

S.S.291 "Della Nurra"

Lavori di costruzione del Lotto 1 da Alghero ad Olmedo, in località bivio cantoniera di Rudas (completamento collegamento Alghero-Sassari) e del Lotto 4 tra bivio Olmedo e l'aeroporto di Alghero -Fertilia (bretella per l'aeroporto)

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **CA29**

PROGETTAZIONE: ATI: VIA - SERING - VDP - BRENG

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma A27296)

RESPONSABILE 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:

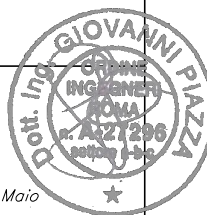
Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)

COORDINATORE ATTIVITA' DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Maria Antonietta Merendino (Ord. Ing. Prov. Roma A28481)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Salvatore Campione.



MANDATARIA:



MANDANTE:



MANDANTE:



MANDANTE:




GEOLOGIA E GEOTECNICA

GEOTECNICA


Relazione geotecnica generale

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00GE00GETRE01_A			
DPCA00029	E 21	CODICE ELAB.	T00GE00GETRE01	A	-
D					
C					
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	MAGGIO 2021	V. TURANO	V. CANZONERI	G.PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO


NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

INDICE


1	PREMESSA	8
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	9
2.1	Normativa e raccomandazioni tecniche	9
2.2	Riferimenti progettuali.....	9
2.3	Riferimenti bibliografici e progettuali	10
3	CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO	11
3.1	Modello geologico locale.....	11
3.2	Schema idrogeologico	11
4	INDAGINI GEOTECNICHE	13
4.1	Indagini geotecniche – Asse B e D.....	13
4.1.1	INDAGINI DEL 2004	14
4.1.2	INDAGINI DEL 2012	14
4.1.3	INDAGINI DEL 2015	14
4.1.4	INDAGINI DEL 2017	15
4.2	Indagini geotecniche – Asse C.....	15
4.2.1	INDAGINI DEL 2016	15
4.2.2	INDAGINI DEL 2017	16
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI.....	17
5.1	Terreni sciolti.....	23

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

5.1.1	Depositi di coltre – UG1	23
5.1.2	Sabbie di origine piroclastica – UG5.....	28
5.1.3	Argille bentonitiche e organiche – UG6	31
5.1.4	Alluvioni recenti – UG7	37
5.1.5	Argille sabbiose – UG8	39
5.2	Rocce lapidee.....	41
5.2.1	Calcareniti – UG2 e UG3.....	41
5.2.2	Calcareniti estremamente fratturate – UG4.....	44
5.4	Falda	48
5.5	Caratterizzazione fisico – meccanica dei terreni	49
5.6	Caratterizzazione sismica dei terreni.....	51
6	RAPPORTI OPERE TERRENI	52
6.1	Viadotti - Ponti.....	52
6.1.1	Ponte Rio Serra.....	52
6.1.2	Ponte Rio Calvia 1.....	55
6.1.3	Viadotto Ferrovia	57
6.1.4	Ponte Rio Sassu	61
6.1.5	Ponte Rio Calvia 2.....	64
6.2	Rilevati	66
7	QUESTIONI GEOTECNICHE	70
8	CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI	72
8.1	Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.....	72


NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

8.2	Calcolo dei cedimenti in terreni a grana grossa	72
8.3	Calcolo dei cedimenti agli elementi finiti.....	73
8.4	Risultati dei calcoli	73
8.4.1	Spalla A del viadotto ferrovia – asse C – progressiva 0+020.....	73
8.4.2	Rilevato asse D – progressiva 1+360.....	82
8.4.3	Sistema di monitoraggio dei cedimenti	82
9	VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE.....	84
9.1	Azione sismica	84
9.2	Codice di calcolo	87
9.3	Caratteristiche geotecniche dei terreni	87
9.4	Risultati delle verifiche	88
9.4.1	Rilevati.....	88
9.4.2	Trincee.....	90
9.4.3	Rilevati provvisionali – spalla viadotto ferrovia	93
9.4.4	Scavi provvisionali.....	95
9.4.5	Aree a rischio frana	96
9.4.6	Siti di deposito.....	108


NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	Relazione geotecnica generale	

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 5.1: Composizioni granulometriche – Ug1	23
Figura 5.2: Peso dell'unità di volume – Ug1	24
Figura 5.3: Limite di liquidità – UG1	25
Figura 5.4: Indice di plasticità – Ug1.....	25
Figura 5.5: Carta di Plasticità – Ug1.....	26
Figura 5.6: Coesione – Ug1.....	27
Figura 5.7: Angolo di attrito da prove di laboratorio e in sito – Ug1	27
Figura 5.8: Modulo di deformabilità – Ug1.....	28
Figura 5.9: Peso unità di volume –Ug5	29
Figura 5.10: Angolo di resistenza al taglio da SPT e prove di laboratorio –Ug5.....	29
Figura 5.11: Coesione da prove di laboratorio – Ug5.....	30
Figura 5.12: Modulo elastico da prove SPT – Ug5.....	30
Figura 5.13: Composizioni granulometriche – Ug6	31
Figura 5.14: Peso dell'unità di volume – Ug6.....	32
Figura 5.15: Limite di liquidità – Ug6	33
Figura 5.16: Limite di plasticità – Ug6	33
Figura 5.17: Carta di Plasticità – Unità Ug6	34
Figura 5.18: Resistenza a taglio non drenata – Unità Ug6.....	35
Figura 5.19: Coesione non drenata da campagna integrativa del 2017 – Unità Ug6	35
Figura 5.20: Modulo di deformabilità – Unità Ug6	36
Figura 5.21: Analisi Granulometrica– Ug7.....	37
Figura 5.22: Peso unità di volume – Ug7	38
Figura 5.23: Angolo di Attrito – Ug7	38
Figura 5.24: Modulo edometrico – Ug7	39
Figura 5.25: Coesione non drenata – Ug8	40
Figura 5.26: Resistenza a compressione uniassiale – Ug2 e Ug3.....	41
Figura 5.27: Carta di Hoek e Marinos, 2000 per la determinazione del GSI –Ug2 e Ug3	42
Figura 5.28: Peso dell'unità di volume – Ug2 e Ug3	42
Figura 5.29: Criteri di Rottura di H-B e M-C per GSI = 40 e σ_{ci} =60 Mpa – UG2 e UG3.....	43
Figura 5.30: Criteri di Rottura di H-B e M-C per GSI = 35 e σ_{ci} =32 MPa	44
Figura 5.31: Resistenza a compressione uniassiale – Ug4	45
Figura 5.32: Carta di Hoek e Marinos, 2000 per la determinazione del GSI – Ug4.....	46
Figura 5.33: Criteri di Rottura di H-B e M-C per GSI 20 – UG4	47

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	


<i>Figura 6.1: Ponte Rio Serra – schema fisico di riferimento</i>	53
<i>Figura 6.2: Ponte Rio Calvia 1 – schema fisico di riferimento</i>	56
<i>Figura 6.3: Viadotto Ferrovia – schema fisico di riferimento</i>	59
<i>Figura 6.4: Ponte Rio Sassu – schema fisico di riferimento</i>	62
<i>Figura 6.5: Ponte Rio Calvia 2 – schema fisico di riferimento</i>	65
<i>Figura 6.6: asse C - progressiva 0+020, schema di calcolo dei cedimenti – rilevato A</i>	68
<i>Figura 6.7: asse C - progressiva 0+020, schema di calcolo dei cedimenti – rilevato B</i>	69
<i>Figura 6.8: asse D - progressiva 1+360, schema di calcolo dei cedimenti</i>	69
<i>Figura 8.1: rilevato A – condizione geostatica iniziale</i>	74
<i>Figura 8.2: rilevato A – costruzione del rilevato finale</i>	75
<i>Figura 8.3: rilevato A – mappa dei cedimenti a $t = \infty$</i>	76
<i>Figura 8.4: rilevato A – sovrappressioni interstiziali a $t = \infty$</i>	76
<i>Figura 8.5: rilevato A – cedimento nel tempo</i>	77
<i>Figura 8.6: rilevato B – installazione dreni</i>	78
<i>Figura 8.7: rilevato B – costruzione del rilevato di precarica</i>	79
<i>Figura 8.8: rilevato B – mappa dei cedimenti a $t = 6$ mesi</i>	80
<i>Figura 8.9: rilevato B – sovrappressioni interstiziali a $t = 6$ mesi</i>	80
<i>Figura 8.10: rilevato B – cedimento nel tempo</i>	81
<i>Figura 8.11: rilevato B – cedimento a $t = \infty$</i>	82
<i>Figura 8.12: Schema di posizione degli assestimetri</i>	83
<i>Figura 9.1: Rilevato di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni statiche - Superficie di scorrimento critica</i>	89
<i>Figura 9.2: Rilevato di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche - Superficie di scorrimento critica</i>	90
<i>Figura 9.3: Figura 9.4: planimetria tomografia sismica BS4 da T00GE00GEORE03A</i>	91
<i>Figura 9.5: tomografia sismica BS4</i>	91
<i>Figura 9.6: Trincea di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni statiche</i>	92
<i>Figura 9.7: Trincea di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche</i>	93
<i>Figura 9.8: coppie di c, ϕ che garantiscono la stabilità del rilevato di precarico</i>	94
<i>Figura 9.9: Rilevato di precarica - Superficie di scorrimento critica</i>	95
<i>Figura 9.10: Verifica di stabilità pila 1 ponte Rio Sassu – Superficie di scorrimento critica</i>	96
<i>Figura 9.11: stralcio planimetria area A.I.1</i>	97
<i>Figura 9.12: A.I.1 - profilo di calcolo</i>	98
<i>Figura 9.13: A.I.1 - Verifica di stabilità in condizioni statiche</i>	98
<i>Figura 9.14: A.I.1 - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche</i>	99

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	Relazione geotecnica generale	


<i>Figura 9.15: stralcio planimetria area A.I.2</i>	100
<i>Figura 9.16: A.I.2 - profilo di calcolo</i>	100
Figura 9.17: A.I.2 - Verifica di stabilità in condizioni statiche	101
Figura 9.18: A.I.2 - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche	102
<i>Figura 9.19: stralcio planimetria area A.I.3</i>	103
<i>Figura 9.20: A.I.3 - profilo di calcolo</i>	103
Figura 9.21: A.I.3 - Verifica di stabilità in condizioni statiche	104
Figura 9.22: A.I.3 - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche	105
<i>Figura 9.23: stralcio planimetria area A.I.4</i>	106
<i>Figura 9.24: A.I.4 - profilo di calcolo</i>	106
Figura 9.25: A.I.4 - Verifica di stabilità in condizioni statiche	107
Figura 9.26: A.I.4 - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche	108
Figura 9.27: Siti di deposito AL01 e AL02	108
Figura 9.28: Rilevato AL01 - Verifica di stabilità in condizioni sismiche - Superficie di scorrimento critica ..	110
Figura 9.29: Rilevato AL02 - Verifica di stabilità in condizioni sismiche - Superficie di scorrimento critica ..	110

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 5.1: Classificazione geotecnica dei terreni	17
Tabella 5.2: Coefficiente A funzione dell'epoca geologica del deposito	20
Tabella 5.3: Coefficiente B funzione della composizione granulometrica del deposito	20
<i>Tabella 5.4: Caratteristiche di progetto dei terreni sciolti</i>	50
<i>Tabella 5.5: Caratteristiche di progetto delle rocce lapidee</i>	50
<i>Tabella 5.6: Categorie di sottosuolo e velocità di taglio equivalenti</i>	51
<i>Tabella 6.1: Ponte Rio Serra – Spalla A</i>	54
<i>Tabella 6.2: Ponte Rio Serra – Pila 1</i>	54
Tabella 6.3: Ponte Rio Serra – Pila 2	54
Tabella 6.4: Ponte Rio Serra – Pila 3	54
<i>Tabella 6.5: Ponte Rio Serra – Spalla B</i>	54
<i>Tabella 6.6: Ponte Rio Calvia 1 – Spalla A</i>	57
<i>Tabella 6.7: Ponte Rio Calvia 1 – Pila 1</i>	57
<i>Tabella 6.8: Ponte Rio Calvia 1 – Pila 2</i>	57
<i>Tabella 6.9: Ponte Rio Calvia 1 – Pila 3</i>	57
<i>Tabella 6.10: Ponte Rio Calvia 1 – Spalla B</i>	57
<i>Tabella 6.11: Viadotto Ferrovia – Spalla A</i>	60

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	


<i>Tabella 6.12: Viadotto Ferrovia – Pila 1</i>	60
<i>Tabella 6.13: Viadotto Ferrovia – Pila 2</i>	60
<i>Tabella 6.14: Viadotto Ferrovia – Pila 3</i>	60
<i>Tabella 6.15: Viadotto Ferrovia – Pila 4</i>	60
<i>Tabella 6.16: Viadotto Ferrovia – Pila 5</i>	60
<i>Tabella 6.17: Viadotto Ferrovia – Spalla B</i>	61
<i>Tabella 6.18: Ponte Rio Sassu – Spalla A</i>	63
<i>Tabella 6.19: Ponte Rio Sassu – Pila 1</i>	63
<i>Tabella 6.20: Ponte Rio Sassu – Pila 2</i>	63
<i>Tabella 6.21: Ponte Rio Sassu – Pila 3</i>	63
<i>Tabella 6.22: Ponte Rio Sassu – Pila 4</i>	63
<i>Tabella 6.23: Ponte Rio Sassu – Spalla B</i>	63
<i>Tabella 6.24: Ponte Rio Calvia 2 – Spalla A</i>	66
<i>Tabella 6.25: Ponte Rio Calvia 2 – Pila 1</i>	66
<i>Tabella 6.26: Ponte Rio Calvia 2 – Pila 2</i>	66
<i>Tabella 6.27: Ponte Rio Calvia 2 – Spalla B</i>	66
<i>Tabella 7.1: Spessori di bonifica</i>	71
<i>Tabella 8.1: caratteristiche terreni di fondazione spalla A - viadotto ferrovia</i>	74
<i>Tabella 9.1: Coefficienti parziali per le azioni (Tabella 6.2.I – NTC2008)</i>	84
<i>Tabella 9.2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II – NTC2008)</i>	84
<i>Tabella 9.3: Coefficiente parziale di resistenza γ_{R2} (Tabella 6.8.I – NTC2008)</i>	85
<i>Tabella 9.4: Tabella 2 dell'Allegato B delle NTC 2008 in cui vengono riportati i valori di a_g, F_0, e T_c per i diversi tempi di ritorno T_R validi per tutte le isole ad eccezione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri, costanti su tutto il territorio di ciascuna isola</i>	85
<i>Tabella 9.5: a_{max} attesa nelle opere d'arte maggiori</i>	87
<i>Tabella 9.6: Fattore di sicurezza minimo del rilevato di massima altezza</i>	89
<i>Tabella 9.7: Fattore di sicurezza minimo del rilevato di massima altezza</i>	92
<i>Tabella 9.8: Combinazioni minime per coesione e angolo di attrito</i>	94
<i>Tabella 9.9: Scavo provvisorio – fattore di sicurezza</i>	96
<i>Tabella 9.10: Fattore di sicurezza minimo A.I.1</i>	98
<i>Tabella 9.11: Fattore di sicurezza minimo A.I.2</i>	101
<i>Tabella 9.12: Fattore di sicurezza minimo A.I.3</i>	104
<i>Tabella 9.13: Fattore di sicurezza minimo A.I.4</i>	107
<i>Tabella 9.14: Fattori di sicurezza minimi delle aree di deposito</i>	109

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

1 PREMESSA

La presente relazione illustra le problematiche geotecniche relative al Progetto Esecutivo del asse B, C e D della nuova S.S. 291. In particolare l'intervento è relativo al completamento del collegamento tra le città di Sassari, Alghero e l'aeroporto di Alghero. La nuova infrastruttura si innesta presso Sassari sulla SS131 ed è parzialmente già realizzata fino alla località di Olmedo (lotti 2 e 3), presso lo svincolo di Mamuntanas, dove viene attualmente collegata alla SS 127 bis. L'asse C e il D completano l'itinerario a 4 corsie da Sassari ad Alghero, ed hanno rispettivamente una estensione di circa 4,1 km sull'asse principale e 3,2 km sulla bretella di circonvallazione dell'abitato di Alghero. Il B asse, relativo alla bretella per il collegamento all'aeroporto Fertilia, ha un'estensione di circa 3.2 km di nuova viabilità a due corsie.

La normativa di riferimento per il progetto in esame è quella di cui alle NTC 2008.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	


2 RIFERIMENTI NORMATIVI

2.1 Normativa e raccomandazioni tecniche

- [1] D.M. del 14.01.2008 *“Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni”* (G.U. n.29 del 04.02.2008).
- [2] Circolare del 02.02.2009 contenente le istruzioni per le l'applicazione delle *“Nuove norme tecniche per le costruzioni”* di cui al D.M. del 14.01.2008 (G.U. n.47 del 26.02.2009).


2.2 Riferimenti progettuali

- [3] T00GE00GEORE07_A - *“Relazione geologica, idrogeologica e geomorfologica”*
- [4] T22GE00GEORE09_A - *“Studio di compatibilità geologica”*
- [5] T00GE00GEOPU01÷09_A - *“Planimetria ubicazione indagini geognostiche”*
- [6] T00SG01GETRE01_A - *“Relazione sismica”*
- [7] T00GE00GETFP01÷08_A - *“Profili geotecnici di progetto”*
- [8] T01VI01STRRE01÷04_A - *“Relazioni tecniche e di calcolo”* - Ponte Rio Serra
- [9] T01VI01STRFG01_A - *“Profilo geotecnico”* - Ponte Rio Serra
- [10] T01VI02STRRE01÷04_A - *“Relazioni tecniche e di calcolo”* - Ponte Rio Calvia 1
- [11] T01VI02STRFG01_A - *“Profilo geotecnico”* - Ponte Rio Calvia 1
- [12] T01VI03STRRE01÷02_A - *“Relazioni tecniche e di calcolo”* - Ponte Rio Calvia 2
- [13] T01VI03STRFG01_A - *“Profilo geotecnico”* - Ponte Rio Calvia 2
- [14] T02VI01STRRE01÷02_A - *“Relazioni tecniche e di calcolo”* - Viadotto Ferrovia
- [15] T02VI01STRFG01_A - *“Profilo geotecnico”* - Viadotto Ferrovia
- [16] T02VI01STRDI01_A - *“Interventi di accelerazione dei cedimenti - planimetria, sezioni e particolari”*
- [17] T02VI02STRRE01÷03_A - *“Relazioni tecniche e di calcolo”* - Ponte Rio Sassu
- [18] T02VI02STRFG01_A - *“Profilo geotecnico”* - Ponte Rio Sassu

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

2.3 Riferimenti bibliografici e progettuali

- [19] AGI – Associazione Geotecnica Italiana (1997) *“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”*.
- [20] AGI – Associazione Geotecnica Italiana (1994) *“Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio”*.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

3 CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

L'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale del sito è ricavabile dalla documentazione geologica di progetto e, in particolare, dalla relazione geologica. Un inquadramento a grande scala è ricavabile dall'esame della Carta Geologica generale di progetto.

3.1 Modello geologico locale

Per l'asse B e l'asse D le opere previste in progetto ricadono in un'area caratterizzata dalla presenza di un substrato roccioso calcareo (Formazione di Capo Caccia, Formazione di Grascioleddu e la Formazione di Punta Cristallo) poco profondo, talora sub-affiorante ad eccezione di alcuni tratti in cui il substrato appare ribassato a seguito di movimenti tettonici che hanno creato una struttura a gradini. Tale ammasso litoide risulta ricoperto da depositi olocenici e pleistocenici dell'area continentale. Il loro spessore varia a seconda della profondità del tetto del substrato.


Per l'asse C invece le opere previste in progetto ricadono in parte su un'area caratterizzata dalla presenza di un substrato Marnoso, appartenente alla formazione di Brunestica, e in parte su depositi torbosi pleistocenici, costituiti principalmente da argilla limosa con livelli torbosi. L'ammasso marnoso risulta inoltre ricoperto da depositi olocenici e pleistocenici dell'area continentale e il loro spessore varia a seconda della profondità del tetto del substrato.

3.2 Schema idrogeologico

Lo schema idrogeologico rappresentativo lungo il tracciato è differenziabile in funzione delle formazioni geologiche rilevate.

Complesso calcareo-dolomitico mesozoico:

Questo complesso è costituito da formazioni caratterizzate dalla presenza di fratture nella roccia in continua evoluzione a causa dei processi carsici dovuti all'azione chimico-fisica esercitata dalle acque di infiltrazione. Tale fenomeno può portare alla creazione di canali e caverne all'interno dell'ammasso roccioso. Inoltre, le rocce appartenenti a tale complesso idrogeologico sono caratterizzate dalla presenza di fratturazioni dovute all'azione esercitata dalla tettonica. Per tali motivi la permeabilità secondaria per fratturazione e carsismo risulta molto elevata, assumendo valori medio-alti.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	


Complesso vulcanico oligo-miocenico:

Tale complesso vulcanico è suddiviso in diversi membri a permeabilità differente che presentano valori di permeabilità media per fessurazione o da bassa a media per porosità locali.

Complesso quaternario dei depositi sabbiosi eolici e alluvionali, palustri ed eolici:

A questo complesso appartengono i depositi pleistocenici. Presentano potenza variabile fino a qualche metro, poggiano generalmente sulle sequenze calcareo-dolomitiche e sono sede di una certa circolazione idrica, avendo una permeabilità media per porosità.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geologica (vedi elaborato T00GE00GEORE07A).

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

4 INDAGINI GEOTECNICHE

Nel corso della progettazione le aree di interesse sono state indagate con una serie di sondaggi e prove eseguite in sito e in laboratorio.

Le indagini, opportunamente geo referenziate, hanno consentito di definire, congiuntamente al rilevamento diretto di campagna degli elementi geologici e geo-strutturali, il quadro geotecnico di riferimento e le conseguenti interpretazioni con il progetto. L'ubicazione di tutte le indagini geotecniche è riportata negli elaborati T00GE00GEOPU01 ÷ 9.

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 consolidate isotropiche drenate CID).

Su campioni di roccia lapidea sono state eseguite prove di compressione monoassiale con misura delle deformazioni assiali e prove di compressione triassiale.

4.1 Indagini geotecniche – Asse B e D

Il tratto in esame è stato oggetto, a varie riprese, nell'ambito dei progetti limitrofi, di attività di indagine geognostica. Nell'ambito delle attività propedeutiche allo studio geologico è stata innanzitutto effettuata la raccolta di tutti i dati ad esse riferiti, comprendenti stratigrafie di sondaggio, prospezioni sismiche, prove di laboratorio e relativa documentazione fotografica. Premesso ciò, nell'area in esame sono state eseguite indagini geotecniche in corrispondenza delle fasi progettuali susseguites. Nello specifico:

- ✓ Campagna di indagine geotecnica del 2004 relativa al Progetto Definitivo;
- ✓ Campagna di indagine geotecnica del 2012 relativa al Progetto Definitivo;
- ✓ Campagna di indagine geotecnica e geofisica del 2015 relativa al Progetto Definitivo.
- ✓ Campagna di indagine geotecnica e geofisica del 2017 relativa al Progetto Definitivo

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

4.1.1 INDAGINI DEL 2004

La campagna di indagine geotecnica (predisposta da ANAS – Comp. della Viabilità per la Sardegna) del 2004 è stata condotta dalla società SOLES s.r.l. allo scopo di definire le caratteristiche stratigrafiche dell'area interessata dall'intervento.

Nel dettaglio le indagini eseguite sono:

- ✓ n.31 sondaggi geotecnici a rotazione e carotaggio continuo + n.3 sondaggi integrativi, accompagnati dal prelievo di campioni di terreno sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico.

4.1.2 INDAGINI DEL 2012

La campagna di indagine geotecnica (predisposta dal Comune di Alghero) del 2012 è stata condotta dalla società Sarda Sondaggi s.r.l. allo scopo di definire le caratteristiche stratigrafiche dell'area interessata dall'intervento.

Nel dettaglio le indagini eseguite sono:

- ✓ n. 13 sondaggi geognostici a carotaggio continuo accompagnati dal prelievo di campioni di terreno sottoposti ad analisi di laboratorio geotecnico;
- ✓ n. 8 prove penetrometriche dinamiche continue (D.P.M.);
- ✓ n. 1 indagine sismica di tipo MASW.


4.1.3 INDAGINI DEL 2015

La campagna di indagine geofisica (predisposta da ANAS – Direzione progettazione e Realizzazione Lavori) del 2015 è stata condotta dalla società PROGEO allo scopo di definire le caratteristiche sismo stratigrafiche dell'area interessata dall'intervento.

Nel dettaglio, le indagini eseguite consistono in:

- ✓ Esecuzione di 5 sezioni sismiche ad onde di compressione e taglio (*basi sismiche BS1, BS2, BS3, BS4 e BS5*) di lunghezza variabile da 55 m a 180 m;
- ✓ esecuzione di 6 prove dinamiche in foro di tipo *Down-Hole* (*S04_dh, S08_dh, S14_dh, S15_dh, S18_dh, S23_dh*) di lunghezza variabile da 55 m a 180 m.

Sempre nel 2015 alla Società Sonedile s.r.l. viene invece affidato l'incarico di realizzare una serie di sondaggi finalizzati alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

In particolare sono stati eseguiti:

- ✓ n°23 sondaggi a carotaggio continuo (S1_D ÷ S23_D) spinti fino ad una profondità massima di 41.00m dal p.c. con prelievo di campioni indisturbati, campioni rimaneggiati ed esecuzione di prove S.P.T.;
- ✓ n°25 pozzetti geognostici con profondità massima di 2,70 m con esecuzione di n°25 prove di carico su piastra e prelievo di campioni rimaneggiati;
- ✓ Prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati.

4.1.4 INDAGINI DEL 2017

La campagna di indagine geofisica (predisposta da ANAS – Direzione progettazione e Realizzazione Lavori) del 2017 è stata condotta dalla società GEOINVEST s.r.l. allo scopo di approfondire le caratteristiche sismo stratigrafiche dell'area interessata dall'intervento.

Nel dettaglio, le indagini eseguite consistono in:

- ✓ Esecuzione di 3 sezioni sismiche ad onde di compressione e taglio (*basi sismiche BS1_D, BS2_D, BS3_3*) di lunghezza variabile da 55 m a 210 m;

Sempre nel 2017 alla Società Dr. Antonello Angius viene affidato l'incarico di realizzare n.2 sondaggi a carotaggio continuo integrativi fino alla profondità massima di 25 m e finalizzati alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo.

4.2 Indagini geotecniche – Asse C


Nell'area in esame sono state eseguite indagini geotecniche in corrispondenza delle fasi progettuali susseguite. Nello specifico:

- ✓ Campagna di indagine geotecnica del Novembre 2016 relativa al Progetto Definitivo;
- ✓ Campagna di indagine geofisica del Febbraio 2017 relativa al Progetto Definitivo.

4.2.1 INDAGINI DEL 2016

La campagna di indagine geotecnica (predisposta da ANAS – Comp. della Viabilità per la Sardegna) del Novembre 2016 è stata condotta dall'impresa specializzata Dr. Antonello Angius, allo scopo di definire le caratteristiche stratigrafiche dell'area interessata dall'intervento.

Nel dettaglio le indagini eseguite sono:

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

- ✓ n°11 sondaggi a carotaggio continuo (*S24_D, S26_D ÷ S36_D*) spinti fino ad una profondità massima di 40.00m dal p.c. con prelievo di campioni indisturbati, campioni rimaneggiati ed esecuzione di prove S.P.T.;
- ✓ n°18 pozzetti geognostici con esecuzione di n°18 prove di carico su piastra;
- ✓ Prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati.

4.2.2 INDAGINI DEL 2017


La campagna di indagine geofisica (predisposta da ANAS – Direzione progettazione e Realizzazione Lavori) del 2017 è stata condotta dalla società GEOINVEST s.r.l. allo scopo di approfondire le caratteristiche sismo stratigrafiche dell'area interessata dall'intervento.

Nel dettaglio, le indagini eseguite consistono in:

- ✓ Esecuzione di 9 sezioni sismiche ad onde di compressione e taglio (*basi sismiche BS4_D, BS5_D, BS6_D, BS7_D, BS8_D, BS9_D, BS10_D, BS11_D, BS12_D*) di lunghezza variabile da 40 m a 115 m;

Sempre nel 2017 alla Società Dr. Antonello Angius viene affidato l'incarico di realizzare un set di prove di laboratorio aggiuntivo, finalizzate ad una migliore ricostruzione geomeccanica dei terreni di fondazione del viadotto Ferrovia:

- ✓ n.4 sondaggi a carotaggio continuo integrativi fino alla profondità massima di 61 m;
- ✓ n. 6 prove di penetrazione dinamica con piezocono CPTU aggiuntive di lunghezza variabile tra 10 e 20 m.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

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 differenti campagne di indagini, richiamate nel paragrafo precedente, a conoscenze acquisite dallo studio delle carte geologiche 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 sciolti	
UG1	Depositi di coltre eluvio-colluviale pleistocenici ed olocenici, epivolcaniti continentali, alterazioni dei substrati litoidi; da argille debolmente sabbiose a sabbie fini argillose.
UG5	Sabbie di origine piroclastica, da sciolte a poco addensate.
UG6	Torbe, argille bentonitiche ed argille organiche ad alta plasticità.
UG7	Materiali di origine alluvionale recente; argille e sabbie ghiaiose.
UG8	Argille sabbiose consistenti.
Rocce lapidee	
UG2	Calcareniti da semi-litoidi a litoidi, poco fratturati.
UG3	Calcareniti da semi-litoidi a litoidi, fratturati.
UG4	Calcareniti delle unità UG2 e UG3 da fortemente a estremamente fratturate.


Tabella 5.1: Classificazione geotecnica dei terreni

Dal punto di vista geotecnico è possibile osservare come il tracciato attraversi stratigrafie a tratti omogenee:

- Asse B – il tracciato si sviluppa un uno strato mediamente omogeneo di UG1 fino alla profondità massima di 20 m. Nelle prossimità degli attraversamenti maggiori (Ponte Rio Serra e Ponte Rio Calvia 1) si osserva uno strato alluvionale appartenente all'unità UG7. Al di sotto si riconoscono calcareniti appartenenti al substrato che ricadono, principalmente, nell'unità UG2. Si individuano aree più fratturate delle unità UG3 e UG4 in corrispondenza dei viadotti e nella seconda metà del tracciato, con spessori massimi riconosciuti fino a 40 m. Infine, nei primi 200 m del tracciato, si identifica una lente di piroclastiti composte da sabbie, appartenenti all'unità UG5, per spessori massimi di 10 m.
- Asse C – il tracciato si sviluppa omogeneo a tratti secondo la seguente suddivisione:

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

- Dalla progressiva 0+000 alla progressiva 0+450 si individua uno strato di UG1 superficiale con spessori fino ai 15 m a ricoprimento di argille appartenenti alle unità UG6 e UG8, con spessori massimi rispettivamente di 40 e 20 m. Le argille sabbiose UG8 si riconoscono fino alla quota di fine sondaggio e sempre al di sotto delle argille bentonitiche UG6.
- Dalla progressiva 0+450 alla progressiva 1+870 lo strato superficiale di UG1 si assottiglia rapidamente, mantenendo spessori massimi dell'ordine di 10 m nelle prime centinaia di metri del tratto e riducendosi a 3 m nella successiva sezione. In profondità, fino alla quota di fine sondaggio, si riconoscono sabbie di origine piroclastica appartenenti all'unità UG5.
- Dalla progressiva 1+870 alla progressiva 3+193 si mantiene lo spessore limitato dell'UG1. A tratti questo scompare in corrispondenza degli avvallamenti principali lasciando spazio a terreni di origine alluvionale UG7, con spessori massimi dell'ordine di 3 m. Nel substrato si riconosce uno strato omogeneo di calcareniti appartenenti all'unità UG2, con una lente di UG4 nella sezione conclusiva del tracciato e di estensione non riscontrabile.
- Asse D – il tracciato si sviluppa omogeneo a tratti secondo la seguente suddivisione:
 - Dalla progressiva 0+000 alla progressiva 1+480 si individua uno strato di UG1 superficiale con spessori fortemente variabili dai 2 ai 12 m e con una sezione limitata, tra le progressive 1+360 e +1420, dove si raggiunge lo spessore massimo di 20 m. Questa variabilità è dovuta al contatto con la roccia del substrato che assume una struttura a gradoni. La stessa calcarenite del substrato ricade principalmente nell'unità UG2, presentandosi a sezioni più frantumata (unità UG3) ed estendendosi fino a quota di fine sondaggio.
 - Dalla progressiva 1+480 alla progressiva 3+160 si vede una progressiva immersione e scomparsa delle calcareniti, che lasciano spazio a un bacino di deposito di sabbie di origine piroclastica appartenenti all'unità UG5 con spessori fino alla quota di fine sondaggio e massimi riconoscibili di 18 m. Dalla progressiva 2+190 le calcareniti UG2 compaiono nuovamente a ricoprimento delle piroclastiti con spessori fino agli 11 m. Si mantiene omogeneo il ricoprimento appartenente all'unità UG1 con spessori tra i 2 e i 5 m.
- Rampa Alghero – il tracciato si sviluppa su terreni UG1 con spessori massimi di 15 m con lenti di argille UG6. Le calcareniti del substrato, appartenenti alle unità UG2 e UG3, raggiungono spessori massimi di 30 m e comunque fino alla quota di fine sondaggio. Si mantiene, in questa rampa, la struttura a gradoni riconosciuta nel asse D.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

- Rampa bidirezionale e rampa sud – il tracciato si sviluppa su terreni UG1 con spessori massimi di 14 m. Le calcareniti del substrato presentano una struttura mediamente più fratturata rispetto al resto del tracciato, ricadendo principalmente nelle unità UG3 e UG4 e solo a zone nelle unità UG2. Nella parte finale del tracciato si riconosce lo stesso bacino di deposito di piroclastiti dell'unità UG5 riconosciuto nel asse D.

Il tracciato si mantiene, con minime variazioni nella posizione dei contatti stratigrafici, omogeneo sia in asse sinistro che in asse destro.

Nelle pagine che seguono 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 recenti 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 ELL), 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 N_{60} , con N_{60} 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).

Per la determinazione del modulo edometrico si fa riferimento ai risultati delle prove di compressione edometrica e più in generale anche alle formule di Stroud & Butler per l'interpretazione delle prove SPT.

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 D_r dei terreni sabbioso-ghiaiosi si è fatto riferimento alle correlazioni che legano il numero di colpi N_{SPT} a D_r :

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

- 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 G_0 e del modulo di elasticità E_0 iniziali sono stati ricavati a partire dai valori della velocità delle onde di taglio V_s ottenuti indirettamente a partire dai valori di N_{SPT} .

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s 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

Tabella 5.2: Coefficiente A funzione dell'epoca geologica del deposito

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

Tabella 5.3: 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.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

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).

Per caratterizzare l'ammasso roccioso si ricorre alla classificazione di Bieniawsky e ai criteri di rottura di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb.

La classificazione di Bieniawsky prevede la determinazione dell'indice RMR (Rock Mass Rating) attraverso lo studio delle caratteristiche della roccia intatta e dei sistemi di discontinuità dell'ammasso, determinabili tramite prove in laboratorio e misure in sito.

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

con:

- A_1 parametro dipendente dalla resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta σ_{ci} ;
- A_2 parametro dipendente dall'indice RQD (Rock Quality Designation), determinabile dall'osservazione delle cassette dei carotaggi;
- A_3 parametro dipendente dalla spaziatura delle discontinuità;
- A_4 parametro dipendente dalle caratteristiche delle discontinuità (persistenza, apertura, rugosità, alterazione, riempimento);
- A_5 parametro dipendente dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m;
- A_6 parametro di correzione per l'orientamento delle discontinuità rispetto al fronte di scavo, differenziato per gallerie e fondazioni.

Il criterio di Hoek-Brown permette di determinare le caratteristiche dell'ammasso roccioso sulla base dei seguenti parametri:

- σ_{ci} ;
- GSI, Geological Strength Index, calcolato dall'RMR nelle condizioni di assenza di venute d'acqua, orientazione molto favorevole delle discontinuità e riducendo tale valore di 5;
- m_i , parametro costante dipendente dal materiale dell'ammasso;
- D, grado di disturbo dell'ammasso causato dallo scavo;
- γ_{rm} , densità dell'ammasso roccioso;
- h, profondità rispetto al piano campagna della galleria.

Durante i successivi calcoli si utilizzeranno i parametri di resistenza alla Mohr-Coulomb, determinati in funzione dei parametri di Hoek-Brown attraverso le seguenti relazioni:

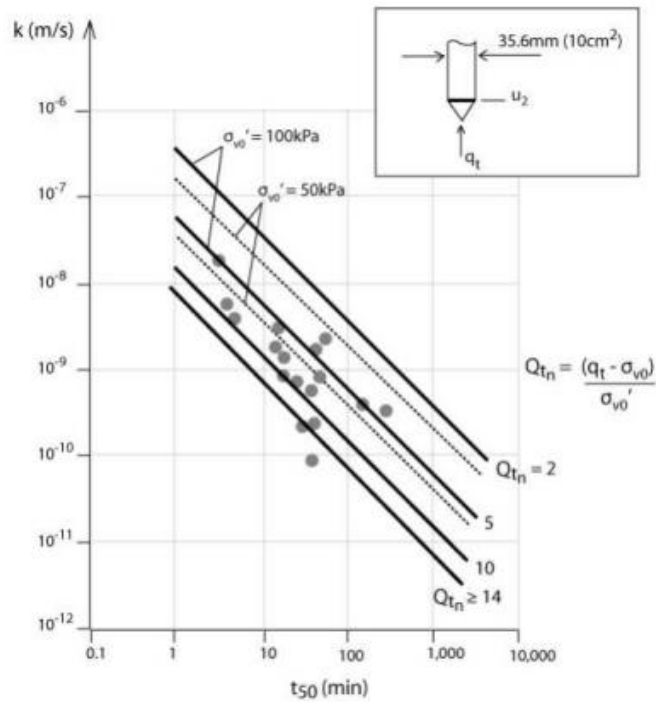
$$\varphi' = \sin^{-1} \left(\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}((1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n})(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{(6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1})}{((1+a)(2+a))}}}$$

con:

- a, s costanti per l'ammasso roccioso calcolati sulla base del GSI e del grado di disturbo D;
- m_b , valore ridotto dell'mi per l'ammasso;
- $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$.

Per la determinazione della permeabilità, con riferimento alle prove di dissipazione condotte durante l'esecuzione delle CPTU, si utilizza la seguente correlazione:



5.1 Terreni sciolti

5.1.1 Depositi di coltre – UG1

Per la caratterizzazione dell'unità geotecnica "Ug1" sono stati presi in esame i risultati delle prove in sito (prove SPT) e delle prove di laboratorio eseguite su tutti gli assi.

Come evidenziato nei risultati delle analisi granulometriche, nei campioni prelevati tra le profondità 0 m e circa 12 m dal p.c., prevalgono in alcuni tratti del tracciato le frazioni a grana fine, argillose e limose, e in altri tratti prevalgono le frazioni a grana grossa.

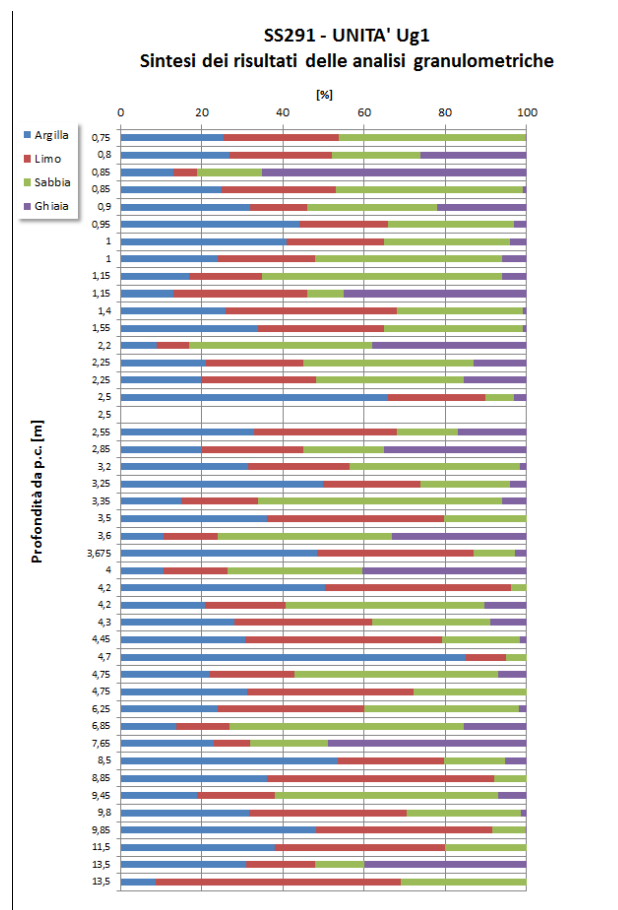


Figura 5.1: Composizioni granulometriche – Ug1

S.S. 291 - Unità Ug1

Peso dell'unità di volume

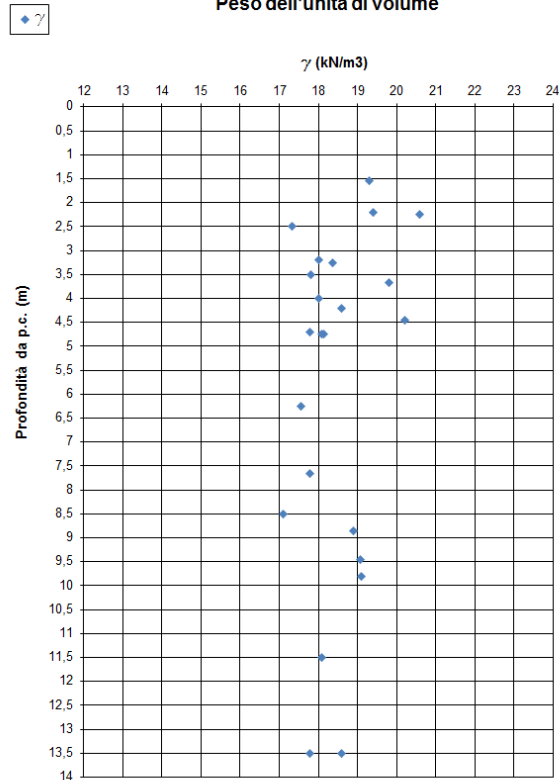


Figura 5.2: Peso dell'unità di volume – Ug1

Il peso dell'unità di volume (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) mostra valori variabili tra circa 17 e 20 kN/m³, mediamente pari a 18 kN/m³.

Le caratteristiche di plasticità (limite liquido LL e indice di plasticità IP) possono variare come segue:

LL = limite liquido = 25% ÷ 80%

IP = 10% ÷ 50 %.

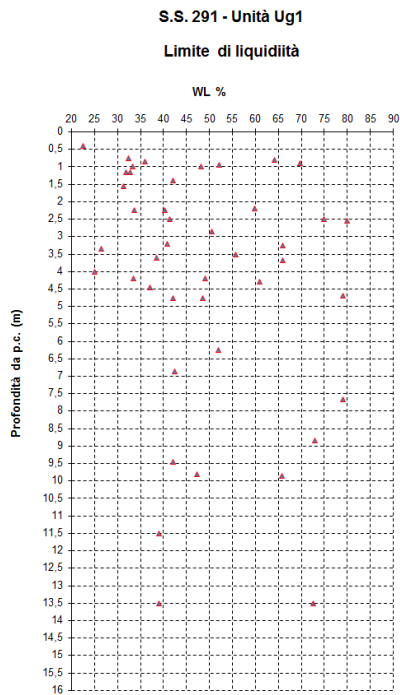


Figura 5.3: Limite di liquidità – UG1

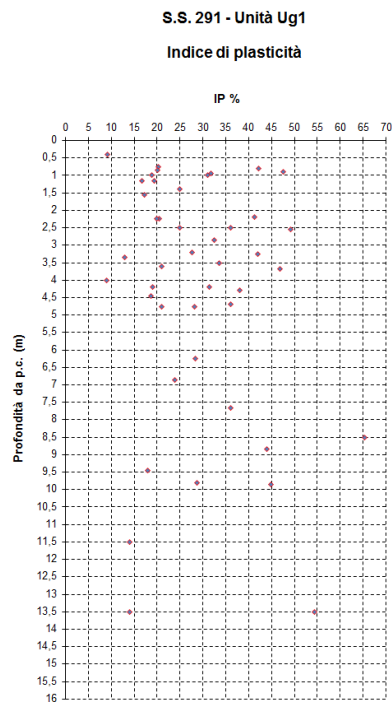



Figura 5.4: Indice di plasticità – UG1

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Facendo riferimento alla “Carta di plasticità di Casagrande”, i materiali in oggetto possono essere classificati generalmente come “argille inorganiche da media ad alta plasticità

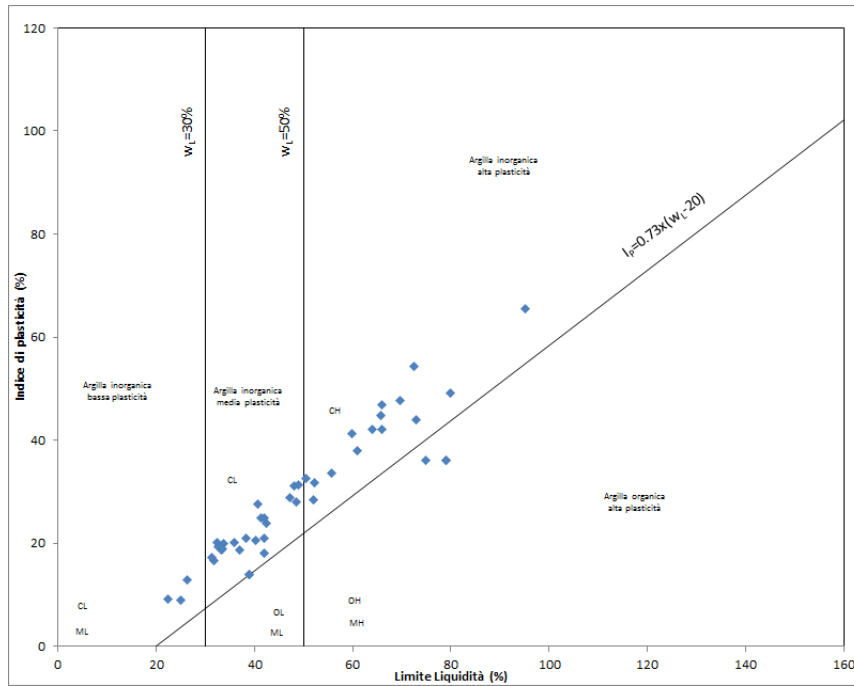


Figura 5.5: Carta di Plasticità – Ug1

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche, nelle figure seguenti sono riportati i grafici che rappresentano i risultati delle prove di laboratorio ed in sito, condotte rispettivamente sui campioni e le interpretazioni delle prove SPT. Nello specifico, i risultati delle prove di taglio diretto (TD), triassiali consolidate non drenate (TX CIU) e drenate (TX CID) condotte in laboratorio, hanno restituito i seguenti valori dei parametri di resistenza in condizioni efficaci: $\phi' = 30 \div 35$ (°), e $c' = 0 \div 10$ kPa; operativamente, si ritiene ragionevolmente cautelativo assumere $c' = 0$ e $\phi' = 32^\circ$.

S.S. 291 - Unità Ug1

Coesione efficace

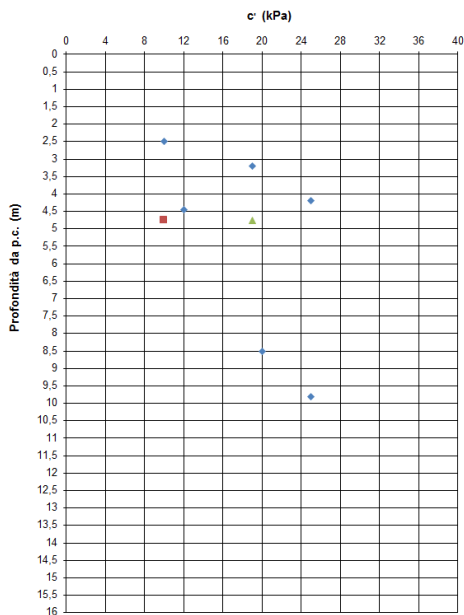


Figura 5.6: Coesione – Ug1

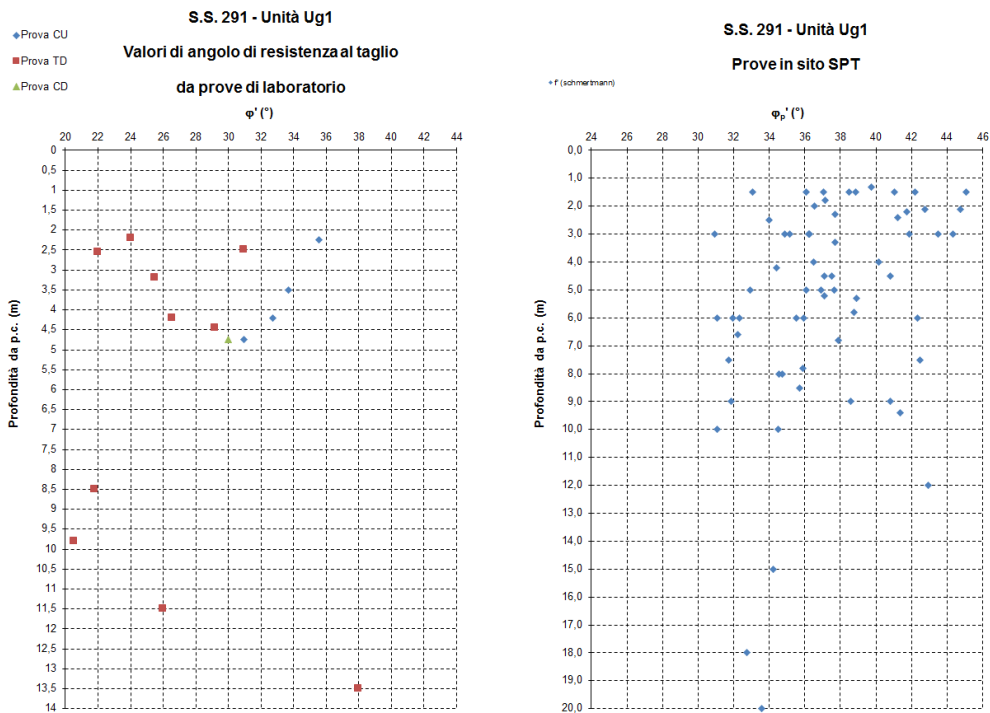


Figura 5.7: Angolo di attrito da prove di laboratorio e in sito – Ug1

Per quanto riguarda le caratteristiche di deformabilità del litotipo in esame, i risultati delle prove edometriche di laboratorio forniscono valori sottostimati del modulo edometrico e conseguentemente del modulo di Young. In particolare, i valori del modulo edometrico E_{ed} ottenuti con riferimento ai percorsi tensionali relativi alle fasi di carico, risultano variabili tra circa 10 e circa 20 MPa, e mediamente pari a 15 Mpa.

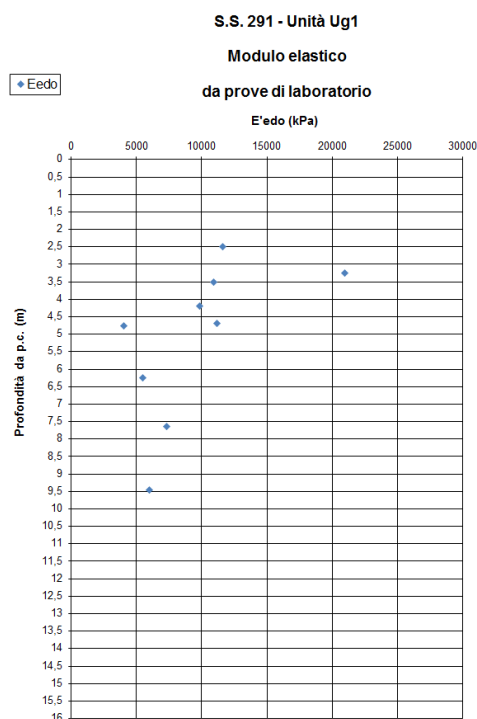


Figura 5.8: Modulo di deformabilità – Ug1

Con riferimento alle prove di dissipazione condotte durante l'esecuzione delle prove penetrometriche con piezocono CPTU-4, CPTU-5 e CPTU-6 si è ottenuta una permeabilità dell'unità $k = 10^{-6} \div 10^{-5}$ cm/s.

5.1.2 Sabbie di origine piroclastica – UG5

Per la caratterizzazione dell'unità geotecnica "UG5" sono stati presi in esame i risultati delle prove di laboratorio (S20_D, S22_D, S24_D, S38_D e S40_D) e delle prove SPT (S38_D e S40_D). Il peso dell'unità di volume mostra valori variabili tra circa 16 e 19 kN/m³.

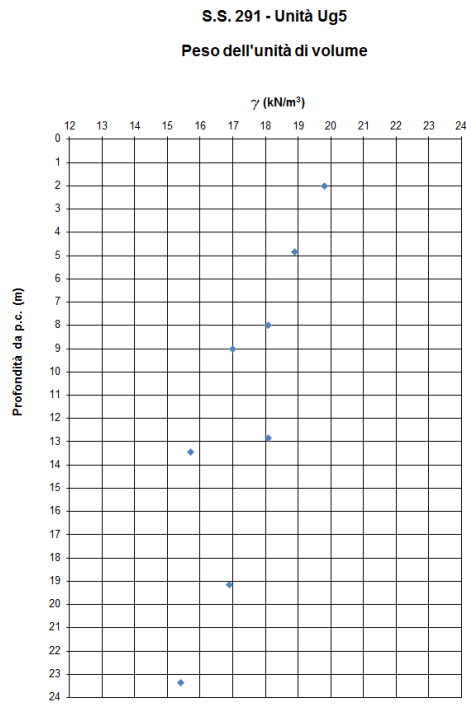


Figura 5.9: Peso unità di volume –Ug5

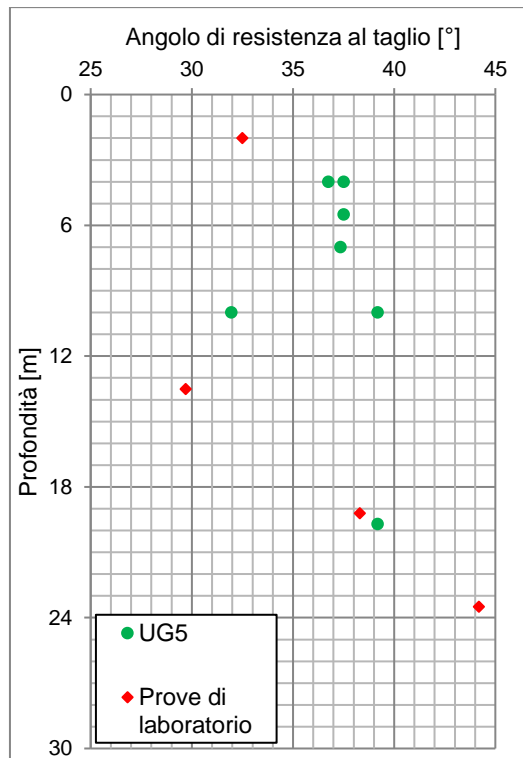


Figura 5.10: Angolo di resistenza al taglio da SPT e prove di laboratorio –Ug5

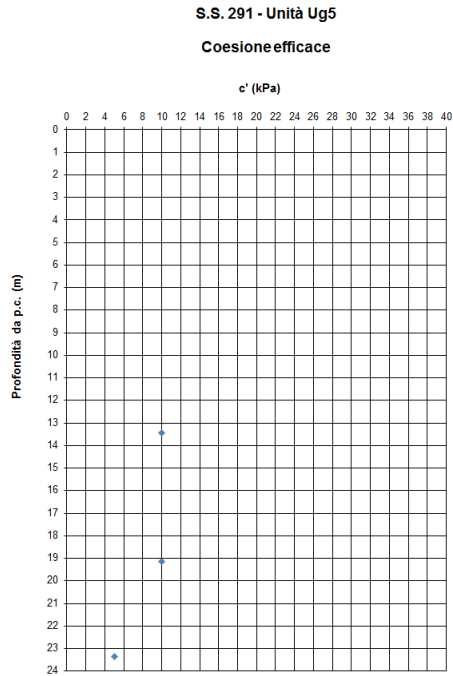


Figura 5.11: Coesione da prove di laboratorio – Ug5

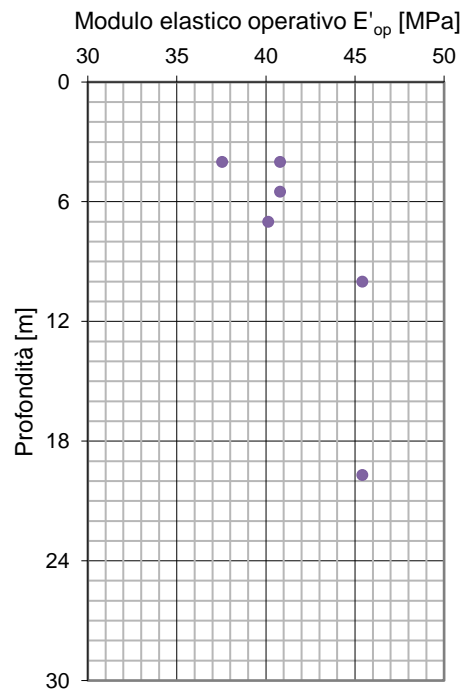



Figura 5.12: Modulo elastico da prove SPT – Ug5

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	Relazione geotecnica generale	

Per quanto riguarda le caratteristiche meccaniche l'analisi dei risultati delle prove di laboratorio e in sito hanno restituito i seguenti valori dei parametri di resistenza in condizioni efficaci: $\phi' = 30 \div 44^\circ$, e $c' = 0 \div 10$ kPa e modulo elastico $E'_{op} = 38 \div 45$ MPa.

5.1.3 Argille bentonitiche e organiche – UG6

Per la caratterizzazione dell'unità geotecnica "Ug6" sono stati presi in esame i risultati delle prove di laboratorio. Nello specifico, le caratteristiche fisiche e le proprietà indice del materiale (% frazioni granulometriche, peso dell'unità di volume, limite di liquidità w_l , indice di plasticità I_p) sono state ricavate dall'interpretazione delle prove di laboratorio eseguite sui campioni rimaneggiati ed indisturbati. Per la valutazione delle caratteristiche meccaniche di resistenza si è fatto riferimento ai risultati delle prove triassiali non consolidate non drenate (Tx UU) e alle prove ad espansione laterale libera (ELL). Per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità, sono state prese in esame sia le prove edometriche e sia i risultati della prova geofisiche eseguite nel corso della campagna di indagine del 2017.

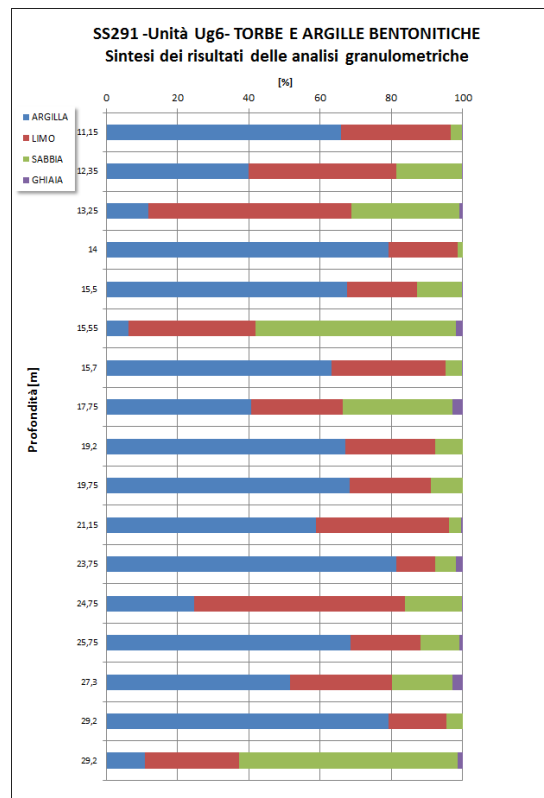


Figura 5.13: Composizioni granulometriche – Ug6

S.S. 291 - Unità Ug6 - TORBEE ARGILLE BENTON.

Peso dell'unità di volume

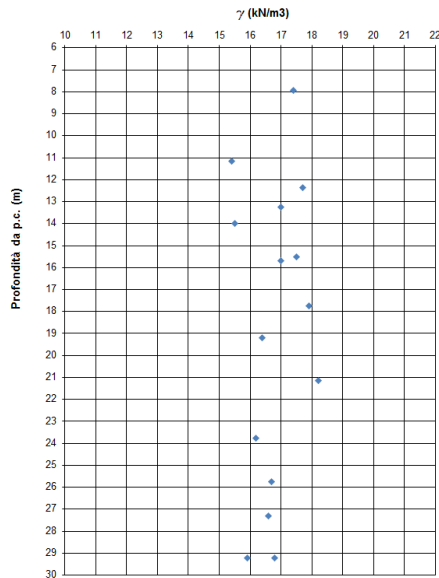


Figura 5.14: Peso dell'unità di volume – Ug6

Il peso dell'unità di volume mostra valori variabili tra circa 16 e 18 kN/m³, mediamente pari a 17 kN/m³. Le caratteristiche di plasticità (limite liquido WL e indice di plasticità IP) sono riportati nelle figure seguenti; esse possono variare come segue:

LL = limite liquido = 55% ÷ 100%

IP = 20% ÷ 70%.

S.S. 291 - Unità Ug6 - TORBEE ARGILLE BENT.

Limite di liquidità

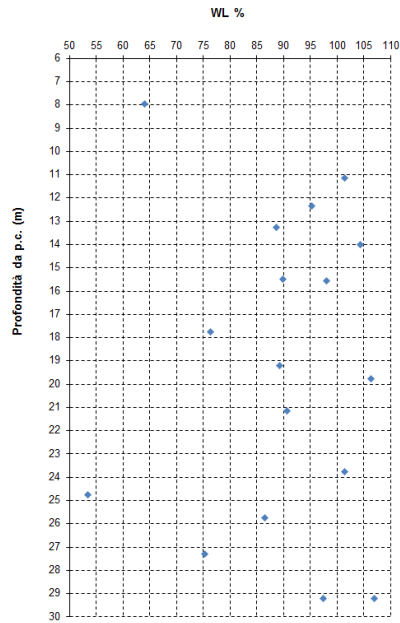


Figura 5.15: Limite di liquidità – Ug6

S.S. 291 - Unità Ug6 - TORBEE ARGILLE BENT.

Indice di Plasticità

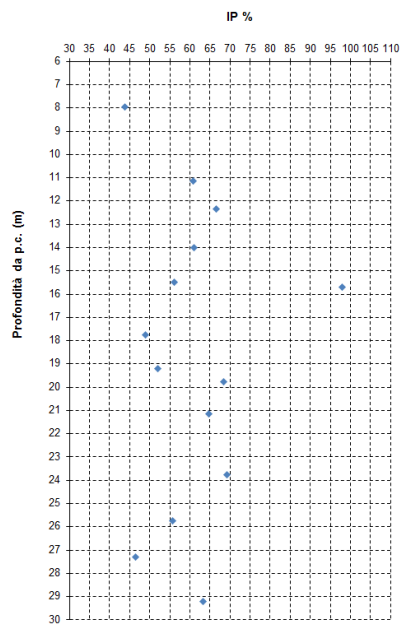


Figura 5.16: Limite di plasticità – Ug6

Facendo riferimento alla “Carta di plasticità di Casagrande”, i materiali in oggetto possono essere classificati generalmente come “argille inorganiche ad alta plasticità” anche se coesistono con essi materiali classificabili come “argille organiche ad alta plasticità”.; si rileva che nei sondaggi sono stati rinvenuti anche livelli di torba compressibile.

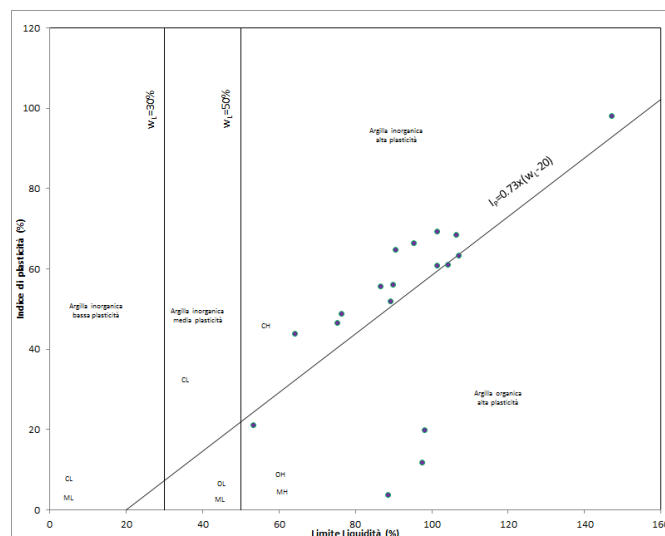


Figura 5.17: Carta di Plasticità – Unità Ug6

Per la resistenza a taglio in condizioni non drenate sono stati invece presi in considerazione i risultati delle prove triassiali UU, delle prove ELL e delle prove in sito effettuate con il pocket penetrometer, che hanno restituito valori di cu variabili tra circa 40 e 280 kPa. Di seguito si diagrammano i risultati delle prove di laboratorio. Nello stesso grafico è riportata la retta di equazione $c_u = 0.25 \sigma'_v$ (linea NC), che definisce la relazione tra la coesione non drenata, c_u , e la tensione verticale efficace, σ'_v , per un terreno a grana fine normal-consolidato (NC).

Per quanto riguarda le caratteristiche di deformabilità del litotipo in esame, i risultati delle prove edometriche di laboratorio forniscono valori sottostimati del modulo edometrico e conseguentemente del modulo di Young. In particolare, i valori del modulo edometrico E_{ed} ottenuti con riferimento ai percorsi tensionali relativi alle fasi di carico, risultano variabili tra circa 7 e circa 10 MPa.

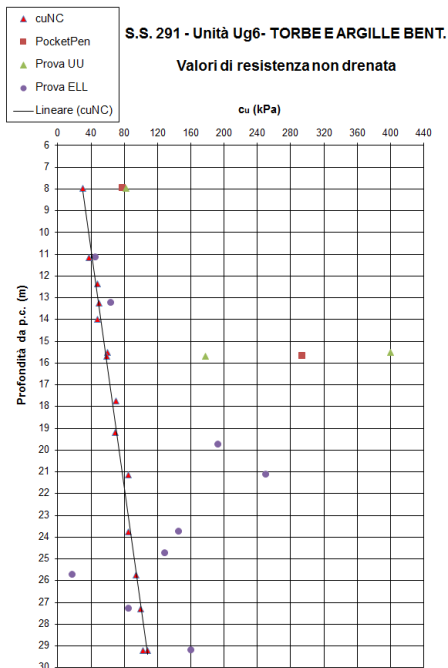


Figura 5.18: Resistenza a taglio non drenata – Unità Ug6

Dall'analisi delle prove di laboratorio svolte su campioni eseguiti sulla campagna integrativa del 2017 principalmente su campioni prelevati dai sondaggi S25_D, S37_D, S38_D e S41_D, e diagrammati di seguito, si confermano i precedenti valori di coesione non drenata.

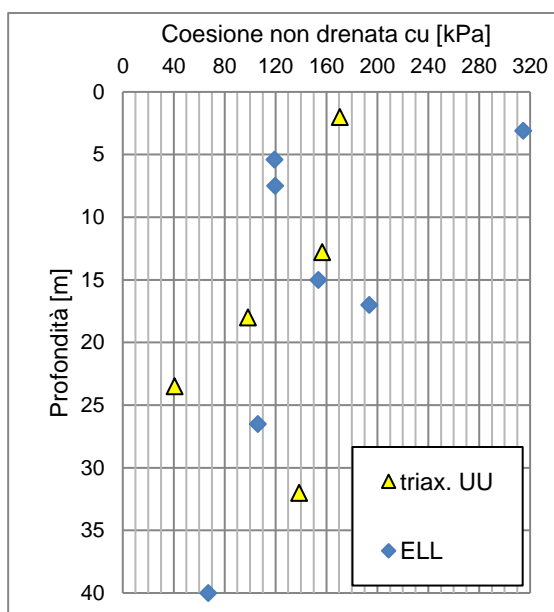


Figura 5.19: Coesione non drenata da campagna integrativa del 2017 – Unità Ug6

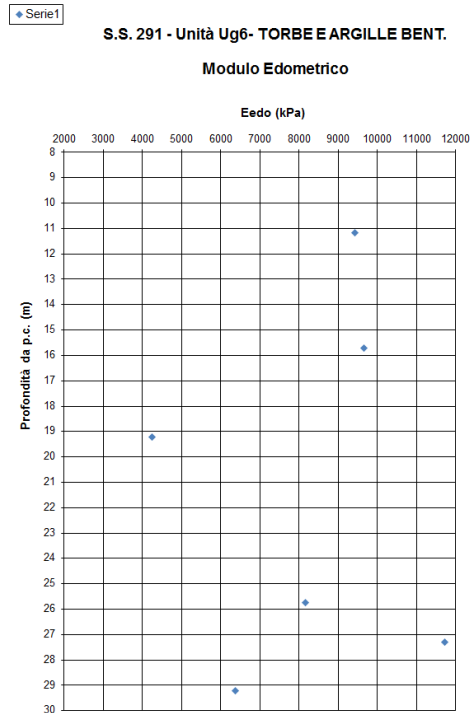


Figura 5.20: Modulo di deformabilità – Unità Ug6

Dall'analisi di due prove di taglio diretto svolte su campioni dai sondaggi S25_D e S41_D risulta una coesione efficace c' compresa tra 30 e 50 kPa.

Sulla base dei risultati delle prove edometriche svolte su campioni prelevati durante le indagini integrative del 2017 si è ottenuto:

$$\begin{aligned}
 m_v &= 0,08 \div 0,14 \text{ MPa}^{-1}; & E_{ed} &= 7,3 \div 12,8 \text{ MPa}; & k &= 9,0\text{E-}08 \div 2,8\text{E-}08 \text{ cm/s}; \\
 & & e_0 &= 0,62 \div 1,38; & & & \\
 c_v &= 9,13\text{E-}04 \div 1,18\text{E-}02 \text{ cm}^2/\text{s}; & c_c &= 0,5 \div 0,7 \text{ cm}^2/\text{s}; & c_s &= 0,08 \div 0,11 \text{ cm}^2/\text{s}.
 \end{aligned}$$

I valori di permeabilità ottenuti da prove di dissipazione eseguite durante i sondaggi CPTU-5 e CPTU-6 hanno fornito valori $1\text{E-}08 \div 1\text{E-}07 \text{ cm/s}$. Il range ottenuto dalle prove di compressione edometrica risulta quindi confermato.

5.1.4 Alluvioni recenti – UG7

Per la caratterizzazione dell'unità geotecnica "Ug7" sono stati presi in esame i risultati delle prove di laboratorio. Nello specifico, le caratteristiche fisiche e le proprietà indice del materiale sono state ricavate dall'interpretazione delle prove di laboratorio eseguite sui campioni rimaneggiati ed indisturbati. Per la valutazione delle caratteristiche meccaniche di resistenza si è fatto riferimento ai risultati delle prove triassiali (TxCIU e TxCID) e alle prove di taglio diretto eseguite sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi S3_D, S8_D, S7_D, S9_D, S10_D, S32_D e S34_D relativi alla campagna di indagine 2015 e 2017.

Per le caratteristiche meccaniche, nelle figure seguenti sono riportati i grafici che rappresentano i risultati delle prove di laboratorio. Nello specifico, i risultati delle prove di taglio diretto (TD), triassiali consolidate non drenate e drenate (TxCIU e TxCID), hanno restituito i seguenti valori dei parametri di resistenza in condizioni efficaci: $\phi' = 30 \div 36$ (°), e $c' = 0$ kPa. Il peso dell'unità di volume mostra valori variabili tra circa 17 e 20 kN/m³, mediamente pari a 18 kN/m³.

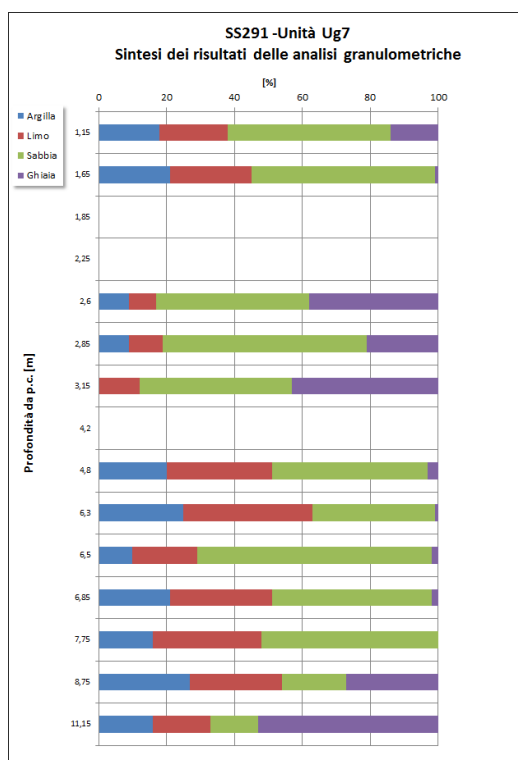


Figura 5.21: Analisi Granulometrica– Ug7

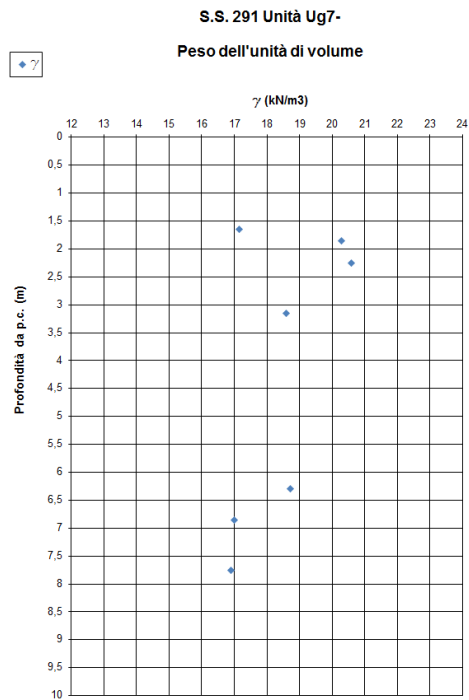


Figura 5.22: Peso unità di volume – Ug7

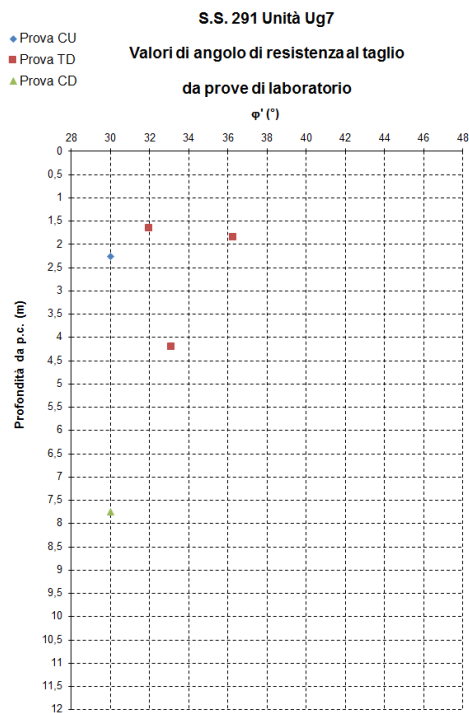



Figura 5.23: Angolo di Attrito – Ug7

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l’aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

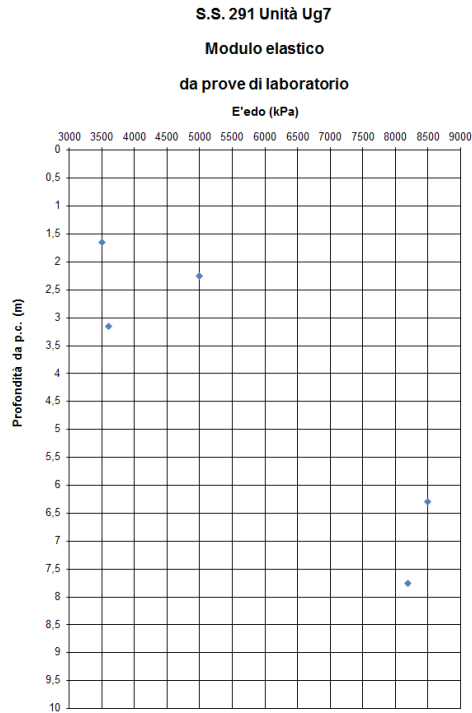


Figura 5.24: Modulo edometrico – Ug7

5.1.5 Argille sabbiose – UG8

Per la caratterizzazione dell'unità geotecnica "Ug8" si è fatto riferimento al sondaggio S28_D relativo alla campagna di indagine 2016 eseguita sul asse C e ai sondaggi S25_D e S37_D relativi alla campagna di indagini integrativa svolta nel 2017. In particolare dal profilo stratigrafico e dall'analisi granulometriche eseguite in laboratorio si evince che l'unità geotecnica Ug8 è costituita principalmente da argilla sabbiosa.

Il peso dell'unità di volume è stato determinato in tre campioni ed è risultato compreso tra 18,5 e 23 kN/m³.

Dall'analisi di prove triassiali non consolidate non drenate (triaxUU) e prove ad espansione laterale libera (ELL) si è ottenuto un valore di coesione non drenata compreso tra 40,5 e 257,5 kPa, confrontabile con il valore di c_u dell'unità UG6. Risulta invece differente e maggiore il valore medio della c_u e pari a 127 kPa.

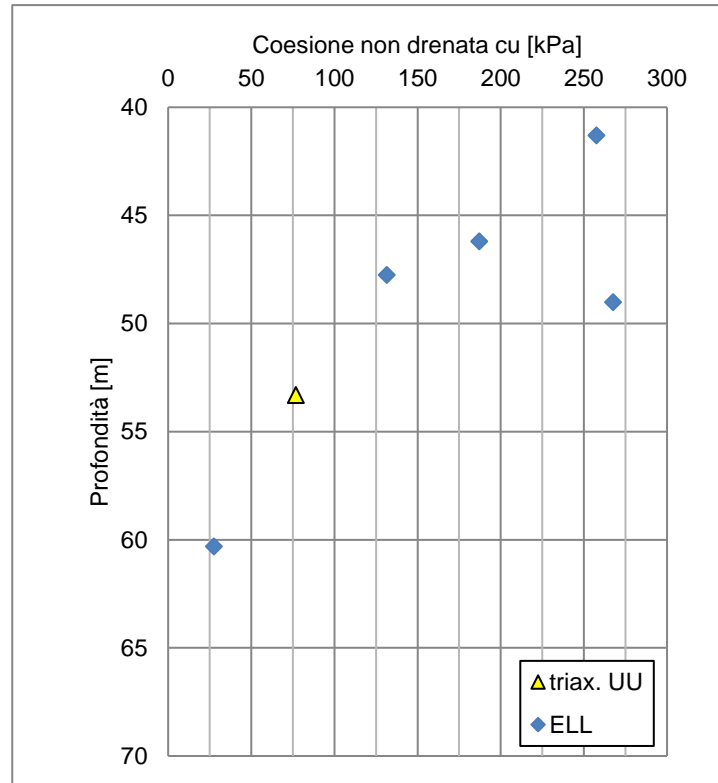



Figura 5.25: Coesione non drenata – Ug8

Dall'analisi di una prova di taglio diretto effettuata sul campione CR3 del sondaggio S25_D si ottiene un valore di coesione efficace di 90 kPa e un angolo di resistenza al taglio di 23°.

Il modulo edometrico risulta pari a 12,8 MPa.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

5.2 Rocce lapidee

5.2.1 Calcareniti – UG2 e UG3

La caratterizzazione geomeccanica delle unità “Ug2” e “Ug3” è stata eseguita a partire dai valori della resistenza a compressione uniassiale σ_{ci} , ottenuta sui campioni indisturbati di roccia intatta, dalle caratteristiche delle superfici dei giunti e dalla spaziatura (valore dell'indice GSI) nonché dal valore dell'indice m_i associato al tipo di roccia. In particolare, è stato assunto un intervallo di σ_{ci} pari a 32 ÷ 60 MPa e un valore di m_i pari a 8 (8 ± 3), ricavato da dati di letteratura per rocce sedimentarie (calcare micritico – Hoek et al.).

Il GSI è stato determinato qualitativamente (abaco di Hoek e Marinos, 2000), sulla base delle sole indagini geotecniche considerando per l'ammasso una struttura di tipo “Very Blocky” e per le superfici delle condizioni di tipo “Fair/Poor”. Per l'unità in esame è stato quindi assunto un intervallo del GSI pari a 30 ÷ 45.

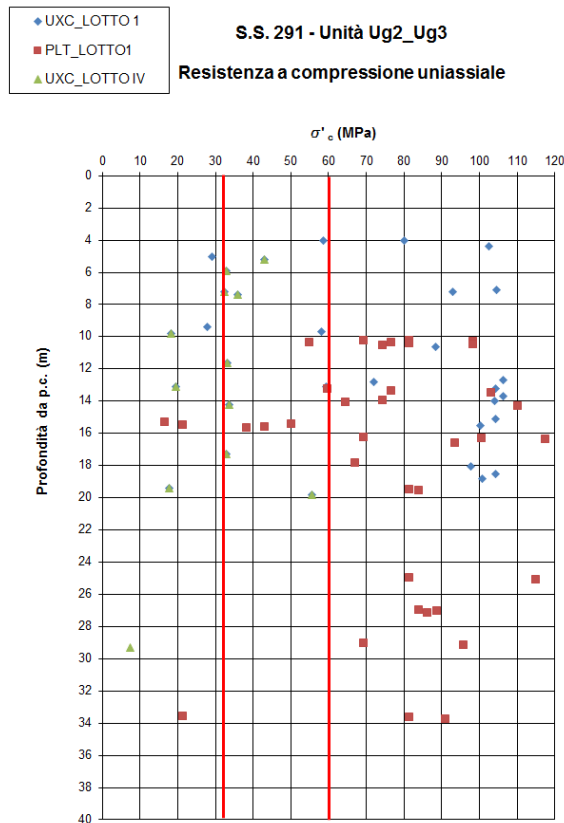


Figura 5.26: Resistenza a compressione uniassiale – Ug2 e Ug3

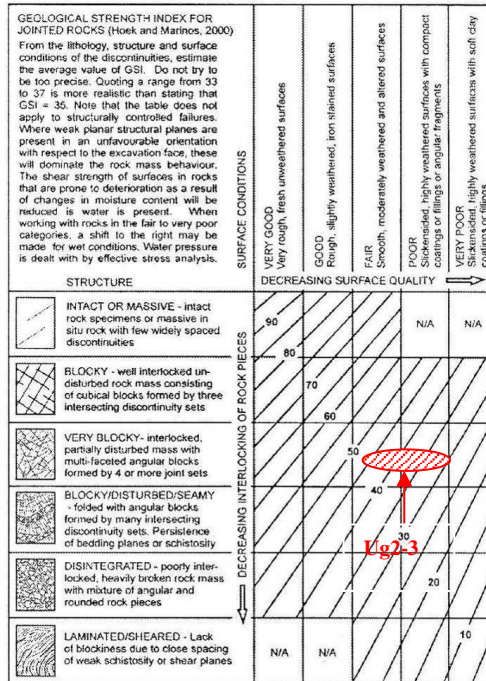


Figura 5.27: Carta di Hoek e Marinos, 2000 per la determinazione del GSI – Ug2 e Ug3

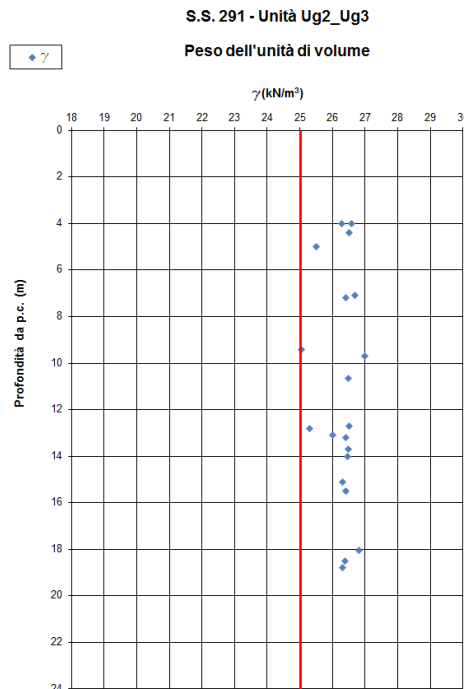


Figura 5.28: Peso dell'unità di volume – Ug2 e Ug3

Il calcolo dei parametri Hoek Brown, utilizzati per la definizione dell'ammasso calcareo, viene eseguito assegnando un indice di classificazione GSI =40 e $\sigma_{ci} = 60$ MPa per le unità Ug2 e Ug3 ricadenti nel asse B e D, e un indice GSI=35 e $\sigma_{ci} = 32$ MPa per le stesse unità geotecniche che ricadono nel asse C. Si assumono quindi le seguenti posizioni:

$m_i = 8$

$\gamma = 25$ kN/m³ peso dell'unità di volume

MR= 900

D=0.7 fattore di disturbo

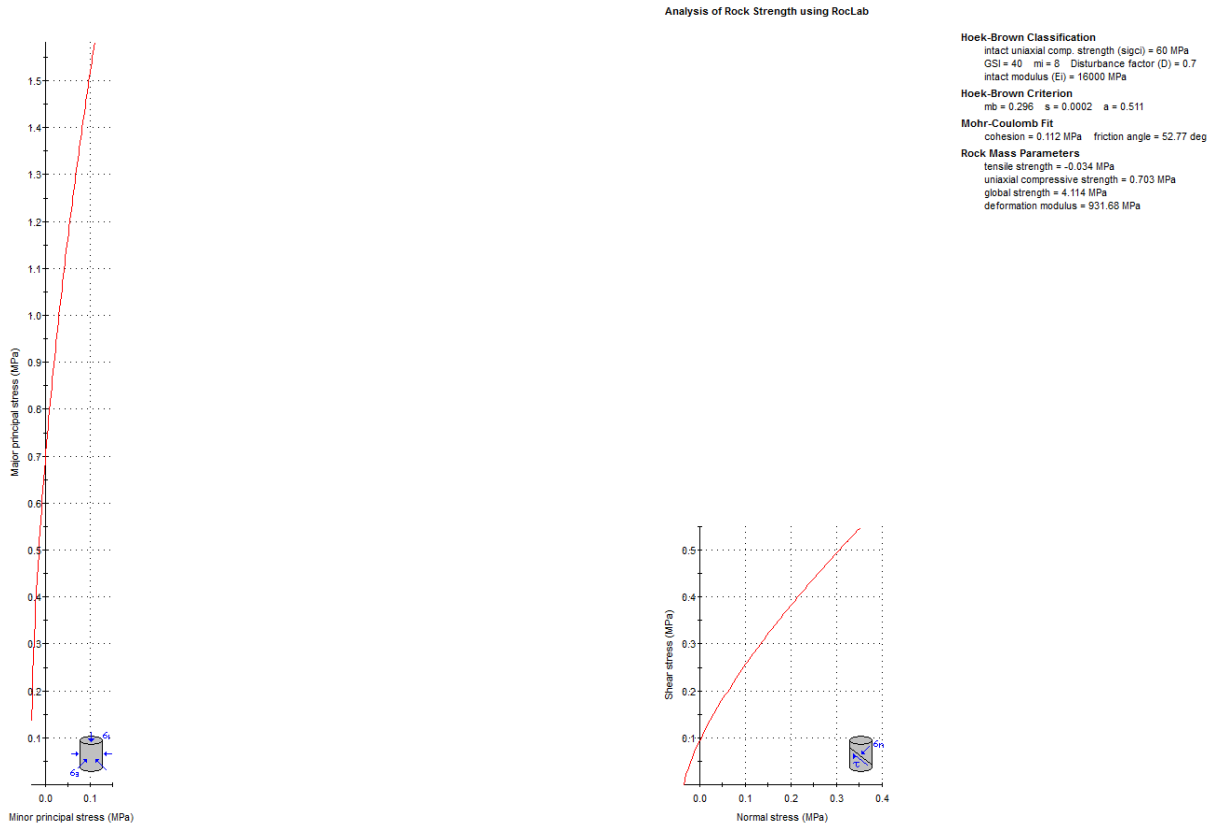


Figura 5.29: Criteri di Rottura di H-B e M-C per GSI = 40 e $\sigma_{ci}=60$ Mpa – UG2 e UG3

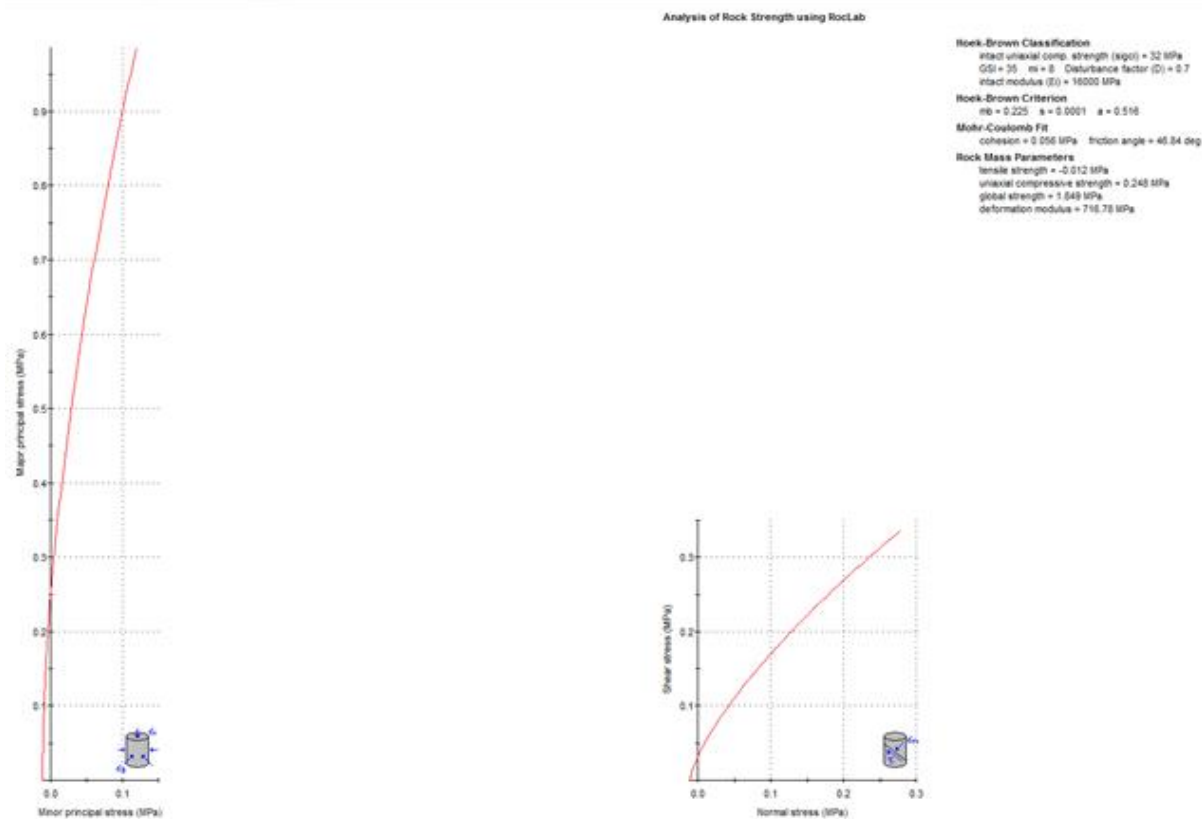


Figura 5.30: Criteri di Rottura di H-B e M-C per $GSI = 35$ e $\sigma_{ci} = 32$ MPa

Per le unità geotecniche Ug2 e Ug3 si considerano i seguenti parametri geotecnici:

$\gamma = 25 \div 27$ kN/m ³	peso dell'unità di volume;
$c' = 55 \div 110$ kPa	coesione;
$\varphi = 46 \div 50^\circ$	angolo di attrito;
$E = 930$ MPa	modulo Elastico;
$\nu = 0,15$	coefficiente di Poisson.

5.2.2 Calcareniti estremamente fratturate – UG4

La caratterizzazione geomeccanica dell'unità "Ug4" è stata eseguita a partire dai valori della resistenza a compressione uniassiale σ_{ci} , ottenuta sui campioni indisturbati di roccia intatta, dalle caratteristiche delle superfici dei giunti e dalla spaziatura (valore dell'indice GSI) nonché dal valore dell'indice m_i associato al tipo di roccia. In particolare, è stato assunto un intervallo di σ_{ci}

pari a 20 ÷ 25 MPa e un valore di m_i pari a 8 (8 ± 3), ricavato da dati di letteratura per rocce sedimentarie (calcare micritico – Hoek et al.).

Il GSI è stato determinato qualitativamente (abaco di Hoek e Marinos, 2000), sulla base delle sole indagini geotecniche considerando per l'ammasso una struttura di tipo "Very Blocky" e per le superfici delle condizioni di tipo "Fair/Poor". Per l'unità in esame è stato quindi assunto un intervallo del GSI pari a 20 ÷ 25.

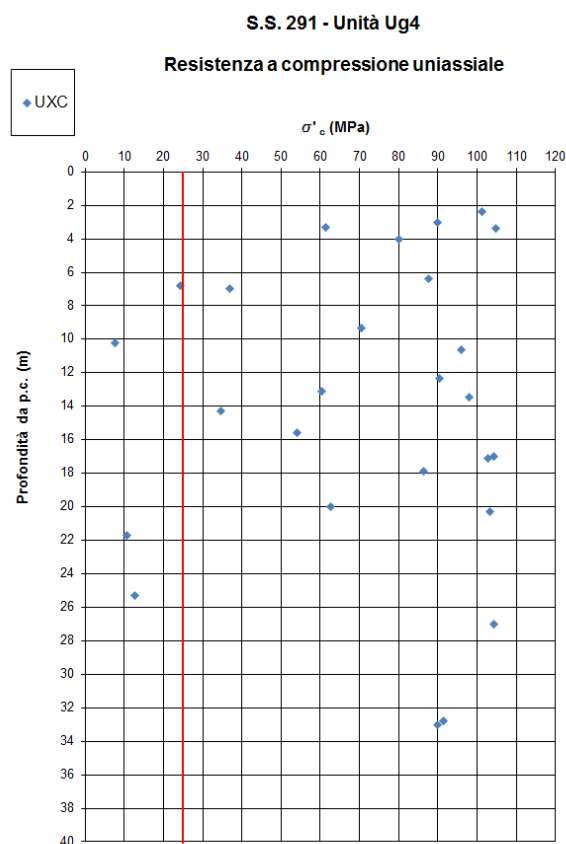


Figura 5.31: Resistenza a compressione uniassiale – Ug4

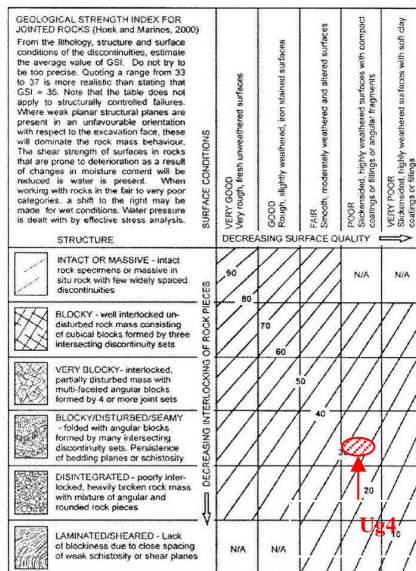


Figura 5.32: Carta di Hoek e Marinos, 2000 per la determinazione del GSI – Ug4

Quindi il calcolo dei parametri Hoek Brown, utilizzati per la definizione dell'ammasso calcareo, viene eseguito assegnando un indice di classificazione GSI =20 con le seguenti posizioni:

$m_i = 8$

$\sigma_{ci} = 20 \text{ MPa}$ resistenza a compressione uniassiale

$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ peso dell'unità di volume

$MR = 900$

$D = 0,7$ fattore di disturbo

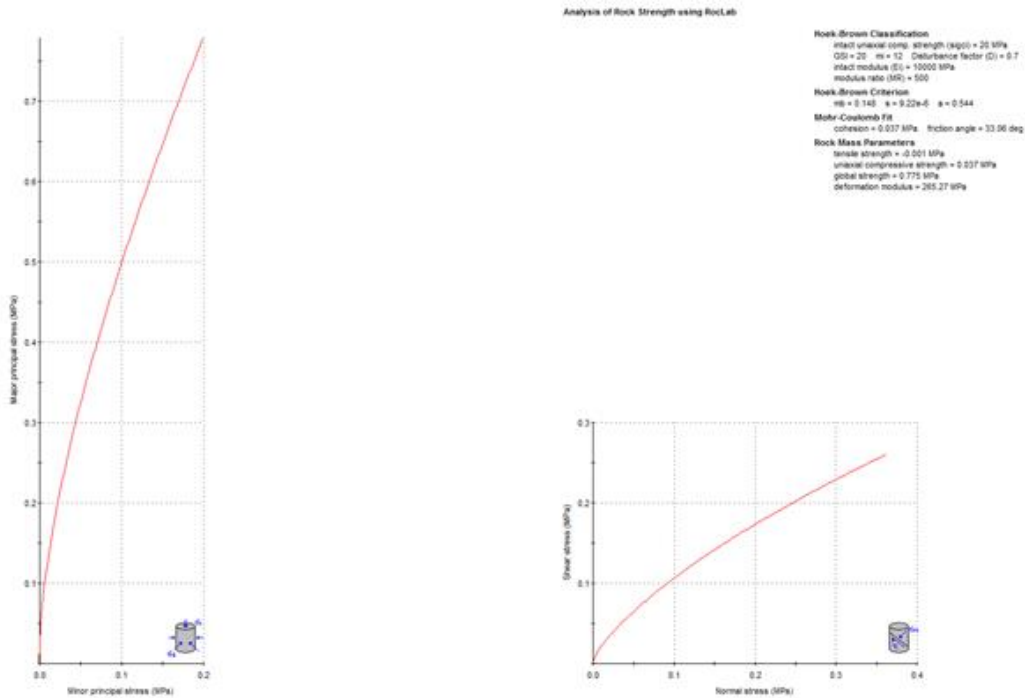


Figura 5.33: Criteri di Rottura di H-B e M-C per GSI 20 – UG4

Per l'unità geotecnica "Ug4" si considerano i seguenti parametri geotecnici:


$\gamma = 23 \div 25 \text{ kN/m}^3$ peso dell'unità di volume;

$c' = 40 \text{ kPa}$ coesione;

$\varphi = 25 \div 33^\circ$ angolo di attrito;

$E = 265 \text{ MPa}$ modulo Elastico;

$\nu = 0,15$ coefficiente di Poisson.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	


5.4 Falda

L'andamento del pelo libero della falda è stato ricavato dai risultati degli studi geognostici tramite l'installazione di piezometri a tubo aperto e l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche con piezocono CPTU, da cui si evince:

- ASSE B
 - ❑ **dal km 0+600 al km 0+760**
livello di falda a profondità di 1,5 ÷ 3,0 m dal piano di campagna all'interno delle unità superficiali di UG1 e UG7;
 - ❑ **km 2+260**
livello di falda a profondità di 1,5 m dal piano di campagna al contatto tra l'unità UG1 e l'unità UG4. A causa del contatto stratigrafico omogeneo che si presenta tra le progressive 1+540 e 2+720 il livello di falda determinato nel sondaggio S5D può essere considerato uniforme in tutta l'area;
 - ❑ **dal km 2+780 al km 2+980**
livello di falda determinato nel sondaggio S6D-PZ alla profondità di 5,0 m dal piano di campagna all'interno dell'unità UG4. Il livello può essere considerato più vicino alla superficie nell'unità UG7.

- ASSE C
 - ❑ **dal km 0+000 al km 0+460**
livello di falda a profondità di 2,0 m dal piano di campagna all'interno delle coltri UG1;
 - ❑ **km 1+020**
livello di falda a profondità di 4,8 m dal piano di campagna all'interno dell'unità UG5. A causa del contatto stratigrafico omogeneo che si presenta tra le progressive 0+600 e 1+880 il livello di falda determinato nel sondaggio S30 può essere considerato uniforme in tutta l'area.

- ASSE D
 - ❑ **km 0+160**
livello di falda a profondità di 2,8 m dal piano di campagna al contatto tra le unità UG1 e UG2. A causa del contatto stratigrafico omogeneo che si presenta tra le progressive 0+000 e 0+480 il livello di falda determinato nel sondaggio S30 può essere considerato uniforme in tutta l'area;
 - ❑ **dal km 0+480 al km 0+680**

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

livello di falda a profondità di ,9 m dal piano di campagna all'interno delle unità superficiali di UG1 e UG7;

❑ **km 2+700**

livello di falda a profondità di 3,9 m dal piano all'interno dell'unità UG2. A causa del contatto stratigrafico omogeneo che si presenta tra le progressive 2+220 e 3+160 il livello di falda determinato nel sondaggio S22D può essere considerato uniforme in tutta l'area.

➤ RAMPA ALGERO

❑ **km 0+160**

livello di falda a profondità di 2,9 m dal piano di campagna al contatto tra le unità UG1 e UG4. Il livello determinato nel sondaggio S21D può essere esteso in tutta l'area a causa dell'omogeneità della stessa.

➤ RAMPA BIDIREZIONALE E RAMPA SUD

❑ **km 0+160**

livello di falda a profondità di 2,9 m dal piano di campagna al contatto tra le unità UG1 e UG4. Il livello determinato nel sondaggio S21D può essere esteso in tutta l'area a causa dell'omogeneità della stessa.


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

5.5 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 varie campagne di indagini, sia sulla base dei risultati ottenuti dalle prove svolte in sito, 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

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA29	Relazione geotecnica generale	

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 dei parametri fisico-meccanici dei terreni individuati minimi e medi, quando disponibili, 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 naturale γ_n ;
- coesione non drenata c_u ;
- coesione effettiva c' ;
- angolo d'attrito effettivo φ' ;
- resistenza a rottura della roccia intatta σ_{ci} ;
- Geological strength index GSI;
- modulo di Young operativo E'_{op} ;
- modulo edometrico E_{ed} ;
- modulo di Young dell'ammasso roccioso E_{rm} .

Unità	γ_n [kN/m ³]		E'_{op} [MPa]		E_{ed} [MPa]		φ [°]		c [kPa]		c_u [kPa]	
	min	med	min	med	min	med	min	med	min	med	min	med
UG1	17,0	18,0	10	15	-	-	30	32	-	-	-	-
UG5	16,0	18,0	38	40	-	-	30	35	-	-	-	-
UG6	16,0	17,0	-	-	7,0	8,5	-	-	30	40	40,0	100,0
UG7	17,0	18,0	4	15	-	-	30	32	-	-	-	-
UG8	18,5	20,1	-	-	-	12,8	-	-	-	90	40,5	127,1

Tabella 5.4: Caratteristiche di progetto dei terreni sciolti

Unità	γ [kN/m ³]		σ_{ci} [MPa]		m_i [-]	MR [-]	GSI [-]		c' [MPa]		φ' [°]		E_{rm} [MPa]	ν [-]
	min	med	min	med			min	max	min	med	min	med		
UG2	25,0	26,4	32	46	8	900	30	45	55	70	46	47	930	0,15
UG3	25,0	26,4	32	46	8	900	30	45	55	70	46	47	930	0,15
UG4	23,0	25,0	20	23	8	900	20	25	-	40	25	33	265	0,15

Tabella 5.5: Caratteristiche di progetto delle rocce lapidee

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	


5.6 Caratterizzazione sismica dei terreni

La caratterizzazione sismica dei terreni è stata sviluppata nella Relazione Sismica T00SG01GETRE01A, alla quale si rimanda per i dettagli.

Nella tabella che segue si riportano per ciascun tratto omogeneo individuato la categoria di suolo equivalente.

Asse	Progressive tracciato	Categoria di sottosuolo
B	0+000 – 0+135	D
B	0+135 – 2+630	B
B	2+630 – 3+200	E
B	3+200 – 3+570	B
C	0+000 – 0+680	D
C	0+680 – 3+195	B
D	0+700 – 3+160	B
Rampa Alghero	0+000 – 0+040	A
Rampa Alghero	0+040 – 0+642	B
Rampa bidirezionale	0+000 – 0+040	B
Rampa bidirezionale	0+040 – 0+280	A
Rampa bidirezionale	0+280 – 0+564	B
Rampa sud	–	B

Tabella 5.6: Categorie di sottosuolo e velocità di taglio equivalenti

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

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 ÷ 08A si illustrano i terreni di fondazione presenti lungo il profilo longitudinale in asse del tracciato.

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

6.1 Viadotti – Ponti

I rapporti che intercorrono tra i viadotti e i ponti 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, estratti dai profili geotecnici generali in scala 2000:200, 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. Per la lunghezza dei pali di fondazione si rimanda agli elaborati specifici di ciascun'opera.

La sostanziale corrispondenza di asse sinistro e destro permette di approssimare le fondazioni dei viadotti in maniera omogenea nelle corrispettive pile. Queste verranno quindi identificate, nei paragrafi successivi, con un unico nome e omogenee fondazioni.

6.1.1 Ponte Rio Serra

Il Ponte Rio Serra si estende lungo l'asse B tra le progressive 0+584 e 0+784 in asse sinistro e tra le progressive 0+579 e 0+779 in asse destro. È stato possibile caratterizzare i terreni di fondazione del ponte, distinguendo le unità geologiche e geotecniche, tramite i sondaggi:

- S2, S3, S4, S5 e S6, svolti nel 2004;
- S1D, S2D, S3D, S9D e S10D, svolti nel 2015.

I terreni di fondazione del ponte sono leggermente eterogenei. Si distingue uno strato di alluvioni UG7 superficiale con profondità massime di 12 m alternato a coltri UG1 con spessori fino a 5 m.

Nel substrato si individuano, fino alle quote di fine sondaggio, ammassi rocciosi che tendono a presentarsi meno fratturati con la profondità.

Nel dimensionamento strutturale dei micropali di fondazione la falda non è stata considerata.

I rapporti che intercorrono tra il ponte e i terreni di fondazione sono illustrati, a titolo di esempio, nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.

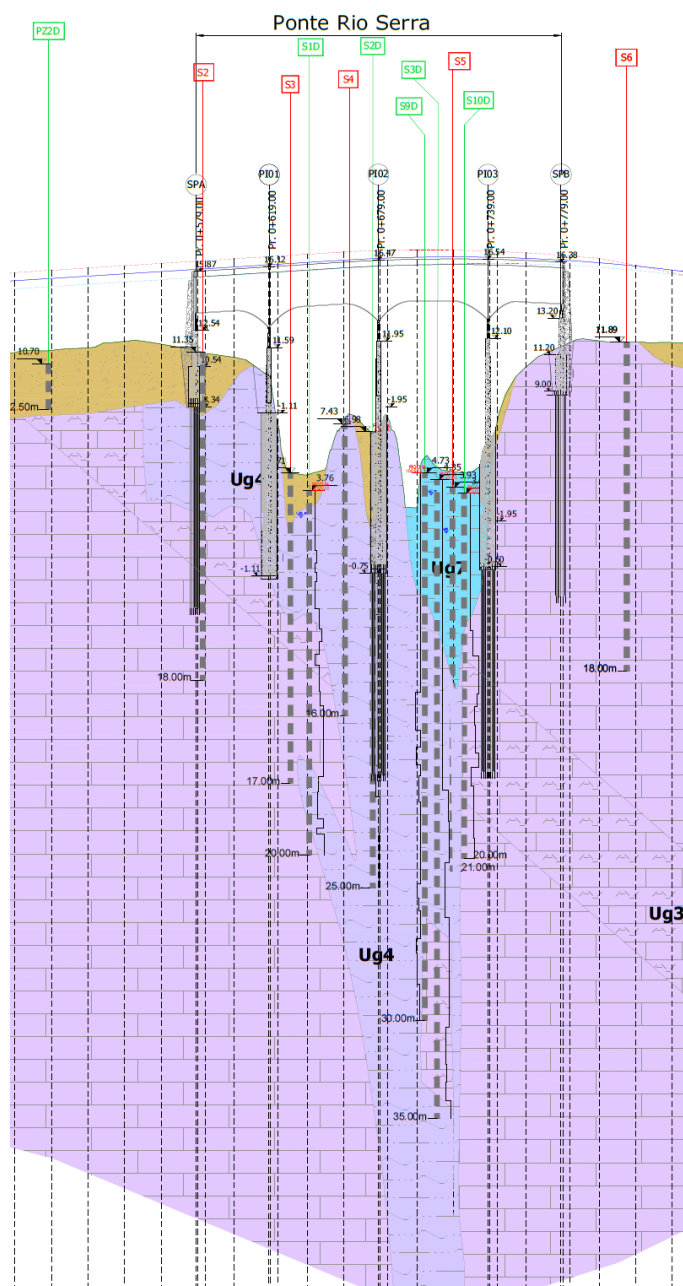



Figura 6.1: Ponte Rio Serra – schema fisico di riferimento

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Sono stati scelti dei micropali $\Phi 300$ con una lunghezza compresa tra 8 e 11 m per ogni pila del viadotto ad esclusione della P1, dove le ottime caratteristiche del terreno di fondazione permettono di realizzare la fondazione in maniera diretta. La progettazione, esposta in maniera esaustiva negli elaborati specifici per ogni opera, è stata eseguita considerando le profondità rispetto alla quota della fondazione e utilizzando i seguenti schemi di calcolo:

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPA	1	0,00	6,00	UG4
	2	6,00	9,50	UG3
	3	9,50	50,00	UG2

Tabella 6.1: Ponte Rio Serra – Spalla A

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P1	1	0,00	50,00	UG4

Tabella 6.2: Ponte Rio Serra – Pila 1

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P2	1	0,00	50,00	UG4

Tabella 6.3: Ponte Rio Serra – Pila 2


Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P3	1	0,00	7,00	UG2
	2	7,00	15,00	UG3
	3	15,00	50,00	UG2

Tabella 6.4: Ponte Rio Serra – Pila 3

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPB	1	0,00	50,00	UG2

Tabella 6.5: Ponte Rio Serra – Spalla B

Si rimanda agli elaborati specialistici dell'opera per ulteriori informazioni. In particolare le relazioni T01VI01STRRE01÷04A e la tavola T01VI01STRFG01A.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

6.1.2 Ponte Rio Calvia 1

Il Ponte Rio Calvia 1 si estende lungo l'asse B tra le progressive 2+798 e 2+998. È stato possibile caratterizzare i terreni di fondazione del ponte, distinguendo le unità geologiche e geotecniche, tramite i sondaggi:

- S20, svolto nel 2004;
- S7D, S8D e S6D-PZ, svolti nel 2015.

I terreni di fondazione del ponte sono omogenei. Si distingue uno strato di alluvioni UG7 superficiale con profondità massime di 12 m a ricoprimento dell'ammasso roccioso UG4 costituente il substrato che si estende fino a quota di fine sondaggio.

Nel dimensionamento strutturale dei micropali di fondazione la falda non è stata considerata.

I rapporti che intercorrono tra il ponte e i terreni di fondazione sono illustrati, a titolo di esempio, nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.

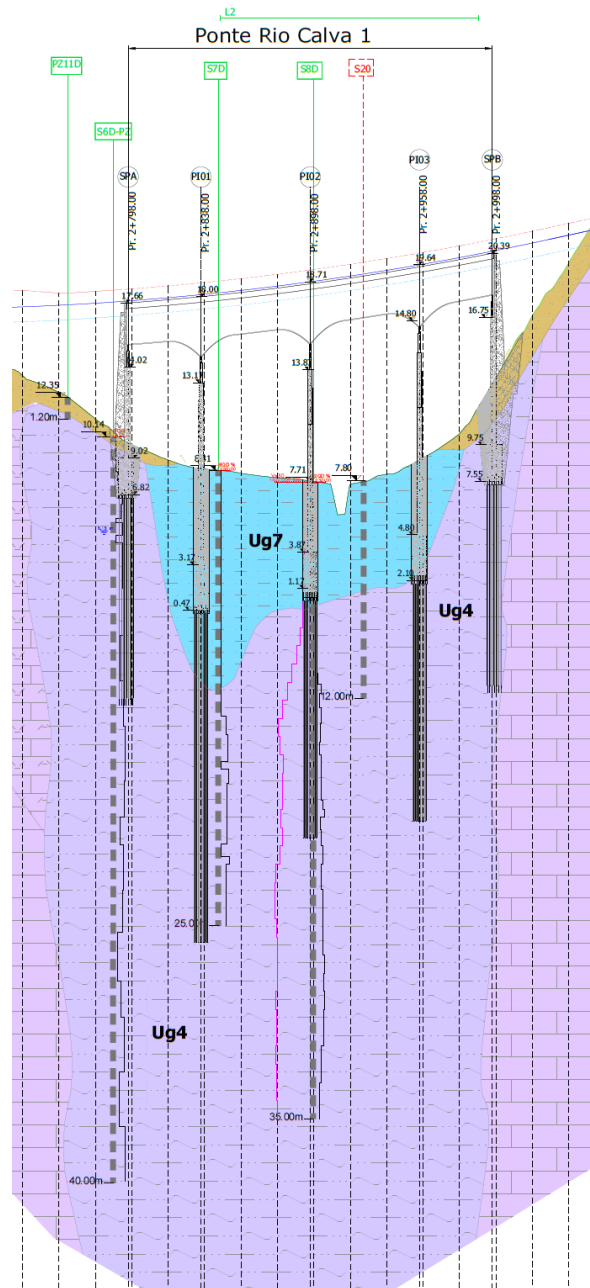


Figura 6.2: Ponte Rio Calvia 1 – schema fisico di riferimento

Sono stati scelti dei micropali $\Phi 300$ con una lunghezza compresa tra gli 11 e i 13 m. La progettazione, esposta in maniera esaustiva negli elaborati specifici per ogni opera, è stata eseguita considerando le profondità rispetto alla quota della fondazione e utilizzando i seguenti schemi di calcolo:

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPA	1	0,00	50,00	UG4

Tabella 6.6: Ponte Rio Calvia 1 – Spalla A

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P1	1	0,00	4,90	UG7
	2	4,90	47,00	UG4

Tabella 6.7: Ponte Rio Calvia 1 – Pila 1

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P2	1	0,00	0,80	UG7
	2	0,80	42,90	UG4

Tabella 6.8: Ponte Rio Calvia 1 – Pila 2

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P3	1	0,00	50,00	UG4

Tabella 6.9: Ponte Rio Calvia 1 – Pila 3

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPB	1	0,00	6,00	UG4
	2	6,00	47,00	UG2


Tabella 6.10: Ponte Rio Calvia 1 – Spalla B

Si rimanda agli elaborati specialistici dell'opera per ulteriori informazioni. In particolare le relazioni T01VI02STRRE01÷04A e la tavola T01VI02STRFG01A.

6.1.3 Viadotto Ferrovia

Il Viadotto Ferrovia si estende lungo l'asse C tra le progressive 0+069 e 0+459. È stato possibile caratterizzare i terreni di fondazione del viadotto, distinguendo le unità geologiche e geotecniche, tramite i sondaggi:

- S5, S14, Si2, S15, Si3 e S16 svolti nel 2004;

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

- S26, S27 e S29 svolti nel 2016;
- S25D e S37D svolti nel 2017.

I terreni di fondazione del viadotto sono mediamente omogenei. Si distingue uno strato di coltre UG1 con spessori massimi di 16 m. al di sotto di UG1 si presentano argille delle unità UG6 e UG8, le prime con spessori massimi di 34 m, le seconde con spessori che raggiungono fine sondaggio. Nella porzione finale del viadotto le argille di fondazione vengono sostituite da piroclastici UG5.

La falda è stata considerata alla quota di 2,5 m da p.c.

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

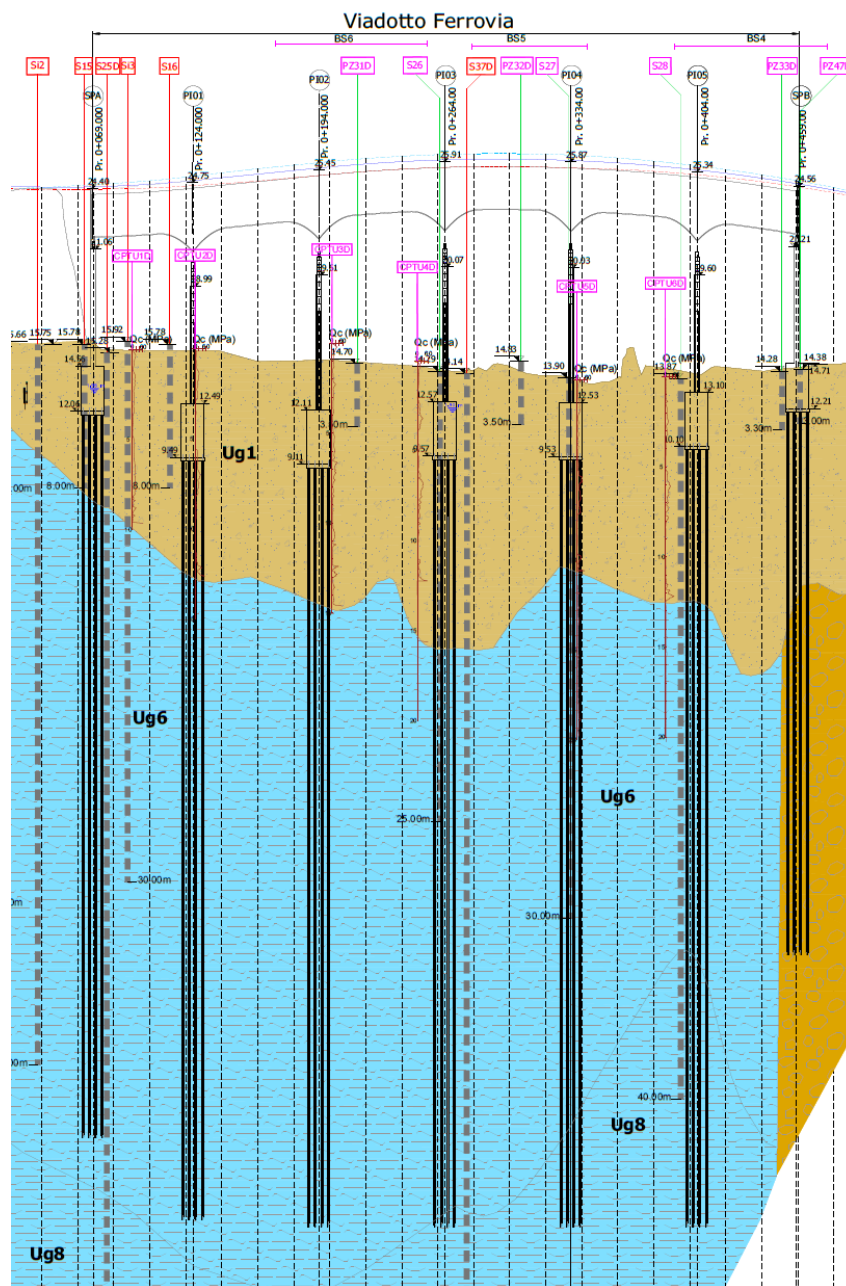



Figura 6.3: Viadotto Ferrovia – schema fisico di riferimento

A seguito delle indagini integrative del 2017 che hanno permesso una più completa caratterizzazione dei terreni di fondazione, per la realizzazione delle fondazioni del viadotto sono stati scelti dei pali $\Phi 1200$ con una lunghezza compresa tra i 30 e i 42 m che vanno a sostituire le precedenti fondazioni su pozzi. La progettazione, esposta in maniera esaustiva negli elaborati

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

specifici per ogni opera, è stata eseguita considerando le profondità rispetto al piano campagna e utilizzando i seguenti schemi di calcolo:

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPA	1	0,00	7,50	UG1
	2	7,50	50,00	UG6

Tabella 6.11: Viadotto Ferrovia – Spalla A

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P1	1	0,00	11,00	UG1
	2	11,00	52,00	UG6

Tabella 6.12: Viadotto Ferrovia – Pila 1

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P2	1	0,00	11,00	UG1
	2	11,00	52,00	UG6

Tabella 6.13: Viadotto Ferrovia – Pila 2

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P3	1	0,00	11,00	UG1
	2	11,00	52,00	UG6


Tabella 6.14: Viadotto Ferrovia – Pila 3

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P4	1	0,00	11,00	UG1
	2	11,00	52,00	UG6

Tabella 6.15: Viadotto Ferrovia – Pila 4

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P5	1	0,00	11,00	UG1
	2	11,00	52,00	UG6

Tabella 6.16: Viadotto Ferrovia – Pila 5

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPB	1	0,00	12,00	UG1
	2	12,00	50,00	UG5

Tabella 6.17: Viadotto Ferrovia – Spalla B

Si rimanda agli elaborati specialistici dell'opera per ulteriori informazioni. In particolare le relazioni T02VI01STRRE01÷02A e la tavola T02VI01STRFG01A.

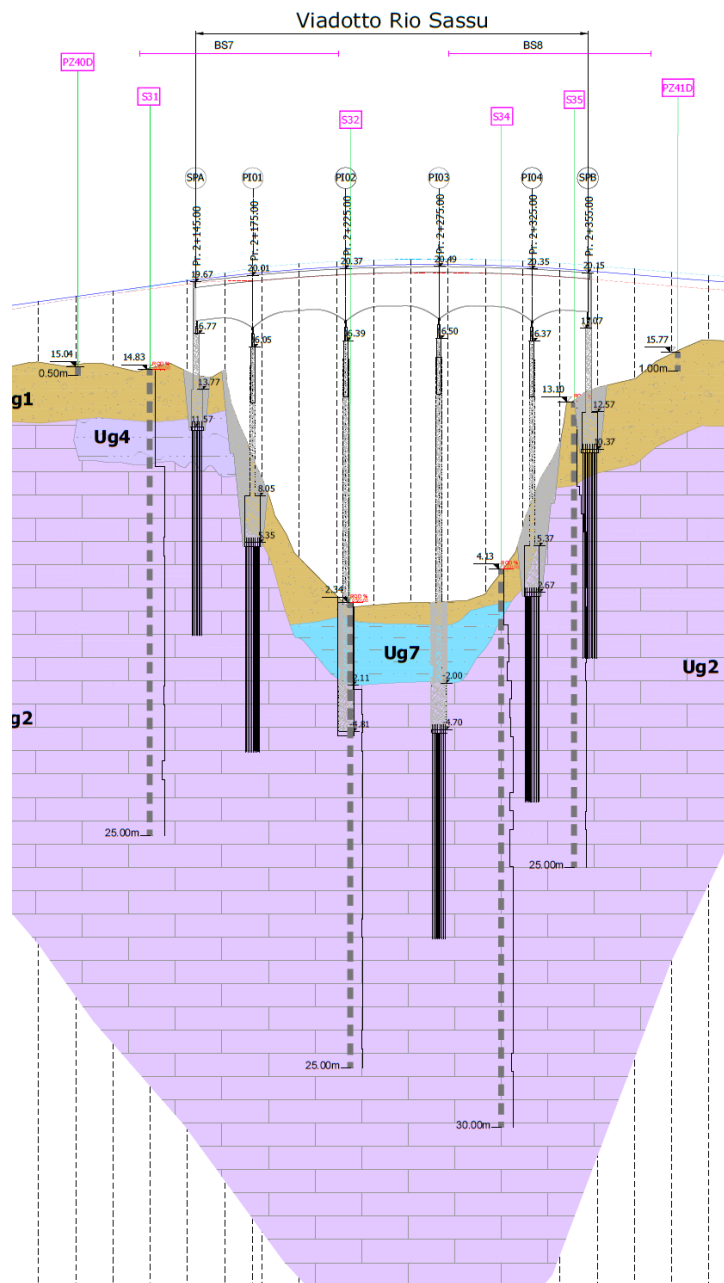
6.1.4 Ponte Rio Sassu

Il Ponte Rio Calvia 1 si estende lungo l'asse C tra le progressive 2+145 e 2+355. È stato possibile caratterizzare i terreni di fondazione del ponte, distinguendo le unità geologiche e geotecniche, tramite i sondaggi S31, S32, S34 e S35, svolti nel 2015.

I terreni di fondazione del ponte sono omogenei. Si distingue uno strato di coltri UG1 e alluvioni UG7 superficiali con profondità massime di 3 m a ricoprimento dell'ammasso roccioso UG2 costituente il substrato che si estende fino a quota di fine sondaggio.

Nel dimensionamento strutturale dei micropali di fondazione la falda non è stata considerata.

I rapporti che intercorrono tra il ponte e i terreni di fondazione sono illustrati, a titolo di esempio, nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.



Sono stati scelti dei micropali $\Phi 300$ con una lunghezza compresa tra gli 8 e gli 11 m per ogni pila del viadotto ad esclusione della P2, dove le ottime caratteristiche del terreno di fondazione permettono di realizzare la fondazione in maniera diretta. La progettazione, esposta in maniera esaustiva negli elaborati specifici per ogni opera, è stata eseguita considerando le profondità rispetto alla quota della fondazione e utilizzando i seguenti schemi di calcolo:

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPA	1	0,00	5,00	UG4
	2	5,00	50,00	UG2

Tabella 6.18: Ponte Rio Sassu – Spalla A

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P	1	0,00	50,00	UG2

Tabella 6.19: Ponte Rio Sassu – Pila 1

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P	1	0,00	50,00	UG2

Tabella 6.20: Ponte Rio Sassu – Pila 2

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P	1	0,00	50,00	UG2

Tabella 6.21: Ponte Rio Sassu – Pila 3


Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P	1	0,00	50,00	UG2

Tabella 6.22: Ponte Rio Sassu – Pila 4

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPB	1	0,00	4,00	UG1
	2	4,00	50,00	UG2

Tabella 6.23: Ponte Rio Sassu – Spalla B

Si rimanda agli elaborati specialistici dell'opera per ulteriori informazioni. In particolare le relazioni T02VI02STRRE01÷03A e la tavola T02VI02STRFG01A.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

6.1.5 Ponte Rio Calvia 2

Il Ponte Rio Calvia 2 si estende lungo l'asse B tra le progressive 0+481 e 0+661 in asse sinistro e tra le progressive 0+468 e 0+648 in asse destro. È stato possibile caratterizzare i terreni di fondazione del ponte, distinguendo le unità geologiche e geotecniche, tramite i sondaggi:

- S28 e S29 svolti nel 2004;
- S15D-DH, S16D e S17D svolti nel 2015.

I terreni di fondazione del ponte sono leggermente eterogenei. Si distingue uno strato di coltre UG1 con lenti di alluvioni UG7 e spessori massime di 3 m. Nel substrato si alternano, dall'alto verso il basso, le unità UG3, Ug4 e Ug2, con spessori massimi rispettivamente di 17 m, 10 m e fino a quota di fine sondaggio.

Nel dimensionamento strutturale dei micropali di fondazione la falda non è stata considerata.

I rapporti che intercorrono tra il ponte e i terreni di fondazione sono illustrati, a titolo di esempio, nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.

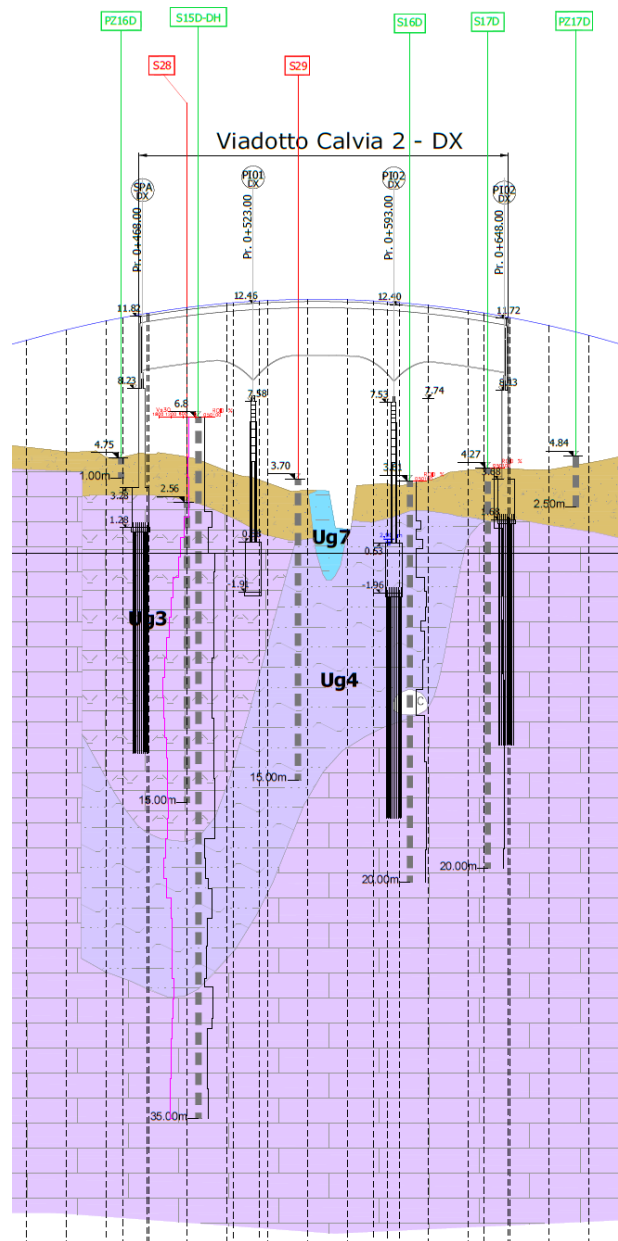


Figura 6.5: Ponte Rio Calvia 2 – schema fisico di riferimento

Sono stati scelti dei micropali $\Phi 300$ con una lunghezza compresa tra gli 8 e gli 11 m per ogni pila del viadotto ad esclusione della P1, dove le ottime caratteristiche del terreno di fondazione permettono di realizzare la fondazione in maniera diretta. La progettazione, esposta in maniera esaustiva negli elaborati specifici per ogni opera, è stata eseguita considerando le profondità rispetto alla quota della fondazione e utilizzando i seguenti schemi di calcolo:

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPA	1	0,00	14,00	UG3
	2	14,00	50,00	UG4

Tabella 6.24: Ponte Rio Calvia 2 – Spalla A

Allineamento	Strat	da [m]	a [m]	Unità
P1	1	0,00	14,00	UG3
	2	14,00	50,00	UG4

Tabella 6.25: Ponte Rio Calvia 2 – Pila 1

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
P2	1	0,00	6,50	UG4
	2	6,50	47,00	UG2

Tabella 6.26: Ponte Rio Calvia 2 – Pila 2

Allineamento	Strato	da [m]	a [m]	Unità
SPB	1	0,00	50,00	UG2

Tabella 6.27: Ponte Rio Calvia 2 – Spalla B


Si rimanda agli elaborati specialistici dell'opera per ulteriori informazioni. In particolare le relazioni T01VI03STRRE01÷02A e la tavola T01VI03STRFG01A.

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 ÷ 08A 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.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

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 ÷ 08A si sono analizzate le seguenti progressive, selezionate tra le condizioni più gravose per spessore degli strati del sottosuolo e altezza del rilevato:

❖ Asse C – Progressiva 0+020


La modifica dello stato di fatto avverrà per mezzo della realizzazione di un rilevato di altezza pari a 9,5 m che poggerà su coltri superficiali e argille del sottofondo, rispettivamente appartenenti alle unità UG1 e alle unità UG6 e UG8.

A causa degli elevanti cedimenti previsti, dovuti alla presenza di terreni coesivi comprimibili, il rilevato verrà realizzato in fasi successive come esposto di seguito:

1. Demolizione rilevato esistente e deposito materiale per riutilizzo;
2. Preparazione piano di posa;
3. Infissione di un sistema di dreni a quinconce con interasse di 2 m e lunghezza di 35 m;
4. Realizzazione del rilevato definitivo fino a quota testa pali con materiali come da capitolato per rilevati stradali;
5. Esecuzione pali spalla;
6. Esecuzione rilevato precarica fino a quota precarica (12,5 m);
7. Permanenza del precarico per un tempo necessario al raggiungimento dei cedimenti di un equivalente rilevato definitivo (\approx 6 mesi);
8. Rimozione totale del rilevato di precarica;
9. Realizzazione spalla;
10. Esecuzione del rilevato definitivo con materiali come da capitolato ed altezza 9,5 m.

Con la fondamentale ipotesi di non considerare la presenza del rilevato attualmente esistente e con riferimento agli step esposti precedentemente, si definiscono due differenti rilevati di interesse per il calcolo dei cedimenti:

Rilevato A) Rilevato definitivo come da punto 10 del precedente elenco, in assenza di interventi di consolidamento;

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

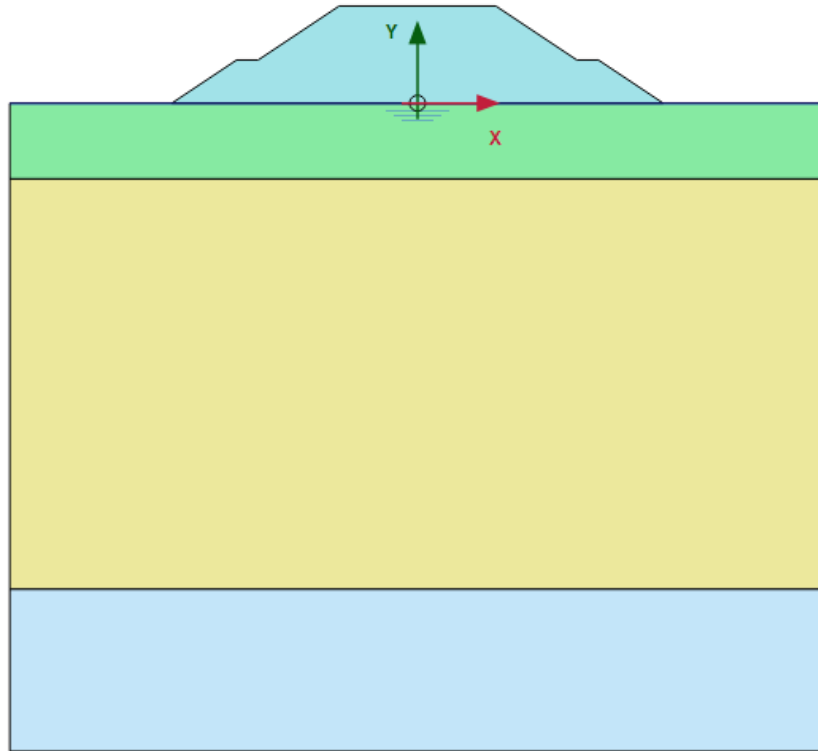



Figura 6.6: asse C - progressiva 0+020, schema di calcolo dei cedimenti – rilevato A

Rilevato B) Rilevato con precarico e dreni a quinconce come da punto 6 del precedente elenco.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

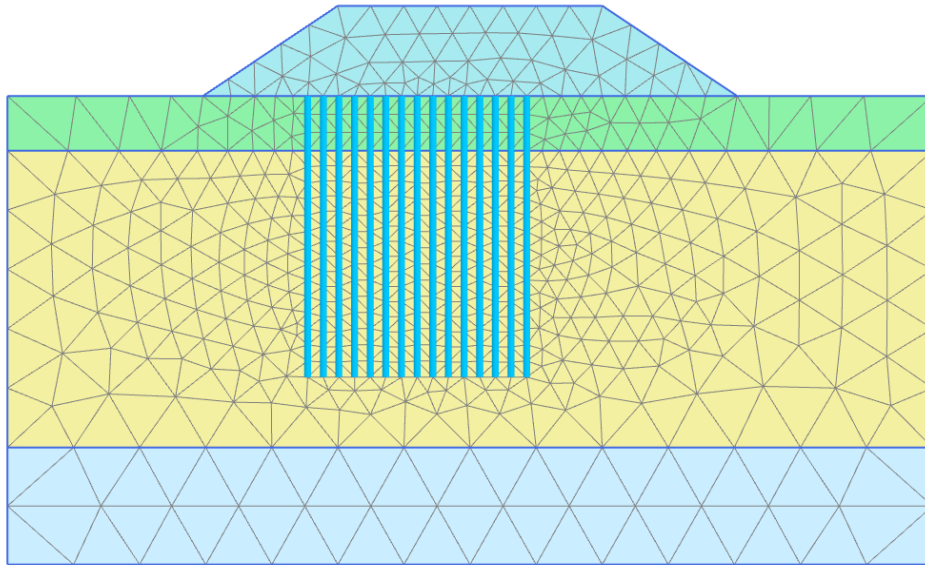


Figura 6.7: asse C - progressiva 0+020, schema di calcolo dei cedimenti – rilevato B

La falda si valuta alla quota del piano campagna.

❖ Asse D – Progressiva 1+360

Il rilevato è alto 9,1 m e poggia su uno strato di UG1 con spessori elevati fino a quota indagata, pari a circa 25 m. La falda viene considerata a quota del piano campagna.

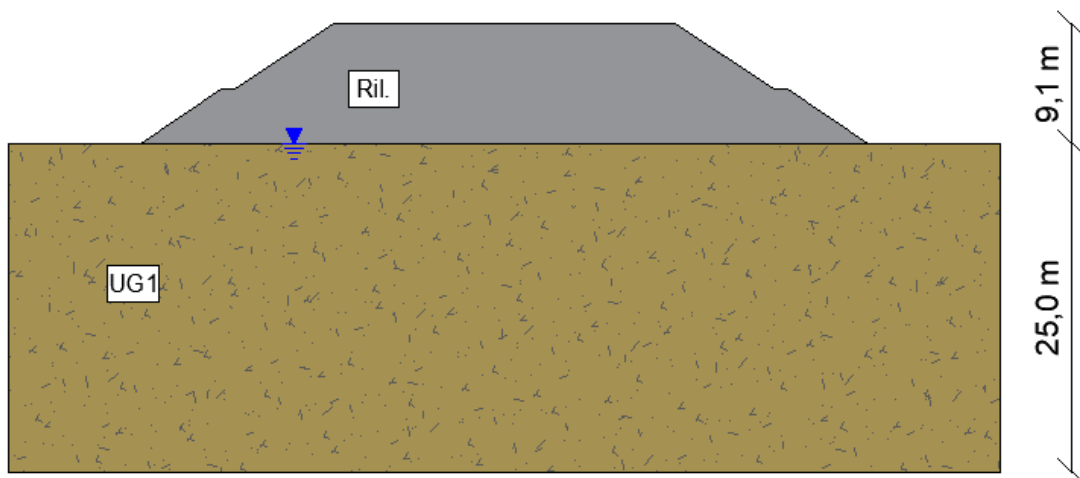



Figura 6.8: asse D - progressiva 1+360, schema di calcolo dei cedimenti

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

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, la scelta del piano di posa dei tratti in rilevato, la stabilità dei pendii naturali e artificiali e le interazioni tra la sovrastruttura e i terreni di fondazione.


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 micropali con diametro $\phi 300$, ad esclusione delle fondazioni del viadotto ferrovia, fondato pali di c.a. di grande diametro ($\phi 1200$) e alle pile P1 del ponte Rio Serra, P1 del ponte Rio Calvia 2 e P2 del viadotto Rio Sassu, fondate su fondazioni dirette grazie alla presenza di rocce appartenenti all'unità UG2. 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 o 2/1 in sezioni in roccia. Qualora gli scavi dovessero raggiungere profondità maggiori di 5 m si interporranno banchine larghe 2 m superati i 5 m di altezza di scavo.

Per quanto riguarda i tratti in rilevato, si prevede lo scotico di almeno i primi 20 cm di terreno a partire dal piano di campagna e l'asportazione di ulteriore strato di spessore variabile da 20 cm a 130 cm, quale bonifica (si veda l'elaborato T00GE00GEORE07A), al fine di garantire l'appoggio dei rilevati su terreni di idonee caratteristiche.


Intervento	Progressiva		Scotico [cm]	Bonifica [cm]
	da [m]	a [m]		
Asse B				
Rilevato	0+000	0+570	40	130
Ponte Rio Serra	0+570	0+785	-	-
Rilevato	0+785	1+745	40	60
Trincea	1+745	1+910	-	-
Rilevato	1+910	2+360	30	100
Trincea	2+360	2+580	-	-
Rilevato	2+580	2+790	30	70
Ponte Rio Calvia 1	2+790	3+015	-	-

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Intervento	Progressiva		Scotico	Bonifica
Rilevato	3+015	3+050	20	-
Trincea	3+050	3+460	-	-
Rilevato	3+460	3+570	20	-
Asse C				
Viadotto Ferrovia	0+000	0+480	-	-
Rilevato	0+480	1+760	40	80
Rilevato	1+760	2+140	40	20
Ponte Rio Sassu	2+140	2+365	-	-
Rilevato	2+365	2+490	50	20
Rilevato	2+490	2+780	30	100
Rilevato	2+780	3+030	50	50
Asse D				
Rilevato	0+000	0+460	30	60
Ponte Rio Calvia 2	0+460	0+680	-	-
Rilevato	0+680	1+900	50	20
Rilevato	1+900	3+160	40	60
Rampe				
Rampa Alghero	0+000	0+642	50	20
Rampa bidirezionale e rampa sud	0+000	0+564	40	-

Tabella 7.1: Spessori di bonifica

Con particolare riferimento al rilevato di precarico (vedi Figura 6.7), a causa della provvisorialità dello stesso, questo verrà costruito con pendenza 2/3 senza berme. Durante la costruzione del rilevato sarà compito dell'azienda esecutrice dei lavori assicurarsi un adeguato costipamento del materiale al fine di garantire la stabilità del rilevato stesso (vedi paragrafo 9.4.3.).

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

8 CALCOLO DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

Nel presente paragrafo si riportano i risultati delle verifiche dei cedimenti dei rilevati 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.

8.1 Caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione

Come mostra il profilo geotecnico, i rilevati poggiano su terreni UG1, che a loro volta ricoprono terreni di natura lapidea, ad esclusione dell'area di interesse del viadotto ferroviario.

Per i terreni non coesivi il calcolo dei cedimenti è stato effettuato secondo la formula sperimentale di Burland & Burbridge.

Per sistemi più complessi multistrato si è utilizzato un modello bidimensionale agli elementi finiti utilizzando il software di calcolo Plaxis 2d.

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.

8.2 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 l'incremento di carico dovuto alla costruzione del rilevato in kPa, B è la larghezza della fondazione, I_c è un indice di compressibilità e f_l fattore di spessore, espressi come seguono:

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

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

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

con H_s altezza di drenaggio, $Z_1 = B \cdot 0,763$ e N è pari a $1,25 \cdot N_{30,medio}$.

8.3 Calcolo dei cedimenti agli elementi finiti

Per il calcolo dei cedimenti in situazioni complesse di terreni multistrato, in presenza di interventi di consolidamento o in situazioni sensibili si ricorre alla modellazione agli elementi finiti al fine di ottenere risultati più realistici possibili.

La modellazione è stata eseguita utilizzando Plaxis 2d.

Il software di calcolo opera sulla base di una modellazione agli elementi finiti in due dimensioni, svolgendo le analisi di deformazione, stabilità e infiltrazione nei terreni. Le singole unità geotecniche vengono modellate distintamente sulla base della definizione di un modello costitutivo adeguato e caratterizzate separatamente attraverso parametri meccanici e di permeabilità.

Il calcolo viene eseguito dal software per step successivi, simulando opportunamente le varie fasi della costruzione, fino al raggiungimento della convergenza. Attraverso queste analisi è possibile determinare in maniera opportuna sia il grado di dissipazione delle sovrappressioni interstiziali, sia, conseguentemente, l'evoluzione dei cedimenti.


8.4 Risultati dei calcoli

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

8.4.1 Spalla A del viadotto ferrovia – asse C – progressiva 0+020

A causa della sensibilità del tratto e della complessità della stratigrafia e degli interventi, i calcoli vengono sviluppati con il software di calcolo Plaxis 2d e con riferimento agli schemi fisici riportati al paragrafo 6.2.

Il modello viene realizzato considerando un legame costitutivo alla Mohr-Coulomb, distinguendo terreni coesivi e non coesivi ed utilizzando i seguenti parametri, opportunamente ridotti in accordo con la normativa vigente.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Terreno	Spessore strato	γ [kN/m ³]	E [MPa]	G [MPa]	ν [-]	c [kPa]	ϕ [°]	c_u [kPa]	k [cm/s]
UG1	7,0	18,0	15	-	0,3	0	32	-	10E-06
UG6	38,0	17,0	-	8,5	0,3	-	-	100	10E-08
UG8	∞	20,0	-	12,8	0,3	-	-	127	10E-08

Tabella 8.1: caratteristiche terreni di fondazione spalla A - viadotto ferrovia

Rilevato A – cedimenti in assenza di interventi di consolidamento

Nella realizzazione del modello si realizzano le successive fasi:

- Condizione geostatica iniziale:

Si considera il terreno nella sua configurazione iniziale e nella sezione più gravosa, combinando la sezione con il rilevato di altezza maggiore e la sezione con lo spessore minore di UG1 (terreno di migliori caratteristiche). A vantaggio di sicurezza non si considera la presenza del rilevato precedentemente esistente.

La falda viene inserita alla quota del piano campagna.

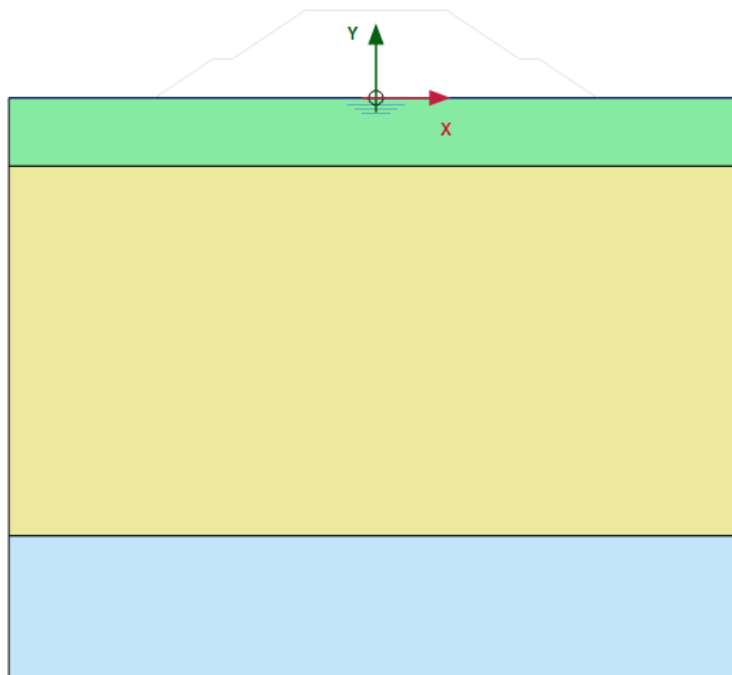



Figura 8.1: rilevato A – condizione geostatica iniziale

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

- Costruzione del rilevato:

La permeabilità esigua delle unità geotecniche non determina una dissipazione delle sovrappressioni interstiziali durante la costruzione del rilevato, stimata in maniera approssimata di durata di 30 giorni. Il modello recepisce deformazioni immediate elastiche dovute al legame costitutivo alla Mohr-Coulomb.

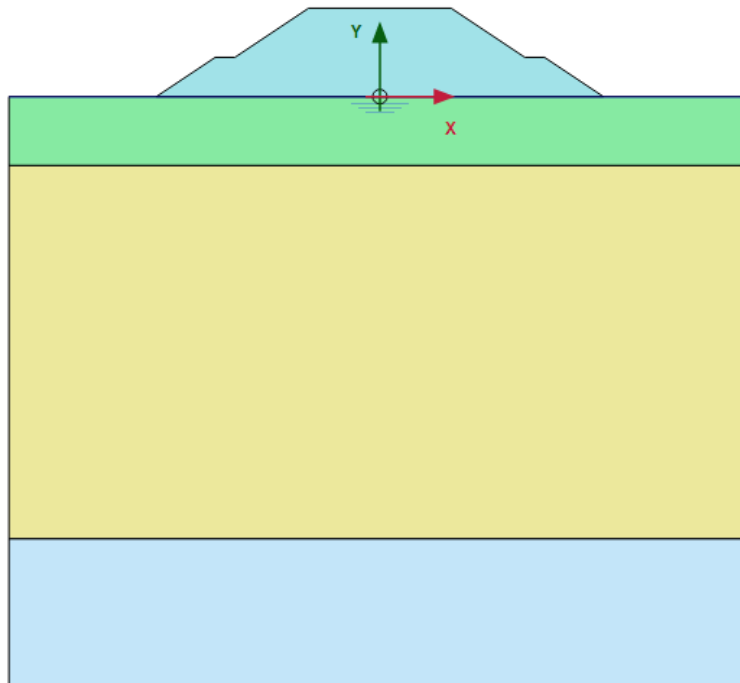


Figura 8.2: rilevato A – costruzione del rilevato finale

- Dissipazione delle sovrappressioni interstiziali:

Imponendo un tempo estremamente lungo, approssimativamente 550 anni, e modellando i confini laterali dell'area studiata permettendo lo scorrimento dell'acqua, si ottiene la seguente mappa dei cedimenti:

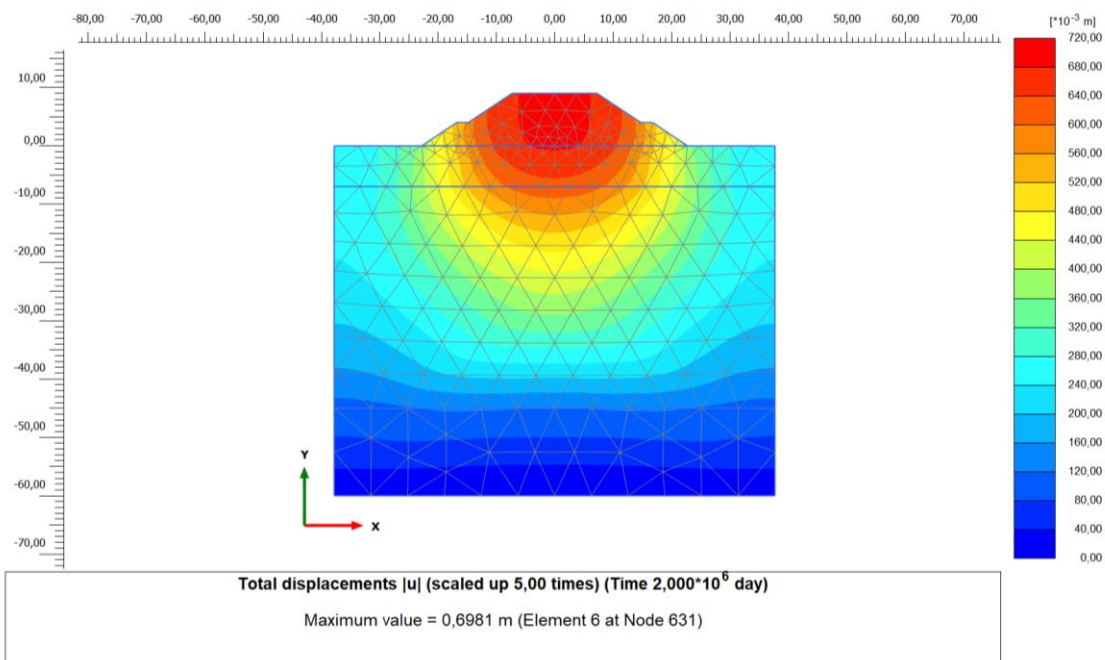


Figura 8.3: rilevato A – mappa dei cedimenti a $t = \infty$

Dalla seguente figura si osserva come le sovrappressioni interstiziali siano state dissipate:

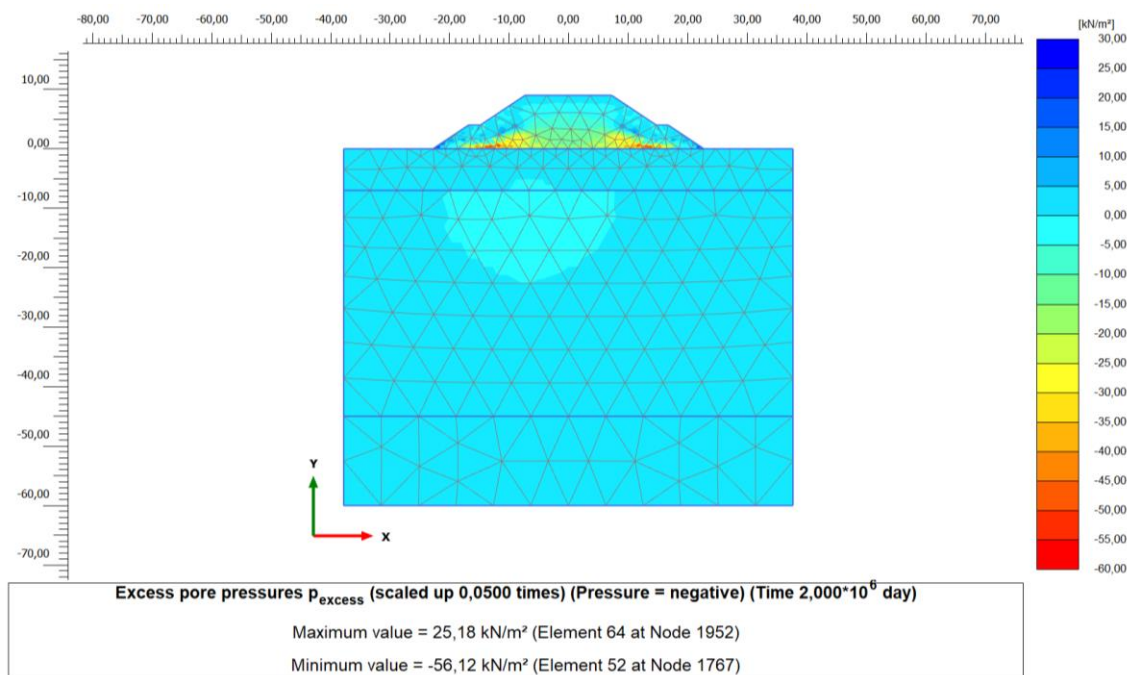



Figura 8.4: rilevato A – sovrappressioni interstiziali a $t = \infty$

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

E il sistema abbia sviluppato i seguenti cedimenti:

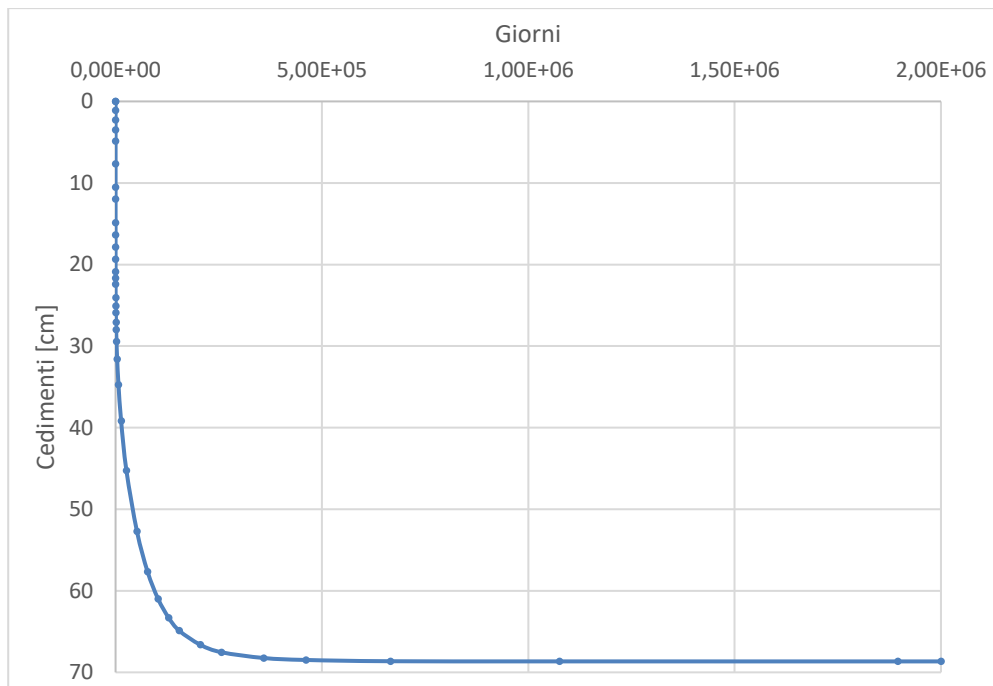


Figura 8.5: rilevato A – cedimento nel tempo

Ottenendo un valore di cedimento massimo in testa al rilevato pari a 69,8 cm.


Rilevato B – cedimenti con interventi di consolidamento

Nella realizzazione del modello si realizzano le successive fasi:

- Condizione geostatica iniziale:

In analogia con il modello sviluppato precedentemente si considera la stessa situazione geostatica iniziale (vedi figura 8.1).

- Installazione dei dreni:

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Vengono installati, fino alla profondità di 35 m dal p.c. e nella posizione prevista da progetto, i dreni verticali a quinconce con interasse di 2 m. Il processo di installazione dei dreni viene considerato istantaneo e non si verificano cedimenti.

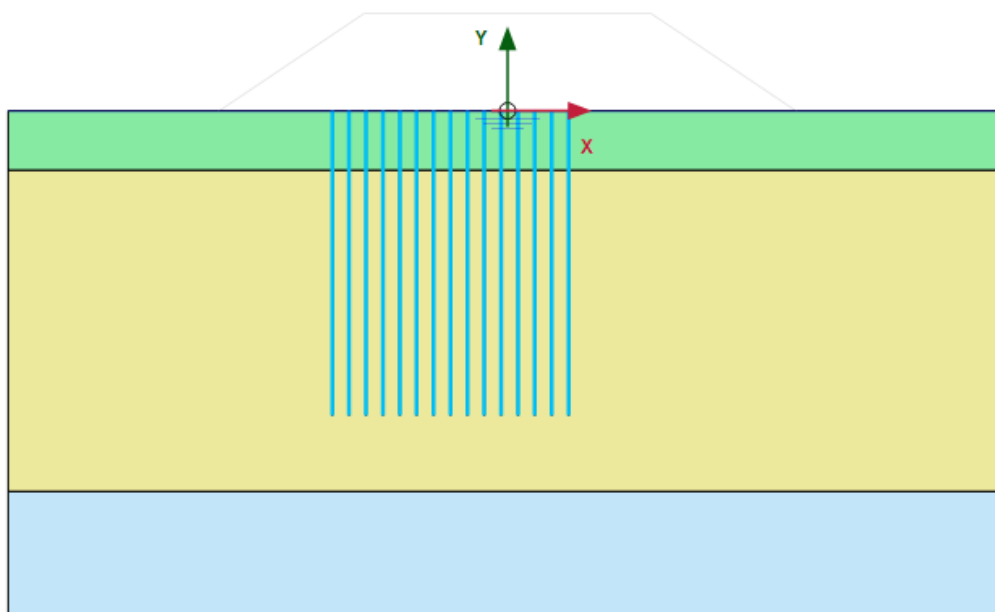


Figura 8.6: rilevato B – installazione dreni

- Costruzione del rilevato:

A causa dell'asimmetria del problema (vedi tavola T02VI01STRDI01A, sezione A-A) viene analizzata la sezione longitudinale del rilevato con la maggiore asimmetria al fine di garantire che, durante la consolidazione, questa non causi cedimenti differenziali rilevanti.

Il rilevato viene modellato con un'altezza di 12,5 m, tenendo conto dei 3 m di precarico.

In virtù della permeabilità esigua delle unità geotecniche la costruzione del rilevato, stimata in maniera approssimata di durata di 30 giorni, non determina una dissipazione delle sovrappressioni interstiziali. Il modello recepisce deformazioni immediate elastiche dovute al legame costitutivo alla Mohr-Coulomb.

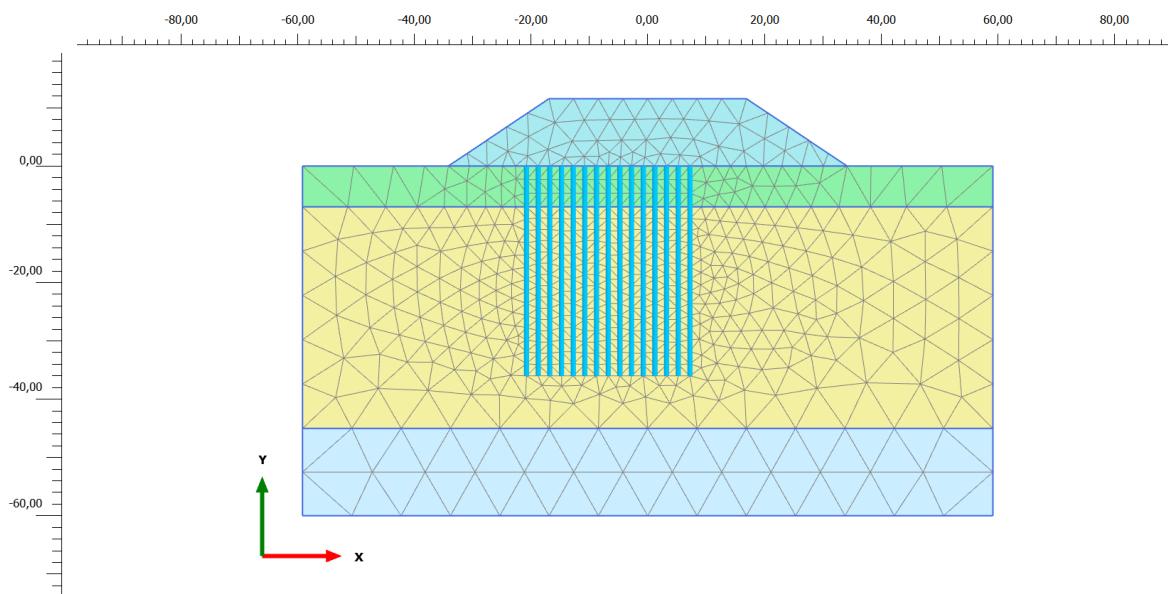


Figura 8.7: rilevato B – costruzione del rilevato di precarica

- Cedimenti in presenza dei dreni:

Mantenendo le stesse condizioni al contorno del modello del rilevato A, al fine di valutare i tempi necessari per il raggiungimento di cedimenti congruenti con i precedenti, il calcolo viene sviluppato al variare del tempo.

Si ottiene la seguente mappa dei cedimenti a 6 mesi:

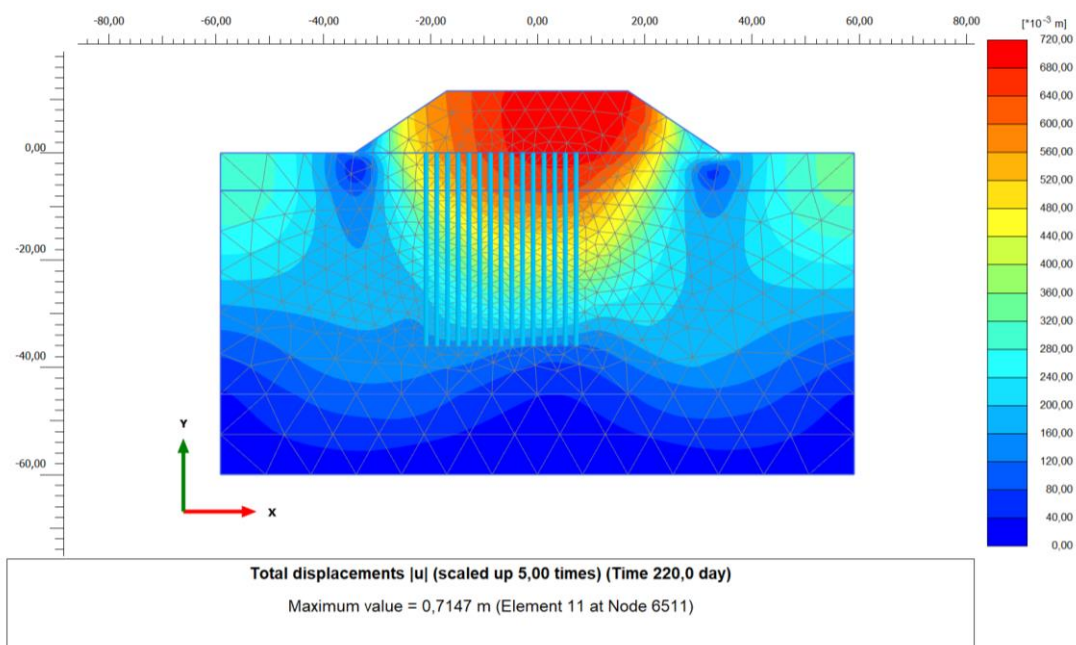


Figura 8.8: rilevato B – mappa dei cedimenti a $t = 6$ mesi

Dalla seguente figura si osserva come le sovrappressioni interstiziali siano state dissipate nell'area intorno ai dreni:

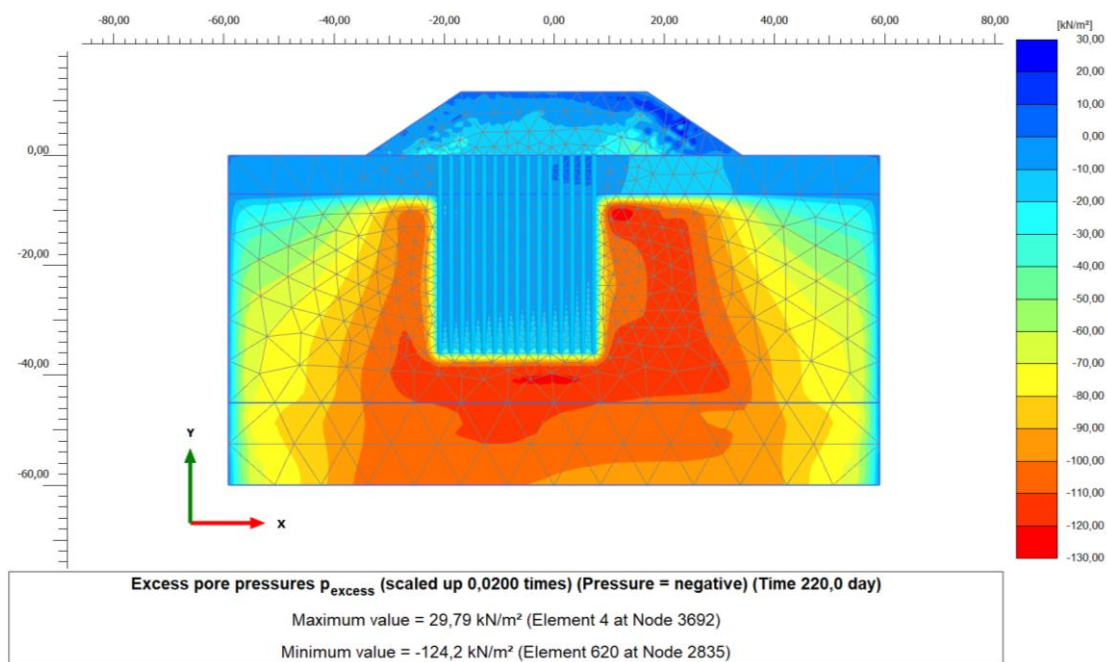



Figura 8.9: rilevato B – sovrappressioni interstiziali a $t = 6$ mesi

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

E il sistema abbia sviluppato i seguenti cedimenti:

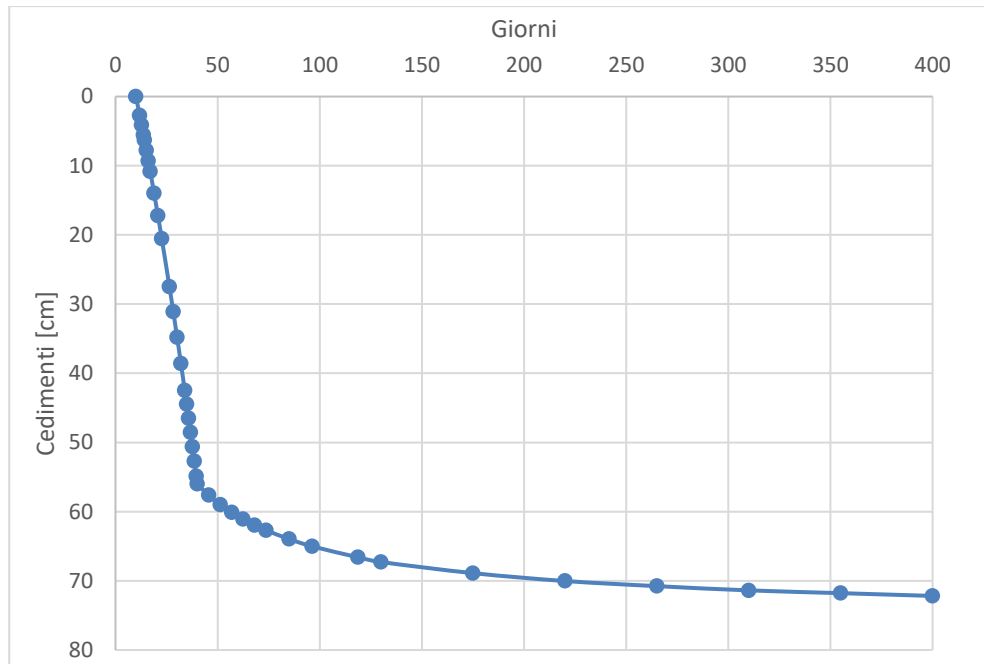


Figura 8.10: rilevato B – cedimento nel tempo

Ottenendo un valore di cedimento totale pari a 71,5 cm a 6 mesi.

Restano da scontare le sovrappressioni interstiziali nell'area non interessata dal sistema drenante. A tempo infinito queste genererebbero ulteriori cedimenti, che vengono tuttavia impediti grazie alla rimozione del rilevato di precarica alla fine dei 6 mesi.

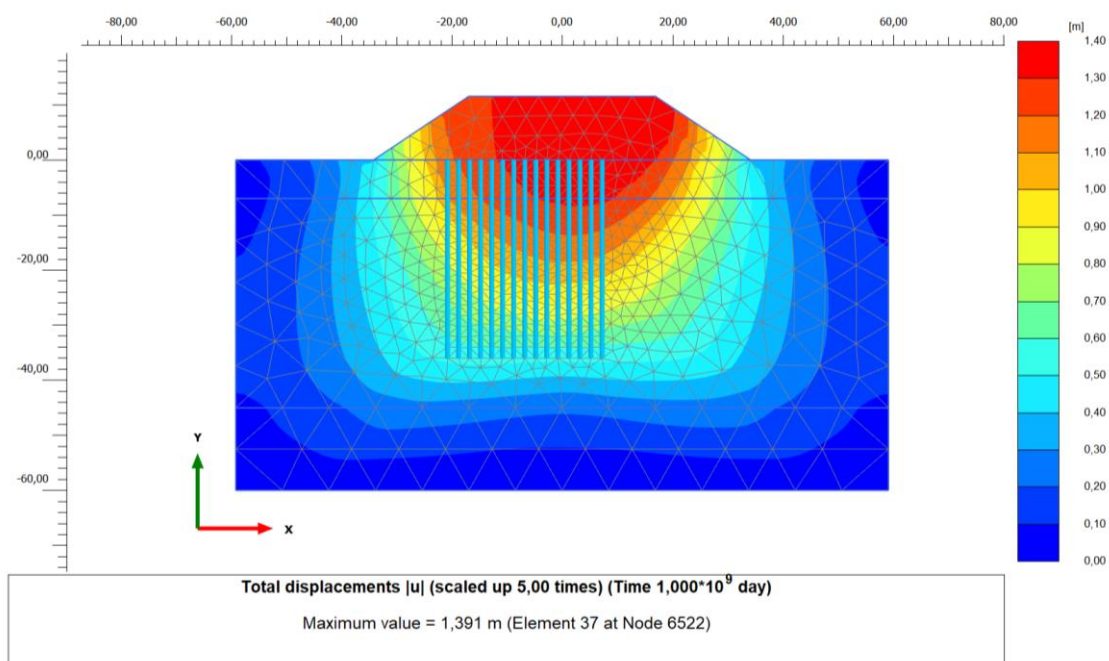


Figura 8.11: rilevato B – cedimento a $t = \infty$

A causa della bassa permeabilità dei terreni di fondazione la sostituzione del rilevato può essere considerata come istantanea. Grazie a questo intervento di consolidamento il cedimento a 6 mesi risulta leggermente maggiore del cedimento che si avrebbe a tempo infinito con la costruzione diretta del rilevato definitivo e garantendo quindi il rispetto del capitolato, che prevede che il cedimento ancora da scontare a fine costruzione risulti inferiore del 10% del cedimento totale e comunque minore a 5 cm.

8.4.2 Rilevato asse D – progressiva 1+360

Il calcolo infine risulta speditivo in corrispondenza dello schema di calcolo considerato. In accordo con la teoria di Burland & barbridge il cedimento totale S corrisponde al cedimento immediato S_i , stimato pari a 2,1 cm.

8.4.3 Sistema di monitoraggio dei cedimenti

A causa degli elevati cedimenti previsti in corrispondenza del rilevato in spalla A del viadotto ferrovia è necessario prevedere un sistema di monitoraggio degli stessi.

Si prevede l'installazione di 9 assestimetri a piastra a partire dai terreni di fondazione da installare durante la posa in sito del rilevato e 4 capisaldi di livellazione topografica da installare in punti ritenuti fissi e da utilizzare come riferimento per la livellazione.

La posizione degli assestimetri, evidenziata in rosso, è rappresentata nel seguente stralcio di planimetria (vedi elaborato T00GE01MOGDI01A):

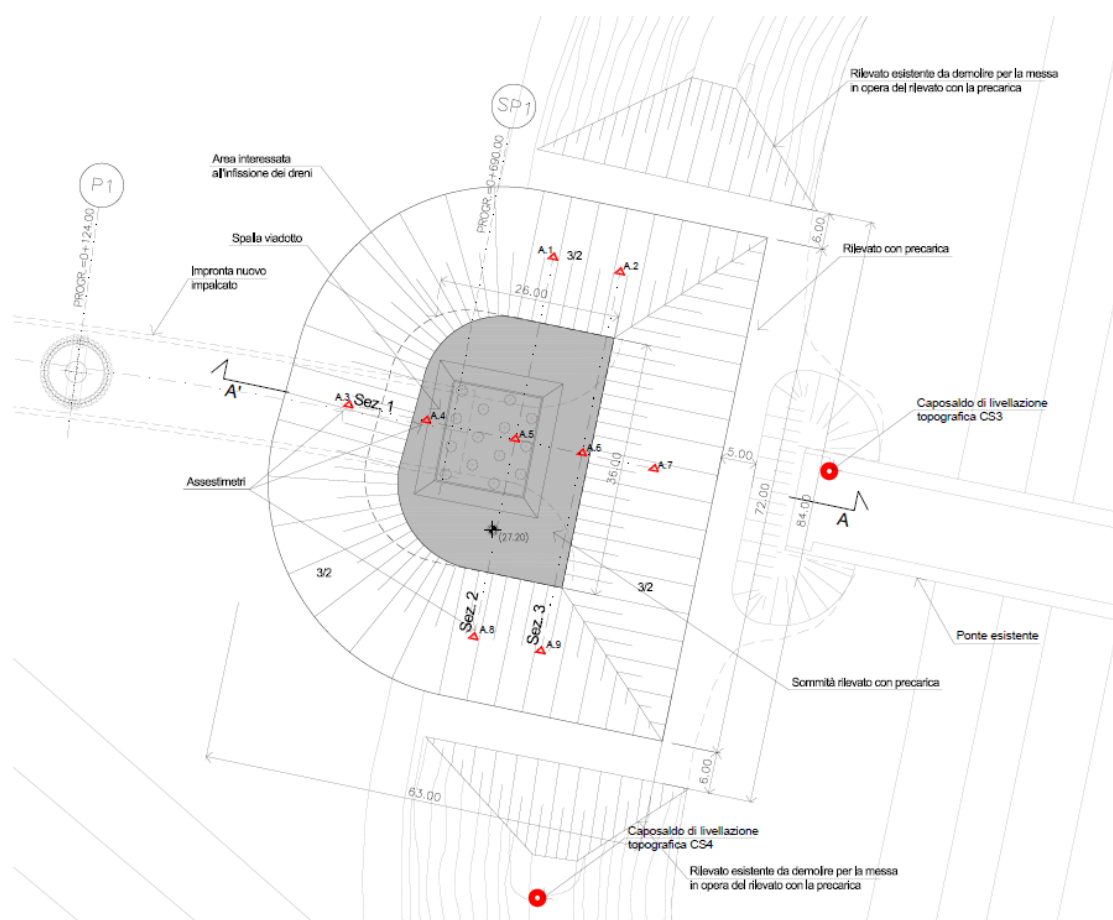



Figura 8.12: Schema di posizione degli assestimetri

Le misure dovranno essere effettuate ogni 15 giorni al fine di monitorare lo sviluppo dei cedimenti ed assicurare un corretto decorso nel tempo.

Si rimanda all'elaborato T00GE01MOGRE01A per tutti i dettagli riguardo il sistema di monitoraggio dei cedimenti.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	Relazione geotecnica generale	

9 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche di stabilità globale hanno riguardato i tratti in rilevato, in trincea e le opere provvisionali.

9.1 Azione sismica

Le verifiche di stabilità globale dei tratti in rilevato e trincea sono state eseguite in accordo con il capitolo 6.3 e 6.4 delle NTC2008 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 delle NTC2008.


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.

Tabella 9.1: Coefficienti parziali per le azioni (Tabella 6.2.I – NTC2008)

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

Tabella 9.2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II – NTC2008)

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Tabella 9.3: Coefficiente parziale di resistenza γ_{R2} (Tabella 6.8.1 – NTC2008)

Le opere in esame, ai sensi della normativa regionale, ricadono in zona sismica 4. I parametri sismici di riferimento per la progettazione in esame sono:

- vita nominale $V_N = 50$ anni
- classe d'uso: IV
- Coefficiente d'uso $C_U = 2,0$
- periodo di riferimento $V_R = 100$ anni
- periodo di ritorno $T_R = - \frac{V_R}{\ln(1-P_{VR})} = - \frac{100}{\ln(1-0.1)} = 949$ anni

In accordo all'Allegato B di cui al D.M. 14/01/2008 si considerano i valori convenzionali dell'accelerazione orizzontale massima del terreno di calcolo a_g , del fattore di amplificazione dello spettro F_0 e del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro T_C^* . Questi risultano rispettivamente pari a:


$$a_g = 0,060g;$$

$$F_0 = 2,98;$$

$$T_C^* = 0,372 \text{ s.}$$

Isole	$T_R=30$			$T_R=50$			$T_R=72$			$T_R=101$			$T_R=140$			$T_R=201$			$T_R=475$			$T_R=975$			$T_R=2475$		
	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*	a_g	F_0	T_C^*
Arcipelago Toscano, Isole Egadi, Pantelleria, Sardegna , Lampedusa, Linosa, Forza, Palmarola, Zannone	0,186	2,61	0,273	0,233	2,67	0,296	0,274	2,70	0,303	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322	0,500	2,88	0,340	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401
Ventotene, Santo Stefano	0,239	2,61	0,245	0,303	2,61	0,272	0,347	2,61	0,298	0,389	2,66	0,326	0,430	2,69	0,366	0,481	2,71	0,401	0,600	2,92	0,476	0,707	3,07	0,517	0,852	3,27	0,564
Ustica, Tremiti	0,429	2,50	0,400	0,534	2,50	0,400	0,661	2,50	0,400	0,776	2,50	0,400	0,901	2,50	0,400	1,056	2,50	0,400	1,500	2,50	0,400	1,967	2,50	0,400	2,725	2,50	0,400
Alicudi, Filicudi,	0,350	2,70	0,400	0,538	2,70	0,400	0,807	2,70	0,400	1,020	2,70	0,400	1,214	2,70	0,400	1,460	2,70	0,400	2,471	2,70	0,400	3,212	2,70	0,400	4,077	2,70	0,400
Panarea, Stromboli, Lipari, Vulcano, Salina	0,618	2,45	0,287	0,817	2,48	0,290	0,983	2,51	0,294	1,166	2,52	0,290	1,354	2,56	0,290	1,580	2,56	0,292	2,200	2,58	0,306	2,823	2,65	0,316	3,746	2,76	0,324

Tabella 9.4: Tabella 2 dell'Allegato B delle NTC 2008 in cui vengono riportati i valori di a_g , F_0 , e T_C per i diversi tempi di ritorno T_R validi per tutte le isole ad eccezione della Sicilia, Ischia, Procida e Capri, costanti su tutto il territorio di ciascuna isola

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

La classificazione dinamica dei terreni dei siti oggetto di studio e la conseguente individuazione della categoria di sottosuolo è stata svolta sulla base delle indagini effettuate. In particolare, la classificazione sismica del terreno di fondazione (categoria di sottosuolo, velocità equivalente $V_{s,30}$) è stata determinata tramite misura diretta delle velocità delle onde di taglio V_s , attraverso l'esecuzione di prove geofisiche tipo Down-Hole e stendimenti sismici a rifrazione (vedi relazione sismica T00SG01GETRE01A).

L'accelerazione orizzontale massima di calcolo a_{max} è espressa mediante la seguente relazione:

$$a_{max} = S * a_g = S_S * S_T * a_g$$

dove:

- S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica, pari ad 1,8 secondo la tabella 3.2.V dell'NTC2008;
- S_T è il coefficiente di amplificazione topografica, pari a 1 secondo la tabella 3.2.VI dell'NTC2008

In accordo con il paragrafo 7.11.3.5.2 dell'NTC2008 l'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche può essere eseguita considerando un metodo pseudostatico. In particolare:

$$k_H = \beta_s a_{max} / g$$


$$k_V = \pm 0,5 * k_H$$

dove:

- k_H è il coefficiente pseudostatico orizzontale da moltiplicare al peso del volume instabile per ottenere la spinta sismica orizzontale $F_H = k_H * W$;
- k_V è il coefficiente pseudostatico verticale da moltiplicare al peso del volume instabile per ottenere la spinta sismica verticale $F_V = k_V * W$;
- β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (tabella 7.11.I NTC2008);

Nelle tabelle seguenti si riassumono, per ciascun'opera d'arte, i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica.

Opera	Stato limite	V_N (anni)	CU	T_R (anni)	Cat. terreno	Cat. topogr.	S	a_{max}
Ponte Rio Serra	SLV	50	2,0	949	B	T1	1,2	0,072

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Opera	Stato limite	V _N (anni)	CU	T _R (anni)	Cat. terreno	Cat. topogr.	S	a _{max}
Ponte Rio Calvia 1	SLV	50	2,0	949	E	T1	1,6	0,096
Ponte Rio Calvia 2	SLV	50	2,0	949	A	T1	1,0	0,06
Viadotto Ferrovia	SLV	50	2,0	949	D	T1	1,8	0,108
Ponte Rio Sassu	SLV	50	2,0	949	D	T1	1,8	0,108

Tabella 9.5: a_{max} attesa nelle opere d'arte maggiori

Si ottiene $k_H = 0,012$ e $k_V = 0,006$ lungo l'intero tracciato ad esclusione dell'area del viadotto Ferrovia e del ponte Rio Sassu, dove si ha $k_H = 0,026$ e $k_V = 0,012$.

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 5.4), che si riassumono nel seguito:

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

UG1

$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0 \text{ kPa}$; $\varphi' = 30^\circ$.

UG2

$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$; $c' = 55 \text{ kPa}$; $\varphi' = 46^\circ$.

UG4

$\gamma = 23 \text{ kN/m}^3$; $c' = 40 \text{ kPa}$; $\varphi' = 25^\circ$.

UG7

$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$; $c' = 0 \text{ kPa}$; $\varphi' = 30^\circ$.

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

UG1 $c' = 0 \text{ kPa}$; $\varphi' = 25^\circ$.

UG2 $c' = 44 \text{ kPa}$; $\varphi' = 40^\circ$.

UG4 $c' = 32 \text{ kPa}$; $\varphi' = 21^\circ$.

UG7 $c' = 0 \text{ kPa}$; $\varphi' = 25^\circ$.

Rilevato stradale $c' = 8 \text{ kPa}$; $\varphi' = 30^\circ$.

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 9,5 m) su terreno UG1. Tale configurazione si verifica immediatamente dopo il viadotto ferrovia alla progressiva 0+480 nel asse C. Viene considerata una pendenza 2/3 con berme di 100 cm al raggiungimento dei 5 m di altezza del rilevato.

Il carico stradale è considerato come variabile sfavorevole, viene quindi applicato il coefficiente γ_{Qi} pari a 1,3 e risulta, di conseguenza, pari a 26 kN/m^3 .

Nella verifica vengono considerati i valori massimi dell'azione sismica ricavati al paragrafo 9.1 e pari a $k_H = 0,026$ e $k_V = 0,012$.

Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo F_{min}

Sezione di Calcolo	F_{min}
Condizione statica	1,463
Condizione dinamica	1,388

Tabella 9.6: Fattore di sicurezza minimo del rilevato di massima altezza

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.

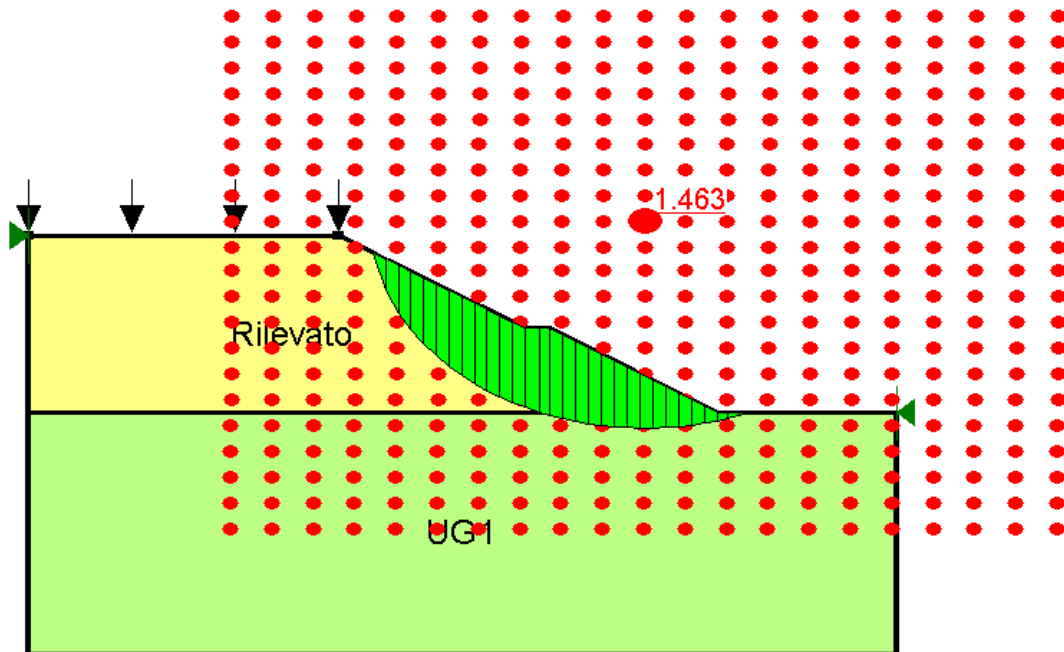



Figura 9.1: Rilevato di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni statiche - Superficie di scorrimento critica

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

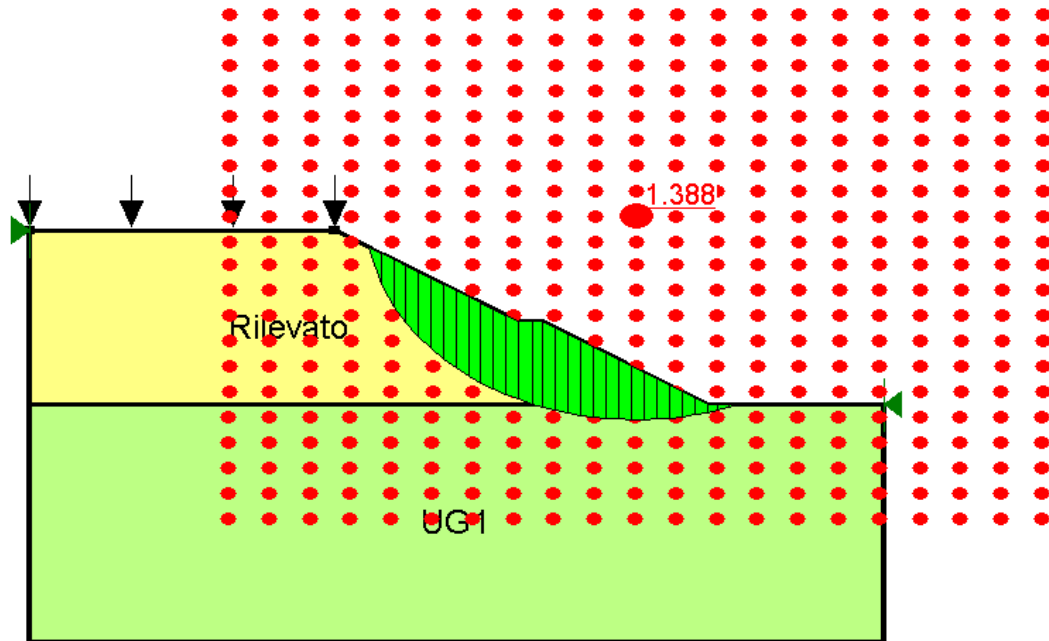


Figura 9.2: Rilevato di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche - Superficie di scorrimento critica

9.4.2 Trincee

Il tracciato si sviluppa principalmente in rilevato. Le poche trincee sono limitate e poco profonde. Si verifica in questo paragrafo la trincea che rappresenta la situazione più gravosa, localizzata nel asse B alla progressiva 3+280. La profondità di scavo è pari a 6,3 m ed è aperta con pendenza 1/1.

In accordo con la normativa non si considera la presenza del sovraccarico stradale.

A vantaggio di sicurezza il calcolo viene svolto considerando i coefficienti sismici maggiori, $k_H = 0,026$ e $k_V = 0,012$.

La trincea ricade nell'area indagata con la tomografia sismica BS4 svolta nel 2015.



Figura 9.3: Figura 9.4: planimetria tomografia sismica BS4 da T00GE00GEORE03A

SEZIONE SISMICA TOMOGRAFICA BS4 [Velocità onde di taglio]

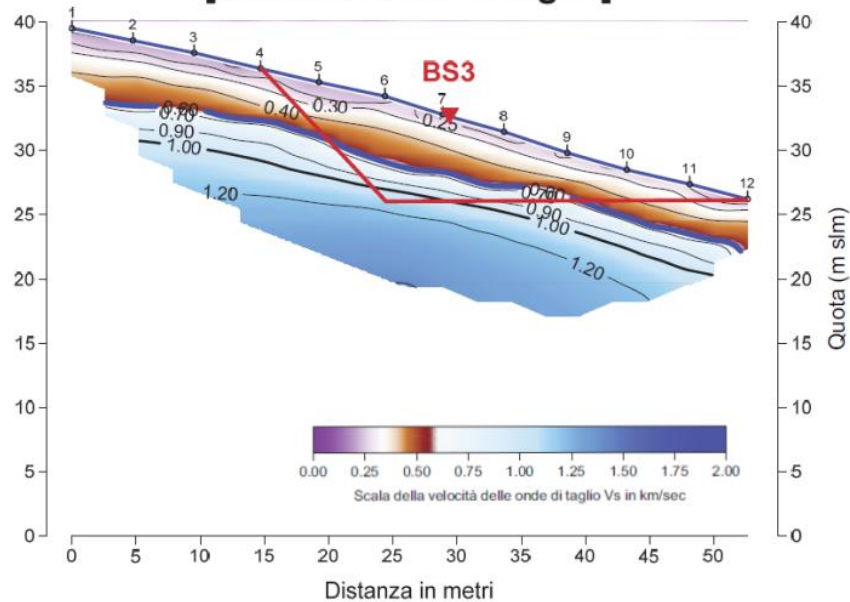



Figura 9.5: tomografia sismica BS4

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Dall'analisi della tomografia si osserva come, già nei primi metri, le onde di taglio risultano elevate. In accordo con il profilo geotecnico si ritiene quindi adeguato assumere uno spessore omogeneo di coltre superficiale pari a 2,5 m.

Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo F_{min} ottenuti con superfici di rottura congruenti, escludendo i valori relativi a rotture superficiali o limitate, figlie del processo di modellazione.

Sezione di Calcolo	F_{min}
Condizione statica	2,966
Condizione dinamica	2,850

Tabella 9.7: Fattore di sicurezza minimo del rilevato di massima altezza

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.

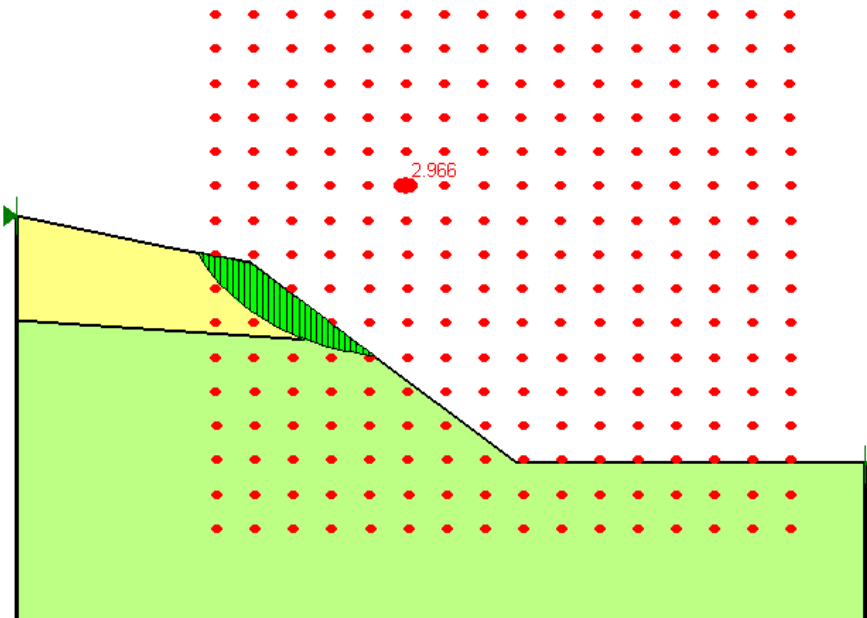



Figura 9.6: Trincea di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni statiche

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

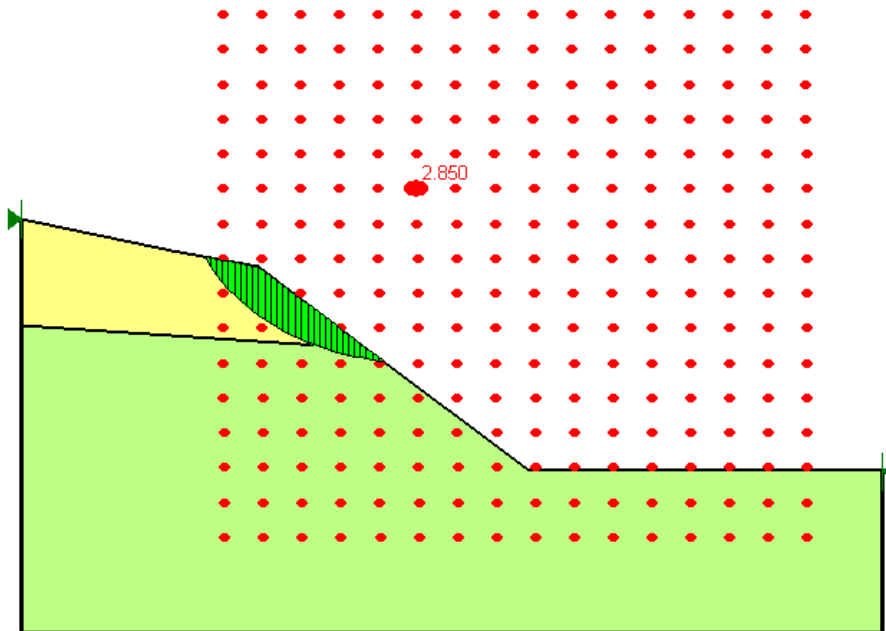


Figura 9.7: Trincea di altezza massima - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche

9.4.3 Rilevati provvisionali – spalla viadotto ferrovia

Al fine di verificare la stabilità del rilevato di precarica è stata analizzata la condizione più gravosa di rilevato di altezza massima (pari a 12,5 m) su terreno UG1.

A causa della provvisionalità dell'opera le verifiche vengono condotte solo nelle condizioni statiche.

Le proprietà meccaniche del rilevato stradale vengono qui riportate:

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

Con riferimento a queste ultime si associano le seguenti proprietà di calcolo al rilevato di precarica:

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

Il calcolo viene svolto al fine di determinare coesione e angolo di resistenza al taglio necessari al rilevato per garantire un adeguato margine di sicurezza.

Svolgendo i calcoli in accordo con i fattori di riduzione imposti dalle NTC2008 (vedi tabella 9.2) ed analizzando varie soluzioni progettuali, si ricavano le seguenti coppie che permettono di garantire un fattore di sicurezza almeno maggiore di 1,1 (NTC2008):

c' [kPa]	ϕ' [°]	F.S.
0,0	43,3	1,109
0,6	39,1	1,112
1,3	36,9	1,110
1,9	35,8	1,118
2,5	34,7	1,116
3,1	33,6	1,103
4,4	32,5	1,105
5,6	31,4	1,108
6,9	30,2	1,110
8,1	29,1	1,114
9,4	28,0	1,117
10,6	26,8	1,118

Tabella 9.8: Combinazioni minime per coesione e angolo di attrito

Queste sono da considerarsi coppie di valori minimi. Utilizzando una polinomiale di secondo grado come interpolante è possibile diagrammare i valori così ottenuti:

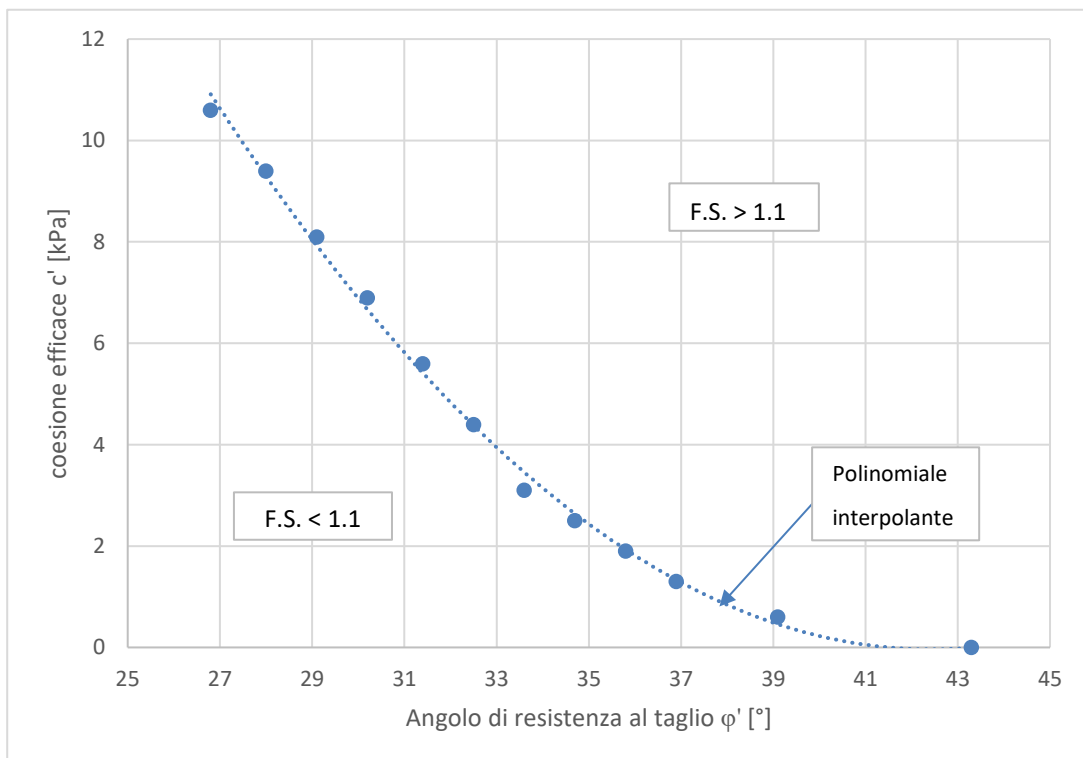



Figura 9.8: coppie di c, ϕ che garantiscono la stabilità del rilevato di precarico

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

La successiva figura, dove viene mostrata la superficie di scorrimento critica, viene prodotta considerando un rilevato di precarico con le stesse caratteristiche del rilevato stradale.

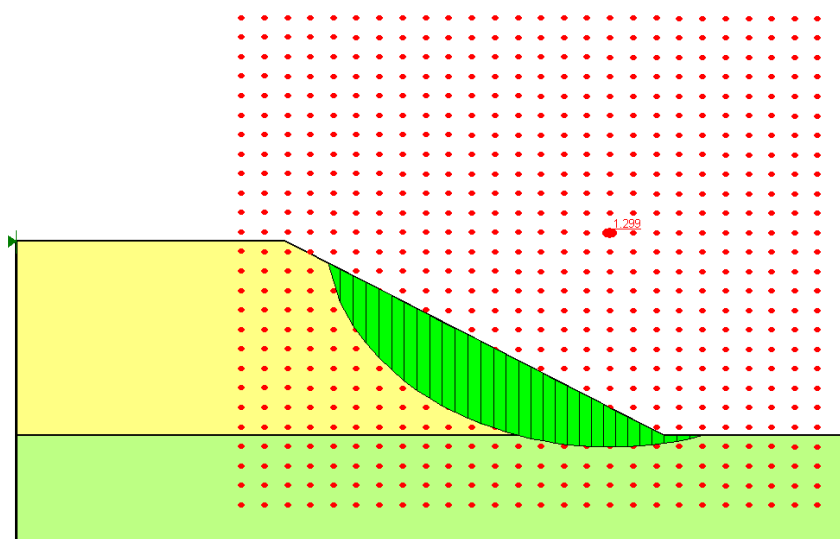


Figura 9.9: Rilevato di precarica - Superficie di scorrimento critica


In accordo con i risultati minimi ottenuti dai vari modelli di calcolo si ritiene opportuno, durante l'esecuzione dei lavori, costipare il rilevato di precarico fino al raggiungimento di un grado di compattazione tale da garantire le stesse caratteristiche geotecniche del rilevato definitivo o caratteristiche che risultano, in coppia, almeno maggiori di una delle combinazioni esposte nella figura 9.8.

9.4.4 Scavi provvisionali

La condizione più critica nello scavo provvisoriale si presenta in corrispondenza della pila 1 del ponte Rio Sassu del viadotto VI3 alla progressiva 2+180 del asse C, ove si raggiunge una profondità massima di scavo di 9,5 m. Gli scavi sono aperti con pendenza 1:1 e berme larghe 2 m ogni 5 m.

Lo scavo interesserà le unità UG1, UG2 e UG4.

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

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo F_{min} ottenuti con superfici di rottura congruenti, escludendo i valori relativi a rotture superficiali o limitate, figlie del processo di modellazione.

Sezione di Calcolo	F_{min}
	Condizione statica
Spalla B viadotto VI03	1,304

Tabella 9.9: Scavo provvisorio – fattore di sicurezza

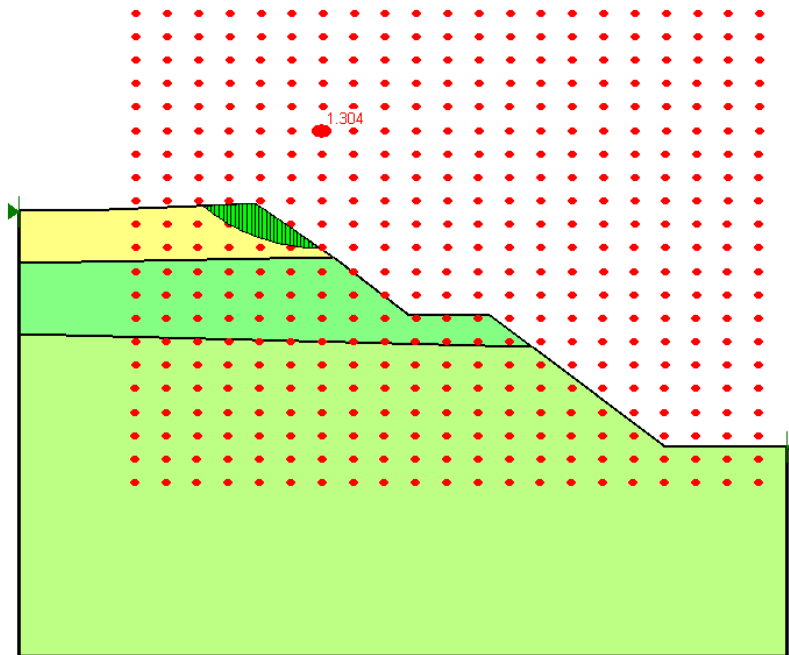


Figura 9.10: Verifica di stabilità pila 1 ponte Rio Sassu – Superficie di scorrimento critica

9.4.5 Aree a rischio frana

In relazione alle quattro situazioni a rischio frana individuate nello studio di compatibilità geologica (elaborato T22GE00GEORE09A), si è proceduto alle verifiche di stabilità del versante nelle condizioni statiche e sismiche.

L'utilizzo di fondazioni su micropali permette il trasferimento dei carichi alle unità geotecniche profonde ed evita quindi di caricare gli strati superficiali del terreno.

Nelle quattro configurazioni di calcolo si sono utilizzati i parametri di accelerazione associati alla situazione peggiore individuata lungo l'asse C, applicando i coefficienti $k_H = 0,026$ e $k_V = 0,012$.

- Area a rischio frana A.I.1

L'area a rischio frana interferisce in maniera limitata con le pile del ponte Calvia 1. L'area è classificata come pericolosità media Hg2.

Di seguito si riporta uno stralcio della planimetria.

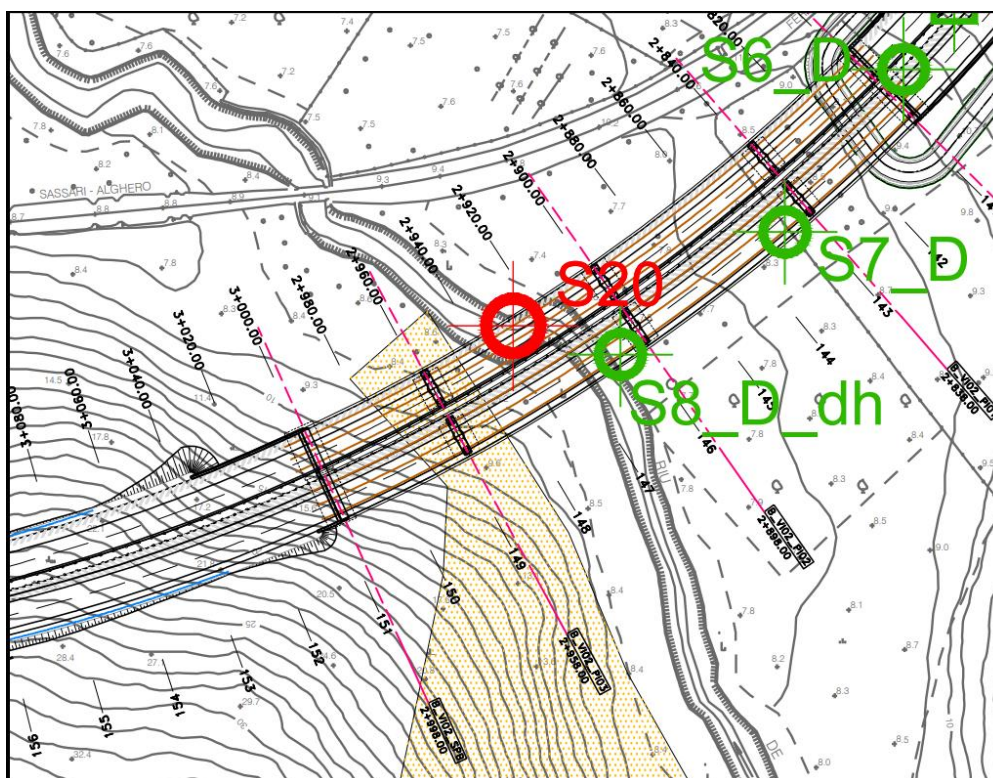


Figura 9.11: stralcio planimetria area A.I.1

In accordo con le informazioni ricavate dal profilo geotecnico si è ricostruito il profilo del terreno.

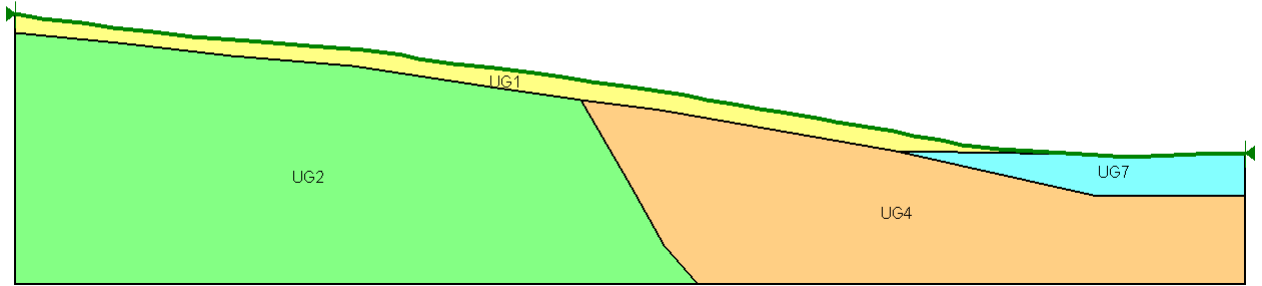


Figura 9.12: A.I.1 - profilo di calcolo

Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo F_{min} ottenuti con superfici di rottura congruenti, escludendo i valori relativi a rotture superficiali o limitate, figlie del processo di modellazione.

Sezione di Calcolo	F_{min}
Condizione statica	2,165
Condizione dinamica	1,888

Tabella 9.10: Fattore di sicurezza minimo A.I.1

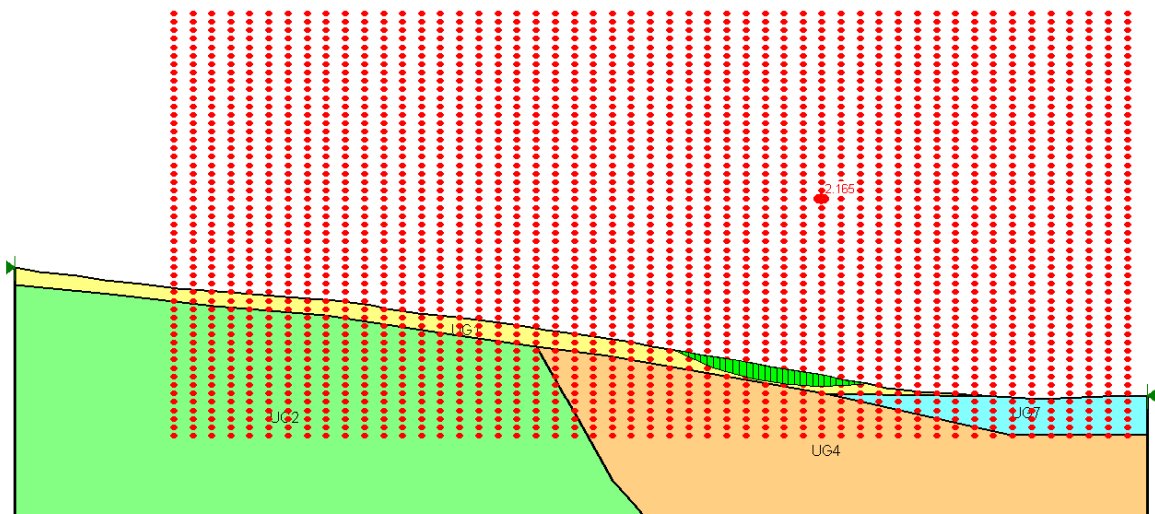



Figura 9.13: A.I.1 - Verifica di stabilità in condizioni statiche

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

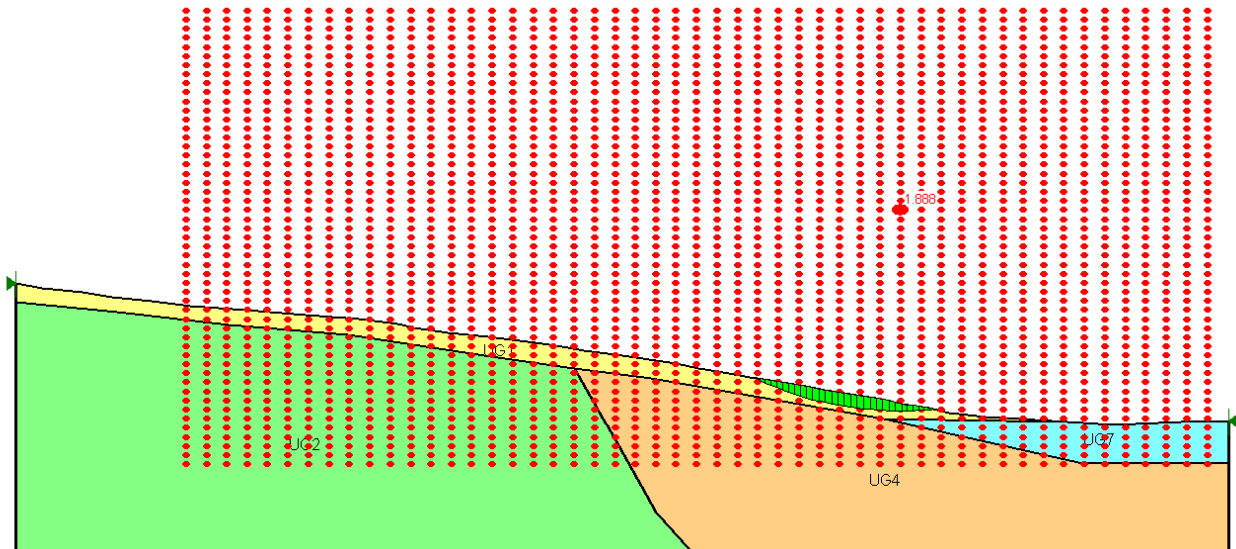



Figura 9.14: A.I.1 - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche

- Area a rischio frana A.I.2

L'area a rischio frana interferisce in maniera limitata con le pile del ponte Rio Sassu. L'area è classificata come pericolosità media Hg2.

Di seguito si riporta uno stralcio della.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	Relazione geotecnica generale	

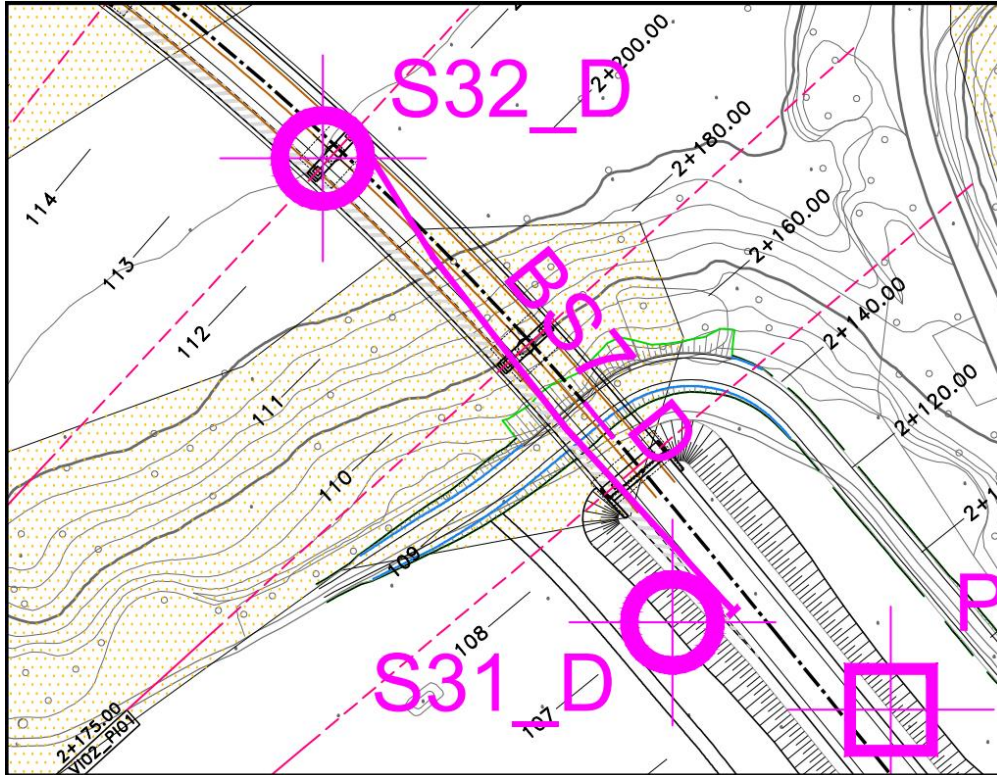


Figura 9.15: stralcio planimetria area A.I.2

In accordo con le informazioni ricavate dal profilo geotecnico si è ricostruito il profilo del terreno.

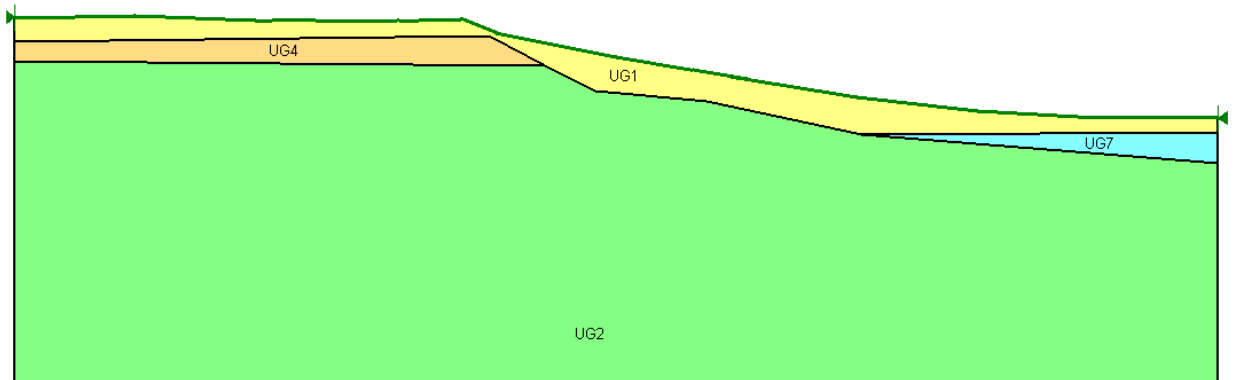



Figura 9.16: A.I.2 - profilo di calcolo

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo F_{min} ottenuti con superfici di rottura congruenti, escludendo i valori relativi a rotture superficiali o limitate, figlie del processo di modellazione.

Sezione di Calcolo	F_{min}
Condizione statica	2,031
Condizione dinamica	1,838

Tabella 9.11: Fattore di sicurezza minimo A.1.2

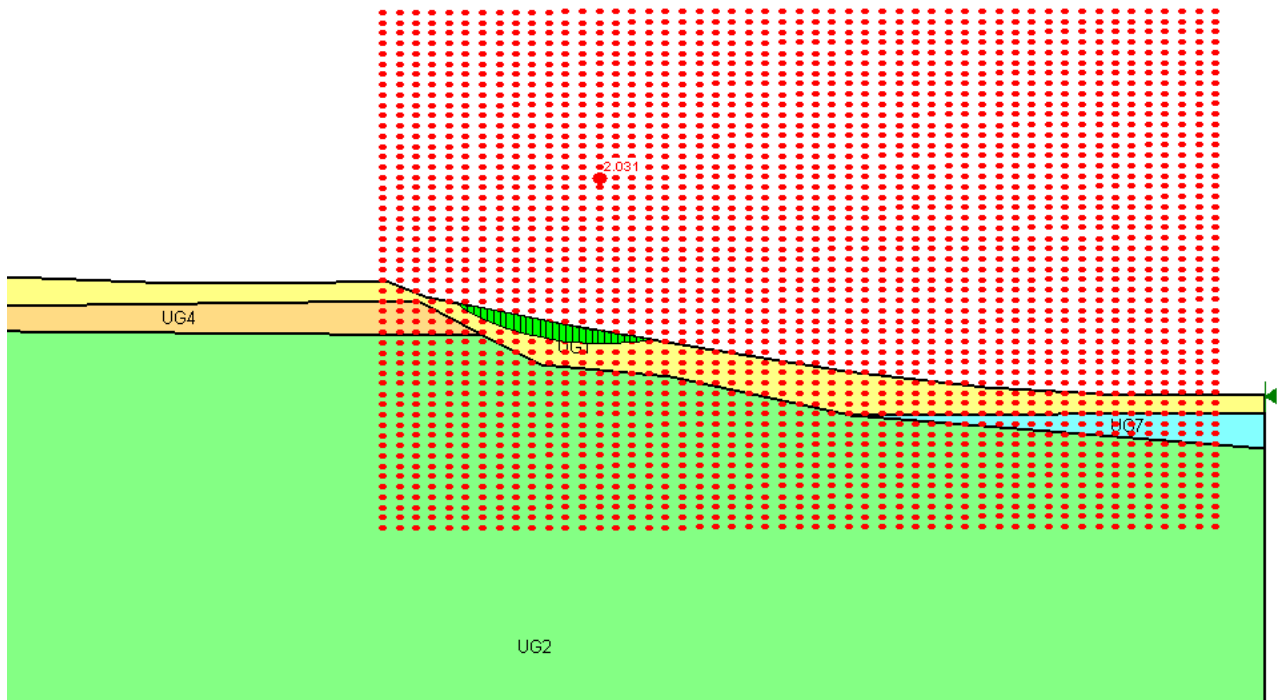



Figura 9.17: A.1.2 - Verifica di stabilità in condizioni statiche

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

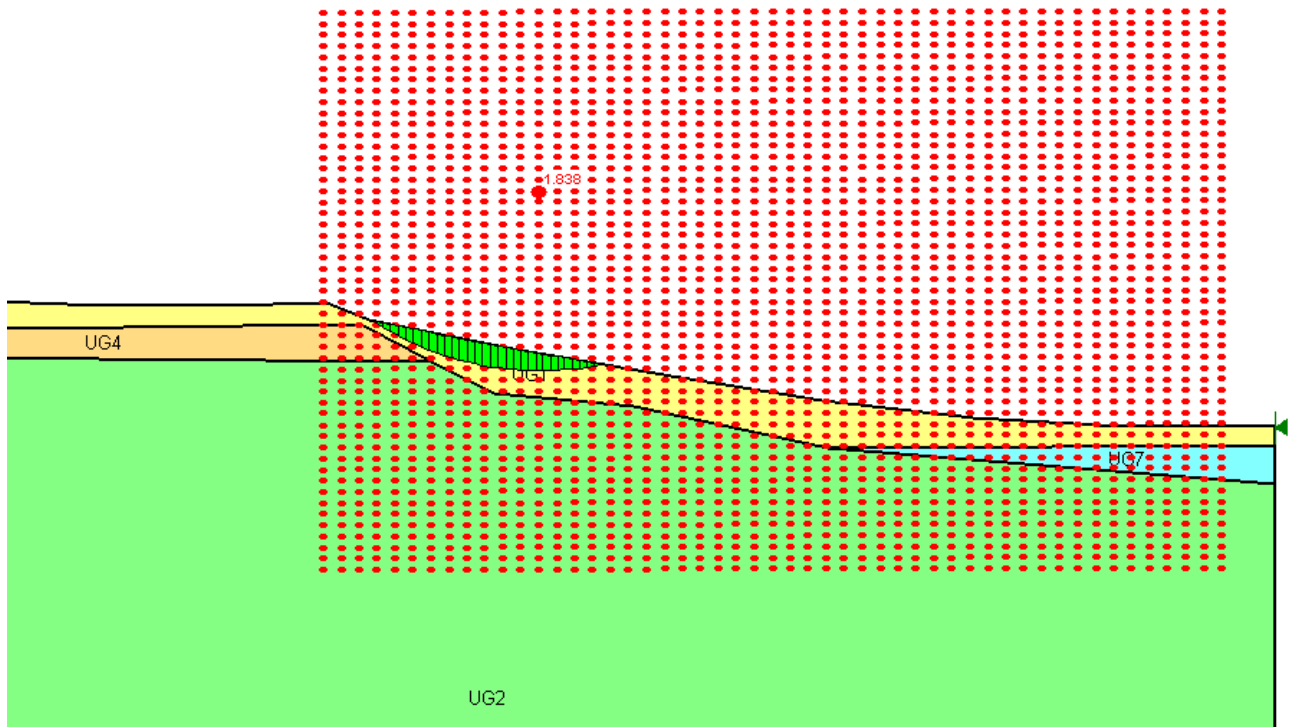



Figura 9.18: A.I.2 - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche

- Area a rischio frana A.I.3

L'area a rischio frana interferisce in maniera limitata con le pile del ponte Rio Sassu. L'area è classificata come pericolosità media Hg2.

Di seguito si riporta uno stralcio della planimetria.

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

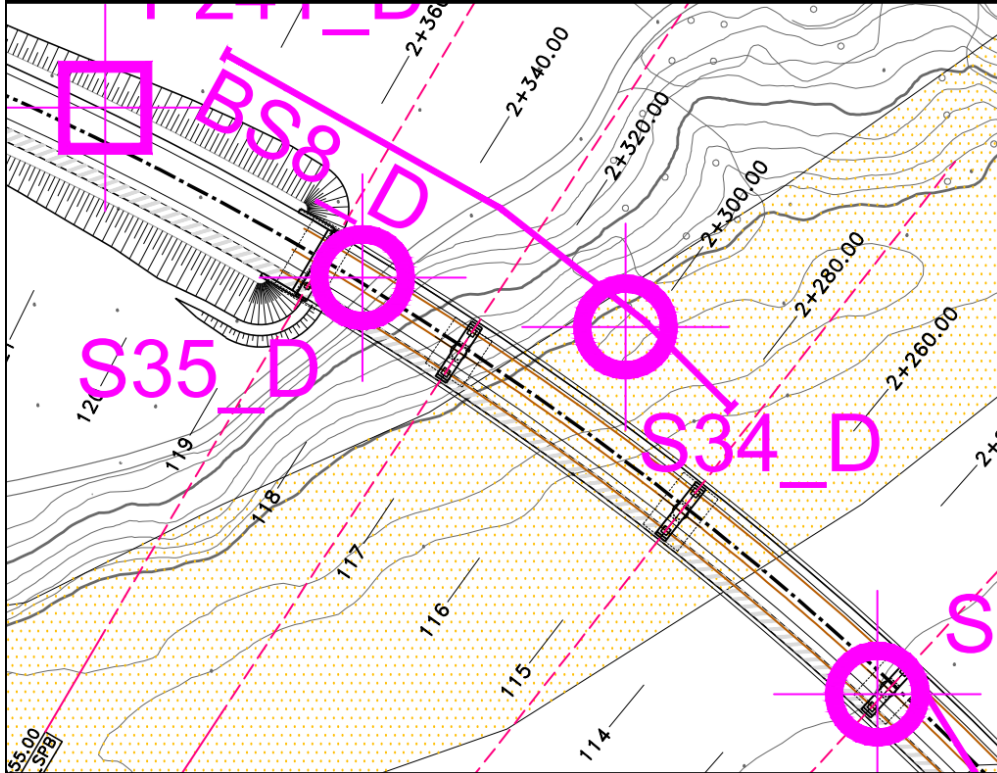


Figura 9.19: stralcio planimetria area A.I.3

In accordo con le informazioni ricavate dal profilo geotecnico si è ricostruito il profilo del terreno.

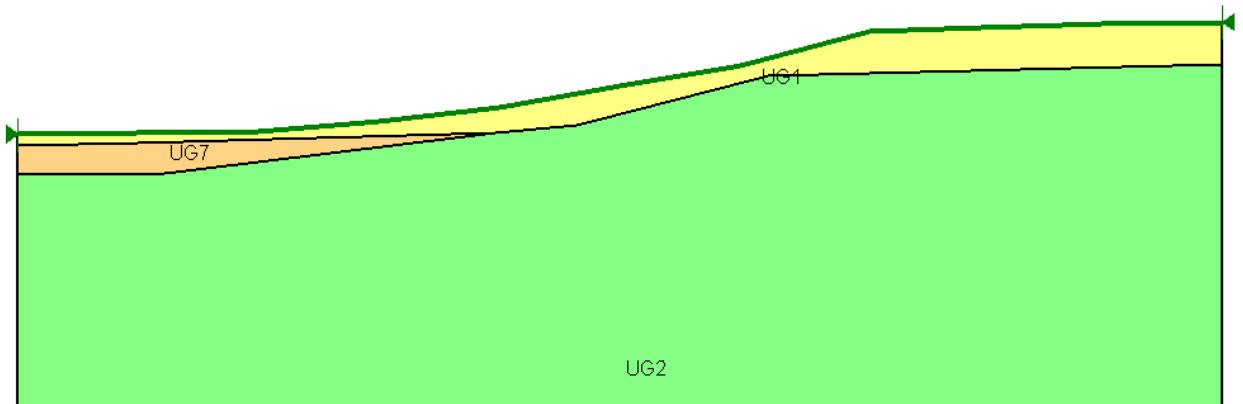



Figura 9.20: A.I.3 - profilo di calcolo

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo F_{min} ottenuti con superfici di rottura congruenti, escludendo i valori relativi a rotture superficiali o limitate, figlie del processo di modellazione.

Sezione di Calcolo	F_{min}
Condizione statica	1,563
Condizione dinamica	1,393

Tabella 9.12: Fattore di sicurezza minimo A.I.3

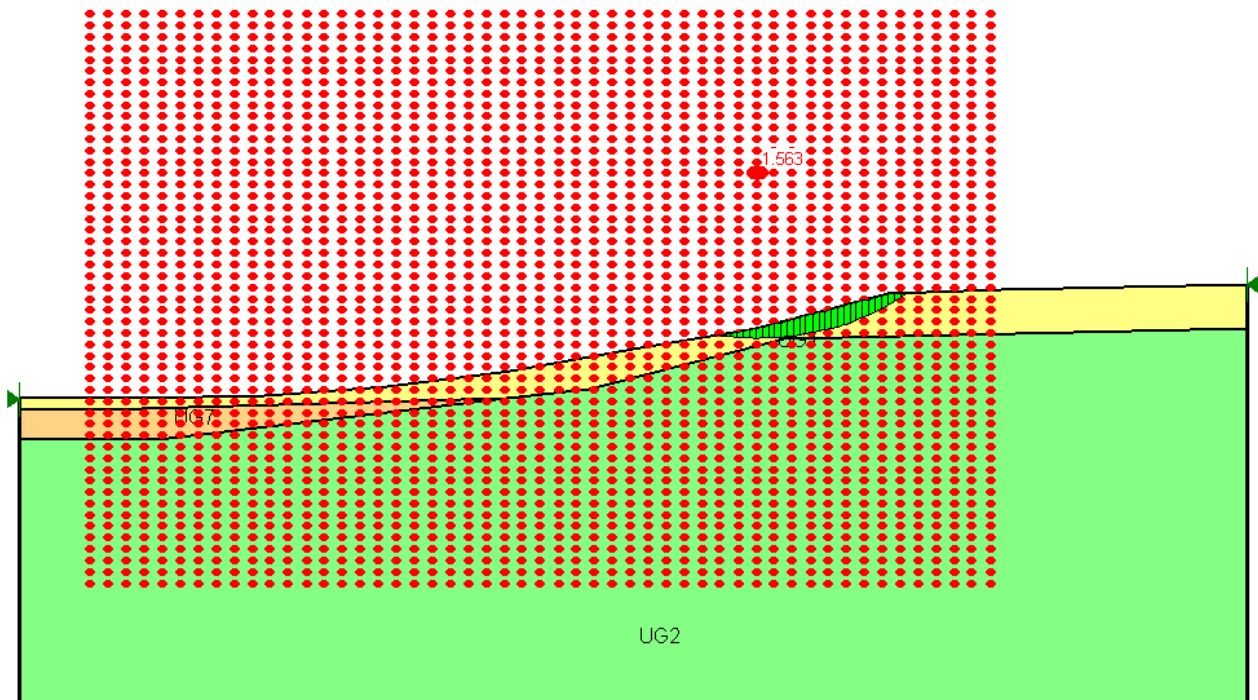



Figura 9.21: A.I.3 - Verifica di stabilità in condizioni statiche

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

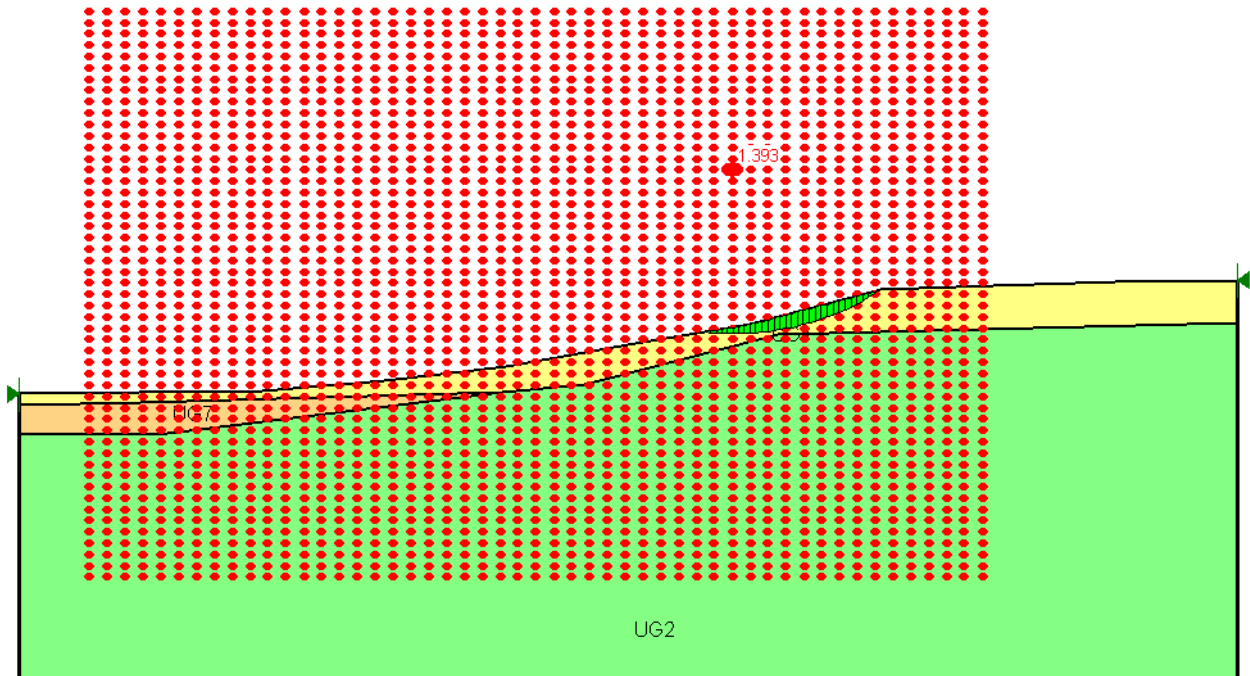


Figura 9.22: A.I.3 - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche

- Area a rischio frana A.I.4

L'area a rischio frana interferisce in maniera limitata in corrispondenza di un tratto di viabilità locale. L'area è classificata come pericolosità media Hg2.

Di seguito si riporta uno stralcio della planimetria.

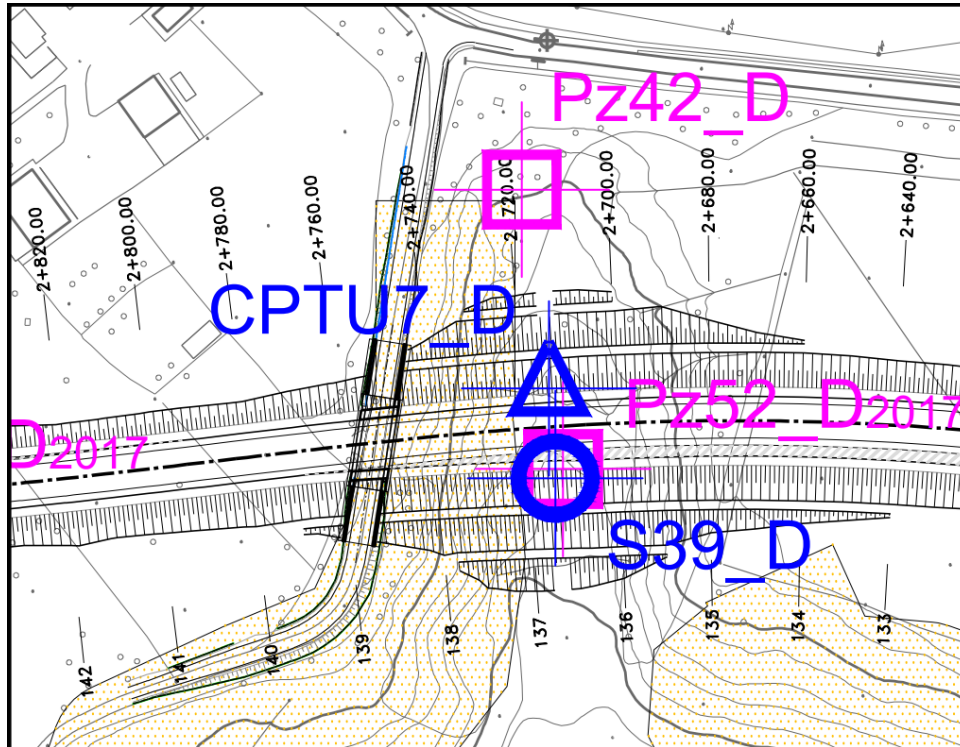


Figura 9.23: stralcio planimetria area A.I.4

In accordo con le informazioni ricavate dal profilo geotecnico si è ricostruito il profilo del terreno.

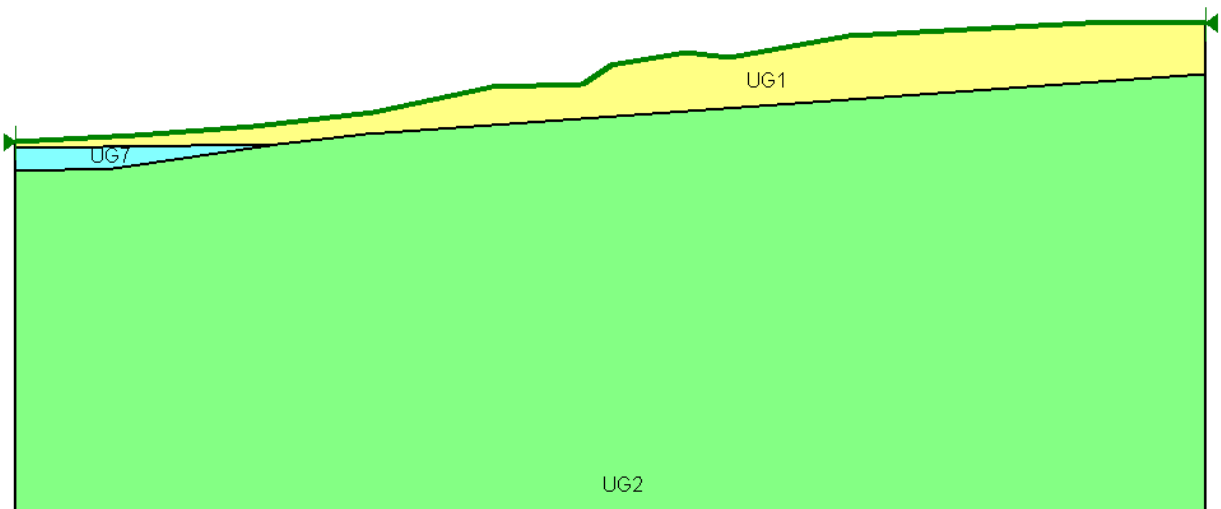



Figura 9.24: A.I.4 - profilo di calcolo

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo F_{min} ottenuti con superfici di rottura congruenti, escludendo i valori relativi a rotture superficiali o limitate, figlie del processo di modellazione.

Sezione di Calcolo	F_{min}
Condizione statica	2,412
Condizione dinamica	2,179

Tabella 9.13: Fattore di sicurezza minimo A.I.4

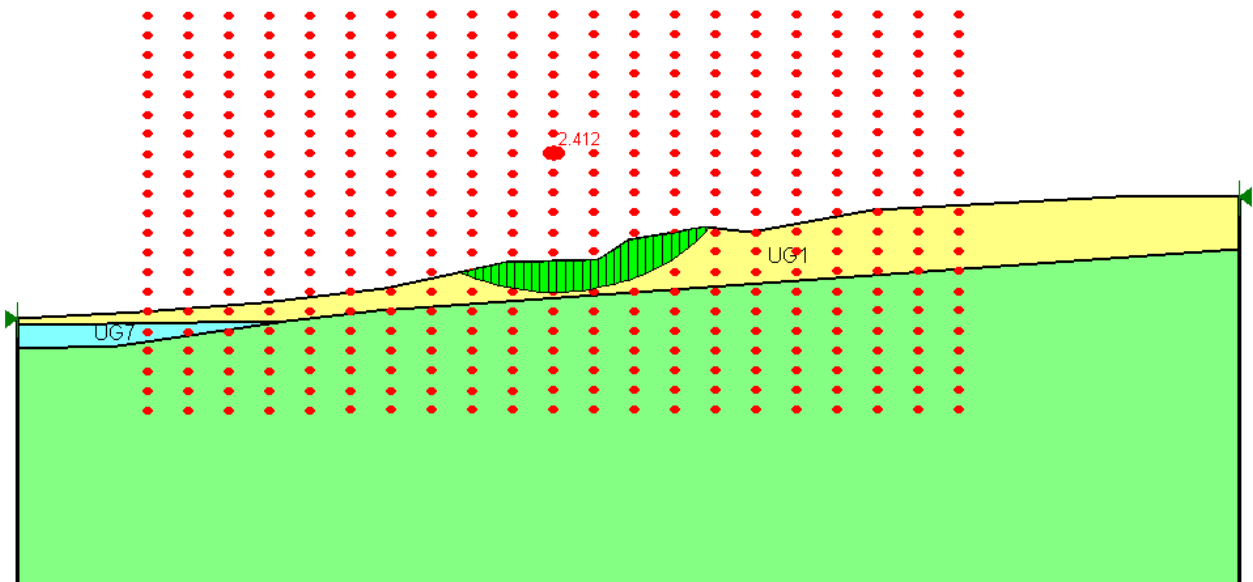



Figura 9.25: A.I.4 - Verifica di stabilità in condizioni statiche

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

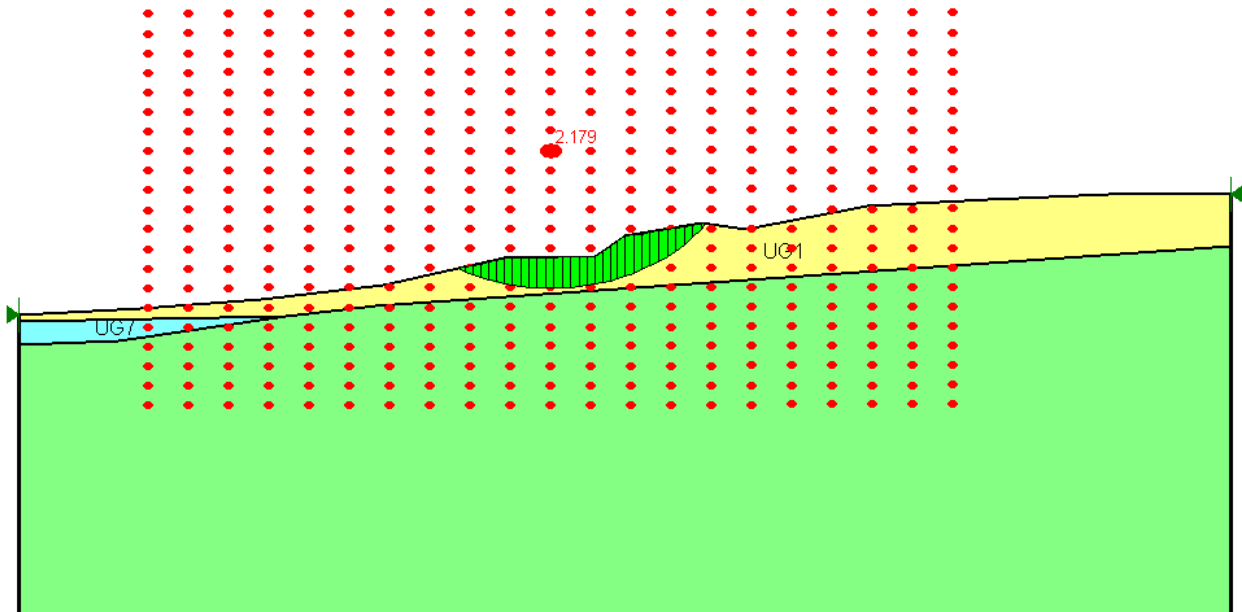


Figura 9.26: A.I.4 - Verifica di stabilità in condizioni dinamiche

9.4.6 Siti di deposito

Per le aree di deposito AL01 e AL02 la principale questione di carattere geotecnico riguarda la stabilità dei fronti del rilevato prima delle operazioni di inerbimento (Figura 9.27: Siti di deposito AL01 e AL02). Tale rilevato è costituito principalmente da materiali appartenenti all'unità geotecnica UG1 prelevati durante operazioni di scotico e bonifica dei terreni.

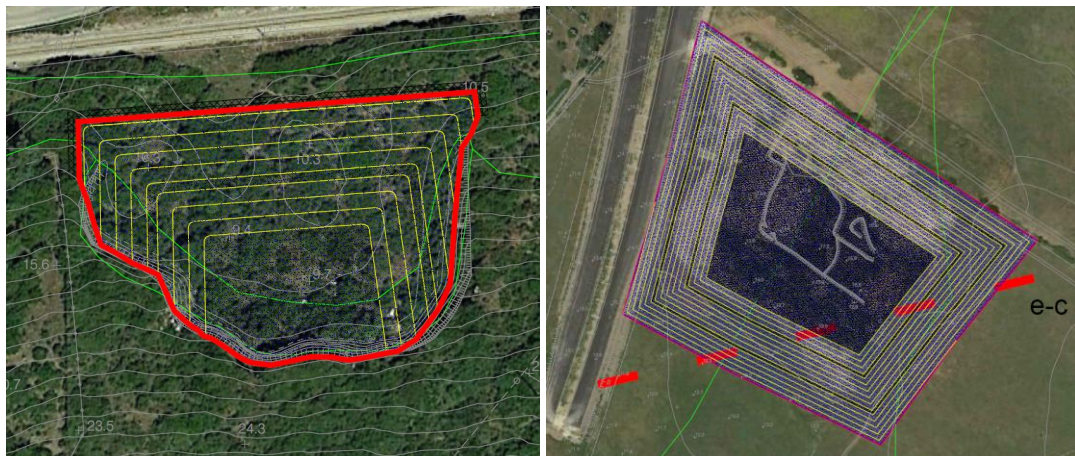



Figura 9.27: Siti di deposito AL01 e AL02

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		
CA29	Relazione geotecnica generale	

In relazione all'analisi delle cassette catalogatrici, delle prove in sito e delle prove di laboratorio si classifica l'unità UG1 come una sabbia fine argillosa con le seguenti proprietà:

$$\gamma_n = 18 \text{ kN/m}^3; \quad \varphi' = 30^\circ; \quad c' = 0 \text{ kPa.}$$

dove:

- γ_n è il peso dell'unità di volume naturale;
- φ' è l'angolo di resistenza al taglio;
- c' è la coesione efficace.

Tali valori, di per sé cautelativi in quanto corrispondenti ai valori minimi associati all'unità UG1, non sono applicabili ai terreni costituenti il rilevato di deposito, a causa del disturbo indotto dalle stesse procedure di scavo, trasporto e posa in opera.

In accordo a comprovati dati di letteratura (*Taylor*, Soil Mechanics, 1948; *B. K. Hough*, Basic Soils Engineering, 1957; *Terzaghi & Peck*, Soil Mechanics in Engineering Practice, 1967; *Jappelli*, Earth Manual, 1978) l'angolo di resistenza al taglio per terreni incoerenti sabbiosi sciolti è $\geq 25^\circ$.

Durante la verifica del fronte del rilevato, al fine di tenere conto sia dei dati ricavati da letteratura, sia dei coefficienti da normativa (vedi Tabella 6.2.II, NTC2008), sia della riduzione indotta dalle procedure di movimentazione delle terre, si sono adottate le seguenti caratteristiche:

$$\gamma_n = 17 \text{ kN/m}^3; \quad \varphi' = 22^\circ; \quad c' = 0 \text{ kPa.}$$

Si adottano, infine, le seguenti ipotesi cautelative:


- Non si considera l'effetto stabilizzante dato dal processo di inerbimento;
- Si considera la condizione sismica, utilizzando i parametri $k_h = 0,026$ e $k_v = 0,012$ associate alla condizione più gravosa.

Sulla base delle ipotesi precedenti le condizioni di stabilità sono garantite considerando una pendenza di 1/3 con berme di 2 m al raggiungimento dei 5 m di altezza.

Nella tabella seguente si riportano i valori del coefficiente di sicurezza minimo F_{min} .

Sezione di Calcolo	F_{min}
Area AL01	1,174
Area AL02	1,267

Tabella 9.14: Fattori di sicurezza minimi delle aree di deposito

NUOVA S.S. 291 COLLEGAMENTO SASSARI – ALGHERO – AEROPORTO Lavori di costruzione del 1° asse Mamuntanas – Alghero e del 4° asse di collegamento con l'aeroporto di Fertilia		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA29	<i>Relazione geotecnica generale</i>	

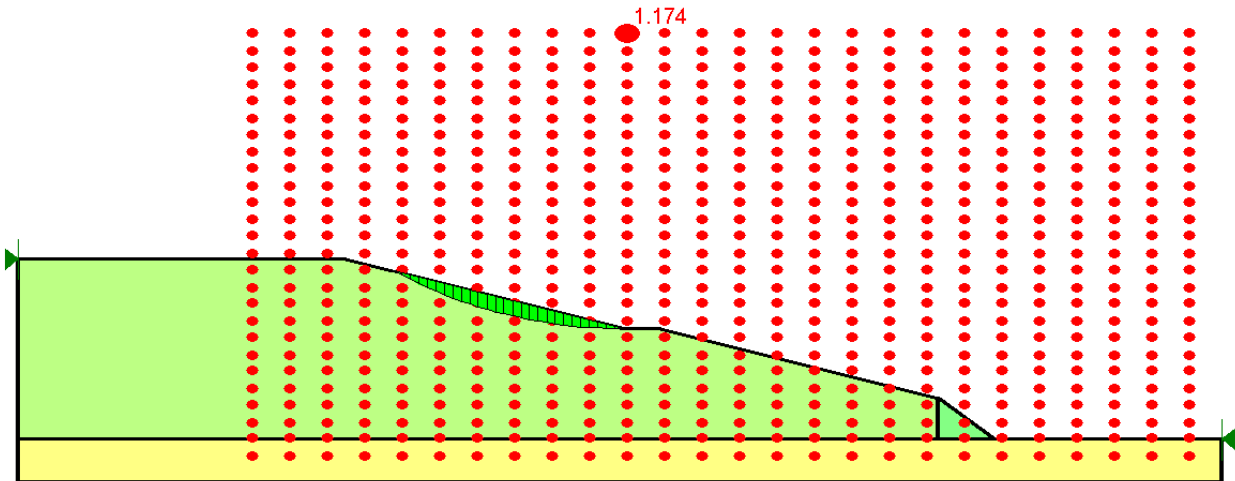


Figura 9.28: Rilevato AL01 - Verifica di stabilità in condizioni sismiche - Superficie di scorrimento critica

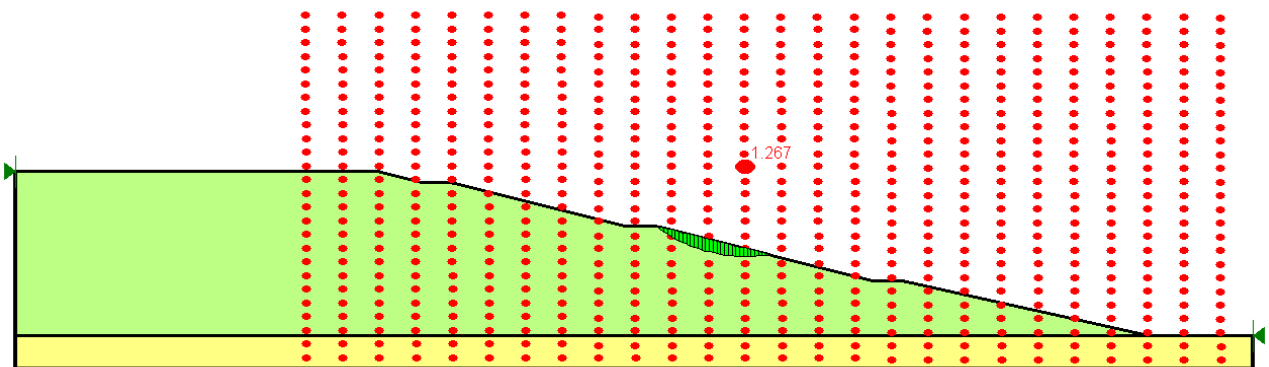


Figura 9.29: Rilevato AL02 - Verifica di stabilità in condizioni sismiche - Superficie di scorrimento critica

Con particolare riferimento al rilevato AL01, al fine di ottenere la rottura nel terreno costituente il rilevato, le gabbionate al piede sono state simulate nel programma attraverso l'adozione di un terreno con caratteristiche eccellenti, considerando un angolo di resistenza al taglio di 40° e una coesione di 50 kPa .

Durante l'esecuzione dei lavori, se necessario, il materiale costituente il rilevato dovrà essere compattato al fine di garantire il raggiungimento di caratteristiche meccaniche almeno uguali a quelle adottate durante il calcolo.