

**ITINERARIO INTERNAZIONALE E78  
S.G.C. GROSSETO - FANO  
ADEGUAMENTO A 4 CORSIE  
NEL TRATTO GROSSETO - SIENA (S.S. 223 "DI PAGANICO")  
DAL KM 41+600 AL KM 53+400 - LOTTO 9**

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. **FI15**

**PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA**

**IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Nando Granieri  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

**IL PROGETTISTA:**

Dott. Ing. Federico Durastanti  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° A844

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini  
Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

**IL R.U.P.**

Dott. Ing.  
Raffaele Franco Carso

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Filippo Pambianco  
Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

PROTOCOLLO

DATA

**IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:**

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott. Ing. N. Granieri	Dott. Ing. D. Carlucci	Dott. Ing. V. Rotisciani
Dott. Arch. N. Kamenicky	Dott. Ing. S. Sacconi	Dott. Ing. F. Macchioni
Dott. Ing. V. Truffini	Dott. Ing. A. Rea	Geom. C. Vischini
Dott. Arch. A. Bracchini	Dott. Ing. V. De Gori	Dott. Ing. V. Piunno
Dott. Ing. F. Durastanti	Dott. Ing. C. Consorti	Dott. Ing. G. Pulli
Dott. Ing. E. Bartolucci	Geom. F. Dominici	Geom. C. Sugaroni
Dott. Geol. G. Cerquiglini		
Geom. S. Scopetta		
Dott. Ing. L. Sbrenna		
Dott. Ing. E. Sellari		
Dott. Ing. L. Dinelli		
Dott. Ing. L. Nani		
Dott. Ing. F. Pambianco		
Dott. Agr. F. Berti Nulli		



**GEOTECNICA**

**Relazione geotecnica**

CODICE PROGETTO		NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.		
L O F I 1 5	E	1 9 0 1	A	-
		CODICE ELAB.		
		T 0 0 G E 0 0 G E T R E 0 1		
<b>A</b>	Emissione	28/02/2020	A. Rea	D. Carlucci
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO
				APPROVATO

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INDAGINI ESEGUITE.....</b>	<b>5</b>
2.1	CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2000 .....	5
2.2	CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2019 .....	8
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>14</b>
4.1	DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE .....	14
4.2	UNITÀ GEOTECNICA A.....	14
4.3	UNITÀ GEOTECNICA B.....	18
4.4	UNITÀ GEOTECNICA C.....	29
4.5	UNITÀ GEOTECNICA D.....	33
4.6	UNITÀ GEOTECNICA E .....	35
<b>5</b>	<b>MODELLO GEOTECNICO .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>REGIME DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI .....</b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITÀ.....</b>	<b>46</b>
7.1	CRITERIO DI VERIFICA .....	46
7.2	MODELLO GEOTECNICO DI CALCOLO.....	48
7.3	RISULTATI DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ .....	49
<b>8</b>	<b>ANALISI DEI CEDIMENTI.....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....</b>	<b>62</b>
9.1	CRITERI DI ESCLUSIONE DELLA VERIFICA.....	62
9.2	METODI DI VERIFICA .....	63
9.3	RISULTATI DELLE VERIFICHE .....	66

<b>10</b>	<b>RISULTATI DELLE PROVE DI CARICO SU PIASTRA .....</b>	<b>81</b>
10.1	DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA.....	81
<b>APPENDICE – INPUT/OUTPUT DEL CODICE DI CALCOLO SLIDE.....</b>		<b>84</b>
SEZ.45_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI EFFICACI.....	84
SEZ.45_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI TOTALI .....	88
SEZ.45_	ANALISI IN CONDIZIONI SISMICHE IN TENSIONI TOTALI .....	92
SEZ.144_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI EFFICACI.....	96
SEZ.144_	ANALISI IN CONDIZIONI SISMICHE IN TENSIONI EFFICACI.....	100
SEZ.186_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI EFFICACI.....	104
SEZ.186_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI TOTALI .....	108
SEZ.186_	ANALISI IN CONDIZIONI SISMICHE IN TENSIONI TOTALI .....	112
SEZ.222_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI EFFICACI.....	116
SEZ.222_	ANALISI IN CONDIZIONI SISMICHE IN TENSIONI EFFICACI.....	120
SEZ.262_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI EFFICACI.....	124
SEZ. 262_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI TOTALI .....	129
SEZ. 262_	ANALISI IN CONDIZIONI SISMICHE IN TENSIONI TOTALI .....	133
SEZ.576_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI EFFICACI.....	137
SEZ. 576_	ANALISI IN CONDIZIONI STATICHE IN TENSIONI TOTALI .....	143
SEZ. 576_	ANALISI IN CONDIZIONI SISMICHE IN TENSIONI TOTALI .....	148

## 1 PREMESSA

In riferimento alla progettazione esecutiva della “E78 S.G.C. Grosseto-Fano. Adeguamento a 4 corsie del tratto Grosseto-Siena (S.S. 223 “di Paganico”) dal km 41+600 al km 53+400 – Lotto 9”, nel presente rapporto vengono illustrate le informazioni di carattere geotecnico ricavate dalle indagini eseguite.

L'intervento in progetto si estende per circa 11,8 km all'interno dei Comuni Monticiano, Murlo e Sovicille in provincia di Siena, regione Toscana, ed andrà a completare l'opera di ampliamento della viabilità S.S. 223 esistente, già realizzato nei tratti confinanti a sud e a nord.

Riallacciandosi al lotto precedente, il tracciato ha inizio in corrispondenza dell'attraversamento del fiume Ornate, che avviene mediante un viadotto di lunghezza complessiva di 185 m.

Superato il fiume, l'asse si sviluppa lungo il corridoio già individuato dalla viabilità esistente. Dalla progr. 43+200 alla progr. 43+400 circa, il tracciato si avvicina ad una delle anse del fiume Merse, e la pendenza elevata del terreno rende necessaria la realizzazione di una lunga opera di sostegno lato destro per contenere il rilevato ed evitare ogni possibile interferenza con il fiume.

Al km 43+985 circa è presente il primo di quattro cavalcavia di progetto, ideato allo scopo di permettere l'attraversamento di una viabilità secondaria esistente, la quale proseguendo si assesta poi sul lato destro del tracciato.

Dopo un nuovo progressivo affiancamento dell'asse al fiume Merse, alla progressiva 44+540 circa si sviluppa lo svincolo del Picchetto, caratterizzato da una rotatoria lato est ed un lato ovest del tracciato, le quali fungono da elemento di raccordo fra le rampe provenienti dell'asse principale e la rete locale di viabilità. La connettività fra i due versanti del tracciato viene garantita mediante un sottovia che collega le due rotatorie.

Alla progr. 45+180 il tracciato interseca il percorso del fiume Merse, il quale attraversamento viene gestito attraverso la realizzazione di un viadotto di lunghezza complessiva pari a 175 m.

Subito dopo l'opera ha inizio la tratta del progetto caratterizzata dalla presenza di risaie ambo i lati (dalla progr. 45+800 alla progr. 47+240), la cui suddivisione ed organizzazione idraulica viene mantenuta grazie al rilevato stradale stesso ed all'introduzione di alcuni argini.

Al km 48+480, dopo avere garantito l'accesso all'area di servizio esistente situata sul versante est del tracciato, sullo stesso lato si sviluppa una delle viabilità complanari di progetto, che segue il tracciato per quasi un 1,5 km.

All'interno della zona delle risaie, alla progr. 47+010, si sviluppa quindi lo svincolo Fontazzi, caratterizzato da un'unica rotatoria lato est e da un sottovia attraverso il quale le rampe del lato ovest sono connesse alle viabilità sul lato opposto. Dalla suddetta rotatoria sfocia una viabilità secondaria che dal lato destro, si porta poi sul sinistro mediante un sottovia situato alla progr. 48+510.

Il tracciato inizia quindi a innalzarsi, seguendo il terreno esistente ed attraversando un'ampia zona boschiva, fino a raggiungere la sua massima quota in prossimità della progr. 49+026; esso poi discende nella piana situata più a nord, nella quale è prevista la realizzazione di due nuovi cavalcavia, il primo alla progr. 50+863, e l'altro alla progr. 52+111. Il secondo in particolare

permette la connessione della località Bagnaia con la rete stradale esistente situata sul lato ovest del tracciato.

A partire da questo punto, su entrambi i lati dell’asse principale si attestano due complanari, che rimangono in affiancamento fino alla progr. 53+280 circa, ove è situato lo Svincolo Ponticini. Esso, come quello del Picchetto, è caratterizzato da due rotatorie collocate su ambi i versanti del tracciato, che fungono da elemento di raccordo fra le rampe provenienti dell’asse principale e la rete locale di viabilità. La connettività fra i due versanti del tracciato viene garantita mediante l’ultimo cavalcavia alla progr. 53+126.

L’intervento termina alla progr. 53+400, fatta eccezione per un breve tratto di ricucitura che lo ricollega al lotto successivo.

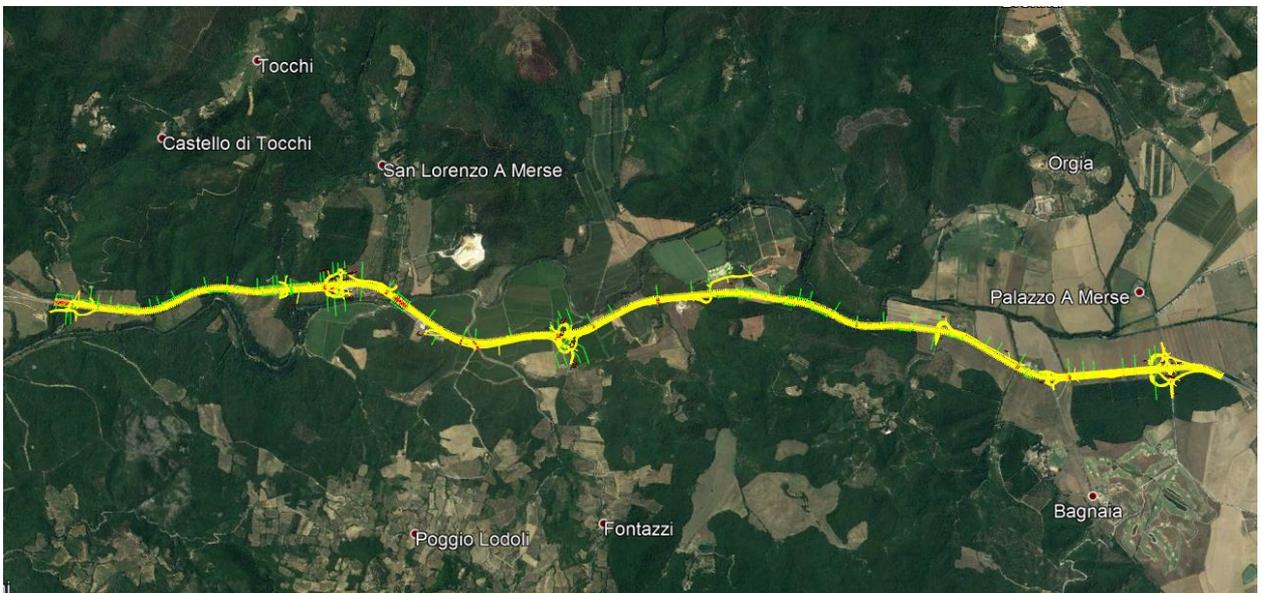


Figura 1: Immagine satellitare dell’area di intervento con individuazione del tracciato.

## 2 INDAGINI ESEGUITE

Ai fini della redazione del progetto esecutivo sono state considerate tutte le indagini eseguite nell'area in esame nel corso degli anni. Le varie campagne realizzate sono le seguenti:

- campagna indagine del 2000 a sostegno del progetto definitivo;
- campagna indagine del 2019 a sostegno del progetto esecutivo.

L'ubicazione delle suddette indagini è illustrata negli elaborati “Planimetria ubicazione indagini - Tav. 1÷7” (T00-GE00-GEO-PU01÷07).

Le indagini geotecniche sono consistite nell'esecuzione di prove in sito e in laboratorio; nel seguito si riporta una sintesi della tipologia e del numero di indagini eseguite per ciascuna campagna.

### 2.1 CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2000

Nell'ambito della progettazione definitiva, nel mese di febbraio 2000 sono state eseguite delle indagini geognostiche consistite in:

- n. 56 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo (S1 ÷ S56) all'interno dei quali sono state eseguite n. 236 prove penetrometriche dinamiche *SPT*; sono stati prelevati n.118 campioni da analizzare in laboratorio, di cui n. 92 rimaneggiati e n. 26 indisturbati. In 7 verticali è stato installato un piezometro a tubo aperto.

Di seguito è riportata la tabella riepilogativa dei sondaggi effettuati con indicazione della profondità di investigazione raggiunta,  $L_{sondaggio}$ , delle prove in sito eseguite, del numero di campioni prelevati e delle eventuali strumentazioni installate nel foro stesso.

Tabella 1: Campagna di indagine del 2000 - Scheda sintetica dei sondaggi.

Denominazione	$L_{sondaggio}$ (m)	SPT	Campioni indisturbati (n°)	Campioni rimaneggiati (n°)	Attrezzato con
S1	30	5	-	5	-
S2	25	4	-	4	-
S3	25	-	-	4	-
S4	25	5	1	4	-
S5	36	6	1	5	-
S6	20	3	-	3	Piezometro T.A.
S7	20	3	-	3	-
S8	20	3	1	3	-
S9	15	2	1	1	-

**RELAZIONE GEOTECNICA**

S10	15	3	-	-	-
S11	15	3	-	-	-
S12	15	3	-	-	-
S13	10	2	-	-	-
S14	10	2	-	-	-
S15	10	2	-	-	-
S16	20	3	1	3	-
S17	20	3	-	2	-
S18	15	3	-	-	-
S19	25	3	-	2	-
S20	25	3	-	2	-
S21	20	2	-	1	-
S22	35	5	2	5	-
S23	35	5	1	5	-
S24	35	5	-	4	-
S25	25	7	-	-	-
S26	20	6	-	-	-
S27	20	6	-	-	-
S28	15	5	-	-	-
S29	15	7	-	2	-
S30	15	7	-	2	-
S31	15	4	-	2	-
S32	15	5	-	-	Piezometro T.A.
S33	15	5	-	-	Piezometro T.A.
S34	25	8	1	3	Piezometro T.A.
S35	25	6	2	3	-
S36	15	5	-	2	-
S37	15	5	-	2	-
S38	11,5	2	-	1	-

S39	13,7	2	-	-	-
S40	15	10	-	-	-
S41	15	2	-	-	-
S42	10	4	-	-	-
S43	10	4	-	-	-
S44	10	2	-	-	-
S45	20	5	-	-	Piezometro T.A.
S46	20	5	-	-	Piezometro T.A.
S47	20	5	-	-	Piezometro T.A.
S48	20	5	-	-	Inclinometro
S49	15	5	-	-	Inclinometro
S50	30	6	-	1	-
S51	30	10	1	5	-
S52	30	3	2	3	-
S53	30	3	2	3	-
S54	30	3	2	3	-
S55	40	3	4	2	-
S56	40	3	4	2	-

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2000, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

➤ **prove di classificazione:**

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
- contenuto naturale d'acqua;
- peso di volume naturale;
- peso specifico dei grani;

➤ **prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:**

- prove di compressione monoassiale (*ELL*);
- prove di taglio diretto (*TD*);
- prove triassiali consolidate isotropicamente non drenate (*TX-CIU*);
- prove edometriche ad incrementi di carico (*ED-IL*).

Sui campioni rimaneggiati, prelevati all'interno dei pozzetti, sono state eseguite le seguenti prove:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*).

## 2.2 CAMPAGNA DI INDAGINE DEL 2019

La campagna di indagine realizzata per la redazione del progetto esecutivo è consistita nella realizzazione di:

- n. 29 sondaggi geotecnici a carotaggio continuo all'interno dei quali sono state eseguite n. 121 prove penetrometriche dinamiche SPT; sulle carote estratte sono state eseguite misure speditive della resistenza alla penetrazione con penetrometro tascabile *pocket-penetrometer (P.P.)*; sono stati, inoltre, prelevati n. 170 campioni da sottoporre a prove di laboratorio, di cui n. 110 rimaneggiati e n. 60 indisturbati. Sono stati installati piezometri in n. 17 sondaggi, tutti con cella di Casagrande e n. 5 con l'aggiunta di un piezometro a tubo aperto; all'interno di n. 6 sondaggi è stato installato un tubo per l'esecuzione di prove geofisiche “Down-Hole”.
- n. 8 prove pressiometriche.
- n. 4 prove di permeabilità in foro *Lefranc*.
- n. 8 indagini geofisiche di sismica a rifrazione in onde P e S.
- n. 9 prospezioni sismiche MASW.
- n. 23 pozzetti esplorativi spinti fino alla profondità massima di 2.0 m da p.c., all'interno dei quali sono state condotte n. 18 prove di carico su piastra circolare (*PLT*) alla profondità di 0.20÷0.30 m da p.c.; sono stati inoltre prelevati n. 23 campioni rimaneggiati, n. 1 da ciascun pozzetto.

Di seguito è riportata la tabella riepilogativa dei sondaggi effettuati con indicazione della profondità di investigazione raggiunta,  $L_{\text{sondaggio}}$ , delle prove in sito eseguite, del numero di campioni prelevati e delle eventuali strumentazioni installate nel foro stesso.

Tabella 2: Campagna di indagine del 2019 - Scheda sintetica dei sondaggi.

Denominazione	$L_{\text{sondaggio}}$ (m)	SPT	P.P.	Campioni indisturbati (n°)	Campioni rimaneggiati (n°)	Attrezzato con
SG01-DH	50	3		3	2	Down-Hole
SG02-PZ	30	7		2	7	Piezometro Casagrande
SG03	30	5		3	4	-
SG03bis	30	5		3	5	-
SG04-PZ	30	5		-	3	Piezometro Casagrande
SG05-DH	45	2	X	4	3	Down-Hole

**RELAZIONE GEOTECNICA**

SG06-PZ	30	3		3	3	Piezometro Casagrande
SG07	15	4	X	2	4	-
SG08-DH	45	5	X	4	5	Down-Hole
SG09bis	30	6	X	1	6	-
SG09-DH	45	2	X	1	5	Down-Hole
SG10-DH	45	4	X	2	9	Down-Hole
SG11-DH	45	7		4	2	Down-Hole
SG12-PZ	30	5	X	3	2	Piezometro Casagrande
SG13	37.5	4		4	4	-
SG14-PZ	15	3	X	1	2	Piezometro T.A. + Casagrande
SG15-PZ	20	3		2	3	Piezometro T.A. + Casagrande
SG19-PZ	20	5		2	5	Piezometro Casagrande
SG21-PZ	30	5		1	5	Piezometro Casagrande
SG24-PZ	25	4		2	4	Piezometro Casagrande
SG27-PZ	40	5		2	5	Piezometro T.A. + Casagrande
SG30-PZ	20	4	X	1	4	Piezometro Casagrande
SG33-PZ	25	3	X	2	1	Piezometro T.A. + Casagrande
SG35	20	4		1	4	-
SG37-PZ	25	4		-	4	Piezometro Casagrande
SG38-PZ	20	2		-	2	Piezometro Casagrande
SG39-PZ	23.3	5	X	1	4	Piezometro Casagrande
SG40-PZ	25	4	X	3	1	Piezometro T.A. + Casagrande
SG41-PZ	25	3	X	3	2	Piezometro Casagrande

La tabella seguente riepiloga le profondità di esecuzione delle prove pressiometriche.

Tabella 3: Campagna di indagine del 2019 - Scheda sintetica delle prove pressiometriche.

Denominazione	Sigla prova	Profondità (m)
SG13	P1	21.2
SG21-PZ	P1	24.5
SG27-PZ	P1	29.5
SG33-PZ	P1	10.5

SG33-PZ	P2	20.5
SG40-PZ	P1	15.5
SG41-PZ	P1	10.5
SG41-PZ	P2	20.5

La Tabella 4 riepiloga la profondità di esecuzione delle prove di permeabilità *Lefranc*.

Tabella 4: Campagna di indagine del 2019 - Scheda sintetica delle prove di permeabilità *Lefranc*.

Denominazione	Profondità (m)
SG02-PZ	19.7
SG04-PZ	11.3
SG06-PZ	16.9
SG12-PZ	6.5

I campioni indisturbati, prelevati durante la campagna di indagine del 2019, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

➤ **prove di classificazione:**

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*);
- contenuto naturale d’acqua;
- peso di volume naturale;
- peso specifico dei grani;

➤ **prove per la determinazione delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità:**

- prove di taglio diretto (*TD*);
- prove triassiali consolidate drenate (*TX-CID*);
- prove triassiali consolidate non drenate (*TX-CIU*);
- prove triassiali non consolidate non drenate (*TX-UU*);
- prove edometriche ad incrementi di carico (*ED-IL*).

Sui campioni rimaneggiati, compresi quelli prelevati all’interno dei pozzetti, sono state eseguite le seguenti prove:

- analisi granulometriche per vagliatura e per sedimentazione;
- limiti di Atterberg (*limite liquido e limite plastico*).

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame è situata nella Toscana sud-occidentale ed è caratterizzata da rilievi pedeappenninici costituiti dalle formazioni del Basamento Metamorfo della Serie Toscana e dalle Unità Liguridi di copertura.

Dal punto di vista stratigrafico, le Formazioni affioranti nell'area interessata dal progetto sono situate al di sopra del basamento paleozoico e appartengono ai seguenti complessi, in ordine di sovrapposizione:

- Unità di Monticiano-Roccastrada;
- Unità della “Falda toscana”;
- Unità Liguri alloctone s.l.;
- Complesso Neoautoctono;
- Alluvioni recenti ed attuali.

I rapporti geometrici tra le unità tettoniche presenti nell'area in esame sono la risultante di movimenti verificatisi in regimi tettonici diversi, che hanno portato, in fasi successive, all'attuale assetto strutturale.

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame, partendo dal basso, sono le seguenti:

#### **DOMINIO TOSCANO – UNITA' TOSCANE METAMORFICHE (TRASSICO)**

**Verrucano (V)** - Fa parte del Basamento Metamorfo e costituisce l'unità basale della sequenza. Nell'area è prevalente la facies argilloscistosa più o meno siltitica o arenacea, di colore grigio o rosso-violaceo; vi sono intercalati frequentemente strati o banchi arenacei, quarzarenitici e conglomeratici quarzosi (anageniti). I litotipi in esame si presentano generalmente molto alterati in affioramento a causa della fitta rete di discontinuità presente e dello stress tettonico subito.

**Formazione di Tocchi (FT)** – È costituita da metasiltiti e filladi grigio-verdi a cui si intercalano livelli carbonatici gialli e grigi dello spessore di una decina di centimetri.

#### **DOMINIO TOSCANO – FALDA TOSCANA (TRASSICO SUP.)**

**Calcere cavernoso (CV)** - Si sovrappone al Verrucano e si presenta in frattura fresca con il tipico aspetto sbrecciato. È costituito da un accumulo di brecciami calcarei con elementi derivanti in gran parte della formazione anidritica del Trias superiore (calcari, calcari dolomitici grigio scuro o chiaro, sbrecciati, vacuolari o compatti, talora con gessi, e sacche anche estese e spesse di sabbie silicee giallastre e biancastre).

#### **DOMINIO LIGURE INTERNO (CRETACICO SUP.-PALEOCENE)**

**Formazione di Sillano (SIL)** – È costituita prevalentemente da argilliti e argilliti siltose, grigio scure e marroni, spesso manganesifere.

#### **DOMINIO LIGURE ESTERNO (GIURASSICO SUP. – CRETACICO INF.)**

**Argille a Palombini (Pb)** - Questa formazione è costituita da una alternanza di strati di argilloscisti, di colore grigio scuro, con patine varicolori e strati generalmente di medio spessore,

di calcari silicei di colore grigio scuro, a grana finissima noti nella letteratura geologica con il nome di “Palombini”. Subordinatamente si possono ritrovare sottili intercalazioni di arenarie quarzose di colore grigio scuro.

### **CICLO STRATIGRAFICO DEL MIOCENE**

**Formazione di Cerreto a Merse, breccie di Grotti (CM)** - La Breccia di Grotti è costituita da breccie e conglomerati ad elementi di dimensioni variabili da 2 a 30 centimetri. Intercalati alla breccia sono individuabili blocchi di calcare cavernoso di dimensioni metriche. La matrice è costituita da sabbie e sabbie limose calcaree di colore giallo-arancio o rosso ruggine per processi pedogenetici.

### **CICLO STRATIGRAFICO DEL PLIOCENE**

**Argille azzurre (Pa)** - Si tratta essenzialmente di argille più o meno marnose e argille siltose, di aspetto in genere massiccio e di colore grigio-turchino al taglio fresco, grigio chiaro-giallo pallido in superficie alterata.

**Sabbie e sabbie argillose (Ps)** - Si tratta di sabbie gialle, generalmente grossolane, talvolta classate, ma più spesso con abbondante frazione limosa o argillosa. Generalmente sono molto compatte, tanto che possono presentare anche scarpate verticali.

### **DEPOSITI QUATERNARI**

**Depositi fluvio-lacustri (dl)** - La natura dei depositi è fortemente condizionata dai litotipi affioranti sulle sponde del lago antico e si tratta essenzialmente di sedimenti limoso-argillosi che contengono rari ciottoli calcarei.

**Alluvioni fluviali antiche terrazzate (at1 at2 at3)** - I sedimenti dei depositi alluvionali terrazzati antichi si possono ritrovare a varie altezze rispetto ai corsi d’acqua attuali, si va da un minimo di 5-20 m ad un massimo che supera i 100 m. Nel complesso, si tratta di depositi formati da sabbie con intercalazioni di ghiaietto, ghiaie e ciottoli con elementi eterometrici (fino a 30-40 cm di diametro) ed eterogenei (di natura prevalentemente anagenitica e quarzifica, subordinatamente calcarea), frutto del disfacimento dei litotipi. Sono inoltre presenti livelli pelitici, sia argillosi che limosi.

**Alluvioni fluviali recenti terrazzate (at)** - Sono generalmente costituite da sabbie e ciottoli eterometrici di natura eterogenea, con subordinati limi. I caratteri litologici sono controllati fortemente dalle caratteristiche dei terreni costituenti il proprio bacino imbrifero

**Cumuli di frana (F)** - I cumuli di frana sono formati da depositi grossolani, con la locale presenza di massi frammisti a ciottoli e ghiaia in matrice sabbioso limosa.

**Alluvioni fluviali attuali (a)** - Sono presenti, con estensioni variabili, lungo i principali corsi d’acqua, ossia lungo il F. Merse e lungo il T. Farma. Sono costituiti da percentuali variabili di argilla, limo, sabbia e ciottoli, con prevalenza dei livelli psammitici. Lo spessore della copertura alluvionale è solitamente maggiore vicino al corso d’acqua e si assottiglia, annullandosi alle estremità.

**Detrito di falda (DT)** - Sono presenti coperture detritiche (talvolta estese) costituite da materiale incoerente di varia natura, derivante dall’alterazione e dall’erosione dei terreni affioranti o dall’accumulo di masse rocciose movimentate per frana. I Detriti vanno pertanto a sovrapporsi indifferentemente a tutte le Formazioni precedentemente descritte, con l’eccezione dei Depositi alluvionali attuali (a) e talvolta dei Depositi alluvionali terrazzati recenti ed antichi (at). I detriti comprendono, quindi, gli accumuli di frana, le falde detritiche vere e proprie e le zone in cui è presente comunque una copertura incoerente, forse di origine colluviale o eluviale.

## 4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche delle unità geotecniche interessate dalla realizzazione dell’opera sono stati interpretati ed utilizzati i dati provenienti dalle due campagne di indagine eseguite nel 2000 e nel 2019 (cfr. paragrafi 2.1-2.2).

### 4.1 DEFINIZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

Come descritto nel paragrafo relativo all’inquadramento geologico, l’area oggetto dell’intervento, in superficie, è caratterizzata per la gran parte dalla presenza di depositi alluvionali terrazzati, costituiti prevalentemente da terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie). Al di sotto delle alluvioni e localmente affioranti nei tratti meno pianeggianti, sono presenti le formazioni del calcare cavernoso (CV) e delle Argille a Palombini (Pb), fino a circa la progressiva al km 46+400; nel tratto tra le progressive ai km 46+400 e 51+250 circa, il substrato è costituito dalle formazioni delle breccie di Grotti (CM) e di Sillano (SIL); infine, dalla progressiva al km 52+250 circa fino a fine tracciato il substrato è costituito dalla formazione delle argille azzurre plioceniche (Pa).

Nel dettaglio, le unità geotecniche intercettate dal tracciato sono le seguenti:

- **Unità geotecnica A:** depositi alluvionali, all’interno dei quali sono comprese le formazioni geologiche delle alluvioni fluviali terrazzate, recenti e antiche, e di quelle fluviali attuali; esso sono costituiti da sabbie e ghiaie, talvolta limose (*unità geologiche at, at2, at3, a*).
- **Unità geotecnica B:** argilliti appartenenti alla formazione geologica delle Argille con calcari Palombini, il cui comportamento meccanico è a grana fine (*unità geologica Pb*).
- **Unità geotecnica C:** formazione del Calcare Cavernoso, che si presenta sotto forma di una breccia di calcare dolomitico (*unità geologica CV*).
- **Unità geotecnica D:** conglomerati costituiti da breccie e materiale sabbioso-limoso, appartenenti alla formazione geologica di Cerreto a Merse o Breccie di Grotti (*unità geologica CM*).
- **Unità geotecnica E:** argille e limi argillosi, di colore grigio, da consistenti a molto consistenti (*unità geologiche dl, Pa, Ps, Sil*).

### 4.2 UNITÀ GEOTECNICA A

Tale unità geotecnica è rappresentata dai depositi alluvionali appartenenti alle formazioni geologiche delle alluvioni fluviali terrazzate, recenti ed antiche, e di quelle fluviali attuali (*unità geologiche at, at2, at3, a*); si tratta fondamentalmente di strati di ghiaia e ciottoli in matrice sabbiosa, che talora si presentano cementati.

Occorre evidenziare che nel tratto che va approssimativamente dalla pk 45+940 alla pk 48+000, situato all’interno della zona adibita a risaie, la granulometria delle alluvioni appare più eterogenea e in diversi campioni analizzati sembra prevalere la presenza di materiale a grana fine. Ciononostante, globalmente le alluvioni presentano lo stesso comportamento lungo tutto il tracciato.

Quanto detto è di facile comprensione se si osservano i grafici che riportano l'andamento dei parametri geotecnici con la profondità, nei quali si è scelto di indicare con **A1** i depositi prevalentemente a grana grossa e con **A2** la porzione di tale unità in cui risulta presente una maggiore componente a grana fine, con il solo obiettivo di dimostrare che è lecito considerarli come un'unica unità geotecnica.

Le caratteristiche meccaniche dell'unità A, oltre ad essere valutate mediante l'interpretazione delle prove *SPT* disponibili in corrispondenza di tali materiali, sono state ricavate anche dall'elaborazione di alcune prove di laboratorio.

Come si può notare si tratta di sabbie e ghiaie con una componente argilloso-limosa che in alcuni campioni raggiunge l'80%; il peso dell'unità di volume,  $\gamma$ , si può assumere mediamente pari a  $19.5 \text{ kN/m}^3$ . Il numero di colpi  $N_{SPT}$  ottenuto è estremamente variabile, risultando generalmente compreso tra 5 e 60, con diverse prove andate a rifiuto (nel diagramma associate al valore 100). La densità relativa  $D_r$ , valutata con la formula di *Skempton* (1986), varia tra il 30% e il 90%.

La Figura 2 riporta graficamente la granulometria, il peso dell'unità di volume, il numero di colpi misurato e la densità relativa determinata.

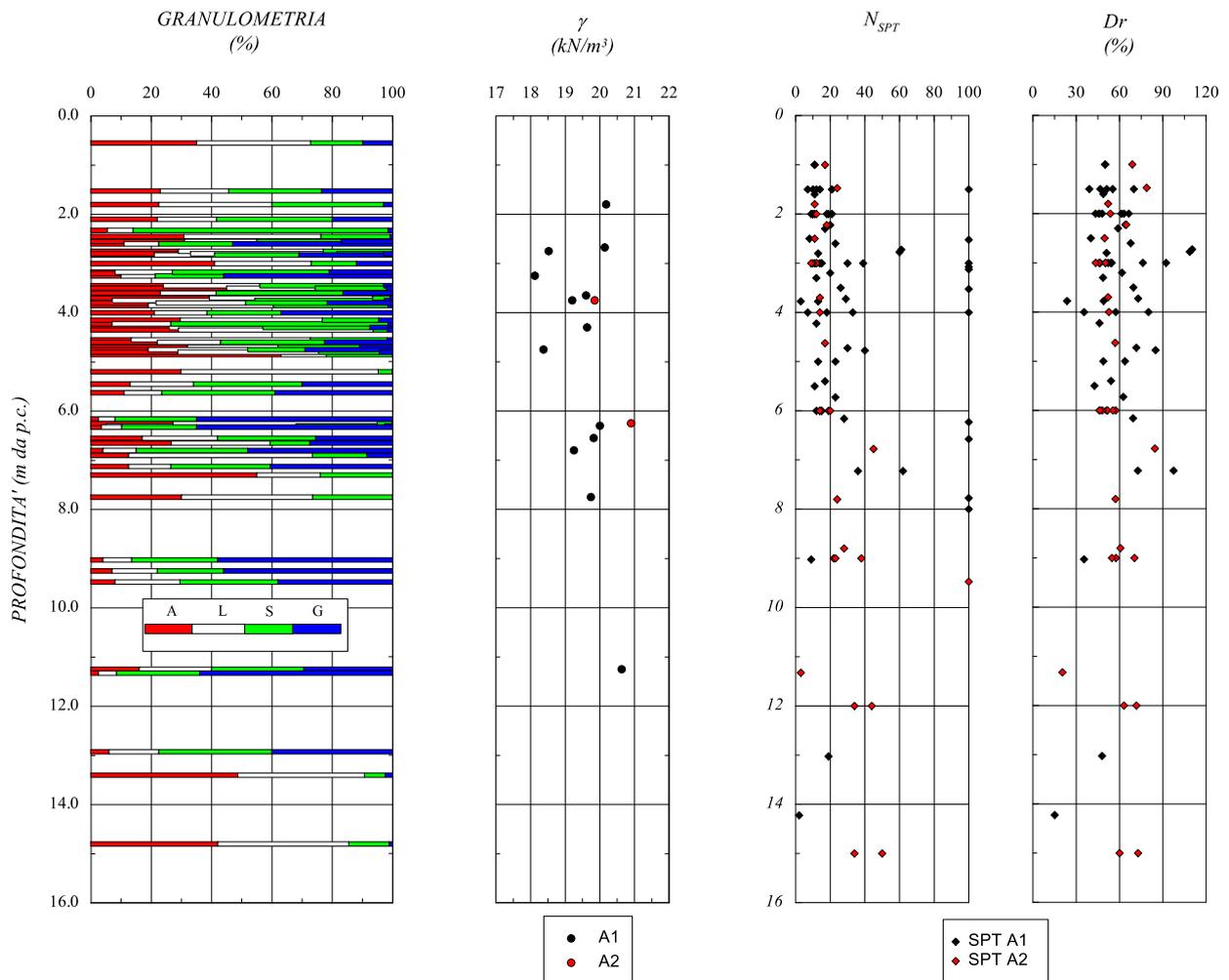


Figura 2: Unità geotecnica A - Caratteristiche fisiche da prove SPT.

Per l'angolo d'attrito  $\phi'$ , determinato a partire dai valori  $N_{SPT}$  mediante la formula di *Schmertmann* (1978), si ottengono valori compresi all'incirca tra  $36^\circ$  e  $42^\circ$ .

Il modulo di Young  $E'$ , determinato sulla base dei risultati sia delle prove SPT che delle prove sismiche *Down-Hole* e *MASW*, risulta all'incirca variabile tra 5 e 20÷25 MPa, nei primi 2 m di profondità, e tra 25 e 50 MPa a profondità maggiori.

I valori di  $\phi'$  ed  $E'$  ottenuti sono riportati graficamente in Figura 3.

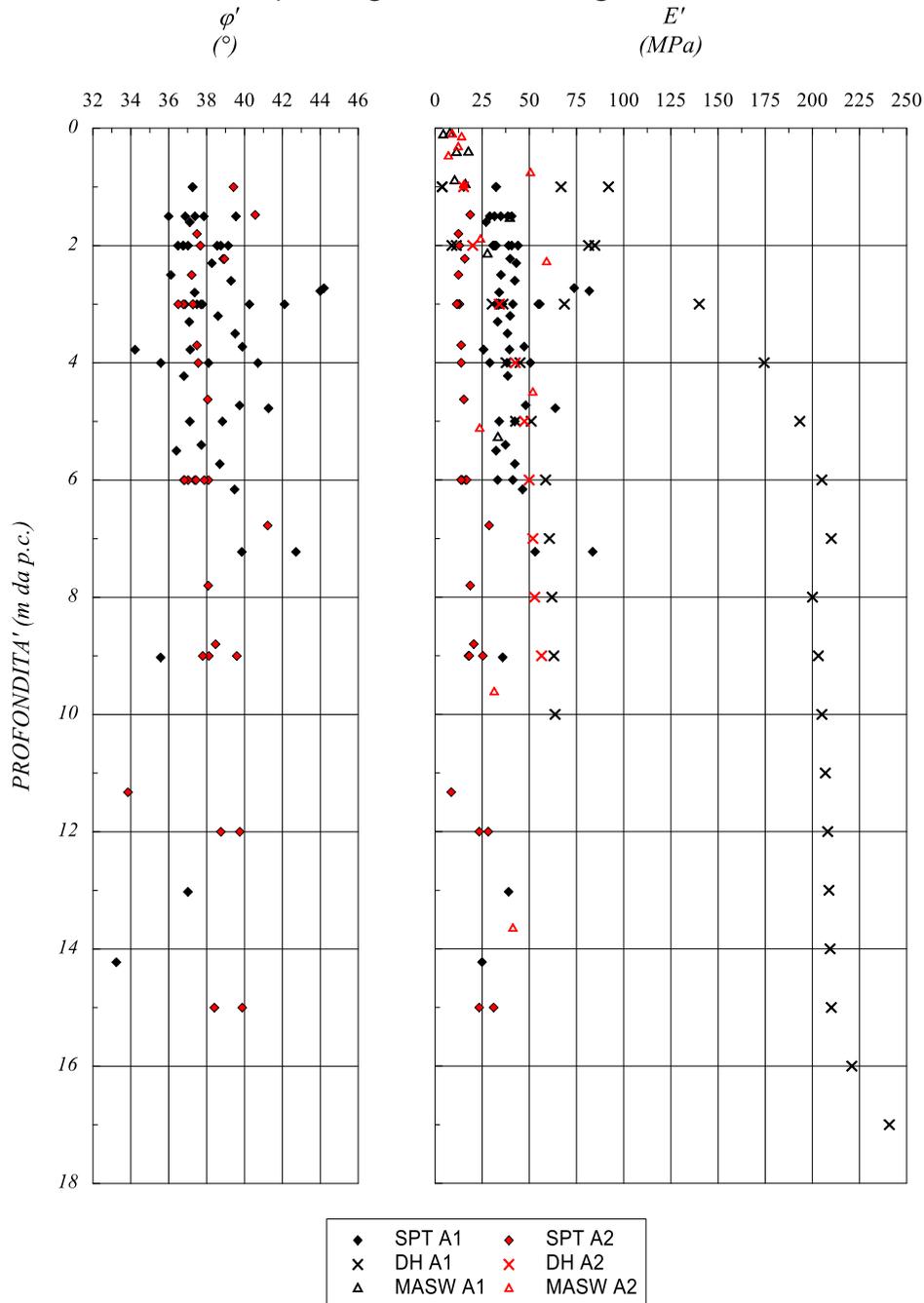


Figura 3: Unità geotecnica A – Angolo d'attrito da SPT e modulo  $E'$ .

Su n. 12 campioni indisturbati prelevati dal litotipo in esame, sono state condotte prove di laboratorio di taglio diretto (*TD*) e prove triassiali consolidate non drenate (*CIU*) che hanno consentito di valutare le caratteristiche di resistenza in termini di tensioni efficaci.

Da tali prove di laboratorio, i cui risultati sono riepilogati nella tabella seguente, sono stati ottenuti valori generalmente compresi, per l'angolo di attrito  $\phi'$  tra circa 24 e 32°, e per la coesione efficace  $c'$  tra circa 5 e 30 kPa. La Figura 4 riporta graficamente i risultati delle prove eseguite.

Tabella 5: Unità geotecnica A, riepilogo risultati prove di laboratorio.

Sondaggio	Campione	Anno	Profondità da p.c.		TD		CIU	
			da (m)	a (m)	$c'_p$ (kPa)	$\phi'_p$ (°)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
S4	CI1	1999-2000	6.10	6.50	7.7	24.2	-	-
S5	CI1	1999-2000	3.50	4.00	-	-	7.6	27.7
S22	CI1	1999-2000	3.30	4.00	3.7	24.7	-	-
S34	CI1	1999-2000	6.00	6.50	24.4	31.9	-	-
SG02-PZ	CI01	2019	4.10	4.50	19.9	32.3	-	-
SG03	CI01	2019	6.30	6.80	20.8	28.4	-	-
SG10-DH	CI01	2019	3.00	3.50	30.0	26.8	-	-
SG15-PZ	CI01	2019	2.45	2.90	13.9	33.5	-	-
SG24-PZ	CI01	2019	6.60	7.00	17.1	33.3	-	-
SG27-PZ	CI01	2019	11.00	11.50	28.8	27.1	-	-
SG40-PZ	CI01	2019	2.50	3.00	28.0	28.2	-	-
SG41-PZ	CI01	2019	7.50	8.00	7.7	24.2	-	-

La differenza di risultati tra le prove *SPT* e quelle di laboratorio sta nel fatto che i primi non tengono conto della componente coesiva del materiale, che è stata invece riscontrata nelle porzioni affioranti di tale formazione. Riportando su un piano di Mohr i due criteri di rottura (uno con  $c'=0$  e  $\phi'=36^\circ \div 42^\circ$ , l'altro con  $c'=15$  kPa e  $\phi'=24^\circ \div 32^\circ$ ) si evince che per le profondità di interesse risulta più cautelativo assegnare a tale unità le caratteristiche di resistenza ottenute dalle prove di laboratorio.

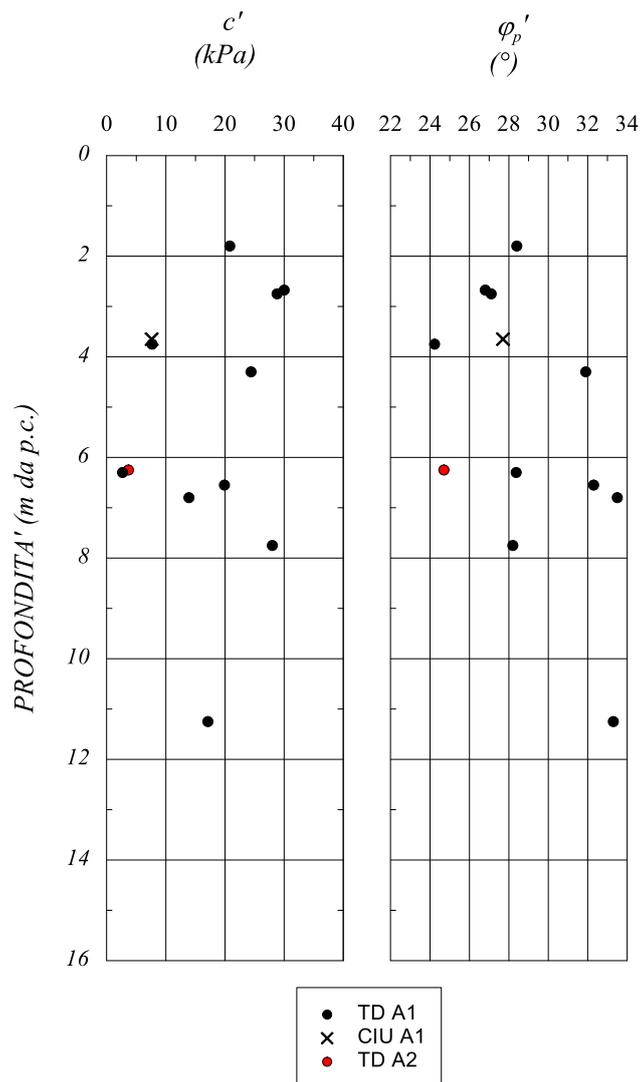


Figura 4: Unità geotecnica A – Caratteristiche di resistenza da prove di laboratorio.

### 4.3 UNITÀ GEOTECNICA B

Tale litotipo è rappresentato dalle argilliti e argille marnose appartenenti alla formazione geologica delle Argille con calcari Palombini (*unità geologica Pb*).

Al contatto con la sottostante formazione del Calcare Cavernoso si riscontra la presenza di materiale cataclasato, che nei grafici riportati nel seguito è indicato con **B2** per distinguerlo dalla porzione non alterata di tale unità, indicata come **B1**; come per l'unità geotecnica A, tale distinzione è stata fatta esclusivamente sui grafici per dimostrare che è lecito considerarli come un'unica unità geotecnica.

Per l'individuazione del comportamento meccanico dell'unità geotecnica B sono stati elaborati i risultati delle analisi e delle prove di laboratorio effettuate nelle due campagne di indagine. In

Tabella 6 sono riepilogati i campioni estratti in questo litotipo e le principali caratteristiche fisiche e proprietà indice ottenute dalle prove di laboratorio eseguite.

Tabella 6: Unità geotecnica B, riepilogo campioni sottoposti a prove di laboratorio e principali caratteristiche fisiche.

Sondaggio	Campione	Anno	Profondità da		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	e (-)	w (%)	w <sub>l</sub> (%)	w <sub>p</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	I <sub>c</sub> (%)
			p.c.								
			da (m)	a (m)							
S1	CR1	2000	2.65	3.00	-	-	20.56	41.30	20.65	20.65	1.00
S1	CR2	2000	9.55	9.90	-	-	19.65	42.35	20.82	21.53	1.05
S1	CR3	2000	15.65	16.00	-	-	21.54	40.49	18.90	21.59	0.88
S1	CR4	2000	20.55	20.90	-	-	18.99	43.62	20.31	23.31	1.06
S1	CR5	2000	27.35	27.70	-	-	19.80	22.45	12.99	9.46	0.28
S2	CR1	2000	4.25	4.50	-	-	17.65	36.22	16.66	19.56	0.95
S2	CR2	2000	11.00	11.35	-	-	15.80	41.94	17.70	24.24	1.08
S2	CR3	2000	18.00	18.35	-	-	18.36	39.08	15.00	24.08	0.86
S2	CR4	2000	24.30	24.65	-	-	19.22	38.55	15.03	23.52	0.82
S3	CR1	2000	9.50	9.90	-	-	18.65	38.50	18.40	20.10	0.99
S3	CR2	2000	11.00	11.30	-	-	17.55	39.10	18.58	20.52	1.05
S3	CR3	2000	13.2	13.5	-	-	19.32	40.10	18.75	21.35	0.97
S3	CR4	2000	14.8	15.0	-	-	15.86	38.26	18.29	19.97	1.12
S4	CR2	2000	9.90	10.20	-	-	22.30	33.51	14.86	18.65	0.60
S4	CR3	2000	12.10	12.40	-	-	24.30	23.79	18.26	5.53	-0.09
S4	CR4	2000	24.70	25.00	-	-	21.30	41.78	20.65	21.13	0.97
S5	CR1	2000	6.40	7.00	-	-	26.45	43.25	21.11	22.14	0.76
S5	CR2	2000	10.60	11.00	-	-	27.8	42.05	18.83	23.22	0.61
S5	CR3	2000	17.40	17.70	-	-	28.4	44.32	20.36	23.96	0.66
S5	CR4	2000	20.10	20.40	-	-	23.52	22.18	16.28	5.90	-0.23
S5	CR5	2000	35.30	35.60	-	-	22.63	25.65	15.40	10.25	0.29
S6	CR1	2000	7.50	7.80	-	-	23.40	41.97	19.72	22.25	0.83
S6	CR2	2000	8.80	9.20	-	-	22.80	41.21	19.20	22.01	0.84
S6	CR3	2000	10.20	10.60	-	-	23.65	43.25	19.40	23.85	0.82
S7	CR1	2000	9.80	10.15	-	-	16.30	41.05	20.90	20.15	1.23
S7	CR2	2000	14.25	14.60	-	-	15.80	43.10	21.40	21.70	1.26
S7	CR3	2000	18.50	18.80	-	-	17.60	44.39	21.03	23.36	1.15
S8	CR1	2000	9.90	10.20	-	-	20.30	48.99	22.43	26.56	1.08
S8	CR2	2000	15.00	15.35	-	-	19.50	44.65	19.50	25.15	1.00
S8	CR3	2000	19.65	20.00	-	-	21.40	47.45	21.70	25.75	1.01
S9	CR1	2000	8.30	8.60	-	-	20.80	43.22	20.54	22.68	0.99
S16	CR1	2000	2.20	2.60	-	-	17.90	45.40	20.10	25.30	1.09
S16	CR2	2000	13.00	13.45	-	-	18.30	50.52	21.58	28.94	1.11

**RELAZIONE GEOTECNICA**

S16	CR3	2000	19.00	19.40	-	-	20.50	49.35	22.00	27.35	1.05
S17	CR1	2000	13.10	13.45	-	-	15.65	38.75	17.85	20.90	1.11
S17	CR2	2000	16.35	16.75	-	-	16.32	45.99	20.95	25.04	1.18
S21	CR1	2000	13.45	13.80	-	-	17.06	35.65	16.40	19.25	0.97
S22	CR1	2000	9.00	9.35	-	-	20.50	50.66	17.89	32.77	0.92
S22	CR2	2000	16.60	17.00	-	-	21.50	46.60	18.50	28.10	0.89
S22	CR3	2000	21.60	22.00	-	-	20.64	44.90	16.74	28.16	0.86
S23	CR1	2000	9.10	9.50	-	-	19.65	50.11	18.40	31.71	0.96
S23	CR2	2000	14.45	14.80	-	-	20.35	49.65	19.40	30.25	0.97
S23	CR3	2000	20.00	20.35	-	-	19.05	48.54	17.52	31.02	0.95
S23	CR4	2000	22.00	22.35	-	-	20.65	49.55	18.95	30.60	0.94
S24	CR1	2000	9.00	9.35	-	-	21.30	54.75	22.25	32.50	1.03
S24	CR2	2000	19.00	19.30	-	-	18.65	45.77	17.42	28.35	0.96
S24	CR3	2000	23.70	24.00	-	-	15.63	39.95	19.59	20.36	1.19
S8	CI1	2000	3.00	3.50	20.1	0.61	20.47	44.20	23.90	20.30	1.17
S9	CI1	2000	3.80	4.10	20.5	0.50	15.02	41.03	22.23	18.80	1.38
S16	CI1	2000	4.20	4.50	20.8	0.37	17.43	53.29	16.91	36.38	0.99
S22	CI2	2000	10.00	10.40	21.0	0.52	20.09	44.92	18.05	26.87	0.92
S23	CI1	2000	13.20	13.50	21.0	0.52	17.57	49.60	22.40	27.20	1.18
SG01-DH	CR01	2019	3.00	3.65	-	-	-	-	-	-	-
SG01-DH	CR02	2019	5.80	6.40	-	-	-	-	-	-	-
SG01-DH	CI01	2019	8.20	8.80	19.27	-	22.1	37.50	25.97	11.53	1.34
SG01-DH	CI02	2019	16.00	16.50	19.74	-	24.13	41.25	26.87	14.38	1.19
SG01-DH	CI03	2019	27.00	27.50	20.87	-	12.63	35.60	23.87	11.73	1.96
SG02-PZ	CR02	2019	9.20	9.85	-	-	-	-	-	-	-
SG02-PZ	CI02	2019	10.80	11.30	20.77	-	13.79	26.60	17.97	8.63	1.48
SG02-PZ	CR03	2019	13.20	13.85	-	-	-	-	-	-	-
SG02-PZ	CR04	2019	16.00	16.65	-	-	-	-	-	-	-
SG02-PZ	CR05	2019	19.00	19.65	-	-	-	-	-	-	-
SG02-PZ	CR06	2019	22.00	22.65	-	-	-	-	-	-	-
SG02-PZ	CR07	2019	24.00	24.65	-	-	-	-	-	-	-
SG03	CR02	2019	10.00	10.65	-	-	-	-	-	-	-
SG03	CI02	2019	15.00	15.60	19.83	-	24.87	44.50	16.17	28.33	0.69
SG03	CR03	2019	18.00	18.65	-	-	-	-	-	-	-
SG03	CI03	2019	20.50	21.00	17.87	-	22.19	32.25	19.62	12.63	0.80
SG03	CR04	2019	22.00	22.50	-	-	-	-	-	-	-
SG03bis	CR01	2019	2.30	2.95	-	-	-	-	-	-	-
SG03bis	CI01	2019	5.00	5.50	20.31	-	10.03	-	-	-	-
SG03bis	CR02	2019	10.00	10.65	-	-	-	-	-	-	-
SG03bis	CI02	2019	13.00	13.50	21.44	0.31	10.68	37.70	19.52	18.18	1.49
SG03bis	CR03	2019	16.80	17.45	-	-	-	-	-	-	-

**RELAZIONE GEOTECNICA**

SG03bis	CI03	2019	19.50	20.00	20.09	0.55	14.83	31.60	16.14	15.46	1.08
SG03bis	CR04	2019	20.80	21.45	-	-	-	-	-	-	-
SG03bis	CR05	2019	24.50	25.15	-	-	-	-	-	-	-
SG04-PZ	CR03	2019	29.00	29.50	-	-	-	-	-	-	-
SG05-DH	CI01	2019	20.50	21.00	21.11	0.34	12.69	38.50	20.88	17.62	1.46
SG05-DH	CI02	2019	27.00	27.50	20.13	0.46	17.5	43.00	21.33	21.67	1.18
SG05-DH	CI03	2019	33.00	33.50	21.48	0.44	15.81	46.00	19.26	26.74	1.13
SG05-DH	CI04	2019	37.40	38.00	21.07	0.50	18.25	36.00	21.03	14.97	1.19
SG05-DH	CR05	2019	43.50	43.80	-	-	-	-	-	-	-
SG06-PZ	CI02	2019	12.30	12.80	21.90		12.29	40.50	23.06	17.44	1.62
SG06-PZ	CR03	2019	14.00	14.55	-	-	-	-	-	-	-
SG06-PZ	CI03	2019	19.00	19.40	21.15		16.48	44.10	27.78	16.32	1.69
SG13	CR01	2019	3.50	4.20	-	-	-	-	-	-	-
SG13	CI01	2019	7.70	8.20	20.59	0.47	16.02	32.10	19.76	12.34	1.30
SG13	CR02	2019	12.20	12.85	-	-	-	-	-	-	-
SG13	CI02	2019	14.20	14.70	20.18	0.64	22.18	43.00	18.08	24.92	0.84
SG13	CR03	2019	17.70	18.25	-	-	-	-	-	-	-
SG13	CR04	2019	23.00	23.65	-	-	-	-	-	-	-
SG13	CI03	2019	26.50	27.00	21	0.37	14.28	33.00	21.86	11.14	1.68
SG13	CI04	2019	33.00	33.60	18.42	0.93	34.14	35.50	20.18	15.32	0.09
SG14-PZ	CI01	2019	6.30	6.85	21.19	0.45	14.59	29.40	17.78	11.62	1.27
SG14-PZ	CR02	2019	9.00	9.70	-	-	-	-	-	-	-
SG15-PZ	CI02	2019	9.45	10.00	21.16	0.31	11.88	28.20	12.33	15.87	1.03
SG15-PZ	CR03	2019	11.75	12.30	-	-	-	-	-	-	-
SG15-PZ	CR04	2019	16.60	17.00	-	-	-	-	-	-	-
SG19-PZ	CI01	2019	7.00	7.50	21.23		13.95	28.00	16.69	11.31	1.24
SG19-PZ	CR02	2019	7.50	8.20	-	-	-	-	-	-	-
SG19-PZ	CR03	2019	10.50	11.20	-	-	-	-	-	-	-
SG19-PZ	CI02	2019	14.50	15.00	20.17	0.57	20.17	48.50	14.38	34.12	0.83
SG19-PZ	CR04	2019	16.30	16.90	-	-	-	-	-	-	-
SG19-PZ	CR05	2019	19.30	20.00	-	-	-	-	-	-	-
SG21-PZ	CR01	2019	2.50	3.25	-	-	-	-	-	-	-
SG21-PZ	CI01	2019	5.00	5.60	19.74	0.51	15.12	31.00	18.40	12.60	1.26
SG21-PZ	CR02	2019	8.30	8.95	-	-	-	-	-	-	-
SG21-PZ	CR03	2019	11.80	12.45	-	-	-	-	-	-	-
SG21-PZ	CR04	2019	17.85	18.55	-	-	-	-	-	-	-
SG21-PZ	CR05	2019	21.30	21.95	-	-	-	-	-	-	-
SG27-PZ	CR04	2019	16.00	16.65	-	-	-	-	-	-	-
SG27-PZ	CR05	2019	22.00	22.65	-	-	-	-	-	-	-
SG27-PZ	CI02	2019	26.40	27.00	19.41	0.69	24.55	-	-	-	-

La Figura 5 riporta le principali caratteristiche fisiche del litotipo in questione stimate dalle prove di laboratorio. Come si può notare si tratta di argille limose e sabbiose in cui si rileva spesso una significativa componente ghiaiosa, che raggiunge anche valori del 60%. Il peso dell'unità di volume,  $\gamma$ , può essere assunto mediamente pari a  $20 \text{ kN/m}^3$ ; l'indice di plasticità  $IP$  è variabile tra 10 e 30, l'indice di consistenza  $I_c$  risulta mediamente pari a 1 ed il limite liquido  $w_L$  ha valori compresi all'incirca tra 30% e 50%.

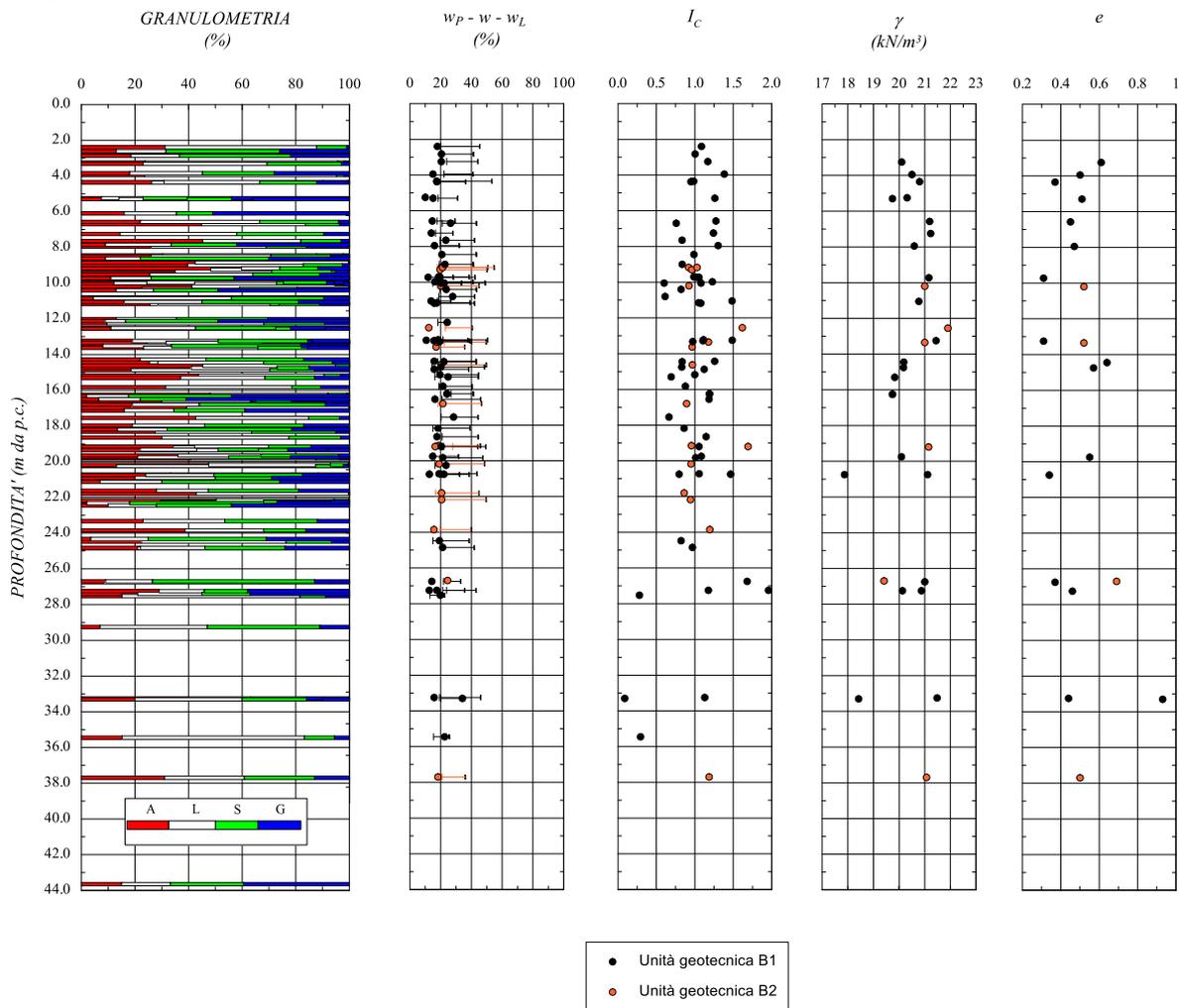


Figura 5: Unità geotecnica B - Caratteristiche fisiche.

Riportando i valori relativi ai campioni prelevati dai sondaggi sulla carta di plasticità di Casagrande, i campioni analizzati risultano classificabili come “argille inorganiche di media plasticità” (Figura 6).

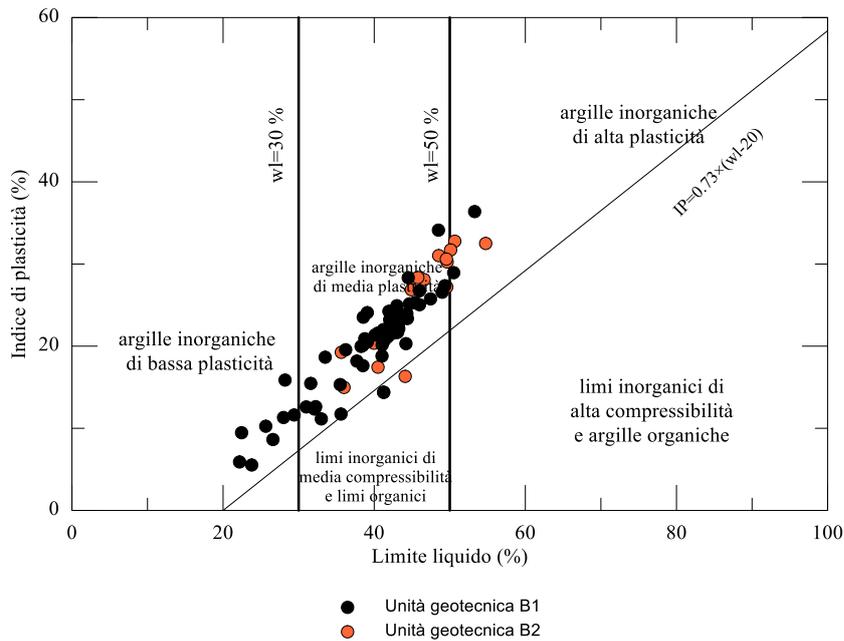


Figura 6: Unità geotecnica B - Carta di plasticità di Casagrande.

Per la valutazione delle caratteristiche di resistenza in termini di tensioni efficaci si è fatto riferimento alle prove di laboratorio di taglio diretto (*TD*), prove triassiali consolidate non drenate (*CIU*) e consolidate drenate (*CID*) i cui risultati sono riepilogati in Tabella 7.

Tabella 7: Unità geotecnica B, riepilogo risultati prove di laboratorio.

Sondaggio	Campione	Anno	Profondità da p.c.		TD		CIU		CID	
			da (m)	a (m)	$c'_p$ (kPa)	$\varphi'_p$ (°)	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)
S8	CI1	2000	3.00	3.50	9.0	23.3	-	-	-	-
S9	CI1	2000	3.80	4.10	-	-	8.9	25.2	-	-
S16	CI1	2000	4.20	4.50	-	-	23.7	26.9	-	-
S22	CI2	2000	10.00	10.40	-	-	20.4	23.1	-	-
S23	CI1	2000	13.20	13.50	10.5	24.9	-	-	-	-
SG01-DH	CI01	2019	8.20	8.80	-	-	30.9	27.9	-	-
SG01-DH	CI03	2019	27.00	27.50	24.4	33.2	-	-	-	-
SG02-PZ	CI02	2019	10.80	11.30	-	-	-	-	20.4	31.6
SG03	CI02	2019	15.00	15.60	-	-	32.0	25.4	-	-
SG03	CI03	2019	20.50	21.00	-	-	-	-	27.0	31.4
SG03bis	CI01	2019	5.00	5.50	-	-	-	-	13.4	34.6
SG03bis	CI03	2019	19.50	20.00	-	-	-	-	22.1	32.2
SG05-DH	CI01	2019	20.50	21.00	-	-	-	-	22.7	33.6
SG05-DH	CI02	2019	27.00	27.50	-	-	-	-	25.4	33.6
SG05-DH	CI04	2019	37.40	38.00	25.6	30.3	-	-	-	-
SG13	CI01	2019	7.70	8.20	27.8	30.0	-	-	-	-

SG13	CI03	2019	26.50	27.00	-	-	30.7	28.8	-	-
SG14-PZ	CI01	2019	6.30	6.85	23.4	27.7	26.8	28.5		
SG15-PZ	CI02	2019	9.45	10.00	-	-	-	-	12.6	35.5
SG19-PZ	CI01	2019	7.00	7.50	16.1	32.2	-	-	-	-
SG19-PZ	CI02	2019	14.50	15.00	-	-	36.8	25.2	-	-
SG21-PZ	CI01	2019	5.00	5.60	-	-	-	-	18.4	33.1
SG27-PZ	CI02	2019	26.40	27.00	15.1	35.3	-	-	-	-

Con riferimento ai risultati ottenuti dalle prove di laboratorio elencate in tabella, l'angolo d'attrito  $\varphi'$  risulta compreso all'incirca tra  $22^\circ$  e  $35^\circ$ , mentre la coesione efficace  $c'$  risulta compresa nell'intervallo 10÷30 kPa. La Figura 7 riporta graficamente i risultati delle prove eseguite.

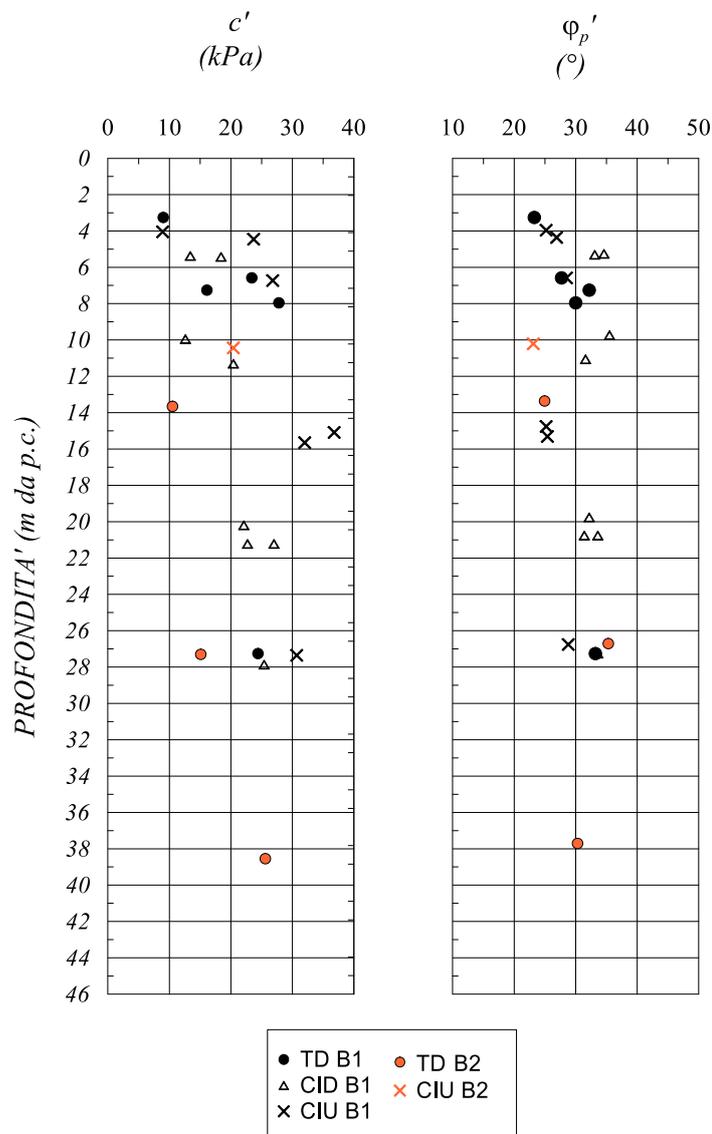


Figura 7: Unità geotecnica B - Caratteristiche di resistenza da prove di laboratorio.

In Figura 8 sono riportati i valori della resistenza a taglio non drenata,  $c_u$ , ricavati a partire dalla resistenza alla penetrazione misurata con il *pocket penetrometer* e dalle prove di laboratorio triassiali non consolidate non drenate. Con riferimento a tale grafico, si osserva come i risultati ottenuti dalle prove triassiali non consolidate non drenate (UU) siano confrontabili con i valori di  $c_u$  determinati mediante l'elaborazione dei *pocket*: nello specifico, la resistenza a taglio non drenata risulta compresa all'incirca tra 150 e 250 kPa entro i primi 20 m di profondità e tra 100 e 250 kPa a profondità maggiori.

In Figura 8, inoltre, l'andamento della resistenza non drenata è posto a confronto con l'andamento della retta di equazione  $c_u = 0.24 \sigma'_v$ , che rappresenta una stima attendibile del valore della resistenza non drenata di un materiale coesivo normalmente consolidato: a meno di alcuni punti, i valori di  $c_u$  ottenuti dalle prove sono generalmente lontani da tale retta.

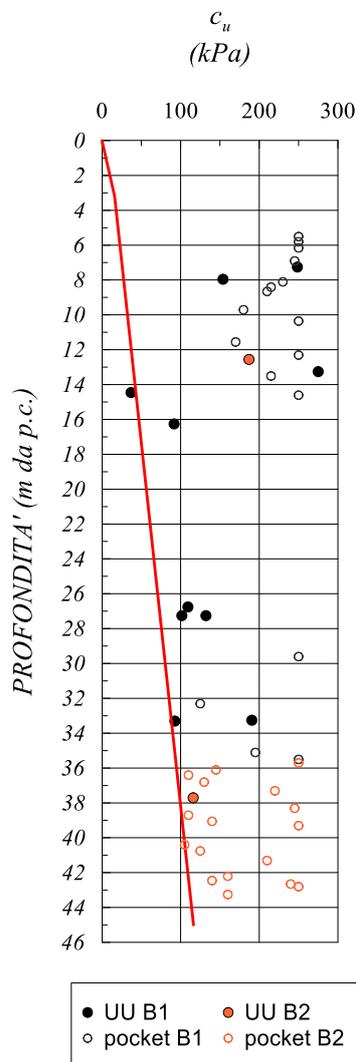


Figura 8: Unità geotecnica B - Caratteristiche di resistenza non drenata da prove di laboratorio e da *pocket*.

Ulteriori considerazioni in merito possono essere fatte osservando il grafico riportato in Figura 9, in cui vengono riportati i valori di *OCR* determinati partendo dai valori della resistenza non drenata ottenuti dai *pocket*, attraverso la seguente relazione (*Koutsoftas e Ladd, 1985*):

$$c_u/\sigma'_{v0} = (0.22 \pm 0.03) \cdot OCR^{0.8}$$

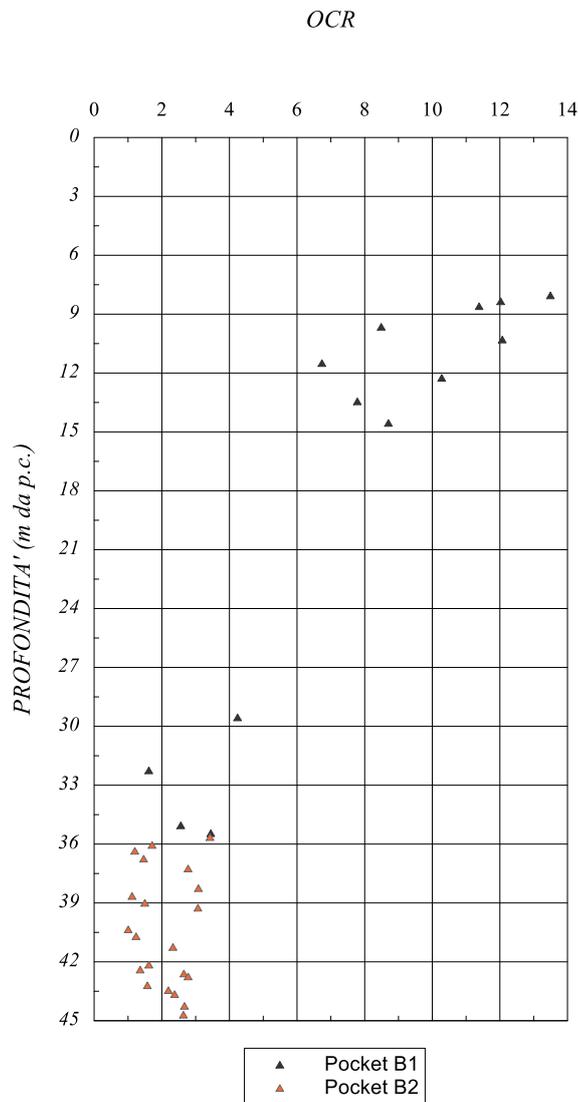


Figura 9: Unità geotecnica B - OCR da pocket.

Come si può osservare dalla figura, i valori di *OCR* ottenuti dall'elaborazione dei *pocket* risultano compresi tra 6 e 12 per profondità fino a 15 m, mentre a partire dai 30 m di profondità ricadono nell'intervallo 1.5÷3. Per profondità comprese tra i 15 e i 30 m non si dispone di misure di *pocket* ma, immaginando la riduzione di tale indice con la profondità, si può ipotizzare che nei primi 20 m esso sia variabile da 3 a 5.

La stima del modulo di rigidezza è stata eseguita interpretando le prove pressiometriche, le prove *Down-Hole* e le *MASW* (Figura 10); osservando i punti riportati sul grafico risulta evidente come nei primi 20 m di profondità il modulo  $E'$  assuma valori compresi tra 50 e 120 MPa, mentre a profondità maggiori esso appare variabile tra un minimo di 100 fino a valori superiori a 300 MPa.

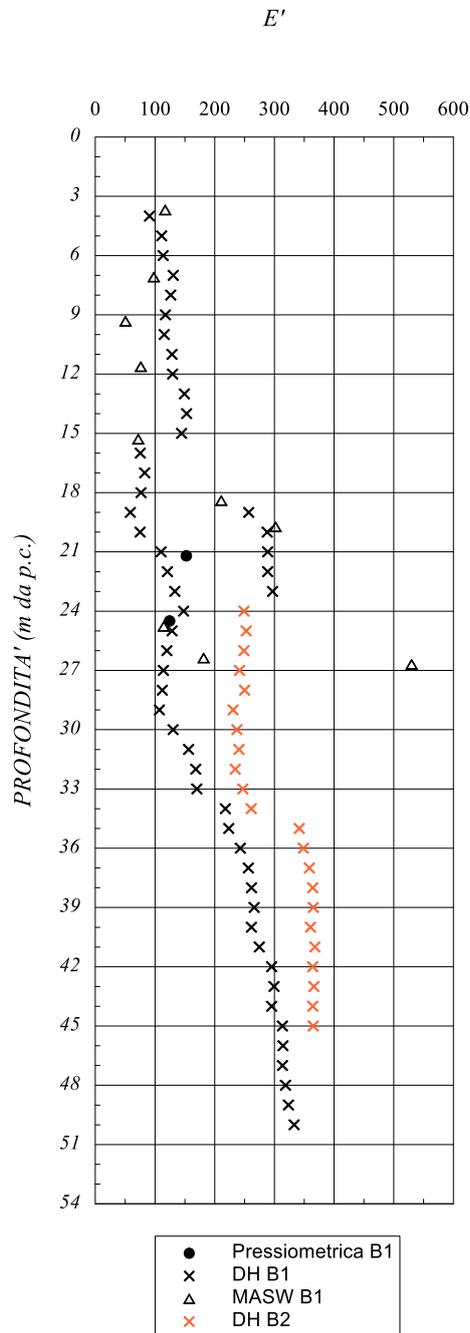


Figura 10: Unità geotecnica B – Stima del modulo  $E'$ .

Dalle prove edometriche eseguite durante le due campagne d'indagine sono stati stimati i valori del coefficiente di compressibilità  $C_c$ , di rigonfiamento  $C_s$  e del coefficiente di consolidazione verticale  $c_v$  (cfr. Figura 11).

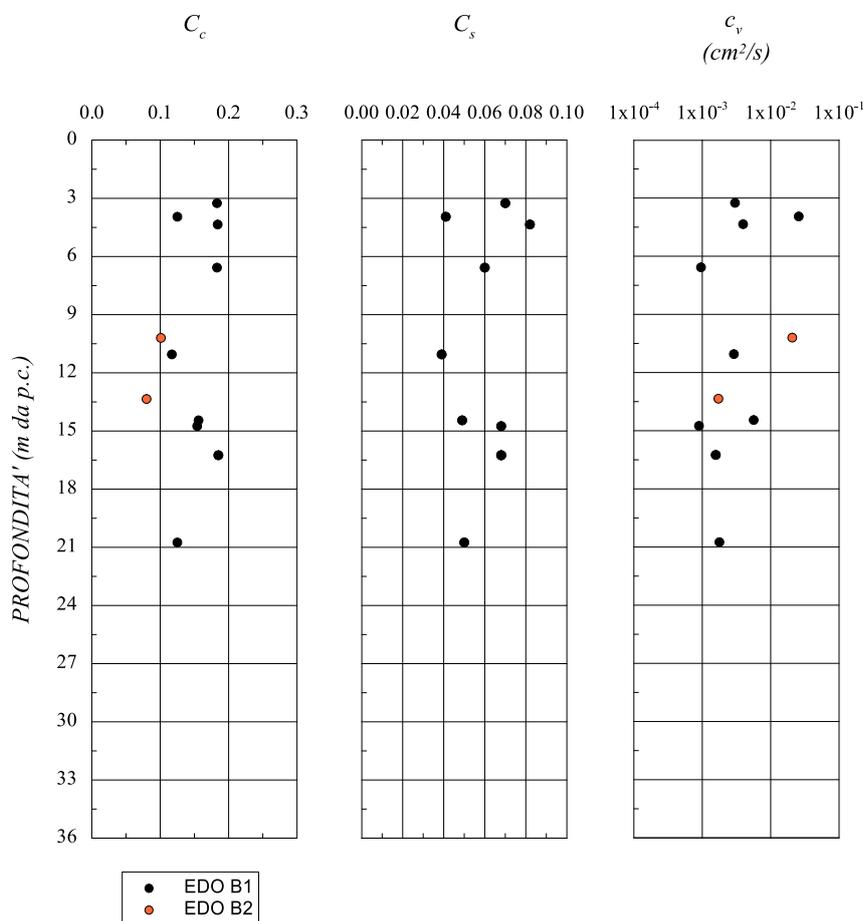


Figura 11: Unità B - Coefficienti di compressibilità, rigonfiamento e consolidazione verticale ottenuti dalle prove edometriche.

I coefficienti  $C_c$  e  $C_s$  risultano rispettivamente compresi tra 0.1 e 0.2 e tra 0.04 e 0.08.

Relativamente al coefficiente di consolidazione  $c_v$ , dall'interpretazione delle prove edometriche sono stati ottenuti valori mediamente compresi tra  $1 \times 10^{-3}$  e  $1 \times 10^{-2}$   $cm^2/s$ , ovvero  $c_v = 1 \times 10^{-7} \div 1 \times 10^{-6}$   $m^2/s$  (cfr. Figura 11).

Sull'unità geotecnica in esame sono state eseguite n. 2 prove di permeabilità *Lefranc*, che hanno restituito valori di  $k$  compresi nell'intervallo  $4 \times 10^{-6} \div 7 \times 10^{-6}$   $m/s$ .

#### 4.4 UNITÀ GEOTECNICA C

L'unità geotecnica C corrisponde alla formazione del Calcare Cavernoso (*unità geologica CV*).

All'interno del litotipo in esame si identificano alcuni metri di fascia cataclasata al contatto con la formazione sovrastante delle Argille a Palombini; come già fatto nel paragrafo 4.3 per l'unità geotecnica B, nei grafici che seguono sono stati indicati con **C2** i risultati ricadenti all'interno della cataclasite, per differenziarli dalla parte non alterata di tale materiale, **C1**. Come per le unità geotecniche A e B, tale distinzione è stata fatta esclusivamente sui grafici per dimostrare che è lecito considerarli come un'unica unità geotecnica.

Non avendo a disposizione campioni lapidei, le caratteristiche meccaniche del litotipo C sono state valutate innanzitutto mediante l'interpretazione delle prove *SPT* effettuate in corrispondenza di tale materiale.

Come si può notare si tratta di sabbie e ghiaie limose, che alle profondità in cui il materiale si presenta in forma cataclasata, assume l'aspetto di argilla limosa in cui la componente sabbioso-ghiaiosa si riduce notevolmente. Il peso dell'unità di volume,  $\gamma$ , si può assumere pari a 21.0 kN/m<sup>3</sup>. Il numero di colpi  $N_{SPT}$  ottenuto risulta compreso tra 20 e 90, con molte prove andate a rifiuto. La densità relativa  $D_r$ , valutata con la formula di *Skempton* (1986), varia tra il 60% e il 100%.

La Figura 12 riporta graficamente la granulometria, il peso dell'unità di volume, il numero di colpi misurato e la densità relativa determinata.

Per l'angolo d'attrito  $\phi'$ , determinato a partire dai valori  $N_{SPT}$  mediante la formula di *Schmertmann* (1978), si ottengono valori compresi all'incirca tra 39° e 46° (cfr. Figura 13). Il modulo di Young  $E'$ , determinato sulla base dei risultati sia delle prove *SPT* che delle prove sismiche *Down-Hole* e *MASW*, risulta all'incirca variabile tra 40 e 80 MPa nei primi 10 m di profondità, mentre a profondità maggiori assume valori che vanno da 60 fino ad oltre 300 MPa (cfr. Figura 13).

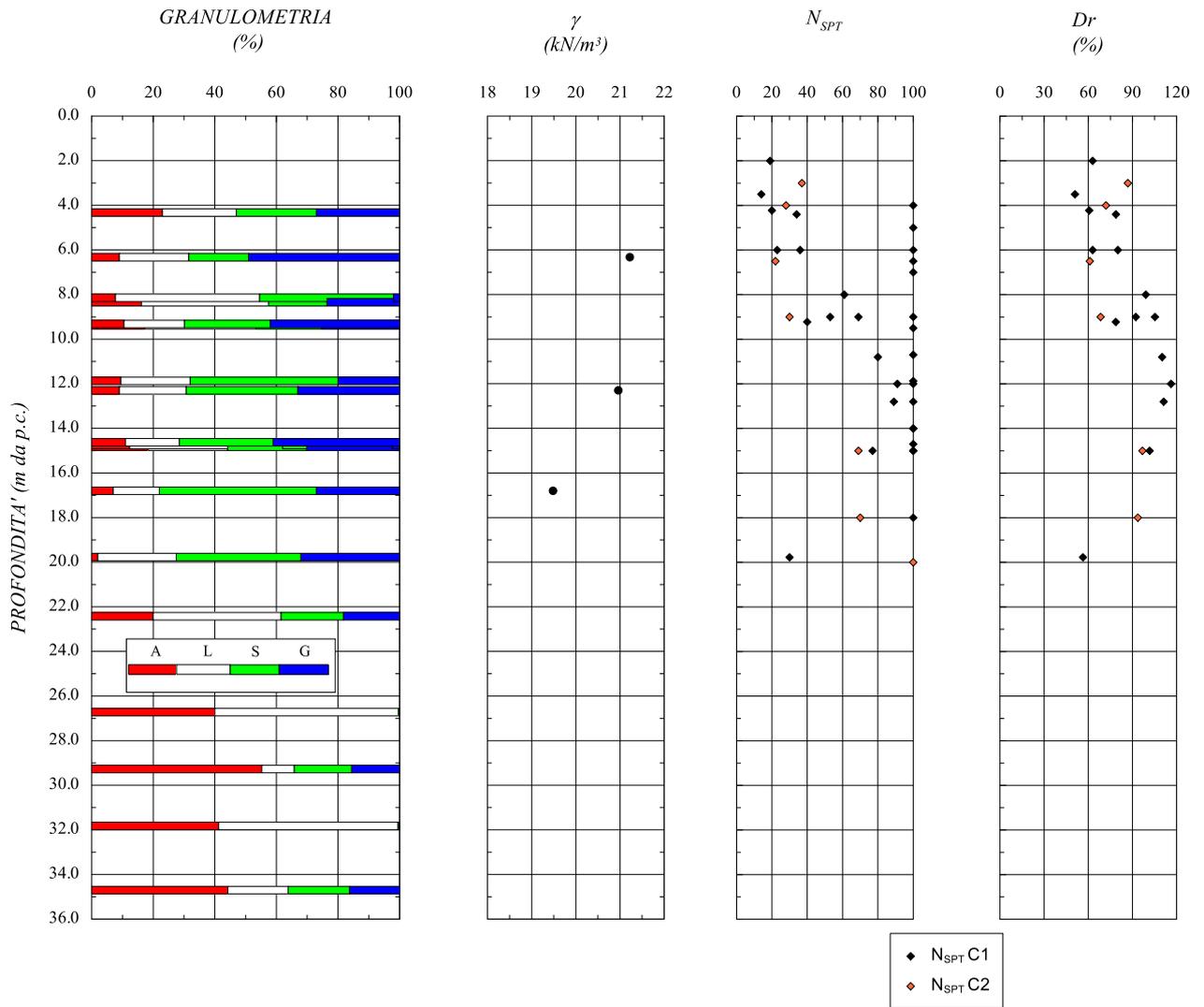


Figura 12: Unità geotecnica C - Caratteristiche fisiche da prove SPT.

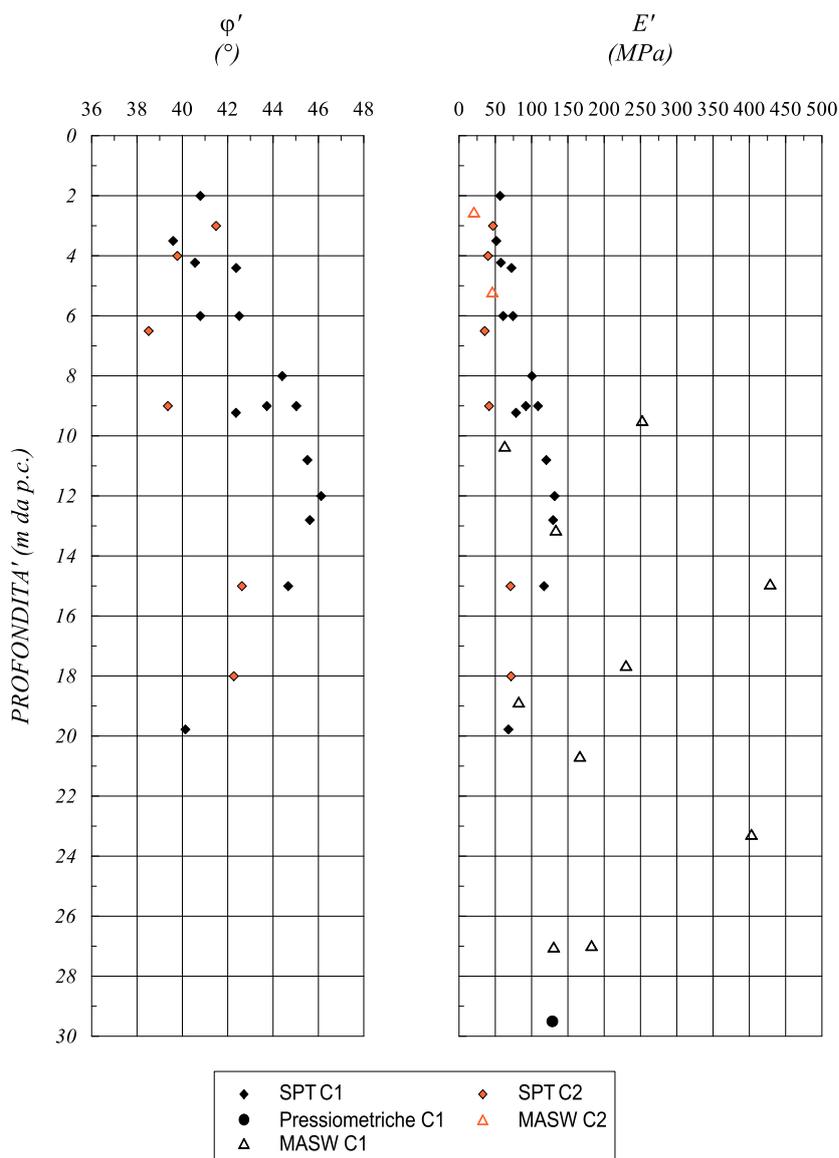


Figura 13: Unità geotecnica C – Angolo d'attrito da SPT e modulo  $E'$ .

Si dispone, inoltre, di n. 2 prove di laboratorio (n. 1 prova di taglio diretto e n. 1 prova triassiale consolidata drenata) condotte su altrettanti campioni indisturbati prelevati dal litotipo in esame.

Dall'elaborazione di tali prove sono state valutate le caratteristiche di resistenza in termini di tensioni efficaci, come riepilogato in

Tabella 8: in particolare, sono stati ottenuti valori dell'angolo di attrito  $\phi'$  pari a  $34^\circ - 35^\circ$  e della coesione efficace pari a circa 13 - 14 kPa. La Figura 14 riporta graficamente i risultati delle prove eseguite.

Tabella 8: Unità geotecnica C, riepilogo risultati prove di laboratorio.

Sondaggio	Campione	Anno	Profondità da p.c.		TD		CID	
			da (m)	a (m)	$c'_p$ (kPa)	$\phi'_p$ (°)	$c'$ (kPa)	$\phi'$ (°)
SG07	CI01	2019	6.00	6.65			13.2	34.1
SG24-PZ	CI02	2019	16.60	17.00	13.8	35.1		

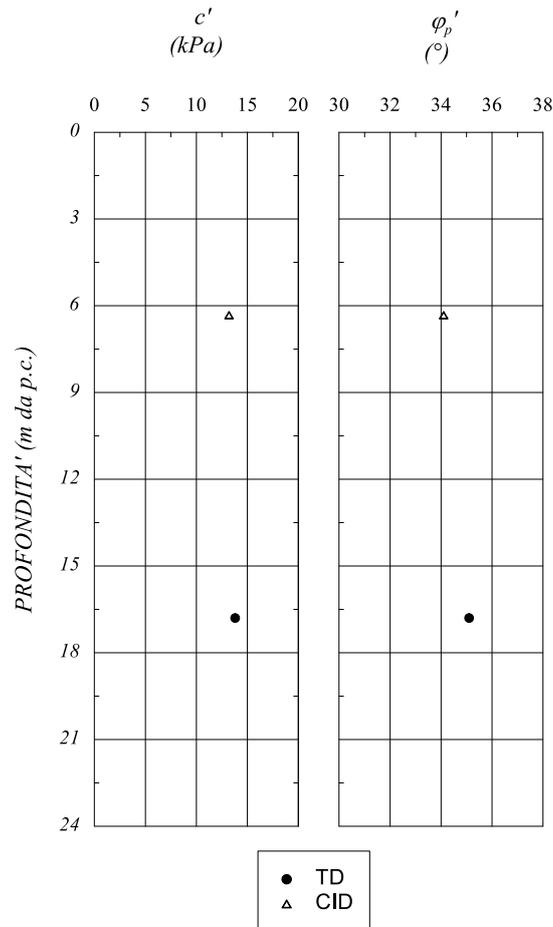


Figura 14: Unità geotecnica C - Caratteristiche di resistenza da prove di laboratorio.

Anche per l'unità geotecnica C (così come descritto per l'unità A) la differenza dei valori dei parametri di resistenza meccanica ottenuti dall'elaborazione delle prove in sito *SPT* e da quelle di laboratorio è anche legata al fatto che con le prime si assume un comportamento puramente attritivo (non potendo definire un valore per la coesione). Riportando sul piano di Mohr i due criteri di rottura (uno con  $c'=0$  e  $\phi'=39^\circ \div 46^\circ$ , l'altro con  $c'=13 \div 14$  kPa e  $\phi'=34^\circ \div 35^\circ$ ) si evince che per le profondità di interesse risulta più cautelativo assegnare a tale unità le caratteristiche di resistenza ottenute dalle prove di laboratorio.

## 4.5 UNITÀ GEOTECNICA D

Tale unità, che nasce da un processo d'alterazione e rielaborazione della Formazione del Calcere Cavernoso, è costituito da una breccia debolmente cementata in matrice di natura sabbioso-limosa (*unità geologica CM*). Si tratta, dunque, di un materiale a grana prevalentemente grossa.

Come si può notare osservando i grafici di Figura 15, si tratta di ghiaie sabbiose con una componente limoso-argillosa dell'ordine del 20-30%, che talvolta raggiunge percentuali più elevate. Il peso dell'unità di volume,  $\gamma$ , si può assumere pari a  $19.0 \text{ kN/m}^3$ . Il numero di colpi  $N_{SPT}$  ottenuto, che è estremamente variabile, risulta compreso tra 10 e 80, con molte prove andate a rifiuto. La densità relativa  $D_r$ , valutata con la formula di Skempton (1986), varia tra il 60% e il 90%.

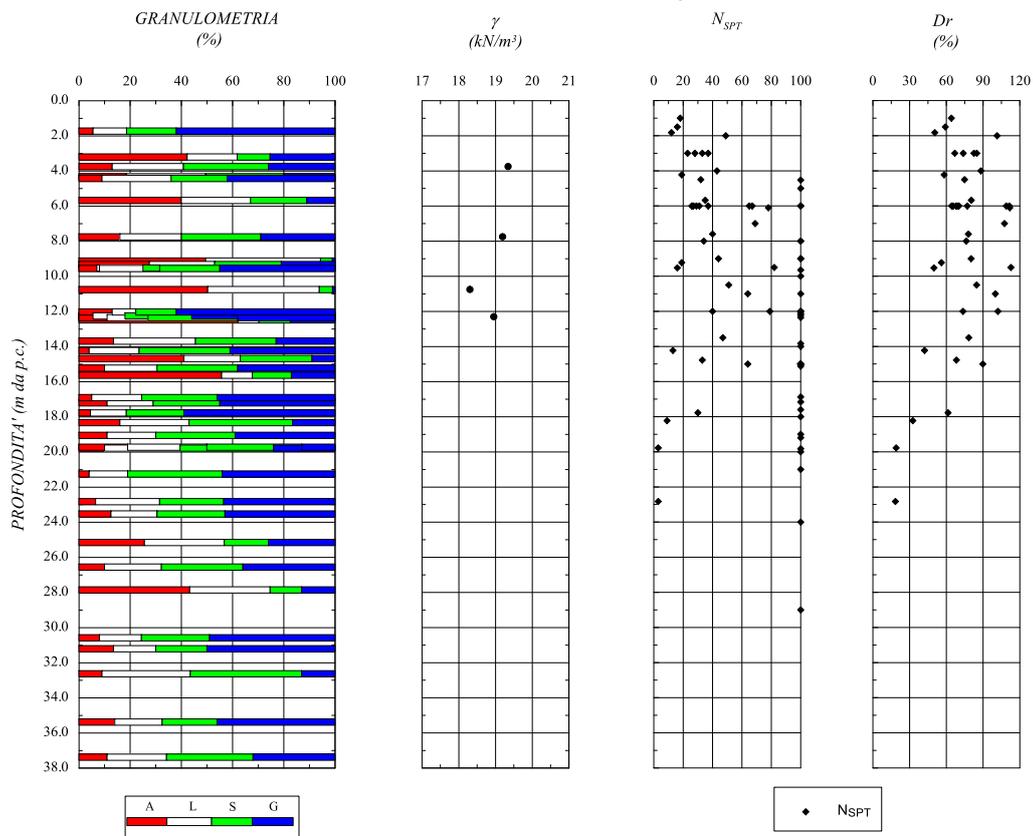


Figura 15: Unità geotecnica D - Caratteristiche fisiche da prove SPT.

Dall'elaborazione delle prove *SPT* eseguite nel corso delle due campagne d'indagine, si ottengono valori dell'angolo di attrito  $\phi'$  compresi all'incirca tra  $35^\circ$  e  $44^\circ$ , determinati mediante la formula di *Schmertmann* (1978) (cfr. Figura 16); tali valori  $\phi'$  di sono associati a valori nulli della coesione efficace, non determinabile dalle prove *SPT*.

Il modulo di Young  $E'$ , valutato a partire sia dal numero di colpi  $N_{SPT}$  attraverso la formula di *Denver* (1982) sia dall'elaborazione delle prove sismiche *Down-Hole* e *MASW*, risulta compreso tra 50 e 100 MPa nei primi 12 m di profondità, mentre a profondità maggiori assume valori che vanno da 100 a 250 MPa. I valori di  $\phi'$  ed  $E'$  ottenuti sono riportati graficamente in Figura 16.

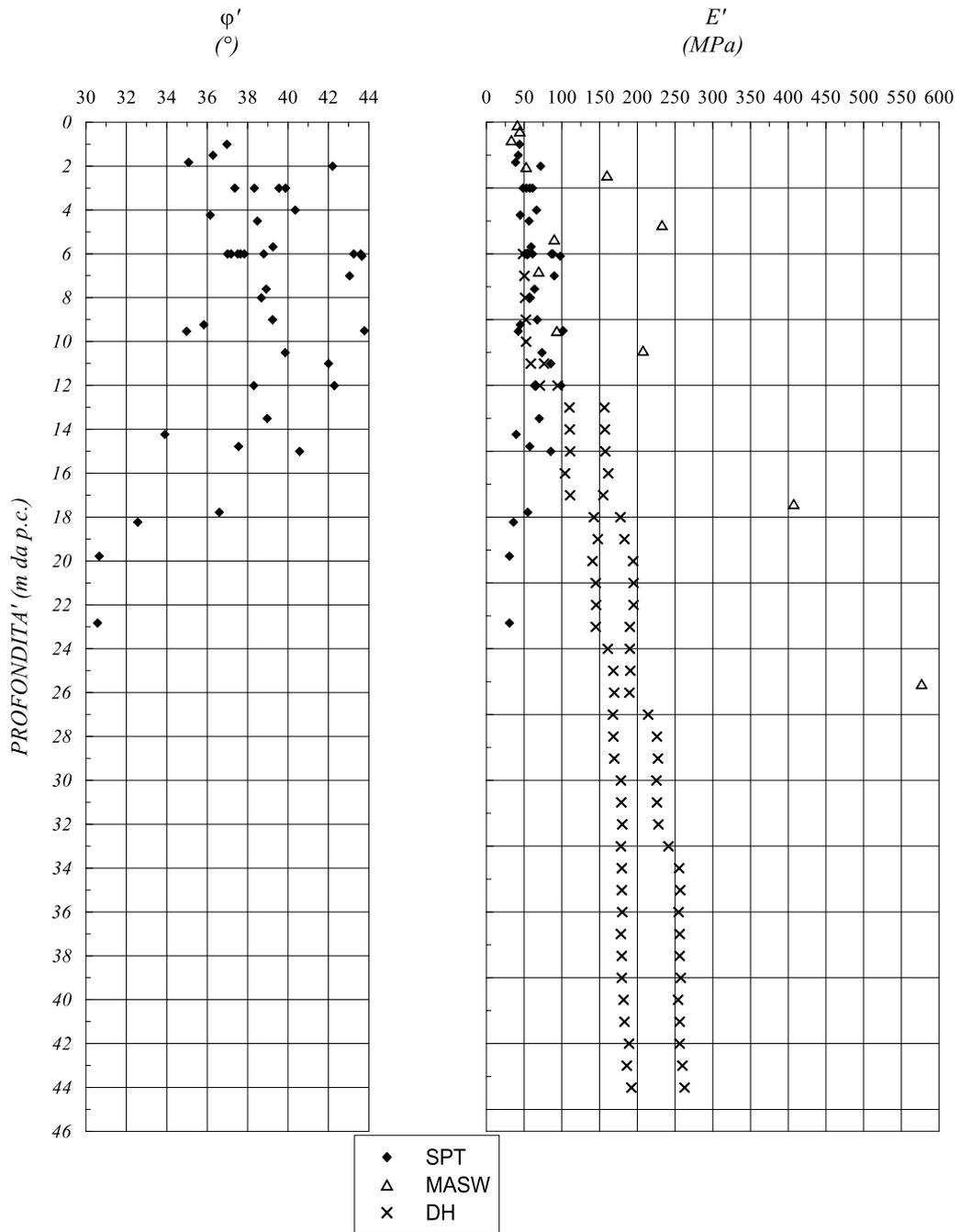


Figura 16: Unità geotecnica D – Angolo d’attrito da SPT e modulo  $E'$ .

## 4.6 UNITÀ GEOTECNICA E

L'unità in esame è costituita da argille e limi argillosi, da consistenti a molto consistenti. All'interno di tale litotipo ricadono i materiali appartenenti a quattro diverse formazioni geologiche (depositi fluvio-lacustri, Argille e Sabbie Plioceniche, formazione di Sillano), che evidenziano lo stesso comportamento dal punto di vista geotecnico (*unità geologiche dl, Pa, Ps e Sil*).

Per l'individuazione del comportamento meccanico dell'unità geotecnica E sono stati elaborati i risultati delle analisi e delle prove di laboratorio effettuate nelle due campagne di indagine. In Tabella 9 sono riepilogati i campioni estratti in questo litotipo e le principali caratteristiche fisiche e proprietà indice ottenute dalle prove di laboratorio eseguite.

Tabella 9: Unità geotecnica E - Riepilogo campioni sottoposti a prove di laboratorio e principali caratteristiche fisiche.

Sondaggio	Campione	Anno	Profondità da		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	e (-)	w (%)	w <sub>l</sub> (%)	w <sub>p</sub> (%)	I <sub>p</sub> (%)	I <sub>c</sub> (%)
			p.c. da (m)	a (m)							
S34	CR2	2000	16.00	16.50	-	-	20.10	47.85	21.53	26.32	1.05
S34	CR3	2000	24.00	24.50	-	-	20.96	57.13	29.97	27.16	1.33
S35	CR2	2000	7.00	7.40	-	-	17.95	48.25	21.45	26.80	1.13
S35	CR3	2000	12.00	12.50	-	-	19.32	51.58	21.43	30.15	1.07
S52	CR1	2000	9.60	9.90	-	-	25.65	59.47	24.16	35.31	0.96
S52	CR2	2000	18.10	18.45	-	-	24.33	54.28	21.62	32.66	0.92
S52	CR3	2000	25.70	26.00	-	-	22.6	52.19	18.35	33.84	0.87
S53	CR1	2000	9.10	9.50	-	-	23.98	49.50	22.40	27.10	0.94
S53	CR2	2000	14.60	15.00	-	-	21.66	48.10	21.30	26.80	0.99
S53	CR3	2000	19.10	19.45	-	-	22.45	49.80	22.00	27.80	0.98
S54	CR1	2000	9.70	10.00	-	-	23.85	55.30	21.50	33.80	0.93
S54	CR2	2000	15.00	15.40	-	-	24.95	54.30	21.60	32.70	0.90
S54	CR3	2000	28.10	28.45	-	-	21.35	48.30	22.20	26.10	1.03
S55	CR1	2000	7.00	7.40	-	-	25.96	53.50	22.70	30.80	0.89
S55	CR2	2000	21.10	21.50	-	-	26.33	50.60	20.90	29.70	0.82
S56	CR1	2000	15.50	16.00	-	-	22.35	52.20	24.10	28.10	1.06
S56	CR2	2000	29.35	29.80	-	-	23.77	51.10	23.90	27.20	1.00
S35	CI1	2000	6.50	7.00	19.2	0.72	24.62	48.50	21.20	27.30	0.87
S35	CI2	2000	12.90	13.40	19.4	0.71	22.78	53.35	23.14	30.21	1.01
S52	CI1	2000	11.50	12.00	19.3	0.76	30.92	55.85	23.20	32.65	0.76
S52	CI2	2000	26.50	27.00	18.4	0.88	30.53	56.04	22.40	33.64	0.76
S53	CI1	2000	11.80	12.30	20.2	0.58	20.98	48.35	20.69	27.66	0.99
S53	CI2	2000	23.00	23.50	19.5	0.7	25.8	50.54	22.42	28.12	0.88
S54	CI1	2000	4.80	5.30	19.8	0.67	26.35	55.11	21.56	33.55	0.86
S54	CI2	2000	20.00	20.50	19.5	0.7	24.22	49.21	21.83	27.38	0.91
S55	CI1	2000	9.00	9.50	19.1	0.85	32.7	55.90	23.91	31.99	0.73
S55	CI2	2000	18.00	18.50	19.7	0.76	30.35	55.44	22.39	33.05	0.76

**RELAZIONE GEOTECNICA**

S55	CI3	2000	26.00	26.50	18.5	0.81	27.88	50.20	22.25	27.95	0.80
S55	CI4	2000	34.50	35.00	18.8	-	38.86	53.21	23.34	29.87	0.48
S56	CI1	2000	5.00	5.40	19.9	-	25.96	51.05	22.84	28.21	0.89
S56	CI2	2000	11.50	12.00	19.7	-	26.28	52.32	23.96	28.36	0.92
S56	CI3	2000	22.00	22.50	19.7	-	25.57	50.21	22.90	27.31	0.90
S56	CI4	2000	33.00	33.50	19.8	-	22.22	50.85	23.87	26.98	1.06
SG08-DH	CR03	2019	9.55	10.25	-	-	-	-	-	-	-
SG08-DH	CR04	2019	12.50	13.15	-	-	-	-	-	-	-
SG08-DH	CI02	2019	14.55	15.00	21.30	0.31	11.71	38.30	19.96	18.34	1.45
SG08-DH	CI03	2019	18.60	19.10	21.06	0.44	15.8	54.25	22.66	31.59	1.22
SG08-DH	CR05	2019	22.35	23.00	-	-	-	-	-	-	-
SG08-DH	CI04	2019	25.30	25.80	21.21	0.45	16.26	50.00	30.57	19.43	1.74
SG11-DH	CR01	2019	3.00	3.65	-	-	-	-	-	-	-
SG11-DH	CI01	2019	4.60	5.00	19.69	0.56	18.53	51.25	30.21	21.04	1.56
SG11-DH	CR02	2019	6.50	7.15	-	-	-	-	-	-	-
SG11-DH	CI02	2019	9.50	10.00	19.21	0.62	21.93	44.00	25.32	18.68	1.18
SG11-DH	CI03	2019	12.00	12.50	20.01		20.43	42.00	25.24	16.76	1.29
SG11-DH	CI04	2019	21.00	21.50	20.63	0.59	20.36	27.40	17.81	9.59	0.73
SG12-PZ	CI01	2019	2.10	2.70	19.74	0.62	20.23	47.50	30.29	17.21	1.58
SG12-PZ	CR01	2019	3.50	4.20	-	-	-	-	-	-	-
SG12-PZ	CI02	2019	5.00	5.50	20.02	0.53	18.48	36.50	21.24	15.26	1.18
SG12-PZ	CR02	2019	7.00	7.45	-	-	-	-	-	-	-
SG12-PZ	CI03	2019	18.00	18.50	19.69	0.61	22.17	34.30	22.01	12.29	0.99
SG30-PZ	CI01	2019	14.00	14.50	18.82	-	21.66	50.00	32.09	17.91	1.58
SG30-PZ	CR04	2019	17.00	17.45	-	-	-	-	-	-	-
SG33-PZ	CR01	2019	2.35	3.00	-	-	-	-	-	-	-
SG33-PZ	CI01	2019	5.30	5.80	19.25	0.63	20.47	52.00	33.00	19.00	1.66
SG33-PZ	CI02	2019	16.30	16.80	19.51	0.65	20.55	43.20	27.63	15.57	1.45
SG39-PZ	CR01	2019	2.20	2.75	-	-	-	-	-	-	-
SG39-PZ	CI01	2019	6.50	7.00	16.94	1.04	38.19	88.00	33.00	55.00	0.91
SG40-PZ	CI02	2019	11.20	11.70	19.98	0.67	23.2	34.32	20.00	14.32	0.78
SG40-PZ	CI03	2019	18.70	19.30	19.21	0.82	28.41	54.70	29.36	25.34	1.04
SG41-PZ	CI02	2019	18.00	18.50	19.25	0.53	18.49	42.50	22.95	19.55	1.23
SG41-PZ	CI03	2019	22.50	23.00	20.47	0.47	17.41	52.50	30.74	21.76	1.61

La Figura 17 riporta le principali caratteristiche fisiche del litotipo in questione stimate dalle prove di laboratorio. Come si può notare si tratta di argille limose e limi argillosi in cui si rileva talvolta una componente sabbiosa. Il peso dell'unità di volume,  $\gamma$ , può essere assunto mediamente pari a 19.5 kN/m<sup>3</sup>; l'indice di plasticità  $IP$  è all'incirca variabile tra 20 e 30, l'indice di consistenza  $I_c$  risulta mediamente pari a 1 ed il limite liquido  $w_L$  ha valori compresi all'incirca tra 40% e 60%.

RELAZIONE GEOTECNICA

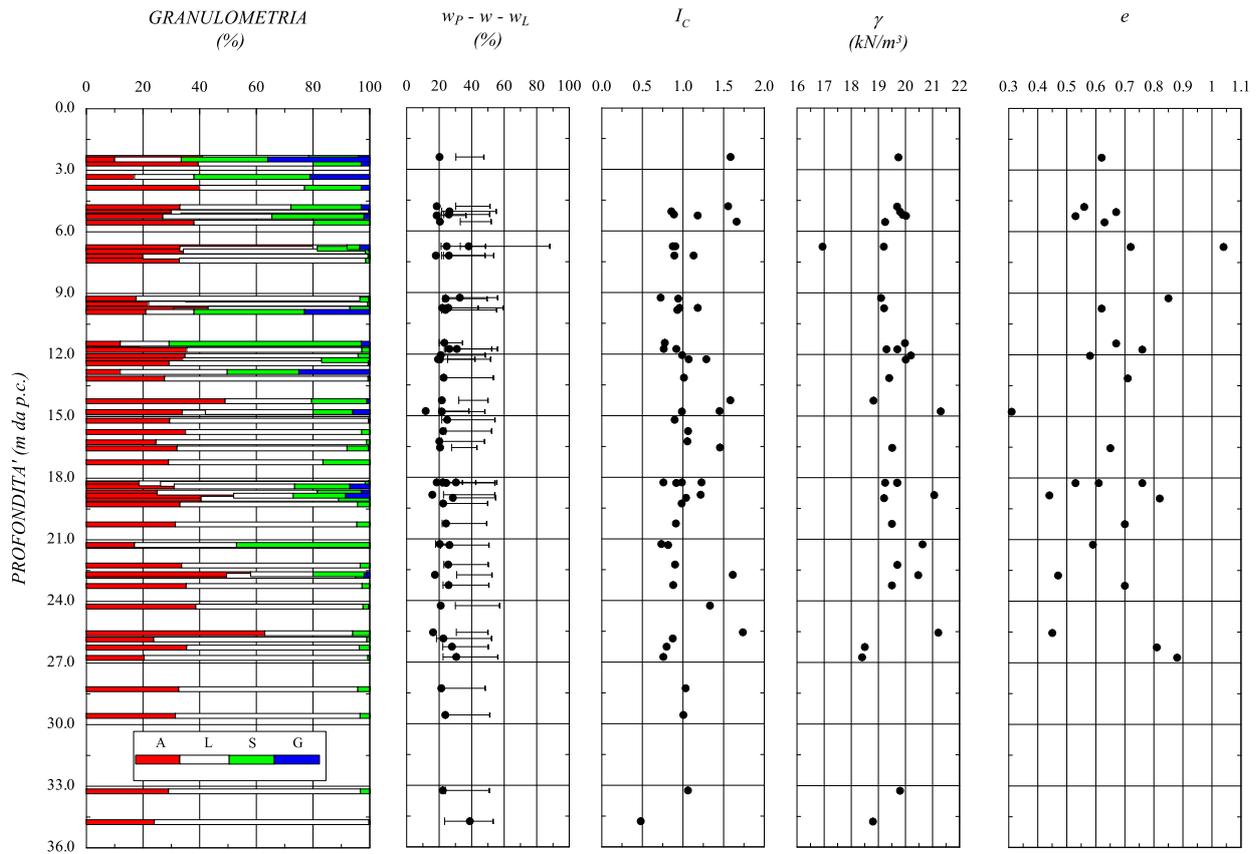


Figura 17: Unità geotecnica E - Caratteristiche fisiche.

Riportando i valori relativi ai campioni prelevati dai sondaggi sulla carta di plasticità di Casagrande si evince che i campioni analizzati sono classificabili come “argille inorganiche da media ad alta plasticità” (cfr. Figura 18).

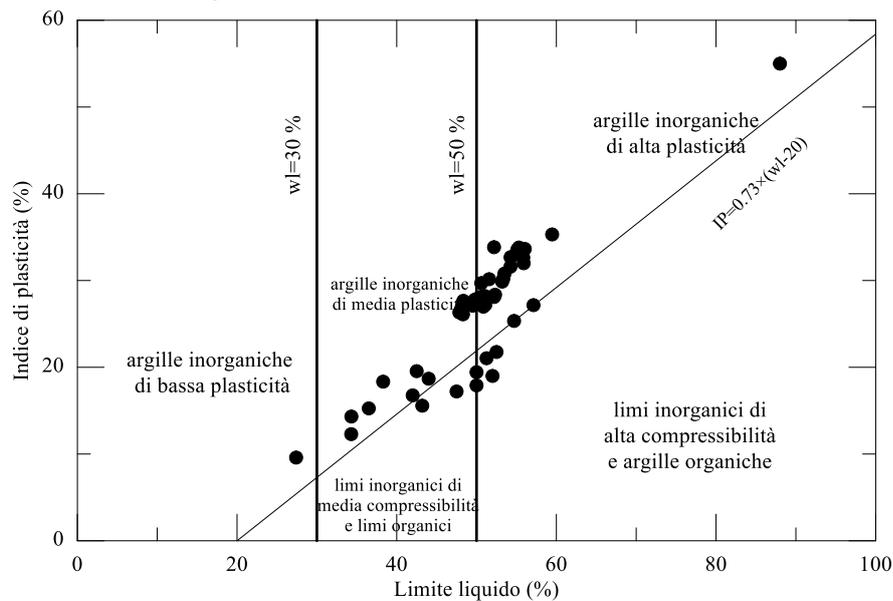


Figura 18: Unità geotecnica E - Carta di plasticità di Casagrande.

Per la valutazione delle caratteristiche di resistenza in termini di tensioni efficaci si è fatto riferimento alle prove di laboratorio di taglio diretto (TD) e prove triassiali consolidate non drenate (CIU), i cui risultati sono riepilogati in Tabella 10.

Tabella 10: Unità geotecnica E - Riepilogo risultati prove di laboratorio.

Sondaggio	Campione	Anno	Profondità da p.c.		TD		CIU	
			da (m)	a (m)	$c'_p$ (kPa)	$\varphi'_p$ (°)	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)
S35	CI1	2000	6.50	7.00	-	-	15.5	23.5
S52	CI1	2000	11.50	12.00	14.7	27.0	-	-
S52	CI2	2000	26.50	27.00	-	-	22.5	27.5
S53	CI1	2000	11.80	12.30	-	-	12.6	22.0
S53	CI2	2000	23.00	23.50	-	-	26.1	21.5
S54	CI1	2000	4.80	5.30	-	-	20.8	20.9
S55	CI2	2000	18.00	18.50	13.6	26.8	-	-
S55	CI3	2000	26.00	26.50	-	-	41.5	24.9
S56	CI1	2000	5.00	5.40	6.3	22.8	-	-
S56	CI2	2000	11.50	12.00	-	-	10.3	24.3
S56	CI3	2000	22.00	22.50	-	-	-	-
S56	CI4	2000	33.00	33.50	-	-	5.9	23.8
SG08-DH	CI02	2000	14.55	15.00	-	-	37.6	26.1
SG08-DH	CI03	2000	18.60	19.10	-	-	40.5	24.5
SG08-DH	CI04	2000	25.30	25.80	38.8	24.7	-	-
SG11-DH	CI01	2019	4.60	5.00	31.1	24.7	-	-
SG11-DH	CI03	2019	12.00	12.50	30.2	28.1	-	-
SG12-PZ	CI03	2019	18.00	18.50	33.4	26.2	-	-
SG33-PZ	CI01	2019	5.30	5.80	35.4	26.0	-	-
SG39-PZ	CI01	2019	6.50	7.00	36.2	22.7	-	-
SG40-PZ	CI02	2019	11.20	11.70	11.0	27.4	-	-
SG40-PZ	CI03	2019	18.70	19.30	31.4	27.2	-	-
S41-PZ	CI02	2019	18.00	18.50	33.1	29.0	-	-
S41-PZ	CI03	2019	22.50	23.00	34.3	26.6	-	-

Dai risultati delle prove di laboratorio, in particolare, sono stati ottenuti valori dell'angolo d'attrito  $\varphi'$  compresi all'incirca tra 22° e 28° e della coesione efficace  $c'$  compresi tra circa 10 e 40 kPa. La Figura 19 riporta graficamente i risultati delle prove eseguite.

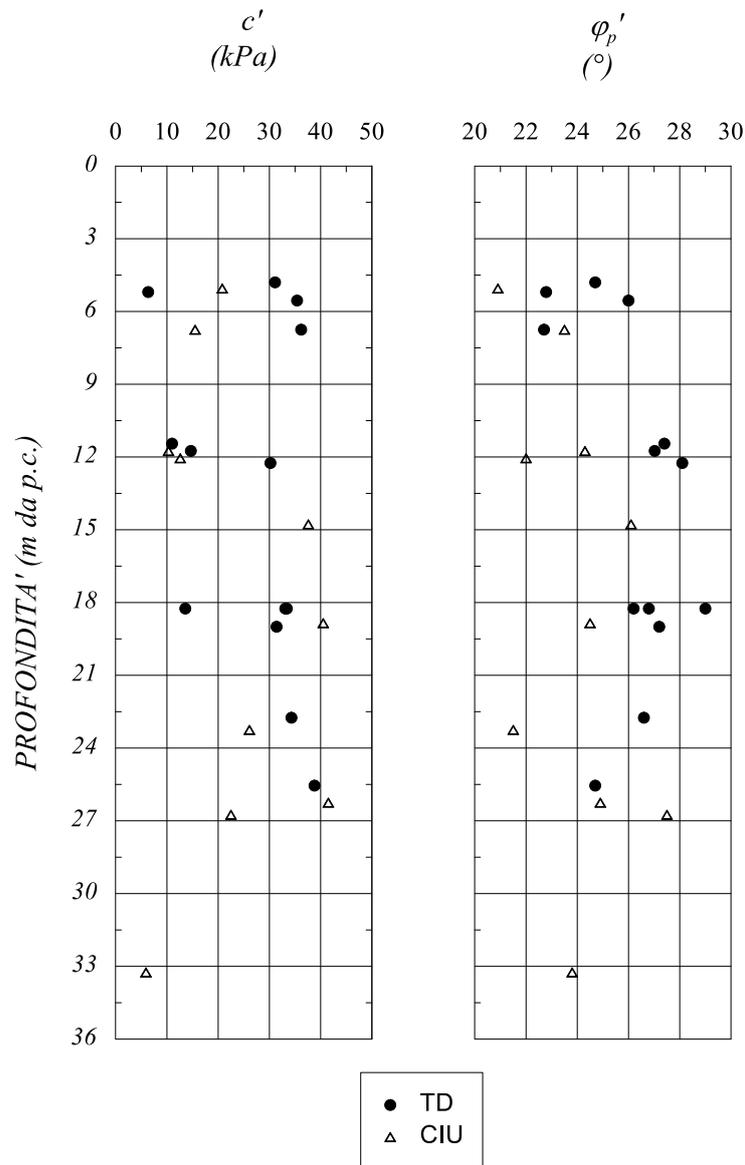


Figura 19: Unità geotecnica E - Caratteristiche di resistenza da prove di laboratorio.

In Figura 20 sono riportati i valori della resistenza a taglio non drenata,  $c_u$ , ricavati a partire dalla resistenza alla penetrazione misurata con il *pocket penetrometer* e dalle prove di laboratorio triassiali non consolidate non drenate.

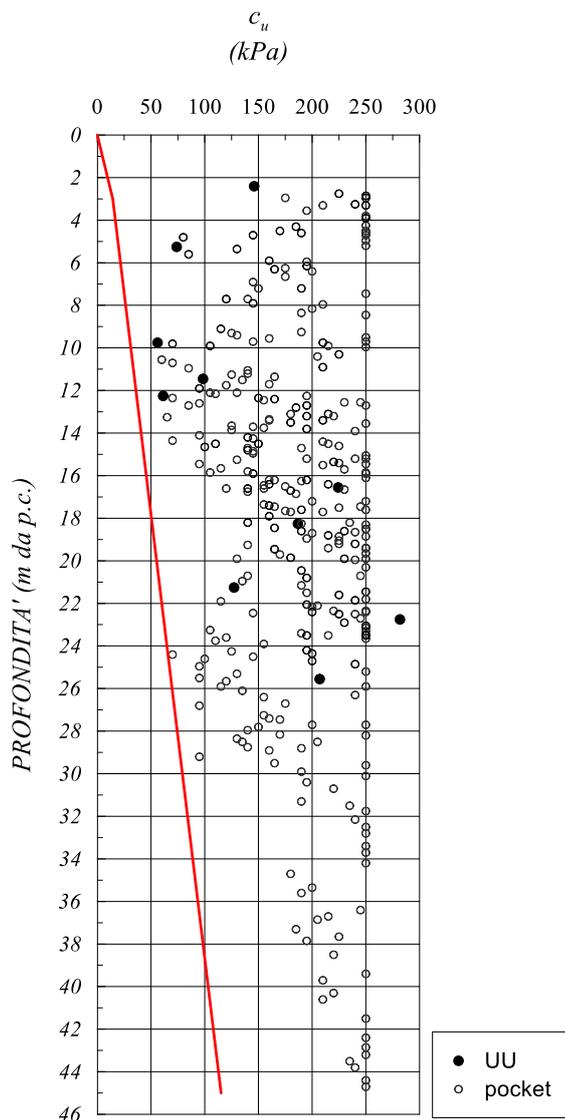


Figura 20: Unità geotecnica E - Caratteristiche di resistenza non drenata da prove di laboratorio e da pocket.

Dal grafico di Figura 20 si osserva che i risultati ottenuti dalle prove triassiali non consolidate non drenate (UU) confermano i valori di  $c_u$  determinati mediante l'elaborazione dei *pocket penetrometer*: nello specifico, i valori della resistenza a taglio non drenata ottenuti da tali prove risultano mediamente compresi nell'intervallo 80÷250 kPa. Si osserva che nel caso delle prove eseguite con il pocket, il valore di 250 kPa corrisponde al fondoscala dello strumento, e quindi per tali punti di misure il valore della coesione non drenata potrebbe risultare superiore.

Nello stesso grafico, inoltre, l'andamento della resistenza non drenata è posto a confronto con l'andamento della retta di equazione  $c_u = 0.24 \sigma'_v$ , che rappresenta una stima attendibile del valore della resistenza non drenata di un materiale coesivo normalmente consolidato: eccetto alcuni punti che dalla profondità di circa 24 m si avvicinano alla retta di normalconsolidazione, i valori di  $c_u$  ottenuti dalle prove appaiono generalmente lontani da tale retta.

Ulteriori considerazioni in merito possono essere fatte osservando il grafico riportato in Figura 21, in cui vengono riportati i valori di *OCR* determinati partendo dai valori della resistenza non drenata ottenuti dai *pocket*, attraverso la relazione definita nel paragrafo 4.3.

*OCR*

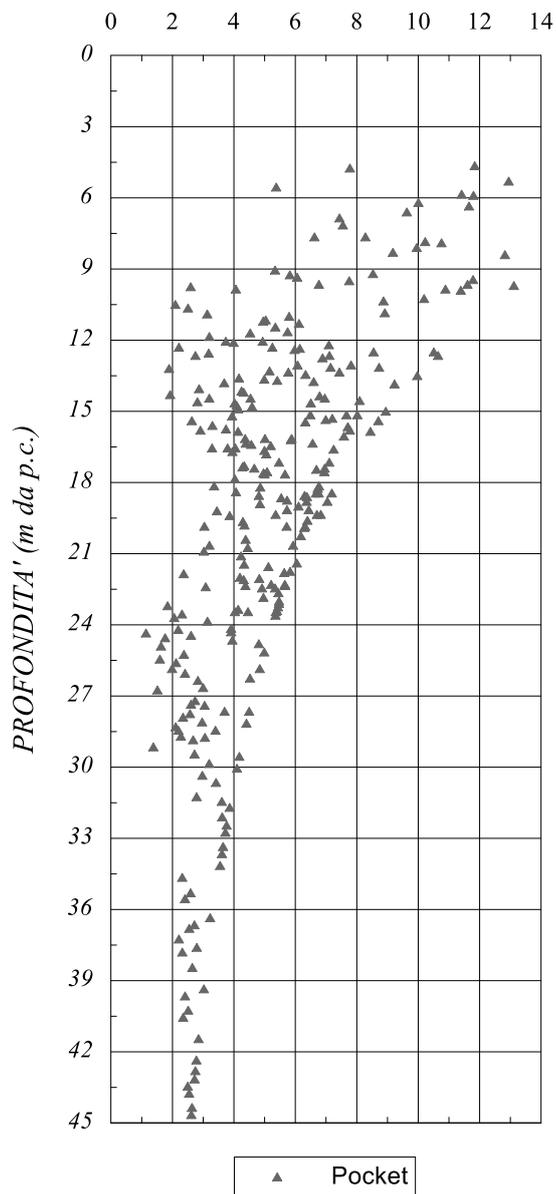


Figura 21: Unità geotecnica E - OCR da *pocket*.

Come si può osservare dalla figura, i valori di *OCR* ottenuti dall'elaborazione dei *pocket* risultano compresi tra 3 e 5 per profondità fino a 20 m, mentre a partire dai 20 m di profondità ricadono nell'intervallo 1.5÷3.

La stima del modulo di rigidezza è stata eseguita interpretando le prove pressiometriche e le MASW (cfr. Figura 22).

Osservando i punti riportati sul grafico, emerge che nei primi 18 m di profondità il modulo  $E'$  assume valori compresi tra 40 e 80 MPa, mentre a profondità maggiori esso è contenuto negli intervalli  $80 \div 140$  MPa, fino a circa 32 m, e  $125 \div 250$  MPa, per profondità maggiori di 32 m; i valori più alti che si osservano a partire dalla profondità di 32 m sono riferiti alle argille appartenenti alla formazione di Sillano.

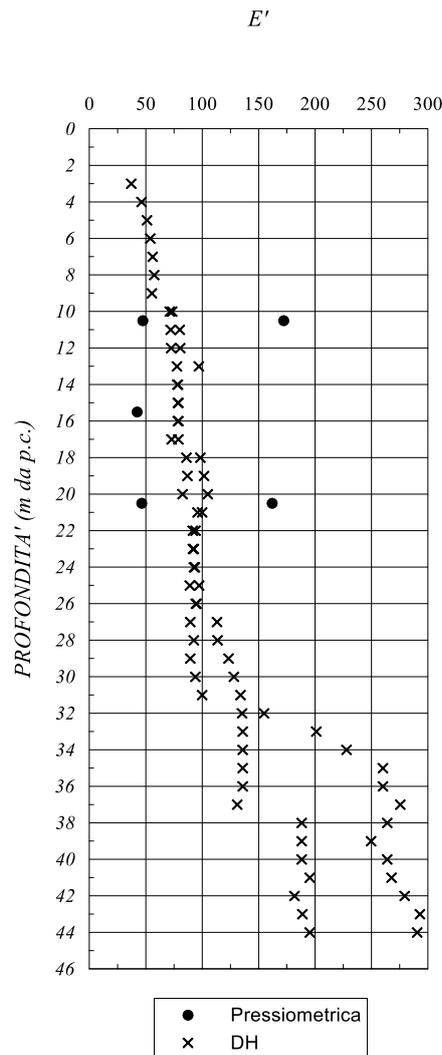


Figura 22: Unità geotecnica E – Stima del modulo  $E'$ .

Dalle prove edometriche eseguite durante le due campagne d'indagine sono stati stimati i valori del coefficiente di compressibilità  $C_c$ , di rigonfiamento  $C_s$  e del coefficiente di consolidazione verticale  $c_v$  (cfr. Figura 23).

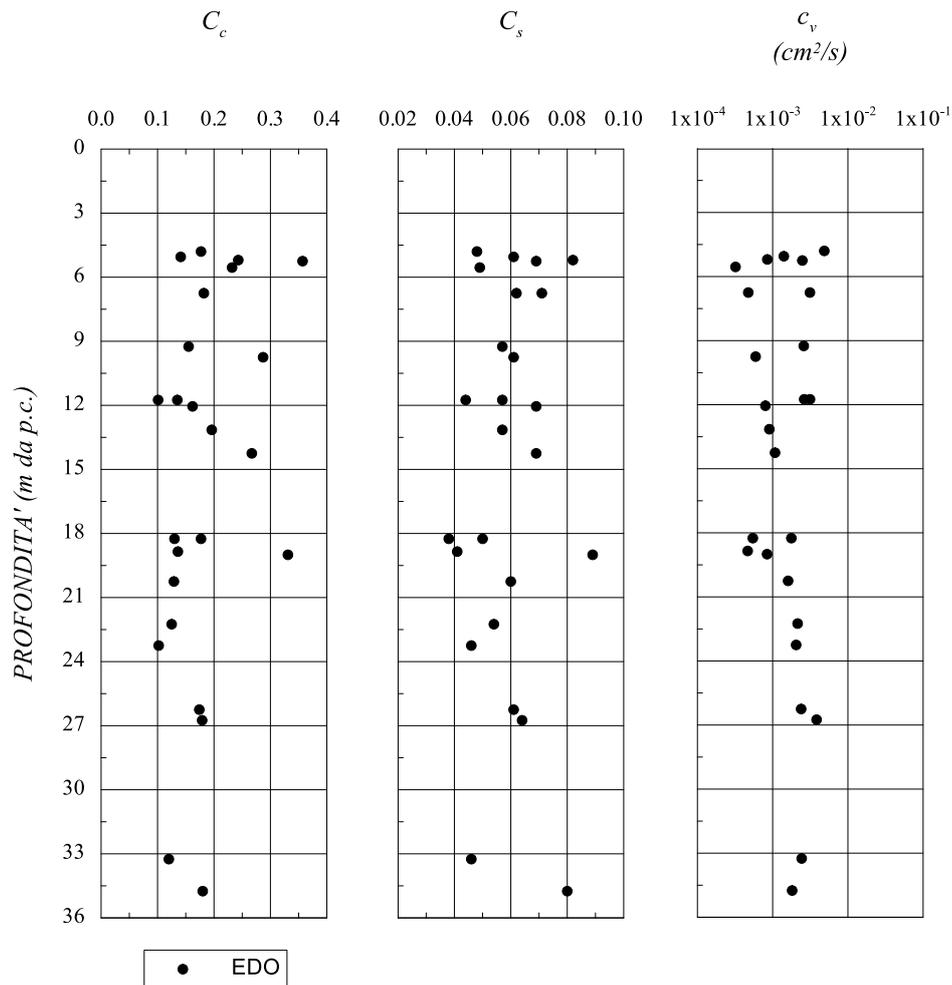


Figura 23: Unità E - Coefficienti di compressibilità, rigonfiamento e consolidazione verticale ottenuti dalle prove edometriche.

I coefficienti  $C_c$  e  $C_s$  risultano rispettivamente compresi tra 0.1 e 0.3 e tra 0.05 e 0.07.

Relativamente al coefficiente di consolidazione  $c_v$ , dall'interpretazione delle prove edometriche sono stati ottenuti valori compresi nell'intervallo  $5 \times 10^{-4} \div 5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ , ovvero  $c_v = 5 \times 10^{-8} \div 5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Sul litotipo in esame si dispone, infine, di una prova *Lefranc* che restituisce un valore di permeabilità  $k$  pari a  $9.90 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ .

## 5 MODELLO GEOTECNICO

Sulla base di quanto esposto nei paragrafi da 4.2 a 4.6, in Tabella 11 si riepilogano gli intervalli di variabilità dei parametri geotecnici dei litotipi A, B, C, D, E. In particolare, per le grandezze caratterizzate da intervalli di variabilità piuttosto ampi (secondo quanto osservato nei grafici illustrati nei paragrafi precedenti), si riporta tra parentesi un range più ristretto di valori [caratteristici] che è possibile assumere in fase di progetto delle opere che interessano il tracciato.

Tabella 11: Caratterizzazione unità geotecniche.

Unità geotecnica	Unità geologica	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$z$ (m da p.c.)	$c_u$ (kPa)	$E'$ (MPa)	OCR (-)	$C_c$ (-)	$C_s$ (-)	$c_v$ (m <sup>2</sup> /s)
A Sabbia e ghiaia	a, at, at2, at3	19.5	5÷30 [10÷20]	24÷32 [25÷27]	0÷2 >2	-	5÷25 25÷50	-	-	-	-
B Argilliti	Pb	20	10÷30	22÷35 [28÷30]	0÷20 >20	150÷250 100÷250	50÷120 100÷300	3÷5 1.5÷3	0.1÷0.2	0.04÷0.08	$1 \times 10^{-7}$ ÷ $1 \times 10^{-6}$
C Calcare/Ghiaia	CV	21	13÷14	34÷35	0÷10 >10	-	40÷80 60÷250	-	-	-	-
D Breccia/Ghiaia	CM	19	0	35÷44 [35÷37]	0÷12 >12	-	50÷100 100÷250	-	-	-	-
E Argille/Limi	dl, Pa, Ps, Sil	19.5	10÷35	22÷28 [23÷25]	0÷18 >18	80÷250	40÷80 80÷120	3÷5 1.5÷3	0.1÷0.3	0.05÷0.07	$5 \times 10^{-8}$ ÷ $5 \times 10^{-7}$

## 6 REGIME DELLE PRESSIONI INTERSTIZIALI

La campagna di indagine del 2019 ha previsto la realizzazione di un monitoraggio piezometrico mediante l'installazione di tubi aperti e celle di Casagrande, di cui, alla data attuale, si dispone di una sola lettura eseguita all'inizio del mese di settembre 2019. Nella campagna di indagine del 2000 erano previsti piezometri a tubo aperto in n. 7 sondaggi, ma dalla documentazione in possesso della scrivente, relativa al Progetto Definitivo, sembra che non siano mai state effettuate letture. Per la ricostruzione del livello della falda, dunque, si è fatto riferimento esclusivamente alle letture eseguite sui piezometri installati nell'ultima campagna di indagine, che sono riepilogate in Tabella 12.

Tabella 12: Tabella riassuntiva delle misure piezometriche relative alla campagna d'indagine 2019 – Letture del 4-5/09/2019.

Sondaggio	Quota p.c. (m s.l.m.)	Profondità sondaggio (m da p.c.)	Quota falda Tubo Aperto		Quota falda Casagrande		NOTE
			(m da p.c.)	(m s.l.m.)	(m da p.c.)	(m s.l.m.)	
SG02-PZ	154.99	30	-	-	2.45	152.54	-
SG04-PZ	171.62	30	-	-	10.35	161.27	-
SG06-PZ	159.73	30	-	-	3.22	156.51	-
SG12-PZ	182.88	30	-	-	3.89	178.99	-
SG14-PZ	159.76	15	3.90	155.86	3.85	155.91	-
SG15-PZ	167.27	20	3.15	164.12	3.15	164.12	-
SG19-PZ	175.14	20	-	-	6.15	168.99	-
SG21-PZ	193.83	30	-	-	3.58	190.25	-
SG24-PZ	163.34	25	-	-	7.25	156.09	-
SG27-PZ	166.81	40	8.89	157.92	8.90	157.91	-
SG30-PZ	173.26	20	-	-	-	-	Sommerso nelle risaie
SG33-PZ	204.58	25	5.73	198.85	5.70	198.88	-
SG37-PZ	190.81	25	-	-	23.16	167.65	-
SG38-PZ	177.06	20	-	-	-	-	Inaccessibile
SG39-PZ	178.14	23,3	-	-	1.88	176.26	-
SG40-PZ	184.03	25	4.85	179.18	-	-	-
SG41-PZ	185.90	25	-	-	-	-	Inaccessibile

Il livello di progetto della falda lungo l'intero tracciato stradale è riportato nell'elaborato "Profilo geotecnico longitudinale - Tav. 1÷7" (T00-GE00-GET-FG01÷07).

## 7 VERIFICHE DI STABILITÀ

### 7.1 CRITERIO DI VERIFICA

In aderenza alle prescrizioni della normativa vigente (“Norme Tecniche delle costruzioni” del 17/01/2018 [NTC2018]), le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) consistono, in generale, nel verificare il rispetto della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove con  $E_d$  si indica il valore di progetto delle azioni, o degli effetti delle azioni, e con  $R_d$  il valore di progetto delle resistenze. La verifica di tale condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali definiti rispettivamente per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

Le azioni di progetto, o gli effetti delle azioni,  $E_d$  sono valutabili a partire dalle azioni caratteristiche adottando per i coefficienti parziali  $\gamma_F$  i valori specificati nella seguente tabella (Tabella 6.2.I delle NTC20018).

Tabella 13: Coefficienti parziali per le azioni o gli effetti delle azioni (NTC2018).

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$ .

Le resistenze di progetto  $R_d$  si determinano a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici di resistenza, divisi per i coefficienti parziali  $\gamma_M$  specificati nella seguente tabella (Tabella 6.2.II delle NTC2018) e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$ , specifici per ciascun tipo di opera.

Tabella 14: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (NTC2018).

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_V$	$\gamma_V$	1,0	1,0

Le verifiche di sicurezza dei rilevati fanno riferimento, come prescritto dalla normativa, alle opere di materiali sciolti (rilevati, argini di difesa per fiumi, canali e litorali, rinfianchi, rinterri, terrapieni e colmate); in particolare, deve risultare rispettata la condizione  $E_d \leq R_d$  verificando che non si raggiunga una condizione di stato limite ultimo con i valori di progetto delle azioni e dei

parametri geotecnici secondo l'Approccio 1 Combinazione 2: A2+M2+R2, tenendo conto di quanto riportato nella seguente tabella (Tabella 6.8.I delle NTC2018).

Tabella 15: Coefficiente parziale per la verifica di stabilità globale per opere di materiali sciolti (NTC2018).

**Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo**

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1,1

Si osserva che, in condizioni statiche, i coefficienti parziali di sicurezza del gruppo M2 sono stati cautelativamente applicati anche per le caratteristiche geotecniche del rilevato, eseguendo di fatto le analisi con un valore di progetto dell'angolo di attrito ( $\varphi_d' = 29.3^\circ$ ) inferiore al valore caratteristico ( $\varphi_k' = 35^\circ$ ) pur risultando quest'ultimo una prescrizione di progetto e non una stima ragionata e cautelativa del parametro.

Le analisi in presenza di sisma sono state effettuate adottando il metodo pseudo-statico, in cui l'azione sismica è rappresentata da una azione statica equivalente proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno instabile; le componenti orizzontali e verticali di tale forza possono esprimersi come  $F_h = k_h W$  e  $F_v = k_v W$ , dove il coefficiente  $k_h$  è legato all'accelerazione di picco dalla relazione:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} = \beta_m \cdot \frac{S_s \cdot S_T \cdot a_g}{g}, \quad k_v = \pm 0.5 k_h \quad \text{con}$$

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento;
- $\beta$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;
- $S_s$  = coefficiente che tiene conto della amplificazione stratigrafica;
- $S_T$  = coefficiente di amplificazione topografica;

Per le verifiche allo stato limite ultimo (SLV) è stato assunto  $\beta = 0.38$ .

Nella tabella seguente si riportano i valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica, definite per il sito di riferimento e per la specifica tipologia di opera:

Tabella 16: Riepilogo grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica.

Stato limite	Vita Nominale $V_N$	Classe d'uso	CU	ag/g	Cat. terreno	$S_T$	$F_0$	$S_s$	$a_{\max}/g$	$\beta$	$k_h$	$k_v$
	[anni]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
SLV	50	IV	2	0.174	B	1.0	2.526	1.200	0.209	0.38	0.079	$\pm 0.040$
SLV	50	IV	2	0.174	C	1.0	2.526	1.436	0.250	0.38	0.095	$\pm 0.047$
SLV	50	IV	2	0.174	E	1.0	2.526	1.517	0.264	0.38	0.100	$\pm 0.050$

In condizioni sismiche, le verifiche SLU vengono effettuate assumendo valori unitari per i coefficienti parziali da applicare alle azioni ( $A_i$ ) ed ai parametri geotecnici ( $M_i$ ). Per le verifiche di

stabilità, inoltre, è definito un coefficiente parziale da applicare alle resistenze  $\gamma_R = 1.2$  (cfr. par. 7.11.4 delle NTC2018).

Tutte le analisi di stabilità sono state eseguite nell'ipotesi di problema piano con i tradizionali metodi dell'equilibrio limite globale, schematizzando il terreno come un mezzo rigido-plastico e adottando il criterio di rottura di *Mohr-Coulomb*. In particolare, è stato utilizzato il metodo delle strisce, nel quale la porzione di terreno delimitato dalla generica superficie *S* e dalla superficie topografica è suddivisa in settori verticali in modo da valutare, seppur in modo approssimato e discreto, la distribuzione della tensione efficace normale e della corrispondente resistenza a taglio lungo la superficie di scorrimento; in dettaglio, si è utilizzato il metodo di *Bishop* (1955). Tutte le analisi sono state effettuate con il codice di calcolo numerico RocScience Slide.

Per i terreni a grana fine, le analisi sono state eseguite considerando, per i terreni a grana fine, sia le condizioni drenate (parametri di resistenza definiti in tensioni efficaci) che le condizioni non drenate (parametri di resistenza definiti in tensioni totali); in presenza di sisma, è stato considerato solo il comportamento in condizioni non drenate.

Per le condizioni di esercizio, in condizioni statiche è stato considerato un valore caratteristico del sovraccarico stradale  $q_k = 20$  kPa uniformemente ripartito sulla sede stradale, cui corrisponde un valore di progetto  $q_d = 26$  kPa ( $\gamma_F = 1.3$ ); in condizioni sismiche, applicando un fattore di combinazione  $\psi=0.2$ , si ottiene un valore caratteristico del sovraccarico stradale  $q'_k = 4$  kPa pari al valore di progetto  $q'_d$  ( $\gamma_F = 1.0$ ).

Nel paragrafo seguente sono descritte le analisi eseguite per le sezioni più significative, individuate tenendo conto delle condizioni geometriche e stratigrafiche.

## 7.2 MODELLO GEOTECNICO DI CALCOLO

Nella tabella seguente son riportati i valori dei parametri geotecnici, interi e parzializzati, adottati per le diverse unità geotecniche nelle verifiche di stabilità.

Tabella 17: Modello geotecnico impiegato nelle verifiche di stabilità (valori caratteristici e di progetto).

Unità geotecnica	Descrizione	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_{uk}$ (kPa)	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)	$c_{ud}$ (kPa)	$c'_d$ (kPa)	$\phi'_d$ (°)
Ril e R	Rilevati e coperture antropiche	18	-	0	35	-	0	29.3
UgA	Sabbia e ghiaia	19.5	-	15	26	-	12	21.3
UgB	Argilliti	20	150	15	29	107	12	23.9
UgC	Calcare/Ghiaia	21	-	12.5	34	-	10	28.4
UgD	Breccia/Ghiaia	19	-	0	36	-	0	30.2
UgE	Argille/Limi	19.5	150	20	24	107	16	19.6

### 7.3 RISULTATI DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ

La tabella seguente riepiloga i coefficienti di sicurezza,  $FS$  (rapporto  $R_d/F_d$ ), ottenuti nelle verifiche di stabilità, mentre nelle figure successive sono riportati i risultati delle analisi di stabilità in forma grafica. Per le analisi in condizioni sismiche si riporta solo l'output della condizione più gravosa tra  $k_{v+}$  [sisma verso il basso] e  $k_{v-}$  [sisma verso l'alto].

Tabella 18: Riepilogo dei coefficienti di sicurezza ( $FS = R_d/F_d$ ) ottenuti dalle verifiche di stabilità rilevati.

Sezione	Progressiva	Categoria suolo	$FS_{min}$ statico	$FS_{min}$ sismico
45	42+560	C	1.337	1.239
144	44+380	B	1.208	1.306
186	45+300	B	1.249	1.331
222	46+000	B	1.316	1.494
262	46+740	C	1.238	1.328
576	52+560	C	1.457	1.630

Le verifiche sono in ogni caso soddisfatte, risultando i valori dei coefficienti di sicurezza  $FS_{min}$ , sempre maggiori del valore minimo richiesto dalla normativa ( $\gamma_R = 1.1$  in condizioni statiche e  $\gamma_R = 1.2$  in condizioni sismiche).

#### Sez.45 \_ Condizioni statiche, di breve termine (analisi in tensioni totali)

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.337 > 1.1$ .

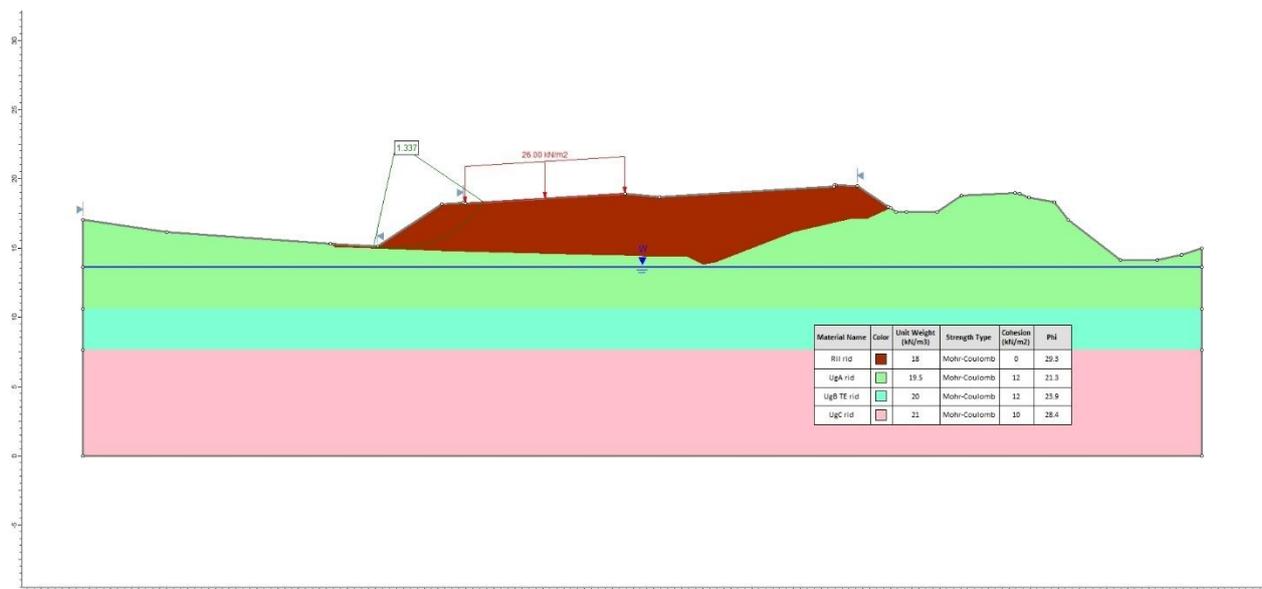


Figura 24– Sez. 45\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di breve termine [ $FS_{min} > 1.1$ ].

### Sez.45 \_ Condizioni statiche, di lungo termine (analisi in tensioni efficaci)

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.337 > 1.1$ .

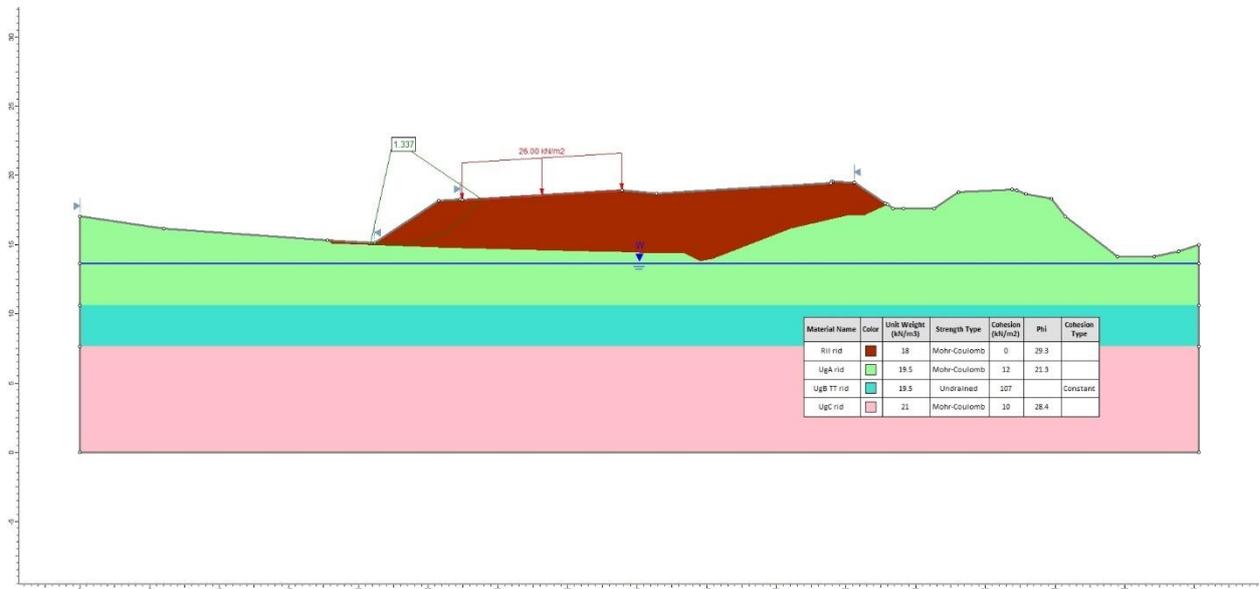


Figura 25– Sez. 45\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di lungo termine [ $FS_{min} > 1.1$ ].

### Sez.45 \_ Condizioni sismiche (analisi in tensioni totali)

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.499 > 1.2$ .

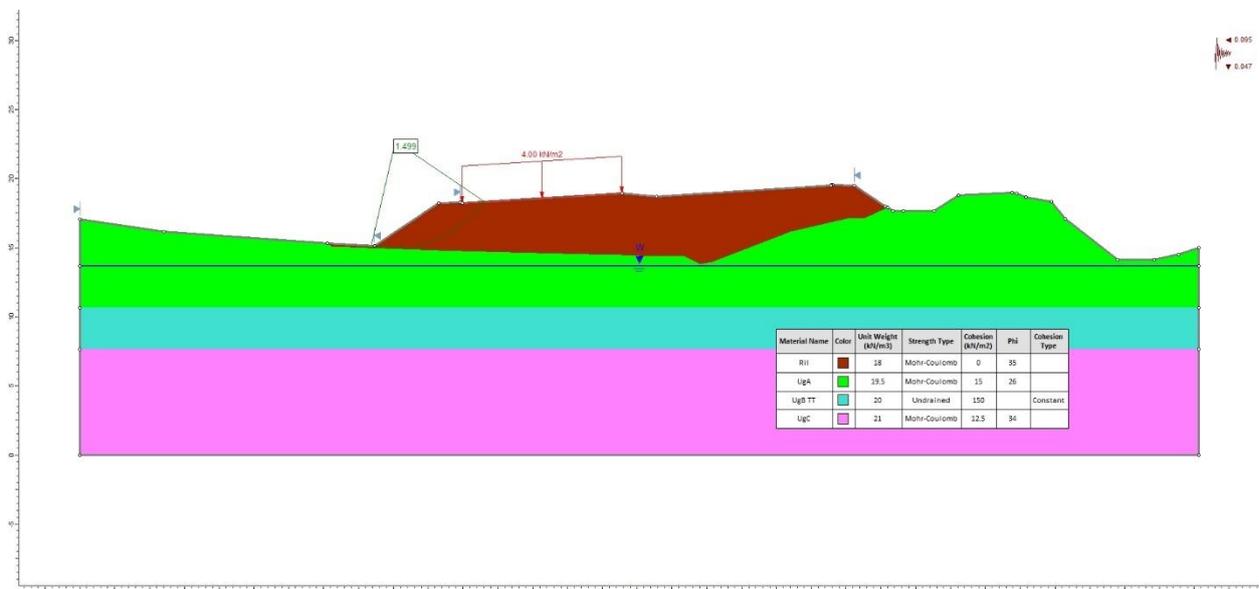


Figura 26– Sez. 45\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni sismiche [ $FS_{min} > 1.2$ ].

### Sez.144 \_ Condizioni statiche, di lungo termine (analisi in tensioni efficaci)

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.208 > 1.1$ .

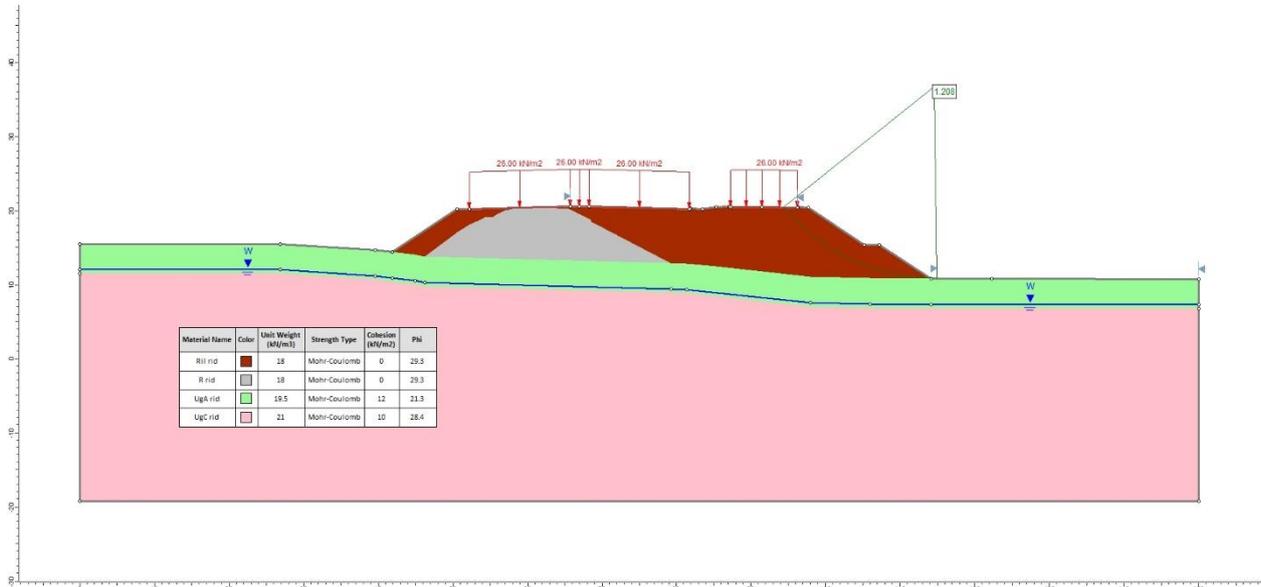


Figura 27– Sez. 144\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di lungo termine [ $FS_{min} > 1.1$ ].

### Sez.144 \_ Condizioni sismiche (analisi in tensioni efficaci)

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.306 > 1.2$ .

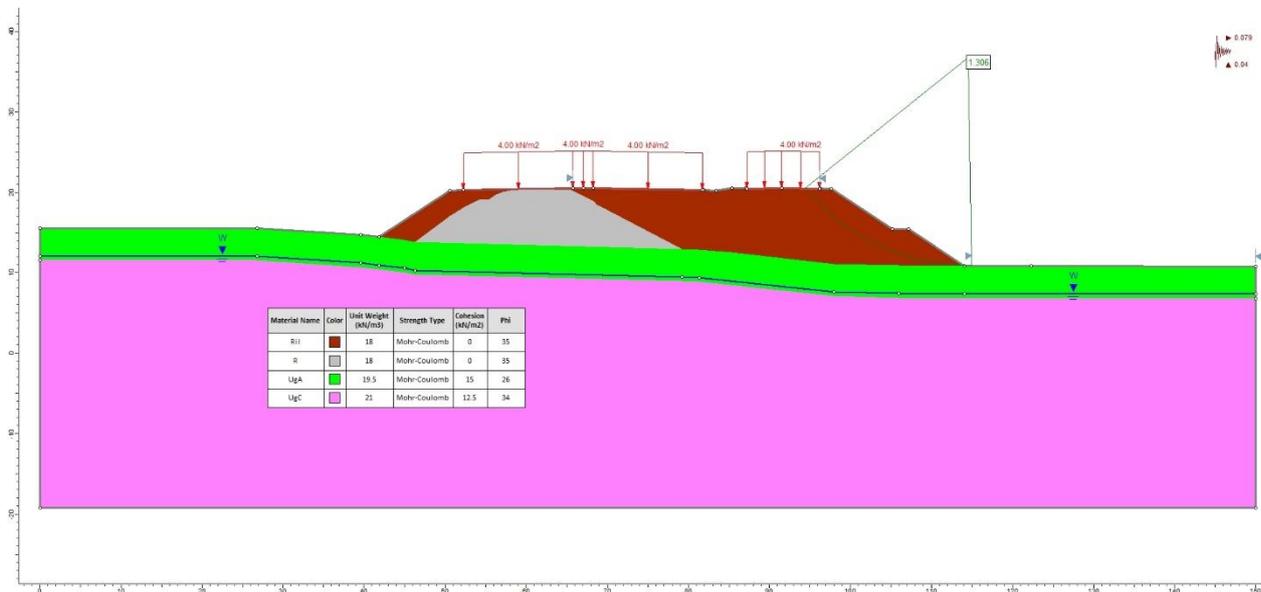


Figura 28– Sez. 144\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni sismiche [ $FS_{min} > 1.2$ ].

**Sez.186 \_ Condizioni statiche, di breve termine (analisi in tensioni totali)**

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.249 > 1.1$ .

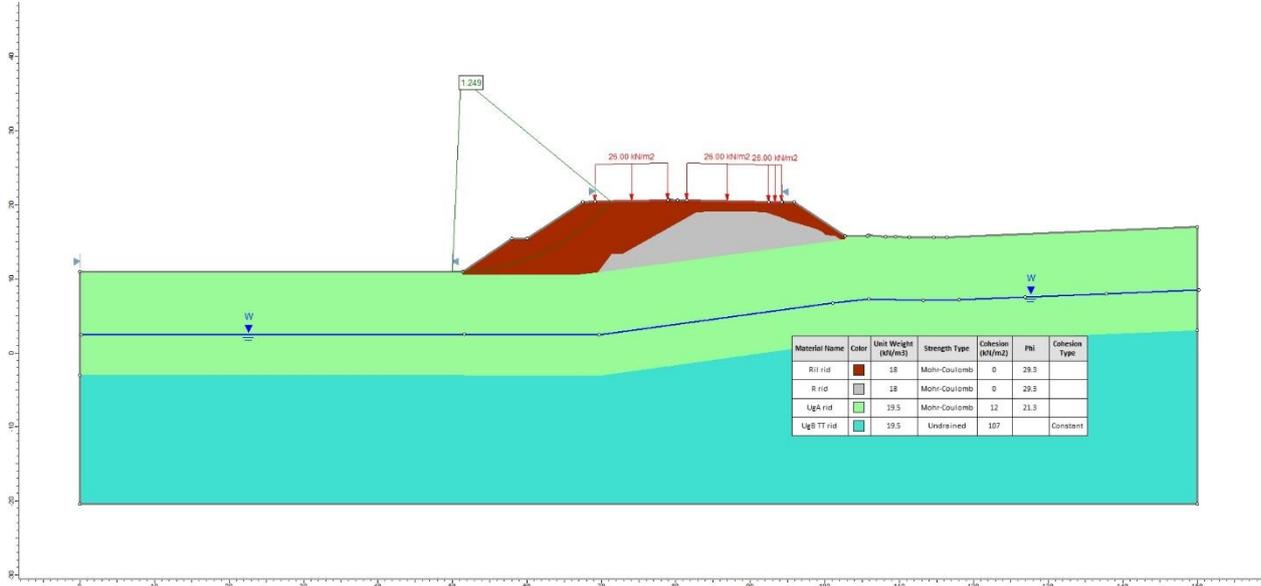


Figura 29– Sez. 184\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di breve termine [ $FS_{min} > 1.1$ ].

**Sez. 186 \_ Condizioni statiche, di lungo termine (analisi in tensioni efficaci)**

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.249 > 1.1$ .

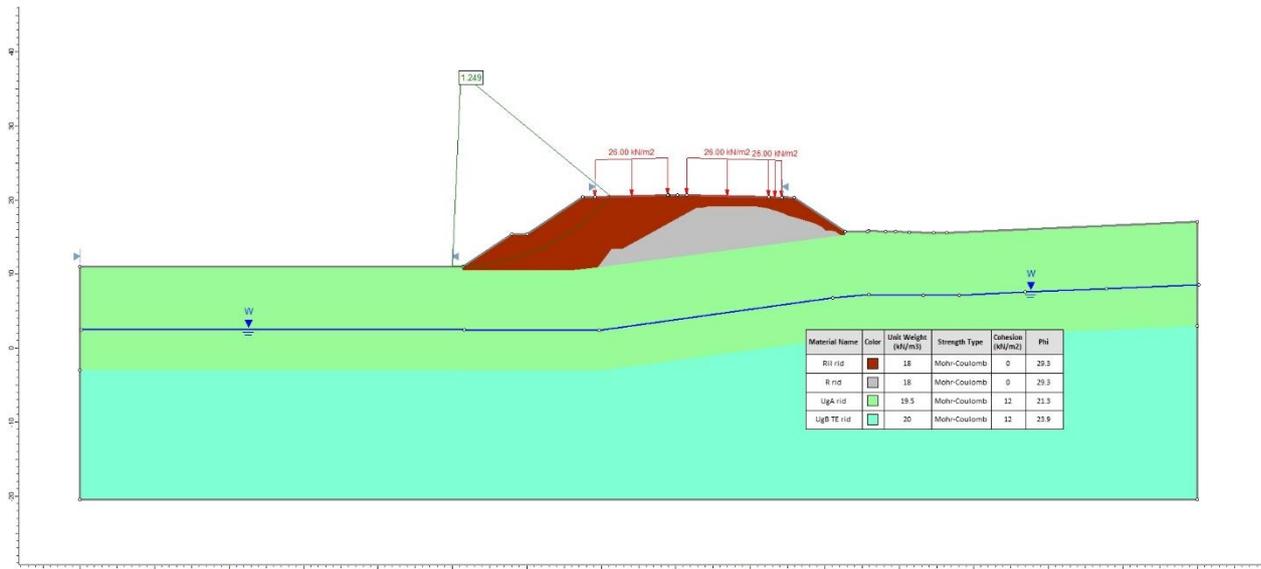


Figura 30– Sez. 184\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di lungo termine [ $FS_{min} > 1.1$ ].

### Sez.186 \_ Condizioni sismiche (analisi in tensioni totali)

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.331 > 1.2$ .

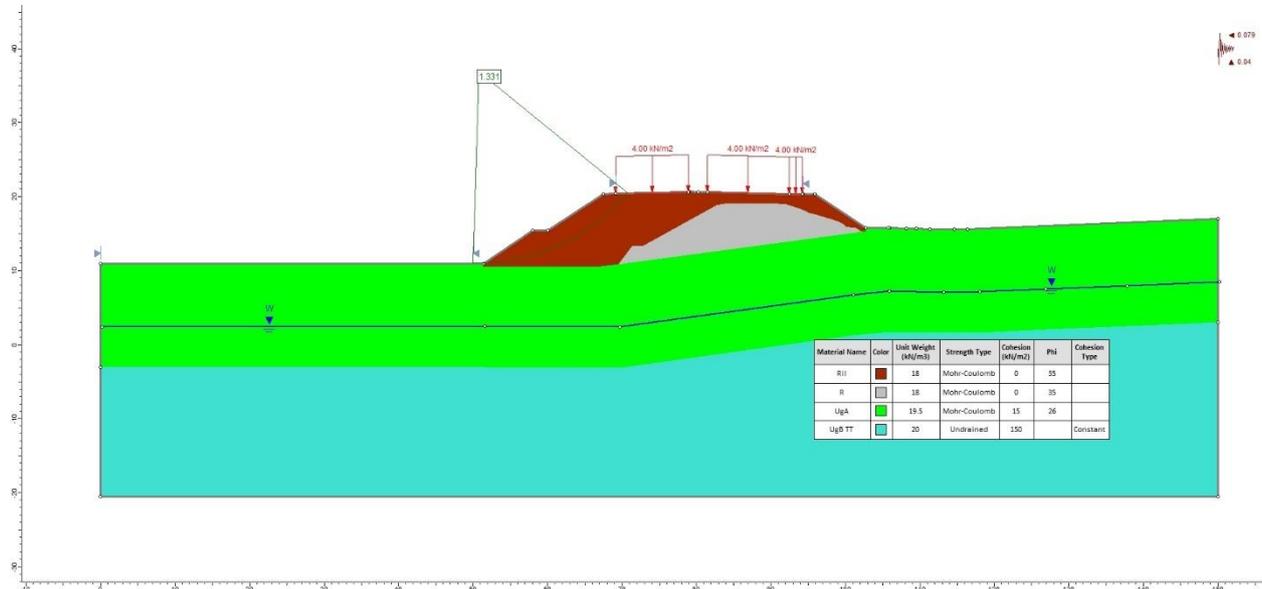


Figura 31 – Sez. 184\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni sismiche [ $F_{Smin} > 1.2$ ].

### Sez.222 \_ Condizioni statiche, di lungo termine (analisi in tensioni efficaci)

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.316 > 1.1$ .

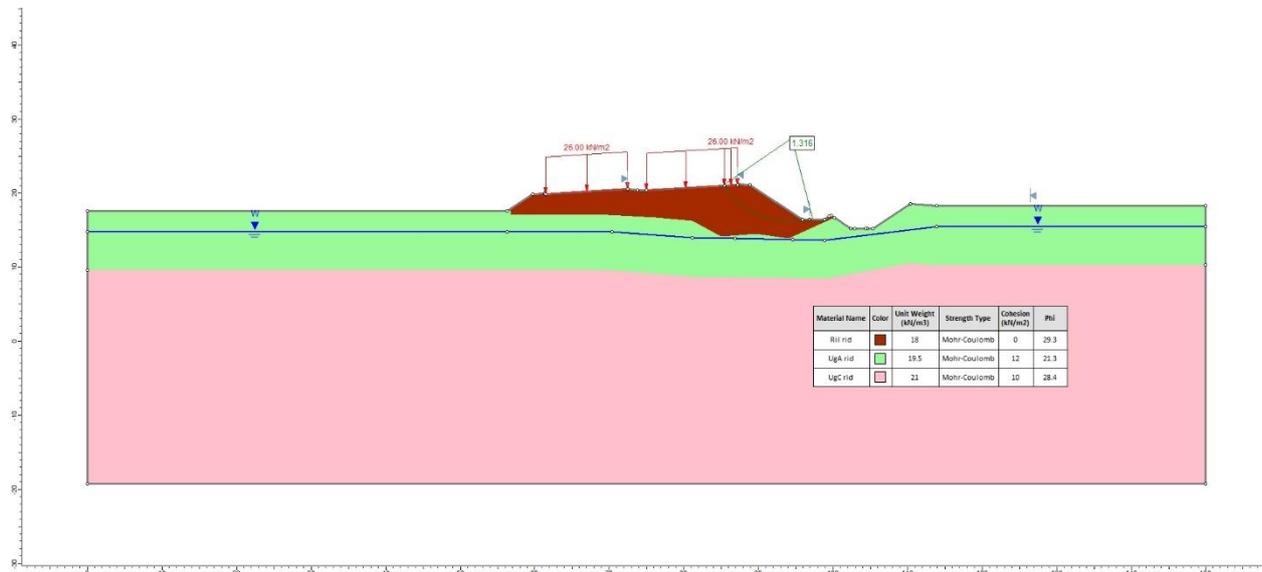


Figura 32– Sez. 225\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di lungo termine [ $F_{Smin} > 1.1$ ].

**Sez. 222 \_ Condizioni sismiche (analisi in tensioni efficaci)**

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.494 > 1.2$ .

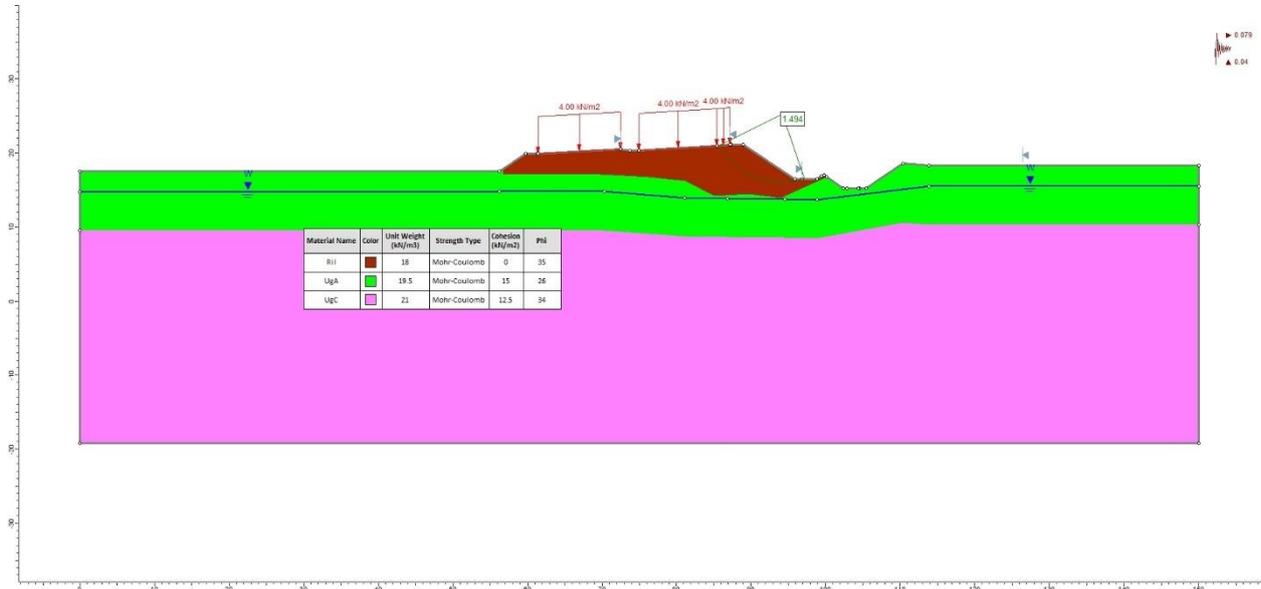


Figura 33– Sez. 225\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni sismiche [ $FS_{min} > 1.2$ ].

**Sez.262 \_ Condizioni statiche, di breve termine (analisi in tensioni totali)**

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.226 > 1.1$ .

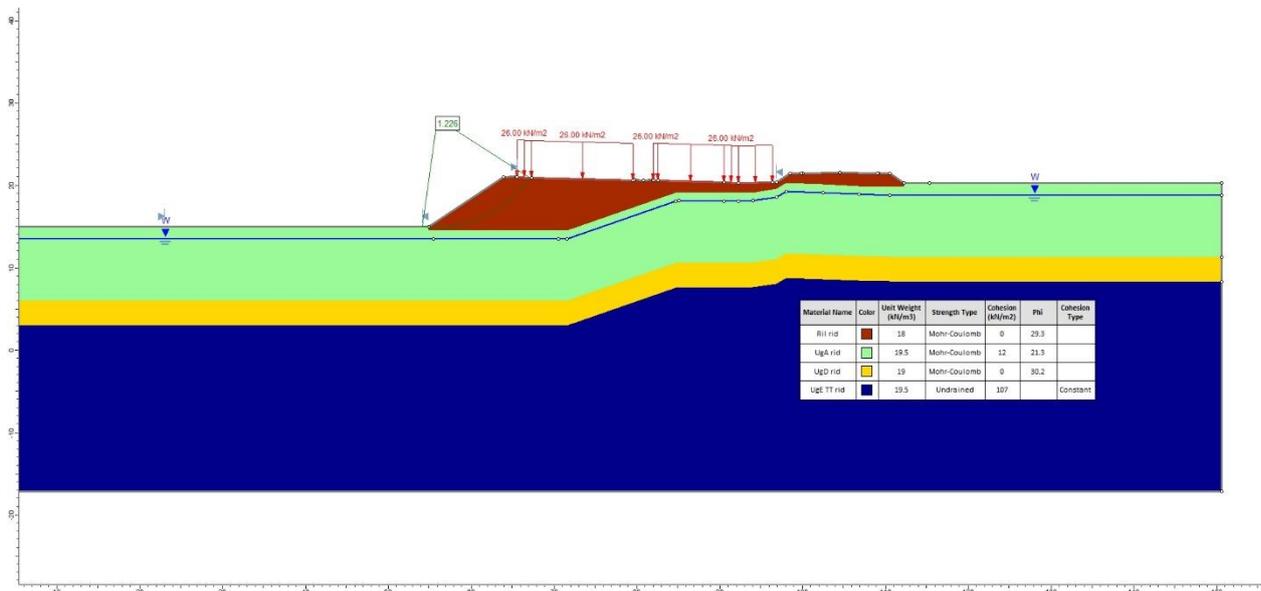


Figura 34– Sez. 262\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di breve termine [ $FS_{min} > 1.1$ ].

### Sez. 262 \_ Condizioni statiche, di lungo termine (analisi in tensioni efficaci)

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.226 > 1.1$ .

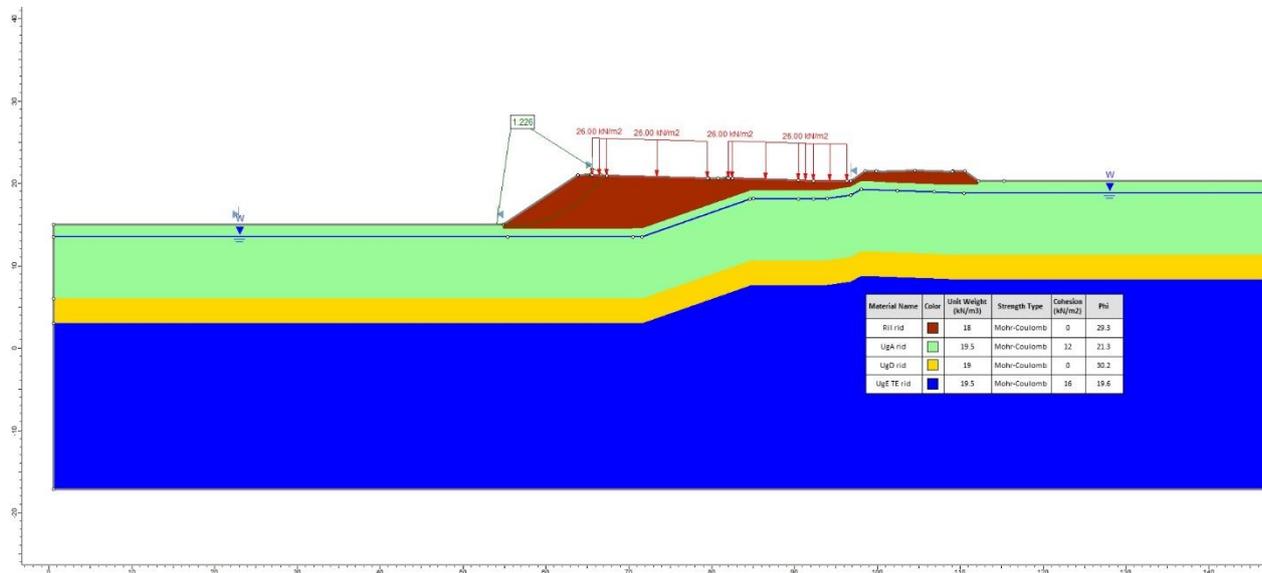


Figura 35– Sez. 262\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di lungo termine [ $FS_{min} > 1.1$ ].

### Sez. 262 \_ Condizioni sismiche (analisi in tensioni totali)

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.328 > 1.2$ .

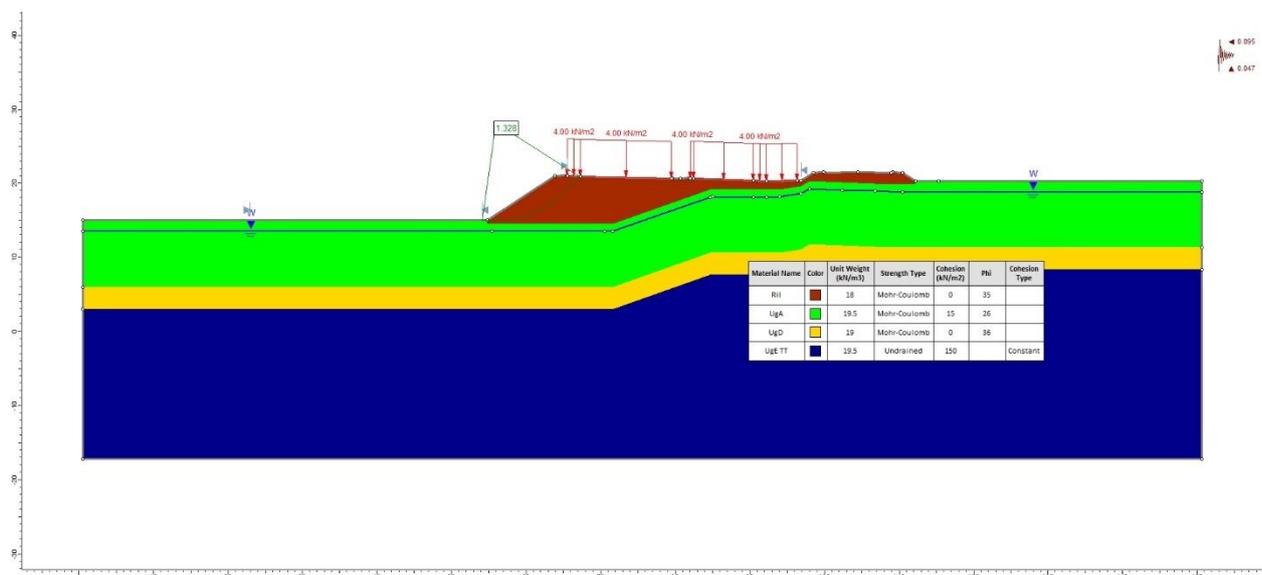


Figura 36 – Sez. 262\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni sismiche [ $FS_{min} > 1.2$ ].

**Sez. 576 \_ Condizioni statiche, di breve termine (analisi in tensioni totali)**

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.457 > 1.1$ .

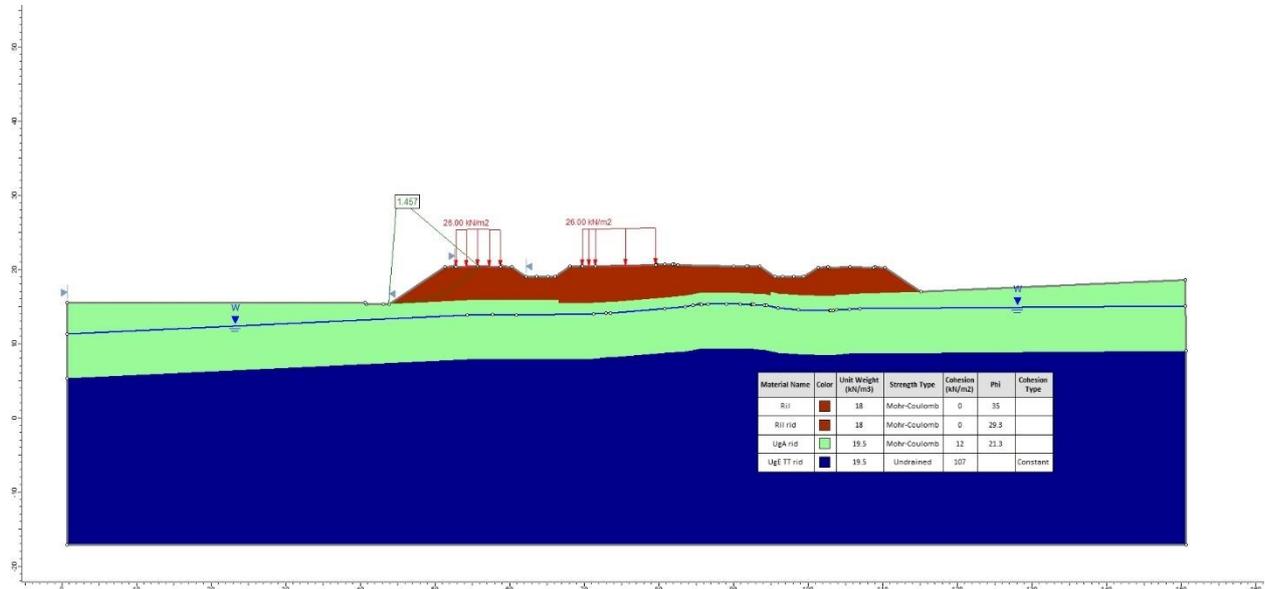


Figura 37– Sez. 576\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di breve termine [ $FS_{min} > 1.1$ ].

**Sez. 576 \_ Condizioni statiche, di lungo termine (analisi in tensioni efficaci)**

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.457 > 1.1$ .

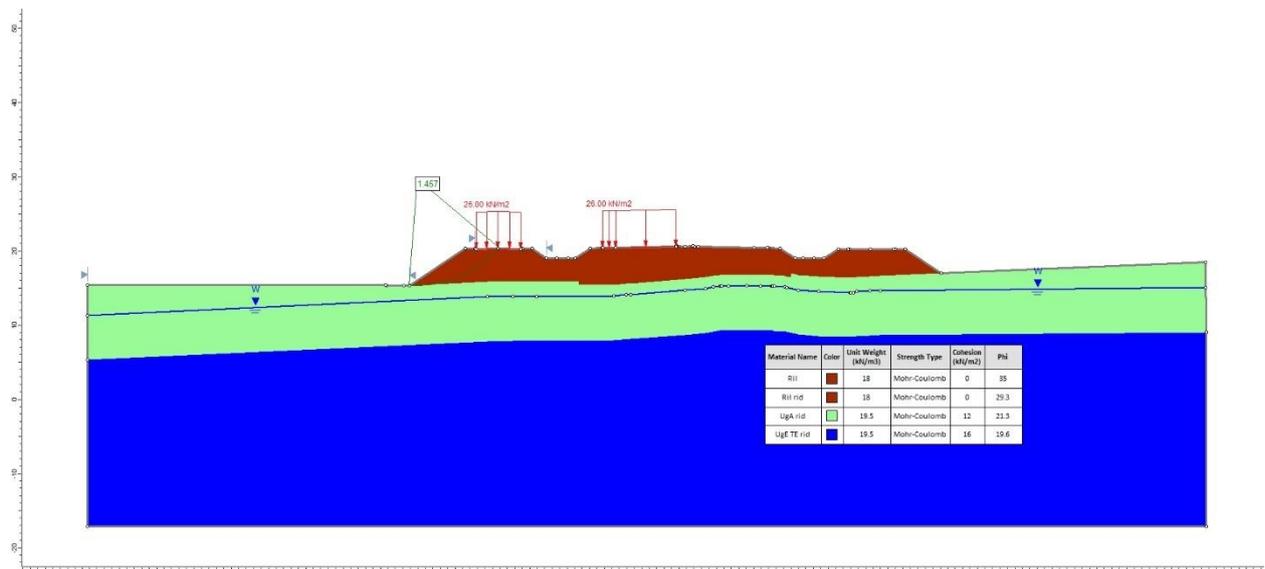


Figura 38– Sez. 576\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni statiche di lungo termine [ $FS_{min} > 1.1$ ].

**Sez. 576 \_ Condizioni sismiche (analisi in tensioni totali)**

L'analisi di stabilità restituisce un valore del rapporto  $R_d / F_d = 1.625 > 1.2$ .

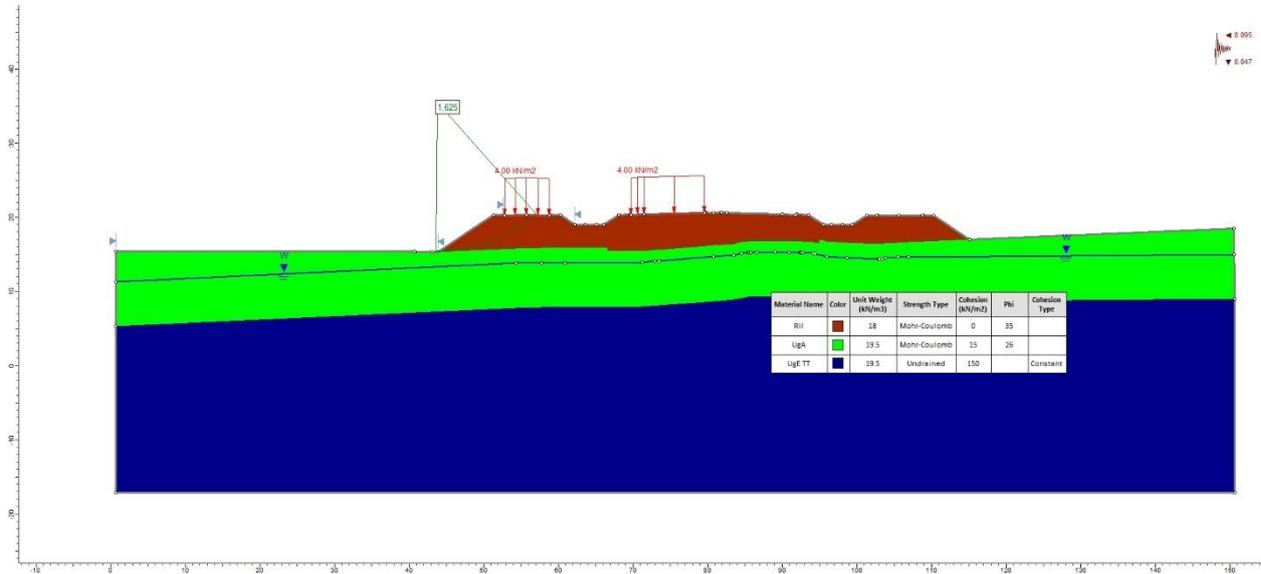


Figura 39 – Sez. 576\_Stabilità globale: analisi di stabilità in condizioni sismiche [ $F_{Smin} > 1.2$ ].

## 8 ANALISI DEI CEDIMENTI

Vengono di seguito riportati i calcoli dei cedimenti dei rilevati, con riferimento alle condizioni di esercizio, effettuati in corrispondenza delle sezioni più rappresentative.

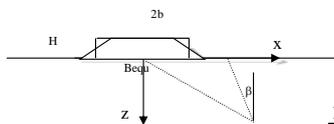
Per ogni sezione il cedimento totale previsto è stato determinato applicando il metodo elastico e integrando il campo degli spostamenti fino a una profondità a cui corrisponde un incremento di tensioni verticali efficaci pari al 10% rispetto a quelle iniziali ( $\Delta\sigma'_v/\sigma'_v = 0.10$ ).

Per i terreni a grana fine i cedimenti totali sono stati calcolati implementando le caratteristiche di deformabilità ottenute dalle prove edometriche (coefficienti di compressibilità  $C_c$  e  $C_s$ ), ottenendo in tal modo valori dei cedimenti significativamente maggiori di quelli che si otterrebbero utilizzando i valori dei moduli elastici ricavati direttamente dalle prove dinamiche (MASW, Down Hole).

Sempre con riferimento ai terreni a grana fine, è stata effettuata una valutazione relativamente ai tempi di esaurimento dei cedimenti legati al processo di consolidazione; in particolare, trattandosi di terreni sovraconsolidati, si è assunto che il 50% del cedimento totale ( $w$ ) determinato per tali unità si sviluppi immediatamente ( $w_0$ ) ed il restante 50% si sviluppi nel tempo ( $w_{cons}$ ), ovvero:

$$w_{cons} = \beta w, \text{ con } \beta = 0.5 \text{ per argille sovraconsolidate (Padfield e Sharrock, 1983).}$$

### Sez. 45 (prg. 42+500)



#### DATI RILEVATO

H(m)	3.90	Altezza rilevato
Binf(m)	36.00	Larghezza base
Bsup(m)	30.00	
Bequ(m)	33.00	
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.00	
q (kPa)	0.00	Sovraccarico
p (kPa)	70.20	
Z <sub>w</sub> (m)	0.50	

X(m) 0.00 ASCISSA DI CALCOLO CEDIMENTO

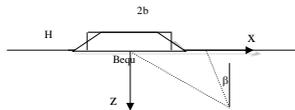
Profondità da piano campagna z (m)	Unità geotecnica
0 ÷ 2.5	UgA
2.5 ÷ 6.5	UgB
> 6.5	UgC

#### DATI TERRENI

Terreno 1	UGB	Terreno 2	UGA	Terreno 4	UGC
C <sub>c</sub>	0.15	E'	15000.00	E'	60000.00
C <sub>s</sub>	0.06	E' <sub>ed</sub>	20192.31	E' <sub>ed</sub>	80769.23
OCR	4.00	v'	0.30	v'	0.30
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20.00	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.50	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.00
v'	0.35				
E <sub>u</sub>	50000				
e <sub>0</sub>	0.50				

Il cedimento elastico totale risulta  $w = 8.3$  cm. Il cedimento determinato per la sola unità UgB, a grana fine, è  $w_{UgB} = 5.6$  cm, dei quali l'aliquota di cedimento di consolidazione  $w_{UgB-cons} = 2.8$  cm risulta quindi compatibile con la funzionalità dell'opera.

**Sez. 144 (prg. 44+380)**



**DATI RILEVATO**

H(m)	9.40	Altezza rilevato
Binf(m)	36.00	Larghezza base
Bsup(m)	36.00	
Bequ(m)	36.00	
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.00	
q (kPa)	0.00	Sovraccarico
p (kPa)	169.20	
Z <sub>w</sub> (m)	3.00	
X(m)	0.00	ASCISSA DI CALCOLO CEDIMENTO

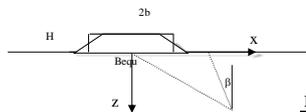
**DATI TERRENI**

Terreno	UGA	Terreno	UGC
2		4	
E'	15000.00	E'	60000.00
E'ed	20192.31	E'ed	80769.23
v'	0.30	v'	0.30
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.50	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.00

Profondità da piano campagna z (m)	Unità geotecnica
0 ÷ 4.5	UgA
> 4.5	UgC

Il cedimento elastico totale risulta  $w = 10.8$  cm; tale valore verrà sviluppato tutto nel breve termine (cedimento immediato).

**Sez. 186 (prg. 45+300)**



**DATI RILEVATO**

H(m)	6.70	Altezza rilevato
Binf(m)	16.50	Larghezza base
Bsup(m)	16.50	
Bequ(m)	16.50	
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.00	
q (kPa)	0.00	Sovraccarico
p (kPa)	120.60	
Z <sub>w</sub> (m)	8.40	
X(m)	0.00	ASCISSA DI CALCOLO CEDIMENTO

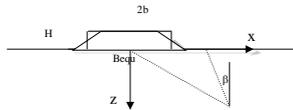
**DATI TERRENI**

Terreno	UGB	Terreno	UGA	Terreno	UGC
1		2		4	
Cc	0.15	E'	15000.00	E'	60000.00
Cs	0.06	E'ed	20192.31	E'ed	80769.23
OCR	4.00	v'	0.30	v'	0.30
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	20.00	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.50	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.00
v'	0.35				
E <sub>u</sub>	50000				
e <sub>0</sub>	0.50				

Profondità da piano campagna z (m)	Unità geotecnica
0 ÷ 14.0	UgA
14.0 ÷ 26.0	UgB
> 26.0	UgC

Il cedimento elastico totale risulta  $w = 13.1$  cm. Il cedimento determinato per la sola unità UgB, a grana fine, è  $w_{UgB} = 5.5$  cm, dei quali l'aliquota di cedimento di consolidazione  $w_{UgB-cons} = 2.8$  cm risulta quindi compatibile con la funzionalità dell'opera.

**Sez. 222 (prg. 46+000)**



**DATI RILEVATO**

H(m)	3.80	Altezza rilevato
Bin(m)	29.00	Larghezza base
Bsup(m)	42.50	
Bequ(m)	35.75	
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.00	
q (kPa)	0.00	Sovraccarico
p (kPa)	68.40	
Z <sub>w</sub> (m)	2.30	

X(m) 0.00 ASCISSA DI CALCOLO CEDIMENTO

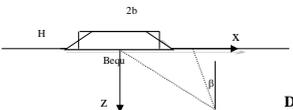
**DATI TERRENI**

Terreno 2	UGA	Terreno 4	UGC
E'	15000.00	E'	60000.00
E <sub>ed</sub>	20192.31	E <sub>ed</sub>	80769.23
v'	0.30	v'	0.30
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.50	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.00

Profondità da piano campagna z (m)	Unità geotecnica
0 ÷ 8.5	UgA
> 8.5	UgC

Il cedimento elastico totale risulta  $w = 4.3$  cm; tale valore verrà sviluppato tutto nel breve termine (cedimento immediato).

**Sez. 262 (prg. 46+740)**



**DATI RILEVATO**

H(m)	6.00	Altezza rilevato
Bin(m)	12.00	Larghezza base
Bsup(m)	12.00	
Bequ(m)	12.00	
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.00	
q (kPa)	0.00	Sovraccarico
p (kPa)	108.00	
Z <sub>w</sub> (m)	2.00	

X(m) 0.00 ASCISSA DI CALCOLO CEDIMENTO

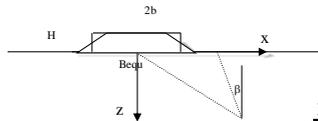
**DATI TERRENI**

Terreno 1	UGE	Terreno 2	UGA	Terreno 4	UGD	Terreno 6	UGC
C <sub>c</sub>	0.20	E'	15000.00	E'	75000.00	E'	100000.00
C <sub>s</sub>	0.06	E <sub>ed</sub>	20192.31	E <sub>ed</sub>	100961.54	E <sub>ed</sub>	134615.38
OCR	4.00	v'	0.30	v'	0.30	v'	0.30
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.50	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.50	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.00	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.00
v'	0.35						
E <sub>u</sub>	60000						
e <sub>0</sub>	0.60						

Profondità da piano campagna z (m)	Unità geotecnica
0 ÷ 8.5	UgA
8.5 ÷ 10.0	UgD
10.0 ÷ 32.0	UgE
> 32.0	UgC

Il cedimento elastico totale risulta  $w = 12.8$  cm. Il cedimento determinato per la sola unità UgE, a grana fine, è  $w_{UgE} = 8.6$  cm, dei quali l'aliquota di cedimento di consolidazione  $w_{UgE-cons} = 4.3$  cm risulta quindi compatibile con la funzionalità dell'opera.

**Sez. 576 (prg. 52+560)**



**DATI RILEVATO**

H(m)	3.90	Altezza rilevato
Bin(m)	59.00	Larghezza base
Bsup(m)	71.00	
Bequ(m)	65.00	
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18.00	
q (kPa)	0.00	Sovraccarico
p (kPa)	70.20	
Z <sub>w</sub> (m)	2.00	

X(m) 0.00 ASCISSA DI CALCOLO CEDIMENTO

**DATI TERRENI**

Terreno 1	UGE	Terreno 2	UGA	Terreno 6	UGC
Cc	0.20	E'	15000.00	E'	100000.00
Cs	0.06	E'ed	20192.31	E'ed	134615.38
OCR	4.00	v'	0.30	v'	0.30
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.50	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	19.50	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21.00
v'	0.35				
E <sub>u</sub>	60000				
e <sub>0</sub>	0.60				

Profondità da piano campagna z (m)	Unità geotecnica
0 ÷ 10.0	UgA
> 10.0	UgE

Il cedimento elastico totale risulta  $w = 13.5$  cm. Il cedimento determinato per la sola unità UgE, a grana fine, è  $w_{UgE} = 10.8$  cm, dei quali l'aliquota di cedimento di consolidazione  $w_{UgE-cons} = 5.4$  cm risulta quindi compatibile con la funzionalità dell'opera.

## 9 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Con il termine “liquefazione” si indicano dei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche (condizioni sismiche). Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che possono causare una riduzione della tensione efficace media presente nel terreno, da cui consegue una riduzione della resistenza a taglio. La riduzione della resistenza può indurre nel terreno una condizione di collasso.

### 9.1 CRITERI DI ESCLUSIONE DELLA VERIFICA

In accordo a quanto previsto dalla normativa vigente (cfr. NTC2018, par. 7.11.3.4) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna ( $a_{max}$ ) in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$ , oppure  $q_{c1N} > 180$  essendo  $q_{c1N}$  la resistenza determinata da prove penetrometriche statiche CPT normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa.
4. distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione indicati dalla Normativa (NTC 2018, paragrafo 7.11.3.4.2).

In buona parte dell’area interessata dal tracciato stradale in progetto, e da tutte le opere ad esso annesse, i terreni di fondazione sono costituiti da sabbie sature con una forte componente limoso-argillosa (**UgA**).

Si osserva che:

- l’accelerazione massima attesa al piano campagna è ovunque maggiore del valore 0.1g ( $a_{max}$  risulta pari a 0.209 g, 0.250 g e 0.264 g nei tratti caratterizzati rispettivamente da categoria di suolo B, C ed E);
- la profondità della falda è variabile all’incirca tra 2 e 10 m dal piano campagna;
- le prove SPT eseguite all’interno dell’unità in esame restituiscono valori di  $(N_1)_{60}$  non sempre maggiori di 30.
- le curve granulometriche ottenute in laboratorio da campioni prelevati nelle aree in oggetto, anche se non ricadono completamente all’interno dei fusi di normativa, hanno restituito una non trascurabile sovrapposizione con i fusi stessi.

Per quanto detto, si è ritenuto opportuno non escludere a priori la possibilità di liquefazione ed eseguire ulteriori valutazioni in merito.

## 9.2 METODI DI VERIFICA

La verifica a liquefazione del deposito è effettuata, mediante un'analisi semplificata, in condizioni di *free-field*. La sicurezza nei confronti della liquefazione, ad una generica profondità, è valutata in termini di coefficiente di sicurezza,  $F_L$ , definito come rapporto fra la resistenza disponibile alla liquefazione,  $CRR$ , (stato di sforzo critico associato alla condizione di liquefazione o al manifestarsi di grandi deformazioni plastiche) e la sollecitazione indotta dall'azione sismica,  $CSR$ . Entrambi i parametri tensionali sono correttamente normalizzati rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, in modo da definire un rapporto di resistenza ciclica,  $CRR$ , e un rapporto di tensione ciclica,  $CSR$ .

$$F_L = \frac{CRR}{CSR}$$

Il termine  $CSR$  è stimato a partire dal valore dell'accelerazione massima attesa in superficie  $a_{max}$ , per lo specifico stato limite considerato; il termine  $CRR$ , nel caso in esame, è stimato a partire dai risultati di prove  $SPT$  e da misure di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ .

Oltre alla verifica puntuale, corrispondente alla valutazione dei valori di  $F_L$  a differenti profondità, è possibile introdurre un indice degli effetti della liquefazione, detto *indice del potenziale di liquefazione*,  $I_L$ , definito mediante la seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{20\text{ m}} F(z) \cdot W(z) \cdot dz$$

in cui, indicata con  $z$  la profondità dal piano campagna, si ha:

$$F = 1 - F_L \quad \text{se } F_L \leq 1.0$$

$$F = 0 \quad \text{se } F_L > 1.0$$

$$W(z) = 10 - 0.50 \cdot z$$

In base al valore di  $I_L$  è possibile considerare (*Iwasaki et al., 1982*):

- $I_L \leq 5$  il potenziale di rottura è basso;
- $5 < I_L \leq 15$  il potenziale di rottura è elevato;
- $I_L > 15$  il potenziale di rottura è estremamente elevato.

### 9.2.1 Valutazione del rapporto di tensione ciclica $CSR$

Il termine  $CSR$ , ad una specifica profondità, può essere determinato attraverso la seguente espressione (*Seed e Idriss, 1971*):

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove:

$a_{max}$  è l'accelerazione di picco al piano campagna (determinabile attraverso le prescrizioni delle NTC2018);

$r_d$  è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo.

Quest'ultimo può essere stimato mediante la seguente espressione (*Liao e Whitmann, 1986*):

$$r_d = 1.000 - 0.0775 \cdot z \text{ per } z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z \text{ per } 9.15 < z \leq 23 \text{ m}$$

essendo  $z$  la profondità dal piano campagna espressa in metri.

## 9.2.2 Valutazione del rapporto di resistenza ciclica *CRR*

### *CRR* dai risultati delle prove *SPT*

Il numero di colpi  $N_{SPT}$  è ricondotto ad un valore normalizzato e corretto  $(N_1)_{60}$  mediante la seguente espressione:

$$(N_1)_{60} = C_N \cdot N_{SPT}$$

Il coefficiente  $C_N$  è un fattore correttivo per l'influenza della pressione verticale efficace ed è ricavabile per via iterativa dalla seguente relazione (*Boulanger & Idriss, 2004*):

$$C_N = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.784 - 0.0768 \sqrt{(N_1)_{60}}} \leq 1.7$$

In cui  $p_a \approx 100$  kPa rappresenta la pressione di atmosferica.

Il valore della resistenza penetrometrica normalizzata è riportato, poi, ad un valore equivalente per sabbie pulite  $(N_1)_{60cs}$  attraverso la relazione (*Idriss e Boulanger, 2004*):

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \exp \left( 1.63 + \frac{9.7}{FC} - \left( \frac{15.7}{FC} \right)^2 \right)$$

dove  $FC$  rappresenta la percentuale di grana fine presente nella sabbia.

A partire dal valore di  $(N_1)_{60cs}$  può essere infine ricavata la resistenza alla liquefazione per eventi sismici di magnitudo 7.5, mediante la seguente espressione (*Idriss e Boulanger, 2004*), ottenuta dall'osservazione di casi storici:

$$(CRR)_{M=7.5} = \exp \left[ \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} \right) + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 - \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right]$$

### CRR dalla misura della velocità delle onde di taglio

La velocità di propagazione delle onde  $V_S$  ottenuto dalle prove *Down-Hole* e *MASW* è ricondotto ad un valore normalizzato  $V_{S1}$  mediante la seguente espressione:

$$V_{S1} = C_V \cdot V_S$$

Il coefficiente  $C_V$  è un fattore di normalizzazione dato dall'equazione:

$$C_V = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^n \leq 1.4$$

In cui  $p_a$  rappresenta la pressione di atmosferica ed  $n=0.25$ .

Un altro parametro necessario al calcolo della resistenza a liquefazione è  $V_{S1c}$ , il valore di soglia della velocità  $V_{S1}$  oltre il quale la liquefazione non avviene; esso può essere stimato, in funzione della frazione di fine  $FC$ , attraverso le seguenti relazioni:

per  $FC \leq 5\%$   $V_{S1c} = 215$  m/s

per  $5\% \leq FC \leq 35\%$   $V_{S1c} = 215 - 0.5 (FC - 5)$  m/s

per  $FC > 35\%$   $V_{S1c} = 200$  m/s

La resistenza alla liquefazione per eventi sismici di magnitudo 7.5 è ricavata mediante la seguente espressione (*Idriss e Boulanger, 2004*) ottenuta dall'osservazione di casi storici:

$$(CRR)_{M=7.5} = 0.022 \cdot \left( \frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 2.8 \cdot \left( \frac{1}{V_{S1c} - V_{S1}} - \frac{1}{V_{S1c}} \right)$$

Poiché entrambe le procedure descritte (da *SPT* e da  $V_S$ ) sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo momento pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa è necessario ricondurre il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5, mediante la seguente relazione:

$$(CSR)_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

in cui  $MSF$  è un coefficiente correttivo per la magnitudo che può essere ricavato da (*Idriss e Boulanger, 2004*):

$$MSF = 6.9 \cdot \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.05815 \leq 1.8$$

### 9.3 RISULTATI DELLE VERIFICHE

Le verifiche a liquefazione riportate nel seguito, sono state condotte nei vari tratti del tracciato dove i terreni, in ragione della loro natura granulometrica, risulterebbero potenzialmente suscettibili a tale fenomeno. In particolare, sono state eseguite sui 7 tratti indicati in Tabella 19:

Tabella 19: Verifica a liquefazione - Tratti studiati.

Tratto	da km	a km
1	41+580	41+820
2	42+140	42+680
3	44+220	46+380
4	46+380	47+520
5	47+520	48+570
6	49+740	50+920
7	50+920	53+120

Le verifiche sono state eseguite utilizzando le correlazioni descritte al paragrafo 9.2, tramite l'interpretazione dei risultati delle prove *SPT* e mediante la velocità di propagazione delle onde di taglio misurate per mezzo delle indagini geofisiche disponibili nelle aree in esame. In particolare, le curve limite mostrate nei paragrafi seguenti, che sono costruite per mezzo dell'espressione di *Idriss e Boulanger* menzionata nel paragrafo 9.2.2, sono state ottenute considerando una frazione di fine, *FC*, pari al 35%.

Come riportato dettagliatamente nella Relazione sismica (elaborato T00-GE00-GET-RE02), l'accelerazione massima su affioramento rigido in condizioni SLV risulta pari a

$$a_g = 0.174 \text{ g}$$

Le accelerazioni massime attese al piano campagna per le categorie di suolo individuate lungo il tracciato sono le seguenti:

categoria B  $a_{max} = 0.209 \text{ g}$

categoria C  $a_{max} = 0.250 \text{ g}$

categoria E  $a_{max} = 0.264 \text{ g}$

Per il sito in esame la magnitudo di riferimento è compresa tra 4.0 e 6.0; nelle analisi si è assunto, cautelativamente, il valore massimo di  $M_W = 6.0$ .

### 9.3.1 Tratto 1 (da pk 41+580 a pk 41+820)

La Tabella 20 riporta, alla profondità di esecuzione di ciascuna prova *SPT*, il rapporto di tensione ciclica  $(CSR)_{M=7.5}$  ed il corrispondente rapporto di resistenza ciclica *CRR*; le prove nelle quali non è riportato alcun valore di *CRR* sono quelle in cui, risultando un  $(N_1)_{60} > 30$ , la verifica è automaticamente soddisfatta.

Tabella 20: Tratto 1 - Rapporti di tensione e resistenza ciclica ottenuti dalle prove *SPT*.

Sondaggio	Prova	z (m)	N <sub>SPT</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	Categoria suolo	a <sub>max</sub> /g	(CSR) <sub>M=7.5</sub> (-)	CRR (-)
S2	1	1.50	14	23.3	B	0.209	0.0906	0.4182
S4	1	1.60	11	18.6	B	0.209	0.0906	0.2710
S4	2	3.30	12	15.8	B	0.209	0.1027	0.2234
S5	1	1.50	12	20.5	B	0.209	0.0906	0.3163
S5	2	3.00	15	19.8	B	0.209	0.0987	0.2985
S6	1	1.50	10	17.6	B	0.209	0.0906	0.2519
S6	2	2.80	13	17.2	B	0.209	0.0897	0.2448
SG02-PZ	1	2.73	61	67.7	B	0.209	0.0946	-

La curva limite illustrata in Figura 40 separa le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione; si può osservare che per ogni prova *SPT* eseguita la verifica risulta soddisfatta. Si precisa che non si è tenuto conto delle prove *SPT* che sono andate a rifiuto, per le quali la verifica a liquefazione può essere considerata soddisfatta.

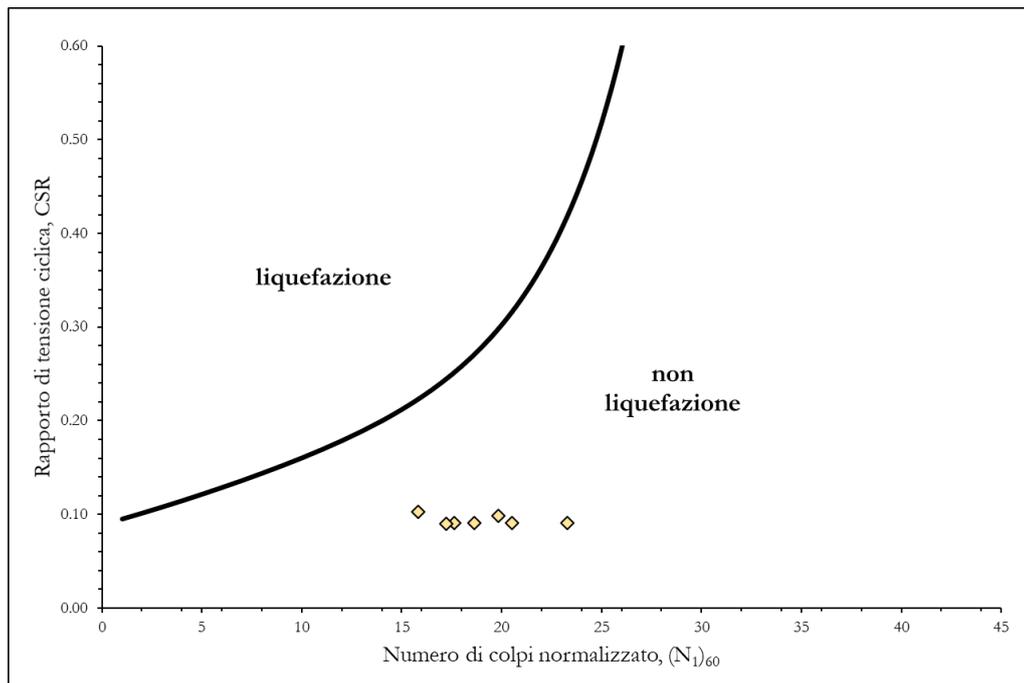


Figura 40 : Tratto 1 - Verifica a liquefazione mediante i risultati delle prove SPT.

In Figura 41 si riporta, invece, la curva limite costruita determinando il rapporto di resistenza ciclica  $CRR$  a partire dai valori di velocità di propagazione delle onde di taglio. I valori della  $V_{S1}$  risultano maggiori del valore soglia  $V_{S1c} = 200$  m/s (cfr. Tabella 21) corrispondente alla frazione di fine del 35%, pertanto la verifica risulta soddisfatta.

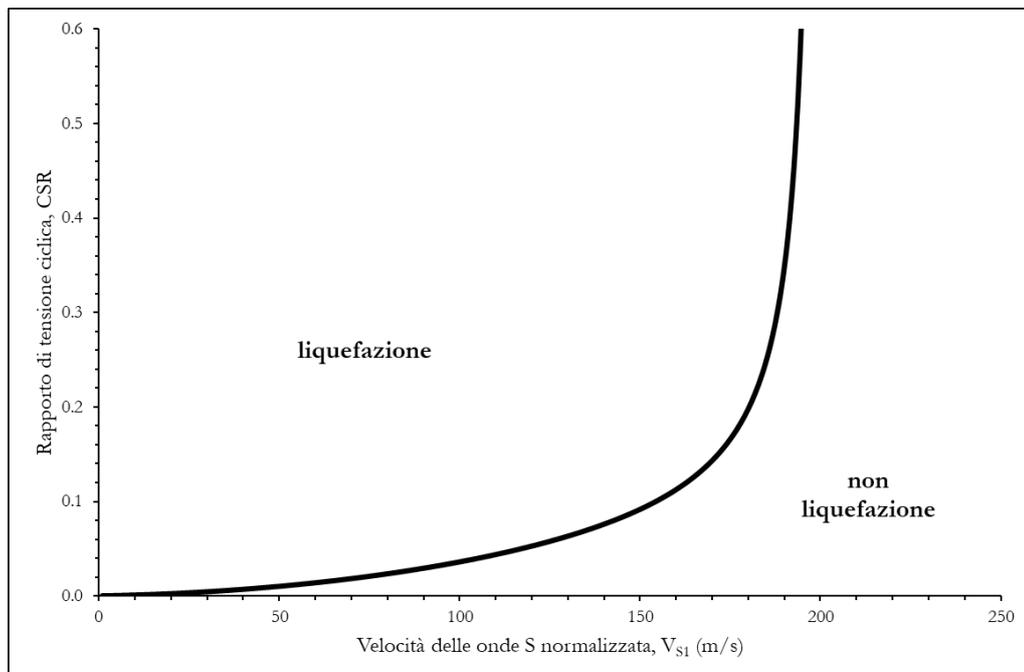


Figura 41 : Tratto 1 - Verifica a liquefazione mediante la velocità delle onde di taglio normalizzata.

Tabella 21: Tratto 1 – Velocità di propagazione delle onde di taglio.

Sondaggio	z (m)	Categoria suolo	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>S1</sub> (m/s)	V <sub>S1c</sub> (m/s)
SG01-DH	1	B	452	633	200
	2	B	419	549	200
	3	B	377	464	200

### 9.3.2 Tratto 2 (da pk 42+140 a pk 42+680)

La Tabella 22 riporta, alla profondità di esecuzione di ciascuna prova *SPT*, il rapporto di tensione ciclica  $(CSR)_{M=7.5}$  ed il corrispondente rapporto di resistenza ciclica *CRR*:

Tabella 22: Tratto 2 - Rapporti di tensione e resistenza ciclica ottenuti dalle prove *SPT*.

Sondaggio	Prova	z (m)	N <sub>SPT</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	Categoria suolo	a <sub>max</sub> /g	(CSR) <sub>M=7.5</sub> (-)	CRR (-)
S11	1	2.50	8	11.6	C	0.250	0.1076	0.1753
S11	2	6.00	15	16.0	C	0.250	0.1398	0.2255

La curva limite in Figura 42 separa le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione; si può osservare che per ogni prova *SPT* eseguita la verifica risulta soddisfatta.

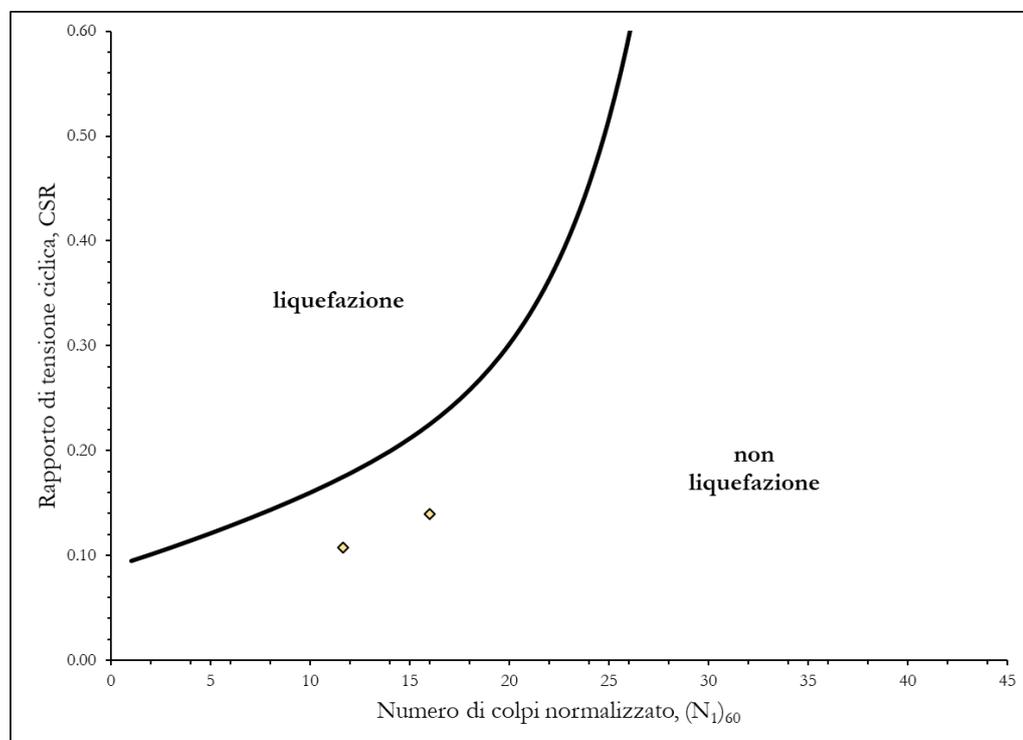


Figura 42 : Tratto 2 - Verifica a liquefazione mediante i risultati delle prove *SPT*.

La curva limite costruita determinando il rapporto di resistenza ciclica  $CRR$  a partire dai valori di velocità di propagazione delle onde di taglio è la stessa mostrata per il tratto precedente (cfr. Figura 41). I valori della  $V_{S1}$  risultano maggiori del valore soglia  $V_{S1c} = 200$  m/s (cfr. Tabella 21), pertanto la verifica risulta soddisfatta.

Tabella 23: Tratto 2 – Velocità di propagazione delle onde di taglio.

Sondaggio	z (m)	Categoria suolo	$V_s$ (m/s)	$V_{S1}$ (m/s)	$V_{S1c}$ (m/s)
MASW 1	0.6	C	155	217	200
	1.33	C	184	258	200
	2.97	C	242	283	200

### 9.3.3 Tratto 3 (da pk 44+220 a pk 46+380)

La Tabella 24 riporta, alla profondità di esecuzione di ciascuna prova  $SPT$ , il rapporto di tensione ciclica  $(CSR)_{M=7.5}$  ed il corrispondente rapporto di resistenza ciclica  $CRR$ :

Tabella 24: Tratto 3 - Rapporti di tensione e resistenza ciclica ottenuti dalle prove  $SPT$ .

Sondaggio	Prova	z (m)	$N_{SPT}$	$(N_1)_{60}$	Categoria suolo	$a_{max}/g$	$(CSR)_{M=7.5}$ (-)	$CRR$ (-)
SG04-PZ	3	14.23	2	1.1	B	0.209	0.0844	0.0956
SG05-DH	1	2.23	20	27.5	B	0.209	0.0901	0.7595
SG06-PZ	1	3.78	3	3.8	B	0.209	0.0964	0.1135
SG06-PZ	2	6.16	28	29.0	B	0.209	0.1152	0.9998
SG07	1	1.48	24	35.9	B	0.209	0.0907	-
SG27-PZ	1	3.73	29	32.4	B	0.209	0.0891	-
SG27-PZ	2	7.23	36	31.9	B	0.209	0.0866	-
SG27-PZ	3	13.03	19	12.9	B	0.209	0.0901	0.1882
S20	1	2.30	17	23.6	B	0.209	0.0901	0.4358
S22	1	4.00	7	8.1	B	0.209	0.0889	0.1444
S22	2	5.50	11	10.6	B	0.209	0.0878	0.1657
S23	1	1.50	7	13.0	B	0.209	0.0906	0.1895
S23	2	3.00	15	19.1	B	0.209	0.0896	0.2805
S24	1	1.50	21	32.2	B	0.209	0.0906	-
S24	2	3.00	39	46.0	B	0.209	0.0978	-
S25	1	2.00	10	15.7	B	0.209	0.0903	0.2216
S25	2	5.00	13	15.1	B	0.209	0.1178	0.2141
S26	1	3.00	11	14.9	B	0.209	0.0978	0.2110

**RELAZIONE GEOTECNICA**

S26	2	6.00	12	13.2	B	0.209	0.1238	0.1912
S28	1	3.00	14	17.9	B	0.209	0.0896	0.2568
S29	1	2.00	12	18.4	B	0.209	0.0903	0.2665
S29	2	4.00	14	16.8	B	0.209	0.1017	0.2372
S30	1	1.00	17	30.6	B	0.209	0.0910	-
S30	2	6.00	15	16.0	B	0.209	0.1169	0.2255
S31	1	2.50	11	15.5	B	0.209	0.0899	0.2193

La curva limite in Figura 43 separa le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Si può osservare che per ogni prova *SPT* eseguita la verifica risulta soddisfatta.

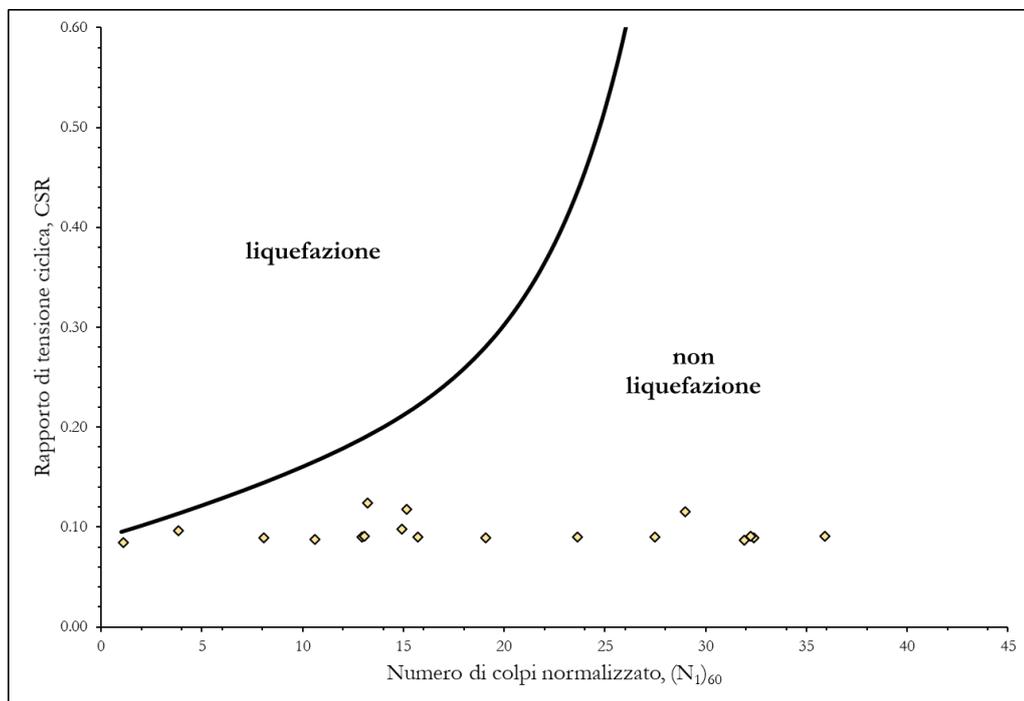


Figura 43 : Tratto 3 - Verifica a liquefazione mediante i risultati delle prove *SPT*.

Per quanto concerne la curva limite definita facendo riferimento alla velocità di propagazione delle onde di taglio, anche nel tratto in esame i valori della  $V_{S1}$  risultano maggiori del valore soglia  $V_{S1c} = 200$  m/s (cfr. Tabella 25), pertanto la verifica risulta soddisfatta.

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Tabella 25: Tratto 3 – Velocità di propagazione delle onde di taglio.

Sondaggio	z (m)	Categoria suolo	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>s1</sub> (m/s)	V <sub>s1c</sub> (m/s)
SG05-DH	1	B	375	525	200
	2	B	414	524	200
	3	B	543	621	200
	4	B	606	645	200
	5	B	638	642	200
	6	B	657	632	200
	7	B	665	621	200
	8	B	649	596	200
	9	B	654	590	200
	10	B	657	584	200
	11	B	660	578	200
	12	B	662	572	200
	13	B	663	566	200
	14	B	664	560	200
MASW 05	0.63	B	193	270	200
	1.17	B	148	207	200
	1.91	B	289	370	200
MASW 06	0.24	B	157	220	200
	0.95	B	193	270	200
	1.72	B	384	505	200
	3.76	B	390	421	200
	6.07	B	220	211	200
	8.49	B	617	562	200
16.07	B	487	401	200	

### 9.3.4 Tratto 4 (da pk 46+380 a pk 47+520)

La Tabella 26 riporta, alla profondità di esecuzione di ciascuna prova *SPT*, il rapporto di tensione ciclica  $(CSR)_{M=7.5}$  ed il corrispondente rapporto di resistenza ciclica *CRR*:

Tabella 26: Tratto 4 - Rapporti di tensione e resistenza ciclica ottenuti dalle prove *SPT*.

Sondaggio	Prova	z (m)	N <sub>SPT</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	Categoria suolo	a <sub>max</sub> /g	(CSR) <sub>M=7.5</sub> (-)	CRR (-)
S33	1	3.00	12	15.5	C	0.250	0.1072	0.2192
S33	2	6.00	19	19.7	C	0.250	0.1324	0.2943
S33	3	9.00	22	20.2	C	0.250	0.1475	0.3076
S34	1	1.80	11	17.8	C	0.250	0.1082	0.2549
S34	2	3.70	14	16.3	C	0.250	0.1066	0.2307
S34	3	7.80	24	20.5	C	0.250	0.1087	0.3146
S34	4	8.80	28	23.4	C	0.250	0.1140	0.4262
S35	1	3.00	12	15.5	C	0.250	0.1072	0.2192
S35	2	6.00	14	13.8	C	0.250	0.1197	0.1982
SG08-DH	1	2.23	18	25.1	C	0.250	0.1078	0.5269
SG08-DH	2	6.78	45	43.9	C	0.250	0.1251	-
SG30-PZ	1	4.63	17	19.4	C	0.250	0.1285	0.2881
S36	1	3.00	10	13.1	E	0.264	0.1132	0.1902
S36	2	6.00	20	18.6	E	0.264	0.1105	0.2709
S36	3	9.00	38	32.6	E	0.264	0.1214	-
S36	4	12.00	44	36.1	E	0.264	0.1251	-
S36	5	15.00	50	39.8	E	0.264	0.1224	-
S37	1	3.00	9	11.9	E	0.264	0.1132	0.1777
S37	2	6.00	14	12.9	E	0.264	0.1105	0.1882
S37	3	9.00	23	18.8	E	0.264	0.1214	0.2751
S37	4	12.00	34	26.8	E	0.264	0.1251	0.6774
S37	5	15.00	34	25.1	E	0.264	0.1224	0.5249

La curva limite in Figura 44 separa le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Si può osservare che per ogni prova *SPT* eseguita la verifica risulta soddisfatta.

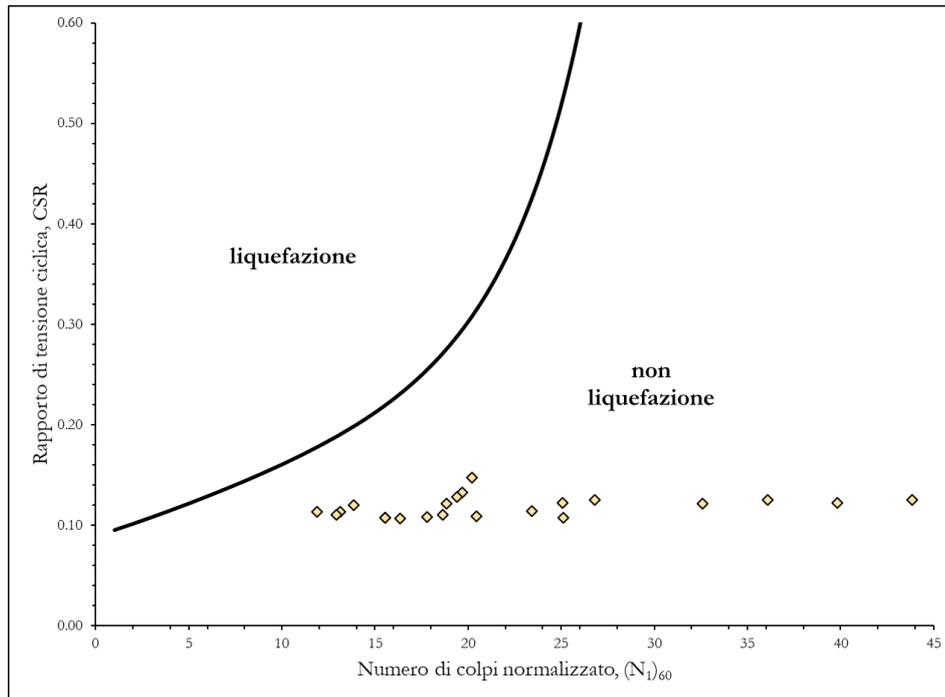


Figura 44 : Tratto 4 - Verifica a liquefazione mediante i risultati delle prove SPT.

Per quanto concerne la curva limite definita facendo riferimento alla velocità di propagazione delle onde di taglio, nel tratto in esame tutti i valori della  $V_{S1}$  eccetto uno risultano maggiori del valore soglia  $V_{S1c} = 200$  m/s (cfr. Tabella 27).

Tabella 27: Tratto 4 – Velocità di propagazione delle onde di taglio.

Sondaggio	z (m)	Categoria suolo	$V_s$ (m/s)	$V_{S1}$ (m/s)	$V_{S1c}$ (m/s)
	1	C	180	252	200
	2	C	198	251	200
	3	C	259	303	200
	4	C	289	324	200
SG08-DH	5	C	305	331	200
	6	C	313	329	200
	7	C	319	326	200
	8	C	322	321	200
	9	C	333	325	200
	0.31	E	169	237	200
MASW 07	0.65	E	120	<b>168</b>	200
	1.3	E	176	246	200

**RELAZIONE GEOTECNICA**

2.5	E	221	264	200
7.75	E	219	202	200
11.49	E	252	219	200
15.82	E	289	239	200

Nel punto a cui corrisponde una  $V_{S1}$  pari a 168 m/s sono stati dunque calcolati il rapporto di tensione ciclica  $(CSR)_{M=7.5}$  ed il rapporto di resistenza ciclica  $CRR$ . I risultati sono riportati sia in forma tabellare (cfr. Tabella 28) sia graficamente in Figura 45.

Tabella 28: Tratto 4 – Rapporti di tensione e resistenza ciclica ottenuti dalle  $V_s$ .

Sondaggio	z (m)	Categoria suolo	$a_{max}/g$	$(CSR)_{M=7.5}$ (-)	$CRR$ (-)
MASW 07	0.65	E	0.264	0.1152	0.1356

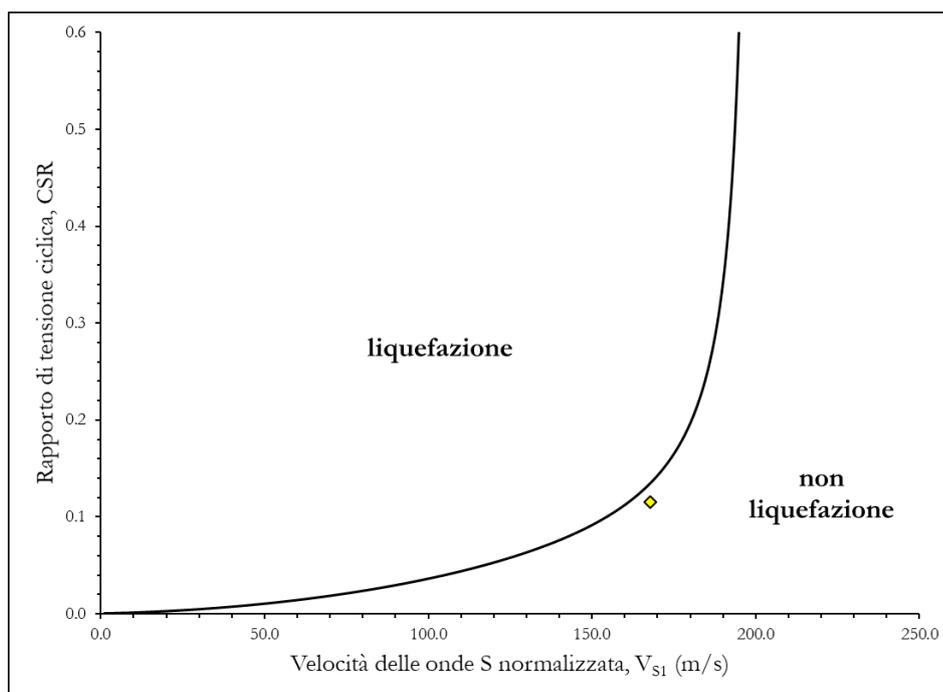


Figura 45 : Tratto 4 - Verifica a liquefazione mediante la velocità delle onde di taglio normalizzata.

La verifica risulta soddisfatta.

### 9.3.5 Tratto 5 (da pk 47+520 a pk 48+570)

La Tabella 29 riporta, alla profondità di esecuzione di ciascuna prova *SPT*, il rapporto di tensione ciclica  $(CSR)_{M=7.5}$  ed il corrispondente rapporto di resistenza ciclica *CRR*:

Tabella 29: Tratto 5 - Rapporti di tensione e resistenza ciclica ottenuti dalle prove *SPT*.

Sondaggio	Prova	z (m)	N <sub>SPT</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	Categoria suolo	a <sub>max</sub> /g	(CSR) <sub>M=7.5</sub> (-)	CRR (-)
S38	1	2.60	23	29.5	B	0.209	0.0899	1.1116
S41	1	2.00	18	26.0	B	0.209	0.0903	0.6010
SG09-DH	1	2.78	60	66.2	B	0.209	0.0897	-
SG09-DH	2	7.23	62	59.3	B	0.209	0.0969	-

La curva limite in Figura 46 separa le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Si può osservare che per ogni prova *SPT* eseguita la verifica risulta soddisfatta.

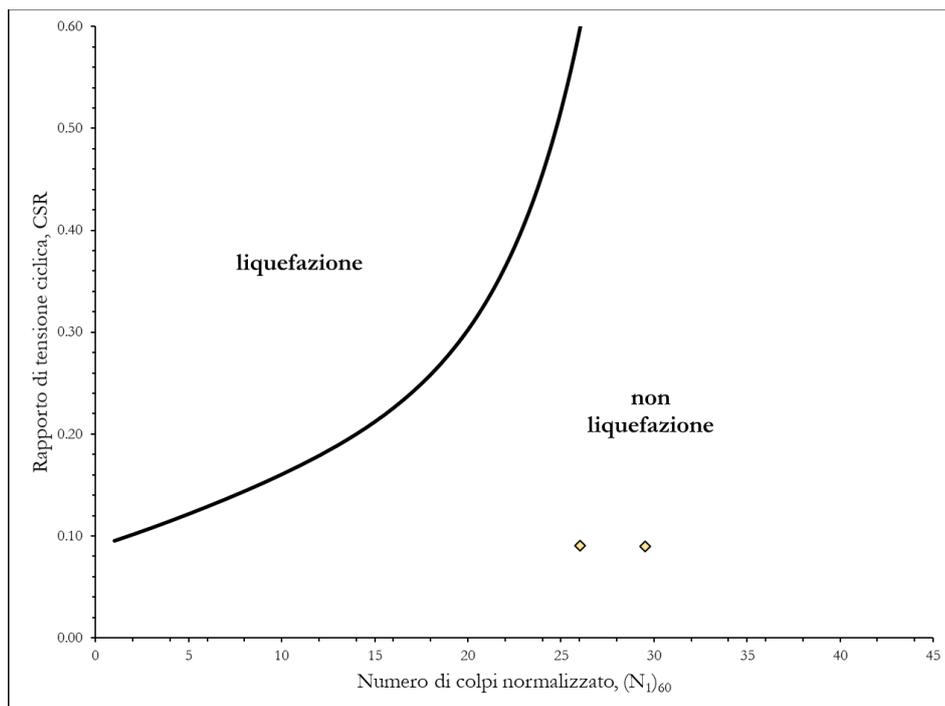


Figura 46 : Tratto 5 - Verifica a liquefazione mediante i risultati delle prove *SPT*.

Per quanto concerne la curva limite definita facendo riferimento alla velocità di propagazione delle onde di taglio, nel tratto in esame tutti i valori della  $V_{S1}$  risultano maggiori del valore soglia  $V_{S1c} = 200$  m/s (cfr. Tabella 30).

Tabella 30: Tratto 5 – Velocità di propagazione delle onde di taglio.

Sondaggio	z (m)	Categoria suolo	V <sub>s</sub> (m/s)	V <sub>s1</sub> (m/s)	V <sub>s1c</sub> (m/s)
SG09-DH	2	B	157	200	200
	3	B	280	327	200
	4	B	313	351	200
	5	B	333	361	200
	6	B	357	375	200
	7	B	363	371	200
	8	B	367	366	200
	9	B	370	361	200
	10	B	372	355	200

### 9.3.6 Tratto 6 (da pk 49+740 a pk 50+920)

La Tabella 31 riporta, alla profondità di esecuzione di ciascuna prova *SPT*, il rapporto di tensione ciclica  $(CSR)_{M=7.5}$  ed il corrispondente rapporto di resistenza ciclica *CRR*:

Tabella 31: Tratto 6 - Rapporti di tensione e resistenza ciclica ottenuti dalle prove *SPT*.

Sondaggio	Prova	z (m)	N <sub>SPT</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	Categoria suolo	a <sub>max</sub> /g	$(CSR)_{M=7.5}$ (-)	CRR (-)
S46	1	1.00	11	22.0	B	0.209	0.0910	0.3642
S47	1	2.00	19	27.3	B	0.209	0.0903	0.7285
S47	2	4.00	18	20.6	B	0.209	0.0949	0.3197
S48	1	2.00	11	17.1	B	0.209	0.0903	0.2422
S48	2	5.00	23	24.8	B	0.209	0.1039	0.5056
S49	1	1.00	11	22.0	B	0.209	0.0910	0.3642
S50	1	2.00	10	16.4	B	0.209	0.1004	0.2318
SG09 bis	1	3.78	13	15.3	B	0.209	0.0924	0.2167

La curva limite in Figura 47 separa le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Si può osservare che per ogni prova *SPT* eseguita la verifica risulta soddisfatta.

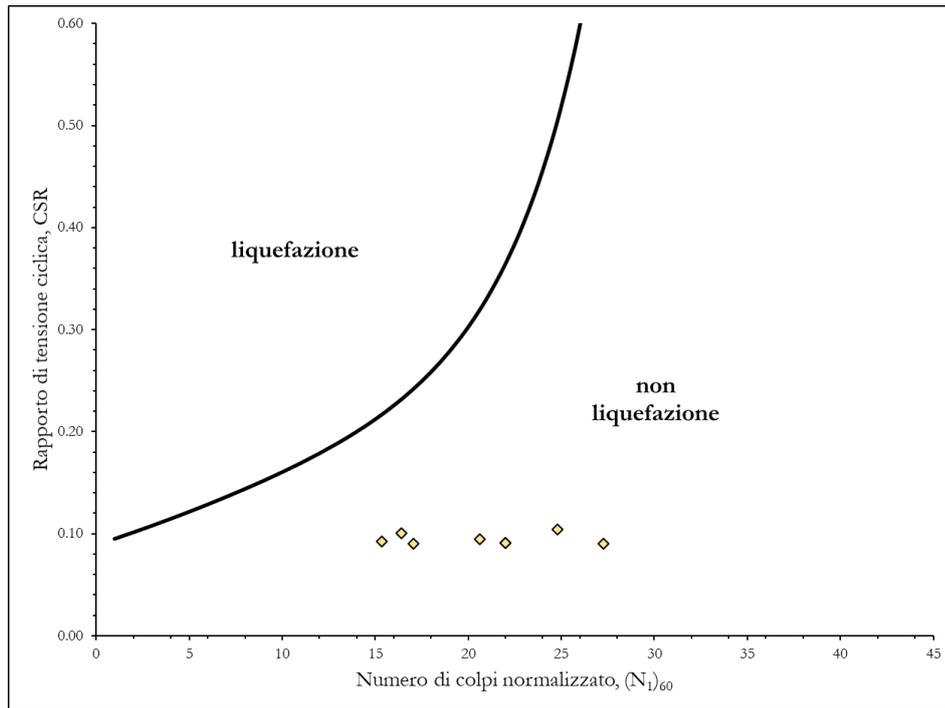


Figura 47 : Tratto 6 - Verifica a liquefazione mediante i risultati delle prove SPT.

Per quanto concerne la curva limite definita facendo riferimento alla velocità di propagazione delle onde di taglio, nel tratto in esame tutti i valori della  $V_{S1}$  eccetto uno risultano maggiori del valore soglia  $V_{S1c} = 200$  m/s (cfr. Tabella 32).

Tabella 32: Tratto 6 – Velocità di propagazione delle onde di taglio.

Sondaggio	z (m)	Categoria suolo	$V_s$ (m/s)	$V_{S1}$ (m/s)	$V_{S1c}$ (m/s)
SG10-DH	2	B	137	<b>173</b>	200
	3	B	252	288	200
	4	B	281	299	200
	5	B	299	301	200

Nel punto a cui corrisponde una  $V_{S1}$  pari a 173 m/s sono stati dunque calcolati il rapporto di tensione ciclica  $(CSR)_{M=7.5}$  ed il rapporto di resistenza ciclica  $CRR$ . I risultati sono riportati sia in forma tabellare (cfr. Tabella 33) sia graficamente in Figura 48.

Tabella 33: Tratto 6 – Rapporti di tensione e resistenza ciclica ottenuti dalle  $V_s$ .

Sondaggio	z (m)	Categoria suolo	$a_{max}/g$	$(CSR)_{M=7.5}$ (-)	$CRR$ (-)
SG10-DH	2	B	0.209	0.0903	0.1572

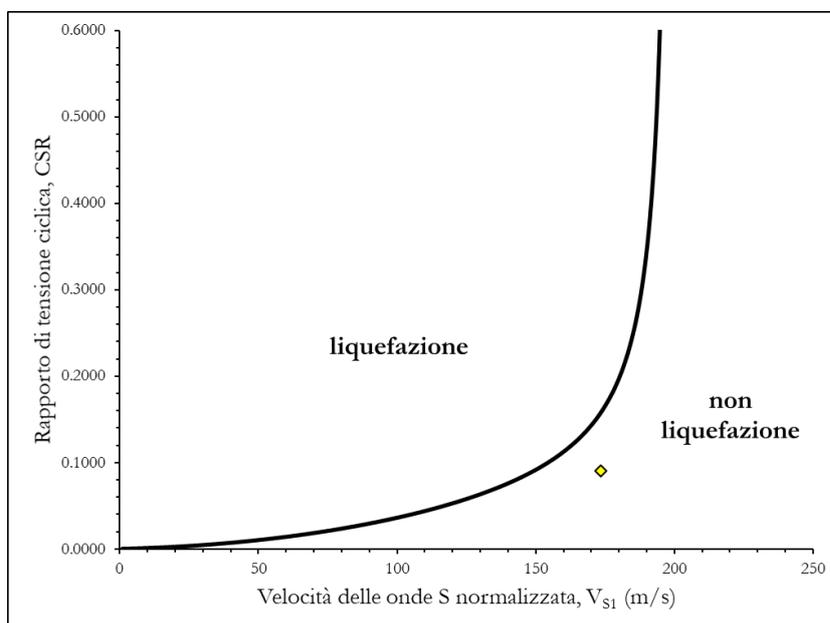


Figura 48 : Tratto 6 - Verifica a liquefazione mediante la velocità delle onde di taglio normalizzata.

La verifica risulta soddisfatta.

### 9.3.7 Tratto 7 (da pk 50+920 a pk 53+120)

Nel tratto in esame non si dispone di prove sismiche, pertanto ai fini della valutazione del rischio di liquefazione sono state considerate le sole prove *SPT*; in Tabella 34 sono riportati, alla profondità di esecuzione di ciascuna prova, il rapporto di tensione ciclica  $(CSR)_{M=7.5}$  ed il rapporto di resistenza ciclica *CRR*.

Tabella 34: Tratto 7 - Rapporti di tensione e resistenza ciclica ottenuti dalle prove *SPT*.

Sondaggio	Prova	z (m)	N <sub>SPT</sub>	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	Categoria suolo	a <sub>max</sub> /g	(CSR) <sub>M=7.5</sub> (-)	CRR (-)
S53	1	3.20	20	24.2	C	0.250	0.1070	0.4684
SG41-PZ	2	5.73	23	23.6	C	0.250	0.1249	0.4353

La curva limite in Figura 49 separa le zone di possibile liquefazione da quelle di non liquefazione. Si può osservare che per ogni prova *SPT* eseguita la verifica risulta soddisfatta.

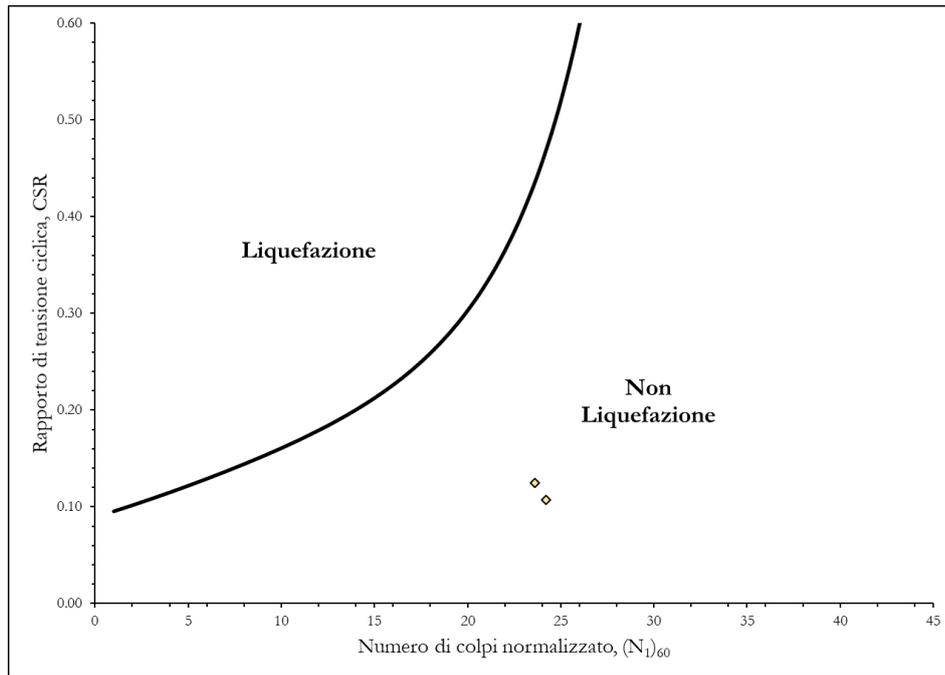


Figura 49 : Tratto 7 - Verifica a liquefazione mediante i risultati delle prove *SPT*.

## 10 RISULTATI DELLE PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Nella tabella seguente sono elencati tutti i pozzetti esplorativi realizzati nel corso della campagna indagini integrativa del 2019. Per alcuni pozzetti sono riportati anche i risultati delle prove di carico su piastra (PLT), laddove eseguite, e la classificazione granulometrica CNR UNI 10006 dei campioni rimaneggiati prelevati.

Nello specifico, per le prove di carico su piastra, è riportata la profondità di esecuzione dal piano campagna ed i valori dei moduli di deformabilità  $Md_1$  e  $Md_2$  valutati rispettivamente nel I e nel II ciclo di carico, nell'intervallo di carico  $50 \div 150$  kPa.

POZZETTO	progressiva [m]	Classificazione CNR UNI 10006	prof. da p.c. [m]	I Ciclo	II Ciclo	Md1 / Md2 [-]
				Md1 [MPa]	Md2 [MPa]	
PZ1	41860	A2-4	0.2	7.36	272.73	0.03
PZ2	42430	A1-b	0.2	7.16	236.84	0.03
PZ4	43350	A4	-	-	-	-
PZ5	43810	A1-b	0.3	32.03	187.5	0.17
PZ6	44380	A2-4	-	-	-	-
PZ8	45060	A1-a	-	-	-	-
PZ9	45400	A2-4	0.3	28.3	236.84	0.12
PZ10	45680	A1-b	-	-	-	-
PZ11	46060	A2-4	0.2	95.74	375	0.26
PZ13	47020	A2-4	0.2	36	225	0.16
PZ15	47460	A6	0.2	6.95	219.51	0.03
PZ16	47970	A4	0.2	25.79	230.77	0.11
PZ18	48350	A2-6	0.2	13.94	310.34	0.04
PZ17	48990	A1-b	0.2	16.95	290.32	0.06
PZ21	49330	A1-b	-	-	-	-
PZ24	50620	A6	0.2	12.89	166.67	0.08
PZ25	51050	A2-4	0.2	21.95	225	0.10
PZ26	51510	A2-4	0.2	14.75	310.34	0.05
PZ27	52210	A2-4	0.2	15.44	333.33	0.05
PZ28	52430	A6	0.2	15.23	360	0.04
PZ29	52830	A2-4	0.2	14.8	473.68	0.03
PZ30	53180	A4	0.2	18.56	160.71	0.12
PZ31	53180	A2-4	0.2	16.67	152.54	0.11

Figura 50 : Risultati pozzetti esplorativi campagna 2019 – classificazione granulometrica e prove di carico su piastra (PLT).

### 10.1 DEFINIZIONE DEGLI SPESSORI DI BONIFICA

Tenendo conto delle caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni di fondazione, con riferimento anche ai risultati delle prove di carico su piastra, sono stati definiti lungo il tracciato, sia in asse principale che nei tratti di viabilità secondaria, gli spessori di scotico e bonifica da prevedere sotto il piano di posa dei rilevati.

In particolare, è stato previsto sempre uno spessore di scotico di 20 cm, al di sotto del quale localmente è stato indicato uno spessore di bonifica di 30 cm. Nel tratto nel quale il tracciato si sviluppa nell'area delle risaie, indipendentemente dai valori delle prove di carico, è stata sempre prevista la bonifica. La bonifica del terreno dovrà essere effettuata sostituendo il terreno in sito, al di sotto del piano di scotico, con idoneo materiale arido, utilizzando in particolare terre dei gruppi A1, A3 (con coefficiente di uniformità  $D_{60}/D_{10} \geq 7$ ), A2-4 e A2-5 (se provenienti dagli scavi).

Per maggiori dettagli riguardo la disposizione degli strati si rimanda alle sezioni tipo (elaborato T00-GE00-GET-ST01-A).

Nelle tabelle seguenti sono indicati, tratto per tratto, gli spessori di scotico e bonifica previsti.

Asse principale				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
41580	42500	20	-	-
42500	42680	20	30	-
42680	43310	20	-	-
43310	43475	20	30	-
43475	44860	20	-	-
44860	45300	20	-	20
45300	45540	20	30	20
45540	46840	20	30	20
46840	47760	20	30	20
47760	48420	20	-	20
48420	50320	20	-	-
50320	50960	20	30	20
50960	50990	20	30	20
50990	52180	20	-	20
52180	52620	20	0	20
52620	53859,247	20	-	20

Figura 51 : Spessori bonifica – scotico ed anticapillare lungo il tracciato (asse principale).

Viabilità Vicinale 1 (idem)				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
0	fine	20	-	-
Viabilità Vicinale 2 (idem)				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
0	200	20	0	-
200	400	20	-	-
400	fine	20	-	-
Viabilità Secondaria 1 (ex Vicinale 3)				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
0	fine	20	-	-

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Viabilità Vicinale 3 (ex vicinale4)				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm]
0	310	20	-	-
310	664.283 (fine)	20	30	-
Rampe Svincolo I - "Picchetto"				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
inizio	fine	20	30	-
Rampe Svincolo II - "Fontazzi"				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
inizio	fine	20	30	20
Rampe Svincolo III - "Ponticini"				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
inizio	fine	20	30	20
Viabilità Comunale 1 (ex Comunale 6)				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
0	270	20	-	-
270	fine	20	-	20
Viabilità Comunale 2 (ex Comunale 1)				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm]
0	160	20	-	20
160	fine	20	30	20
Viabilità Secondaria 2				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
0	fine	20	-	20
Viabilità Secondaria 3				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm]
0	fine	20	30	20
Viabilità Secondaria 4				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm]
0	fine	20	-	20
Viabilità Secondaria 5 (ex comunale 5)				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
0	fine	20	-	20
Viabilità Secondaria 5 bis (ex Comunale 5 bis)				
da prg	a prg	Spessore di scotico (cm)	Spessore di bonifica (cm)	Anticapillare [sotto rilevati H >50cm] (cm)
0	fine	20	-	20

Figura 52 : Spessori bonifica – scotico ed anticapillare lungo il tracciato (viabilità secondaria).

## APPENDICE – INPUT/OUTPUT DEL CODICE DI CALCOLO SLIDE

### Sez.45\_Analisi in condizioni statiche in tensioni efficaci

#### *Slide Analysis Information* *SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

##### *Project Summary*

---

- File Name: Sez 45- TE STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

##### *General Settings*

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

##### *Analysis Options*

---

##### *Analysis Methods Used*

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

##### *Groundwater Analysis*

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

##### *Random Numbers*

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

##### *Surface Options*

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled

- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2.5

**Loading**

- 1 Distributed Load present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril rid	UgA rid	UgB TE rid	UgC rid
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19.5	20	21
Cohesion [kPa]	0	12	12	10
Friction Angle [deg]	29.3	21.3	23.9	28.4
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	0	0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.336950
- Center: 22.514, 22.609
- Radius: 7.652
- Left Slip Surface Endpoint: 20.830, 15.144
- Right Slip Surface Endpoint: 28.841, 18.304
- Resisting Moment=1026.22 kN-m
- Driving Moment=767.581 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1509
- Number of Invalid Surfaces: 0

*Slice Data*

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.33695

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.32042	0.14473	Ril rid	0	29.3	0.207234	0.277061	0.493718	0	0.493718
2	0.32042	1.17355	Ril rid	0	29.3	1.6472	2.20223	3.92434	0	3.92434
3	0.32042	2.66076	Ril rid	0	29.3	3.66383	4.89836	8.72877	0	8.72877
4	0.32042	4.06892	Ril rid	0	29.3	5.50006	7.3533	13.1034	0	13.1034
5	0.32042	5.39898	Ril rid	0	29.3	7.16764	9.58278	17.0763	0	17.0763
6	0.32042	6.65146	Ril rid	0	29.3	8.67617	11.5996	20.6702	0	20.6702
7	0.32042	7.82647	Ril rid	0	29.3	10.0333	13.414	23.9034	0	23.9034
8	0.32042	8.92369	Ril rid	0	29.3	11.2453	15.0344	26.7909	0	26.7909
9	0.32042	9.9424	Ril rid	0	29.3	12.3169	16.4671	29.3441	0	29.3441
10	0.32042	10.8814	Ril rid	0	29.3	13.252	17.7173	31.5718	0	31.5718
11	0.32042	11.7392	Ril rid	0	29.3	14.0531	18.7883	33.4803	0	33.4803
12	0.32042	12.5135	Ril rid	0	29.3	14.7219	19.6824	35.0738	0	35.0738
13	0.32042	13.2016	Ril rid	0	29.3	15.2591	20.4006	36.3534	0	36.3534
14	0.32042	13.8001	Ril rid	0	29.3	15.6642	20.9423	37.3187	0	37.3187
15	0.32042	14.3048	Ril rid	0	29.3	15.9363	21.3061	37.9672	0	37.9672
16	0.32042	14.42	Ril rid	0	29.3	15.7557	21.0646	37.5367	0	37.5367
17	0.32042	13.6111	Ril rid	0	29.3	14.5723	19.4825	34.7175	0	34.7175
18	0.32042	12.6398	Ril rid	0	29.3	13.2445	17.7072	31.5539	0	31.5539
19	0.32042	11.5457	Ril rid	0	29.3	11.8234	15.8073	28.1681	0	28.1681
20	0.32042	10.3167	Ril rid	0	29.3	10.3059	13.7785	24.5529	0	24.5529
21	0.32042	8.77964	Ril rid	0	29.3	11.8019	15.7786	28.1171	0	28.1171
22	0.32042	7.09936	Ril rid	0	29.3	14.5686	19.4775	34.7086	0	34.7086
23	0.32042	5.38996	Ril rid	0	29.3	12.5182	16.7362	29.8236	0	29.8236
24	0.32042	3.44337	Ril rid	0	29.3	10.3214	13.7992	24.5898	0	24.5898
25	0.32042	1.20255	Ril rid	0	29.3	7.96342	10.6467	18.9724	0	18.9724

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0	13.6431
80.3	13.6431

**Line Load**

X	Y
27.43	18.2168
38.9	18.9232

**External Boundary**

X	Y

78.8697	14.5076
77.1113	14.1253
74.4742	14.1486
70.7383	17.0848
69.756	18.3091
67.8863	18.6587
67.2597	18.9458
66.9273	18.9946
63.0554	18.7787
61.3475	17.6395
59.1339	17.6395
58.3473	17.6395
57.978	17.8858
57.818	17.9925

**RELAZIONE GEOTECNICA**

55.58	19.4853
54.03	19.5473
53.93	19.5473
53.88	19.4773
41.4	18.697
38.9	18.9232
27.43	18.2168
27.38	18.2668
27.28	18.2668
25.73	18.2048
21.1184	15.1288
17.7327	15.3114
5.98305	16.1486
0	17.053
0	10.6397
0	7.63968
0	0
80.3	0
80.3	7.63968
80.3	10.6397
80.3	14.9754

**Material Boundary**

X	Y
0	10.6397
80.3	10.6397

**Material Boundary**

X	Y
21.1184	15.1288
21.6389	15.1154

38.4	14.6809
43.4377	14.5623
44.5353	14.1322
45.2301	14.1861
51.0197	16.3806
55.2621	17.3637
56.2328	17.3165
57.818	17.9925

**Material Boundary**

X	Y
17.7327	15.3114
18.0623	15.0916
25.73	14.8055
27.43	14.7575
30.9	14.6659
38.4	14.4809
38.9	14.4809
40.15	14.4377
43.4377	14.3623
44.5042	13.8223
45.3338	13.9486
51.0197	16.1806
55.2621	17.1637
56.2328	17.1165
57.978	17.8858

**Material Boundary**

X	Y
0	7.63968
80.3	7.63968

## Sez.45\_Analisi in condizioni statiche in tensioni totali

### Slide Analysis Information SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

---

- File Name: Sez 45- TT STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### General Settings

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### Random Numbers

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### Surface Options

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2.5

**Loading**

- 1 Distributed Load present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril rid	UgA rid	UgB TT rid	UgC rid
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18	19.5	19.5	21
Cohesion [kPa]	0	12		10
Friction Angle [deg]	29.3	21.3		28.4
Cohesion Type			107	
Water Surface	Water Table	Water Table	None	Water Table
Hu Value	1	1		0
Ru Value			0	

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.336950
- Center: 22.514, 22.609
- Radius: 7.652
- Left Slip Surface Endpoint: 20.830, 15.144
- Right Slip Surface Endpoint: 28.841, 18.304
- Resisting Moment=1026.22 kN-m
- Driving Moment=767.581 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1509
- Number of Invalid Surfaces: 0

*Slice Data*

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.33695

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.32042	0.14473	Ril rid	0	29.3	0.207234	0.277061	0.493718	0	0.493718
2	0.32042	1.17355	Ril rid	0	29.3	1.6472	2.20223	3.92434	0	3.92434
3	0.32042	2.66076	Ril rid	0	29.3	3.66383	4.89836	8.72877	0	8.72877
4	0.32042	4.06892	Ril rid	0	29.3	5.50006	7.3533	13.1034	0	13.1034
5	0.32042	5.39898	Ril rid	0	29.3	7.16764	9.58278	17.0763	0	17.0763
6	0.32042	6.65146	Ril rid	0	29.3	8.67617	11.5996	20.6702	0	20.6702
7	0.32042	7.82647	Ril rid	0	29.3	10.0333	13.414	23.9034	0	23.9034
8	0.32042	8.92369	Ril rid	0	29.3	11.2453	15.0344	26.7909	0	26.7909
9	0.32042	9.9424	Ril rid	0	29.3	12.3169	16.4671	29.3441	0	29.3441
10	0.32042	10.8814	Ril rid	0	29.3	13.252	17.7173	31.5718	0	31.5718
11	0.32042	11.7392	Ril rid	0	29.3	14.0531	18.7883	33.4803	0	33.4803
12	0.32042	12.5135	Ril rid	0	29.3	14.7219	19.6824	35.0738	0	35.0738
13	0.32042	13.2016	Ril rid	0	29.3	15.2591	20.4006	36.3534	0	36.3534
14	0.32042	13.8001	Ril rid	0	29.3	15.6642	20.9423	37.3187	0	37.3187
15	0.32042	14.3048	Ril rid	0	29.3	15.9363	21.3061	37.9672	0	37.9672
16	0.32042	14.42	Ril rid	0	29.3	15.7557	21.0646	37.5367	0	37.5367
17	0.32042	13.6111	Ril rid	0	29.3	14.5723	19.4825	34.7175	0	34.7175
18	0.32042	12.6398	Ril rid	0	29.3	13.2445	17.7072	31.5539	0	31.5539
19	0.32042	11.5457	Ril rid	0	29.3	11.8234	15.8073	28.1681	0	28.1681
20	0.32042	10.3167	Ril rid	0	29.3	10.3059	13.7785	24.5529	0	24.5529
21	0.32042	8.77964	Ril rid	0	29.3	11.8019	15.7786	28.1171	0	28.1171
22	0.32042	7.09936	Ril rid	0	29.3	14.5686	19.4775	34.7086	0	34.7086
23	0.32042	5.38996	Ril rid	0	29.3	12.5182	16.7362	29.8236	0	29.8236
24	0.32042	3.44337	Ril rid	0	29.3	10.3214	13.7992	24.5898	0	24.5898
25	0.32042	1.20255	Ril rid	0	29.3	7.96342	10.6467	18.9724	0	18.9724

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0	13.6431
80.3	13.6431

**Line Load**

X	Y
27.43	18.2168
38.9	18.9232

**External Boundary**

X	Y

78.8697	14.5076
77.1113	14.1253
74.4742	14.1486
70.7383	17.0848
69.756	18.3091
67.8863	18.6587
67.2597	18.9458
66.9273	18.9946
63.0554	18.7787
61.3475	17.6395
59.1339	17.6395
58.3473	17.6395
57.978	17.8858
57.818	17.9925

**RELAZIONE GEOTECNICA**

55.58	19.4853
54.03	19.5473
53.93	19.5473
53.88	19.4773
41.4	18.697
38.9	18.9232
27.43	18.2168
27.38	18.2668
27.28	18.2668
25.73	18.2048
21.1184	15.1288
17.7327	15.3114
5.98305	16.1486
0	17.053
0	10.6397
0	7.63968
0	0
80.3	0
80.3	7.63968
80.3	10.6397
80.3	14.9754

**Material Boundary**

X	Y
0	10.6397
80.3	10.6397

**Material Boundary**

X	Y
21.1184	15.1288
21.6389	15.1154

38.4	14.6809
43.4377	14.5623
44.5353	14.1322
45.2301	14.1861
51.0197	16.3806
55.2621	17.3637
56.2328	17.3165
57.818	17.9925

**Material Boundary**

X	Y
17.7327	15.3114
18.0623	15.0916
25.73	14.8055
27.43	14.7575
30.9	14.6659
38.4	14.4809
38.9	14.4809
40.15	14.4377
43.4377	14.3623
44.5042	13.8223
45.3338	13.9486
51.0197	16.1806
55.2621	17.1637
56.2328	17.1165
57.978	17.8858

**Material Boundary**

X	Y
0	7.63968
80.3	7.63968

## Sez.45\_Analisi in condizioni sismiche in tensioni totali

### Slide Analysis Information SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

---

- File Name: Sez 45- TT SISM\_RevC
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### General Settings

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### Random Numbers

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### Surface Options

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2.5

**Loading**

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.095
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.047
- 1 Distributed Load present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 4
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril	UgA	UgB TT	UgC	Ril rid
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19.5	20	21	18
Cohesion [kPa]	0	15		12.5	0
Friction Angle [deg]	35	26		34	29.3
Cohesion Type			150		
Water Surface	Water Table	Water Table	None	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1		1	1
Ru Value			0		

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.498980
- Center: 22.645, 22.682
- Radius: 7.740
- Left Slip Surface Endpoint: 20.902, 15.140
- Right Slip Surface Endpoint: 29.036, 18.316
- Resisting Moment=1160.92 kN-m
- Driving Moment=774.477 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1498

- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.49898

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.340351	0.26031	Ril rid	0	29.3	0.325029	0.487212	0.868201	0	0.868201
2	0.340351	1.73259	Ril rid	0	29.3	2.12351	3.1831	5.67222	0	5.67222
3	0.340351	3.41255	Ril rid	0	29.3	4.10846	6.1585	10.9743	0	10.9743
4	0.340351	4.99884	Ril rid	0	29.3	5.91511	8.86663	15.8001	0	15.8001
5	0.340351	6.49261	Ril rid	0	29.3	7.55447	11.324	20.1791	0	20.1791
6	0.340351	7.89449	Ril rid	0	29.3	9.03534	13.5438	24.1348	0	24.1348
7	0.340351	9.20453	Ril rid	0	29.3	10.3648	15.5366	27.6859	0	27.6859
8	0.340351	10.4223	Ril rid	0	29.3	11.5483	17.3106	30.8471	0	30.8471
9	0.340351	11.5466	Ril rid	0	29.3	12.5898	18.8719	33.6293	0	33.6293
10	0.316929	11.6807	Ril	0	35	16.5237	24.7687	35.3733	0	35.3733
11	0.316929	12.495	Ril	0	35	17.3499	26.0071	37.142	0	37.142
12	0.316929	13.2287	Ril	0	35	18.0263	27.021	38.5899	0	38.5899
13	0.316929	13.8792	Ril	0	35	18.554	27.812	39.7196	0	39.7196
14	0.316929	14.443	Ril	0	35	18.9329	28.38	40.5308	0	40.5308
15	0.316929	14.8102	Ril	0	35	19.0259	28.5195	40.7302	0	40.7302
16	0.316929	14.2366	Ril	0	35	17.9096	26.8461	38.3403	0	38.3403
17	0.316929	13.3782	Ril	0	35	16.4646	24.6801	35.2469	0	35.2469
18	0.316929	12.4103	Ril	0	35	14.9239	22.3706	31.9486	0	31.9486
19	0.316929	11.3234	Ril	0	35	13.2851	19.9141	28.4402	0	28.4402
20	0.316929	10.0536	Ril	0	35	11.5802	17.3585	24.7906	0	24.7906
21	0.316929	8.44532	Ril	0	35	10.7184	16.0667	22.9457	0	22.9457
22	0.316929	6.95576	Ril	0	35	8.77784	13.1578	18.7913	0	18.7913
23	0.316929	5.27463	Ril	0	35	6.72157	10.0755	14.3893	0	14.3893
24	0.316929	3.3653	Ril	0	35	4.54667	6.81537	9.73335	0	9.73335
25	0.316929	1.17412	Ril	0	35	2.25309	3.37734	4.82334	0	4.82334

**List Of Coordinates**

**Water Table**

X	Y
0	13.6431
80.3	13.6431

**Line Load**

X	Y
27.43	18.2168
38.9	18.9232

**External Boundary**

X	Y
78.8697	14.5076
77.1113	14.1253
74.4742	14.1486
70.7383	17.0848
69.756	18.3091
67.8863	18.6587
67.2597	18.9458
66.9273	18.9946
63.0554	18.7787
61.3475	17.6395
59.1339	17.6395
58.3473	17.6395

**RELAZIONE GEOTECNICA**

57.978	17.8858
57.818	17.9925
55.58	19.4853
54.03	19.5473
53.93	19.5473
53.88	19.4773
41.4	18.697
38.9	18.9232
27.43	18.2168
27.38	18.2668
27.28	18.2668
25.73	18.2048
21.1184	15.1288
17.7327	15.3114
5.98305	16.1486
0	17.053
0	10.6397
0	7.63968
0	0
80.3	0
80.3	7.63968
80.3	10.6397
80.3	14.9754

21.6389	15.1154
38.4	14.6809
43.4377	14.5623
44.5353	14.1322
45.2301	14.1861
51.0197	16.3806
55.2621	17.3637
56.2328	17.3165
57.818	17.9925

**Material Boundary**

X	Y
17.7327	15.3114
18.0623	15.0916
25.73	14.8055
27.43	14.7575
30.9	14.6659
38.4	14.4809
38.9	14.4809
40.15	14.4377
43.4377	14.3623
44.5042	13.8223
45.3338	13.9486
51.0197	16.1806
55.2621	17.1637
56.2328	17.1165
57.978	17.8858

**Material Boundary**

X	Y
0	10.6397
80.3	10.6397

**Material Boundary**

X	Y
21.1184	15.1288

**Material Boundary**

X	Y
0	7.63968
80.3	7.63968

## Sez.144\_Analisi in condizioni statiche in tensioni efficaci

### Slide Analysis Information

#### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

##### Project Summary

---

- File Name: Sez 144- TE STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

##### General Settings

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

##### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

##### Groundwater Analysis

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

##### Random Numbers

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

##### Surface Options

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3

**Loading**

- 2 Distributed Loads present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

**Distributed Load 2**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril rid	R rid	UgA rid	UgC rid
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	18	19.5	21
Cohesion [kPa]	0	0	12	10
Friction Angle [deg]	29.3	29.3	21.3	28.4
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.208340
- Center: 114.539, 36.777
- Radius: 25.955
- Left Slip Surface Endpoint: 94.354, 20.461
- Right Slip Surface Endpoint: 114.940, 10.826
- Resisting Moment=13359.4 kN-m
- Driving Moment=11056 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**MANDATARIA**



**MANDANTE**



**ICARIA**  
società di ingegneria

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1608
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.20834**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.821607	6.99425	Ril rid	0	29.3	10.3703	12.5308	22.3297	0	22.3297
2	0.821607	20.3288	Ril rid	0	29.3	15.7546	19.0369	33.9234	0	33.9234
3	0.821607	33.1675	Ril rid	0	29.3	14.709	17.7735	31.6721	0	31.6721
4	0.821607	44.3969	Ril rid	0	29.3	17.7313	21.4254	38.1795	0	38.1795
5	0.821607	50.8725	Ril rid	0	29.3	20.8123	25.1483	44.8137	0	44.8137
6	0.821607	52.3758	Ril rid	0	29.3	21.9093	26.4739	47.1759	0	47.1759
7	0.821607	53.1094	Ril rid	0	29.3	22.6823	27.4079	48.8403	0	48.8403
8	0.821607	53.1439	Ril rid	0	29.3	23.1449	27.9669	49.8364	0	49.8364
9	0.821607	52.5312	Ril rid	0	29.3	23.3056	28.1611	50.1825	0	50.1825
10	0.821607	51.3145	Ril rid	0	29.3	23.1715	27.999	49.8938	0	49.8938
11	0.821607	49.5301	Ril rid	0	29.3	22.748	27.4873	48.9818	0	48.9818
12	0.821607	47.209	Ril rid	0	29.3	22.0392	26.6309	47.4556	0	47.4556
13	0.821607	44.3774	Ril rid	0	29.3	21.048	25.4332	45.3214	0	45.3214
14	0.821607	43.7749	Ril rid	0	29.3	21.0848	25.4776	45.4006	0	45.4006
15	0.821607	47.9488	Ril rid	0	29.3	23.446	28.3307	50.4848	0	50.4848
16	0.821607	51.0729	Ril rid	0	29.3	25.3457	30.6262	54.5752	0	54.5752
17	0.821607	47.7639	Ril rid	0	29.3	24.0514	29.0623	51.7884	0	51.7884
18	0.821607	42.7015	Ril rid	0	29.3	21.8141	26.3589	46.971	0	46.971
19	0.821607	37.2232	Ril rid	0	29.3	19.2892	23.3079	41.5341	0	41.5341
20	0.821607	31.3378	Ril rid	0	29.3	16.4719	19.9036	35.4678	0	35.4678
21	0.821607	25.052	Ril rid	0	29.3	13.3562	16.1388	28.7591	0	28.7591
22	0.821607	18.3716	Ril rid	0	29.3	9.93495	12.0048	21.3923	0	21.3923
23	0.821607	11.3008	Ril rid	0	29.3	6.19918	7.49072	13.3483	0	13.3483
24	0.821607	3.84261	Ril rid	0	29.3	2.13851	2.58405	4.60472	0	4.60472
25	0.867403	1.79387e-005	UgA rid	12	21.3	9.92696	11.9951	-0.0124426	0	-0.0124426

**List Of Coordinates**

**Water Table**

X	Y
0	12.0356
26.85	12.0356
39.6003	11.2156
41.8576	10.9379
44.9514	10.5647
46.2695	10.2854

79.2351	9.45358
81.3333	9.39193
97.9897	7.59584
105.975	7.41529
114.074	7.32659
150	7.32659

**Line Load**

**RELAZIONE GEOTECNICA**

X	Y
96.1759	20.4138
91.5014	20.5342
87.2508	20.4785

**Line Load**

X	Y
81.75	20.2477
68.25	20.5652
67	20.5652
65.75	20.5652
52.25	20.2477

**External Boundary**

X	Y
0	15.5356
0	11.5356
0	-19.2186
150	-19.2186
150	6.82659
150	10.7814
122.277	10.8163
114.074	10.8266
107.15	15.421
105.183	15.4226
97.6778	20.4286
96.3261	20.4837
96.1759	20.4138
91.5014	20.5342
87.2508	20.4785
87.1008	20.5486
85.354	20.4957
83.45	20.2357
81.9	20.2977
81.75	20.2477
68.25	20.5652
67	20.5652
65.75	20.5652
52.25	20.2477
50.55	20.2357
41.8576	14.4379
39.6003	14.7156
26.85	15.5356

**Material Boundary**

X	Y
---	---

41.8576	14.4379
44.9514	14.0647
46.2695	13.7854
50.5722	17.0647
52.25	18.1145
54	18.9582
54.2198	19.0647
55.3036	19.0839
56.0351	19.5892
56.3239	19.7395
57.0839	20.0252
57.5697	20.1523
57.9844	20.2341
58.0216	20.3018
59.8716	20.347
62.2742	20.3694
65.55	20.2567
68.4369	18.819
68.6461	18.4975
79.2077	12.9652
81.3333	12.8919
85.346	12.5109
97.9897	11.0958
105.975	10.9153
107.15	10.8353
114.074	10.8266

**Material Boundary**

X	Y
46.2695	13.7854
79.2077	12.9652

**Material Boundary**

X	Y
0	11.5356
26.85	11.5356
39.6003	10.7156
41.8576	10.4379
44.9514	10.0647
46.2695	9.7854
79.2351	8.95358
81.3333	8.89193
97.9897	7.09584
105.975	6.91529
114.074	6.82659
150	6.82659

## Sez.144\_Analisi in condizioni sismiche in tensioni efficaci

### *Slide Analysis Information* *SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

#### *Project Summary*

---

- File Name: Sez 144- TE SISM
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### *General Settings*

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### *Analysis Options*

---

##### **Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

##### **Groundwater Analysis**

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

##### **Random Numbers**

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

##### **Surface Options**

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3

**Loading**

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.079
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.04
- 2 Distributed Loads present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 4
- Orientation: Vertical

**Distributed Load 2**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 4
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril	R	UgA	UgC
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	18	19.5	21
Cohesion [kPa]	0	0	15	12.5
Friction Angle [deg]	35	35	26	34
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.306080
- Center: 114.545, 36.789
- Radius: 25.967
- Left Slip Surface Endpoint: 94.354, 20.461
- Right Slip Surface Endpoint: 114.958, 10.825
- Resisting Moment=14935.1 kN-m
- Driving Moment=11435.1 kN-m

*Valid / Invalid Surfaces*

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1612
- Number of Invalid Surfaces: 0

*Slice Data*

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.30608**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.821327	6.98692	Ril	0	35	4.00442	5.23009	7.46935	0	7.46935
2	0.821327	20.3081	Ril	0	35	9.46244	12.3587	17.65	0	17.65
3	0.821327	33.1347	Ril	0	35	13.9488	18.2182	26.0183	0	26.0183
4	0.821327	44.3559	Ril	0	35	18.7977	24.5513	35.0629	0	35.0629
5	0.821327	50.8363	Ril	0	35	22.1238	28.8954	41.2669	0	41.2669
6	0.821327	52.3389	Ril	0	35	23.3453	30.4908	43.5454	0	43.5454
7	0.821327	53.0725	Ril	0	35	24.2239	31.6384	45.1843	0	45.1843
8	0.821327	53.1081	Ril	0	35	24.7724	32.3547	46.2072	0	46.2072
9	0.821327	52.4972	Ril	0	35	24.9978	32.6491	46.6278	0	46.6278
10	0.821327	51.2831	Ril	0	35	24.906	32.5292	46.4564	0	46.4564
11	0.821327	49.502	Ril	0	35	24.501	32.0003	45.7012	0	45.7012
12	0.821327	47.1849	Ril	0	35	23.786	31.0664	44.3674	0	44.3674
13	0.821327	44.358	Ril	0	35	22.7622	29.7292	42.4577	0	42.4577
14	0.821327	43.729	Ril	0	35	22.8321	29.8206	42.5883	0	42.5883
15	0.821327	47.8967	Ril	0	35	25.4368	33.2225	47.4465	0	47.4465
16	0.821327	51.0402	Ril	0	35	27.5629	35.9993	51.4123	0	51.4123
17	0.821327	47.7618	Ril	0	35	26.2212	34.247	48.9099	0	48.9099
18	0.821327	42.7067	Ril	0	35	23.8321	31.1266	44.4533	0	44.4533
19	0.821327	37.2364	Ril	0	35	21.1194	27.5836	39.3935	0	39.3935
20	0.821327	31.3593	Ril	0	35	18.0763	23.6091	33.7173	0	33.7173
21	0.821327	25.0825	Ril	0	35	14.6943	19.1919	27.4088	0	27.4088
22	0.821327	18.4115	Ril	0	35	10.9629	14.3184	20.4488	0	20.4488
23	0.821327	11.3507	Ril	0	35	6.87017	8.97299	12.8147	0	12.8147
24	0.821327	3.90304	Ril	0	35	2.40176	3.13689	4.47995	0	4.47995
25	0.892173	0.000426386	UgA	15	26	11.4795	14.9932	-0.0139307	0	-0.0139307

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0	12.0356
26.85	12.0356
39.6003	11.2156
41.8576	10.9379

44.9514	10.5647
46.2695	10.2854
79.2351	9.45358
81.3333	9.39193
97.9897	7.59584
105.975	7.41529

**RELAZIONE GEOTECNICA**

114.074	7.32659
150	7.32659

**Line Load**

X	Y
96.1759	20.4138
91.5014	20.5342
87.2508	20.4785

**Line Load**

X	Y
81.75	20.2477
68.25	20.5652
67	20.5652
65.75	20.5652
52.25	20.2477

**External Boundary**

X	Y
0	15.5356
0	11.5356
0	-19.2186
150	-19.2186
150	6.82659
150	10.7814
122.277	10.8163
114.074	10.8266
107.15	15.421
105.183	15.4226
97.6778	20.4286
96.3261	20.4837
96.1759	20.4138
91.5014	20.5342
87.2508	20.4785
87.1008	20.5486
85.354	20.4957
83.45	20.2357
81.9	20.2977
81.75	20.2477
68.25	20.5652
67	20.5652
65.75	20.5652
52.25	20.2477
50.55	20.2357
41.8576	14.4379
39.6003	14.7156
26.85	15.5356

**Material Boundary**

X	Y
41.8576	14.4379
44.9514	14.0647
46.2695	13.7854
50.5722	17.0647
52.25	18.1145
54	18.9582
54.2198	19.0647
55.3036	19.0839
56.0351	19.5892
56.3239	19.7395
57.0839	20.0252
57.5697	20.1523
57.9844	20.2341
58.0216	20.3018
59.8716	20.347
62.2742	20.3694
65.55	20.2567
68.4369	18.819
68.6461	18.4975
79.2077	12.9652
81.3333	12.8919
85.346	12.5109
97.9897	11.0958
105.975	10.9153
107.15	10.8353
114.074	10.8266

**Material Boundary**

X	Y
46.2695	13.7854
79.2077	12.9652

**Material Boundary**

X	Y
0	11.5356
26.85	11.5356
39.6003	10.7156
41.8576	10.4379
44.9514	10.0647
46.2695	9.7854
79.2351	8.95358
81.3333	8.89193
97.9897	7.09584
105.975	6.91529
114.074	6.82659
150	6.82659

## Sez.186\_Analisi in condizioni statiche in tensioni efficaci

### *Slide Analysis Information* **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

#### *Project Summary*

---

- File Name: Sez 184- TE STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### *General Settings*

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### *Analysis Options*

---

##### **Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

##### **Groundwater Analysis**

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

##### **Random Numbers**

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

##### **Surface Options**

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled

- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

**Loading**

- 2 Distributed Loads present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

**Distributed Load 2**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril	Ril rid	R rid	UgA rid	UgB TE rid
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18	18	18	19.5	20
Cohesion [kPa]	0	0	0	12	12
Friction Angle [deg]	35	29.3	29.3	21.3	23.9
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.249380
- Center: 51.100, 37.184
- Radius: 26.236
- Left Slip Surface Endpoint: 49.980, 10.971
- Right Slip Surface Endpoint: 71.310, 20.453
- Resisting Moment=14400.6 kN-m
- Driving Moment=11526.2 kN-m

*Valid / Invalid Surfaces*

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1631
- Number of Invalid Surfaces: 0

*Slice Data*

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.24938**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.698323	0.141303	UgA rid	12	21.3	9.75721	12.1905	0.488501	0	0.488501
2	0.698323	0.297285	UgA rid	12	21.3	9.74593	12.1764	0.452373	0	0.452373
3	0.956359	5.64768	Ril	0	35	3.25714	4.0694	5.8117	0	5.8117
4	0.862555	13.8722	Ril rid	0	29.3	7.0234	8.77489	15.6366	0	15.6366
5	0.862555	21.7307	Ril rid	0	29.3	10.8451	13.5496	24.1452	0	24.1452
6	0.862555	29.1424	Ril rid	0	29.3	14.3374	17.9129	31.9204	0	31.9204
7	0.862555	36.1022	Ril rid	0	29.3	17.5096	21.8761	38.9826	0	38.9826
8	0.862555	42.6034	Ril rid	0	29.3	20.3689	25.4485	45.3486	0	45.3486
9	0.862555	48.6376	Ril rid	0	29.3	22.9214	28.6375	51.0314	0	51.0314
10	0.862555	53.3908	Ril rid	0	29.3	24.7984	30.9826	55.2104	0	55.2104
11	0.862555	51.0062	Ril rid	0	29.3	23.3445	29.1662	51.9736	0	51.9736
12	0.862555	46.6859	Ril rid	0	29.3	21.0496	26.299	46.8643	0	46.8643
13	0.862555	47.1528	Ril rid	0	29.3	20.9375	26.1589	46.6146	0	46.6146
14	0.862555	50.6508	Ril rid	0	29.3	22.1407	27.6622	49.2934	0	49.2934
15	0.862555	53.5823	Ril rid	0	29.3	23.0467	28.7941	51.3105	0	51.3105
16	0.862555	55.919	Ril rid	0	29.3	23.6527	29.5512	52.6597	0	52.6597
17	0.862555	57.6278	Ril rid	0	29.3	23.9545	29.9283	53.3316	0	53.3316
18	0.862555	58.6692	Ril rid	0	29.3	23.9466	29.9184	53.314	0	53.314
19	0.862555	58.9966	Ril rid	0	29.3	23.6216	29.5124	52.5906	0	52.5906
20	0.862555	58.5537	Ril rid	0	29.3	22.9705	28.6989	51.1409	0	51.1409
21	0.862555	56.5122	Ril rid	0	29.3	21.6903	27.0994	48.2906	0	48.2906
22	0.862555	46.9841	Ril rid	0	29.3	17.6121	22.0042	39.211	0	39.211
23	0.862555	34.9363	Ril rid	0	29.3	16.3991	20.4887	36.5105	0	36.5105
24	0.862555	21.8867	Ril rid	0	29.3	15.7327	19.6561	35.0267	0	35.0267
25	0.862555	7.53469	Ril rid	0	29.3	10.3004	12.8691	22.9326	0	22.9326

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0.187051	2.45406
51.5557	2.47193
69.6504	2.38881
101.079	6.74078

105.924	7.24295
113.171	7.09602
118.023	7.16256
126.926	7.53993
137.804	8.00099
150.179	8.52548

**RELAZIONE GEOTECNICA**

**Line Load**

X	Y
78.9515	20.6287
69.2015	20.405

**Line Load**

X	Y
94.1855	20.3304
92.434	20.3542
81.4515	20.6487

**External Boundary**

X	Y
0.0101663	10.954
0.00934008	-3.02693
0.00830907	-20.474
150	-20.474
150	3.01884
150	17.0254
116.405	15.6015
114.612	15.5745
111.372	15.6174
109.542	15.6999
108.147	15.7259
105.868	15.8248
105.746	15.7429
102.745	15.7429
95.8855	20.3184
94.3355	20.3804
94.1855	20.3304
92.434	20.3542
81.4515	20.6487
80.2015	20.6547
79.0015	20.6987
78.9515	20.6287
69.2015	20.405
67.5015	20.393
60.0053	15.393
58.0053	15.393
51.3769	10.9719

**Material Boundary**

X	Y
51.3769	10.9719
66.472	11.0452
69.4693	11.3909
71.3404	13.8456

72.8009	13.8633
82.6718	19.409
83.2009	19.4261
84.1444	19.5977
91.0148	19.5739
92.149	19.4402
94.1855	18.7674
95.1785	18.3457
95.8855	18.1344
98.7964	17.2644
99.7535	16.8025
100.15	16.364
100.632	16.3723
101.427	16.2619
102.205	15.7429
102.745	15.7429
102.748	15.2407
102.207	15.2407
101.429	15.7597
100.635	15.8702
100.153	15.8619
99.7559	16.3003
98.7989	16.7622
95.888	17.6322
95.1809	17.8436
94.188	18.2652
92.1514	18.938
91.0173	19.0718
84.1469	19.0956
83.2033	18.924
82.6742	18.9068
72.8033	13.3611
71.3428	13.3435
69.4717	10.8887
66.4744	10.543
51.3769	10.4723
51.3769	10.9719

**Material Boundary**

X	Y
69.4717	10.8887
102.207	15.2407

**Material Boundary**

X	Y
0.00934008	-3.02693
51.5605	-3.02693
69.6553	-3.11005

101.083	1.24192
105.929	1.74409
113.176	1.59716
118.028	1.6637

126.931	2.04107
137.809	2.50213
150	3.01884

## Sez.186\_Analisi in condizioni statiche in tensioni totali

### *Slide Analysis Information* *SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

#### *Project Summary*

- File Name: Sez 186- TE STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### *General Settings*

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### *Analysis Options*

##### *Analysis Methods Used*

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### *Groundwater Analysis*

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### *Random Numbers*

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### *Surface Options*

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10

- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

#### Loading

- 2 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

#### Distributed Load 2

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

#### Material Properties

Property	Ril	Ril rid	R rid	UgA rid	UgB TE rid
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m3]	18	18	18	19.5	20
Cohesion [kPa]	0	0	0	12	12
Friction Angle [deg]	35	29.3	29.3	21.3	23.9
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

#### Global Minimums

##### Method: bishop simplified

- FS: 1.249380
- Center: 51.100, 37.184
- Radius: 26.236
- Left Slip Surface Endpoint: 49.980, 10.971
- Right Slip Surface Endpoint: 71.310, 20.453

- Resisting Moment=14400.6 kN-m
- Driving Moment=11526.2 kN-m

*Valid / Invalid Surfaces*

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1631
- Number of Invalid Surfaces: 0

*Slice Data*

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.24938**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.698323	0.141303	UgA rid	12	21.3	9.75721	12.1905	0.488501	0	0.488501
2	0.698323	0.297285	UgA rid	12	21.3	9.74593	12.1764	0.452373	0	0.452373
3	0.956359	5.64768	Ril	0	35	3.25714	4.0694	5.8117	0	5.8117
4	0.862555	13.8722	Ril rid	0	29.3	7.0234	8.77489	15.6366	0	15.6366
5	0.862555	21.7307	Ril rid	0	29.3	10.8451	13.5496	24.1452	0	24.1452
6	0.862555	29.1424	Ril rid	0	29.3	14.3374	17.9129	31.9204	0	31.9204
7	0.862555	36.1022	Ril rid	0	29.3	17.5096	21.8761	38.9826	0	38.9826
8	0.862555	42.6034	Ril rid	0	29.3	20.3689	25.4485	45.3486	0	45.3486
9	0.862555	48.6376	Ril rid	0	29.3	22.9214	28.6375	51.0314	0	51.0314
10	0.862555	53.3908	Ril rid	0	29.3	24.7984	30.9826	55.2104	0	55.2104
11	0.862555	51.0062	Ril rid	0	29.3	23.3445	29.1662	51.9736	0	51.9736
12	0.862555	46.6859	Ril rid	0	29.3	21.0496	26.299	46.8643	0	46.8643
13	0.862555	47.1528	Ril rid	0	29.3	20.9375	26.1589	46.6146	0	46.6146
14	0.862555	50.6508	Ril rid	0	29.3	22.1407	27.6622	49.2934	0	49.2934
15	0.862555	53.5823	Ril rid	0	29.3	23.0467	28.7941	51.3105	0	51.3105
16	0.862555	55.919	Ril rid	0	29.3	23.6527	29.5512	52.6597	0	52.6597
17	0.862555	57.6278	Ril rid	0	29.3	23.9545	29.9283	53.3316	0	53.3316
18	0.862555	58.6692	Ril rid	0	29.3	23.9466	29.9184	53.314	0	53.314
19	0.862555	58.9966	Ril rid	0	29.3	23.6216	29.5124	52.5906	0	52.5906
20	0.862555	58.5537	Ril rid	0	29.3	22.9705	28.6989	51.1409	0	51.1409
21	0.862555	56.5122	Ril rid	0	29.3	21.6903	27.0994	48.2906	0	48.2906
22	0.862555	46.9841	Ril rid	0	29.3	17.6121	22.0042	39.211	0	39.211
23	0.862555	34.9363	Ril rid	0	29.3	16.3991	20.4887	36.5105	0	36.5105
24	0.862555	21.8867	Ril rid	0	29.3	15.7327	19.6561	35.0267	0	35.0267
25	0.862555	7.53469	Ril rid	0	29.3	10.3004	12.8691	22.9326	0	22.9326

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
---	---

0.187051	2.45406
51.5557	2.47193
69.6504	2.38881

**RELAZIONE GEOTECNICA**

101.079	6.74078
105.924	7.24295
113.171	7.09602
118.023	7.16256
126.926	7.53993
137.804	8.00099
150.179	8.52548

51.3769	10.9719
---------	---------

**Line Load**

X	Y
78.9515	20.6287
69.2015	20.405

**Line Load**

X	Y
94.1855	20.3304
92.434	20.3542
81.4515	20.6487

**External Boundary**

X	Y
0.0101663	10.954
0.00934008	-3.02693
0.00830907	-20.474
150	-20.474
150	3.01884
150	17.0254
116.405	15.6015
114.612	15.5745
111.372	15.6174
109.542	15.6999
108.147	15.7259
105.868	15.8248
105.746	15.7429
102.745	15.7429
95.8855	20.3184
94.3355	20.3804
94.1855	20.3304
92.434	20.3542
81.4515	20.6487
80.2015	20.6547
79.0015	20.6987
78.9515	20.6287
69.2015	20.405
67.5015	20.393
60.0053	15.393
58.0053	15.393

**Material Boundary**

X	Y
51.3769	10.9719
66.472	11.0452
69.4693	11.3909
71.3404	13.8456
72.8009	13.8633
82.6718	19.409
83.2009	19.4261
84.1444	19.5977
91.0148	19.5739
92.149	19.4402
94.1855	18.7674
95.1785	18.3457
95.8855	18.1344
98.7964	17.2644
99.7535	16.8025
100.15	16.364
100.632	16.3723
101.427	16.2619
102.205	15.7429
102.745	15.7429
102.748	15.2407
102.207	15.2407
101.429	15.7597
100.635	15.8702
100.153	15.8619
99.7559	16.3003
98.7989	16.7622
95.888	17.6322
95.1809	17.8436
94.188	18.2652
92.1514	18.938
91.0173	19.0718
84.1469	19.0956
83.2033	18.924
82.6742	18.9068
72.8033	13.3611
71.3428	13.3435
69.4717	10.8887
66.4744	10.543
51.3769	10.4723
51.3769	10.9719

**Material Boundary**

X	Y
---	---

69.4717	10.8887
102.207	15.2407

**Material Boundary**

X	Y
0.00934008	-3.02693
51.5605	-3.02693

69.6553	-3.11005
101.083	1.24192
105.929	1.74409
113.176	1.59716
118.028	1.6637
126.931	2.04107
137.809	2.50213
150	3.01884

## Sez.186\_Analisi in condizioni sismiche in tensioni totali

### Slide Analysis Information SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

- File Name: Sez 186- TT STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Surface Options**

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

**Loading**

- 2 Distributed Loads present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

**Distributed Load 2**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril	Ril rid	R rid	UgA rid	UgB TT rid
Color					
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	18	18	18	19.5	19.5
Cohesion [kPa]	0	0	0	12	
Friction Angle [deg]	35	29.3	29.3	21.3	
Cohesion Type					107
Water Surface	None	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0	0

**Global Minimums**

Method: bishop simplified

- FS: 1.249380
- Center: 51.100, 37.184
- Radius: 26.236
- Left Slip Surface Endpoint: 49.980, 10.971
- Right Slip Surface Endpoint: 71.310, 20.453
- Resisting Moment=14400.6 kN-m
- Driving Moment=11526.2 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1642
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.24938**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.698323	0.141303	UgA rid	12	21.3	9.75721	12.1905	0.488501	0	0.488501
2	0.698323	0.297285	UgA rid	12	21.3	9.74593	12.1764	0.452373	0	0.452373
3	0.956359	5.64768	Ril	0	35	3.25714	4.0694	5.8117	0	5.8117
4	0.862555	13.8722	Ril rid	0	29.3	7.0234	8.77489	15.6366	0	15.6366
5	0.862555	21.7307	Ril rid	0	29.3	10.8451	13.5496	24.1452	0	24.1452
6	0.862555	29.1424	Ril rid	0	29.3	14.3374	17.9129	31.9204	0	31.9204
7	0.862555	36.1022	Ril rid	0	29.3	17.5096	21.8761	38.9826	0	38.9826
8	0.862555	42.6034	Ril rid	0	29.3	20.3689	25.4485	45.3486	0	45.3486
9	0.862555	48.6376	Ril rid	0	29.3	22.9214	28.6375	51.0314	0	51.0314
10	0.862555	53.3908	Ril rid	0	29.3	24.7984	30.9826	55.2104	0	55.2104
11	0.862555	51.0062	Ril rid	0	29.3	23.3445	29.1662	51.9736	0	51.9736
12	0.862555	46.6859	Ril rid	0	29.3	21.0496	26.299	46.8643	0	46.8643
13	0.862555	47.1528	Ril rid	0	29.3	20.9375	26.1589	46.6146	0	46.6146
14	0.862555	50.6508	Ril rid	0	29.3	22.1407	27.6622	49.2934	0	49.2934
15	0.862555	53.5823	Ril rid	0	29.3	23.0467	28.7941	51.3105	0	51.3105
16	0.862555	55.919	Ril rid	0	29.3	23.6527	29.5512	52.6597	0	52.6597
17	0.862555	57.6278	Ril rid	0	29.3	23.9545	29.9283	53.3316	0	53.3316
18	0.862555	58.6692	Ril rid	0	29.3	23.9466	29.9184	53.314	0	53.314
19	0.862555	58.9966	Ril rid	0	29.3	23.6216	29.5124	52.5906	0	52.5906
20	0.862555	58.5537	Ril rid	0	29.3	22.9705	28.6989	51.1409	0	51.1409
21	0.862555	56.5122	Ril rid	0	29.3	21.6903	27.0994	48.2906	0	48.2906
22	0.862555	46.9841	Ril rid	0	29.3	17.6121	22.0042	39.211	0	39.211
23	0.862555	34.9363	Ril rid	0	29.3	16.3991	20.4887	36.5105	0	36.5105

24	0.862555	21.8867	Ril rid	0	29.3	15.7327	19.6561	35.0267	0	35.0267
25	0.862555	7.53469	Ril rid	0	29.3	10.3004	12.8691	22.9326	0	22.9326

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0.187051	2.45406
51.5557	2.47193
69.6504	2.38881
101.079	6.74078
105.924	7.24295
113.171	7.09602
118.023	7.16256
126.926	7.53993
137.804	8.00099
150.179	8.52548

94.3355	20.3804
94.1855	20.3304
92.434	20.3542
81.4515	20.6487
80.2015	20.6547
79.0015	20.6987
78.9515	20.6287
69.2015	20.405
67.5015	20.393
60.0053	15.393
58.0053	15.393
51.3769	10.9719

**Line Load**

X	Y
78.9515	20.6287
69.2015	20.405

**Material Boundary**

X	Y
51.3769	10.9719
66.472	11.0452
69.4693	11.3909
71.3404	13.8456
72.8009	13.8633
82.6718	19.409
83.2009	19.4261
84.1444	19.5977
91.0148	19.5739
92.149	19.4402
94.1855	18.7674
95.1785	18.3457
95.8855	18.1344
98.7964	17.2644
99.7535	16.8025
100.15	16.364
100.632	16.3723
101.427	16.2619
102.205	15.7429
102.745	15.7429
102.748	15.2407
102.207	15.2407
101.429	15.7597
100.635	15.8702
100.153	15.8619
99.7559	16.3003
98.7989	16.7622
95.888	17.6322

**Line Load**

X	Y
94.1855	20.3304
92.434	20.3542
81.4515	20.6487

**External Boundary**

X	Y
0.0101663	10.954
0.00934008	-3.02693
0.00830907	-20.474
150	-20.474
150	3.01884
150	17.0254
116.405	15.6015
114.612	15.5745
111.372	15.6174
109.542	15.6999
108.147	15.7259
105.868	15.8248
105.746	15.7429
102.745	15.7429
95.8855	20.3184

95.1809	17.8436
94.188	18.2652
92.1514	18.938
91.0173	19.0718
84.1469	19.0956
83.2033	18.924
82.6742	18.9068
72.8033	13.3611
71.3428	13.3435
69.4717	10.8887
66.4744	10.543
51.3769	10.4723
51.3769	10.9719

**Material Boundary**

X	Y
---	---

69.4717	10.8887
102.207	15.2407

**Material Boundary**

X	Y
0.00934008	-3.02693
51.5605	-3.02693
69.6553	-3.11005
101.083	1.24192
105.929	1.74409
113.176	1.59716
118.028	1.6637
126.931	2.04107
137.809	2.50213
150	3.01884

## Sez.222\_Analisi in condizioni statiche in tensioni efficaci

### Slide Analysis Information SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

- File Name: Sez 222- TE STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

#### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1

- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

#### Loading

- 2 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

#### Distributed Load 2

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

#### Material Properties

Property	Ril rid	UgA rid	UgC rid
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19.5	21
Cohesion [kPa]	0	12	10
Friction Angle [deg]	29.3	21.3	28.4

Water Surface	None	None	None
Ru Value	0	0	0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.316380
- Center: 94.432, 27.425
- Radius: 11.318
- Left Slip Surface Endpoint: 85.139, 20.963
- Right Slip Surface Endpoint: 97.256, 16.465
- Resisting Moment=2933.75 kN-m
- Driving Moment=2228.65 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1167
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

**• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.31638**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.484666	2.95152	Ril rid	0	29.3	8.74269	11.5087	20.5082	0	20.5082
2	0.484666	8.52277	Ril rid	0	29.3	12.4642	16.4076	29.2379	0	29.2379
3	0.484666	13.4426	Ril rid	0	29.3	15.9937	21.0538	37.5174	0	37.5174
4	0.484666	17.8272	Ril rid	0	29.3	19.3404	25.4593	45.3679	0	45.3679
5	0.484666	21.9213	Ril rid	0	29.3	16.2026	21.3288	38.0076	0	38.0076
6	0.484666	25.1854	Ril rid	0	29.3	16.944	22.3047	39.7464	0	39.7464
7	0.484666	27.9103	Ril rid	0	29.3	19.2548	25.3466	45.1671	0	45.1671
8	0.484666	30.2327	Ril rid	0	29.3	21.3486	28.1029	50.0788	0	50.0788
9	0.484666	30.4294	Ril rid	0	29.3	21.9625	28.911	51.5189	0	51.5189
10	0.484666	29.6581	Ril rid	0	29.3	21.8543	28.7686	51.2652	0	51.2652
11	0.484666	28.6461	Ril rid	0	29.3	21.5315	28.3437	50.5079	0	50.5079
12	0.484666	27.4073	Ril rid	0	29.3	20.9985	27.642	49.2574	0	49.2574
13	0.484666	25.9532	Ril rid	0	29.3	20.2576	26.6667	47.5195	0	47.5195
14	0.484666	24.293	Ril rid	0	29.3	19.31	25.4193	45.2965	0	45.2965
15	0.484666	22.4341	Ril rid	0	29.3	18.1549	23.8987	42.5871	0	42.5871

**RELAZIONE GEOTECNICA**

16	0.484666	20.3825	Ril rid	0	29.3	16.7902	22.1023	39.3859	0	39.3859
17	0.484666	18.1426	Ril rid	0	29.3	15.2121	20.0249	35.6839	0	35.6839
18	0.484666	15.7178	Ril rid	0	29.3	13.4151	17.6594	31.4687	0	31.4687
19	0.484666	13.1103	Ril rid	0	29.3	11.3918	14.996	26.7226	0	26.7226
20	0.484666	10.3214	Ril rid	0	29.3	9.13293	12.0224	21.4238	0	21.4238
21	0.484666	7.3511	Ril rid	0	29.3	6.6264	8.72286	15.544	0	15.544
22	0.484666	4.19869	Ril rid	0	29.3	3.85748	5.07791	9.04872	0	9.04872
23	0.484666	2.09858	Ril rid	0	29.3	1.96631	2.58841	4.61249	0	4.61249
24	0.484666	1.3897	Ril rid	0	29.3	1.32899	1.74946	3.11751	0	3.11751
25	0.484666	0.495471	Ril rid	0	29.3	0.484069	0.637219	1.13551	0	1.13551

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0.00830907	14.7487
56.2703	14.7595
70.3298	14.7676
81.0743	13.9486
86.7836	13.8573
94.5673	13.7328
98.8149	13.6649
113.867	15.4808
150	15.4808

**Line Load**

X	Y
87.1865	21.11
85.4365	20.9809
74.9665	20.3485

**Line Load**

X	Y
61.4265	19.8768
72.4665	20.5448

**External Boundary**

X	Y
0	-19.2186
150	-19.2186
150	10.2808
150	18.2808
113.867	18.2808
110.34	18.5485
105.38	15.2406
104.558	15.2406

104.379	15.2406
102.879	15.2405
102.379	15.2405
100.186	16.7029
99.7621	16.9857
99.4608	16.8837
98.8149	16.4649
96.8329	16.4649
95.8327	16.4649
88.8865	21.098
87.3365	21.16
87.1865	21.11
85.4365	20.9809
74.9665	20.3485
73.7165	20.3545
72.4665	20.5448
61.4265	19.8768
61.2765	19.9268
59.7265	19.8648
56.2703	17.5595
0.00830907	17.5487
0.00650114	9.54872

**Material Boundary**

X	Y
56.2703	17.5595
56.8106	17.5609
69.8921	17.5947
76.2496	17.2001
81.0743	16.7486
85.0119	14.6437
89.5219	14.9805
92.3313	14.7097
94.0136	14.4292
98.8149	16.4649

100.186 16.7029

**Material Boundary**

X	Y
56.8106	17.5609
56.8106	17.0593
59.7265	17.0579
61.4265	17.0571
64.4665	17.0571
69.8921	17.0947
76.2496	16.7001
81.1479	16.2237
85.0119	14.1437
89.6065	14.4722
94.0136	13.9292

**Material Boundary**

X	Y
0.00650114	9.54872
56.2703	9.55953
70.3298	9.56756
81.0743	8.74857
86.7836	8.65728
94.5673	8.53281
98.8149	8.46488
110.34	10.5485
113.867	10.2808
150	10.2808

## Sez.222\_Analisi in condizioni sismiche in tensioni efficaci

### Slide Analysis Information SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

- File Name: Sez 222- TE SISM
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Left to Right
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

#### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

#### Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.079
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.04
- 2 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 4
- Orientation: Vertical

#### Distributed Load 2

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 4
- Orientation: Vertical

#### Material Properties

Property	Ril	UgA	UgC
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19.5	21
Cohesion [kPa]	0	15	12.5
Friction Angle [deg]	35	26	34

Water Surface	None	None	None
Ru Value	0	0	0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.493800
- Center: 94.144, 25.284
- Radius: 9.329
- Left Slip Surface Endpoint: 85.850, 21.011
- Right Slip Surface Endpoint: 97.186, 16.465
- Resisting Moment=2534.81 kN-m
- Driving Moment=1696.89 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1086
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

**• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.4938**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.453431	3.33621	Ril	0	35	2.86801	4.28424	6.11854	0	6.11854
2	0.453431	9.4284	Ril	0	35	6.75679	10.0933	14.4147	0	14.4147
3	0.453431	14.5411	Ril	0	35	10.3809	15.507	22.1463	0	22.1463
4	0.453431	19.1184	Ril	0	35	12.7772	19.0866	27.2584	0	27.2584
5	0.453431	22.6123	Ril	0	35	15.7655	23.5505	33.6337	0	33.6337
6	0.453431	25.6067	Ril	0	35	18.5222	27.6685	39.5146	0	39.5146
7	0.453431	28.116	Ril	0	35	21.0156	31.3931	44.8339	0	44.8339
8	0.453431	28.6451	Ril	0	35	22.0602	32.9535	47.0624	0	47.0624
9	0.453431	28.3186	Ril	0	35	22.4199	33.4909	47.83	0	47.83
10	0.453431	27.7265	Ril	0	35	22.5281	33.6525	48.0607	0	48.0607
11	0.453431	26.8901	Ril	0	35	22.3937	33.4517	47.774	0	47.774
12	0.453431	25.8261	Ril	0	35	22.0227	32.8975	46.9825	0	46.9825
13	0.453431	24.5477	Ril	0	35	21.4184	31.9948	45.6933	0	45.6933
14	0.453431	23.0653	Ril	0	35	20.5818	30.7451	43.9084	0	43.9084
15	0.453431	21.3869	Ril	0	35	19.5114	29.1461	41.6249	0	41.6249

**RELAZIONE GEOTECNICA**

16	0.453431	19.5188	Ril	0	35	18.2034	27.1922	38.8343	0	38.8343
17	0.453431	17.4654	Ril	0	35	16.6515	24.874	35.5239	0	35.5239
18	0.453431	15.2298	Ril	0	35	14.8469	22.1783	31.674	0	31.674
19	0.453431	12.8137	Ril	0	35	12.7775	19.087	27.2592	0	27.2592
20	0.453431	10.2174	Ril	0	35	10.4276	15.5768	22.246	0	22.246
21	0.453431	7.44	Ril	0	35	7.77715	11.6175	16.5915	0	16.5915
22	0.453431	4.47931	Ril	0	35	4.80055	7.17106	10.2413	0	10.2413
23	0.453431	2.52806	Ril	0	35	2.78126	4.15465	5.93345	0	5.93345
24	0.453431	1.65641	Ril	0	35	1.87361	2.7988	3.9971	0	3.9971
25	0.453431	0.585975	Ril	0	35	0.682809	1.01998	1.45668	0	1.45668

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0.00830907	14.7487
56.2703	14.7595
70.3298	14.7676
81.0743	13.9486
86.7836	13.8573
94.5673	13.7328
98.8149	13.6649
113.867	15.4808
150	15.4808

**Line Load**

X	Y
87.1865	21.11
85.4365	20.9809
74.9665	20.3485

**Line Load**

X	Y
61.4265	19.8768
72.4665	20.5448

**External Boundary**

X	Y
0	-19.2186
150	-19.2186
150	10.2808
150	18.2808
113.867	18.2808
110.34	18.5485
105.38	15.2406
104.558	15.2406

104.379	15.2406
102.879	15.2405
102.379	15.2405
100.186	16.7029
99.7621	16.9857
99.4608	16.8837
98.8149	16.4649
96.8329	16.4649
95.8327	16.4649
88.8865	21.098
87.3365	21.16
87.1865	21.11
85.4365	20.9809
74.9665	20.3485
73.7165	20.3545
72.4665	20.5448
61.4265	19.8768
61.2765	19.9268
59.7265	19.8648
56.2703	17.5595
0.00830907	17.5487
0.00650114	9.54872

**Material Boundary**

X	Y
56.2703	17.5595
56.8106	17.5609
69.8921	17.5947
76.2496	17.2001
81.0743	16.7486
85.0119	14.6437
89.5219	14.9805
92.3313	14.7097
94.0136	14.4292
98.8149	16.4649

100.186 16.7029

**Material Boundary**

X	Y
56.8106	17.5609
56.8106	17.0593
59.7265	17.0579
61.4265	17.0571
64.4665	17.0571
69.8921	17.0947
76.2496	16.7001
81.1479	16.2237
85.0119	14.1437
89.6065	14.4722
94.0136	13.9292

**Material Boundary**

X	Y
0.00650114	9.54872
56.2703	9.55953
70.3298	9.56756
81.0743	8.74857
86.7836	8.65728
94.5673	8.53281
98.8149	8.46488
110.34	10.5485
113.867	10.2808
150	10.2808

## Sez.262\_Analisi in condizioni statiche in tensioni efficaci

### Slide Analysis Information SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

- File Name: Sez 262- TE STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

#### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

MANDATARIA



MANDANTE



**ICARIA**  
società di ingegneria

124 di  
153

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

**Random Numbers**

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Surface Options**

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

**Loading**

- 2 Distributed Loads present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

**Distributed Load 2**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril rid	UgA rid	UgD rid	UgE TE rid
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19.5	19	19.5
Cohesion [kPa]	0	12	0	16
Friction Angle [deg]	29.3	21.3	30.2	19.6
Water Surface	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0

*Global Minimums*

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.226260
- Center: 55.926, 28.102
- Radius: 13.213
- Left Slip Surface Endpoint: 54.077, 15.019
- Right Slip Surface Endpoint: 67.047, 20.967
- Resisting Moment=3901.81 kN-m
- Driving Moment=3181.89 kN-m

*Valid / Invalid Surfaces*

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1447
- Number of Invalid Surfaces: 0

*Slice Data*

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.22626**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.774861	0.65272	UgA rid	12	21.3	10.4222	12.7804	2.00151	0	2.00151
2	0.508158	2.48496	Ril rid	0	29.3	2.30336	2.82452	5.03325	0	5.03325
3	0.508158	5.7847	Ril rid	0	29.3	5.2664	6.45797	11.508	0	11.508
4	0.508158	8.90538	Ril rid	0	29.3	7.96586	9.76822	17.4067	0	17.4067
5	0.508158	11.8471	Ril rid	0	29.3	10.415	12.7715	22.7585	0	22.7585
6	0.508158	14.6091	Ril rid	0	29.3	12.6247	15.4812	27.5871	0	27.5871
7	0.508158	17.1899	Ril rid	0	29.3	14.6039	17.9082	31.9119	0	31.9119
8	0.508158	19.5871	Ril rid	0	29.3	16.3597	20.0613	35.7488	0	35.7488
9	0.508158	21.7974	Ril rid	0	29.3	17.8978	21.9474	39.1099	0	39.1099
10	0.508158	23.8166	Ril rid	0	29.3	19.2224	23.5716	42.0041	0	42.0041
11	0.508158	25.6394	Ril rid	0	29.3	20.336	24.9372	44.4375	0	44.4375
12	0.508158	27.259	Ril rid	0	29.3	21.2404	26.0462	46.4137	0	46.4137
13	0.508158	28.6675	Ril rid	0	29.3	21.9357	26.8989	47.9332	0	47.9332
14	0.508158	29.8552	Ril rid	0	29.3	22.4209	27.4939	48.9936	0	48.9936
15	0.508158	30.8104	Ril rid	0	29.3	22.6938	27.8285	49.5897	0	49.5897
16	0.508158	31.519	Ril rid	0	29.3	22.7504	27.8979	49.7134	0	49.7134
17	0.508158	31.9639	Ril rid	0	29.3	22.5853	27.6954	49.3526	0	49.3526
18	0.508158	32.1241	Ril rid	0	29.3	22.1913	27.2123	48.4918	0	48.4918
19	0.508158	31.8362	Ril rid	0	29.3	21.4663	26.3233	46.9076	0	46.9076

**RELAZIONE GEOTECNICA**

20	0.508158	29.1278	Ril rid	0	29.3	19.1316	23.4603	41.8057	0	41.8057
21	0.508158	25.3357	Ril rid	0	29.3	16.1681	19.8263	35.3301	0	35.3301
22	0.508158	21.0478	Ril rid	0	29.3	13.0065	15.9494	28.4214	0	28.4214
23	0.508158	15.6799	Ril rid	0	29.3	16.9167	20.7443	36.966	0	36.966
24	0.508158	9.95123	Ril rid	0	29.3	13.226	16.2185	28.901	0	28.901
25	0.508158	3.45954	Ril rid	0	29.3	9.03927	11.0845	19.7523	0	19.7523

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0.581028	13.5116
55.3927	13.5144
70.5076	13.5615
71.556	13.5325
84.6388	18.1197
85.0408	18.1592
90.4949	18.1256
92.2474	18.1298
93.9474	18.1609
96.8291	18.5955
98.0438	19.2874
102.421	19.1177
106.797	18.948
110.466	18.8453
150.571	18.831

**Line Load**

X	Y
65.5422	21.0279
67.2923	20.9576
79.5015	20.6267

**Line Load**

X	Y
82.0015	20.6644
82.5015	20.63
90.4943	20.4003
92.2469	20.3499
96.3178	20.3642

**External Boundary**

X	Y
115.287	20.3483
112.2	20.3494
110.501	21.4821

**Material Boundary**

109.151	21.536
109.001	21.466
104.501	21.5784
100.001	21.4657
99.8511	21.5357
98.5011	21.4816
96.8285	20.366
92.2469	20.3499
90.4943	20.4003
82.5015	20.63
82.0015	20.6644
81.8515	20.7144
80.7515	20.6327
79.6515	20.6767
79.5015	20.6267
67.2923	20.9576
65.5422	21.0279
65.3922	21.0779
63.8422	21.0159
54.8515	15.0191
0.581028	15.0116
0.580497	6.01635
0.580319	3.01635
0.579127	-17.1548
150.571	-17.1637
150.571	8.3357
150.571	11.3357
150.571	20.3357

X	Y
54.8515	15.0191
55.3922	15.0191
70.5071	15.0662
71.5554	15.0372
84.6383	19.6244
85.0403	19.664
90.4943	19.6303
92.2469	19.6345

**RELAZIONE GEOTECNICA**

93.9469	19.6656
96.8285	20.1002
98.0433	20.7921
102.42	20.6224
106.797	20.4527
110.465	20.35
112.2	20.3494

**Material Boundary**

X	Y
54.8515	15.0191
54.8515	14.5191
55.3922	14.5191
70.5071	14.5662
71.5554	14.5372
84.6383	19.1244
85.0403	19.164
90.4943	19.1303
92.2469	19.1345
93.9469	19.1656
96.8285	19.6002
98.0433	20.2921
102.42	20.1224
106.797	19.9527
110.465	19.85
112.2	19.8494
112.2	20.3494

**Material Boundary**

X	Y
0.580497	6.01635
55.3922	6.01913

70.5071	6.06621
71.5554	6.03722
84.6383	10.6244
85.0403	10.664
90.4943	10.6303
92.2469	10.6345
93.9469	10.6656
96.8285	11.1002
98.0433	11.7921
102.42	11.6224
106.797	11.4527
110.465	11.35
150.571	11.3357

**Material Boundary**

X	Y
0.580319	3.01635
55.3922	3.01913
70.5071	3.06621
71.5554	3.03722
84.6383	7.62442
85.0403	7.66396
90.4943	7.63032
92.2469	7.6345
93.9469	7.66558
96.8285	8.10018
98.0433	8.79211
102.42	8.6224
106.797	8.45269
110.465	8.35005
150.571	8.3357

## Sez. 262\_Analisi in condizioni statiche in tensioni totali

### *Slide Analysis Information* **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

#### *Project Summary*

---

- File Name: Sez 262- TT STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### *General Settings*

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### *Analysis Options*

---

##### **Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### *Groundwater Analysis*

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### *Random Numbers*

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### *Surface Options*

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

**Loading**

- 2 Distributed Loads present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

**Distributed Load 2**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m2]: 26
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril rid	UgA rid	UgD rid	UgE TT rid
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m3]	18	19.5	19	19.5
Cohesion [kPa]	0	12	0	
Friction Angle [deg]	29.3	21.3	30.2	
Cohesion Type				107
Water Surface	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.226260
- Center: 55.926, 28.102
- Radius: 13.213
- Left Slip Surface Endpoint: 54.077, 15.019
- Right Slip Surface Endpoint: 67.047, 20.967
- Resisting Moment=3901.81 kN-m
- Driving Moment=3181.89 kN-m

*Valid / Invalid Surfaces*

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1449
- Number of Invalid Surfaces: 0

*Slice Data*

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.22626**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.774861	0.65272	UgA rid	12	21.3	10.4222	12.7804	2.00151	0	2.00151
2	0.508158	2.48496	Ril rid	0	29.3	2.30336	2.82452	5.03325	0	5.03325
3	0.508158	5.7847	Ril rid	0	29.3	5.2664	6.45797	11.508	0	11.508
4	0.508158	8.90538	Ril rid	0	29.3	7.96586	9.76822	17.4067	0	17.4067
5	0.508158	11.8471	Ril rid	0	29.3	10.415	12.7715	22.7585	0	22.7585
6	0.508158	14.6091	Ril rid	0	29.3	12.6247	15.4812	27.5871	0	27.5871
7	0.508158	17.1899	Ril rid	0	29.3	14.6039	17.9082	31.9119	0	31.9119
8	0.508158	19.5871	Ril rid	0	29.3	16.3597	20.0613	35.7488	0	35.7488
9	0.508158	21.7974	Ril rid	0	29.3	17.8978	21.9474	39.1099	0	39.1099
10	0.508158	23.8166	Ril rid	0	29.3	19.2224	23.5716	42.0041	0	42.0041
11	0.508158	25.6394	Ril rid	0	29.3	20.336	24.9372	44.4375	0	44.4375
12	0.508158	27.259	Ril rid	0	29.3	21.2404	26.0462	46.4137	0	46.4137
13	0.508158	28.6675	Ril rid	0	29.3	21.9357	26.8989	47.9332	0	47.9332
14	0.508158	29.8552	Ril rid	0	29.3	22.4209	27.4939	48.9936	0	48.9936
15	0.508158	30.8104	Ril rid	0	29.3	22.6938	27.8285	49.5897	0	49.5897
16	0.508158	31.519	Ril rid	0	29.3	22.7504	27.8979	49.7134	0	49.7134
17	0.508158	31.9639	Ril rid	0	29.3	22.5853	27.6954	49.3526	0	49.3526
18	0.508158	32.1241	Ril rid	0	29.3	22.1913	27.2123	48.4918	0	48.4918
19	0.508158	31.8362	Ril rid	0	29.3	21.4663	26.3233	46.9076	0	46.9076
20	0.508158	29.1278	Ril rid	0	29.3	19.1316	23.4603	41.8057	0	41.8057
21	0.508158	25.3357	Ril rid	0	29.3	16.1681	19.8263	35.3301	0	35.3301
22	0.508158	21.0478	Ril rid	0	29.3	13.0065	15.9494	28.4214	0	28.4214
23	0.508158	15.6799	Ril rid	0	29.3	16.9167	20.7443	36.966	0	36.966
24	0.508158	9.95123	Ril rid	0	29.3	13.226	16.2185	28.901	0	28.901
25	0.508158	3.45954	Ril rid	0	29.3	9.03927	11.0845	19.7523	0	19.7523

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0.581028	13.5116
55.3927	13.5144
70.5076	13.5615
71.556	13.5325

84.6388	18.1197
85.0408	18.1592
90.4949	18.1256
92.2474	18.1298
93.9474	18.1609
96.8291	18.5955

**RELAZIONE GEOTECNICA**

98.0438	19.2874
102.421	19.1177
106.797	18.948
110.466	18.8453
150.571	18.831

**Line Load**

X	Y
65.5422	21.0279
67.2923	20.9576
79.5015	20.6267

**Line Load**

X	Y
82.0015	20.6644
82.5015	20.63
90.4943	20.4003
92.2469	20.3499
96.3178	20.3642

**External Boundary**

X	Y
115.287	20.3483
112.2	20.3494
110.501	21.4821
109.151	21.536
109.001	21.466
104.501	21.5784
100.001	21.4657
99.8511	21.5357
98.5011	21.4816
96.8285	20.366
92.2469	20.3499
90.4943	20.4003
82.5015	20.63
82.0015	20.6644
81.8515	20.7144
80.7515	20.6327
79.6515	20.6767
79.5015	20.6267
67.2923	20.9576
65.5422	21.0279
65.3922	21.0779
63.8422	21.0159
54.8515	15.0191
0.581028	15.0116
0.580497	6.01635

0.580319	3.01635
0.579127	-17.1548
150.571	-17.1637
150.571	8.3357
150.571	11.3357
150.571	20.3357

**Material Boundary**

X	Y
54.8515	15.0191
55.3922	15.0191
70.5071	15.0662
71.5554	15.0372
84.6383	19.6244
85.0403	19.664
90.4943	19.6303
92.2469	19.6345
93.9469	19.6656
96.8285	20.1002
98.0433	20.7921
102.42	20.6224
106.797	20.4527
110.465	20.35
112.2	20.3494

**Material Boundary**

X	Y
54.8515	15.0191
54.8515	14.5191
55.3922	14.5191
70.5071	14.5662
71.5554	14.5372
84.6383	19.1244
85.0403	19.164
90.4943	19.1303
92.2469	19.1345
93.9469	19.1656
96.8285	19.6002
98.0433	20.2921
102.42	20.1224
106.797	19.9527
110.465	19.85
112.2	19.8494
112.2	20.3494

**Material Boundary**

X	Y
---	---

0.580497	6.01635
55.3922	6.01913
70.5071	6.06621
71.5554	6.03722
84.6383	10.6244
85.0403	10.664
90.4943	10.6303
92.2469	10.6345
93.9469	10.6656
96.8285	11.1002
98.0433	11.7921
102.42	11.6224
106.797	11.4527
110.465	11.35
150.571	11.3357

X	Y
0.580319	3.01635
55.3922	3.01913
70.5071	3.06621
71.5554	3.03722
84.6383	7.62442
85.0403	7.66396
90.4943	7.63032
92.2469	7.6345
93.9469	7.66558
96.8285	8.10018
98.0433	8.79211
102.42	8.6224
106.797	8.45269
110.465	8.35005
150.571	8.3357

**Material Boundary**

## Sez. 262\_Analisi in condizioni sismiche in tensioni totali

### Slide Analysis Information SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

**Project Summary**

- File Name: Sez 262- TT SISM
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

**General Settings**

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

**Analysis Options**

**Analysis Methods Used**

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

#### Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.095
- Seismic Load Coefficient (Vertical): -0.047
- 2 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 4
- Orientation: Vertical

#### Distributed Load 2

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 4
- Orientation: Vertical

#### Material Properties

Property	Ril	UgA	UgD	UgE TT
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19.5	19	19.5
Cohesion [kPa]	0	15	0	
Friction Angle [deg]	35	26	36	

Cohesion Type				150
Water Surface	None	None	None	None
Ru Value	0	0	0	0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.328000
- Center: 55.928, 28.105
- Radius: 13.216
- Left Slip Surface Endpoint: 54.075, 15.019
- Right Slip Surface Endpoint: 67.051, 20.967
- Resisting Moment=4245.62 kN-m
- Driving Moment=3197 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1462
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

**• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.328**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.776665	0.657001	UgA	15	26	12.0851	16.049	2.15075	0	2.15075
2	0.508326	2.49001	Ril	0	35	2.54483	3.37953	4.82646	0	4.82646
3	0.508326	5.79259	Ril	0	35	5.79849	7.70039	10.9973	0	10.9973
4	0.508326	8.91596	Ril	0	35	8.74586	11.6145	16.5872	0	16.5872
5	0.508326	11.8602	Ril	0	35	11.4046	15.1453	21.6297	0	21.6297
6	0.508326	14.6246	Ril	0	35	13.7893	18.3122	26.1526	0	26.1526
7	0.508326	17.2077	Ril	0	35	15.912	21.1312	30.1784	0	30.1784
8	0.508326	19.6071	Ril	0	35	17.7827	23.6154	33.7262	0	33.7262
9	0.508326	21.8195	Ril	0	35	19.409	25.7751	36.8107	0	36.8107
10	0.508326	23.8406	Ril	0	35	20.7971	27.6185	39.4434	0	39.4434
11	0.508326	25.6651	Ril	0	35	21.9516	29.1517	41.6328	0	41.6328
12	0.508326	27.2863	Ril	0	35	22.8754	30.3785	43.3851	0	43.3851
13	0.508326	28.6964	Ril	0	35	23.5702	31.3012	44.7028	0	44.7028
14	0.508326	29.8854	Ril	0	35	24.0361	31.9199	45.5864	0	45.5864

**RELAZIONE GEOTECNICA**

15	0.508326	30.8418	Ril	0	35	24.2716	32.2327	46.0331	0	46.0331
16	0.508326	31.5515	Ril	0	35	24.2742	32.2361	46.0379	0	46.0379
17	0.508326	31.9973	Ril	0	35	24.039	31.9238	45.592	0	45.592
18	0.508326	32.1582	Ril	0	35	23.5599	31.2876	44.6834	0	44.6834
19	0.508326	31.8654	Ril	0	35	22.7264	30.1807	43.1025	0	43.1025
20	0.508326	29.1442	Ril	0	35	20.1907	26.8133	38.2934	0	38.2934
21	0.508326	25.3503	Ril	0	35	17.0126	22.5927	32.2657	0	32.2657
22	0.508326	21.0573	Ril	0	35	13.6401	18.114	25.8694	0	25.8694
23	0.508326	15.6871	Ril	0	35	11.0483	14.6722	20.9541	0	20.9541
24	0.508326	9.95597	Ril	0	35	7.17964	9.53456	13.6168	0	13.6168
25	0.508326	3.46118	Ril	0	35	3.1407	4.17085	5.95659	0	5.95659

*List Of Coordinates*

**Water Table**

X	Y
0.581028	13.5116
55.3927	13.5144
70.5076	13.5615
71.556	13.5325
84.6388	18.1197
85.0408	18.1592
90.4949	18.1256
92.2474	18.1298
93.9474	18.1609
96.8291	18.5955
98.0438	19.2874
102.421	19.1177
106.797	18.948
110.466	18.8453
150.571	18.831

**External Boundary**

X	Y
115.287	20.3483
112.2	20.3494
110.501	21.4821
109.151	21.536
109.001	21.466
104.501	21.5784
100.001	21.4657
99.8511	21.5357
98.5011	21.4816
96.8285	20.366
92.2469	20.3499
90.4943	20.4003
82.5015	20.63
82.0015	20.6644
81.8515	20.7144
80.7515	20.6327
79.6515	20.6767
79.5015	20.6267
67.2923	20.9576
65.5422	21.0279
65.3922	21.0779
63.8422	21.0159
54.8515	15.0191
0.581028	15.0116
0.580497	6.01635
0.580319	3.01635
0.579127	-17.1548
150.571	-17.1637
150.571	8.3357
150.571	11.3357
150.571	20.3357

**Line Load**

X	Y
65.5422	21.0279
67.2923	20.9576
79.5015	20.6267

**Line Load**

X	Y
82.0015	20.6644
82.5015	20.63
90.4943	20.4003
92.2469	20.3499
96.3178	20.3642

**RELAZIONE GEOTECNICA**

**Material Boundary**

X	Y
54.8515	15.0191
55.3922	15.0191
70.5071	15.0662
71.5554	15.0372
84.6383	19.6244
85.0403	19.664
90.4943	19.6303
92.2469	19.6345
93.9469	19.6656
96.8285	20.1002
98.0433	20.7921
102.42	20.6224
106.797	20.4527
110.465	20.35
112.2	20.3494

**Material Boundary**

X	Y
0.580497	6.01635
55.3922	6.01913
70.5071	6.06621
71.5554	6.03722
84.6383	10.6244
85.0403	10.664
90.4943	10.6303
92.2469	10.6345
93.9469	10.6656
96.8285	11.1002
98.0433	11.7921
102.42	11.6224
106.797	11.4527
110.465	11.35
150.571	11.3357

**Material Boundary**

X	Y
54.8515	15.0191
54.8515	14.5191
55.3922	14.5191
70.5071	14.5662
71.5554	14.5372
84.6383	19.1244
85.0403	19.164
90.4943	19.1303
92.2469	19.1345
93.9469	19.1656
96.8285	19.6002
98.0433	20.2921
102.42	20.1224
106.797	19.9527
110.465	19.85
112.2	19.8494
112.2	20.3494

**Material Boundary**

X	Y
0.580319	3.01635
55.3922	3.01913
70.5071	3.06621
71.5554	3.03722
84.6383	7.62442
85.0403	7.66396
90.4943	7.63032
92.2469	7.6345
93.9469	7.66558
96.8285	8.10018
98.0433	8.79211
102.42	8.6224
106.797	8.45269
110.465	8.35005
150.571	8.3357

**Sez.576\_Analisi in condizioni statiche in tensioni efficaci**

*Slide Analysis Information*  
**SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

**Project Summary**

- File Name: Sez 576- TE STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

**MANDATARIA**



**MANDANTE**



**ICARIA**  
società di ingegneria

- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### General Settings

---

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $m\alpha < 0.2$ : Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### Random Numbers

---

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### Surface Options

---

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

#### Loading

---

- 2 Distributed Loads present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

**Distributed Load 2**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril rid	UgA rid	UgE TE rid
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19.5	19.5
Cohesion [kPa]	0	12	16
Friction Angle [deg]	29.3	21.3	19.6
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.457400
- Center: 44.921, 29.756
- Radius: 14.471
- Left Slip Surface Endpoint: 43.781, 15.329
- Right Slip Surface Endpoint: 55.924, 20.356
- Resisting Moment=4641.18 kN-m
- Driving Moment=3184.56 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1408
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.4574**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.517012	1.69614	UgA rid	12	21.3	9.26232	13.4989	3.84451	0	3.84451
2	0.517012	5.14806	UgA rid	12	21.3	10.9714	15.9898	10.2332	0	10.2332
3	0.517012	8.41438	UgA rid	12	21.3	12.5525	18.294	16.1434	0	16.1434
4	0.517012	11.4943	UgA rid	12	21.3	14.0084	20.4159	21.5855	0	21.5855
5	0.517012	14.3872	UgA rid	12	21.3	15.3417	22.359	26.5694	0	26.5694
6	0.517012	17.0919	UgA rid	12	21.3	16.5544	24.1264	31.1026	0	31.1026
7	0.517012	19.6063	UgA rid	12	21.3	17.6479	25.7201	35.1902	0	35.1902
8	0.473559	20.0267	Ril rid	0	29.3	15.171	22.1102	39.3999	0	39.3999
9	0.473559	21.8774	Ril rid	0	29.3	16.3687	23.8558	42.5104	0	42.5104
10	0.473559	23.5857	Ril rid	0	29.3	17.4271	25.3983	45.2592	0	45.2592
11	0.473559	25.148	Ril rid	0	29.3	18.3469	26.7387	47.6478	0	47.6478
12	0.473559	26.56	Ril rid	0	29.3	19.128	27.8771	49.6764	0	49.6764
13	0.473559	27.8167	Ril rid	0	29.3	19.77	28.8128	51.3437	0	51.3437
14	0.473559	28.9123	Ril rid	0	29.3	20.2717	29.544	52.6468	0	52.6468
15	0.473559	29.8398	Ril rid	0	29.3	20.6315	30.0683	53.581	0	53.581
16	0.473559	29.6415	Ril rid	0	29.3	20.1994	29.4386	52.459	0	52.459
17	0.473559	27.6988	Ril rid	0	29.3	18.5928	27.0972	48.2867	0	48.2867
18	0.473559	25.5365	Ril rid	0	29.3	16.8725	24.59	43.8188	0	43.8188
19	0.473559	22.5945	Ril rid	0	29.3	20.2748	29.5485	52.6547	0	52.6547
20	0.473559	19.8455	Ril rid	0	29.3	20.5323	29.9238	53.3236	0	53.3236
21	0.473559	16.941	Ril rid	0	29.3	18.3277	26.7108	47.5981	0	47.5981
22	0.473559	13.7674	Ril rid	0	29.3	16.0089	23.3313	41.576	0	41.576
23	0.473559	10.2956	Ril rid	0	29.3	13.5715	19.7791	35.2459	0	35.2459
24	0.473559	6.48826	Ril rid	0	29.3	11.011	16.0475	28.5964	0	28.5964
25	0.473559	2.27246	Ril rid	0	29.3	8.30829	12.1085	21.5772	0	21.5772

**List Of Coordinates**

**Water Table**

X	Y
0.693519	11.3117
54.2956	13.8214

57.656	13.8658
60.8437	13.8473
71.2151	13.9575
72.8315	14.0789
73.4659	14.106
80.7482	14.7088
83.4644	14.9337

84.5162	15.1217
85.4198	15.2791
85.5378	15.2732
85.6825	15.2677
86.5586	15.2744
89.0405	15.3015
90.8537	15.276
92.3667	15.2561
92.4524	15.2708
92.5067	15.2844
92.7288	15.2208
94.065	15.1265
94.344	15.0983
95.9659	14.7559
98.6678	14.5268
102.9	14.3937
102.951	14.3937
103.297	14.3955
103.772	14.5067
103.785	14.5105
105.514	14.6023
106.883	14.6752
150.553	15.0316

**Line Load**

X	Y
52.752	20.288
55.6858	20.3613
58.752	20.288

**Line Load**

X	Y
69.7515	20.383
71.5015	20.4067
79.5015	20.6067

**External Boundary**

X	Y
150.551	18.5316
115.076	17.0117
110.252	20.229
108.902	20.283
108.752	20.213

105.606	20.2843
102.752	20.213
102.602	20.283
101.252	20.229
99.3875	18.9854
98.0291	18.9854
96.5291	18.9854
95.5289	18.9854
93.4515	20.371
91.9015	20.433
91.7515	20.383
90.0015	20.4067
82.5015	20.5942
82.0015	20.6267
81.8515	20.6767
80.7515	20.6327
79.6515	20.6767
79.5482	20.6734
79.5015	20.6067
71.5015	20.4067
69.7515	20.383
69.6015	20.433
68.0515	20.371
66.0395	19.0289
65.0394	19.0289
63.5394	19.0289
62.1636	19.0289
60.252	20.304
58.902	20.358
58.752	20.288
55.6858	20.3613
52.752	20.288
52.602	20.358
51.252	20.304
43.7936	15.3292
43.0056	15.3292
40.7933	15.3292
40.6015	15.4572
0.697451	15.4572
0.696851	5.31142
0.695523	-17.1548
150.571	-17.1548
150.556	9.03137

**Material Boundary**

**RELAZIONE GEOTECNICA**

X	Y
43.7936	15.3292
54.2989	15.8211
57.6593	15.8656
60.8471	15.8471
66.5801	15.908
71.2185	15.9573
72.8348	16.0786
73.4693	16.1057
80.7515	16.7086
83.4677	16.9334
84.5195	17.1214
85.4231	17.2789
85.5412	17.273
85.6859	17.2674
86.5619	17.2742
89.0439	17.3013
90.8571	17.2757
92.3701	17.2558
92.4557	17.2706
92.7321	17.2206
94.0684	17.1263
94.3473	17.098
94.9883	16.9627
95.9693	16.7557
98.6712	16.5265
102.929	16.3934
103.3	16.3952
103.781	16.5084
105.517	16.602
106.886	16.6749
115.076	17.0117

**Material Boundary**

X	Y
66.5801	15.708
66.5801	15.408
71.2185	15.4573
72.8348	15.5786
73.4693	15.6057
80.7515	16.2086
83.4677	16.4334
84.5195	16.6214
85.4231	16.7789

85.5412	16.773
85.6859	16.7674
86.5619	16.7742
89.0439	16.8013
90.8571	16.7757
92.3701	16.7558
92.4557	16.7706
92.7321	16.7206
94.0684	16.6263
94.3473	16.598
94.9883	16.4627
94.9883	16.7627

**Material Boundary**

X	Y
66.5801	15.908
66.5801	15.708
71.2185	15.7573
72.8348	15.8786
73.4693	15.9057
80.7515	16.5086
83.4677	16.7334
84.5195	16.9214
85.4231	17.0789
85.5412	17.073
85.6859	17.0674
86.5619	17.0742
89.0439	17.1013
90.8571	17.0757
92.3701	17.0558
92.4557	17.0706
92.7321	17.0206
94.0684	16.9263
94.3473	16.898
94.9883	16.7627
94.9883	16.9627

**Material Boundary**

X	Y
0.696851	5.31142
54.2989	7.82112
57.6593	7.86556
60.8471	7.84706
71.2185	7.95729

72.8348	8.0786
73.4693	8.10573
80.7515	8.70859
83.4677	8.93344
84.5195	9.12145
85.4231	9.27888
85.5412	9.273
85.6859	9.26742
86.5619	9.27418
89.0439	9.30129
90.8571	9.27575
92.3701	9.25585

92.4829	9.27737
92.7321	9.22056
94.0684	9.1263
94.3473	9.09802
95.9693	8.75569
98.6712	8.52653
102.929	8.39345
103.3	8.39523
103.781	8.50836
105.517	8.602
106.886	8.67491
150.556	9.03137

## Sez. 576\_Analisi in condizioni statiche in tensioni totali

### Slide Analysis Information SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

- File Name: Sez.576- TT STAT
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces

- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

**Random Numbers**

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

**Surface Options**

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

**Loading**

- 2 Distributed Loads present

**Distributed Load 1**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

**Distributed Load 2**

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 26
- Orientation: Vertical

**Material Properties**

Property	Ril rid	UgA rid	UgE TT rid
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19.5	19.5
Cohesion [kPa]	0	12	
Friction Angle [deg]	29.3	21.3	
Cohesion Type			107
Water Surface	Water Table	Water Table	None
Hu Value	1	1	
Ru Value			0

*Global Minimums*

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.457400
- Center: 44.921, 29.756
- Radius: 14.471
- Left Slip Surface Endpoint: 43.781, 15.329
- Right Slip Surface Endpoint: 55.924, 20.356
- Resisting Moment=4641.18 kN-m
- Driving Moment=3184.56 kN-m

*Valid / Invalid Surfaces*

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1407
- Number of Invalid Surfaces: 0

*Slice Data*

• **Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.4574**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.517012	1.69614	UgA rid	12	21.3	9.26232	13.4989	3.84451	0	3.84451
2	0.517012	5.14806	UgA rid	12	21.3	10.9714	15.9898	10.2332	0	10.2332
3	0.517012	8.41438	UgA rid	12	21.3	12.5525	18.294	16.1434	0	16.1434
4	0.517012	11.4943	UgA rid	12	21.3	14.0084	20.4159	21.5855	0	21.5855
5	0.517012	14.3872	UgA rid	12	21.3	15.3417	22.359	26.5694	0	26.5694
6	0.517012	17.0919	UgA rid	12	21.3	16.5544	24.1264	31.1026	0	31.1026
7	0.517012	19.6063	UgA rid	12	21.3	17.6479	25.7201	35.1902	0	35.1902
8	0.473559	20.0267	Ril rid	0	29.3	15.171	22.1102	39.3999	0	39.3999
9	0.473559	21.8774	Ril rid	0	29.3	16.3687	23.8558	42.5104	0	42.5104
10	0.473559	23.5857	Ril rid	0	29.3	17.4271	25.3983	45.2592	0	45.2592
11	0.473559	25.148	Ril rid	0	29.3	18.3469	26.7387	47.6478	0	47.6478
12	0.473559	26.56	Ril rid	0	29.3	19.128	27.8771	49.6764	0	49.6764
13	0.473559	27.8167	Ril rid	0	29.3	19.77	28.8128	51.3437	0	51.3437
14	0.473559	28.9123	Ril rid	0	29.3	20.2717	29.544	52.6468	0	52.6468
15	0.473559	29.8398	Ril rid	0	29.3	20.6315	30.0683	53.581	0	53.581
16	0.473559	29.6415	Ril rid	0	29.3	20.1994	29.4386	52.459	0	52.459
17	0.473559	27.6988	Ril rid	0	29.3	18.5928	27.0972	48.2867	0	48.2867
18	0.473559	25.5365	Ril rid	0	29.3	16.8725	24.59	43.8188	0	43.8188
19	0.473559	22.5945	Ril rid	0	29.3	20.2748	29.5485	52.6547	0	52.6547

**RELAZIONE GEOTECNICA**

20	0.473559	19.8455	Ril rid	0	29.3	20.5323	29.9238	53.3236	0	53.3236
21	0.473559	16.941	Ril rid	0	29.3	18.3277	26.7108	47.5981	0	47.5981
22	0.473559	13.7674	Ril rid	0	29.3	16.0089	23.3313	41.576	0	41.576
23	0.473559	10.2956	Ril rid	0	29.3	13.5715	19.7791	35.2459	0	35.2459
24	0.473559	6.48826	Ril rid	0	29.3	11.011	16.0475	28.5964	0	28.5964
25	0.473559	2.27246	Ril rid	0	29.3	8.30829	12.1085	21.5772	0	21.5772

List Of Coordinates

55.6858	20.3613
58.752	20.288

Water Table

X	Y
0.693519	11.3117
54.2956	13.8214
57.656	13.8658
60.8437	13.8473
71.2151	13.9575
72.8315	14.0789
73.4659	14.106
80.7482	14.7088
83.4644	14.9337
84.5162	15.1217
85.4198	15.2791
85.5378	15.2732
85.6825	15.2677
86.5586	15.2744
89.0405	15.3015
90.8537	15.276
92.3667	15.2561
92.4524	15.2708
92.5067	15.2844
92.7288	15.2208
94.065	15.1265
94.344	15.0983
95.9659	14.7559
98.6678	14.5268
102.9	14.3937
102.951	14.3937
103.297	14.3955
103.772	14.5067
103.785	14.5105
105.514	14.6023
106.883	14.6752
150.553	15.0316

Line Load

X	Y
69.7515	20.383
71.5015	20.4067
79.5015	20.6067

External Boundary

X	Y
150.551	18.5316
115.076	17.0117
110.252	20.229
108.902	20.283
108.752	20.213
105.606	20.2843
102.752	20.213
102.602	20.283
101.252	20.229
99.3875	18.9854
98.0291	18.9854
96.5291	18.9854
95.5289	18.9854
93.4515	20.371
91.9015	20.433
91.7515	20.383
90.0015	20.4067
82.5015	20.5942
82.0015	20.6267
81.8515	20.6767
80.7515	20.6327
79.6515	20.6767
79.5482	20.6734
79.5015	20.6067
71.5015	20.4067
69.7515	20.383
69.6015	20.433
68.0515	20.371
66.0395	19.0289

Line Load

X	Y
52.752	20.288

**RELAZIONE GEOTECNICA**

65.0394	19.0289
63.5394	19.0289
62.1636	19.0289
60.252	20.304
58.902	20.358
58.752	20.288
55.6858	20.3613
52.752	20.288
52.602	20.358
51.252	20.304
43.7936	15.3292
43.0056	15.3292
40.7933	15.3292
40.6015	15.4572
0.697451	15.4572
0.696851	5.31142
0.695523	-17.1548
150.571	-17.1548
150.556	9.03137

103.781	16.5084
105.517	16.602
106.886	16.6749
115.076	17.0117

**Material Boundary**

X	Y
66.5801	15.708
66.5801	15.408
71.2185	15.4573
72.8348	15.5786
73.4693	15.6057
80.7515	16.2086
83.4677	16.4334
84.5195	16.6214
85.4231	16.7789
85.5412	16.773
85.6859	16.7674
86.5619	16.7742
89.0439	16.8013
90.8571	16.7757
92.3701	16.7558
92.4557	16.7706
92.7321	16.7206
94.0684	16.6263
94.3473	16.598
94.9883	16.4627
94.9883	16.7627

**Material Boundary**

X	Y
43.7936	15.3292
54.2989	15.8211
57.6593	15.8656
60.8471	15.8471
66.5801	15.908
71.2185	15.9573
72.8348	16.0786
73.4693	16.1057
80.7515	16.7086
83.4677	16.9334
84.5195	17.1214
85.4231	17.2789
85.5412	17.273
85.6859	17.2674
86.5619	17.2742
89.0439	17.3013
90.8571	17.2757
92.3701	17.2558
92.4557	17.2706
92.7321	17.2206
94.0684	17.1263
94.3473	17.098
94.9883	16.9627
95.9693	16.7557
98.6712	16.5265
102.929	16.3934
103.3	16.3952

**Material Boundary**

X	Y
66.5801	15.908
66.5801	15.708
71.2185	15.7573
72.8348	15.8786
73.4693	15.9057
80.7515	16.5086
83.4677	16.7334
84.5195	16.9214
85.4231	17.0789
85.5412	17.073
85.6859	17.0674
86.5619	17.0742
89.0439	17.1013
90.8571	17.0757
92.3701	17.0558
92.4557	17.0706
92.7321	17.0206

94.0684	16.9263
94.3473	16.898
94.9883	16.7627
94.9883	16.9627

**Material Boundary**

X	Y
0.696851	5.31142
54.2989	7.82112
57.6593	7.86556
60.8471	7.84706
71.2185	7.95729
72.8348	8.0786
73.4693	8.10573
80.7515	8.70859
83.4677	8.93344
84.5195	9.12145
85.4231	9.27888

85.5412	9.273
85.6859	9.26742
86.5619	9.27418
89.0439	9.30129
90.8571	9.27575
92.3701	9.25585
92.4829	9.27737
92.7321	9.22056
94.0684	9.1263
94.3473	9.09802
95.9693	8.75569
98.6712	8.52653
102.929	8.39345
103.3	8.39523
103.781	8.50836
105.517	8.602
106.886	8.67491
150.556	9.03137

## Sez. 576\_Analisi in condizioni sismiche in tensioni totali

### Slide Analysis Information SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

- File Name: Sez 576- TT SISM
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 13/02/2019, 11:27:00

#### General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

#### Analysis Options

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check malpha < 0.2: Yes

- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen Iteration: Yes

#### Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m<sup>3</sup>
- Advanced Groundwater Method: None

#### Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

#### Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Auto Refine Search
- Divisions along slope: 10
- Circles per division: 10
- Number of iterations: 10
- Divisions to use in next iteration: 50%
- Composite Surfaces: Disabled
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3.5

#### Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.095
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.047
- 2 Distributed Loads present

#### Distributed Load 1

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 4
- Orientation: Vertical

#### Distributed Load 2

- Distribution: Constant
- Magnitude [kN/m<sup>2</sup>]: 4
- Orientation: Vertical

#### Material Properties

Property	Ril	UgA	UgE TT
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Undrained
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	18	19.5	19.5

Cohesion [kPa]	0	15	
Friction Angle [deg]	35	26	
Cohesion Type			150
Water Surface	Water Table	Water Table	None
Hu Value	1	1	
Ru Value			0

**Global Minimums**

**Method: bishop simplified**

- FS: 1.624720
- Center: 43.776, 35.555
- Radius: 20.228
- Left Slip Surface Endpoint: 43.531, 15.329
- Right Slip Surface Endpoint: 57.091, 20.328
- Resisting Moment=7282.25 kN-m
- Driving Moment=4482.15 kN-m

**Valid / Invalid Surfaces**

**Method: bishop simplified**

- Number of Valid Surfaces: 1458
- Number of Invalid Surfaces: 0

**Slice Data**

**• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.62472**

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.537242	0.454568	Ril	0	35	0.381596	0.619986	0.885432	0	0.885432
2	0.537242	3.44311	UgA	15	26	11.1538	18.1219	6.40077	0	6.40077
3	0.537242	6.69753	UgA	15	26	12.9395	21.0231	12.3492	0	12.3492
4	0.537242	9.80173	UgA	15	26	14.6111	23.7389	17.9175	0	17.9175
5	0.543348	12.9296	Ril	0	35	10.2594	16.6686	23.8052	0	23.8052
6	0.543348	15.8261	Ril	0	35	12.4173	20.1747	28.8124	0	28.8124
7	0.543348	18.5758	Ril	0	35	14.4119	23.4153	33.4406	0	33.4406
8	0.543348	21.1769	Ril	0	35	16.246	26.3952	37.6964	0	37.6964
9	0.543348	23.6273	Ril	0	35	17.922	29.1182	41.585	0	41.585
10	0.543348	25.9244	Ril	0	35	19.4417	31.5873	45.1114	0	45.1114
11	0.543348	28.065	Ril	0	35	20.8065	33.8048	48.2782	0	48.2782

**RELAZIONE GEOTECNICA**

12	0.543348	30.0459	Ril	0	35	22.0175	35.7722	51.0881	0	51.0881
13	0.543348	31.8629	Ril	0	35	23.0751	37.4905	53.542	0	53.542
14	0.543348	33.5115	Ril	0	35	23.9794	38.9598	55.6403	0	55.6403
15	0.543348	34.0593	Ril	0	35	24.0747	39.1147	55.8617	0	55.8617
16	0.543348	32.1302	Ril	0	35	22.4284	36.4398	52.0413	0	52.0413
17	0.543348	29.8151	Ril	0	35	20.5463	33.382	47.6745	0	47.6745
18	0.543348	26.7081	Ril	0	35	19.5544	31.7704	45.3728	0	45.3728
19	0.543348	24.0078	Ril	0	35	17.4975	28.4286	40.6001	0	40.6001
20	0.543348	21.0946	Ril	0	35	15.324	24.8972	35.5569	0	35.5569
21	0.543348	17.9565	Ril	0	35	13.0539	21.2089	30.2896	0	30.2896
22	0.543348	14.58	Ril	0	35	10.6867	17.3629	24.7969	0	24.7969
23	0.543348	10.9047	Ril	0	35	8.19384	13.3127	19.0126	0	19.0126
24	0.543348	6.76359	Ril	0	35	5.48443	8.91067	12.7258	0	12.7258
25	0.543348	2.30561	Ril	0	35	2.66909	4.33652	6.19318	0	6.19318

*List Of Coordinates*

105.514	14.6023
106.883	14.6752
150.553	15.0316

**Water Table**

X	Y
0.693519	11.3117
54.2956	13.8214
57.656	13.8658
60.8437	13.8473
71.2151	13.9575
72.8315	14.0789
73.4659	14.106
80.7482	14.7088
83.4644	14.9337
84.5162	15.1217
85.4198	15.2791
85.5378	15.2732
85.6825	15.2677
86.5586	15.2744
89.0405	15.3015
90.8537	15.276
92.3667	15.2561
92.4524	15.2708
92.5067	15.2844
92.7288	15.2208
94.065	15.1265
94.344	15.0983
95.9659	14.7559
98.6678	14.5268
102.9	14.3937
102.951	14.3937
103.297	14.3955
103.772	14.5067
103.785	14.5105

**Line Load**

X	Y
52.752	20.288
55.6858	20.3613
58.752	20.288

**Line Load**

X	Y
69.7515	20.383
71.5015	20.4067
79.5015	20.6067

**External Boundary**

X	Y
150.551	18.5316
115.076	17.0117
110.252	20.229
108.902	20.283
108.752	20.213
105.606	20.2843
102.752	20.213
102.602	20.283
101.252	20.229
99.3875	18.9854
98.0291	18.9854
96.5291	18.9854
95.5289	18.9854
93.4515	20.371

**RELAZIONE GEOTECNICA**

91.9015	20.433
91.7515	20.383
90.0015	20.4067
82.5015	20.5942
82.0015	20.6267
81.8515	20.6767
80.7515	20.6327
79.6515	20.6767
79.5482	20.6734
79.5015	20.6067
71.5015	20.4067
69.7515	20.383
69.6015	20.433
68.0515	20.371
66.0395	19.0289
65.0394	19.0289
63.5394	19.0289
62.1636	19.0289
60.252	20.304
58.902	20.358
58.752	20.288
55.6858	20.3613
52.752	20.288
52.602	20.358
51.252	20.304
43.7936	15.3292
43.0056	15.3292
40.7933	15.3292
40.6015	15.4572
0.697451	15.4572
0.696851	5.31142
0.695523	-17.1548
150.571	-17.1548
150.556	9.03137

**Material Boundary**

X	Y
43.7936	15.3292
54.2989	15.8211
57.6593	15.8656
60.8471	15.8471
66.5801	15.908
71.2185	15.9573
72.8348	16.0786
73.4693	16.1057
80.7515	16.7086
83.4677	16.9334
84.5195	17.1214
85.4231	17.2789

85.5412	17.273
85.6859	17.2674
86.5619	17.2742
89.0439	17.3013
90.8571	17.2757
92.3701	17.2558
92.4557	17.2706
92.7321	17.2206
94.0684	17.1263
94.3473	17.098
94.9883	16.9627
95.9693	16.7557
98.6712	16.5265
102.929	16.3934
103.3	16.3952
103.781	16.5084
105.517	16.602
106.886	16.6749
115.076	17.0117

**Material Boundary**

X	Y
66.5801	15.708
66.5801	15.408
71.2185	15.4573
72.8348	15.5786
73.4693	15.6057
80.7515	16.2086
83.4677	16.4334
84.5195	16.6214
85.4231	16.7789
85.5412	16.773
85.6859	16.7674
86.5619	16.7742
89.0439	16.8013
90.8571	16.7757
92.3701	16.7558
92.4557	16.7706
92.7321	16.7206
94.0684	16.6263
94.3473	16.598
94.9883	16.4627
94.9883	16.7627

**Material Boundary**

X	Y
66.5801	15.908
66.5801	15.708

**RELAZIONE GEOTECNICA**

71.2185	15.7573
72.8348	15.8786
73.4693	15.9057
80.7515	16.5086
83.4677	16.7334
84.5195	16.9214
85.4231	17.0789
85.5412	17.073
85.6859	17.0674
86.5619	17.0742
89.0439	17.1013
90.8571	17.0757
92.3701	17.0558
92.4557	17.0706
92.7321	17.0206
94.0684	16.9263
94.3473	16.898
94.9883	16.7627
94.9883	16.9627

**Material Boundary**

X	Y
0.696851	5.31142
54.2989	7.82112
57.6593	7.86556
60.8471	7.84706

71.2185	7.95729
72.8348	8.0786
73.4693	8.10573
80.7515	8.70859
83.4677	8.93344
84.5195	9.12145
85.4231	9.27888
85.5412	9.273
85.6859	9.26742
86.5619	9.27418
89.0439	9.30129
90.8571	9.27575
92.3701	9.25585
92.4829	9.27737
92.7321	9.22056
94.0684	9.1263
94.3473	9.09802
95.9693	8.75569
98.6712	8.52653
102.929	8.39345
103.3	8.39523
103.781	8.50836
105.517	8.602
106.886	8.67491
150.556	9.03137