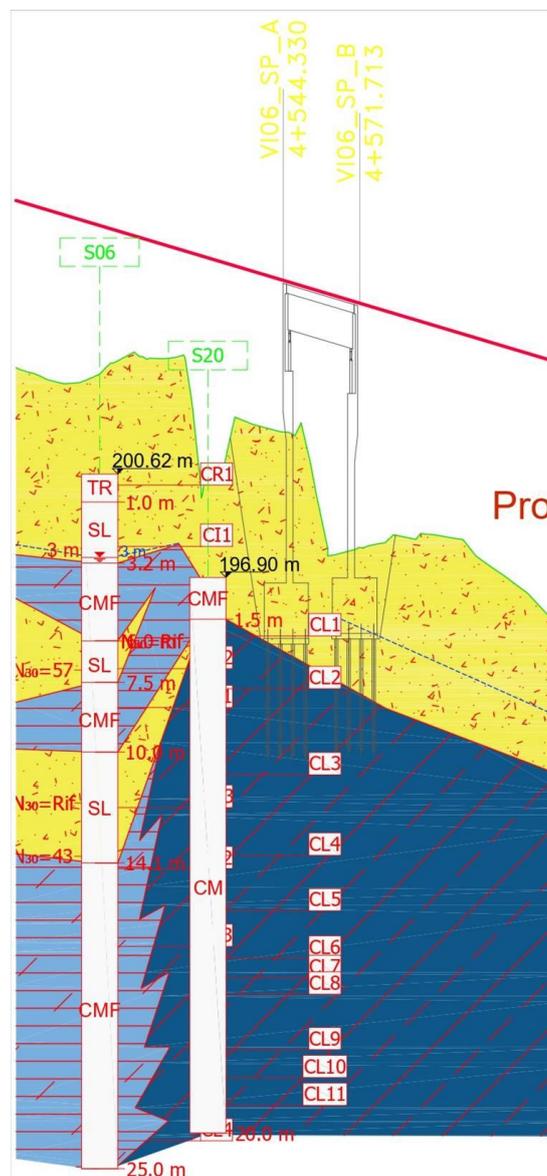
I plinti poggiano su pali $\Phi 1200$ mm, calcolati con riferimento ad uno schema semplificato che prevede terreni di fondazione costituiti di sabbia limosa SL, ad esclusione della pila P3 dove risulta essere maggiore la sezione ghiaiosa.

La falda viene considerata in via cautelativa sul piano di posa dei plinti.

6.1.7 VI06

I terreni di fondazione del viadotto VI06, si estende tra la progressiva 4+544 km e la progressiva 4+571 km, sono stati indagati con i sondaggi S06 e S20.

I rapporti opere-terreni sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico che segue.



I plinti di base poggeranno su uno strato di sabbia limosa SL con tra 1 e 2 m a copertura di uno di calcari marnosi CM. Viene utilizzato un sistema di micropali per le fondazioni dei plinti.

La falda viene considerata in via cautelativa sul piano di posa dei plinti.

6.2 Rilevati

Nel presente paragrafo si illustrano i rapporti che intercorrono tra i tratti stradali in rilevato e i terreni di fondazione.

La ricostruzione si è basata sui risultati delle campagne di indagini in sito ed è riportata in dettaglio nelle tavole T00GE00GETFG_01A ÷ 06A del Profilo Geotecnico allegate al Progetto.

Sono state individuate alcune situazioni tipiche, che sono state poste alla base delle successive valutazioni di carattere geotecnico in merito a eventuali interventi da porre in atto.

Gli schemi che illustrano i rapporti opere-terreni riportati più avanti sono da ritenersi puramente indicativi dal punto di vista geometrico in termini di dimensione delle opere, spessore dei terreni di fondazione, posizione della falda.

Dal momento che è prevista l'asportazione del terreno agrario e/o dei materiali di riporto presenti a partire dal piano limite, in tutti gli schemi si è omessa la presenza di questi termini.

In accordo con il profilo geotecnico riportato nelle tavole T00GE00GETFG_01A ÷ 06A si sono analizzate tre differenti progressive, selezionate tra le condizioni più gravose per spessore degli strati del sottosuolo e altezza del rilevato:

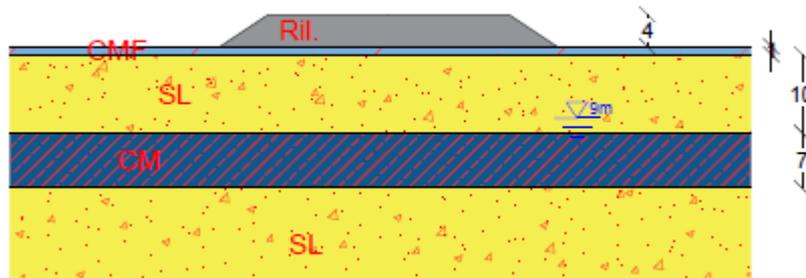
❖ **Progressiva km 0+900**

Il rilevato è alto 7 m e poggia su sabbia limosa SL (spessore 7 m) a ricoprimento di uno strato indefinitamente esteso di calcari alterati CMF (v. schema nella figura che segue). La falda si trova a 2 m dal piano campagna.



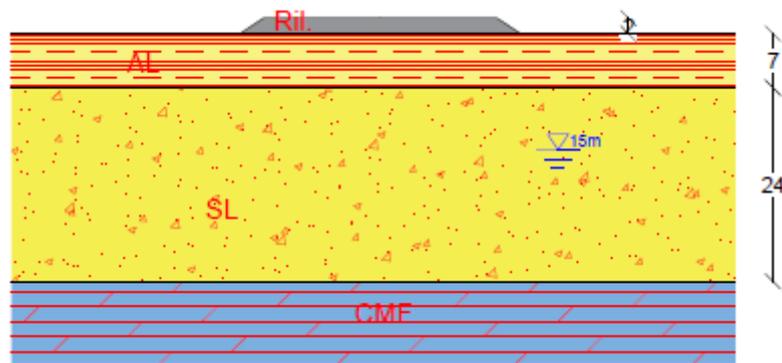
❖ **Progressiva km 2+420**

A tale progressiva il rilevato è alto 4 m e insiste su un'alternanza di SL, CM e CMF, con spessori compresi tra 1 e 10 m (v. schema nella figura che segue). La falda si trova a 9 m dal piano campagna



❖ **Progressiva km 4+000**

Alla progressiva km 4+000 il rilevato è alto 2 m. I terreni di fondazione sono costituiti di argilla limosa AL (spessore 7 m), seguita da sabbia limosa SL (spessore 24 m) e successivamente dai calcari alterati fino a quota significativa ai fini del dimensionamento dell'opera (v. schema che sotto). La falda si trova a 15 m dal piano campagna



7 QUESTIONI GEOTECNICHE

Le principali questioni di carattere geotecnico connesse con la progettazione delle opere riguardano la scelta del tipo di fondazione delle pile e delle spalle dei viadotti, ponti e cavalcavia e la scelta del piano di posa dei tratti in rilevato.

In relazione alle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, ai rapporti tra questi ultimi e le opere ed ai carichi trasmessi dalle strutture, la scelta delle fondazioni delle pile e delle spalle dei viadotti ricade su fondazioni profonde, costituite da pali di c.a. di grande diametro (ϕ 1200 mm) ad esclusione dei viadotti 02 e 06, dove vengono scelti dei micropali grazie alle migliori caratteristiche del terreno sottostante. Per il dimensionamento delle strutture di fondazione si è fatto riferimento ai rapporti tra le opere e i terreni descritti in precedenza. I risultati dei calcoli strutturali e geotecnici, corredati da particolari costruttivi, sono riportati per ciascuna opera in specifici elaborati.

L'apertura degli scavi per raggiungere i piani di posa dei plinti di fondazione procederà con pendenza 1/1. Qualora gli scavi dovessero raggiungere profondità maggiori di 5 m si interporranno banchine larghe 1 m superati i 4 m di altezza di scavo.

Per quanto riguarda i tratti in rilevato, si prevede lo scotico dei primi 20 cm di terreno a partire dal piano di campagna e l'asportazione di ulteriore strato di spessore variabile da 50 cm a 130 cm, quale bonifica (v. tabella che segue), al fine di garantire l'appoggio dei rilevati su terreni di idonee caratteristiche.

Progressiva [km]	Scotico [m]	Bonifica [m]
0+00-0+900	0,2	0,5
1+020-1+140	0,2	1,3
1+140-2+060	0,2	0,5
2+060-2+840	0,2	0,5
2+940-3+060	0,2	0,5
3+060-4+020	0,2	0,8
4+020-4+380	0,2	0,5
4+380-5+000	0,2	0,8
5+000-5+340	0,2	0,8
5+340-5+930	0,2	0,5

Spessori di scotico e bonifica

8 CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle verifiche dei cedimenti dei rilevati in condizioni di esercizio (SLE), dovuti alla deformazione dei terreni di fondazione e delle opere.

Le verifiche dei cedimenti sono finalizzate a valutare l'entità del cedimento totale del nuovo rilevato a fine costruzione e a lungo termine.

I calcoli esposti più avanti mostrano come, anche in assenza di provvedimenti specifici, a causa della natura dei terreni, l'evoluzione dei cedimenti nel tempo sarebbe tale da garantire la funzionalità delle opere.

7.1 Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione

Come mostra il Profilo Geotecnico, i rilevati poggiano su terreni SL e AL, che a loro volta ricoprono terreni di natura lapidea.

Dall'esame delle proprietà geotecniche desunte dalle prove in sito e di laboratorio si sono evidenziati i seguenti parametri utili per il calcolo dei cedimenti.

Terreno	Altezza max strato [m]	Geometria rilevato	e_0	C_c	c_v	N_{30} medio
SL	10	Cap. 6.3	0,6	-	-	30
AL	7	Cap. 6.3	0,7	0,36	0,01	-

Il calcolo dei cedimenti per terreni a grana grossa è stato effettuato secondo la formula sperimentale di Burland & Burbridge. Per terreni a grana fine si è sfruttata invece la teoria di Giroud, la formula di Terzaghi e la teoria di Sivaram & Swamee.

I tratti di rilevato presi in esame risultano essere i tratti più critici, ovvero caratterizzati dalle condizioni di maggiore altezza del rilevato e spessori di strati comprimibili maggiori.

7.2 Calcolo dei cedimenti in terreni a grana grossa

Dal punto di vista teorico si può schematizzare il cedimento di un deposito non coesivo uniforme sottoposto all'azione di un carico di dimensioni finite secondo la formula di Burland & Barbridge, 1985. Tale formula permette di calcolare il cedimento medio immediato S_i come segue:

$$S_i = f_s f_l q B^{0.7} I_c$$

Con f_s fattore di forma pari a 1,25 per fondazioni nastriformi, q è il carico in kPa, B è la larghezza della fondazione, I_c è un indice di compressibilità e f_l il fattore di spessore, espressi come seguono:

$$I_c = \frac{1,71}{N^{1,4}}$$

$$f_l = \frac{H_s}{Z_l} \left(2 - \frac{H_s}{Z_l} \right)$$

con H_s altezza di drenaggio, $Z_l = B^{0,763}$ e N è pari a $1,25 N_{30,medio}$.

7.2 Calcolo dei cedimenti in terreni a grana fine

Il calcolo dei cedimenti in terreni a grana fine può essere schematizzato come somma di più cedimenti differenti, rispettivamente il cedimento immediato S_i , il cedimento di consolidazione S_c e il cedimento secondario S_s . Tali cedimenti sono calcolabili attraverso le seguenti relazioni:

- S_i :

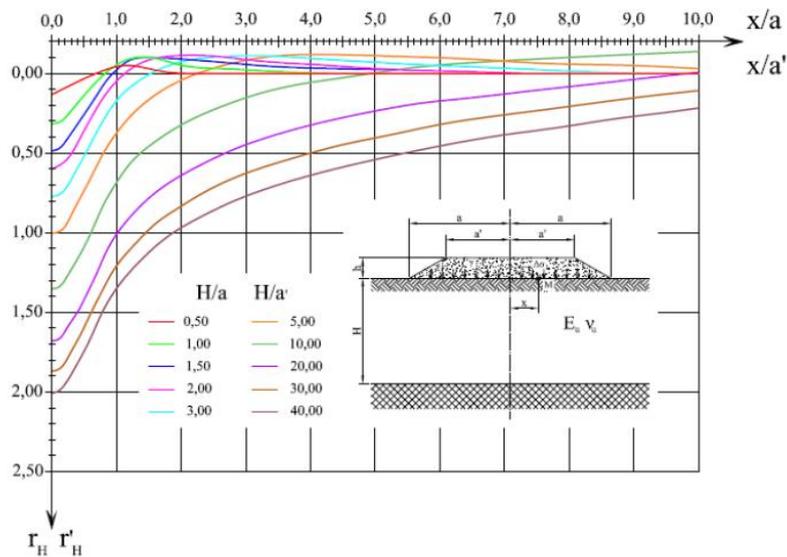
$$S_i = \frac{\gamma \cdot h}{E_u} \cdot \frac{a^2}{a - a'} \cdot \left\{ r_H - \left(\frac{a'}{a} \right)^2 \cdot r'_H \right\}$$

con γ la densità del terreno, E_u il modulo di Young del terreno di appoggio in condizioni non drenate, ricavabile dalla seguente tabella:

GSC	E_u/c_u		
	PI < 30	30 < PI < 50	PI > 50
< 3	600	300	125
3 - 5	400	200	75
> 5	150	75	50

Duncan e Buchignani
 (terreni omogenei)

e r_h , r'_h , a e a' ricavabili dal seguente diagramma:



- S_c :

$$S_c(t) = H \cdot \frac{C_c}{1 + e_0} \cdot \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma'_v}{\sigma'_{v0}}$$

- S_{res} :

$$S_{residuo} = S - S_i - U_{xxgg} \cdot S_c$$

con U_{xxgg} ricavabile dalla seguente formula di Sivaram & Swamee:

$$U_m = \frac{\left(4 \cdot \frac{T_v}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}{\left[1 + \left(4 \cdot \frac{T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right]^{0,179}}$$

e T_v è il time factor, espresso secondo la seguente relazione:

$$T_v = \frac{c_v \cdot t}{H_{dr}^2}$$

con H_{dr} altezza di drenaggio.

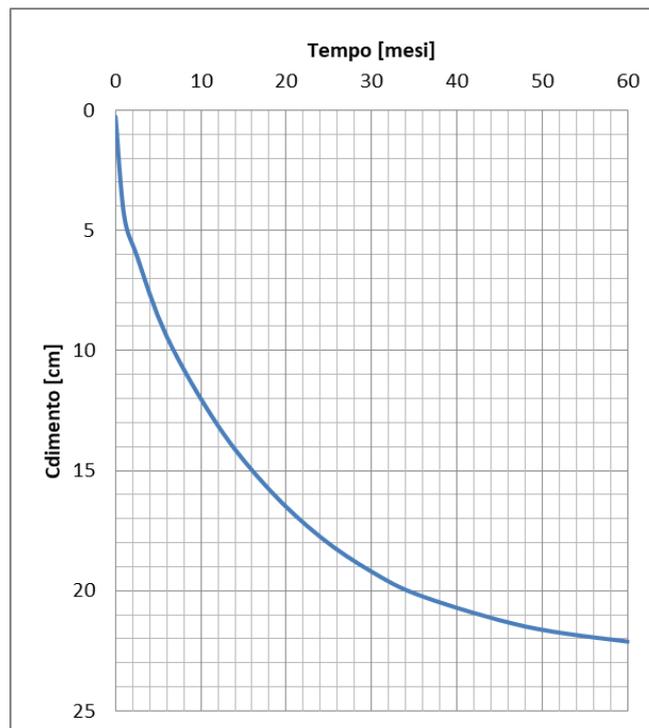
7.3 Risultati dei calcoli

Sulla base delle formule esposte precedentemente si verifica separatamente il cedimento nelle tre configurazioni di calcolo.

Il calcolo risulta speditivo in corrispondenza delle sezioni tipo alle progressive km 0+900 e km 2+420, ottenendo i seguenti cedimenti immediati nel punto di mezzeria del rilevato:

Progr. [km]	h [m]	H [m]	x	H/a	H/a'	r_h	r'_h	S_i [cm]
0+900	7	7	0	0,27	0,47	0,12	0,12	1,148
2+420	4	10	0	0,48	0,67	0,12	0,12	0,576

Si riporta di seguito il diagramma dei cedimenti nel tempo per la sezione tipo al km 4+000, calcolata nel rispetto dei parametri riportati nella tabella riassuntiva al paragrafo 5.4 per le argille limose e in accordo con i risultati delle prove edometriche, considerando $c_v = 1,0E-03 \text{ cm}^2/\text{s}$, $c_c = 0,36$ ed $e_0 = 0,7$.



Cedimento previsto in corrispondenza del km 4+000

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

Di seguito i valori di cedimento, iniziale e di consolidazione, calcolati per ogni configurazione:

Progr. [km]	S _i [cm]	S _c [cm]
0+900	1,5	0
2+420	1	0
4+000	0,22	22

Al fine di rispettare le norme esposte nel capitolato CIRS – art. 1.4.2.1 è stato calcolato il cedimento residuo S_{res} a fine costruzione (4 anni), che risulta essere pari a 1,5 cm. Tale cedimento è inferiore al 10% del cedimento totale e comunque minore di 5 cm, risultando quindi accettabile.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

9 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche di stabilità globale hanno riguardato i tratti in rilevato e in trincea e gli scavi provvisionali per raggiungere il piano di posa dei plinti dei viadotti.

9.1 Procedura di calcolo

Le verifiche di stabilità dei tratti in rilevato e trincea sono state eseguite secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2: (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I del D.M. 17.01.2018.

Per gli scavi provvisionali si è tenuto conto della combinazione A1+M1+R3.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	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 ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	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) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Coefficienti parziali per le azioni (Tabella 6.2.I - D.M. 17/01/2018)

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_γ	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II - D.M. 17/01/2018)

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Coefficiente parziale di resistenza γ_{R2} (Tabella 6.8.I - D.M. 17/01/2018)

Le verifiche dei tratti in rilevato e trincea sono state eseguite sia in condizioni statiche, sia in condizioni sismiche.

L'effetto sismico è stato simulato con il metodo pseudo-statico, in cui gli effetti di un evento sismico in un pendio sono rappresentati da un'azione statica equivalente.

L'analisi consiste nel valutare il coefficiente di sicurezza introducendo le componenti orizzontale e verticale del coefficiente sismico equivalente: la componente orizzontale è generalmente scelta come aliquota della componente orizzontale della massima accelerazione sismica attesa in sito, mentre la componente verticale è invece assunta pari a una frazione di quella orizzontale.

In accordo al D.M. 17.01.2018, le forze di inerzia dovute all'azione sismica sono state calcolate con le seguenti espressioni:

$$F_h = k_h \times W$$

$$F_v = k_v \times W$$

dove:

- F_h ed F_v sono, rispettivamente, la risultante verticale ed orizzontale delle forze di inerzia applicate al baricentro della massa potenzialmente instabile;
- W è il peso della massa stessa;
- k_h e k_v sono i coefficienti sismici orizzontale e verticale.

$$k_h = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

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

con a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito, g accelerazione di gravità e β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (v. tabella sotto).

	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

Coeff. di riduzione β_s per verifiche di Stabilità Globale

I terreni di fondazione delle opere prese in esame ricadono tutti nella Categoria di suolo B, ad eccezione del rilevato alla Progr. 0+900 che poggia su terreni alluvionali a grana fina ALF di Categoria E. Entrambi le categorie sono caratterizzate dal medesimo coefficiente di riduzione β_s . Considerando per la tipologia di opera in oggetto una classe d'uso IV - *Opere Strategiche*, una *Vita nominale* V_N pari a 100 *anni* e con riferimento allo Stato Limite di Vita (S.L.V.), risulta:

$$k_h = 0,014;$$

$$k_v = 0,007.$$

9.2 Codice di calcolo

Le verifiche di stabilità sono state sviluppate utilizzando il codice di calcolo *SLOPE/W* della *Geo-Slope International Ltd* e facendo ricorso al metodo di Morgenstern-Price.

Il programma svolge l'analisi all'equilibrio limite esaminando, per varie superfici di scorrimento, il relativo coefficiente di sicurezza e individuando quella critica, cioè quella con il fattore di sicurezza minore.

All'interno del programma sono implementati diversi metodi per definire le superfici di scivolamento. Nel caso in esame, le analisi sono state eseguite attraverso la modalità chiamata "Grid and radius", in cui vengono fissati dall'operatore il raggio della superficie critica e l'area dove si può trovare il centro della stessa.

9.3 Caratteristiche geotecniche dei terreni

Per l'esecuzione delle verifiche sono stati utilizzati i parametri geotecnici derivanti dai risultati delle indagini (v. paragrafo 5.6), che si riassumono nel seguito:

Sabbie limose SL

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3; c' = 10 \text{ kPa}; \varphi' = 34^\circ.$$

Argille con limo AL

$$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3; c_u = 90 \text{ kPa}.$$

Calcari fratturati CMF

$$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3; c' = 200 \text{ kPa}; \varphi' = 21^\circ.$$

I materiali che costituiscono il rilevato sono stati caratterizzati con i seguenti valori, desunti da sperimentazioni effettuate per altri lavori stradali su campioni di tout-venant di cava (classificazione HRB A1a, A1b, A2-4, A2-5) costipati con tecnica AASHTO Standard:

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3; c' = 10 \text{ kPa}; \varphi' = 35^\circ.$$

Applicando i coefficienti parziali ai parametri geotecnici dei terreni dei materiali, si ottengono i seguenti valori di coesione e angolo d'attrito per le alluvioni ALF e per i materiali del rilevato stradale:

SL $c' = 8 \text{ kPa}; \varphi' = 27^\circ.$

AL $c_u = 64 \text{ kPa}.$

CMF $c' = 160 \text{ kPa}; \varphi' = 17^\circ.$

Rilevato stradale $c' = 8 \text{ kPa}; \varphi' = 29^\circ.$

9.4 Risultati delle verifiche

9.4.1 Rilevati

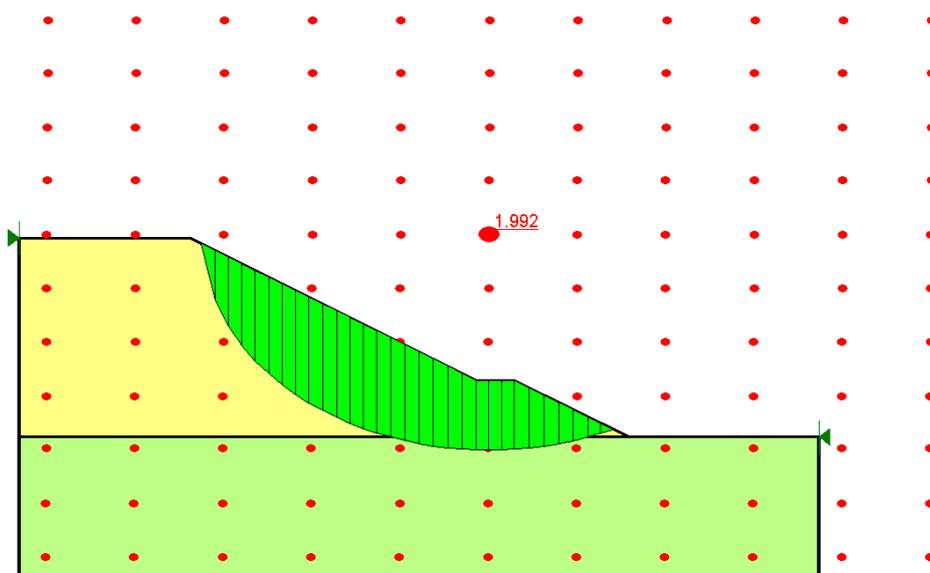
Al fine di verificare la stabilità dei rilevati è stata analizzata la condizione più gravosa di rilevato di altezza massima (pari a 7 m) su terreno sabbioso-limoso SL. Viene ipotizzata una pendenza 2:3 con berme di 100 cm al raggiungimento dei 5 m di altezza del rilevato.

Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo F_{min} , in condizioni statiche e sismiche, ottenuti con i calcoli di stabilità.

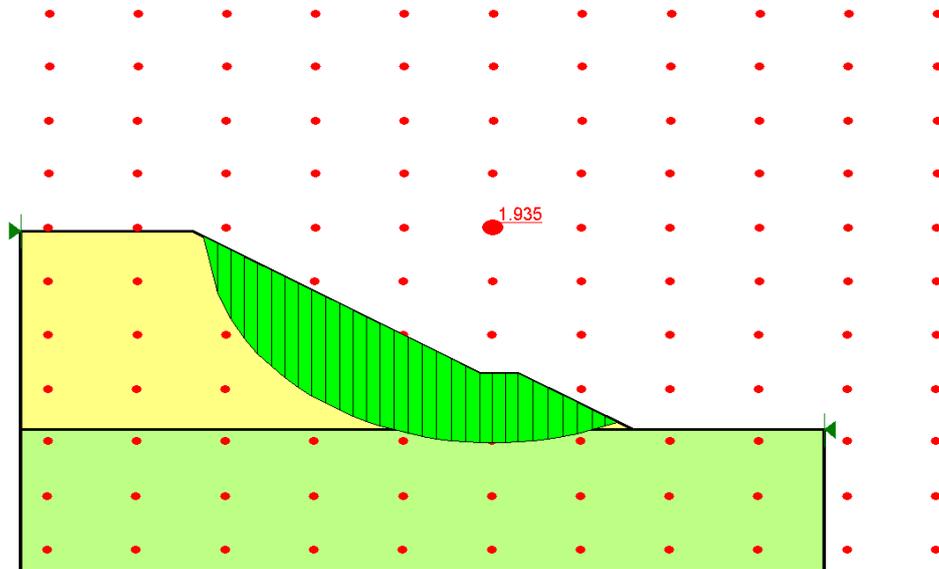
Sezione di Calcolo	Fmin	
	Condizione statica	Condizione sismica
Rilevato di altezza massima	1,99	1,94

Si osserva che F_{min} risulta sempre maggiore del valore minimo stabilito dalla Normativa, pari a 1,1.

Nelle figure che seguono si riporta la traccia della superficie di scorrimento per la quale si è ottenuto il coefficiente di sicurezza minimo.



Rilevato di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni statiche - Superficie di scorrimento critica



Rilevato di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni sismiche - Superficie di scorrimento critica

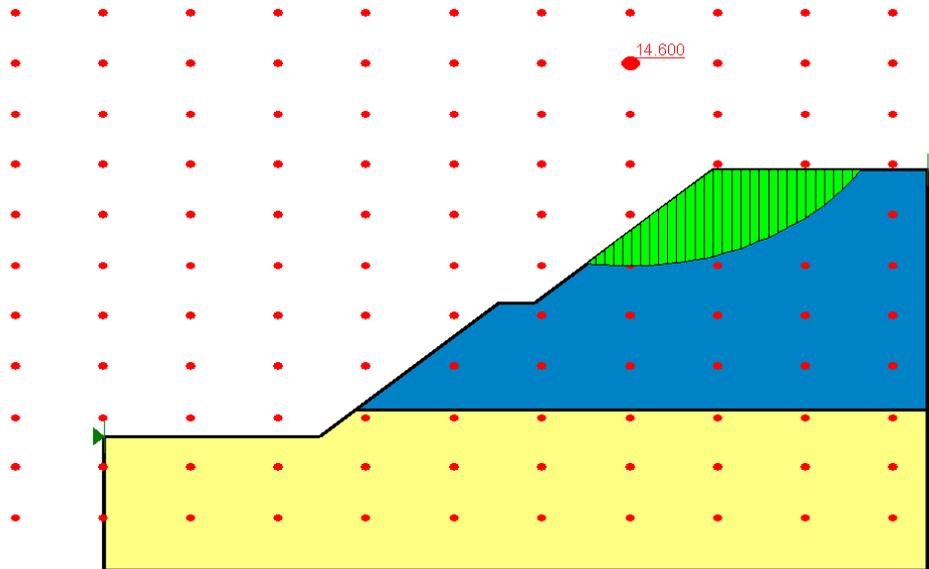
9.4.2 Trincee

Lungo il tracciato risulta essere presente una sola trincea tra la progressiva 1+620 e la progressiva 2+000. La massima profondità di scavo è pari a 10 m e sono aperti con pendenza 1:1. I primi 9 m interessano la roccia CMF, seguita dalla sabbia limosa SL.

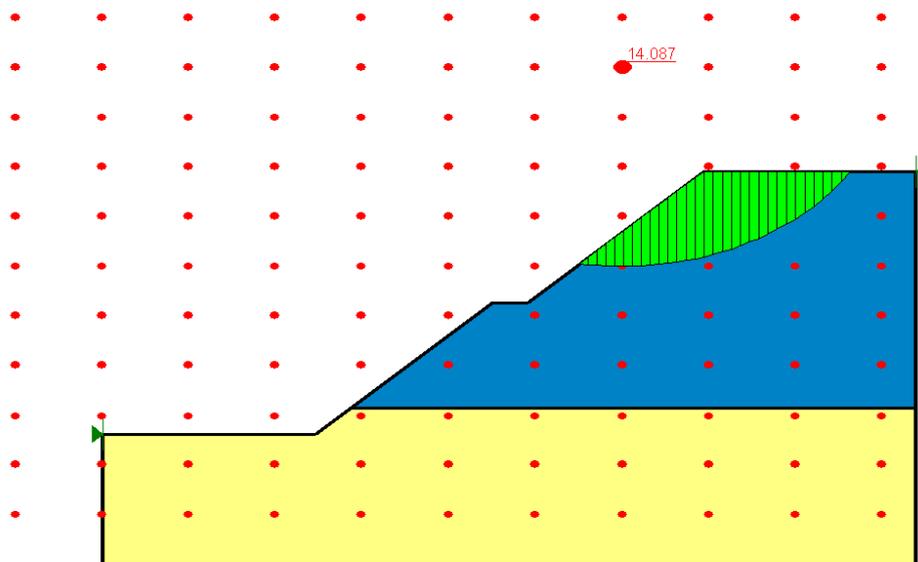
I coefficienti di sicurezza minimi risultano elevati sia in condizioni statiche, che sismiche, come mostra la tabella che segue.

Sezione di Calcolo	Fmin	
	Condizione statica	Condizione sismica
Trincea di altezza massima	14,6	14,1

Le tracce delle superfici di scorrimento per le quali si è ottenuto il coefficiente di sicurezza minimo sono mostrate nelle successive figure.



Trincea di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni statiche - Superficie di scorrimento critica



Trincea di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni sismiche - Superficie di scorrimento critica

9.4.3 Scavi provvisionali

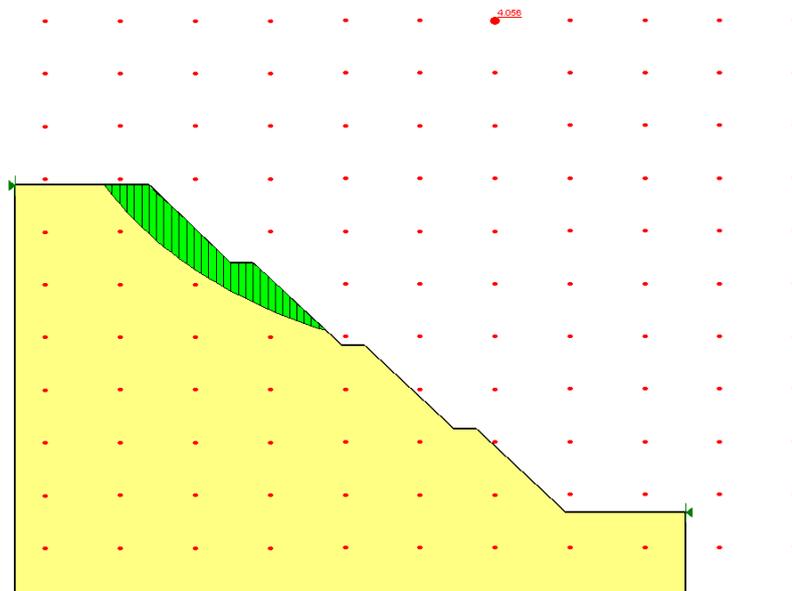
La condizione più critica nello scavo provvisorio si presenta in corrispondenza della pila 3 del viadotto VI4 alla progressiva 3+430, ove si raggiunge una profondità massima di scavo di 24,5 m. Gli scavi sono aperti con pendenza 1:1 e berme larghe 1 m ogni 5 m. Lo scavo interesserà l'argilla AL.

Viene analizzata unicamente la condizione statica non drenata a causa della provvisorialità dello scavo stesso.

Nella tabella e nella figura successiva si riportano il valore del coefficiente di sicurezza F_{min} e la superficie critica.

Sezione di Calcolo	Fmin
	Condizione statica
Pila P3 viadotto VI04	4,07

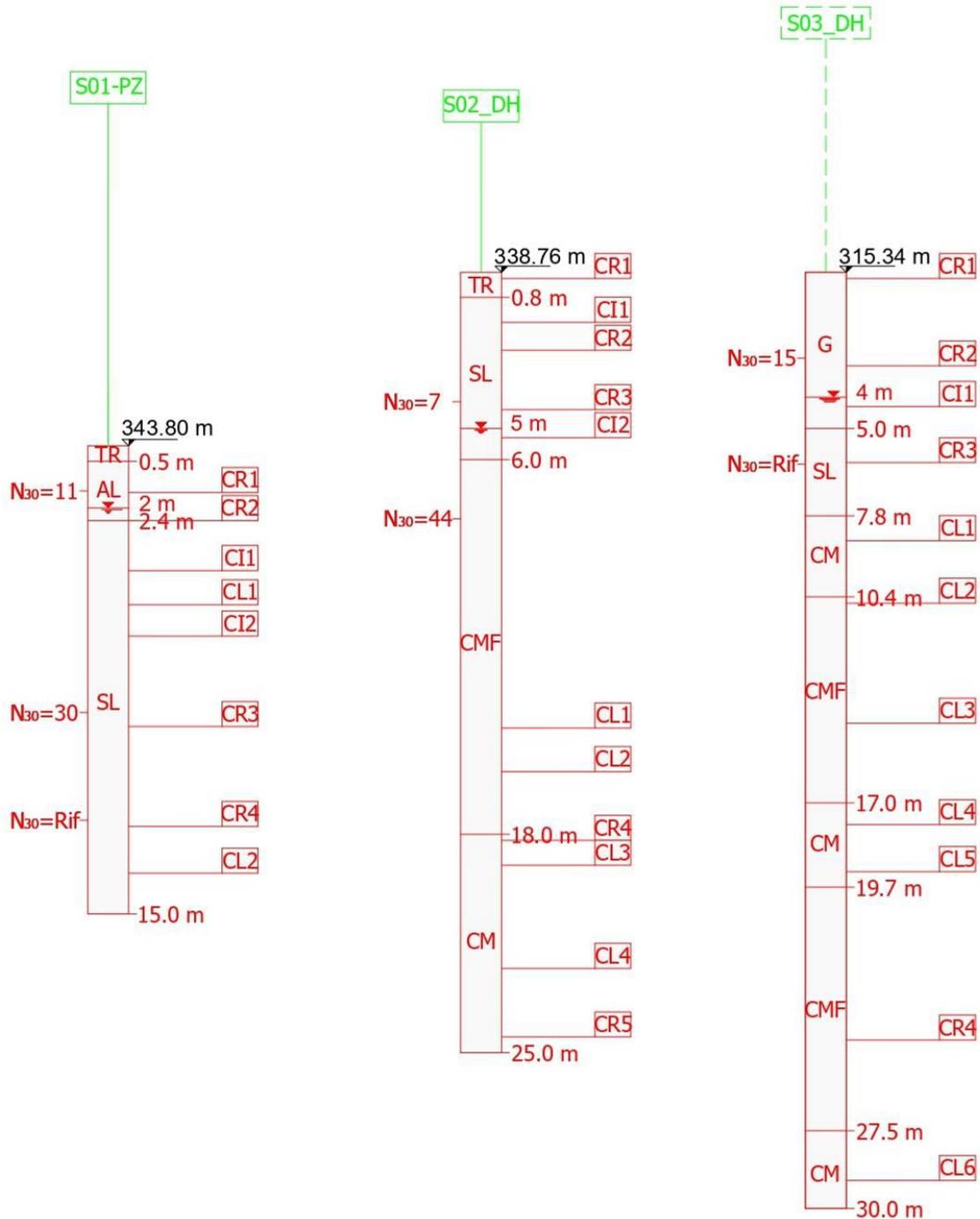
Anche in questo caso i coefficienti di sicurezza risultano molto elevati.



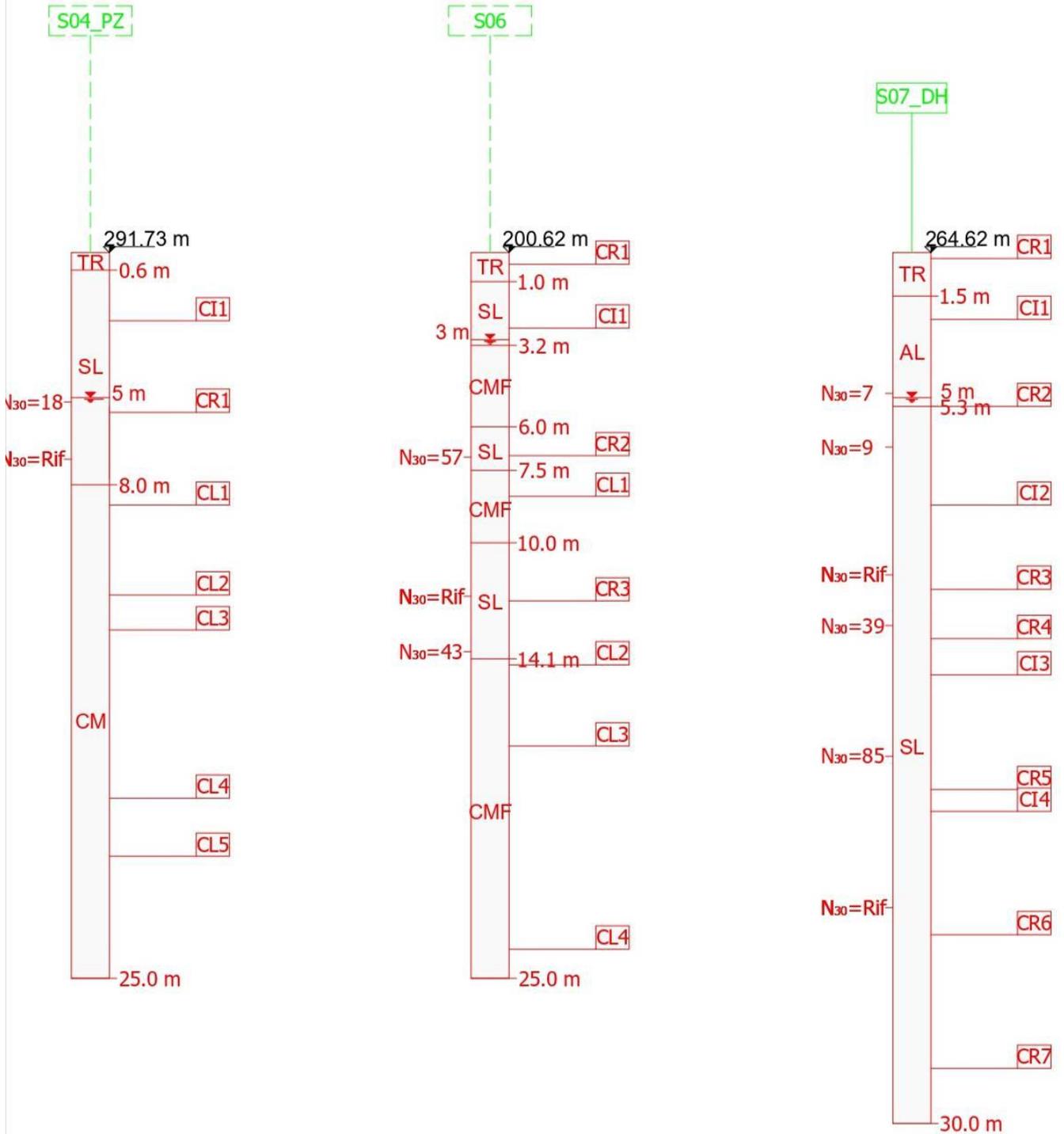
Viadotto 4 pila 3 - Verifica di stabilità a breve termine - Superficie di scorrimento critica

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		 GRUPPO FS ITALIANE
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

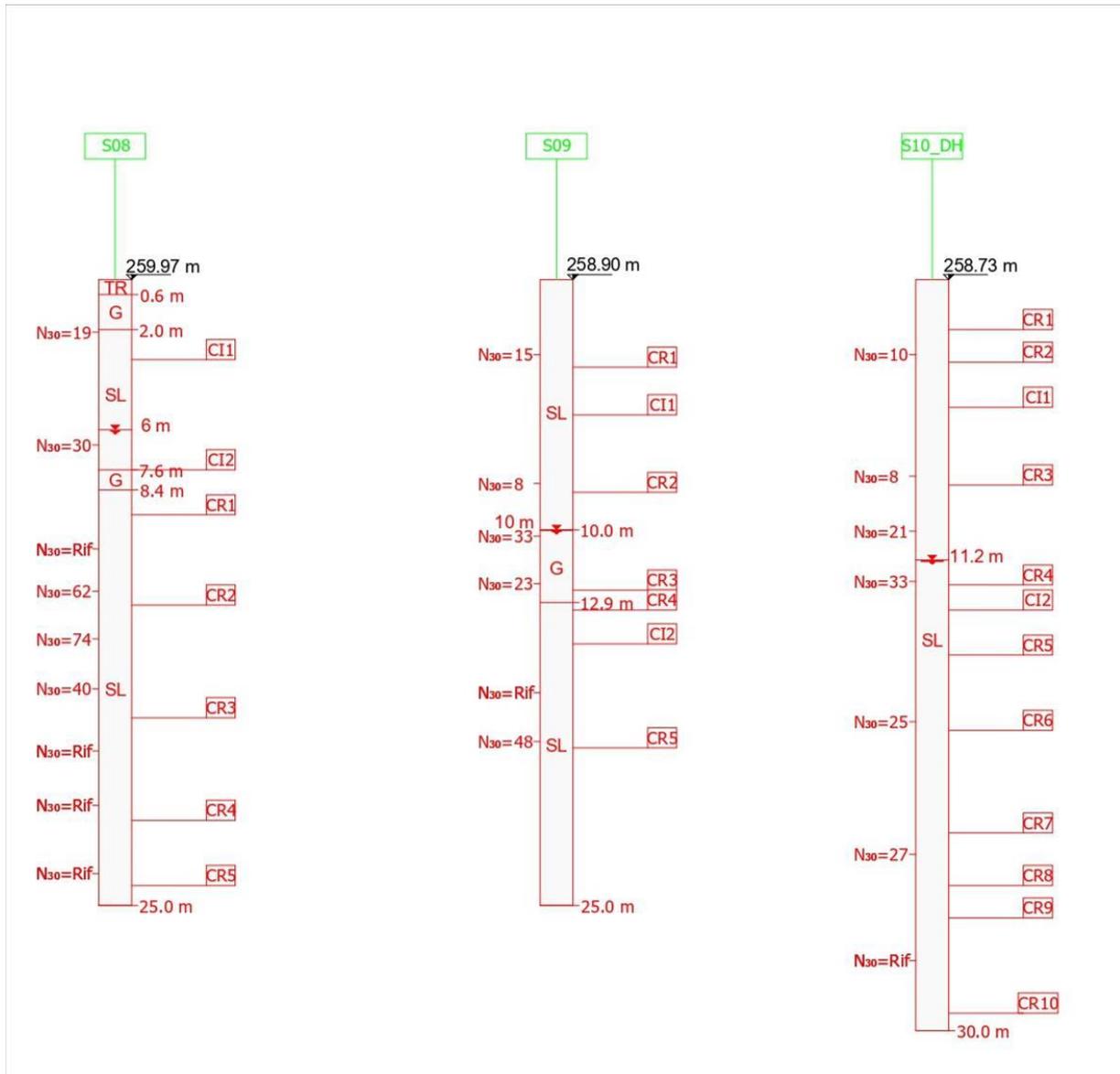
Allegato A
Colonne stratigrafiche dei sondaggi



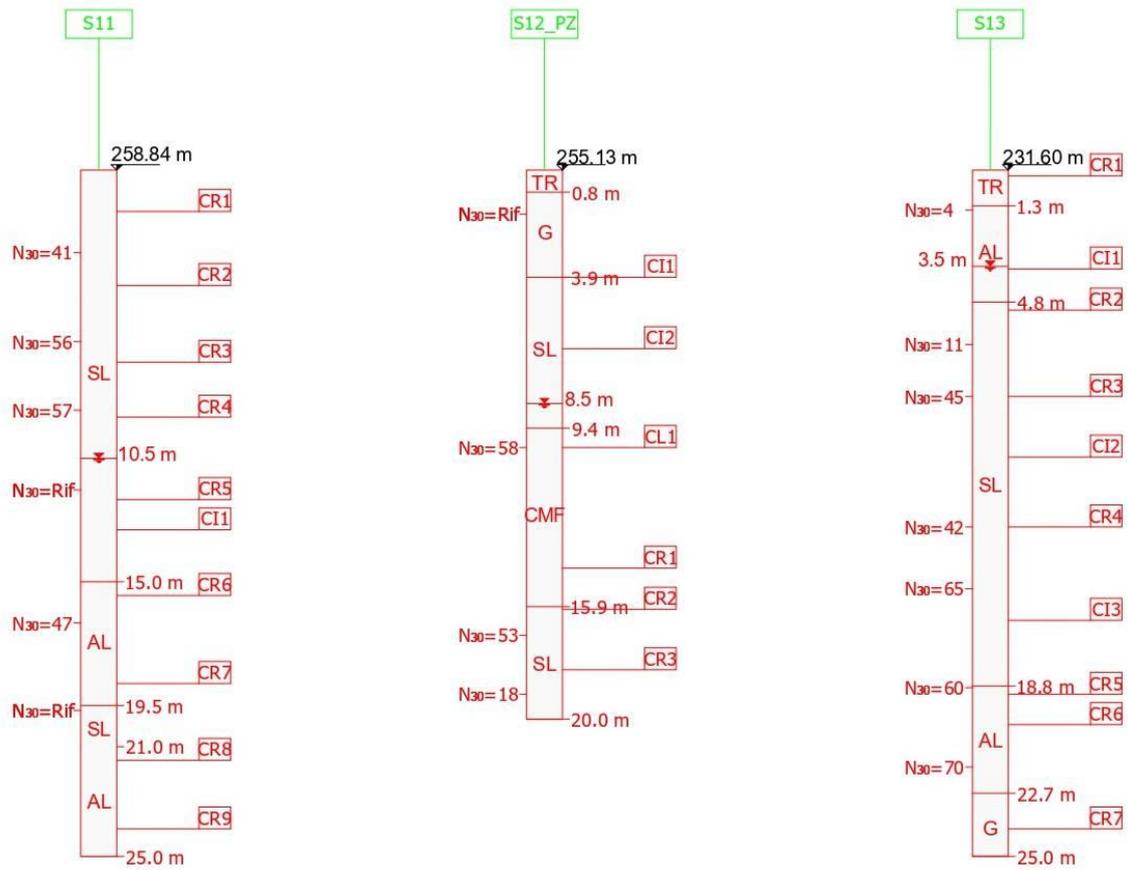
Indagini 2019 – Colonne stratigrafiche dei sondaggi S01-PZ, S02-DH, S03-DH



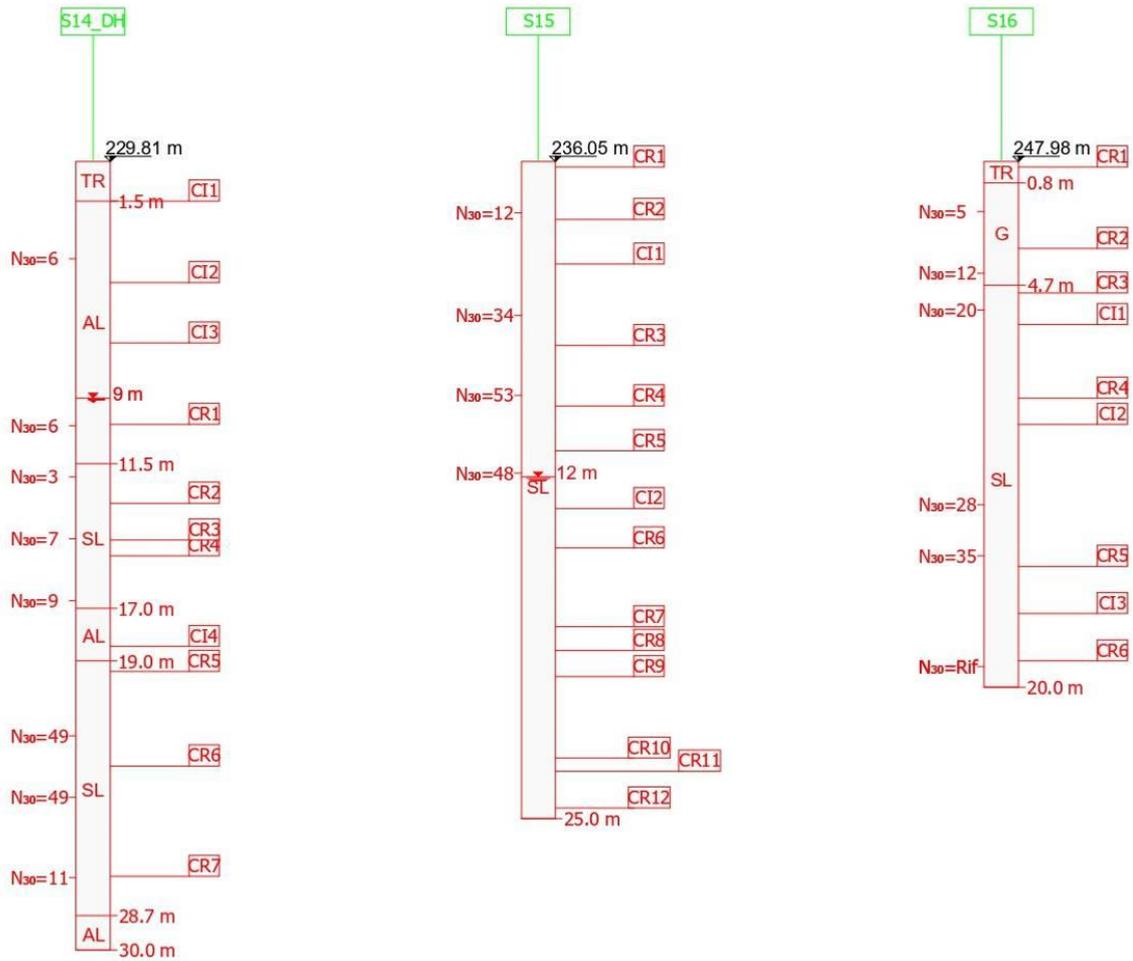
Indagini 2019 – Colonne stratigrafiche dei sondaggi S04-PZ, S06, S07-DH



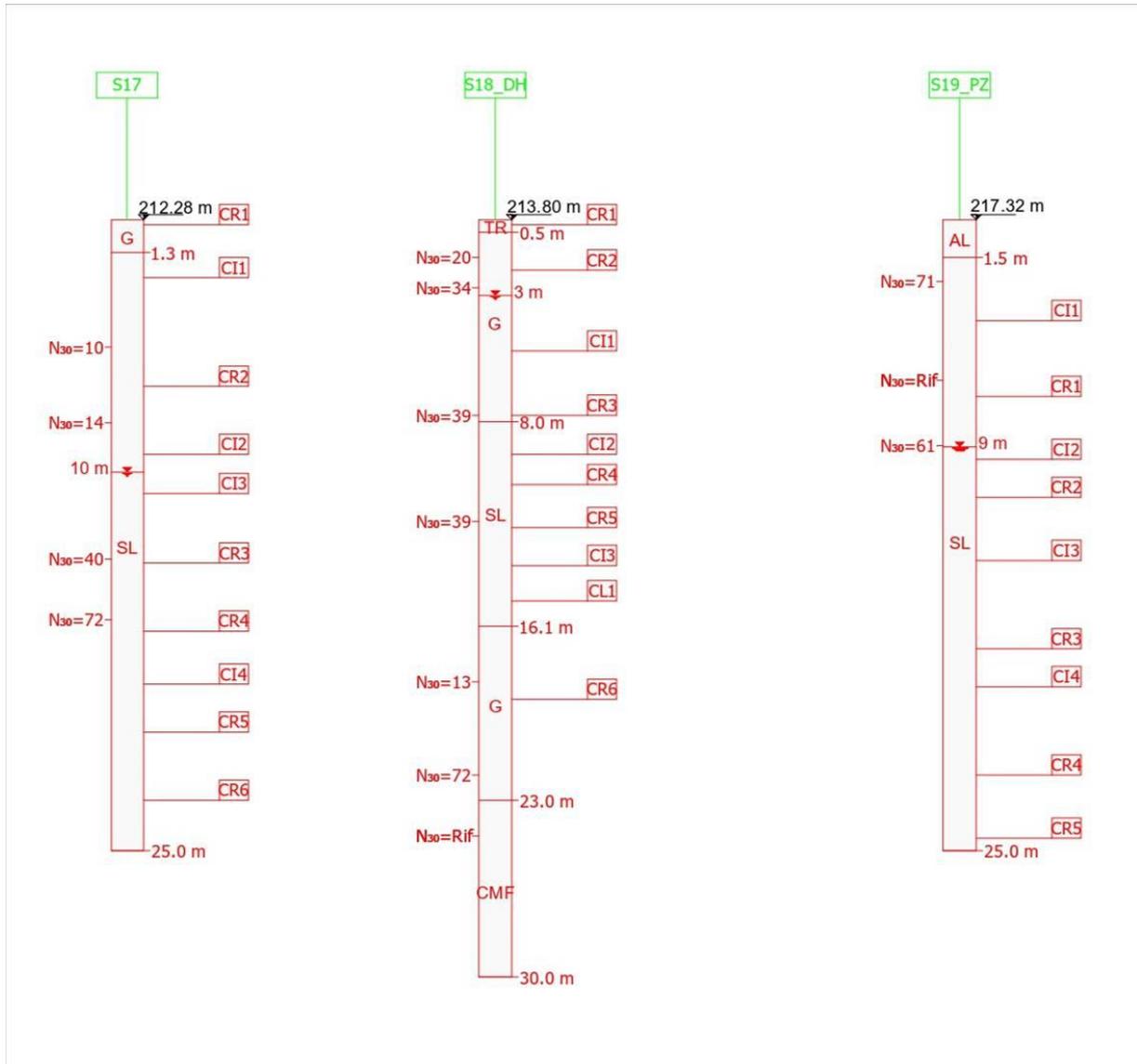
Indagini 2019 – Colonne stratigrafiche dei sondaggi S08, S09, S10-DH



Indagini 2019 – Colonne stratigrafiche dei sondaggi S11, S12-PZ, S13



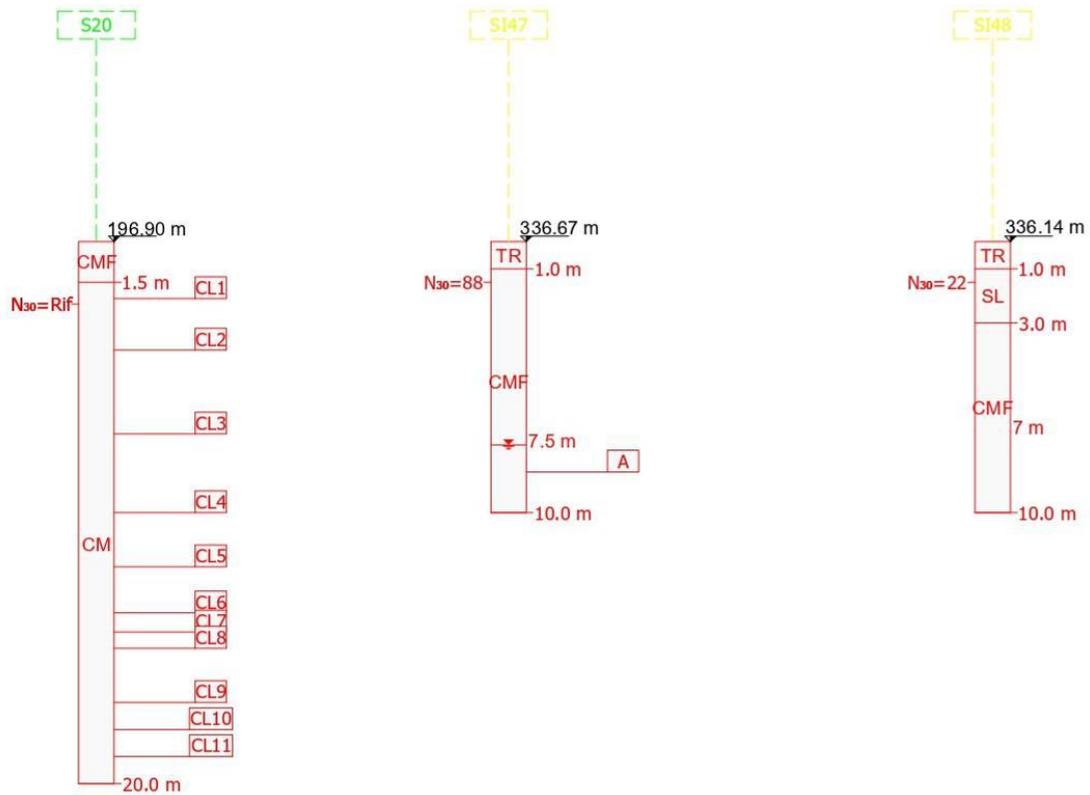
Indagini 2019 – Colonne stratigrafiche dei sondaggi S14-DH, S15, S16



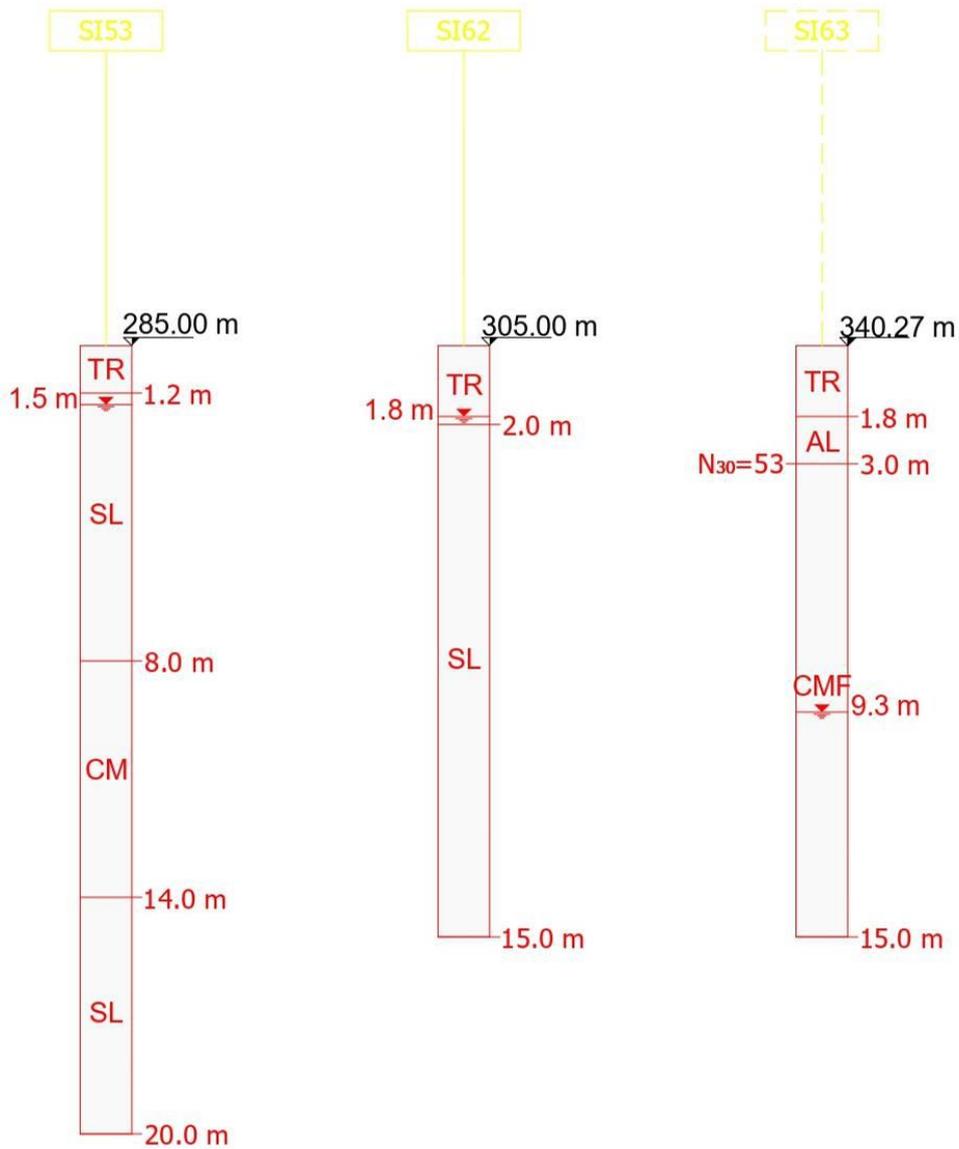
Indagini 2019 – Colonne stratigrafiche dei sondaggi S17, S18-DH, S19-PZ

CA349

Relazione Geotecnica



Indagini 2019 e 1997 – Colonne stratigrafiche dei sondaggi S20, Si47, Si48



Indagini 1997 – Colonne stratigrafiche dei sondaggi Si53, Si62, Si63

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 1° lotto (dal km 193 al km 199)		 GRUPPO FS ITALIANE
CA349	<i>Relazione Geotecnica</i>	

Allegato B
Tabulati di calcolo – geo-studio

1 Rilevato in condizioni statiche:

SLOPE/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.10. Copyright © 1991-2008 GEO-SLOPE International Ltd.

Project Settings

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

ANALYSIS SETTINGS

SLOPE/W Analysis

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
Side Function
Interslice force function option: [Half-Sine](#)
PWP Conditions Source: [\(none\)](#)
SlipSurface
Direction of movement: [Left to Right](#)
Allow Passive Mode: [No](#)
Slip Surface Option: [Grid and Radius](#)
Critical slip surfaces saved: [1](#)
Optimize Critical Slip Surface Location: [No](#)
Tension Crack
Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
Number of Slices: [30](#)
Optimization Tolerance: [0.01](#)
Minimum Slip Surface Depth: [0.1 m](#)
Minimum Slice Width: [0.1 m](#)
Optimization Maximum Iterations: [2000](#)
Optimization Convergence Tolerance: [1e-007](#)
Starting Optimization Points: [8](#)
Ending Optimization Points: [16](#)
Complete Passes per Insertion: [1](#)

MATERIALS

rilevato

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion: 8 kPa

Phi: 29 °

Phi-B: 0 °

sl

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion: 8 kPa

Phi: 27 °

Phi-B: 0 °

SLIP SURFACE GRID

Upper Left: (0.76722222, 19.656111) m

Lower Left: (0.71166667, 0.795) m

Lower Right: (23.92, 0.795) m

Grid Horizontal Increment: 10

Grid Vertical Increment: 10

Left Projection Angle: 0 °

Right Projection Angle: 0 °

SLIP SURFACE RADIUS

Upper Left Coordinate: (0.76722222, 19.656111) m

Upper Right Coordinate: (23.961667, 19.711667) m

Lower Left Coordinate: (0.71166667, 0.795) m

Lower Right Coordinate: (23.92, 0.795) m

Number of Increments: 2

Left Projection: No

Left Projection Angle: 135 °

Right Projection: No

Right Projection Angle: 45 °

UsePoints: 0

SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0, 12) m

Right Coordinate: (21, 5) m

SEISMIC LOADS

Horz Seismic Load: 0

Vert Seismic Load: 0

REGIONS

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	rilevato	8,9,4,5,6,7	70.25
Region 2	sl	9,1,2,3,4	105

POINTS

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	21	0
Point 3	21	5
Point 4	16	5
Point 5	13	7
Point 6	12	7
Point 7	4.5	12
Point 8	0	12
Point 9	0	5

CRITICAL SLIP SURFACES

	Number	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	214	1.992	(12.349, 12.112)	7.572	(4.78296, 11.8114)	(15.5946, 5.27026)

Slices of Slip Surface: 214

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	214	4.960312	10.806969	0	-2.0205338	-1.1200002	8
2	214	5.3150155	9.3507315	0	16.083445	8.9151993	8
3	214	5.6697185	8.5648885	0	24.46299	13.560057	8
4	214	6.024422	7.960667	0	30.180094	16.729099	8
5	214	6.3791255	7.4626935	0	34.518441	19.133884	8
6	214	6.733829	7.0386345	0	38.042554	21.087332	8
7	214	7.0885325	6.6708455	0	41.056771	22.75814	8
8	214	7.443236	6.348398	0	43.740785	24.245913	8
9	214	7.7979395	6.063962	0	46.206149	25.612487	8

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza
SS131 dal km 192+500 al km 209+500
1° lotto (dal km 193 al km 199)



CA349

Relazione Geotecnica

10	214	8.152643	5.812346	0	48.514087	26.891798	8
11	214	8.5073465	5.589726	0	50.69851	28.102643	8
12	214	8.8620495	5.393203	0	52.765569	29.248433	8
13	214	9.216753	5.2205345	0	54.695649	30.318293	8
14	214	9.5714565	5.069959	0	56.445983	31.288519	8
15	214	9.936409	4.936913	0	57.860944	29.481623	8
16	214	10.31161	4.821394	0	59.030632	30.077609	8
17	214	10.686805	4.726733	0	59.742009	30.440074	8
18	214	11.062	4.6521335	0	59.864481	30.502477	8
19	214	11.4372	4.596996	0	59.258942	30.193939	8
20	214	11.8124	4.560893	0	57.786165	29.443521	8
21	214	12.166665	4.543538	0	57.793205	29.447109	8
22	214	12.5	4.5428405	0	59.463197	30.298012	8
23	214	12.833335	4.556843	0	60.359167	30.754532	8
24	214	13.194955	4.5894445	0	57.49284	29.294065	8
25	214	13.58486	4.6436225	0	50.560922	25.762077	8
26	214	13.974765	4.718747	0	42.462845	21.6359	8
27	214	14.36467	4.815468	0	33.428255	17.032547	8
28	214	14.754575	4.934661	0	23.749997	12.101228	8
29	214	15.110795	5.0631865	0	14.78697	8.1965511	8
30	214	15.43333	5.198318	0	6.3565213	3.5234773	8

2 Rilevato in condizioni sismiche:

SLOPE/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.10. Copyright © 1991-2008 GEO-SLOPE International Ltd.

PROJECT SETTINGS

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

ANALYSIS SETTINGS

SLOPE/W Analysis

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
 Side Function
 Interslice force function option: [Half-Sine](#)
 PWP Conditions Source: [\(none\)](#)
SlipSurface
 Direction of movement: [Left to Right](#)
 Allow Passive Mode: [No](#)
 Slip Surface Option: [Grid and Radius](#)
 Critical slip surfaces saved: [1](#)
 Optimize Critical Slip Surface Location: [No](#)
 Tension Crack
 Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
 FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
 Number of Slices: [30](#)
 Optimization Tolerance: [0.01](#)
 Minimum Slip Surface Depth: [0.1 m](#)
 Minimum Slice Width: [0.1 m](#)
 Optimization Maximum Iterations: [2000](#)
 Optimization Convergence Tolerance: [1e-007](#)
 Starting Optimization Points: [8](#)
 Ending Optimization Points: [16](#)
 Complete Passes per Insertion: [1](#)

MATERIALS

rilevato

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion: 8 kPa

Phi: 29 °

Phi-B: 0 °

sl

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion: 8 kPa

Phi: 27 °

Phi-B: 0 °

SLIP SURFACE GRID

Upper Left: (0.76722222, 19.656111) m

Lower Left: (0.71166667, 0.795) m

Lower Right: (23.92, 0.795) m

Grid Horizontal Increment: 10

Grid Vertical Increment: 10

Left Projection Angle: 0 °

Right Projection Angle: 0 °

SLIP SURFACE RADIUS

Upper Left Coordinate: (0.76722222, 19.656111) m

Upper Right Coordinate: (23.961667, 19.711667) m

Lower Left Coordinate: (0.71166667, 0.795) m

Lower Right Coordinate: (23.92, 0.795) m

Number of Increments: 2

Left Projection: No

Left Projection Angle: 135 °

Right Projection: No

Right Projection Angle: 45 °

UsePoints: 0

SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0, 12) m

Right Coordinate: (21, 5) m

SEISMIC LOADS

Horz Seismic Load: 0.014

Vert Seismic Load: 0.007

Ignore seismic load in strength: No

REGIONS

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	rilevato	8,9,4,5,6,7	70.25
Region 2	sl	9,1,2,3,4	105

POINTS

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	21	0
Point 3	21	5
Point 4	16	5
Point 5	13	7
Point 6	12	7
Point 7	4.5	12
Point 8	0	12
Point 9	0	5

CRITICAL SLIP SURFACES

	Number	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	214	1.935	(12.349, 12.112)	7.572	(4.78296, 11.8114)	(15.5946, 5.27026)

Slices of Slip Surface: 214

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	214	4.960312	10.806969	0	-2.1708384	-1.2033154	8
2	214	5.3150155	9.3507315	0	15.85168	8.7867299	8
3	214	5.6697185	8.5648885	0	24.180043	13.403217	8
4	214	6.024422	7.960667	0	29.85215	16.547317	8
5	214	6.3791255	7.4626935	0	34.149491	18.929372	8
6	214	6.733829	7.0386345	0	37.641887	20.865239	8
7	214	7.0885325	6.6708455	0	40.637224	22.525581	8
8	214	7.443236	6.348398	0	43.317868	24.011486	8

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza
SS131 dal km 192+500 al km 209+500
1° lotto (dal km 193 al km 199)



CA349

Relazione Geotecnica

9	214	7.7979395	6.063962	0	45.791663	25.382733	8
10	214	8.152643	5.812346	0	48.131643	26.679806	8
11	214	8.5073465	5.589726	0	50.36329	27.916827	8
12	214	8.8620495	5.393203	0	52.497826	29.10002	8
13	214	9.216753	5.2205345	0	54.518557	30.22013	8
14	214	9.5714565	5.069959	0	56.380418	31.252176	8
15	214	9.936409	4.936913	0	57.901364	29.502218	8
16	214	10.31161	4.821394	0	59.220581	30.174393	8
17	214	10.686805	4.726733	0	60.093035	30.618931	8
18	214	11.062	4.6521335	0	60.38189	30.76611	8
19	214	11.4372	4.596996	0	59.933632	30.537711	8
20	214	11.8124	4.560893	0	58.59968	29.858028	8
21	214	12.166665	4.543538	0	58.722935	29.92083	8
22	214	12.5	4.5428405	0	60.500991	30.826794	8
23	214	12.833335	4.556843	0	61.469888	31.320473	8
24	214	13.194955	4.5894445	0	58.604059	29.86026	8
25	214	13.58486	4.6436225	0	51.580642	26.28165	8
26	214	13.974765	4.718747	0	43.332041	22.078778	8
27	214	14.36467	4.815468	0	34.108093	17.378942	8
28	214	14.754575	4.934661	0	24.223222	12.342348	8
29	214	15.110795	5.0631865	0	15.086323	8.3624855	8
30	214	15.43333	5.198318	0	6.5000739	3.6030498	8

3 Trincea in condizioni statiche:

SLOPE/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.10. Copyright © 1991-2008 GEO-SLOPE International Ltd.

PROJECT SETTINGS

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

ANALYSIS SETTINGS

SLOPE/W Analysis

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
 Side Function
 Interslice force function option: [Half-Sine](#)
 PWP Conditions Source: [\(none\)](#)
SlipSurface
 Direction of movement: [Right to Left](#)
 Allow Passive Mode: [No](#)
 Slip Surface Option: [Grid and Radius](#)
 Critical slip surfaces saved: [1](#)
 Optimize Critical Slip Surface Location: [No](#)
 Tension Crack
 Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
 FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
 Number of Slices: [30](#)
 Optimization Tolerance: [0.01](#)
 Minimum Slip Surface Depth: [0.1 m](#)
 Minimum Slice Width: [0.1 m](#)
 Optimization Maximum Iterations: [2000](#)
 Optimization Convergence Tolerance: [1e-007](#)
 Starting Optimization Points: [8](#)
 Ending Optimization Points: [16](#)
 Complete Passes per Insertion: [1](#)

MATERIALS

CMF

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion: 160 kPa

Phi: 17 °

Phi-B: 0 °

SL

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion: 8 kPa

Phi: 27 °

Phi-B: 0 °

SLIP SURFACE GRID

Upper Left: (-2.48, 20.84) m

Lower Left: (-2.48, 1.92) m

Lower Right: (22.04, 1.92) m

Grid Horizontal Increment: 10

Grid Vertical Increment: 10

Left Projection Angle: 0 °

Right Projection Angle: 0 °

SLIP SURFACE RADIUS

Upper Left Coordinate: (-2.48, 20.84) m

Upper Right Coordinate: (22.036667, 20.836667) m

Lower Left Coordinate: (-2.48, 1.92) m

Lower Right Coordinate: (22.04, 1.92) m

Number of Increments: 2

Left Projection: No

Left Projection Angle: 135 °

Right Projection: No

Right Projection Angle: 45 °

UsePoints: 0

SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0, 5) m

Right Coordinate: (23, 15) m

CA349

Relazione Geotecnica

SEISMIC LOADS

Horz Seismic Load: 0

Vert Seismic Load: 0

REGIONS

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	CMF	10,11,3,4,5,6	98.5
Region 2	SL	10,7,8,9,1,2,11	131.5

POINTS

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	23	0
Point 3	23	15
Point 4	17	15
Point 5	12	10
Point 6	11	10
Point 7	6	5
Point 8	5	5
Point 9	0	5
Point 10	7	6
Point 11	23	6

CRITICAL SLIP SURFACES

	Number	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	320	14.600	(14.684, 18.948)	7.569	(21.142, 15)	(13.4759, 11.4759)

Slices of Slip Surface: 320

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	320	13.60173	11.457685	0	4.4724038	1.3673511	160
2	320	13.853455	11.425605	0	9.7724371	2.9877339	160
3	320	14.10518	11.402055	0	14.898025	4.5547832	160
4	320	14.356905	11.386955	0	19.85165	6.0692586	160
5	320	14.60863	11.380255	0	24.633743	7.5312911	160
6	320	14.86035	11.381935	0	29.244388	8.9409066	160
7	320	15.112075	11.392	0	33.683805	10.298173	160

CA349

Relazione Geotecnica

8	320	15.3638	11.41048	0	37.949682	11.602382	160
9	320	15.61552	11.43744	0	42.041819	12.853474	160
10	320	15.867245	11.472975	0	45.955056	14.049871	160
11	320	16.11897	11.517205	0	49.685206	15.190292	160
12	320	16.37069	11.570285	0	53.230196	16.274104	160
13	320	16.622415	11.63241	0	56.579943	17.298225	160
14	320	16.87414	11.70381	0	59.735444	18.262958	160
15	320	17.129435	11.786055	0	60.142812	18.387503	160
16	320	17.38831	11.879775	0	57.797483	17.670464	160
17	320	17.647185	11.98438	0	55.214959	16.880907	160
18	320	17.90606	12.100365	0	52.383727	16.015313	160
19	320	18.164935	12.22832	0	49.288929	15.069138	160
20	320	18.423805	12.368945	0	45.910395	14.036216	160
21	320	18.68268	12.52308	0	42.227954	12.910381	160
22	320	18.941555	12.691725	0	38.217073	11.684132	160
23	320	19.20043	12.87609	0	33.840014	10.345931	160
24	320	19.459305	13.07766	0	29.063055	8.8854675	160
25	320	19.71818	13.298285	0	23.834423	7.2869143	160
26	320	19.977055	13.540315	0	18.090032	5.5306777	160
27	320	20.235925	13.806785	0	11.744135	3.5905424	160
28	320	20.4948	14.10176	0	4.6780906	1.4302358	160
29	320	20.753675	14.430885	0	-3.2801517	-1.002843	160
30	320	21.01255	14.802405	0	-12.395678	-3.789739	160

4 Trincea in condizioni sismiche:

SLOPE/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.10. Copyright © 1991-2008 GEO-SLOPE International Ltd.

PROJECT SETTINGS

Length(L) Units: [meters](#)
Time(t) Units: [Seconds](#)
Force(F) Units: [kN](#)
Pressure(p) Units: [kPa](#)
Strength Units: [kPa](#)
Unit Weight of Water: [9.807 kN/m³](#)
View: [2D](#)

ANALYSIS SETTINGS

SLOPE/W Analysis

Kind: [SLOPE/W](#)
Method: [Morgenstern-Price](#)
Settings
 Side Function
 Interslice force function option: [Half-Sine](#)
 PWP Conditions Source: [\(none\)](#)
SlipSurface
 Direction of movement: [Right to Left](#)
 Allow Passive Mode: [No](#)
 Slip Surface Option: [Grid and Radius](#)
 Critical slip surfaces saved: [1](#)
 Optimize Critical Slip Surface Location: [No](#)
 Tension Crack
 Tension Crack Option: [\(none\)](#)
FOS Distribution
 FOS Calculation Option: [Constant](#)
Advanced
 Number of Slices: [30](#)
 Optimization Tolerance: [0.01](#)
 Minimum Slip Surface Depth: [0.1 m](#)
 Minimum Slice Width: [0.1 m](#)
 Optimization Maximum Iterations: [2000](#)
 Optimization Convergence Tolerance: [1e-007](#)
 Starting Optimization Points: [8](#)
 Ending Optimization Points: [16](#)
 Complete Passes per Insertion: [1](#)

MATERIALS

CMF

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **20 kN/m³**

Cohesion: **160 kPa**

Phi: **17 °**

Phi-B: **0 °**

SL

Model: **Mohr-Coulomb**

Unit Weight: **19 kN/m³**

Cohesion: **8 kPa**

Phi: **27 °**

Phi-B: **0 °**

SLIP SURFACE GRID

Upper Left: **(-2.48, 20.84) m**

Lower Left: **(-2.48, 1.92) m**

Lower Right: **(22.04, 1.92) m**

Grid Horizontal Increment: **10**

Grid Vertical Increment: **10**

Left Projection Angle: **0 °**

Right Projection Angle: **0 °**

SLIP SURFACE RADIUS

Upper Left Coordinate: **(-2.48, 20.84) m**

Upper Right Coordinate: **(22.036667, 20.836667) m**

Lower Left Coordinate: **(-2.48, 1.92) m**

Lower Right Coordinate: **(22.04, 1.92) m**

Number of Increments: **2**

Left Projection: **No**

Left Projection Angle: **135 °**

Right Projection: **No**

Right Projection Angle: **45 °**

UsePoints: **0**

SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: **(0, 5) m**

Right Coordinate: **(23, 15) m**

SEISMIC LOADS

Horz Seismic Load: 0.014

Vert Seismic Load: 0.007

Ignore seismic load in strength: No

REGIONS

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	CMF	10,11,3,4,5,6	98.5
Region 2	SL	10,7,8,9,1,2,11	131.5

POINTS

	X (m)	Y (m)
Point 1	0	0
Point 2	23	0
Point 3	23	15
Point 4	17	15
Point 5	12	10
Point 6	11	10
Point 7	6	5
Point 8	5	5
Point 9	0	5
Point 10	7	6
Point 11	23	6

CRITICAL SLIP SURFACES

	Number	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	320	14.087	(14.684, 18.948)	7.569	(21.142, 15)	(13.4759, 11.4759)

Slices of Slip Surface: 320

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	320	13.60173	11.457685	0	4.6159139	1.4112265	160
2	320	13.853455	11.425605	0	10.076086	3.0805686	160
3	320	14.10518	11.402055	0	15.357894	4.6953794	160
4	320	14.356905	11.386955	0	20.452939	6.253091	160
5	320	14.60863	11.380255	0	25.353148	7.7512351	160
6	320	14.86035	11.381935	0	30.050212	9.1872718	160

CA349

Relazione Geotecnica

7	320	15.112075	11.392	0	34.538136	10.559368	160
8	320	15.3638	11.41048	0	38.811815	11.865963	160
9	320	15.61552	11.43744	0	42.865782	13.105385	160
10	320	15.867245	11.472975	0	46.700571	14.277797	160
11	320	16.11897	11.517205	0	50.313195	15.382287	160
12	320	16.37069	11.570285	0	53.702665	16.418552	160
13	320	16.622415	11.63241	0	56.86795	17.386277	160
14	320	16.87414	11.70381	0	59.811496	18.28621	160
15	320	17.129435	11.786055	0	60.022175	18.350621	160
16	320	17.38831	11.879775	0	57.51968	17.585531	160
17	320	17.647185	11.98438	0	54.802642	16.754849	160
18	320	17.90606	12.100365	0	51.873416	15.859295	160
19	320	18.164935	12.22832	0	48.716121	14.894013	160
20	320	18.423805	12.368945	0	45.31263	13.853461	160
21	320	18.68268	12.52308	0	41.644188	12.731906	160
22	320	18.941555	12.691725	0	37.683752	11.521079	160
23	320	19.20043	12.87609	0	33.390591	10.208528	160
24	320	19.459305	13.07766	0	28.72114	8.7809337	160
25	320	19.71818	13.298285	0	23.609178	7.2180501	160
26	320	19.977055	13.540315	0	17.974916	5.4954833	160
27	320	20.235925	13.806785	0	11.70844	3.5796294	160
28	320	20.4948	14.10176	0	4.6592872	1.424487	160
29	320	20.753675	14.430885	0	-3.3920038	-1.0370396	160
30	320	21.01255	14.802405	0	-12.782189	-3.9079075	160

5 Scavo provvisorio a breve termine, in condizioni statiche:

SLOPE/W Analysis

Report generated using GeoStudio 2007, version 7.10. Copyright © 1991-2008 GEO-SLOPE International Ltd.

PROJECT SETTINGS

Length(L) Units: **meters**
Time(t) Units: **Seconds**
Force(F) Units: **kN**
Pressure(p) Units: **kPa**
Strength Units: **kPa**
Unit Weight of Water: **9.807 kN/m³**
View: **2D**

ANALYSIS SETTINGS

SLOPE/W Analysis

Kind: **SLOPE/W**
Method: **Morgenstern-Price**
Settings
 Side Function
 Interslice force function option: **Half-Sine**
 PWP Conditions Source: **(none)**
SlipSurface
 Direction of movement: **Left to Right**
 Allow Passive Mode: **No**
 Slip Surface Option: **Grid and Radius**
 Critical slip surfaces saved: **1**
 Optimize Critical Slip Surface Location: **No**
 Tension Crack
 Tension Crack Option: **(none)**
FOS Distribution
 FOS Calculation Option: **Constant**
Advanced
 Number of Slices: **30**
 Optimization Tolerance: **0.01**
 Minimum Slip Surface Depth: **0.1 m**
 Minimum Slice Width: **0.1 m**
 Optimization Maximum Iterations: **2000**
 Optimization Convergence Tolerance: **1e-007**
 Starting Optimization Points: **8**
 Ending Optimization Points: **16**
 Complete Passes per Insertion: **1**

MATERIALS

clay

Model: Undrained (Phi=0)

Unit Weight: 18 kN/m³

Cohesion: 64 kPa

SLIP SURFACE GRID

Upper Left: (1.38, 34.5) m

Lower Left: (1.38, 2.82) m

Lower Right: (34.88, 2.9) m

Grid Horizontal Increment: 10

Grid Vertical Increment: 10

Left Projection Angle: 0 °

Right Projection Angle: 0 °

SLIP SURFACE RADIUS

Upper Left Coordinate: (1.38, 34.5) m

Upper Right Coordinate: (1.38, 34.5) m

Lower Left Coordinate: (34.88, 34.78) m

Lower Right Coordinate: (34.88, 34.78) m

Number of Increments: 2

Left Projection: No

Left Projection Angle: 135 °

Right Projection: No

Right Projection Angle: 45 °

UsePoints: 0

SLIP SURFACE LIMITS

Left Coordinate: (0, 24.65) m

Right Coordinate: (30, 5) m

REGIONS

	Material	Points	Area (m ²)
Region 1	clay	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13	451.13625

POINTS

	X (m)	Y (m)
--	-------	-------

CA349

Relazione Geotecnica

Point 1	0	0
Point 2	0	24.65
Point 3	6	24.65
Point 4	9.65	20
Point 5	10.65	20
Point 6	14.65	15
Point 7	15.65	15
Point 8	19.65	10
Point 9	20.65	10
Point 10	24.65	5
Point 11	25.65	5
Point 12	30	5
Point 13	30	0

CRITICAL SLIP SURFACES

	Number	FOS	Center (m)	Radius (m)	Entry (m)	Exit (m)
1	349	4.056	(21.48, 34.548)	20.1	(3.98595, 24.65)	(13.9065, 15.9293)

Slices of Slip Surface: 349

	Slip Surface	X (m)	Y (m)	PWP (kPa)	Base Normal Stress (kPa)	Frictional Strength (kPa)	Cohesive Strength (kPa)
1	349	4.1537845	24.36444	0	-20.374116	0	64
2	349	4.48946	23.813235	0	-7.1716001	0	64
3	349	4.8251355	23.299095	0	3.7276551	0	64
4	349	5.160811	22.817115	0	12.959013	0	64
5	349	5.4964865	22.36346	0	20.964796	0	64
6	349	5.832162	21.93507	0	28.063835	0	64
7	349	6.165909	21.531655	0	31.292603	0	64
8	349	6.497727	21.15092	0	30.9844	0	64
9	349	6.8295455	20.788725	0	30.495347	0	64
10	349	7.161364	20.44364	0	29.847325	0	64
11	349	7.493182	20.114435	0	29.05056	0	64
12	349	7.825	19.800045	0	28.104324	0	64
13	349	8.156818	19.499545	0	27.00489	0	64
14	349	8.488636	19.212115	0	25.740807	0	64
15	349	8.8204545	18.937025	0	24.299445	0	64
16	349	9.152273	18.67364	0	22.658548	0	64
17	349	9.484091	18.421385	0	20.800231	0	64
18	349	9.8166665	18.179215	0	21.965298	0	64

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza
 SS131 dal km 192+500 al km 209+500
 1° lotto (dal km 193 al km 199)



CA349

Relazione Geotecnica

19	349	10.150002	17.946715	0	26.26597	0	64
20	349	10.483335	17.72403	0	30.503017	0	64
21	349	10.812825	17.51313	0	31.392402	0	64
22	349	11.13848	17.313465	0	28.784927	0	64
23	349	11.464135	17.12217	0	25.892314	0	64
24	349	11.78979	16.93898	0	22.691846	0	64
25	349	12.115445	16.76364	0	19.162774	0	64
26	349	12.441095	16.595915	0	15.290309	0	64
27	349	12.76675	16.4356	0	11.065465	0	64
28	349	13.092405	16.2825	0	6.4869939	0	64
29	349	13.418055	16.136435	0	1.561272	0	64
30	349	13.74371	15.997235	0	-3.6954678	0	64