

**S.S. 131 di "Carlo Felice"**  
Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131  
Risoluzione dei nodi critici - 2° stralcio  
dal km 108+300 al km 158+000

**PROGETTO ESECUTIVO**

CA284

R.T.I. di PROGETTAZIONE:

Mandataria



**PRO  
ITER**  
Progetto  
Infrastrutture  
Territorio s.r.l.

Via G.B. Sammartini n°5  
20125 - Milano  
Tel. 02 6787911  
email: mail@proiter.it

Mandante



Via Artemide n°3  
92100 Agrigento  
Tel. 0922 421007  
email: deltaingegneria@pec.it

PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi - Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)  
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi  
Ordine Ing. di Milano n. 18045

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica - Pro Iter srl  
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Diego Ceccherelli  
Ordine Ing. di Milano n. 15813

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Ing. Francesca Martina TEDDE



PROTOCOLLO

DATA

**GEOTECNICA**  
**Relazione Geotecnica Generale**

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG.

N. PROG.

**L O P L S Q E 1 9 0 1**

NOME FILE  
T00GE00GETRE01C .pdf

CODICE ELAB. **T 0 0 G E 0 0 G E T R E 0 1**

REVISIONE

SCALA:

**C**

D

C

B

A

REV.

Revisione per 2° istruttoria, verifica e controlli D.LGS.35/11

Revisione per istruttoria, verifica e controlli D.LGS.35/11

Emissione

DESCRIZIONE

LUGLIO 2021

APRILE 2021

MARZO 2020

DATA

VITIELLO

VITIELLO

VITIELLO

REDATTO

MEZZANZANICA

MEZZANZANICA

MEZZANZANICA

VERIFICATO

FORMICHI

FORMICHI

FORMICHI

APPROVATO



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>2</b>
2.1	Normative e raccomandazioni tecniche .....	2
2.2	Riferimenti bibliografici .....	2
2.3	Elaborati di progetto.....	2
<b>3</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE .....</b>	<b>7</b>
3.1	Campagne di indagine di riferimento .....	7
3.2	Campagna di indagine integrativa 2019-2020.....	7
3.2.1	Opera S02 – Ponticello idraulico PO07, al km 115+505 .....	8
3.2.2	Opera S13 – Ponticello idraulico PO05, al km 155+950 .....	8
<b>4</b>	<b>QUADRO STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE .....</b>	<b>10</b>
5.1	Caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere principali: riepilogo .....	10
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE .....</b>	<b>11</b>
6.1	Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere principali: riepilogo .....	11
<b>7</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE SEZIONI IN RILEVATO E TRINCEA.....</b>	<b>13</b>
7.1	Premessa.....	13
7.2	Generalità sulle verifiche di stabilità globale .....	14
7.2.1	Verifiche di stabilità in condizioni statiche .....	15
7.2.2	Verifiche di stabilità in condizioni sismiche .....	15
7.2.3	Software di calcolo.....	16
7.3	Condizioni di falda .....	16
7.4	Risultati .....	17
7.4.1	S20 - Sezione SS131 sud 23 – Rilevato alla p.k. 0+380 (h=4.6 m) .....	18
7.4.2	S20 - Sezione SS131 sud 32 – Rilevato alla p.k. 0+560 (h=4.0 m) .....	20
7.4.3	S21 - Sezione 50 Viabilità locale A – Rilevato alla p.k. 0+820 (h=4.0 m) .....	22
7.4.4	S13 - Sezione 80 – Trincea alla p.k. 1+180 (h=6.0 m).....	24
7.4.5	V02 – Sezione SP62-E-16 – Rilevato alla p.k. 0+212 (h=9.0 m) .....	26
7.4.6	S17 – Sezione 119 – Rilevato alla p.k. 2+340 (h=4.4 m).....	28
7.5	Valutazione dei potenziali fenomeni di sifonamento dei rilevati .....	30
<b>8</b>	<b>ANALISI DI CADUTA MASSI.....</b>	<b>31</b>
<b>9</b>	<b>MURI DI SOSTEGNO .....</b>	<b>37</b>
9.1	Metodologia di calcolo .....	37
9.2	Verifiche agli Stati Limite Ultimi .....	37
9.2.1	Verifica a ribaltamento .....	38
9.2.2	Verifica a scivolamento .....	39
9.2.3	Verifica di capacità portante della fondazione .....	39
9.3	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio .....	39
9.3.1	Verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio .....	39
9.3.2	Verifiche a fessurazione .....	40
9.4	Azioni sismiche .....	40
9.5	Analisi dei carichi .....	41
9.6	Spinta delle terre in fase statica .....	41
9.6.1	Coefficienti di spinta.....	41
9.6.2	Spinta del terreno .....	43
9.6.3	Spinta dei sovraccarichi permanenti .....	43
9.6.4	Spinta dei sovraccarichi accidentali .....	44
9.7	Spinta delle terre in fase sismica .....	44
9.7.1	Coefficienti di spinta.....	44
9.7.2	Spinta del terreno .....	45
9.7.3	Spinta dei sovraccarichi permanenti .....	46
9.7.4	Spinta dei sovraccarichi accidentali .....	46
<b>10</b>	<b>PARATIE .....</b>	<b>47</b>

Relazione Geotecnica Generale

RTI di progettazione:



Mandataria

Via G.B. Sammartini n°5  
20125 - Milano  
Tel. 02 6787911  
email: mail@proiter.it



Mandante

Via Artemide n°3  
92100 Agrigento  
Tel. 0922 421007  
email: deltaingegneria@pec.it

10.1	Metodologia di calcolo: condizioni statiche .....	47
10.1.1	Stato limite ultimo (SLU) .....	47
10.1.2	Stato Limite di Esercizio (SLE) .....	49
10.2	Metodologia di calcolo: condizioni sismiche .....	49
10.3	Spinta delle terre .....	52
10.3.1	Coefficiente di spinta a riposo .....	52
10.3.2	Coefficiente di spinta attiva in fase statica .....	52
10.3.3	Coefficiente di spinta passiva in fase statica .....	54
10.3.4	Coefficiente di spinta attiva in fase sismica .....	55
10.3.5	Coefficiente di spinta passiva in fase sismica .....	57
<b>11</b>	<b>FONDAZIONI SU PALI.....</b>	<b>59</b>
11.1	Verifica agli stati limite ultimi (SLU) .....	59
11.2	Resistenze di pali soggetti a carichi assiali.....	60
11.3	Resistenze di pali soggetti a carichi trasversali .....	60
11.4	Condizioni sismiche .....	61
11.5	Curve di capacità portante dei pali di fondazione.....	61
11.5.1	Capacità portante verticale .....	61
11.5.2	Capacità portante orizzontale .....	63
11.6	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio .....	66
<b>12</b>	<b>FONDAZIONI SU MICROPALI .....</b>	<b>67</b>
12.1	Verifiche agli Stati Limite Ultimi .....	67
12.2	Condizioni sismiche .....	68
12.3	Verifica di resistenza nei confronti dei carichi assiali .....	68
12.4	Verifica di resistenza nei confronti di carichi trasversali .....	69
12.5	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio .....	70
<b>13</b>	<b>APPENDICE 1 – TABULATI DI CALCOLO DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ DI RILEVATI E TRINCEE.....</b>	<b>71</b>
13.1	S20 – Sezione SS131 sud 23.....	71
13.2	S20 – Sezione SS131 sud 32.....	91
13.3	S21 – Sezione 50 Viabilità locale A .....	109
13.4	S13 – Sezione 80 .....	131
13.5	V02 – Sezione SP62-E-16.....	141
13.6	S17 – Sezione 119 .....	153

## 1 PREMESSA

La presente Relazione Geotecnica Generale è parte integrante del Progetto Esecutivo delle opere previste nell'ambito degli interventi di adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131 di "Carlo Felice" - 2° stralcio dal km 108+300 al km 158+000.

Lo stralcio progettuale oggetto di questo studio si colloca lungo il tratto della S.S.131 che va da Bauladu allo svincolo sud di Bonorva.

In particolare, gli interventi in progetto sono rappresentati dall'adeguamento di svincoli esistenti (svincoli di Paulilatino e di Macomer sud), dalla realizzazione di nuovi svincoli (nuovi svincoli di Paulilatino e di Mulargia-Macomer nord), dall'eliminazione o adeguamento degli accessi diretti alla S.S.131 che vengono risolti con la riqualificazione e l'adeguamento di strade locali esistenti, e, infine, dalla realizzazione di nuove viabilità accessorie, come ad esempio le viabilità di accesso alle aree archeologiche di Santa Cristina e Santa Barbara.

La presente relazione geotecnica generale si articola come segue:

- il capitolo **2** elenca la normativa e i documenti di riferimento del progetto esecutivo;
- il capitolo – riporta il riepilogo delle indagini geognostiche di riferimento;
- il capitolo **4** riporta il riepilogo dell'inquadramento geologico di riferimento;
- il capitolo **5** riporta il riepilogo della caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere previste in progetto;
- il capitolo **6** riporta il riepilogo la caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere previste in progetto.
- il capitolo **7** riporta il riepilogo delle verifiche di stabilità di rilevati e pendii per le stratigrafie di progetto considerate e per le differenti configurazioni geometriche maggiormente significative.
- il capitolo **8** riporta il riepilogo dell'analisi di caduta massi delle zone di potenziale distacco.

Successivamente è stata riportata la procedura metodologica seguita per l'esecuzione del calcolo e delle verifiche inerenti alle principali opere geotecniche presenti in progetto di seguito elencate:

- capitolo **9**: muri di sostegno;
- capitolo **10**: paratie;
- capitolo **11**: fondazioni su pali;
- capitolo **12**: fondazioni su micropali.

In **Appendice 1** (capitolo **13**) sono stati riportati i tabulati di calcolo delle verifiche di stabilità di rilevati e trincee effettuate sulle sezioni di maggior significatività.

## 2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 Normative e raccomandazioni tecniche

- **D.M. 14.01.2008** "Norme tecniche per le costruzioni".
- **Circ. 02.02.2009, n.617 C.S.LL.PP.** "Istruzione per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. del 14.01.2008.
- **Delibera Regione Autonoma della Sardegna n. 15/31 del 30.03.2004** "Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ordinanza P.C.M. 3274 del 20.3.2003".

### 2.2 Riferimenti bibliografici

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

### 2.3 Elaborati di progetto

Nella stesura della presente relazione si è fatto riferimento alla seguente documentazione di progetto:

- **T00GE00GEORE01A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – tomo I"
- **T00GE00GEORE02A** - "Documentazione indagini geognostiche preesistenti – tomo II"
- **T00GE00GEORE03A** - "Documentazione indagini geofisiche preesistenti"
- **T00GE00GEORE04A** - "Certificati prove di laboratorio preesistenti"
- **T00GE00GEORE05A** - "Documentazione indagini geognostiche – 2015/2016"
- **T00GE00GEORE06A** - "Documentazione indagini geofisiche – 2015/2016"
- **T00GE00GEORE07A** - "Certificati prove di laboratorio – 2015/2016"
- **T00GE00GEORE08B** - "Documentazione indagini geognostiche e geofisiche – 2019/2020"
- **T00GE00GEORE09C** - "Relazione geologica"
- **T00GE00GEOCO01B** - "Corografia ubicazione cave e siti di conferimento – Tav. 1/3"
- **T00GE00GEOCO02B** - "Corografia ubicazione cave e siti di conferimento – Tav. 2/3"
- **T00GE00GEOCO03B** - "Corografia ubicazione cave e siti di conferimento – Tav. 3/3"
- **T00GE00GEORE10B** - "Stralcio del piano di utilizzo delle terre e rocce da scavo"
- **T00GE00GEOPU01B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 1/8"
- **T00GE00GEOPU02B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOPU03B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOPU04B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOPU05B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOPU06B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOPU07B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOPU08B** - "Planimetria generale ubicazione indagini – Tav. 8/8"
- **T00GE00GEOPU09A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 1/8"

- **T00GE00GEOPU10A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOPU11A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOPU12A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOPU13A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOPU14A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOPU15A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOPU16A** - "Planimetria generale ubicazione indagini ambientali – Tav. 8/8"
- **T00GE00GEOCG01B** - "Carta geologica generale – Tav. 1/8"
- **T00GE00GEOCG02B** - "Carta geologica generale – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOCG03B** - "Carta geologica generale – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOCG04B** - "Carta geologica generale – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOCG05B** - "Carta geologica generale – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOCG06B** - "Carta geologica generale – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOCG07B** - "Carta geologica generale – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOCG08B** - "Carta geologica generale – Tav. 8/8"
- **T00GE00GEOCG09A** - "Carta geomorfologica generale – Tav. 1/8"
- **T00GE00GEOCG10A** - "Carta geomorfologica generale – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOCG11A** - "Carta geomorfologica generale – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOCG12A** - "Carta geomorfologica generale – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOCG13A** - "Carta geomorfologica generale – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOCG14A** - "Carta geomorfologica generale – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOCG15A** - "Carta geomorfologica generale – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOCG16A** - "Carta geomorfologica generale – Tav. 8/8"
- **T00GE00GEOCI01B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 1/8"
- **T00GE00GEOCI02B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOCI03B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOCI04B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOCI05B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOCI06B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOCI07B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOCI08B** - "Carta idrogeologica generale – Tav. 8/8"
- **T00GE00GETRE02A** - "Relazione sismica"
- **T00GE00GETCS01A** - "Planimetria con classificazione sismica del territorio"

## SVINCOLI E OPERE PRINCIPALI

### V04: Adeguamento svincolo di Paulilatino al Km 119+000

Relazione Geotecnica Generale

3

**RTI di progettazione:**



**Mandataria**

Via G.B. Sammartini n°5  
20125 - Milano  
Tel. 02 6787911  
email: mail@proiter.it



**Mandante**

Via Artemide n°3  
92100 Agrigento  
Tel. 0922 421007  
email: deltaingegneria@pec.it

- **V04GE00GEOPU01B** - "Planimetri ubicazione indagini"
- **V04GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **V04GE00GEOFG01B** - "Profili geologici nuove rampe A e D"
- **V04GE00GETFG01A** - "Profili geotecnici nuove rampe A e D"

V01: Nuovo svincolo di Paulilatino al Km 120+000

- **V01GE00GEOPU01B** - "Planimetri ubicazione indagini"
- **V01GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **V01GE00GEOCG02A** - "Carta geomorfologica"
- **V01GE00GEOFG01B** - "Profili geologici"
- **V01GE00GETFG01A** - "Profili geotecnici"

V03: Uscita area archeologica "Santa Cristina" al Km 114+500

- **V03GE00GEOPF01A** - "Carta geologica e sezioni"
- **V03GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

S02: Risoluzione accesso al Km 115+205

- **S02GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico ponte"
- **S02GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico ponte"
- **S02GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

S20: Risoluzione accessi al Km 122+000

- **S20GE00GEOPU01B** - "Planimetria ubicazione indagini"
- **S20GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **S20GE00GEOCG02A** - "Carta geomorfologica"
- **S20GE00GEOFG01B** - "Profili geologici assi principali SS131"
- **S20GE00GEOFG02B** - "Profili geologici viabilità poderali A e B"
- **S20GE00GETFG01A** - "Profili geotecnici assi principali SS131"
- **S20GE00GETFG02A** - "Profili geotecnici viabilità poderali A e B"
- **S20GE00GEOSG01B** - "Sezioni geologiche in asse ai ponti"
- **S20GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"



S21: Risoluzione accessi al Km 127+000

- **S21GE00GEOPU01B** - "Planimetria ubicazione indagini"
- **S21GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **S21GE00GEOCG02B** - "Carta geomorfologica"
- **S21GE00GEOFG01B** - "Profilo e sezione geologica"
- **S21GE00GETFG01A** - "Profilo e sezione geotecnica"

S07: Risoluzione accessi al Km 138+970

- **S07GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico"
- **S07GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico"
- **S07GE00GETRE01A** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

V10: Area archeologica "Santa Barbara" al Km 144+500

- **V10GE00GEOPF01B** - "Carta geologica e sezioni"
- **V10GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

V09: Adeguamento svincolo di Macomer al Km 142+500

- **V09GE00GEOPU01B** - "Planimetri ubicazione indagini"
- **V09GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **V09GE00GEOCG02B** - "Carta geomorfologica"
- **V09GE00GEOFG01A** - "Profili geologici rampe 2 e 4"
- **V09GE00GETFG01A** - "Profili geotecnici rampe 2 e 4"

S13: Risoluzione accessi dal Km 144+760 al Km 145+950

- **S13GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico ponte"
- **S13GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico ponte"
- **S13GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

V02: Nuovo svincolo di Mulargia-Macomer al Km 148+500

- **V02GE00GEOPU01B** - "Planimetria ubicazione indagini – Tav. 1/2"
- **V02GE00GEOPU02B** - "Planimetria ubicazione indagini – Tav. 2/2"
- **V02GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio – Tav. 1/2"

- **V02GE00GEOCG02B** - "Carta geologica di dettaglio – Tav. 2/2"
- **V02GE00GEOCG03B** - "Carta geomorfologica – Tav. 1/2"
- **V02GE00GEOCG04B** - "Carta geomorfologica – Tav. 2/2"
- **V02GE00GEOCI01B** - "Carta idrogeologica – Tav. 1/2"
- **V02GE00GEOCI02B** - "Carta idrogeologica – Tav. 2/2"
- **V02GE00GEOSG01B** - "Sezioni geologiche trasversali"
- **V02GE00GEOFG01B** - "Profilo geologico cavalcavia"
- **V02GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico cavalcavia"
- **V02GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

S17: Risoluzione accessi dal Km 151+850 al Km 154+950

- **S17GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico ponte Riu Temu"
- **S17GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico ponte Riu Temu"
- **S17GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

#### 3.1 Campagne di indagine di riferimento

Le aree di progetto sono state investigate attraverso diverse campagne di indagine geotecnica. L'ubicazione, la tipologia e i risultati di tali indagini è riportata negli elaborati di progetto **T00GE00GEORE09A** - "Relazione geologica" e negli elaborati **T00GE00GEORE01+08A** inerenti alle documentazioni delle indagini geognostiche, geofisiche e di laboratorio preesistenti e integrative del progetto definitivo ed esecutivo.

#### 3.2 Campagna di indagine integrativa 2019-2020

Al fine di una completa caratterizzazione geotecnica dei terreni, è stata prevista l'esecuzione di sondaggi geognostici a rotazione con carotaggio continuo, prove penetrometriche in foro di sondaggio di tipo SPT e prove sismiche di tipo down-hole per le seguenti aree d'indagine:

- in prossimità del km 115+205 (Paulilatino) – Ponticello PO07, opera S02;
- in prossimità del km 145+900 (Macomer) – Ponte PO05, opera S13.

La campagna, eseguita nel 2019 da Geotest S.r.l. / Servizi Geotecnici s.a.s., è consistita nell'esecuzione delle seguenti indagini:

- n° 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2) di lunghezza rispettivamente di 30 m e 25 m, con esecuzione di n° 10 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT (Standard Penetration Test) e prelievo di n° 1 campioni rimaneggiati di terreno da sottoporre a prove geotecniche di identificazione in laboratorio, di n°16 spezzoni di carota lapidea per l'esecuzione di prove geomeccaniche e n° 4 campioni indisturbati di terreno per le successive determinazioni di laboratorio;
- n°1 prospezione sismica down-hole (S1-DH) di lunghezza 30 m, per la determinazione della velocità delle onde P ed S ai fini della determinazione della categoria di sottosuolo sismica.

Poiché le prove di laboratorio svolte nel 2019 sono state eseguite da laboratorio privo di autorizzazione ministeriale di cui all'art. 59 DPR 380/01 e s.m.i., è stata necessaria l'esecuzione di ulteriori indagini integrative che sostituiscono in toto le precedenti, ad eccezione della sola valutazione stratigrafica.

Tali indagini integrative, svolte nell'anno 2020 in corrispondenza delle stesse aree sopracitate, sono consistite in:

- n.1 prova "down-hole" denominata S1-DHbis;
- n.1 sondaggio geognostico integrativo eseguito con tecnica a rotazione con distruzione di nucleo (S2bis) sino a profondità di 35 m dal p.c., n. 8 prove penetrometriche e n.3 prelievo di campioni indisturbati per le determinazioni di laboratorio.

Per i dettagli di tali campagne si rimanda all'elaborato **T00GE00GEORE08B** - "Documentazione indagini geognostiche e geofisiche – 2019/2020".

### 3.2.1 Opera S02 – Ponticello idraulico PO07, al km 115+505

In corrispondenza dell'opera S02 è stato realizzato il sondaggio geognostico **S1** (30.0 m), con esecuzione di n° 2 prove SPT. In corrispondenza del sondaggio S1 è stata eseguita una prospezione geofisica di tipo down-hole denominata **S1-DHbis** (30.0 m) per la determinazione delle Vs del terreno.

### 3.2.2 Opera S13 – Ponticello idraulico PO05, al km 155+950

In corrispondenza dell'opera S13 è stato realizzato il sondaggio geognostico **S2** (25.0 m) e il sondaggio geognostico integrativo **S2bis** (35.0 m), con esecuzione di n. 8 prove penetrometriche e n.3 prelievo di campioni indisturbati per le determinazioni di laboratorio

## 4 QUADRO STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO

L'inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico generale del sito è ricavabile dalla documentazione geologica di progetto esecutivo di cui al punto 2.3. Analogamente, le condizioni stratigrafiche di riferimento per il sottosuolo del progetto in esame sono state rappresentate negli elaborati di progetto di ciascuna opera, a cui si rimanda (cfr. punto 2.3).

Il 2° stralcio della S.S. 131 interessato dagli interventi di adeguamento e messa in sicurezza attraversa gli ambiti geologico-geomorfologici di seguito brevemente descritti:

- Un tratto meridionale, a partire dal km 108 fino al km 145 circa, si sviluppa in corrispondenza dell'Altopiano di Abbasanta, rappresentato da un esteso **plateau basaltico**, originatosi dalla messa in posto dei termini effusivi riferiti al Ciclo vulcanico plio-pleistocenico. Essi sono rappresentati principalmente da basalti alcalini e transizionali, andesiti basaltiche e basalti subalcalini, appartenenti alla Complesso della Campeda-Planargia;
- Un tratto centrale, dal km 145 fino al km 148 circa, caratterizzato dalla dorsale collinare della Catena del Marghine e del Monte di Sant'Antonio, posta immediatamente a nordest di Macomer la cui struttura è composta dai **depositi ignimbrici** (prevalenti) e **piroclastici** (subordinati), appartenenti al Ciclo Vulcanico Calco-alcalino oligo-miocenico. La dorsale collinare separa i due grandi plateau basaltici, riconducibili all'Altopiano di Abbasanta, a sud, e di Campeda, a nord;
- Il tratto settentrionale, che si estende dal km 142+500 al km 160+000 circa, si sviluppa, prevalentemente, in corrispondenza dell'Altopiano di Campeda, altro **plateau basaltico** costituito dalle formazioni effusive precedentemente descritte, che costituiscono la terminazione settentrionale dell'espansione basaltica plio-pleistocenica appartenente al Complesso della Campeda-Planargia.

Per il modello geologico di riferimento e di interazione con le opere più significative si rimanda al capitolo 11 dell'elaborato **T00GE00GEORE09** – "Relazione geologica".

## 5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Per il quadro sismo-tettonico di riferimento, la sismicità storica del territorio sardo e in generale la caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere si rimanda all'elaborato **T00GE00GETRE02 – "Relazione Sismica"**.

Di seguito, si riporta un riepilogo della caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione per ciascuna opera principale in progetto.

### 5.1 Caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere principali: riepilogo

Nella tabella sottostante si riassumono, per ciascuna opera ricadente all'interno dello stralcio II, i parametri necessari per la definizione dell'azione sismica.

Opera	Stato limite	V <sub>N</sub> (anni)	C <sub>u</sub>	T <sub>R</sub> (anni)	Categoria di sottosuolo	S <sub>S</sub>	S <sub>T</sub>	S	a <sub>max</sub> (g)
<b>S13</b> (Ponte alla p.k. 145+900)	SLV	50	2,0	949	<b>B</b>	1,2	1,0	1,2	0,072
<b>S17</b> (Ponte alla p.k. 154+495)	SLV	50	2,0	949	<b>A</b>	1,0	1,0	1,0	0,060
<b>S07</b> (Ponte alla p.k. 138+600)	SLV	50	2,0	949	<b>A</b>	1,0	1,0	1,0	0,060
<b>V02</b> (Cavalcavia alla p.k. 148+500)	SLV	50	2,0	949	<b>C</b>	1,5	1,0	1,5	0,090
<b>V03</b> (Muro al km 114+500)	SLV	50	2,0	949	<b>A</b>	1,0	1,0	1,0	0,060
<b>S02</b> (Ponte al km 115+205)	SLV	50	2,0	949	<b>B</b>	1,2	1,0	1,2	0,060
<b>V10</b> (Muro al km 144+500)	SLV	50	2,0	949	<b>B</b>	1,2	1,0	1,2	0,072
<b>S20</b> (Ponte PO01 sul Riu Pitziu al km 122+015)	SLV	50	2,0	949	<b>E</b>	1,6	1,0	1,6	0,096
<b>S20</b> (Ponte PO02 sul Riu Mannu al km 122+400)									
<b>S20</b> (Muro OS01 da p.k. 0+430 a p.k. 0+964)									
<b>S20</b> (Muro OS02 da p.k. 0+998 a p.k. 1+028)									
<b>S20</b> (Muro OS03 da p.k. 1+050 a p.k. 1+098)									
<b>S21</b> (Ponte PO01 sul Riu Bonorchis al km 127+625)	SLV	50	2,0	949	<b>A</b>	1,0	1,0	1,0	0,060

## 6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Il presente capitolo descrive la caratterizzazione geotecnica delle principali unità litostratigrafiche individuate lungo il tracciato stradale.

Gli interventi di carattere geotecnico sono ubicati a distanze dell'ordine del km l'uno dall'altro. Per la caratterizzazione geotecnica delle opere principali, pertanto, si rimanda alle specifiche relazioni geotecniche e di calcolo. In particolare, di seguito, per ciascuna opera, si riporta il codice dell'elaborato di riferimento.

- **V03GE00GETRE01** - "Relazione geotecnica e di calcolo"
- **S02GE00GETRE01** - "Relazione geotecnica e di calcolo"
- **S20GE00GETRE01** - "Relazione geotecnica e di calcolo"
- **S07GE00GETRE01** - "Relazione geotecnica e di calcolo"
- **V10GE00GETRE01** - "Relazione geotecnica e di calcolo"
- **S13GE00GETRE01** - "Relazione geotecnica e di calcolo"
- **V02GE00GETRE01** - "Relazione geotecnica e di calcolo"
- **S17GE00GETRE01** - "Relazione geotecnica e di calcolo"

### 6.1 Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere principali: riepilogo

Nella tabella sottostante si riassumono, per ciascuna opera ricadente all'interno dello stralcio II, i parametri geotecnici attribuiti in relazione alla propria unità geotecnica di riferimento.

Le principali unità geotecniche coinvolte negli interventi all'interno dello stralcio II sono le seguenti:

- Coltre eluvio-colluviale **C** (ghiaioso-sabbiosa) - dei basalti e delle piroclastiti sottostanti;
- Basalti alterati **BA** - basalti fratturati e alterati del complesso della Campeda-Planargia;
- Basalti non alterati **B** - basalti del complesso della Campeda-Planargia;
- Piroclastiti alterate **PA** - depositi ignimbrici e piroclastici fratturati e alterati del ciclo vulcanico oligo-miocenico;
- Piroclastiti **P** - depositi ignimbrici e piroclastici del ciclo vulcanico oligo-miocenico;

	Uscita area archeologica "Santa Cristina" al km 114+500	Risoluzione accesso al km 115+205	Risoluzione accessi al km 122+000	Risoluzione accessi al km 127+000	Risoluzione accessi al km 138+970	Area archeologica "S. Barbara" al km 144+500	Risoluzione accessi dal km 144+760 al km 145+950	Nuovo svincolo di Mulargia-Macomer al km 148+500	Risoluzione accessi dal km 151+850 al km 154+950
	V03	S02	S20	S21	S07	V10	S13	V02	S17
Opere d'arte	OS01	PO07	OS01, OS02, OS03 PO01, PO02	PO03	PO04	OS01	PO05, TM06	CV02, OS01	PO06
Categoria sismica	A	B	E	A	A	B	B	C	A

Unità geotecniche	Coltre eluvio-colluviale "C"	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	
		$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$
		$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$
		$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$
	Basalti alterati "BA"	$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$				$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$
		$c' = 0 \text{ KPa}$	$c' = 0 \text{ KPa}$	$c' = 0 \text{ KPa}$	$c' = 0 \text{ KPa}$	$c' = 0 \text{ KPa}$	$c' = 0 \text{ KPa}$				$c' = 0 \text{ KPa}$
		$\phi' = 34^\circ$	$\phi' = 34^\circ$	$\phi' = 34^\circ$	$\phi' = 34^\circ$	$\phi' = 34^\circ$	$\phi' = 34^\circ$				$\phi' = 34^\circ$
		$\tau = 180 - 200 \text{ KPa}$	$\tau = 180 - 200 \text{ KPa}$	$\tau = 180 - 200 \text{ KPa}$	$\tau = 180 - 200 \text{ KPa}$	$\tau = 180 - 200 \text{ KPa}$	$\tau = 180 - 200 \text{ KPa}$				$\tau = 180 - 200 \text{ KPa}$
	Basalti non alterati "B"	$\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$				$\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$
		$c' = 50 \text{ KPa}$	$c' = 50 \text{ KPa}$	$c' = 50 \text{ KPa}$	$c' = 50 \text{ KPa}$	$c' = 50 \text{ KPa}$	$c' = 50 \text{ KPa}$				$c' = 50 \text{ KPa}$
		$\phi' = 40^\circ$	$\phi' = 40^\circ$	$\phi' = 40^\circ$	$\phi' = 40^\circ$	$\phi' = 40^\circ$	$\phi' = 40^\circ$				$\phi' = 40^\circ$
		$\tau = 200 - 250 \text{ KPa}$	$\tau = 200 - 250 \text{ KPa}$	$\tau = 200 - 250 \text{ KPa}$	$\tau = 200 - 250 \text{ KPa}$	$\tau = 200 - 250 \text{ KPa}$	$\tau = 200 - 250 \text{ KPa}$				$\tau = 200 - 250 \text{ KPa}$
	Piroclastiti alterate "PA"							$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$		
								$c' = 5 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 5 - 10 \text{ KPa}$		
								$\phi' = 28 - 30^\circ$	$\phi' = 28 - 30^\circ$		
								$E' = 20 - 100 \text{ MPa}$	$E' = 20 - 100 \text{ MPa}$		
	Piroclastiti "P"							$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$		
								$c' = 30 - 50 \text{ KPa}$	$c' = 30 - 50 \text{ KPa}$		
								$\phi' = 30 - 33^\circ$	$\phi' = 30 - 33^\circ$		
								$E' > 100 \text{ MPa}$	$E' > 100 \text{ MPa}$		



## 7 VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE SEZIONI IN RILEVATO E TRINCEA

### 7.1 Premessa

Nel presente capitolo vengono definite le metodologie e i risultati delle verifiche di stabilità eseguite sulle sezioni in rilevato e sulle sezioni in trincea della sede stradale di progetto.

Le analisi illustrate in seguito sono state svolte valutando la stabilità delle sezioni di rilevato di maggiore altezza, sulla base della stratigrafia geotecnica e la stabilità delle sezioni in trincea non sostenute da opere di sostegno.

Per maggiori dettagli sull'ubicazione delle sezioni e relativi profili geotecnici si rimanda ai seguenti elaborati:

#### S20: Risoluzione accessi al Km 122+000

- **S20GE00GEOPU01B** - "Planimetria ubicazione indagini"
- **S20GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **S20GE00GEOFG01B** - "Profili geologici assi principali SS131"
- **S20GE00GEOFG02B** - "Profili geologici viabilità poderali A e B"
- **S20GE00GETFG01A** - "Profili geotecnici assi principali SS131"
- **S20GE00GETFG02A** - "Profili geotecnici viabilità poderali A e B"
- **S20GE00GEOSG01B** - "Sezioni geologiche in asse ai ponti"

#### S21: Risoluzione accessi al Km 127+000

- **S21GE00GEOPU01B** - "Planimetria ubicazione indagini"
- **S21GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio"
- **S21GE00GEOFG01B** - "Profilo e sezione geologica"
- **S21GE00GETFG01A** - "Profilo e sezione geotecnica"

#### S13: Risoluzione accessi dal Km 144+760 al Km 145+950

- **S13GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico ponte"
- **S13GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico ponte"

#### V02: Nuovo svincolo di Mulargia-Macomer al Km 148+500

- **V02GE00GEOCG01B** - "Carta geologica di dettaglio – Tav. 1/2"
- **V02GE00GEOCG02B** - "Carta geologica di dettaglio – Tav. 2/2"
- **V02GE00GEOSG01B** - "Sezioni geologiche trasversali"
- **V02GE00GEOFG01B** - "Profilo geologico cavalcavia"
- **V02GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico cavalcavia"

#### S17: Risoluzione accessi dal Km 151+850 al Km 154+950

- **S17GE00GEOPF01B** - "Planoprofilo geologico ponte Riu Temu"
- **S17GE00GETFG01A** - "Profilo geotecnico ponte Riu Temu"

Le sezioni individuate per le analisi di stabilità sono state preliminarmente oggetto di analisi per la ricostruzione geologico-stratigrafica e rappresentate successivamente negli elaborati stradali di

riferimento per ciascuna opera. In particolare, si è fatto riferimento alle seguenti sezioni:  
**S20PS00TRASZ01÷02C, S21PS00TRASZ01÷02C, S13PS00TRASZ01÷02C, V02PS00TRASZ01÷02C, S17PS00TRASZ01÷02C.**

## 7.2 Generalità sulle verifiche di stabilità globale

Le verifiche di stabilità sono state eseguite nel rispetto della normativa vigente, in particolare:

- Decreto Ministeriale del 14/01/2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n. 29 del 04/02/2008, Supplemento Ordinario n.30.
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Le norme suddette indicano che debba essere soddisfatta la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  rappresenta il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione e  $R_d$  rappresenta il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

L'approccio seguito per ottenere le azioni e le resistenze di progetto è l'Approccio 1, in particolare è stata applicata la Combinazione 2: A2+M2+R2, in cui:

- A2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali  $\gamma_F$  da applicare alle azioni o all'effetto delle azioni (Tabella 6.2.I DM 14/01/2008);
- M2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali  $\gamma_M$  da applicare ai parametri del terreno (Tabella 6.2.II DM 14/01/2008);
- R2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche di sicurezza (Tabella 6.8.I DM 14/01/2008).

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_F$	1.0	1.0
	Sfavorevole	$\gamma_{G1}$	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	$\gamma_Q$	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3

**Tabella 1 - DM 14.01.2008: Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto di azioni**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFF. PARZ.	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_\phi$	1.0	1.25
Coesione	$c'_k$	$\gamma_c$	1.0	1.25

efficace				
Resistenza non drenata	$c'_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1.0	1.0

**Tabella 2** - DM 14.01.2008: Tabella 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

### 7.2.1 Verifiche di stabilità in condizioni statiche

Le analisi sono state eseguite in condizioni a lungo termine, considerando i parametri del terreno in condizioni drenate.

Il sovraccarico stradale è stato posto pari al valore caratteristico 20 KPa amplificato per il coefficiente A2 corrispondente ai carichi variabili sfavorevoli (carico totale:  $20 \times 1.3 = 26$  KPa, cfr. **Tabella 1**).

I parametri geotecnici sono stati abbattuti con i coefficienti parziali M2 secondo quanto definito nel D.M. 14.01.2008 per l'Approccio 1 Combinazione 2 precedentemente definito (cfr. **Tabella 2**).

I fattori di sicurezza globali risultanti dalle verifiche sono stati confrontati con il coefficiente parziale  $\gamma_R$  valido per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo (cfr. **Tabella 3**).

COEFFICIENTE	R2
$\gamma_R$	1.1

**Tabella 3** - DM 14.01.2008: Tabella 6.8.I - Coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo in condizioni statiche

### 7.2.2 Verifiche di stabilità in condizioni sismiche

Anche in questo caso le analisi sono state eseguite in condizioni a lungo termine, considerando i parametri del terreno in condizioni drenate.

In fase sismica, come previsto dalle NTC 2008, si sono posti pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici.

Le verifiche del raggiungimento della condizione di Stato Limite Ultimo (SLU) sono state quindi sviluppate considerando le seguenti condizioni di analisi:

#### Condizione sismica: SISMA +

- Accelerazione sismica orizzontale, accelerazione sismica verticale diretta verso il basso;
- Sovraccarico stradale pari al valore caratteristico di 20 KPa ridotto per il coefficiente  $\psi_2$  (carico totale:  $20 \times 0.2 = 4$  KPa).

#### Condizione sismica: SISMA -

- Accelerazione sismica orizzontale, accelerazione sismica verticale diretta verso l'alto;
- Sovraccarico stradale pari al valore caratteristico di 20 KPa ridotto per il coefficiente  $\psi_2$  (carico totale:  $20 \times 0.2 = 4$  KPa).

La stabilità in condizioni sismiche è stata eseguita secondo il metodo pseudostatico che consente di rappresentare l'azione sismica mediante un'azione statica equivalente, costante nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

Come indicato in precedenza nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLV) le componenti orizzontali e verticali di tale forza possono essere definite come di seguito indicato:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale, variabili a seconda del tipo di categoria di sottosuolo e topografia caratterizzante ciascuna sezione analizzata (variabilità di  $a_{max}$  per SLV), nelle combinazioni seguenti:

- **Categoria A+T1:**  $k_h = \beta_s a_{max}/g = 0.012$ ;  $k_v = \pm 0.5 k_h = 0.006$ .
- **Categoria B+T1:**  $k_h = \beta_s a_{max}/g = 0.014$ ;  $k_v = \pm 0.5 k_h = 0.007$ .
- **Categoria C+T1:**  $k_h = \beta_s a_{max}/g = 0.018$ ;  $k_v = \pm 0.5 k_h = 0.009$ .
- **Categoria E+T1:**  $k_h = \beta_s a_{max}/g = 0.019$ ;  $k_v = \pm 0.5 k_h = 0.010$ .

Nel caso dei fronti di scavo e dei rilevati, si utilizza sempre il metodo pseudo-statico e i valori dei coefficienti sismici  $k_h$  e  $k_v$ , da utilizzare nelle verifiche geotecniche, sono stati ottenuti a partire da una accelerazione orizzontale massima su suolo rigido calcolata in funzione di uno stato limite tipo **SLV – Stato Limite di salvaguardia della Vita** (cfr. Tab. C7.1.I delle *Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni* – Circolare 2 febbraio 2009, n.617 Consiglio Sup. LL.PP). Il valore del coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito  $\beta_s$  da utilizzare nel caso specifico risulta il seguente:

$a_g$	$\beta_s$ - Categoria di sottosuolo A, B, C, E
$a_g \leq 0.1$	0.20

### 7.2.3 Software di calcolo

Le verifiche di stabilità sono state condotte con il programma di calcolo *SLIDE 6.0*, che utilizza, nell'ambito dei metodi all'equilibrio limite per conci, diversi modelli di calcolo, sulla base dei quali il programma consente di calcolare il coefficiente di sicurezza per una singola superficie di rottura imposta dall'utente, oppure di ricercare in maniera automatica la superficie critica, mediante una tecnica di generazione casuale.

Al fine di valutare le condizioni di stabilità dei rilevati sono state condotte analisi di stabilità con il *metodo di Bishop*, basato sull'equilibrio dei momenti e delle forze verticali, con risultante delle forze tra i conci contigui assunta orizzontale. Le analisi sono state condotte con ricerca automatica della superficie critica.

### 7.3 Condizioni di falda

Nelle verifiche di stabilità dei rilevati più alti in corrispondenza dei ponticelli sui corsi d'acqua (Riu Pitziu e Riu Mannu nella wbs S20, Riu Bonorchis nella wbs S21 e Riu Temu nella wbs S17), il livello piezometrico della falda è stato posto cautelativamente a piano campagna, in considerazione degli eventi di piena potenzialmente in grado di saturare il terreno di fondazione dei rilevati.

Per quanto riguarda invece il rilevato in corrispondenza del cavalcavia CV02 nella wbs V02, il livello piezometrico della falda è stato posto ad una profondità di 11.7 m da p.c., come risulta dalle indagini eseguite.

#### 7.4 Risultati

Nelle sezioni analizzate sono state ricostruite le situazioni geologico-strutturali e morfologiche originarie, come detto in precedenza (cfr. **S20PS00TRASZ01÷02C**, **S21PS00TRASZ01÷02C**, **S13PS00TRASZ01÷02C**, **V02PS00TRASZ01÷02C**, **S17PS00TRASZ01÷02C**) e le analisi di stabilità sono state eseguite sia in condizioni statiche sia sismiche.

In **Appendice 1 (Capitolo 13)** vengono riportati i tabulati di calcolo completi per le verifiche di stabilità di tutti i fronti di scavo in oggetto.

Di seguito vengono riportati i risultati delle verifiche di stabilità globale per i rilevati stradali e per le sezioni in trincea. In particolare, sono riportati i valori del *fattore di sicurezza*  $FS_{min}$  per i casi analizzati e relativi a superfici di scorrimento calcolate secondo il sopracitato metodo di Bishop.

Nella tabella seguente (cfr. **Tabella 4**) sono riportati i risultati di sintesi delle verifiche di stabilità globale effettuate per le diverse sezioni di calcolo.

WBS	Sezione di progetto	Fase statica	Fase sismica $k_v \downarrow$	Fase sismica $k_v \uparrow$
<b>S20</b>	SS131 sud 23	1,18	1,20	1,20
<b>S20</b>	SS131 sud 32	1,13	1,12	1,33
<b>S21</b>	50 Viab. A	1,14	1,14	1,14
<b>S13</b>	80	1,68	1,63	1,64
<b>V02</b>	SP62-E-16	1,23	1,18	1,18
<b>S17</b>	119	1,11	1,12	1,12

**Tabella 4** – Verifiche di stabilità: sintesi risultati in termini di coefficiente di sicurezza  $FS_{min}$

7.4.1 S20 - Sezione SS131 sud 23 – Rilevato alla p.k. 0+380 (h=4.6 m)

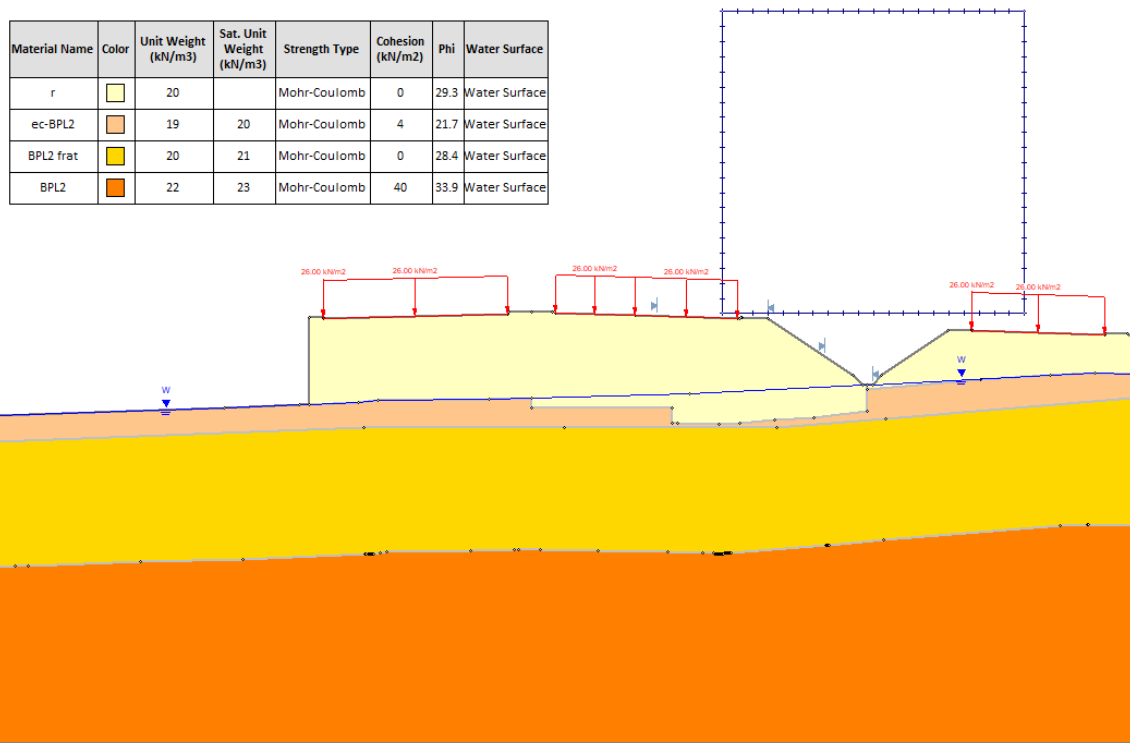


Figura 1 - Rilevato alla p.k. 0+380 - Modello di calcolo

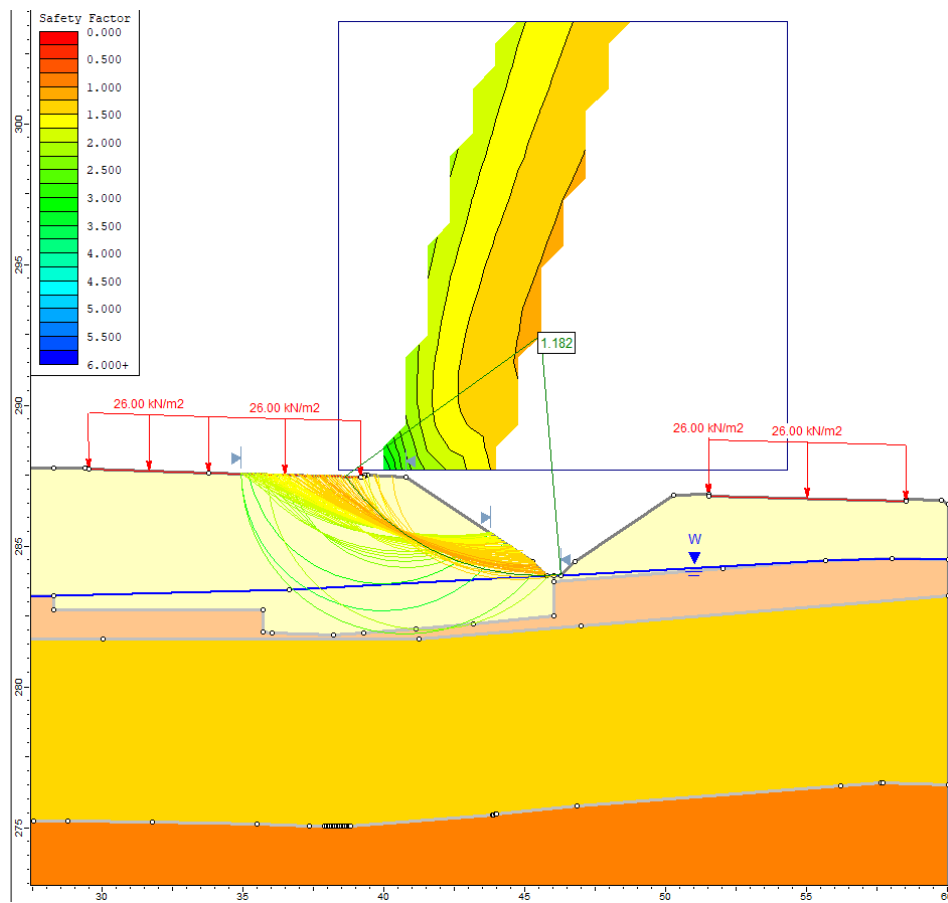


Figura 2 – Rilevato alla p.k. 0+380- Verifica in condizioni statiche: risultati

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kN/m <sup>2</sup> )	Phi	Water Surface
r		20		Mohr-Coulomb	0	29.3	Water Surface
ec-BPL2		19	20	Mohr-Coulomb	4	21.7	Water Surface
BPL2 frat		20	21	Mohr-Coulomb	0	28.4	Water Surface
BPL2		22	23	Mohr-Coulomb	40	33.9	Water Surface

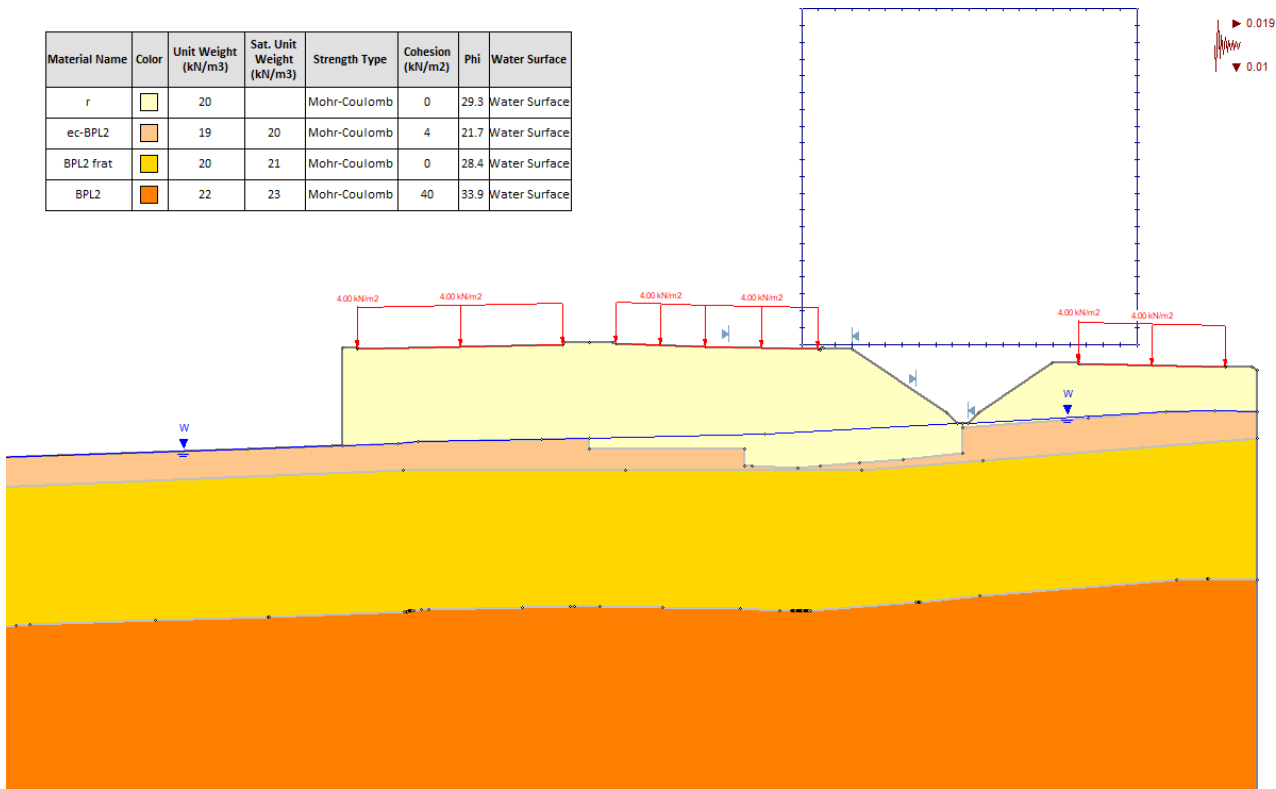


Figura 3 – Rilevato alla p.k. 0+380- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): modello di calcolo

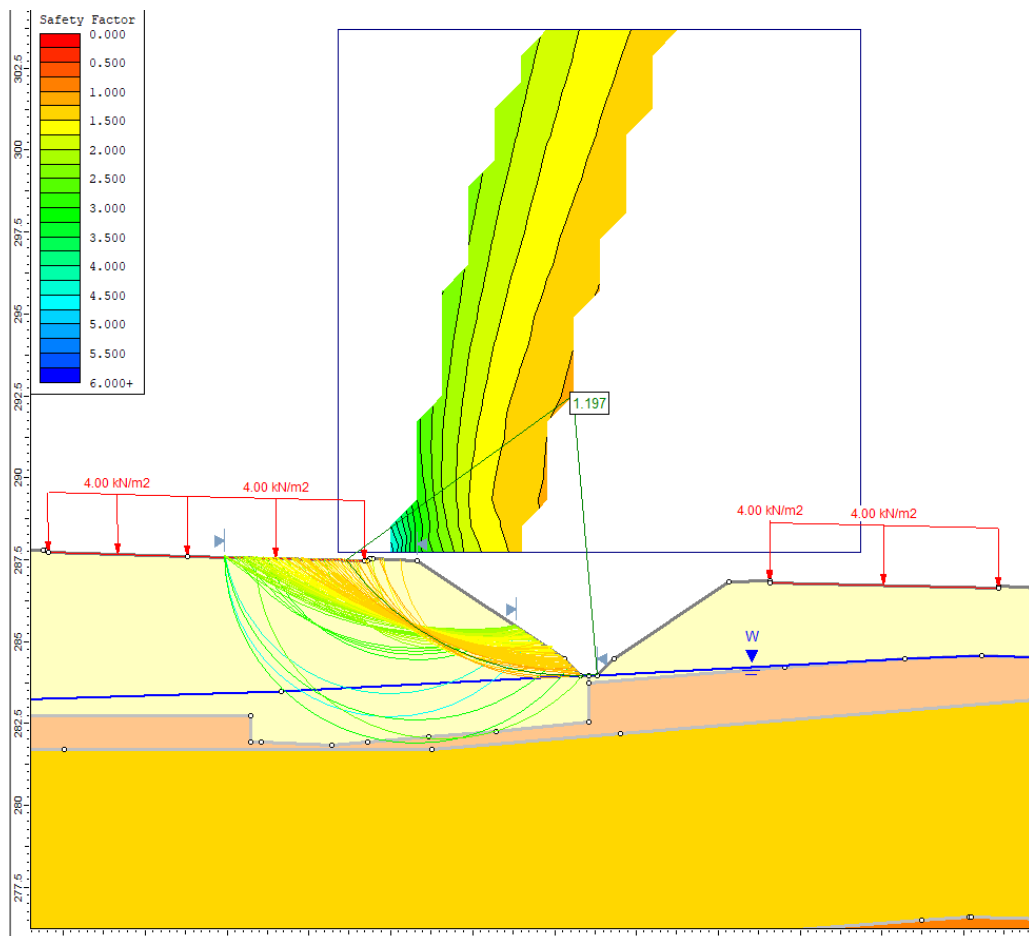


Figura 4 – Rilevato alla p.k. 0+380- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): risultati

7.4.2 S20 - Sezione SS131 sud 32 – Rilevato alla p.k. 0+560 (h=4.0 m)

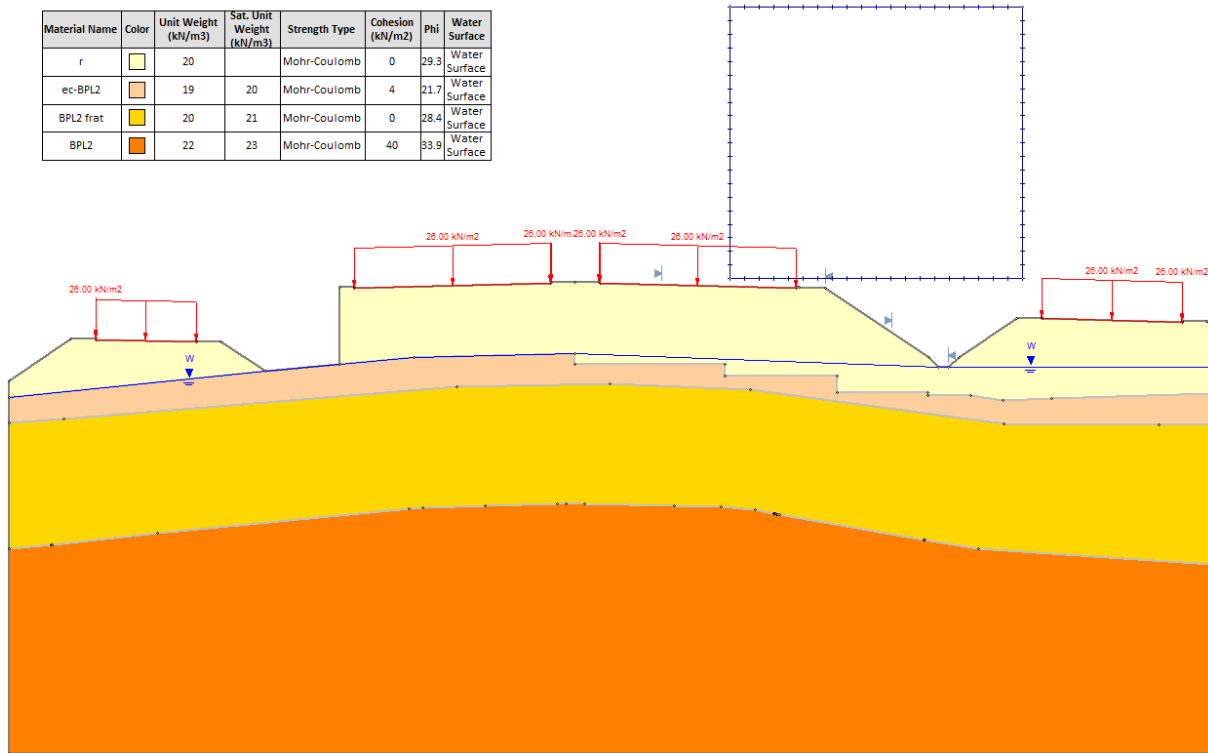


Figura 5 – Rilevato alla p.k. 0+560 - Modello di calcolo

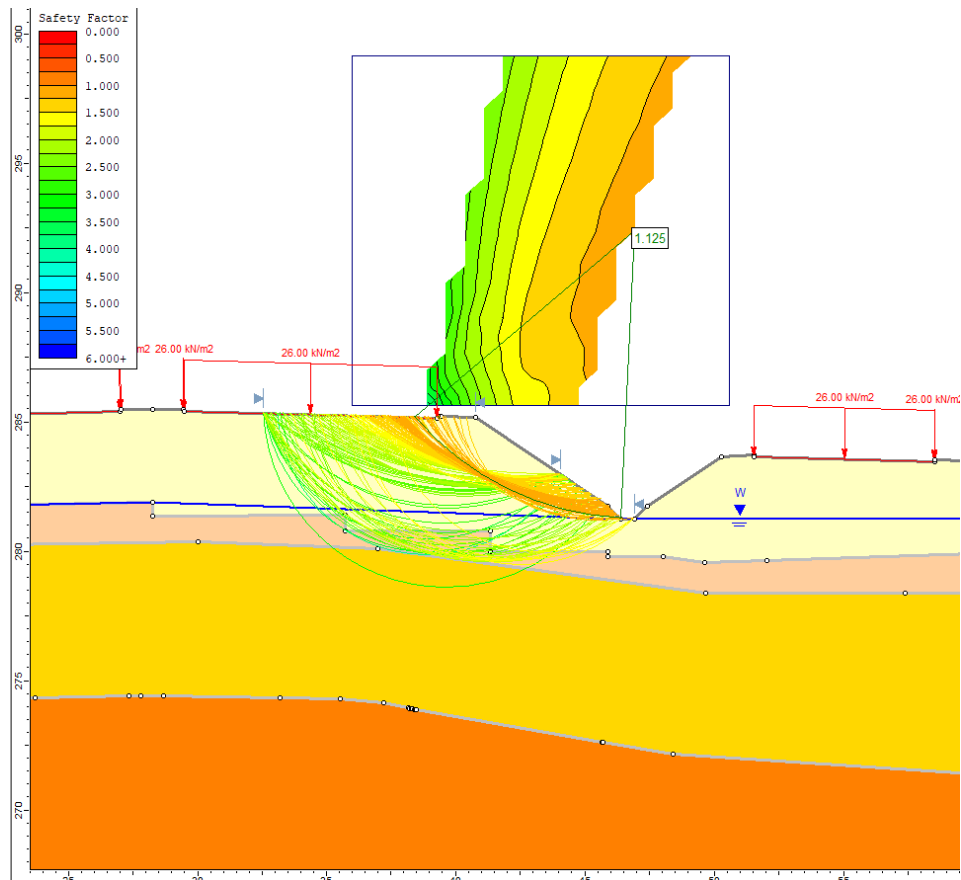


Figura 6 - Rilevato alla p.k. 0+560 - Verifica in condizioni statiche: risultati



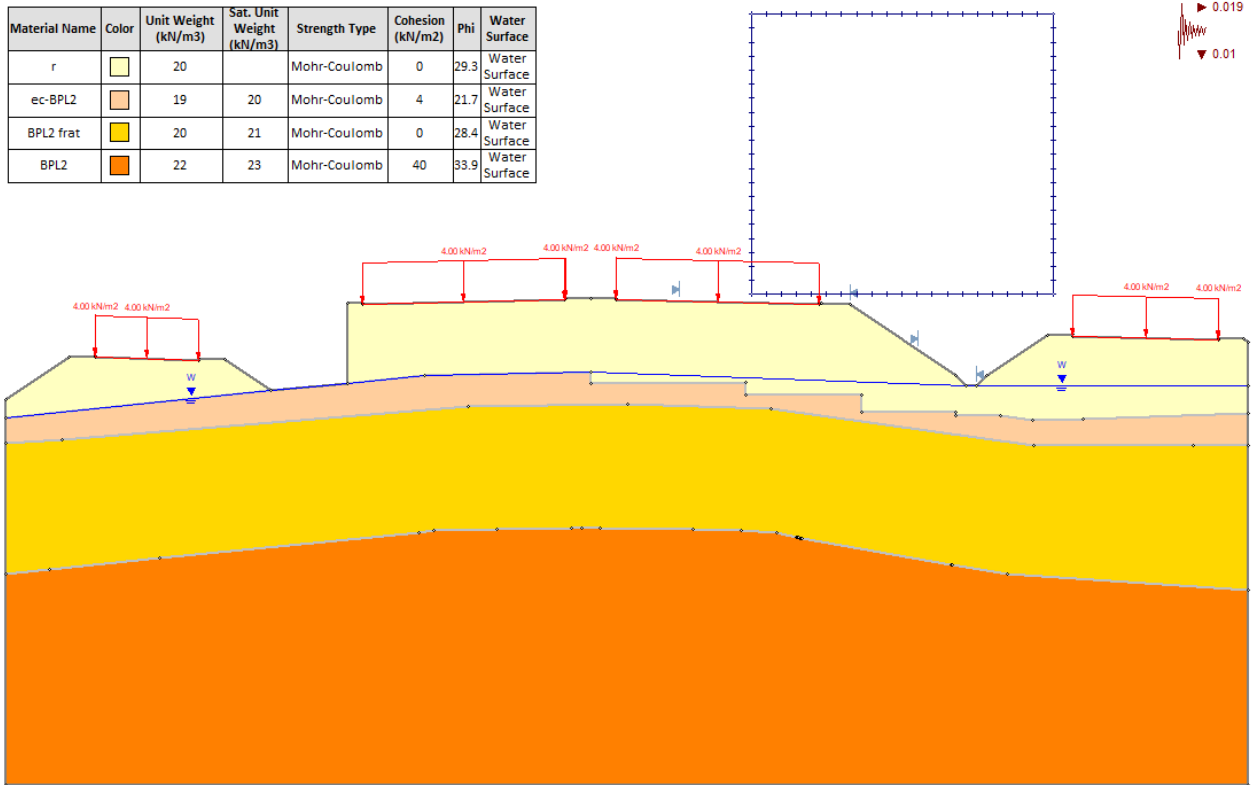


Figura 7 - Rilevato alla p.k. 0+560- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): modello di calcolo

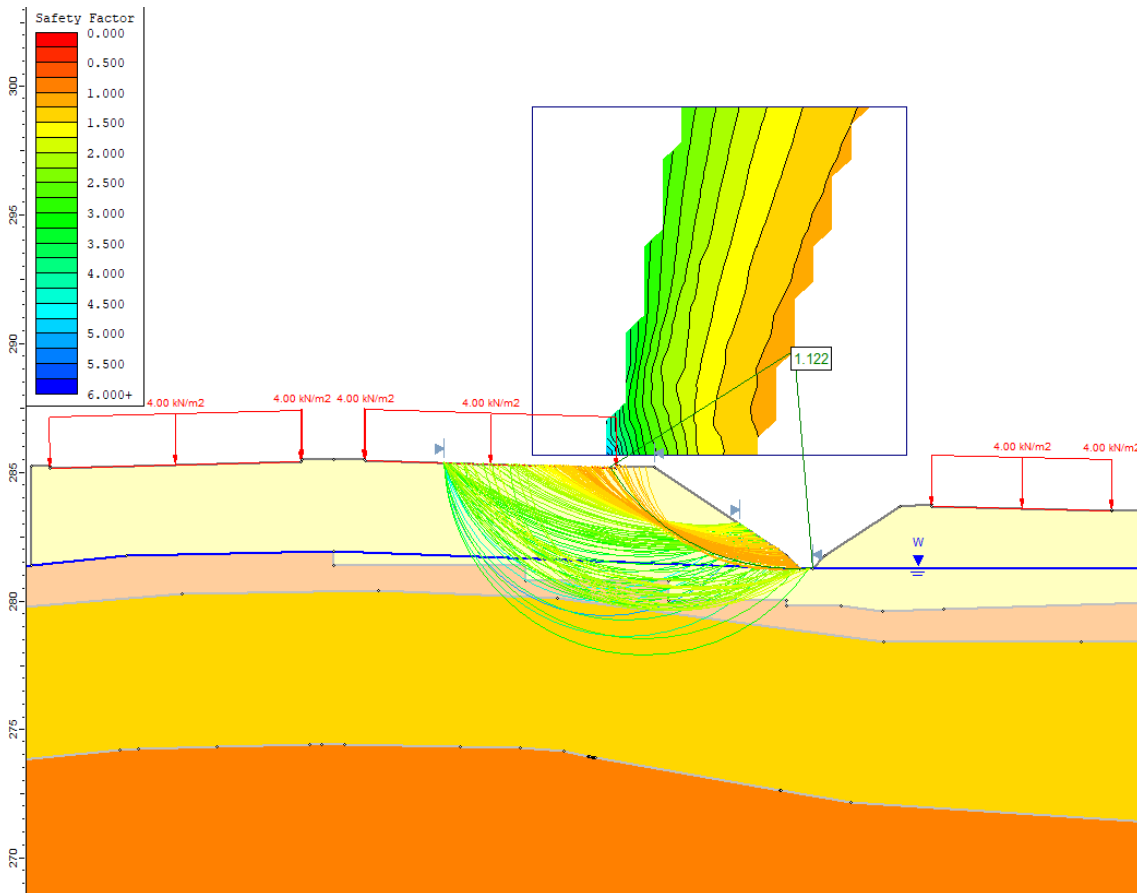


Figura 8 - Rilevato alla p.k. 0+560- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): risultati

7.4.3 S21 - Sezione 50 Viabilità locale A – Rilevato alla p.k. 0+820 (h=4.0 m)

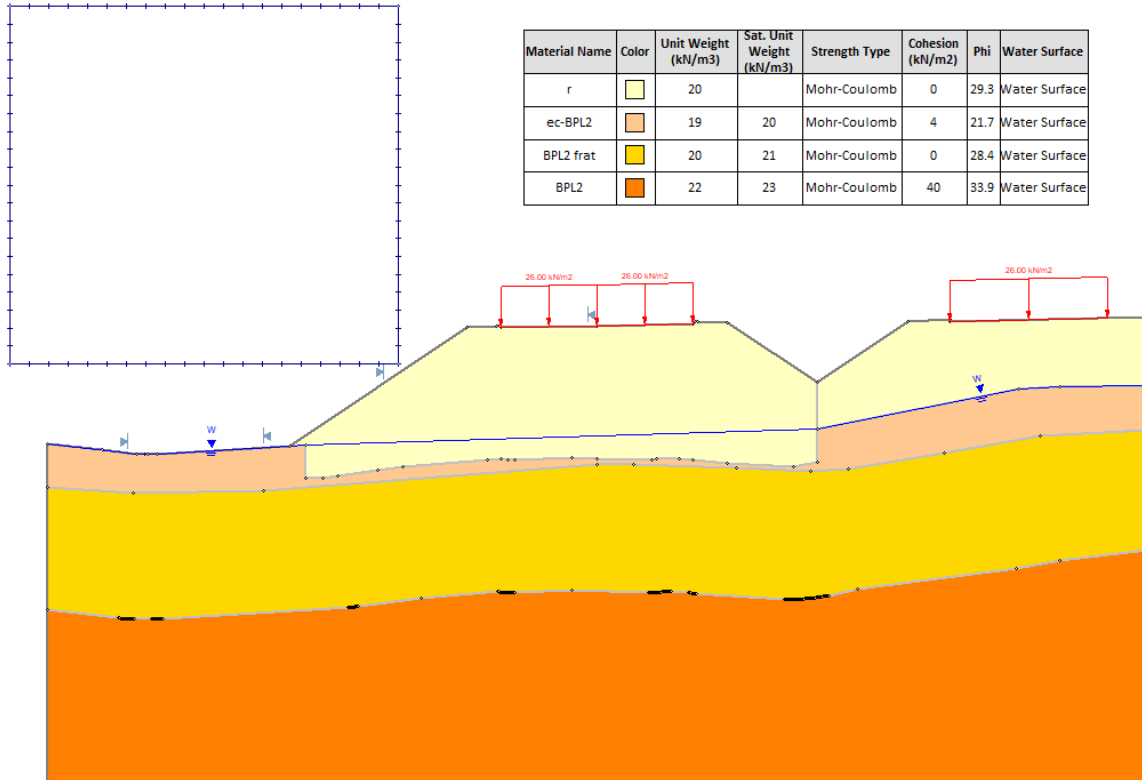


Figura 9 – Rilevato alla p.k. 0+820 - Modello di calcolo

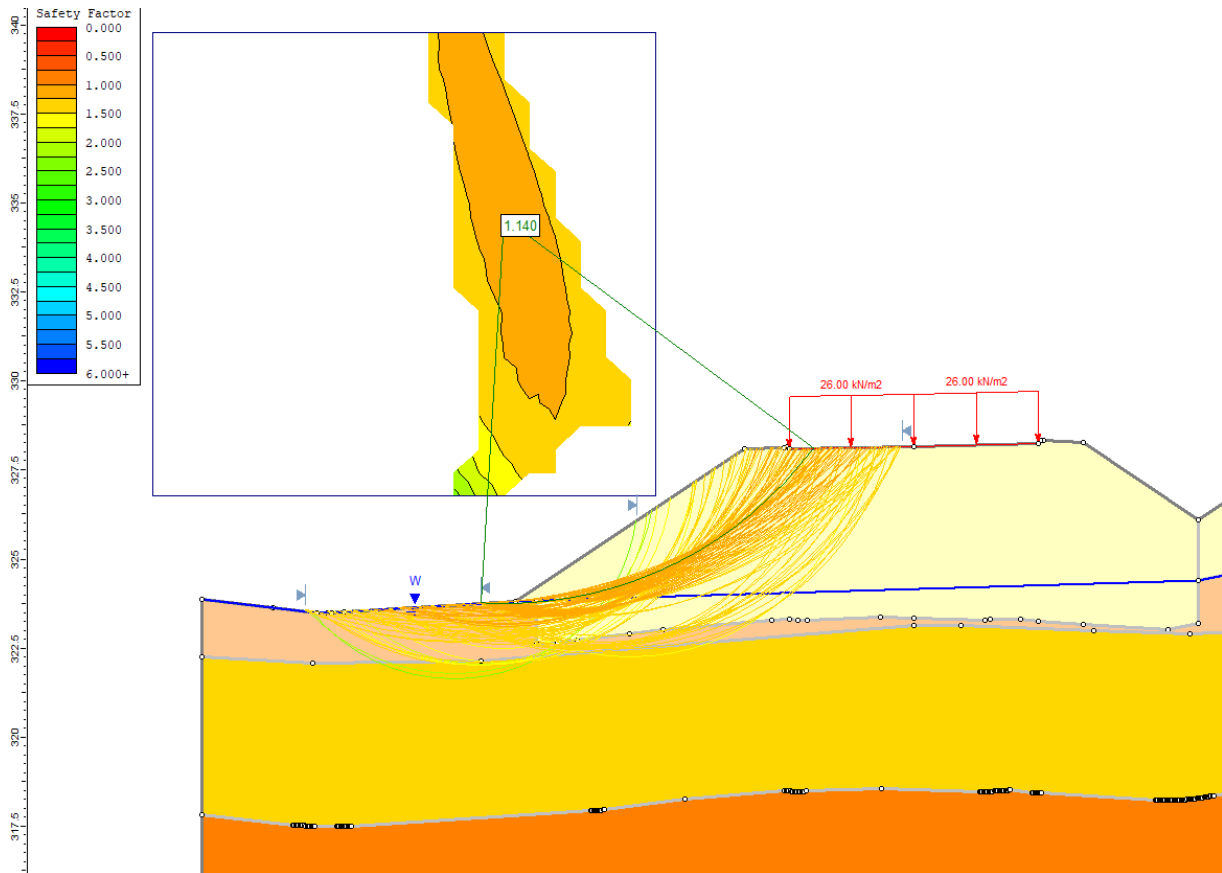


Figura 10 – Rilevato alla p.k. 0+820 - Verifiche in condizioni statiche: risultati

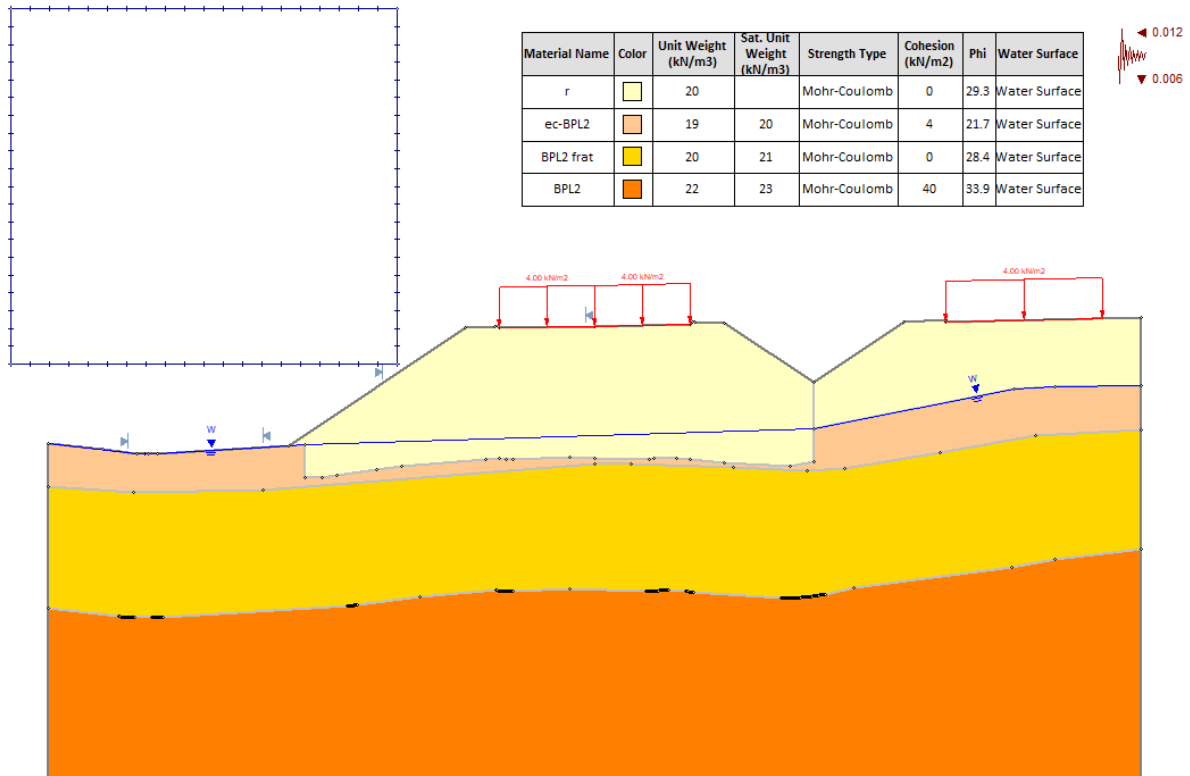


Figura 11 - Rilevato alla p.k. 0+820 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): modello calcolo

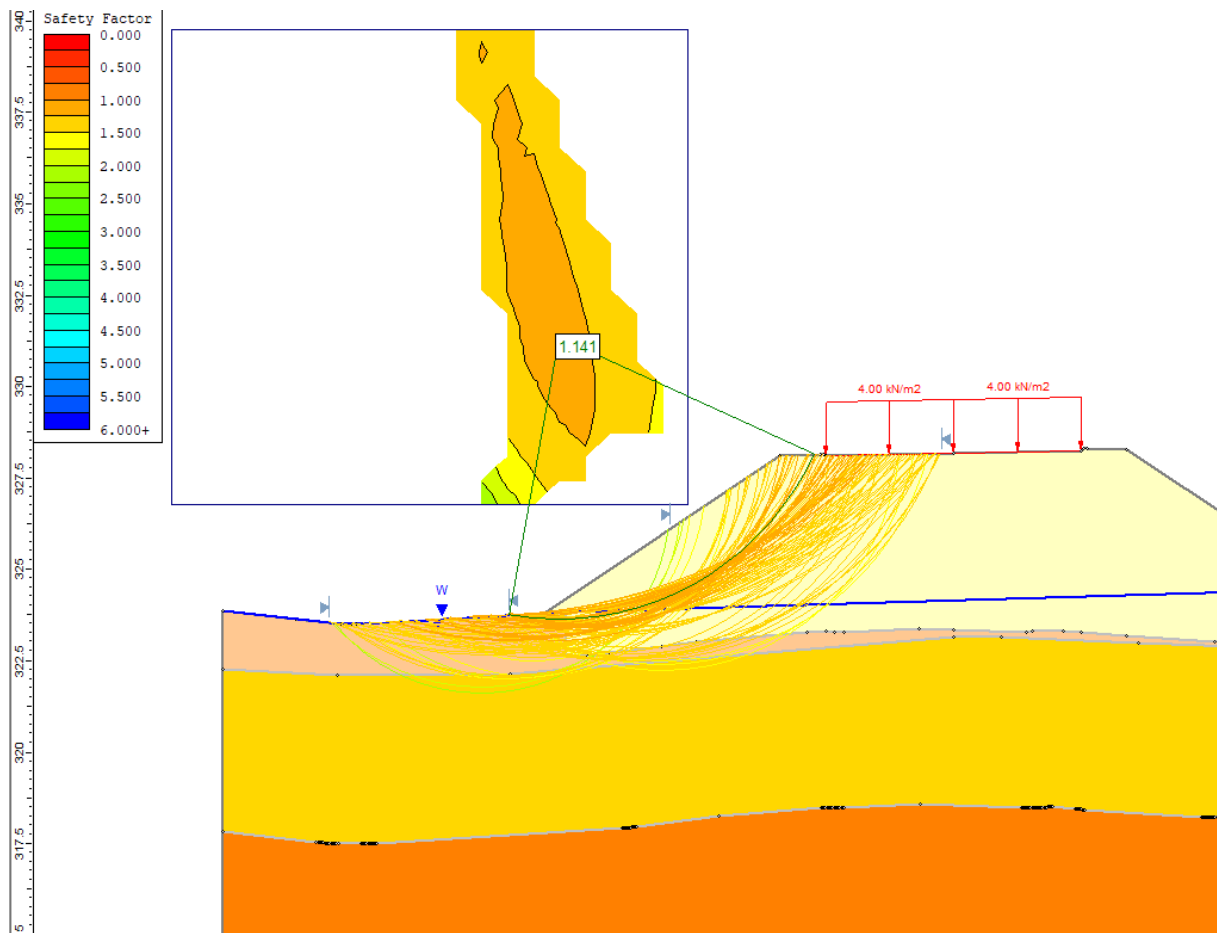





Figura 12 - Rilevato alla p.k. 0+820 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): risultati

7.4.4 S13 - Sezione 80 – Trincea alla p.k. 1+180 (h=6.0 m)

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kN/m <sup>2</sup> )	Phi	Water Surface
BPL frat		20	Mohr-Coulomb	0	28.4	None
BPL		22	Mohr-Coulomb	40	33.9	None
P frat		19	Mohr-Coulomb	6	23.9	None

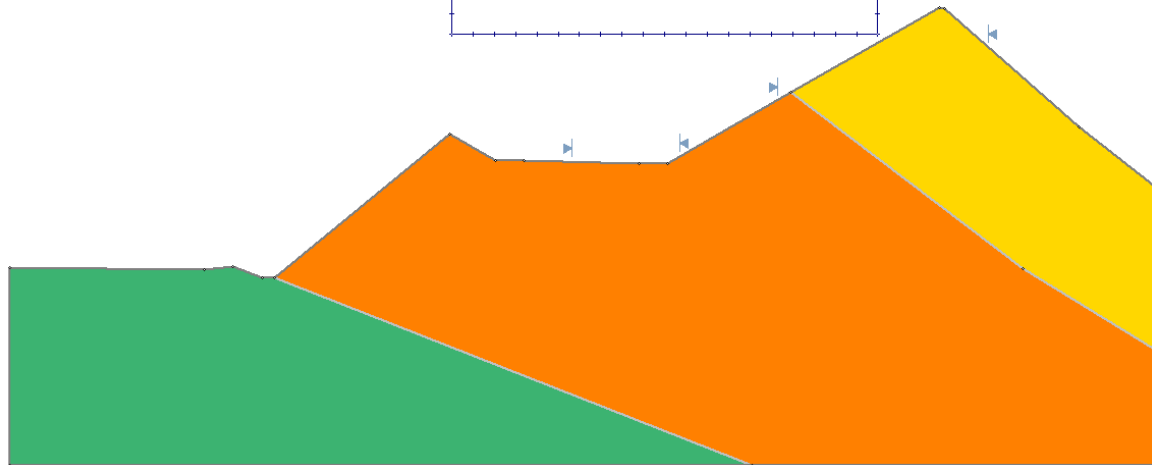


Figura 13 – Trincea alla p.k. 1+180 - Modello di calcolo

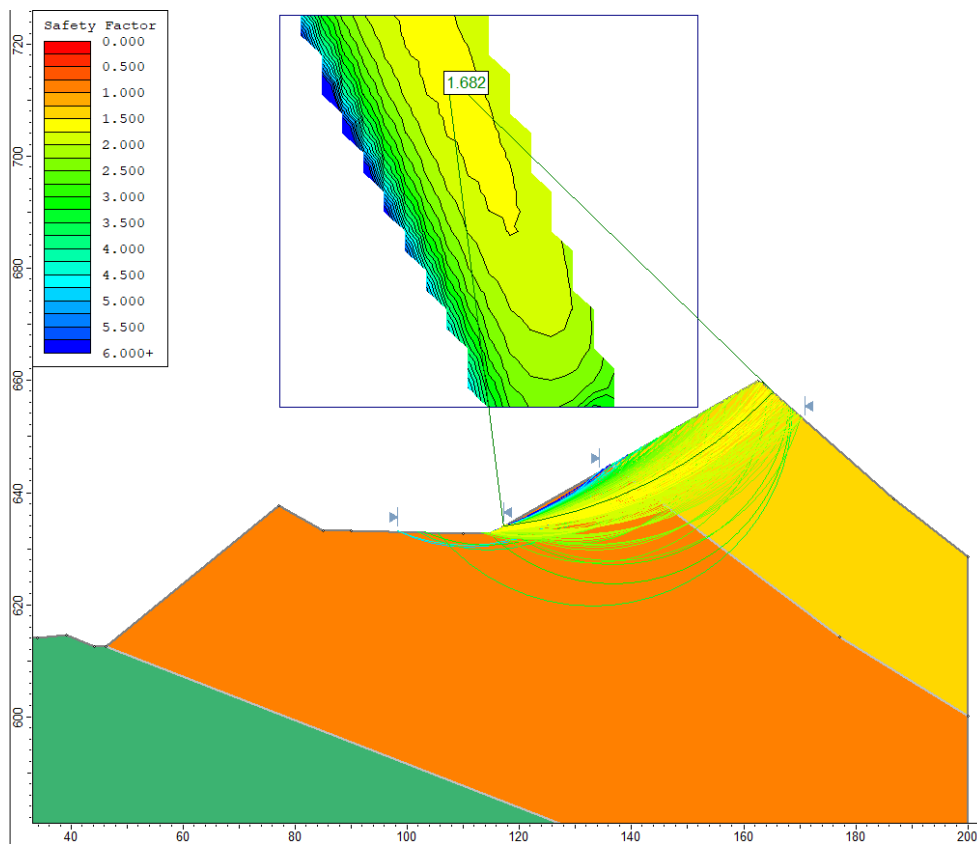


Figura 14 – Trincea alla p.k. 1+180 - Verifica in condizioni statiche: risultati

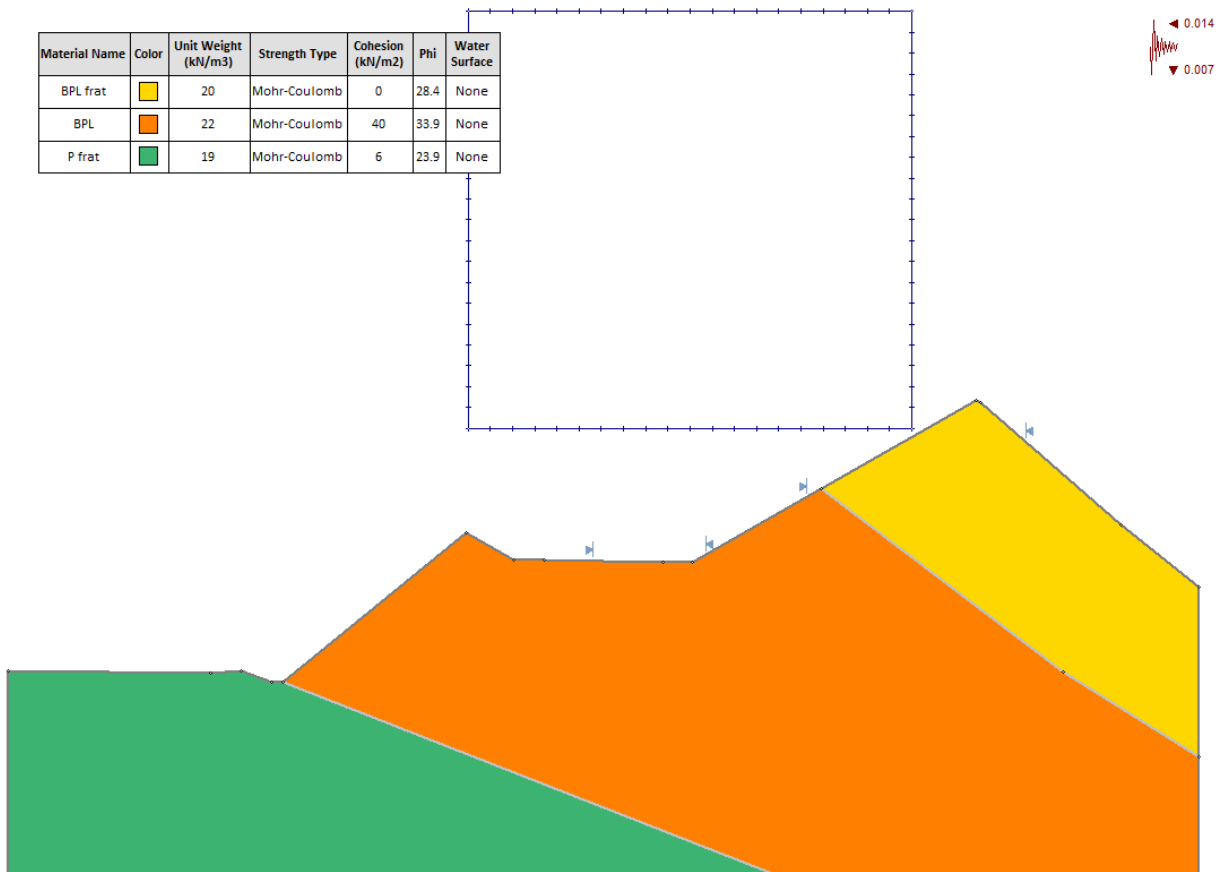


Figura 15 - Trincea alla p.k. 1+180- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): modello di calcolo

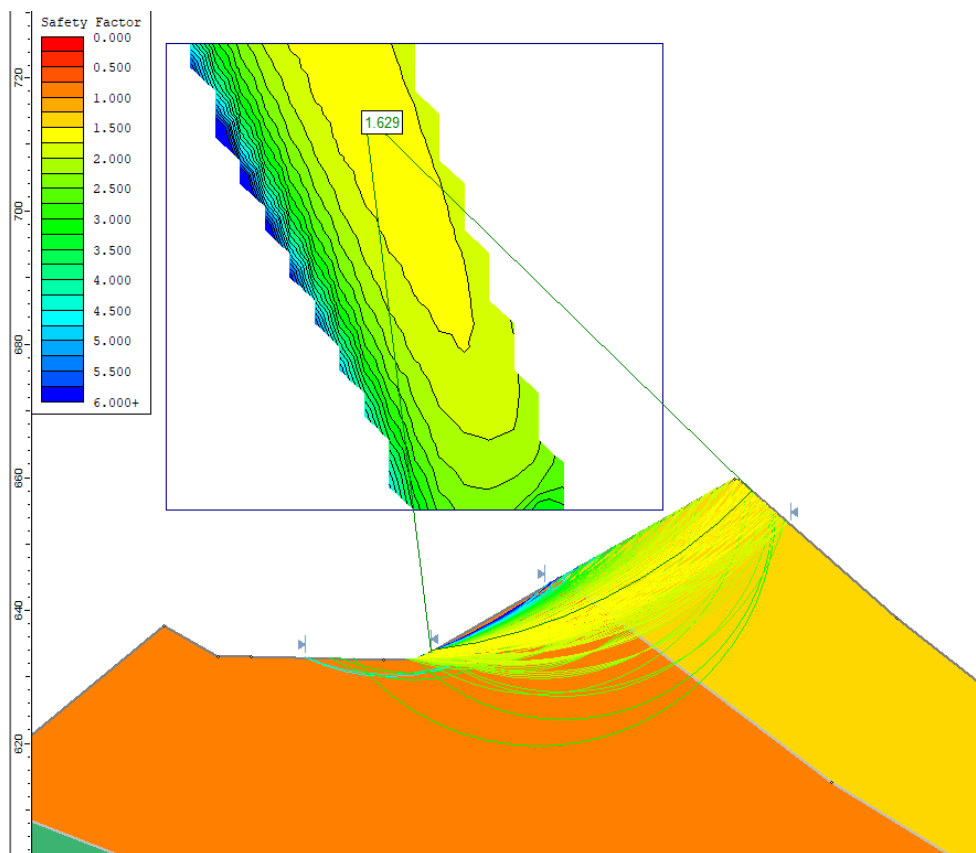


Figura 16 - Trincea alla p.k. 1+180- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): risultati

7.4.5 V02 – Sezione SP62-E-16 – Rilevato alla p.k. 0+212 (h=9.0 m)

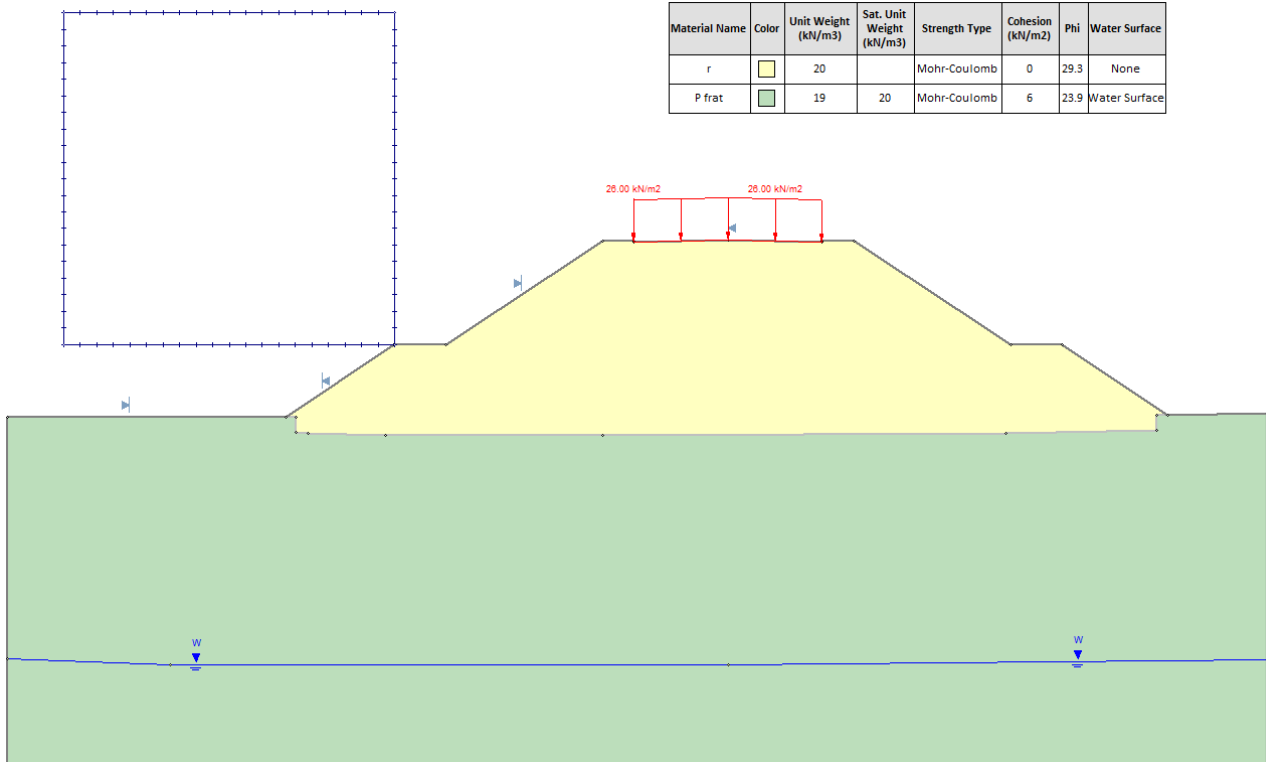


Figura 17 – Rilevato alla p.k. 0+212 - Modello di calcolo

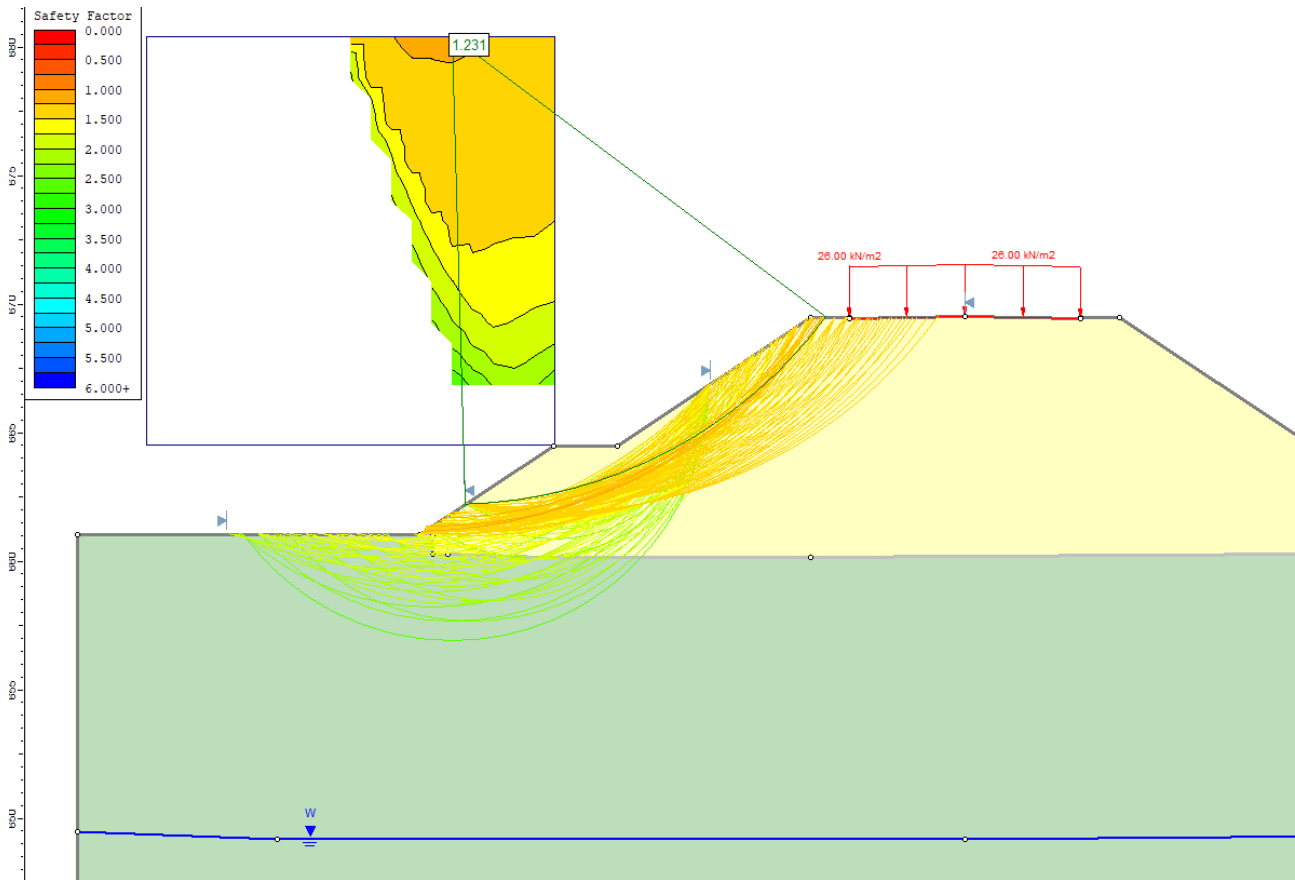


Figura 18 – Rilevato alla p.k. 0+212- Verifiche in condizioni statiche: risultati

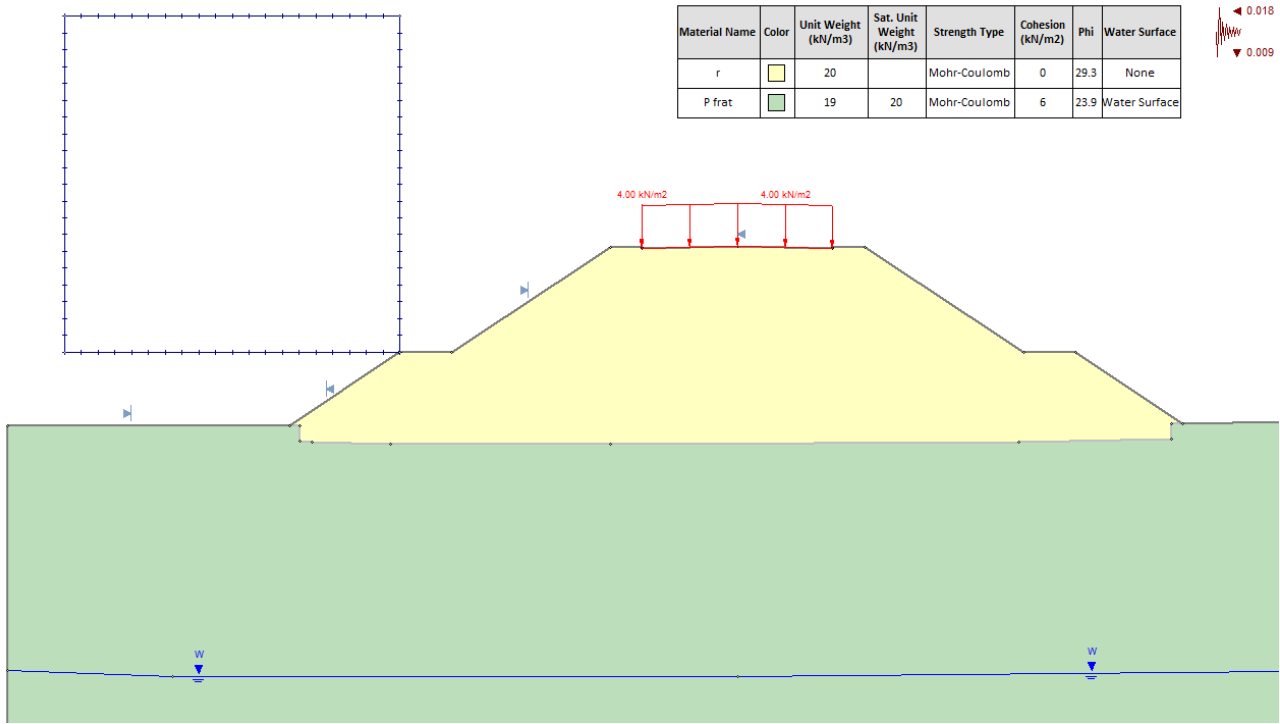


Figura 19 - Rilevato alla p.k. 0+212- Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): modello calcolo

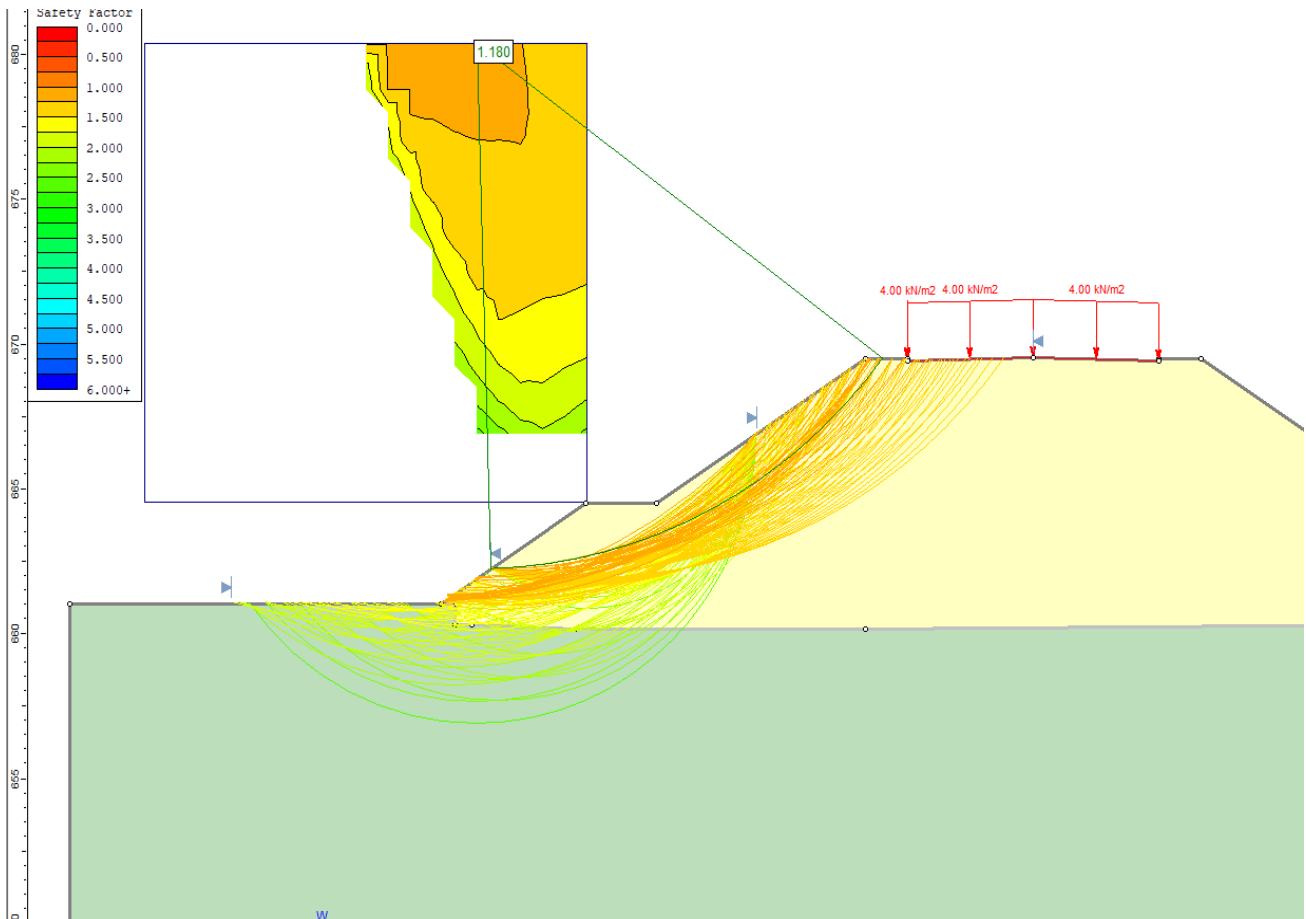


Figura 20 - Rilevato alla p.k. 0+212 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): risultati

7.4.6 S17 – Sezione 119 – Rilevato alla p.k. 2+340 (h=4.4 m)

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kN/m <sup>2</sup> )	Phi	Water Surface
r		20		Mohr-Coulomb	0	29.3	Water Surface
ec-BPL		19	20	Mohr-Coulomb	4	21.7	Water Surface
BPL frat		20	21	Mohr-Coulomb	0	28.4	Water Surface
BPL		22	23	Mohr-Coulomb	40	33.9	Water Surface

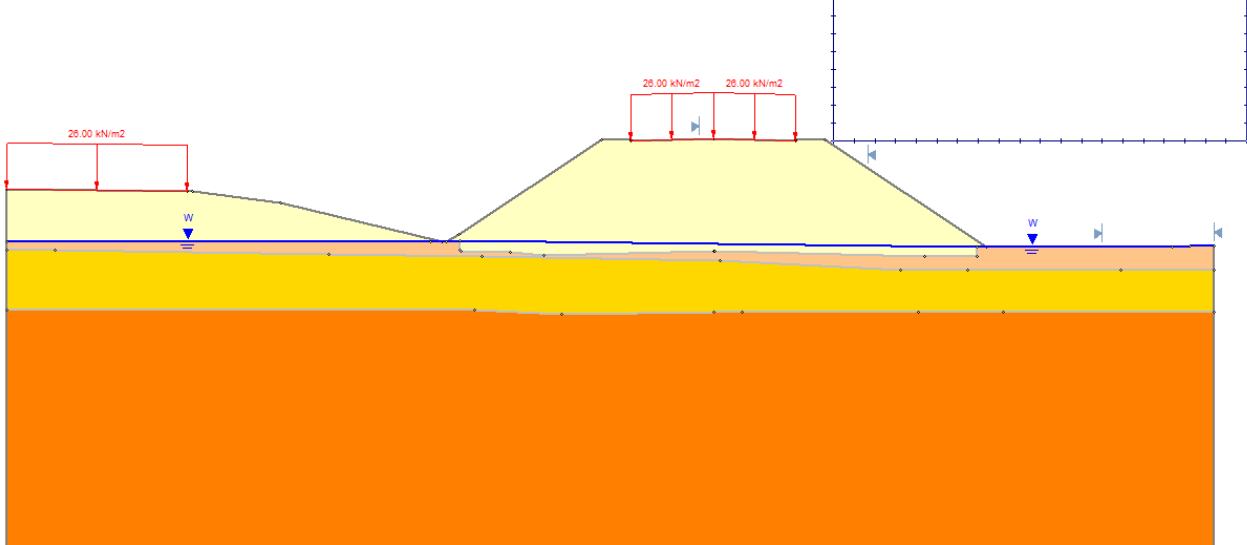


Figura 21 – Rilevato alla p.k. 2+340 - Modello di calcolo

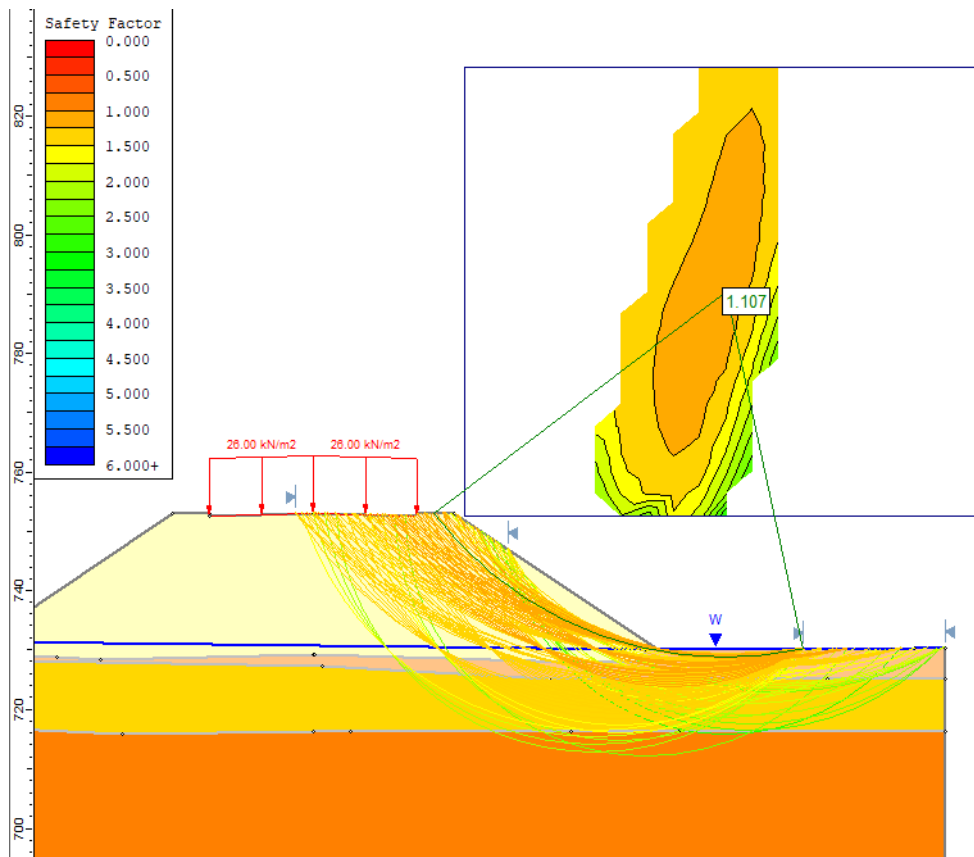


Figura 22 – Rilevato alla p.k. 2+340 - Verifiche in condizioni statiche: risultati



Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Sat. Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kN/m <sup>2</sup> )	Phi	Water Surface
r		20		Mohr-Coulomb	0	29.3	Water Surface
ec-BPL		19	20	Mohr-Coulomb	4	21.7	Water Surface
BPL frat		20	21	Mohr-Coulomb	0	28.4	Water Surface
BPL		22	23	Mohr-Coulomb	40	33.9	Water Surface

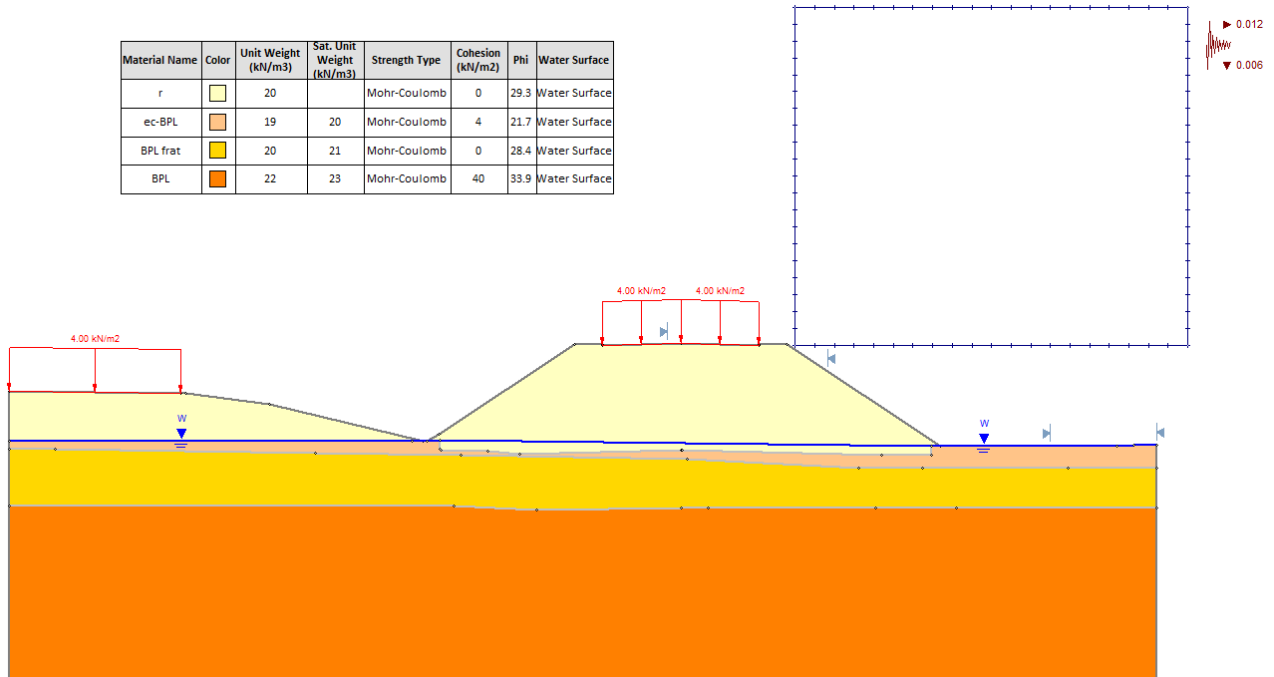


Figura 23 - Rilevato alla p.k. 2+340 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): modello calcolo

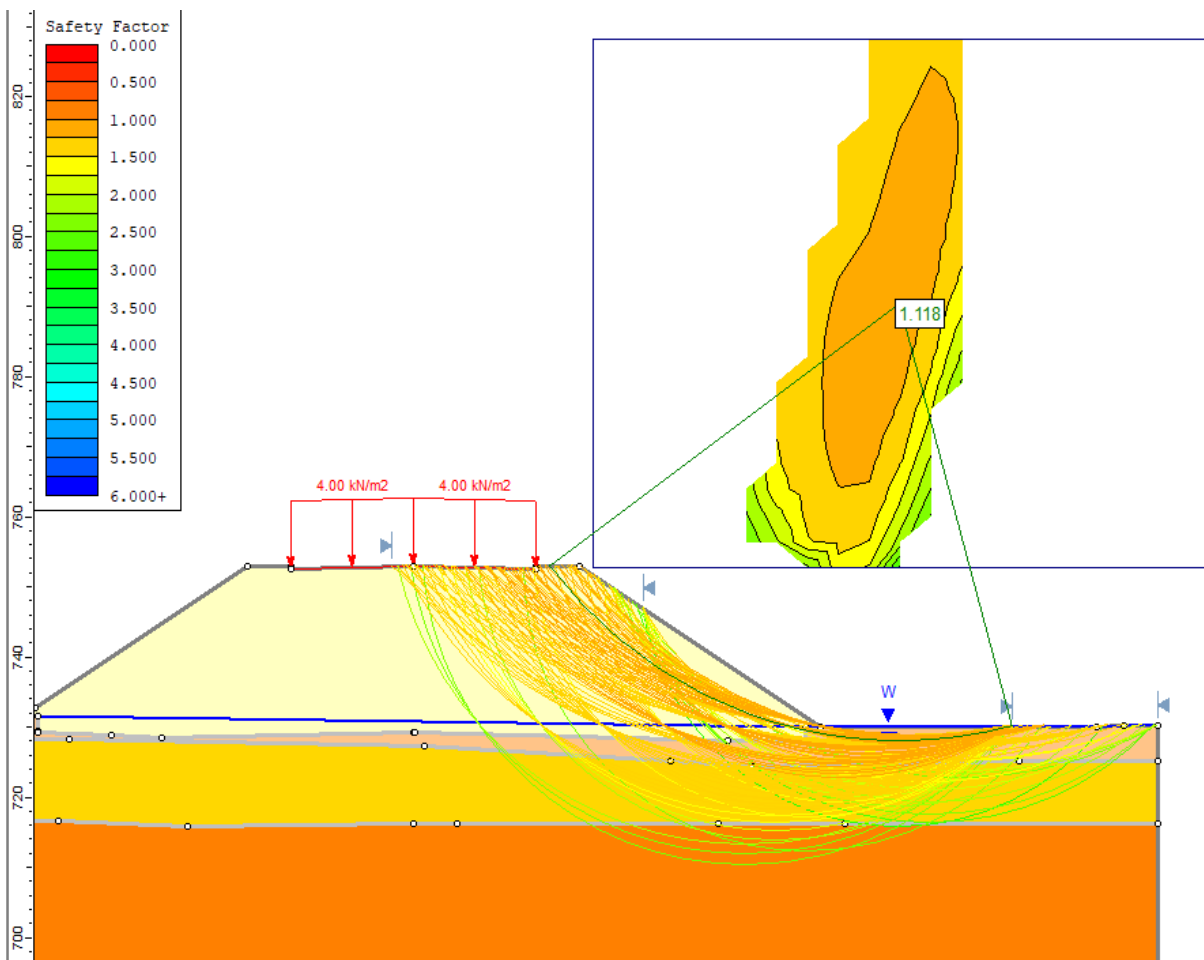


Figura 24 - Rilevato alla p.k. 2+340 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): risultati

## 7.5 Valutazione dei potenziali fenomeni di sifonamento dei rilevati

La simulazione di progetto per il Riu Pitziu evidenzia come nella configurazione di progetto la piena duecentennale non interessi il rilevato stradale. Pertanto, non si verificano le condizioni per l'attivazione dei processi di sifonamento.

Per il Riu Mannu, Riu Bonorchis, Riu Murtazzolu e Riu Temu, anche nella condizione di progetto, ma con un'estensione minore della configurazione di stato di fatto, la piena duecentennale bagna il rilevato stradale con un tirante medio dell'ordine dei 40-60 cm.

Ai fini della verifica al sifonamento si riporta quanto segue:

- per il Riu Mannu e Riu Bonorchis il rigurgito della corrente indotta dal manufatto della ferrovia fa sì che il livello idrico a monte ed a valle delle opere di progetto risultino essere i medesimi o di poco differenti (circa 20 cm). Pertanto, il gradiente idraulico non è tale da generare processi di sifonamento.
- per il Riu Murtazzolu e Riu Temu la variazione del livello idrico tra monte e valle è dell'ordine dei 40-70 cm. Con tali valori il gradiente idraulico, rapportato alla lunghezza di infiltrazione che è dell'ordine dei 30 m, non è tale da generare processi di sifonamento.

Pertanto, non è stato ritenuto necessario eseguire verifiche numeriche dei potenziali fenomeni di sifonamento.

## 8 ANALISI DI CADUTA MASSI

In Relazione Geologica (**T00GE00GEORE09**) al paragrafo 7.1 viene individuata una zona potenzialmente soggetta a rotolamento di blocchi. Tale zona è localizzata lungo il versante posto a monte della S.S.131, in corrispondenza del progetto di "Risoluzione degli accessi in carreggiata nord dal Km 143+215 al Km 143+900". Il limite nord della suddetta area è rappresentato dalla sommità dell'allineamento dei rilievi di Monte Manai, Punta Coa 'e Ferula e M.te Coguruttu, laddove si rinviene la formazione basaltica; esso rappresenta una zona di potenziale distacco di blocchi e/o frammenti rocciosi. Grossi blocchi, di diametro anche di 1,5 m, si osservano lungo tutta l'area delimitata in carta, sia di messa in posto relativamente recente, in equilibrio lungo il versante, sia più antichi, immersi nella coltre colluviale.

Per questa zona è stata effettuata un'analisi di rotolamento blocchi su pendio modellato in 3D. Per la stima delle caratteristiche meccaniche dei terreni si è fatto riferimento ai sondaggi SG 12 ÷ 22 realizzati dalla società TEA s.r.l. Dall'analisi delle stratigrafie vengono individuati, come terreni di copertura, *Piroclastiti sciolte, terrose di granulometria sabbioso – limosa alternata a blocchi basaltici*. Le analisi sono state condotte, assumendo cautelativamente i seguenti parametri:

- $K_n = 0,75$  - Coefficiente di restituzione normale;
- $K_t = 0,75$  - Coefficiente di restituzione tangenziale;
- $\phi' = 28^\circ$  - Angolo d'attrito massa – terreno

I suddetti coefficienti vengono definiti come il rapporto fra la velocità al momento dell'impatto ( $V_i$ ) e la velocità immediatamente dopo l'impatto ( $V_o$ ). I valori di tali coefficienti sono compresi fra 0 (urto completamente anelastico) ed 1 (urto completamente elastico).

Il pendio è stato analizzato considerando 8 tratti di potenziale distacco, ponendo che la caduta del masso (posto di diametro  $D=1,5$  m e massa 5000 kg) avvenga dalla sommità della formazione basaltica ( $z=730$  m.s.l.m. con una velocità iniziale  $v_y=0,1$  m/s). Di seguito vengono riportati i risultati di dette analisi, in cui vengono mostrate le possibili traiettorie dei massi.

Come si nota dai risultati delle analisi, da nessuno dei tratti di potenziale caduta, i massi raggiungono la barriera. La loro installazione risulta pertanto non necessaria.



Figura A - Planimetria del pendio tra il Km 143+215 al Km 143+900  
con rappresentazione di una eventuale barriera a ridosso della  
S.S.131

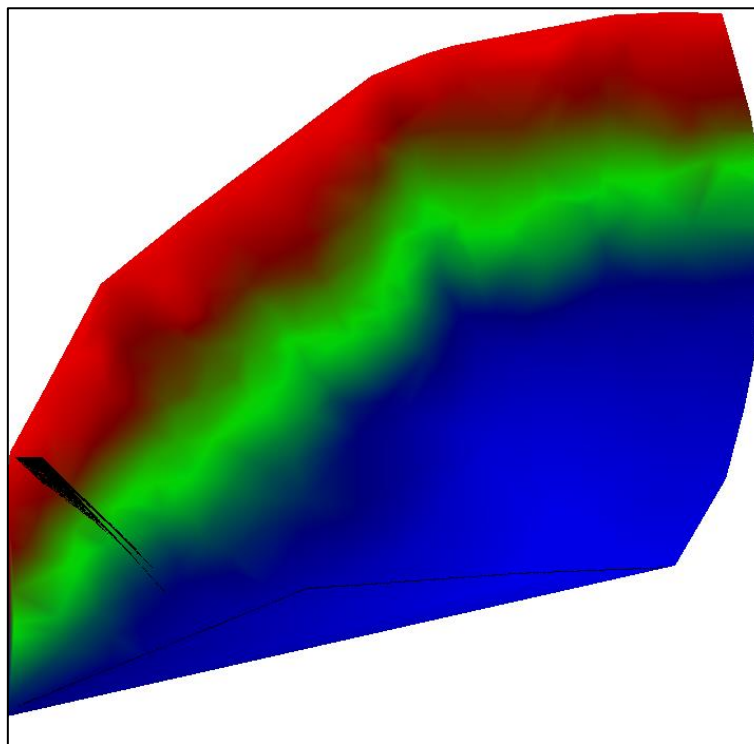


Figura B - Tratto 1 di potenziale distacco ( $x=15\div 70m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

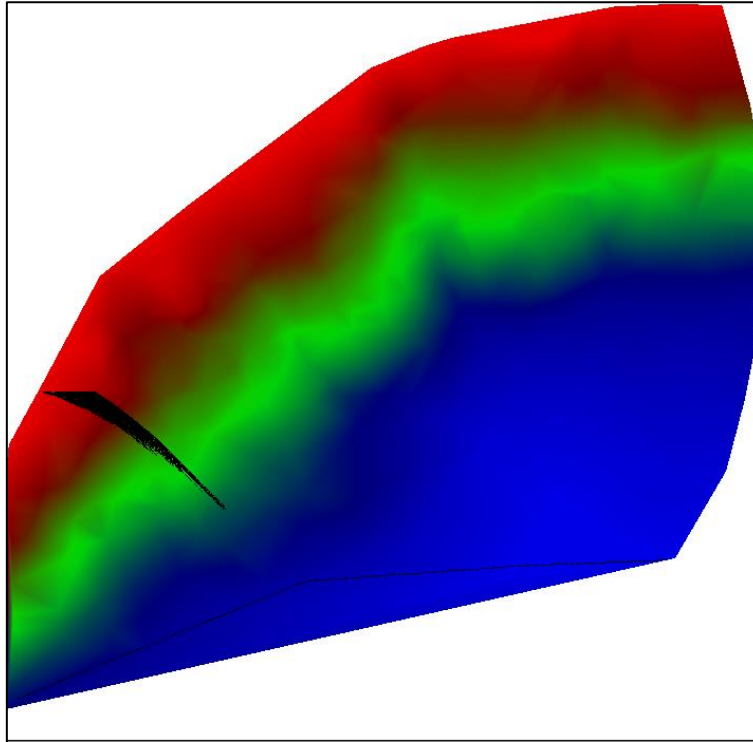


Figura C - Tratto2 di potenziale distacco ( $x=70\div 170m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

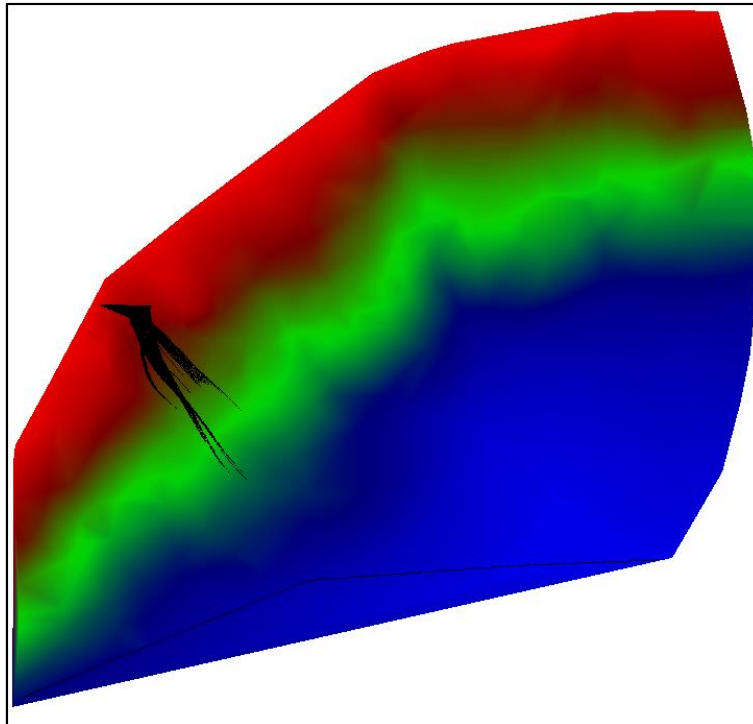


Figura D - Tratto3 di potenziale distacco ( $x=170\div 270m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s).

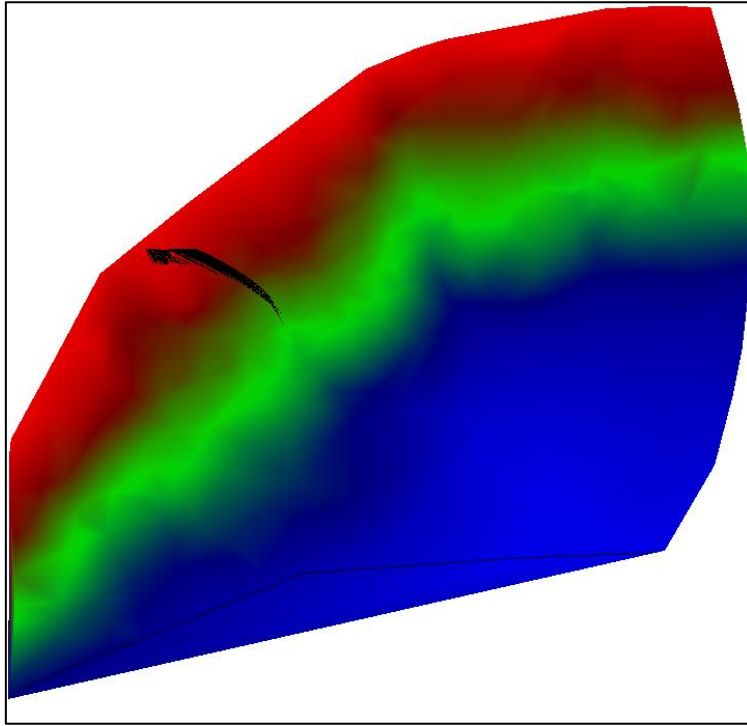


Figura E - Tratto4 di potenziale distacco ( $x=270\div 370m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

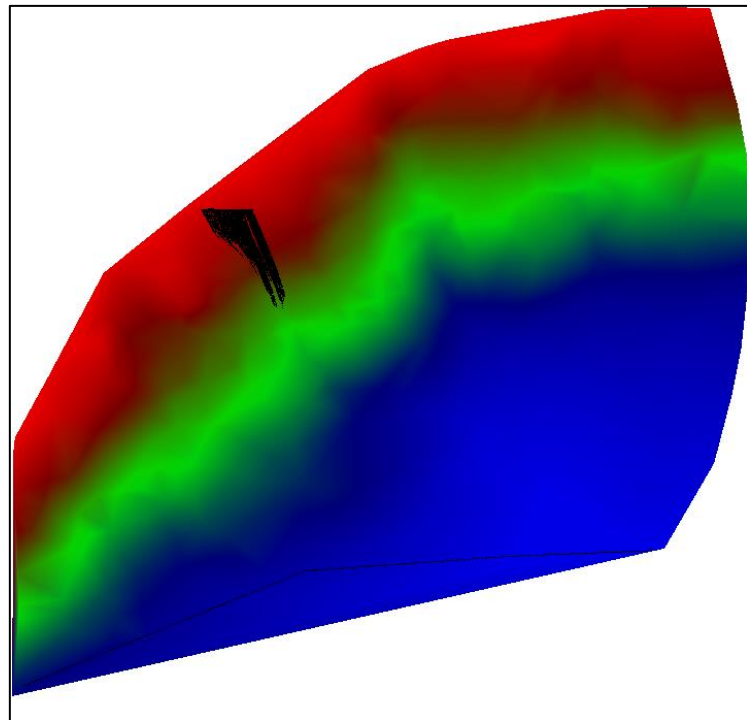


Figura F - Tratto5 di potenziale distacco ( $x=370\div 470m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)



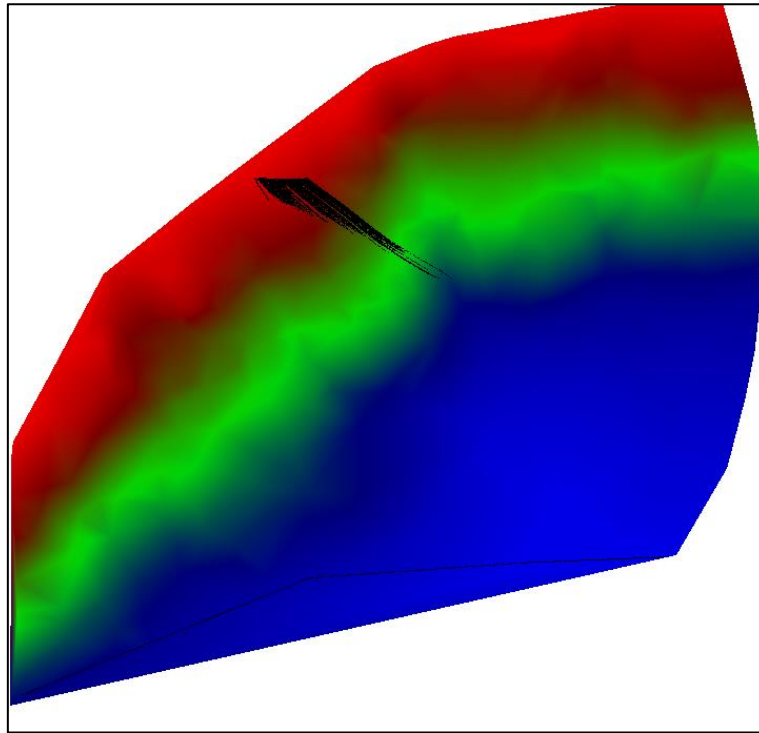


Figura G - Tratto6 di potenziale distacco ( $x=470\div570m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

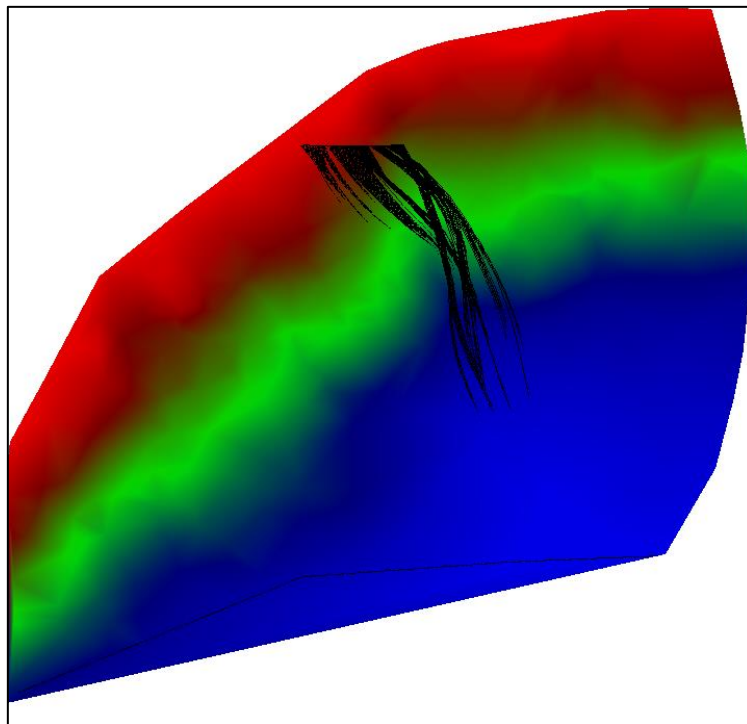


Figura H - Tratto7 di potenziale distacco ( $x=570\div770m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

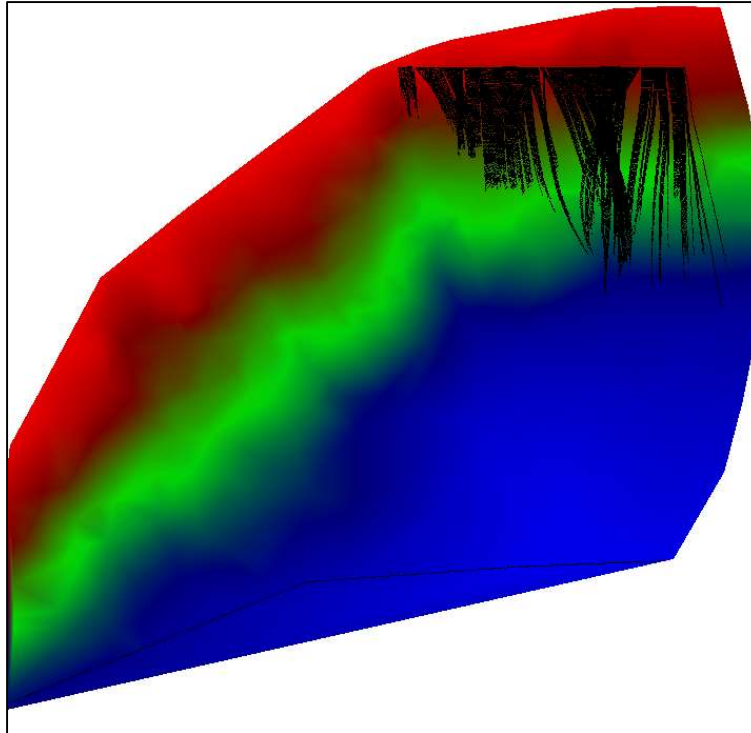


Figura I - Tratto8 di potenziale distacco ( $x=750\div 1300m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

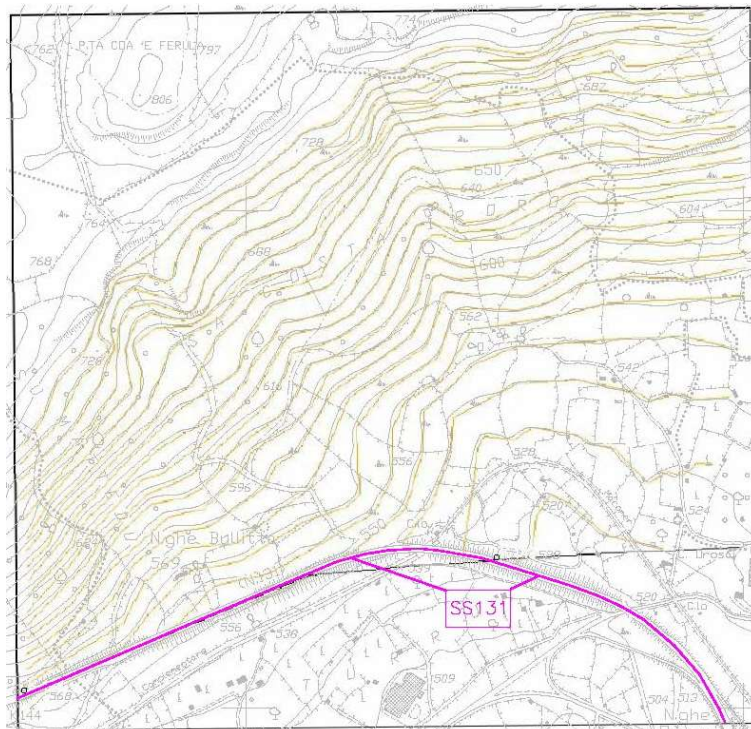


Figura J - Planimetria del pendio tra il Km 143+215 al km 143+900 con rappresentazione della S.S. 131



## 9 MURI DI SOSTEGNO

### 9.1 Metodologia di calcolo

Le verifiche dei muri di sostegno sono condotte secondo il metodo degli Stati Limite, come prescritto dalle "Norme tecniche sulle costruzioni" del 14 gennaio 2008.

Si eseguono verifiche agli stati limite ultimi, con lo scopo di verificare la sicurezza delle opere, e agli stati limite di esercizio, necessarie per verificare che i cedimenti attesi siano compatibili con la funzionalità dei vari elementi e che i tassi di lavoro all'interno delle strutture garantiscano i livelli prestazionali richiesti per tutto il periodo di vita utile delle opere.

### 9.2 Verifiche agli Stati Limite Ultimi

Le verifiche sono effettuate con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - scorrimento sul piano di posa;
  - collasso per carico limite del complesso fondazione-terreno;
  - ribaltamento;
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali.

Per ogni stato limite considerato si accerta che sia soddisfatta la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  e  $R_d$  rappresentano rispettivamente le sollecitazioni e le resistenze di progetto.

In accordo con le NTC 2008 le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) delle opere in oggetto sono effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione A1 + M1 + R3 (dove il segno '+' in ossequio alla normativa ha il significato di 'combinato con').

I fattori di sicurezza parziali sulle azioni (A1), sui parametri geotecnici (M1) e sulle resistenze (R3) sono riportati rispettivamente in Tabella 5, Tabella 6 e Tabella 7.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> per la spinta delle terre si faccia riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Tabella 5: Coefficienti parziali  $\gamma_F$  e  $\gamma_E$  per le azioni o per l'effetto delle azioni (NTC 2008).

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

Tabella 6: Coefficienti parziali  $\gamma_M$  per i parametri geotecnici del terreno (NTC 2008).

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE
	(R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,15$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,4$

Tabella 7: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno (NTC 2008).

La verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera è effettuata secondo l'Approccio 1, Combinazione 2:

$$A2+M2+R2$$

Il coefficiente parziale sulla resistenza R2 è pari a 1.1 (come riportato nella Tabella 6.8.I delle NTC2008), mentre i coefficienti A2 e M2 sono quelli già citati in precedenza.

Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di **azioni sismiche** devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nel Capitolo 7 delle NTC 2008 e riportate in Tabella 8.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE
	(R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,2$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$
Ribaltamento	$\gamma_R = 1,0$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,2$

Tabella 8: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi in condizioni sismiche di muri di sostegno.

Anche per le verifiche di stabilità del complesso muro terreno si pongono pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e si impiegano le resistenze di progetto calcolare con un coefficiente parziale pari a  $\gamma_R = 1.2$ .

### 9.2.1 Verifica a ribaltamento

Per la verifica a ribaltamento del muro si valutano il momento stabilizzante e quello ribaltante, controllando che il rapporto tra i due sia maggiore di  $\gamma_R = 1.15$  per le combinazioni statiche (Tabella 7) e  $\gamma_R = 1.0$  per le combinazioni sismiche (Tabella 8):

$$F_S = \frac{M_{STAB}}{M_{RIB}} = \frac{\sum_i \alpha_i \cdot N_i \cdot b_{i-ORIZ(O)}}{\sum_i \beta_i \cdot V_i \cdot b_{i-vert}} \geq \gamma_R$$

dove:  $\alpha_i$  = coefficiente di combinazione della forza  $N_i$ ;  
 $N_i$  = forza stabilizzante;  
 $b_{i\text{-oriz}(O)}$  = braccio della forza verticale rispetto al centro di rotazione;  
 $\beta_i$  = coefficiente di combinazione della forza  $V_i$ ;  
 $V_i$  = forza instabilizzante;  
 $b_{i\text{-vert}}$  = braccio della forza orizzontale rispetto al centro di rotazione.

### 9.2.2 Verifica a scivolamento

Nelle verifiche a scivolamento si valutano i valori delle forze resistenti e delle forze sollecitanti e si verifica che la seguente espressione risulti maggiore di  $\gamma_R = 1.1$  per le combinazioni statiche (Tabella 7) e  $\gamma_R = 1.0$  per le combinazioni sismiche (Tabella 8):

$$F_S = \frac{T_{RES}}{T_{SOLL}} = \frac{\mu \cdot \sum_i \alpha_i \cdot N_i}{\sum_i \beta_i \cdot V_i} \geq \gamma_R$$

dove:  $\mu$  = coefficiente di attrito terreno/fondazione (posto pari alla tangente dell'angolo d'attrito  $\delta$  fra terreno e fondazione assunto pari ai 2/3 dell'angolo d'attrito  $\phi$  del terreno di fondazione);  
 $\alpha_i$  = coefficiente di combinazione della forza  $N_i$ ;  
 $N_i$  = forza verticale che genera un contributo resistente allo scorrimento;  
 $\beta_i$  = coefficiente di combinazione della forza  $V_i$ ;  
 $V_i$  = forza sollecitante.

### 9.2.3 Verifica di capacità portante della fondazione

La verifica di capacità portante della fondazione di un muro è soddisfatta se il rapporto tra la pressione limite e la pressione equivalente sul terreno risulta maggiore di  $\gamma_R = 1.4$  per le combinazioni statiche (Tabella 7) e  $\gamma_R = 1.2$  per le combinazioni sismiche (Tabella 8):

$$F_S = \frac{q_{lim}}{\sigma_{Sd}} \geq \gamma_R$$

dove:  $\sigma_{Sd}$  = pressione equivalente sul terreno;  
 $q_{lim}$  = pressione limite della fondazione, calcolata secondo Brinch-Hansen.

## 9.3 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

### 9.3.1 Verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio

Le Verifiche di limitazione delle tensioni in condizioni di esercizio (SLE) sono svolte con riferimento ai valori caratteristici delle azioni e dei parametri di resistenza dei materiali e consistono nel controllare che i valori di tensione nei materiali strutturali siano inferiori ai limiti di normativa (punto 4.1.2.2.5 del D.M. 14/01/2008).

- Calcestruzzo compresso:
  - Combinazione caratteristica o rara  $\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck}$
  - Combinazione quasi permanente  $\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$

- Acciaio teso:
  - Combinazione caratteristica o rara  $\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk}$

### 9.3.2 Verifiche a fessurazione

Per poter procedere alle verifiche a fessurazione è necessario effettuare una valutazione relativa al grado di protezione delle armature metalliche contro la corrosione (in termini di condizioni ambientali e sensibilità delle armature stesse alla corrosione).

La Tabella 9 riassume le condizioni ambientali previste dalle NTC 2008 in funzione delle classi di esposizione.

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto Aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4,

Tabella 9: Descrizione delle condizioni ambientali (NTC 2008).

Le armature possono essere distinte in:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

I valori limite di apertura delle fessure ottenuti in base alle condizioni ambientali, alla sensibilità delle armature e alla combinazione di azioni sono riportati in Tabella 10.

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazioni di azioni S.L.E.	Armature	$w_d$	Armature	
A	Ordinarie	frequente	Poco sensibili	$\leq w_3 = 0.4\text{mm}$	Sensibili	$\leq w_2 = 0.3\text{mm}$
		quasi permanente		$\leq w_2 = 0.3\text{mm}$		$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$
B	Aggressive	frequente	Poco sensibili	$\leq w_2 = 0.3\text{mm}$	Sensibili	$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$
		quasi permanente		$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$		-
C	Molto aggressive	frequente	Poco sensibili	$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$	Sensibili	-
		quasi permanente		$\leq w_1 = 0.2\text{mm}$		-

Tabella 10: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (NTC 2008).

## 9.4 Azioni sismiche

L'azione sismica di progetto, desunta dal D.M. del 14/01/2008, deriva dalla pericolosità sismica di base del sito; in particolare, viene definita a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale ( $a_g$ ). Lo stato limite di esercizio indagato è lo Stato Limite di Danno (SLD), lo stato limite ultimo indagato è lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

A partire dalle accelerazioni su suolo rigido si ricavano le accelerazioni attese al sito ( $a_{max}$ ), ottenute moltiplicando  $a_g$  per i coefficienti correttivi che tengono conto delle possibili amplificazioni del moto del suolo dovute a effetti stratigrafici ( $S_s$ ) e topografici ( $S_T$ ):

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

I coefficienti sismici di progetto per le verifiche geotecniche e strutturali dei muri si deducono, in accordo con il D.M. del 14/01/2008, sulla base delle relazioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove  $\beta_m$  è il coefficiente che porta in conto la riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito a causa della deformabilità dell'opera ed è pari a  $\beta_m = 0.47$  per lo Stato Limite di Danno e  $\beta_m = 0.38$  per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita. Lo stato limite di ribaltamento deve essere trattato impiegando valori di  $\beta_m$  incrementati del 50% e comunque non superiori all'unità.

Per i muri non liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno il coefficiente  $\beta_m$  assume valore unitario.

Per muri di sostegno ubicati in corrispondenza di versanti o in prossimità di pendii naturali devono essere soddisfatte le condizioni di stabilità del pendio, in presenza della nuova opera, con i metodi di analisi di cui al paragrafo 7.11.3.5 delle NTC 2008. Deve inoltre essere soddisfatta la verifica di stabilità del complesso muro-terreno con i criteri indicati al paragrafo 7.11.4 delle NTC 2008.

I coefficienti sismici di progetto per la verifica di stabilità globale dell'insieme terreno-opera si deducono, sulla base delle seguenti relazioni:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Dove il valore del coefficiente  $\beta_s$ , che porta in conto la riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito a causa della deformabilità dell'opera, può essere desunto dalle indicazioni fornite nelle NTC 2008 ai paragrafi di cui sopra.

## 9.5 Analisi dei carichi

I carichi da considerare (se presenti) nell'analisi statica di un muro di sostegno sono:

- peso proprio degli elementi strutturali;
- carichi permanenti, tra cui ad esempio il peso del materiale di riempimento a tergo del muro);
- carichi accidentali, tra cui ad esempio il sovraccarico stradale;
- carichi eccezionali dovuti all'urto dei veicoli contro la barriera di sicurezza posta in sommità al muro;
- forze d'inerzia da considerarsi in fase sismica.

Nelle analisi, a favore di sicurezza, è stato trascurato il peso del cordolo eventualmente presente a monte della testata del paramento.

## 9.6 Spinta delle terre in fase statica

### 9.6.1 Coefficienti di spinta

#### 9.6.1.1 Coefficiente di spinta a riposo

Il coefficiente di spinta a riposo è calcolato attraverso le seguenti formulazioni:

$$k_0 = 1 - \text{sen}\phi \quad \text{per i terreni normalconsolidati}$$

$$k_0 = (1 - \text{sen}\phi) \cdot \sqrt{OCR} \quad \text{per i terreni sovraconsolidati}$$

con:

$\phi$  angolo di attrito interno del terreno

OCR grado di sovraconsolidazione del terreno

### 9.6.1.2 Coefficiente di spinta attiva in fase statica

Il coefficiente di spinta attiva in fase statica è stato calcolato attraverso la relazione di Coulomb di seguito riportata.

Per le verifiche geotecniche, il coefficiente di spinta attiva a tergo del muro è stato valutato assumendo un'inclinazione della spinta delle terre  $\delta$  pari a 2/3 dell'angolo d'attrito del terreno di riempimento  $\phi$ , mentre per il calcolo delle sollecitazioni agenti sulla parte in elevazione del muro l'attrito terreno-muro è stato considerato, cautelativamente, nullo.

La relazione di Coulomb per il calcolo del coefficiente di spinta attiva è la seguente:

$$k_a = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi')}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi' + \delta) \cdot \text{sen}(\phi' - \varepsilon)}{\text{sen}(\psi - \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \varepsilon)}} \right]^2}$$

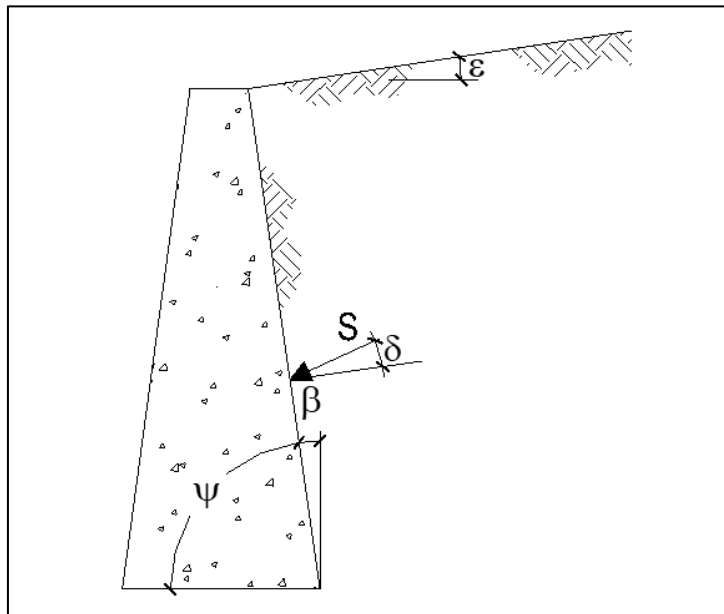


Figura 25: Rappresentazione grafica degli angoli presenti nell'espressione di Coulomb per il calcolo di  $k_a$

Gli angoli, rappresentati in Figura 25, assumono i seguenti significati:

- $\phi$  angolo di attrito interno del terreno  
 $\psi$  inclinazione del paramento di monte del muro  
 $\delta$  angolo d'attrito lungo la superficie di rottura  
 $\varepsilon$  inclinazione del pendio a monte

### 9.6.2 Spinta del terreno

Per i muri liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno le spinte del terreno sono valutate mediante le seguenti relazioni:

$$S_{ter,d} = \frac{1}{2} \cdot k_{a,d} \cdot \gamma_d \cdot H^2 - 2\sqrt{k_{a,d}} \cdot c'_d \cdot H$$

$$c'_d = \frac{c'_k}{\gamma_{c'}} \quad \text{con } \gamma_{c'} \text{ da Tabella 6}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma} \quad \text{con } \gamma_\gamma \text{ da Tabella 6}$$

con:

- $\gamma_k$  valore caratteristico del peso del terreno da rilevato per unità di volume  
 $c'_k$  valore caratteristico della coesione efficace del terreno da rilevato  
 $k_{a,d}$  coefficiente di spinta attiva di progetto secondo la relazione di Coulomb calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno paria a  $2/3 \cdot \phi$  (vedi paragrafo 9.6.1)  
 $H$  profondità alla quale si calcola la sollecitazione

Per i muri vincolati le spinte del terreno sono valutate mediante le seguenti relazioni:

$$S_{ter,d} = \frac{1}{2} \cdot k_{0,d} \cdot \gamma_d \cdot H^2$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma} \quad \text{con } \gamma_\gamma \text{ da Tabella 6}$$

con:

- $\gamma_k$  valore caratteristico del peso del terreno da rilevato per unità di volume  
 $k_{0,d}$  coefficiente di spinta a riposo di progetto (vedi paragrafo 9.6.1)

### 9.6.3 Spinta dei sovraccarichi permanenti

Per i muri liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno le spinte dovute all'azione del sovraccarico permanente sono valutate mediante la seguente relazione:

$$S_{perm,d} = k_{a,d} \cdot q_{per,d} \cdot H$$

dove:

- $q_{perm}$  valore di progetto del sovraccarico permanente  
 $k_{a,d}$  coefficiente di spinta attiva secondo la relazione di Coulomb calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno paria a  $2/3 \cdot \phi$  (vedi paragrafo 9.6.1)  
 $H$  profondità alla quale si calcola la sollecitazione

Per i muri vincolati le spinte dovute all'azione del sovraccarico permanente sono valutate mediante la seguente relazione:

$$S_{perm,d} = k_{0,d} \cdot q_{per,d} \cdot H$$

dove:

$k_{0,d}$  coefficiente di spinta a riposo di progetto (vedi paragrafo 9.6.1)

#### 9.6.4 Spinta dei sovraccarichi accidentali

Per i muri liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno le spinte dovute all'azione del sovraccarico accidentale sono valutate mediante le seguenti relazioni:

$$S_{acc,d} = k_{a,d} \cdot q_{acc,d} \cdot H$$

dove:

$q_{acc}$  valore di progetto del sovraccarico accidentale

$k_{a,d}$  coefficiente di spinta attiva secondo la relazione di Coulomb calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno paria a  $2/3 \cdot \phi$  (vedi paragrafo 9.6.1)

$H$  profondità alla quale si calcola la sollecitazione

Per i muri vincolati le spinte dovute all'azione del sovraccarico accidentale sono valutate mediante la seguente relazione:

$$S_{acc,d} = k_{0,d} \cdot q_{acc,d} \cdot H$$

dove:

$k_{0,d}$  coefficiente di spinta a riposo di progetto (vedi paragrafo 9.6.1)

### 9.7 Spinta delle terre in fase sismica

#### 9.7.1 Coefficienti di spinta

##### 9.7.1.1 Coefficiente di spinta attiva in fase sismica

Il coefficiente di spinta attiva in fase sismica è stato valutato mediante la relazione di Mononobe – Okabe ipotizzando che la componente sismica orizzontale agisca contemporaneamente alla componente sismica verticale (assunta dapprima verso l'alto e poi verso il basso). Il coefficiente di spinta attiva in fase sismica assume l'espressione riportata in Figura 26:

$$\beta \leq \phi - \theta : K_{A,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[ I + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta)\text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta)\text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta : K_{A,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$

Figura 26: Relazione di Mononobe – Okabe per il calcolo di  $k_{a,sism}$



La convenzione con cui sono definiti gli angoli presenti nell'espressione di Mononobe – Okabe è riportata in Figura 26; inoltre si definisce l'angolo  $\vartheta = \arctan\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$

Con il simbolo '↑' si intende che l'accelerazione sismica verticale è stata assunta positiva verso l'alto, e viceversa con '↓'. Nel caso in esame, essendo l'accelerazione sismica molto bassa, i coefficienti sono uguali in entrambi i casi.

Per il calcolo dei coefficienti  $k_h$  e  $k_v$ , necessari per la determinazione dell'angolo  $\vartheta$ , si veda quanto riportato al paragrafo 9.4.

### 9.7.2 Spinta del terreno

La spinta del terreno in fase sismica è valutata come la somma della spinta attiva in condizioni statiche e dell'incremento di spinta attiva in condizioni sismiche, mediante le seguenti relazioni:

$$S_{ter,d} = S_{a,d} + \Delta S_{a,sism,d}$$

$$\Delta S_{a,sism,d} = S_{a,sism,d} - S_{a,d}$$

$$S_{a,d} = \frac{1}{2} \cdot k_{a,d} \cdot \gamma_d \cdot H^2 - 2\sqrt{k_{a,d}} \cdot c'_d \cdot H$$

$$S_{a,sism,d} = \frac{1}{2} \cdot k_{a,sism,d} \cdot \gamma_d \cdot H^2 - 2\sqrt{k_{a,sism,d}} \cdot c'_d \cdot H$$

$$c'_d = \frac{c'_k}{\gamma_{c'}} \quad \text{con } \gamma_{c'} \text{ da Tabella 6}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma} \quad \text{con } \gamma_\gamma \text{ da Tabella 6}$$

con:

- $\gamma_k$  valore caratteristico del peso del terreno da rilevato per unità di volume
- $c'_k$  valore caratteristico della coesione efficace del terreno da rilevato
- $k_{a,d}$  coefficiente di spinta attiva di progetto secondo la relazione di Coulomb calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno paria a  $2/3 \cdot \phi$  (vedi paragrafo 9.6.1)
- $k_{a,sism,d}$  coefficiente di spinta attiva sismica di progetto secondo Mononobe-Okabe calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno paria a  $2/3 \cdot \phi$  (vedi paragrafo 9.7.1.1)
- $H$  profondità alla quale si calcola la sollecitazione

Per i muri liberi di subire spostamenti relativi rispetto al terreno si considera che la spinta attiva in condizioni statiche  $S_{a,d}$  e l'incremento di spinta attiva dovuto al sisma  $\Delta S_{a,sism,d}$  siano entrambe prodotte da un andamento delle tensioni orizzontali di tipo lineare.

Diversamente, per i muri vincolati, la spinta attiva in condizioni statiche  $S_{a,d}$  è considerata ancora come risultante di un andamento delle tensioni orizzontali di tipo lineare, mentre l'incremento di spinta attiva in condizioni sismiche  $\Delta S_{a,sism,d}$  è considerato come risultante di un andamento costante delle tensioni orizzontali.

### 9.7.3 Spinta dei sovraccarichi permanenti

Le spinte dovute all'azione del sovraccarico permanente sono valutate mediante la seguente relazione:

$$S_{perm,d} = k_{a,sism,d} \cdot q_{per,d} \cdot H$$

dove:

- $q_{perm}$  valore di progetto del sovraccarico permanente
- $k_{a,sism,d}$  coefficiente di spinta attiva sismica di progetto secondo Mononobe-Okabe calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno pari a  $2/3 \cdot \phi$  (vedi paragrafo 9.7.1.1)
- $H$  profondità alla quale si calcola la sollecitazione

### 9.7.4 Spinta dei sovraccarichi accidentali

Le spinte dovute all'azione del sovraccarico accidentale sono valutate mediante le seguenti relazioni:

$$S_{acc,d} = k_{a,sism,d} \cdot q_{acc,d} \cdot H$$

dove:

- $q_{acc}$  valore di progetto del sovraccarico accidentale
- $k_{a,sism,d}$  coefficiente di spinta attiva sismica di progetto secondo Mononobe-Okabe calcolato considerando un angolo d'attrito muro-terreno pari a  $2/3 \cdot \phi$  (vedi paragrafo 9.7.1.1)
- $H$  profondità alla quale si calcola la sollecitazione

## 10 PARATIE

### 10.1 Metodologia di calcolo: condizioni statiche

#### 10.1.1 Stato limite ultimo (SLU)

La progettazione di una paratia, alla luce delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, deve considerare i seguenti stati limite ultimi:

- SLU di tipo geotecnico (GEO) e di tipo idraulico (UPL e HYD):
  - Collasso per rotazione attorno a un punto dell'opera
  - Collasso per carico limite verticale
  - Sfilamento di uno o più ancoraggi
  - Instabilità del fondo scavo in terreni a grana fine in condizioni non drenate
  - Instabilità del fondo scavo per sollevamento
  - Sifonamento del fondo scavo
  - Instabilità globale dell'insieme terreno-opera
  
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - Raggiungimento della resistenza in uno o più ancoraggi
  - Raggiungimento della resistenza in uno o più puntoni o sistemi di contrasto
  - Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 dell'Approccio 1 – A2+M2+R2, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tabella 11 e Tabella 12.

Le verifiche allo stato limite ultimo, tra cui le verifiche strutturali dei tiranti, devono essere effettuate considerando due combinazioni di coefficienti, la prima generalmente dimensionante dal punto di vista strutturale, la seconda dal punto di vista geotecnico:

Comb 1: A1+M1+R1

Comb 2: A2+M2+R1

*Azioni (coefficienti A):*

La seguente tabella riporta i fattori di sicurezza parziali da applicare alle azioni nelle diverse combinazioni di carico.

carichi	effetto	coefficiente parziale	EQU	A1 (STR)	A2 (GEO)
Permanenti	favorevole	Y <sub>G1</sub>	0.9	1.0	1.0
	sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	favorevole	Y <sub>G2</sub>	0.8	0.8	0.8
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	favorevole	Y <sub>Qi</sub>	0.0	0.0	0.0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 11: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

**Parametri geotecnici (coefficienti M):**

Le analisi allo stato limite ultimo prevedono l'utilizzo di due set di parametri: i parametri caratteristici e i parametri ridotti. I primi sono deducibili da prove in sito o di laboratorio su campioni significativi, i secondi sono ricavabili riducendo i parametri caratteristici con i coefficienti M2:

Parametro	simbolo	coefficiente parziale	M1	M2
tangente angolo di attrito	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25
coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
peso unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

Tabella 12: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

**Resistenze (coefficienti R):**

I coefficienti parziali sulle resistenze assumono i seguenti valori:

R1 = 1                      nelle analisi SLU e SLE  
R2 = 1.1                    nelle analisi di stabilità globale.

Nelle verifiche di sicurezza dei tiranti di ancoraggio devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Gli stati limite ultimi dei tiranti di ancoraggio si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che li compongono.

Per il dimensionamento geotecnico, deve risultare rispettata la condizione  $E_d \leq R_d$  con specifico riferimento ad uno stato limite di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio. La verifica di tale condizione può essere effettuata con riferimento alla combinazione A1+M1+R3, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 11 e Tabella 12.

La verifica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio si esegue confrontando la massima azione di progetto  $E_d$  con la resistenza di progetto  $R_{ad}$ , determinata applicando alla resistenza caratteristica  $R_{ak}$  i coefficienti parziali  $\gamma_r$  riportati nella seguente Tabella 13.

Tipologia ancoraggio	Simbolo	Coefficiente parziale
Ancoraggi temporanei	$\gamma_r$	1.1
Ancoraggi permanenti	$\gamma_r$	1.2

Tabella 13: Coefficienti parziali per la resistenza degli ancoraggi

Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio  $R_{ak}$  può essere determinato mediante metodi di calcolo analitici, utilizzando i valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati di prove in sito e/o di laboratorio.

Seguendo tale procedimento, il valore della resistenza caratteristica  $R_{ak}$  può essere ottenuto considerando il minore dei valori derivanti dall'applicazione dei fattori di correlazione  $\xi_{a3}$  e  $\xi_{a4}$  riportati in Tabella 14 rispettivamente al valor medio e al valor minimo delle resistenze  $R_{a,c}$  ottenute dal calcolo.

Per la valutazione dei fattori  $\xi_{a3}$  e  $\xi_{a4}$ , si deve tenere conto che i profili di indagine sono solo quelli che consentono la completa identificazione del modello geotecnico di sottosuolo per il terreno di fondazione dell'ancoraggio.

$$R_{ak} = \min \left( \frac{(R_{a,c})_{medio}}{\xi_{a3}}; \frac{(R_{a,c})_{min}}{\xi_{a4}} \right)$$

Numero di profili di indagine	1	2	3	4	≥ 5
$\xi_{a3}$	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
$\xi_{a4}$	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

Tabella 14: Fattori di correlazione per derivare la resistenza caratteristica dalle prove geotecniche, in funzione del numero  $n$  di profili di indagine

### 10.1.2 Stato Limite di Esercizio (SLE)

In tutti i casi, nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno e del terreno circostante devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità di manufatti adiacenti.

Le verifiche allo stato limite d'esercizio vengono eseguite con tutti i coefficienti amplificativi unitari e con i parametri caratteristici dei terreni.

## 10.2 Metodologia di calcolo: condizioni sismiche

Per le paratie devono essere soddisfatte le condizioni di sicurezza nei confronti dei possibili stati limite ultimi (SLV) verificando il rispetto della condizione  $E_d \leq R_d$  ponendo unitari i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali  $\gamma_r$  specificati al paragrafo 10.1.

Nelle verifiche, per azioni s'intendono le risultanti delle spinte a tergo della paratia e per resistenze s'intendono le risultanti delle spinte a valle della paratia e le reazioni dei sistemi di vincolo.

Nei metodi pseudo-statici l'azione sismica è definita mediante un'accelerazione equivalente, costante nello spazio e nel tempo. Le componenti orizzontale e verticale  $a_h$  e  $a_v$  dell'accelerazione equivalente devono essere ricavate in funzione delle proprietà del moto sismico atteso nel volume di terreno significativo per l'opera e della capacità dell'opera di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. In mancanza di studi specifici,  $a_h$  può essere legata all'accelerazione di picco  $a_{max}$  attesa nel volume di terreno significativo per l'opera mediante la relazione:

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

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $k_h$  è il coefficiente sismico in direzione orizzontale,  $\alpha \leq 1$  è un coefficiente che tiene conto della deformabilità dei terreni interagenti con l'opera e  $\beta \leq 1$  è un coefficiente funzione della capacità dell'opera di subire spostamenti senza cadute di resistenza.

Per le paratie si può porre  $a_v = 0$ .

L'accelerazione di picco  $a_{max}$  è valutata mediante un'analisi di risposta sismica locale, oppure come:

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

dove  $S$  è il coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ ) di cui al paragrafo 3.2.3.2 delle NTC 2008, ed  $a_g$  è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Il valore del coefficiente  $\alpha$  può essere ricavato a partire dall'altezza complessiva  $H$  della paratia e dalla categoria di sottosuolo mediante il diagramma riportato in Figura 27.

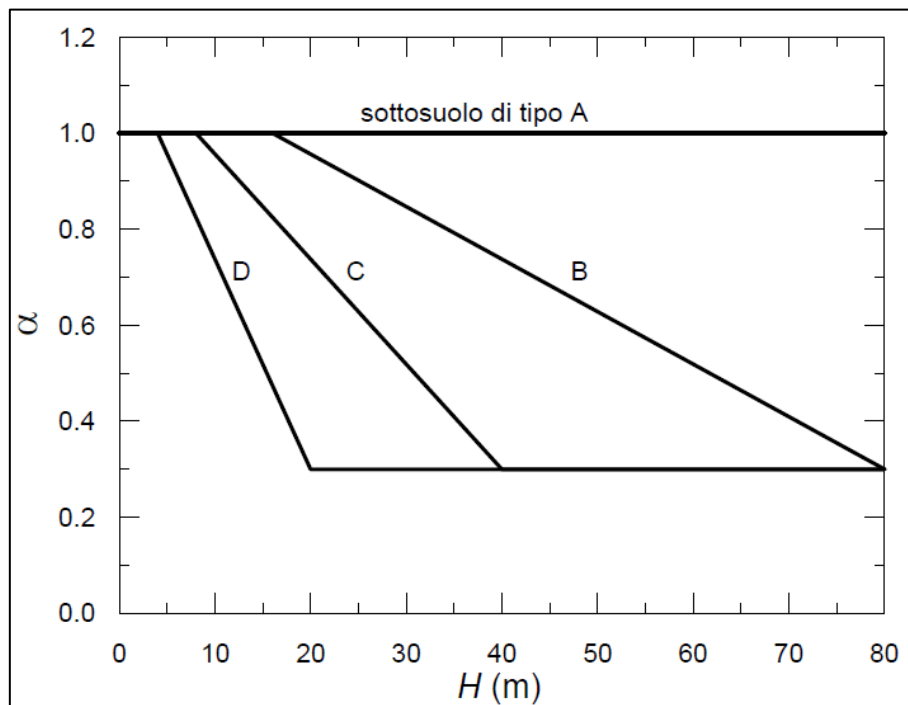


Figura 27: Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$

Per la valutazione della spinta nelle condizioni di equilibrio limite passivo deve porsi  $\alpha = 1$ .

Il valore del coefficiente  $\beta$  può essere ricavato dal diagramma di Figura 28, in funzione del massimo spostamento permanente  $u_s$  che l'opera può tollerare, verificando l'effettivo sviluppo di meccanismi duttili nel sistema. In assenza di tale verifica, il coefficiente  $\beta$  vale 1.

Per  $u_s = 0$  è  $\beta = 1$ . Deve comunque risultare:

$$u_s \leq 0.005 \cdot H$$

Se  $\alpha \cdot \beta \leq 0.2$  deve assumersi  $k_h = 0.2 \cdot a_{max} / g$ .

Possono inoltre essere trascurati gli effetti inerziali sulle masse che costituiscono la paratia.

Per valori dell'angolo di resistenza al taglio tra terreno e parete  $\delta > \phi'/2$ , ai fini della valutazione della resistenza passiva è necessario tener conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

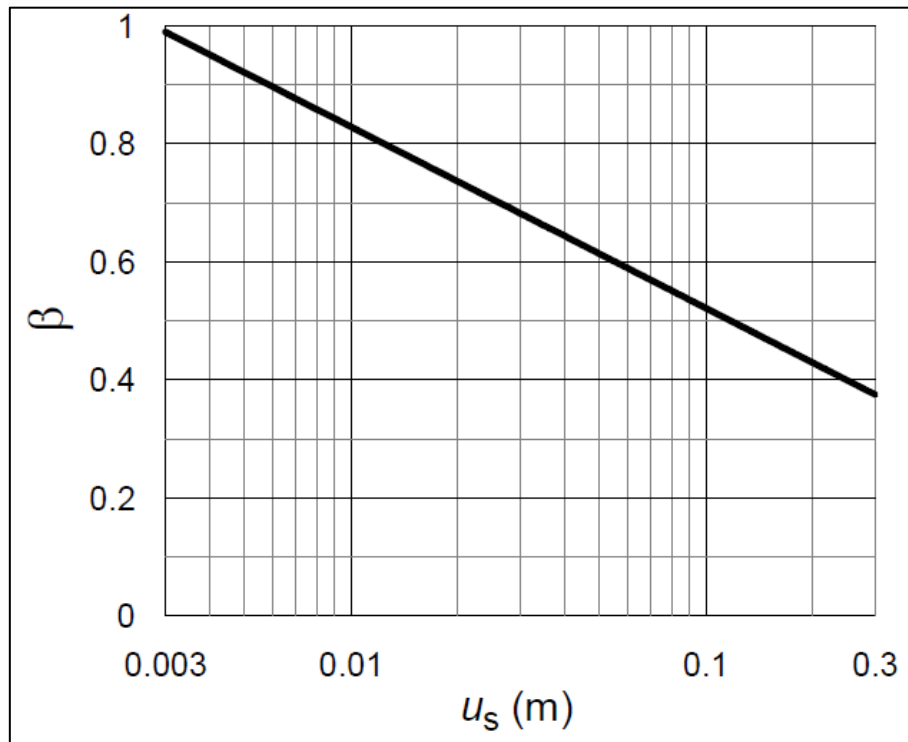


Figura 28: Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$

L'analisi di stabilità globale in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, nei quali l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza. Nelle verifiche allo stato limite ultimo, in mancanza di studi specifici, le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come  $F_h = k_h \cdot W$  ed  $F_v = k_v \cdot W$ , con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

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

$$k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

Dove  $\beta_s$  è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito e può essere ricavato dalla Tabella 15 in base alla categoria di sottosuolo e al valore dell'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

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

Tabella 15: Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

Le verifiche di stabilità globale in condizioni sismiche devono essere eseguite ponendo unitari i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali  $\gamma_r$  specificati al paragrafo 10.1.

### 10.3 Spinta delle terre

#### 10.3.1 Coefficiente di spinta a riposo

Il coefficiente di spinta a riposo è calcolato attraverso le seguenti formulazioni:

$$k_0 = 1 - \text{sen}\phi \quad \text{per i terreni normalconsolidati}$$

$$k_0 = (1 - \text{sen}\phi) \cdot \sqrt{OCR} \quad \text{per i terreni sovraconsolidati}$$

con:

$\phi$  angolo di attrito interno del terreno

OCR grado di sovraconsolidazione del terreno

#### 10.3.2 Coefficiente di spinta attiva in fase statica

I valori dei coefficienti di spinta attiva ( $k_a$ ) possono essere calcolati mediante l'utilizzo di comprovate formulazioni disponibili in letteratura (Tabella 16).

Autori	Sokolovskii (1965)	Rankine (1857)	Lancellotta (2002) Mylonakis <i>et al.</i> (2007)	Coulomb (1773) Muller Breslau (1906)	Caquot e Kerisel (1948)	Chen (1975)
metodo	linee caratter.	appr. statico	estr. inferiore appr. statico	equil. limite appr. cinematic. sup. piana	equil. limite appr. cinematic. sup. curvilinea	estr. superiore appr. cinematic. sup. curvilinea
$\delta$	sì	0	sì	0	sì	sì
$i$	0	sì	sì	0	sì	sì
$\beta$	sì	0	0	0	sì	sì

Tabella 16: Soluzioni disponibili per gli stati limite in condizioni statiche [2]

In Tabella 16 sono specificati gli autori di alcune delle principali formulazioni per il calcolo di  $k_a$  disponibili in letteratura, indicando per ciascuna di esse:

- la tipologia di metodo utilizzato per il calcolo di  $k_a$  (approccio statico, approccio cinematico, equilibrio limite, linee caratteristiche);
- se nel caso di metodo cinematico la superficie di scorrimento considerata sia piana o curvilinea;
- se la formulazione tiene conto o meno degli angoli  $\delta$ ,  $i$  e  $\beta$ , rispettivamente angolo di attrito



terreno-opera di sostegno, angolo di inclinazione del piano campagna e angolo di inclinazione del paramento dell'opera (l'angolo  $\beta$  è misurato a partire dalla verticale per cui si ha  $\beta=0$  per un'opera di sostegno con paramento verticale).

Nel caso di condizioni attive, i valori di  $k_a$  ottenibili dalle formulazioni di Tabella 16 non differiscono in modo significativo come mostrato dai grafici in Figura 29. Pertanto, la scelta della specifica formulazione da utilizzare per il calcolo del coefficiente di spinta attiva è lasciata alla discrezione del progettista.

Nel caso si consideri l'angolo d'attrito fra terreno e opera di sostegno, questo non dovrà essere superiore ai 2/3 del valore dell'angolo d'attrito del terreno ( $\delta \leq 2/3 \phi'$ ).

A titolo esemplificativo, si riporta di seguito l'espressione analitica della formulazione di Coulomb – Muller Breslau.

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\delta + \beta) \cdot \left( 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \cdot \sin(\phi' - i)}{\cos(\delta + \beta) \cdot \cos(i - \beta)}} \right)^2}$$

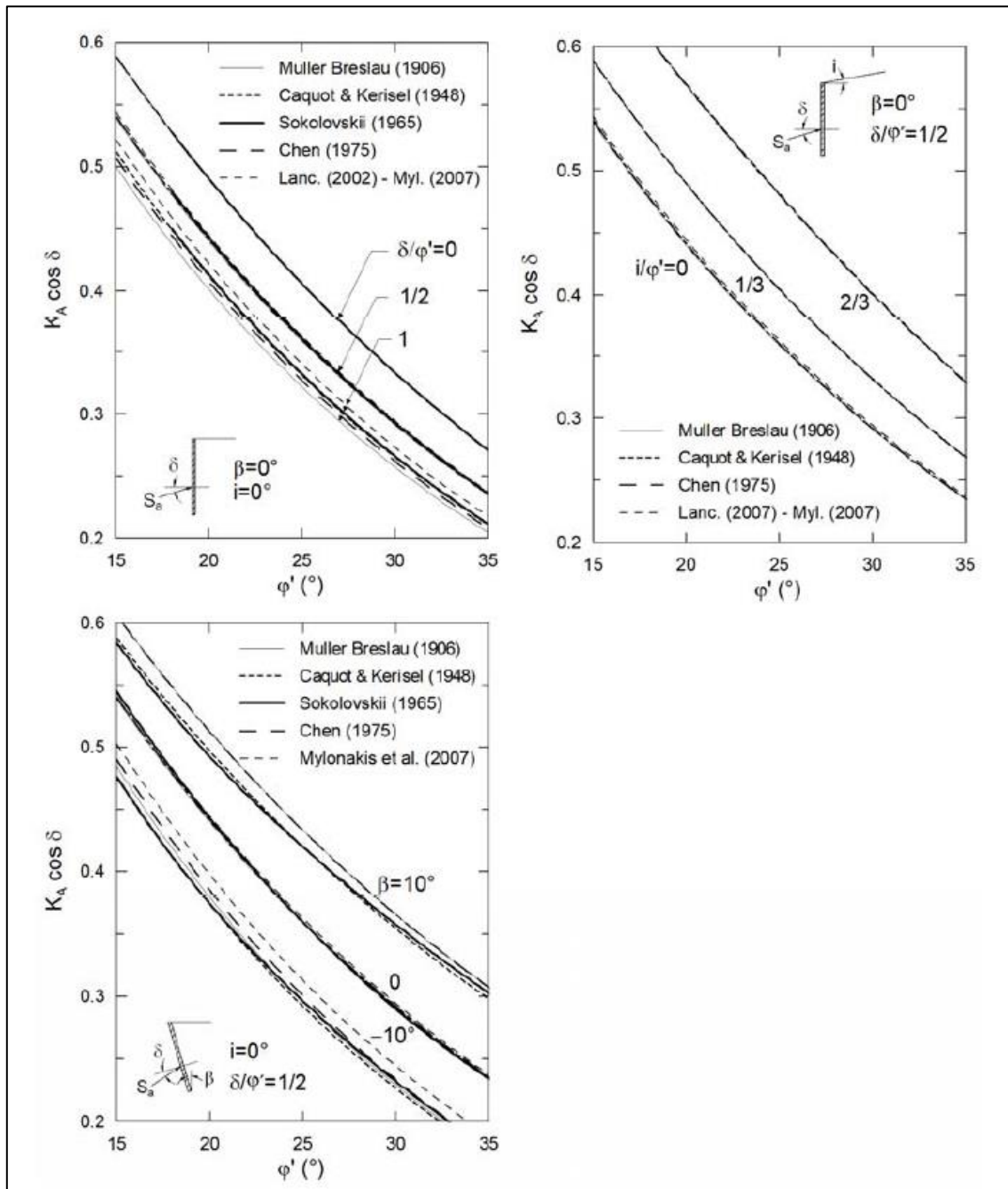


Figura 29: Confronto tra i valori di  $K_a \cdot \cos \delta$  ottenuti in condizioni statiche da alcune soluzioni di letteratura [2]

### 10.3.3 Coefficiente di spinta passiva in fase statica

I valori dei coefficienti di spinta passiva ( $k_p$ ) possono essere calcolati mediante l'utilizzo delle medesime formulazioni riportate Tabella 16. Ciononostante, dal momento che i risultati di tali formulazioni possono risultare molto differenti fra loro, come mostrato dai grafici in Figura 30 è consigliabile utilizzare le formulazioni ottenute mediante un approccio statico o mediante un approccio cinematico che tenga conto della non planarità della superficie di scorrimento.

Nel caso si consideri l'angolo d'attrito fra terreno e opera di sostegno, questo non dovrà essere superiore ai 2/3 del valore dell'angolo d'attrito del terreno ( $\delta \leq 2/3 \phi'$ ).

Inoltre, se  $\delta > \phi'/2$  (e comunque  $\leq 2/3 \phi'$ ), nel caso si utilizzi una formulazione derivante da un approccio cinematico, sarà necessario tenere conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

A titolo esemplificativo, si riporta di seguito l'espressione analitica della formulazione di Lancellotta 2002 (formulazione cautelativa in quanto ottenuta mediante approccio statico).

$$K_p = \frac{\cos \delta + \sqrt{\sin^2(\phi') - \sin^2(\delta)}}{\cos i - \sqrt{\sin^2(\phi') - \sin^2(i)}} \cdot e^{+2\Psi \tan \phi'}$$

$$2\Psi = \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{\sin \delta}{\sin \phi'}\right) + \operatorname{sen}^{-1}\left(\frac{\sin i}{\sin \phi'}\right) + \delta + i$$

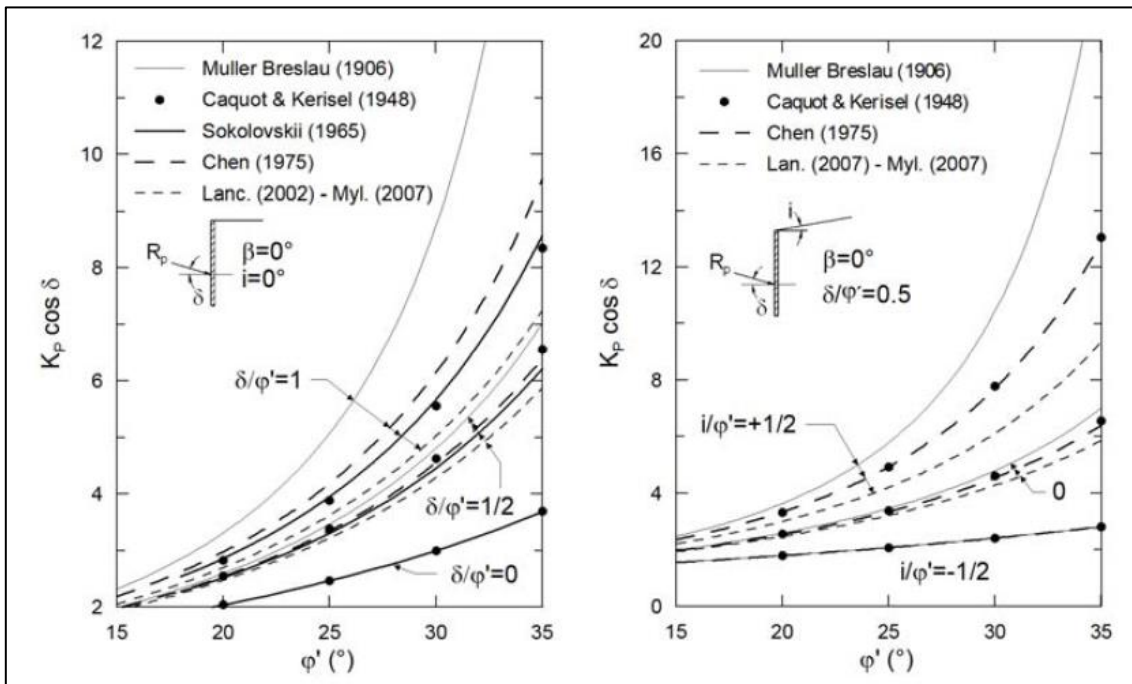


Figura 30: Confronto tra i valori di  $K_p \cdot \cos \delta$  ottenuti in condizioni statiche da alcune soluzioni di letteratura [2]

#### 10.3.4 Coefficiente di spinta attiva in fase sismica

Le azioni sismiche possono essere tenute in considerazione mediante il metodo pseudostatico, nel quale si assume che un fissato valore di accelerazione agisce uniformemente nel volume di terreno esaminato.

I valori dei coefficienti di spinta attiva in condizioni sismiche ( $k_{a,sim}$ ) possono essere calcolati mediante l'utilizzo di comprovate formulazioni disponibili in letteratura (Tabella 17).

Autore	Lancellotta (2007)	Mylonakis et al. (2007)	Mononobe – Okabe (1924) (1929)	Chang (1981)
metodo	estr. inferiore appr. statico	estr. inferiore appr. statico	equil. limite appr. cinematic. sup. piana	estr. superiore appr. cinematic. sup. curvilinea
$\delta$	sì	sì	sì	sì
$i$	sì	sì	sì	sì
$\beta$	0	si	si	sì

Tabella 17: Soluzioni disponibili per gli stati limite in condizioni pseudostatiche [2]

Analogamente a quanto già detto per il calcolo del  $k_a$  statico (paragrafo 10.3.2), anche nel caso di condizioni simiche, la scelta della specifica formulazione da utilizzare per il calcolo del coefficiente  $k_{a,sim}$  è lasciata alla discrezione del progettista, in quanto le varie formulazioni forniscono risultati simili come mostrato dai grafici riportati in Figura 31.

A titolo esemplificativo, si riporta di seguito l'espressione analitica della formulazione di Lancellotta 2007.

$$K_{a,sism} = \frac{\cos \delta - \sqrt{\sin^2(\phi') - \sin^2(\delta)}}{\cos(i + \vartheta) + \sqrt{\sin^2(\phi') - \sin^2(i + \vartheta)}} \cdot e^{-2\Psi_e \tan \phi'} \cdot \frac{\cos i}{\cos \vartheta}$$

$$2\Psi_e = \sin^{-1}\left(\frac{\sin \delta}{\sin \phi'}\right) - \sin^{-1}\left(\frac{\sin(i + \vartheta)}{\sin \phi'}\right) - \delta + i - \vartheta$$

$$\vartheta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$$

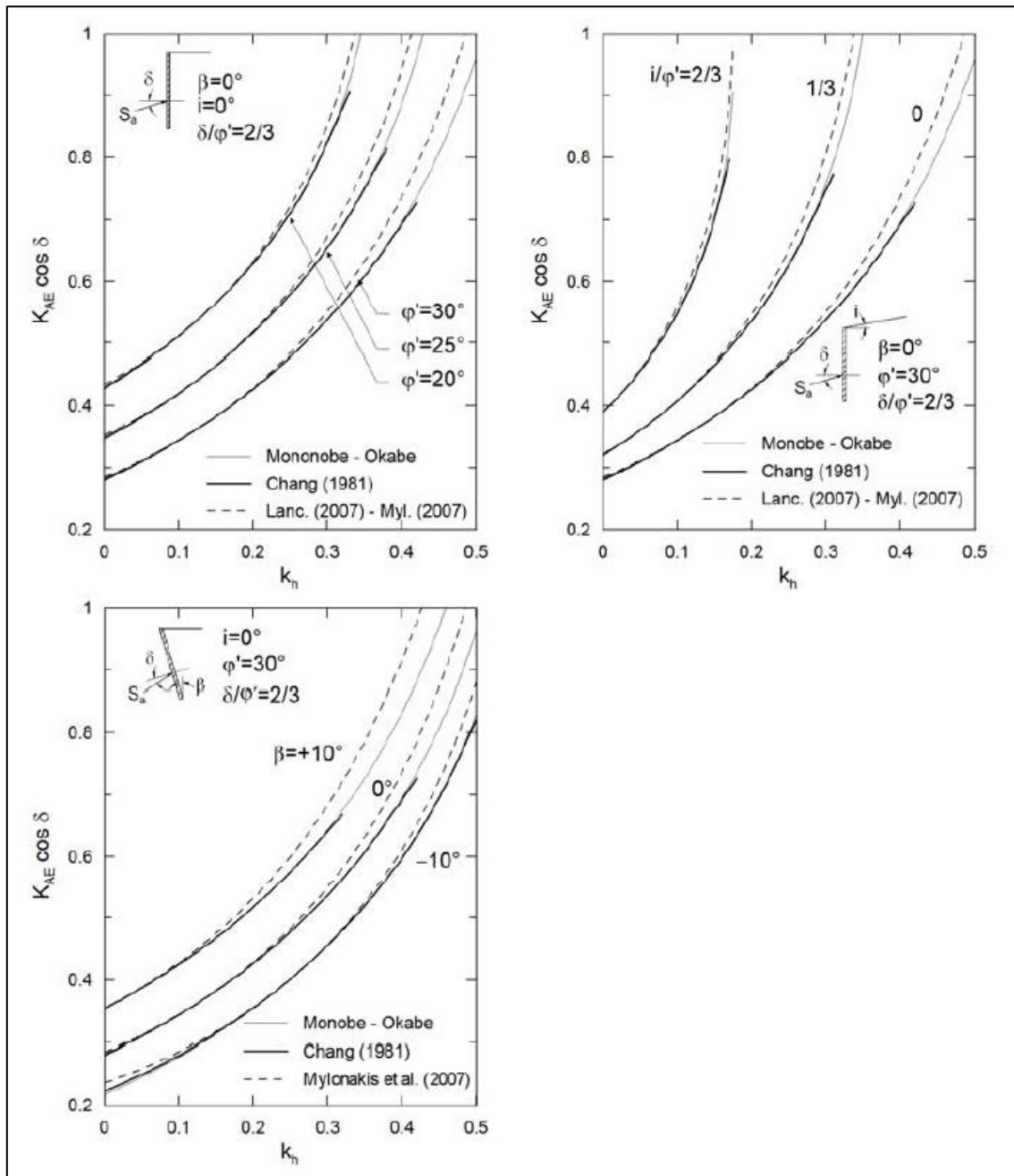


Figura 31: Confronto tra i valori di  $K_{a,sism} \cdot \cos \delta$  ottenuti con  $k_v = 0$  [2]

### 10.3.5 Coefficiente di spinta passiva in fase sismica

I valori dei coefficienti di spinta passiva in condizioni sismiche ( $k_{p,sism}$ ) possono essere calcolati mediante l'utilizzo delle medesime formulazioni riportate Tabella 17. Ciononostante, dal momento che i risultati di tali formulazioni possono risultare molto differenti fra loro, come mostrato dai grafici in Figura 32 è consigliabile utilizzare le formulazioni ottenute mediante un approccio statico o mediante un approccio cinematico che tenga conto della non planarità della superficie di scorrimento.

Nel caso si consideri l'angolo d'attrito fra terreno e opera di sostegno, questo non dovrà essere superiore ai 2/3 del valore dell'angolo d'attrito del terreno ( $\delta \leq 2/3 \phi'$ ).

Inoltre, se  $\delta > \phi'/2$  (e comunque  $\leq 2/3 \phi'$ ), nel caso si utilizzi una formulazione derivante da un approccio cinematico, sarà necessario tenere conto della non planarità delle superfici di scorrimento.

A titolo esemplificativo, si riporta di seguito l'espressione analitica della formulazione di Lancellotta 2007 (formulazione cautelativa in quanto ottenuta mediante approccio statico).

$$K_{p,sism} = \frac{\cos \delta + \sqrt{\text{sen}^2(\phi') - \text{sen}^2(\delta)}}{\cos(i + \vartheta) - \sqrt{\text{sen}^2(\phi') - \text{sen}^2(i + \vartheta)}} \cdot e^{+2\psi_e \tan \phi'} \cdot \frac{\cos i}{\cos \vartheta}$$

$$2\psi_e = \text{sen}^{-1}\left(\frac{\sin \delta}{\sin \phi'}\right) + \text{sen}^{-1}\left(\frac{\sin(i + \vartheta)}{\sin \phi'}\right) + \delta + i - \vartheta$$

$$\vartheta = \tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$$

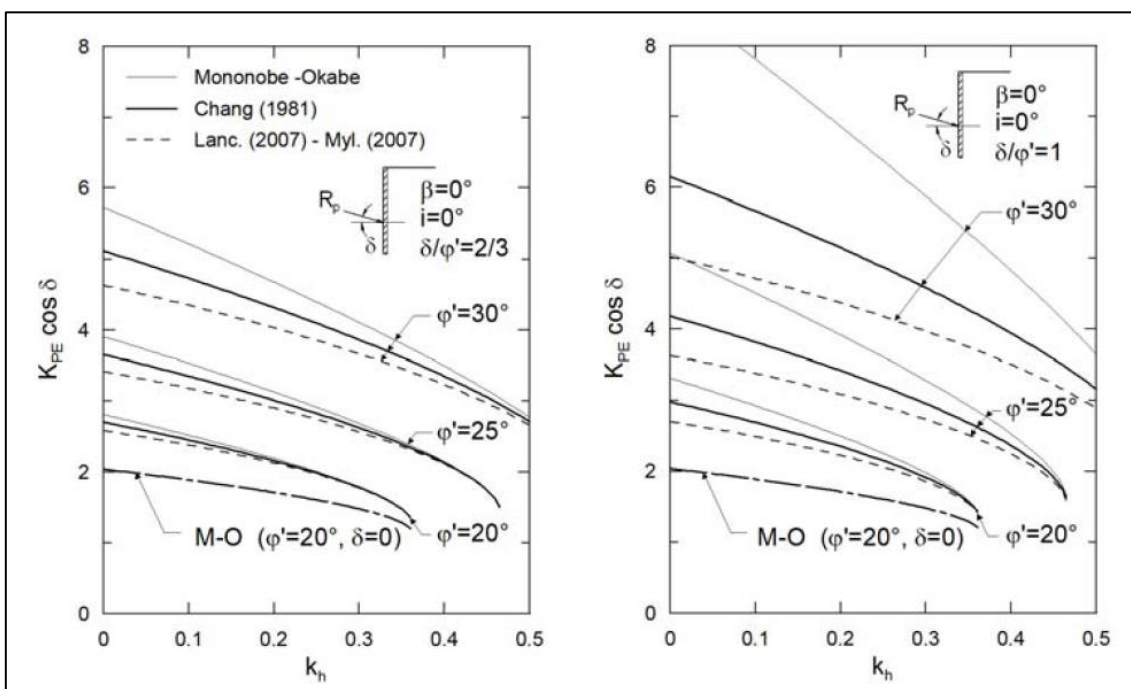


Figura 32: Confronto tra i valori di  $K_{p,sism} \cdot \cos \delta$  ottenuti con  $k_v = 0$  [2]



## 11 FONDAZIONI SU PALI

### 11.1 Verifica agli stati limite ultimi (SLU)

Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni su pali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche delle fondazioni su pali devono essere effettuate con riferimento almeno ai seguenti stati limite, accertando che la condizione  $E_d \leq R_d$  sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
  - collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
  - collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
  - collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
  - stabilità globale;
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza dei pali;
  - raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1 tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 18 e Tabella 19 per le azioni e i parametri geotecnici, e di  $\gamma_R = 1.1$  per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabella 18 e Tabella 19, Tabella 25 e Tabella 26.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale, il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

*Azioni (coefficienti A):*

La seguente tabella riporta i fattori di sicurezza parziali da applicare alle azioni nelle diverse combinazioni di carico.

carichi	effetto	coefficiente parziale	EQU	A1 (STR)	A2 (GEO)
Permanenti	favorevole	$\gamma_{G1}$	0.9	1.0	1.0
	sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	favorevole	$\gamma_{G2}$	0.8	0.8	0.8
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	favorevole	$\gamma_{Qi}$	0.0	0.0	0.0
	sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 18: Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

### Parametri geotecnici (coefficienti M):

Le analisi allo stato limite ultimo prevedono l'utilizzo di due set di parametri: i parametri caratteristici e i parametri ridotti. I primi sono deducibili da prove in sito o di laboratorio su campioni significativi, i secondi sono ricavabili riducendo i parametri caratteristici con i coefficienti M2:

Parametro	simbolo	coefficiente parziale	M1	M2
tangente angolo di attrito	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1.00	1.25
coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1.00	1.40
peso unità di volume	$\gamma$	$\gamma_{\gamma}$	1.00	1.00

Tabella 19: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

### 11.2 Resistenze di pali soggetti a carichi assiali

Il valore di progetto  $R_d$  della resistenza si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando i coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati in Tabella 25.

Tipologia di palo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
Resistenza	R3	R3	R3
Base $\gamma_b$	1.15	1.35	1.3
Laterale in compressione $\gamma_s$	1.15	1.15	1.15
Laterale in trazione $\gamma_{st}$	1.25	1.25	1.25

Tabella 20: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali

### 11.3 Resistenze di pali soggetti a carichi trasversali

Il valore di progetto  $R_{t,d}$  della resistenza trasversale si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando il coefficiente parziale  $\gamma_R$  riportato in Tabella 26.

<b>Coefficiente parziale (R3)</b>	$\gamma_t = 1.3$
-----------------------------------	------------------

Tabella 21: Coefficiente parziale  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali



## 11.4 Condizioni sismiche

Le verifiche di capacità portante dei pali in presenza di azioni sismiche consistono nel confronto tra le azioni (forza assiale e forza trasversale sul palo) e le corrispondenti resistenze, nel rispetto della condizione  $E_d \leq R_d$  ponendo unitari i coefficienti amplificativi delle azioni e dei materiali e considerando i medesimi coefficienti di cui ai paragrafi 11.2 e 11.3 per le resistenze.

## 11.5 Curve di capacità portante dei pali di fondazione

Nel seguito si riporta la procedura utilizzata per il calcolo delle curve di capacità portante verticale ed orizzontale dei pali di fondazione. Tali curve sono state utilizzate nelle specifiche Relazioni di Calcolo per il dimensionamento dei pali di fondazione.

### 11.5.1 Capacità portante verticale

Il calcolo delle curve di capacità portante verticale dei pali è stato condotto in accordo con le NTC 2008, considerando i valori dei coefficienti parziali definiti per l'Approccio 2, combinazione A1+M1+R3 di cui ai paragrafi 11.1, 11.2, 11.3 e 11.4 rispettivamente in condizioni statiche e sismiche.

La capacità portante ultima dei pali è stata valutata mediante la seguente espressione:

$$R_k = R_{c,k} + R_{b,k} - W$$

dove:

- $R_{c,k}$  capacità portante caratteristica per attrito laterale
- $R_{b,k}$  capacità portante caratteristica di punta
- $W$  peso del palo

La vigente normativa prevede di calcolare le resistenze caratteristiche  $R_{c,k}$  e  $R_{b,k}$  sopra menzionate a partire dalle resistenze di calcolo ottenute considerando i parametri medi e minimi dei terreni, e opportunamente fattorizzate:

$$R_k = \min\left(\frac{R_{cal,media}}{\xi_3}; \frac{R_{cal,min}}{\xi_4}\right)$$

Le resistenze di calcolo, in condizione drenate e non drenate, sono state valutate mediante le seguenti espressioni:

Condizioni non drenate:

$$R_{c,cal} = \sum(\alpha \cdot c_u \cdot p \cdot \Delta L)$$

$$R_{b,cal} = 9 \cdot c_u \cdot A_p$$

Condizioni drenate:

$$R_{c,cal} = \sum(\alpha \cdot c + K \cdot p_0' \cdot \tan \delta) \cdot p \cdot \Delta L$$

$$R_{b,cal} = A_p \cdot [(q + L \cdot \gamma') \cdot N_q + c \cdot N_c]$$

dove:

- $\alpha$  coefficiente riduttivo dipendente dalle modalità di costruzione
- $c_u$  coesione non drenata
- $c$  coesione drenata
- $p$  perimetro palo

- $A_p$  area della base del palo
- $\Delta L$  lunghezza tratto omogeneo
- $p_0'$  pressione geostatica efficace a metà del tratto  $\Delta L$
- $K$  coefficiente di spinta laterale sul palo
- $\gamma'$  peso di volume efficace del terreno di fondazione
- $N_q, N_c$  coefficienti di capacità portante
- $L$  lunghezza del palo (limitata superiormente da un valore pari a 15 diametri)
- $\delta$  angolo d'attrito fra terreno e palo
- $q$  sovraccarico

Come si evince dalle formule sopra riportate, e in accordo con le prove sperimentali di Skempton, la capacità portante di punta  $R_{b,cal}$  in condizioni non drenate è stata calcolata trascurando il contributo del sovraccarico  $qN_q$ .

Da letteratura, sono stati assunti i seguenti valori:

$$\alpha = 0.5$$

$$K = 1 - \sin \phi \text{ (e comunque } K \leq 0.5)$$

$$\delta = 0.7\phi$$

L'aderenza laterale è stata limitata a 100 KPa.

La capacità portante di base in condizione drenate è stata limitata superiormente al relativo valore calcolato ad una profondità  $L$  pari a 15 volte il diametro del palo.

I coefficienti  $\xi$ , viceversa, assumono i valori riportati nella seguente Tabella 22 in funzione del numero di verticali indagate:

numero verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1.7	1.65	1.6	1.55	1.5	1.45	1.4
$\xi_4$	1.7	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Tabella 22: Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate

La capacità portante di progetto del singolo palo è stata valutata fattorizzando la capacità portante laterale  $R_{c,k}$  e la capacità portante di base  $R_{b,k}$ , come prescritto dalla vigente normativa.

I valori dei coefficienti  $R_3$  utilizzati per il calcolo dei valori di progetto della capacità portante verticale, utilizzati per la realizzazione delle curve di capacità portante, sono quelli riportati in Tabella 20 (paragrafo 11.2) per pali di tipo trivellato.

$$R_{c,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_s} \quad \text{Capacità portante di progetto per attrito laterale in compressione}$$

$$R_{t,d} = \frac{R_{c,k}}{\gamma_{st}} \quad \text{Capacità portante di progetto per attrito laterale in trazione}$$

$$R_{b,d} = \frac{R_{b,k}}{\gamma_b} \quad \text{Capacità portante di progetto di punta}$$

$$N_{Rd,c} = R_{c,d} + R_{b,d} - W' \cdot \gamma_G \quad \text{Resistenza di progetto in compressione}$$

$$N_{Rd,t} = R_{t,d} + W' \cdot \gamma_G \quad \text{Resistenza di progetto in trazione}$$

Dove  $W'$  rappresenta il peso efficace del palo.

Per il calcolo della capacità portante a compressione, il coefficiente parziale amplificativo del peso del palo ( $\gamma_G$ ) è stato assunto pari ad 1.3 nella combinazione STR e pari ad 1 nella combinazione GEO e SLV.

Per il calcolo della capacità portante a trazione  $N_{Rd,t}$  il coefficiente  $\gamma_G$  è stato assunto unitario in tutte le combinazioni.

## 11.5.2 Capacità portante orizzontale

### 11.5.2.1 Teoria delle curve $p-y$

Nel caso di palo caricato in testa da una forza di taglio e da un momento flettente, per lo studio dell'interazione fra palo e terreno è possibile utilizzare un modello alla Winkler secondo il quale il terreno è assimilato ad un letto di molle orizzontali. Questo tipo di modello, essendo bidimensionale, non è in grado di tenere conto della torsione e dei momenti flettenti fuori piano.

Il metodo richiede la definizione della legge *carico – spostamento* delle molle (curve  $p-y$ ); la quale generalmente può variare con la profondità. Il modo più semplice per definire tale legge consiste nell'utilizzare un modello elastico lineare. In questo caso definiti  $k_h$  ( $\text{kN/m}^3$ ) il coefficiente di reazione orizzontale del terreno,  $y$  lo spostamento orizzontale di un punto del palo ad una generica profondità  $x$  e  $p$  la pressione orizzontale alla stessa profondità, si ha:

$$k_h \cdot y = p$$

Si possono assumere diversi andamenti di  $k_h$  con la profondità:

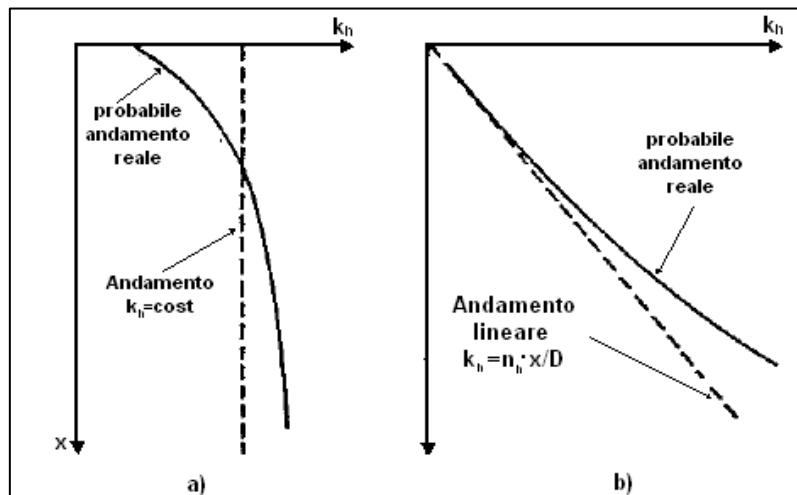


Figura 33: Andamenti del coefficiente di reazione orizzontale del terreno  $k_h$  ( $\text{kN/m}^3$ )  
a) argille sovraconsolidate, b) argille normalmente consolidate (Rossi & Salvi, 1996)

Il modello elastico lineare anche se concettualmente semplice non tiene conto del reale comportamento terreno.

È ragionevole, infatti, pensare che il comportamento del terreno non sia perfettamente lineare con la profondità (vedi Figura 33) e che, di conseguenza, la pressione orizzontale  $p$  non vari linearmente con la profondità e, viceversa, a profondità fissata, la deformazione non sia lineare all'aumentare di  $p$ .

Inoltre, la pressione nel terreno deve essere limitata ad un valore massimo definito in funzione della profondità:  $p = p_u$ .

Il comportamento del terreno attorno al palo viene quindi modellato tramite una serie di molle non lineari e quindi da leggi  $p$ - $y$  non lineari (in Figura 34 sono riportate alcune possibili curve  $p$ - $y$ ).

La definizione delle curve  $p$ - $y$  a diverse profondità sta quindi alla base della soluzione del problema di un palo caricato lateralmente e da questa dipendono le sollecitazioni che si sviluppano nel palo.

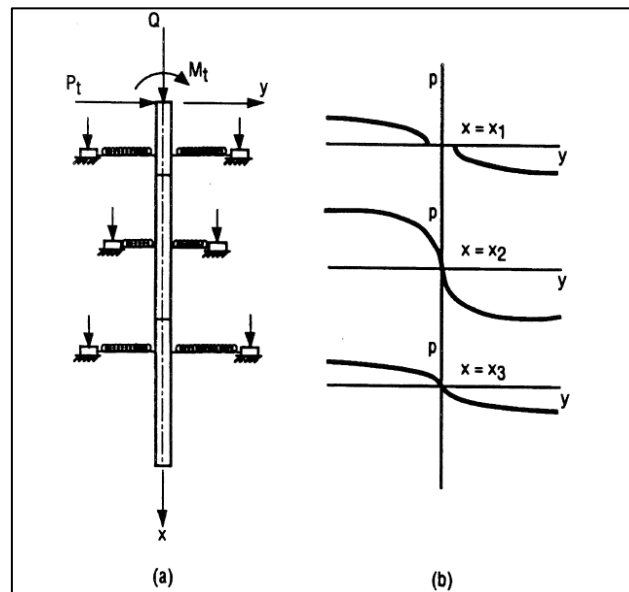


Figura 34: Modellazione di un palo caricato lateralmente usando le curve  $p$ - $y$

### 11.5.2.2 Definizione delle curve $p$ - $y$

#### 11.5.2.2.1 Terreni non coesivi

Per la determinazione delle curve  $p$ - $y$  è possibile seguire la seguente procedura:

- si calcola l'andamento di  $k_h$  (espresso in  $\text{kN/m}^3$ ) con la profondità, ad esempio calcolandone il valore a ogni metro di profondità del palo, secondo la seguente formula:

$$k_h = n_h \cdot \frac{x}{D}$$

Dove  $n_h$  assume i valori riportati in Tabella 23.

Sabbie	Densità relativa		
	Sciolta	Media	Densa
Asciutte o umide	2200	6700	18000
Immerse	1300	4500	11000

Tabella 23: Valori del coefficiente  $n_h$  [ $\text{kN/m}^3$ ] (Ricceri, 1975)

- Si valuta la pressione limite  $p_u$  (espressa in  $\text{kPa}$ ) che il terreno è in grado di sopportare

all'aumentare della profondità. Tale resistenza limite ad una profondità  $x$  al di sotto della superficie è data dalla seguente espressione:

$$p_u = (q \cdot K_q + c \cdot K_c)$$

Dove:

- $q = \gamma \cdot x + q_{superficie}$  pressione litostatica che tiene conto anche dell'eventuale presenza di un sovraccarico superficiale;
- $c$  coesione efficace;
- $K_c, K_q$  coefficienti diagrammati in Figura 35.

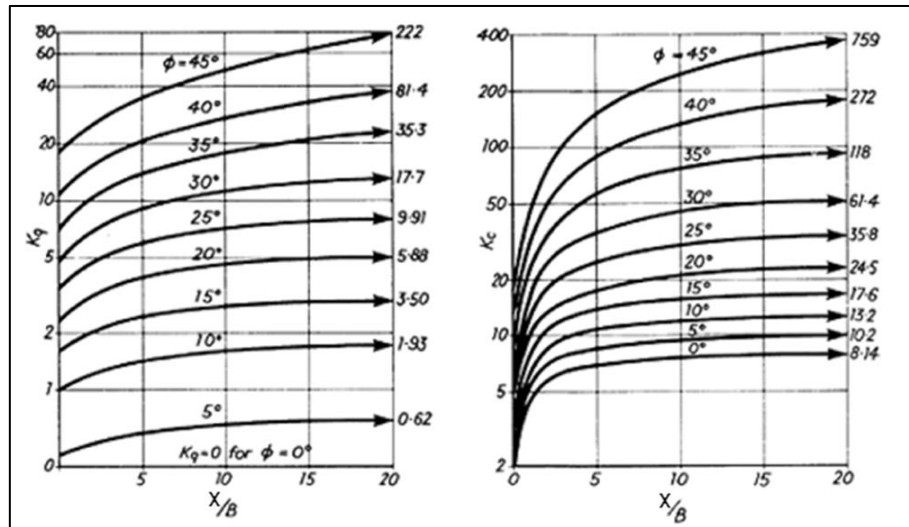


Figura 35: Coefficienti del metodo di Brinch Hansen (Tomlinson, 2004)

- Si valuta lo spostamento limite  $y_u$  per ogni profondità come rapporto tra  $k_h$  e  $p_u$ .
- Si costruisce ad ogni profondità la curva  $p-y$  secondo il seguente schema:

$$p_u = \begin{cases} k_h \cdot y & \text{per } y < y_u \\ p_u(x) & \text{per } y \geq y_u \end{cases}$$

### 11.5.2.2 Terreni coesivi

Per la determinazione delle curve  $p-y$  è possibile seguire la seguente procedura:

- Si sceglie un valore di  $k_h$  (espresso in  $\text{kN/m}^3$ ) da considerarsi costante con la profondità. I valori di  $k_h$  che si possono trovare in letteratura sono caratterizzati da un'elevata variabilità perciò sarà compito del progettista scegliere di volta in volta il valore più adatto al caso in esame.
- La rigidità delle molle  $k_h$  si può ottenere a partire dal valore della coesione non drenata  $c_u$  (Poulos & Davis, 2002 [1]) utilizzando la correlazione proposta da Broms e di seguito riportata:

$$k_h = 1.67 \cdot \frac{E_{50}}{D}$$

Usando un valore di  $E_{50}$  compreso tra 50 e 200 volte  $c_u$ , come suggerito da Skempton, si ottiene:

$$k_h = (80 \div 320) \frac{c_u}{D}$$

- Si valuta la pressione limite  $p_u$  (espressa in kPa) che il terreno è in grado di sopportare all'aumentare della profondità. Tale resistenza limite ad una determinata profondità  $x$  al di sotto della superficie è fornita dalla seguente espressione:

$$p_u = \begin{cases} \left( \frac{7 \cdot c_u}{3 \cdot D} x + 2 \cdot c_u \right) & \text{per } x \leq 3 \cdot D \\ 9 \cdot c_u & \text{per } x > 3 \cdot D \end{cases}$$

Infatti, per quanto riguarda la pressione limite tutti gli autori concordano sul fatto che il valore massimo a cui si può arrivare è  $9c_u$ ; inoltre (Poulos & Davis, 2002 [1]) riportano l'andamento della  $p_u$  con la profondità (Figura 36b).

Sansoni, citando Broms, suggerisce di adottare un valore nullo per la  $p_u$  fino ad una profondità di  $1.5D$ , mentre per profondità maggiori assegna  $p_u=9c_u$ .

Dal momento che il procedimento di Broms risulta essere troppo cautelativo si è scelto di assumere uno schema simile alla distribuzione reale così come riportata da (Poulos & Davis, 2002) e, in particolare, di adottare un andamento della  $p_u$  lineare fino a  $3D$  e successivamente costante con la profondità (Figura 36c).

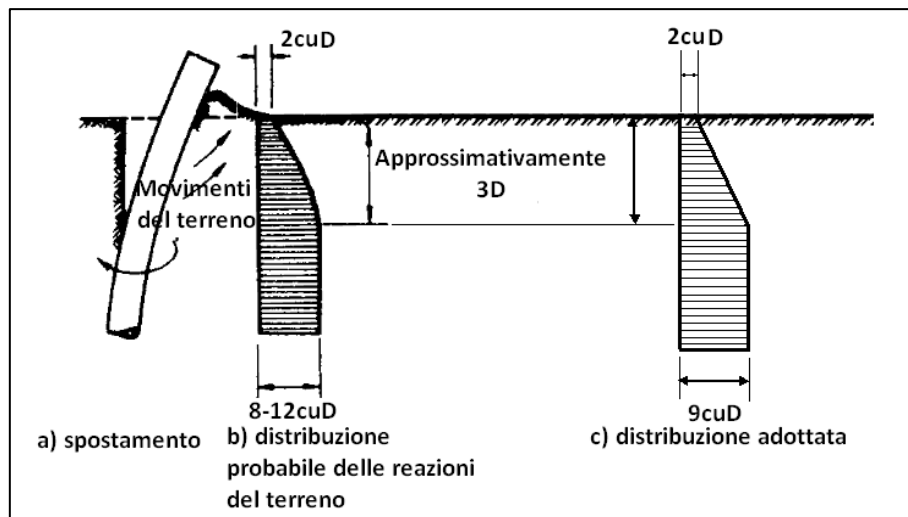


Figura 36: Distribuzione della resistenza laterale lungo il palo da (Poulos & Davis, 2002 [1])

- Si valuta lo spostamento limite  $y_u$  per ogni profondità come rapporto tra  $k_h$  e  $p_u$ ;
- Si costruisce ad ogni profondità la curva  $p$ - $y$  secondo il seguente schema:

$$p_u = \begin{cases} k_h \cdot y & \text{per } y < y_u \\ p_u(x) & \text{per } y \geq y_u \end{cases}$$

## 11.6 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

Per i pali di fondazione in condizioni SLE sono state considerate le verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio e le verifiche a fessurazione già precedentemente trattate ai rispettivi paragrafi 9.3.1 e 9.3.2 ai quali si rimanda.

## 12 FONDAZIONI SU MICROPALI

Le verifiche delle fondazioni su micropali sono condotte secondo il metodo degli Stati Limite, come prescritto dalle "Nuove norme tecniche sulle costruzioni" del 14 gennaio 2008.

### 12.1 Verifiche agli Stati Limite Ultimi

Le verifiche sono effettuate con riferimento ai seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO):
  - collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali;
  - collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi trasversali;
  - collasso per carico limite di sfilamento nei riguardi dei carichi assiali di trazione;
  - stabilità globale.
- SLU di tipo strutturale (STR)
  - raggiungimento della resistenza dei pali;
  - raggiungimento della resistenza della struttura di collegamento dei pali.

Per ogni stato limite considerato si accerta che sia soddisfatta la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove  $E_d$  e  $R_d$  rappresentano rispettivamente le sollecitazioni e le resistenze di progetto.

In accordo con le NTC 2008 le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) delle opere in oggetto sono effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione A1+M1+R3 (dove il segno '+' in ossequio alla normativa ha il significato di 'combinato con').

I fattori di sicurezza parziali sulle azioni (A1), sui parametri geotecnici (M1) e sulle resistenze (R3) sono riportati nelle Tabella 24, Tabella 25, Tabella 26 e Tabella 27.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> per la spinta delle terre si faccia riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Tabella 24: Coefficienti parziali  $\gamma_F$  e  $\gamma_E$  per le azioni o per l'effetto delle azioni (NTC 2008).



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

Tabella 25: Coefficienti parziali  $\gamma_M$  per i parametri geotecnici del terreno (NTC 2008).

Resistenza	Simbolo	Pali infissi	Pali trivellati	Pali ad elica continua
	$\gamma_R$	(R3)	(R3)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,15	1,35	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,15	1,15	1,15
Totale (*)	$\gamma$	1,15	1,30	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,25	1,25	1,25
(*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto				

Tabella 26: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali (NTC 2008).

Resistenza	Simbolo	Coefficiente parziale (R3)
Trasversale	$\gamma_T$	1,3

Tabella 27: Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali (NTC 2008).

## 12.2 Condizioni sismiche

Le verifiche di capacità portante dei micropali in presenza di azioni sismiche consistono nel confronto tra le azioni (forza assiale e forza trasversale sul micropalo) e le corrispondenti resistenze, nel rispetto della condizione  $E_d \leq R_d$  ponendo unitari i coefficienti amplificativi delle azioni e dei materiali e considerando i medesimi coefficienti di cui al paragrafo 12.1 per le resistenze.

## 12.3 Verifica di resistenza nei confronti dei carichi assiali

La verifica di resistenza nei confronti dei carichi assiali per i micropali è soddisfatta se le azioni sollecitanti di progetto  $N_{c,Ed}$  di compressione e  $N_{t,Ed}$  di trazione risultano inferiori alle rispettive resistenze di progetto  $R_{c,d}$  e  $R_{t,d}$ .

$$N_{c,Ed} \leq R_{c,d}$$

$$N_{t,Ed} \leq R_{t,d}$$

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  si ottiene a partire dal valore della resistenza caratteristica  $R_{c,k}$  applicando i coefficienti presentati al paragrafo 12.1.

$$R_{c,d} = \frac{R_k}{\gamma_s}$$



$$R_{t,d} = \frac{R_k}{\gamma_{st}}$$

dove:

$R_{c,d}$  capacità portante di progetto in compressione

$R_{t,d}$  capacità portante di progetto in trazione

La capacità portante caratteristica del singolo micropalo è valutata ipotizzando che tutta la resistenza si sviluppi per aderenza laterale, mediante la seguente espressione:

$$R_k = R_{c,k}$$

dove:

$R_{c,k}$  capacità portante caratteristica per attrito laterale

Nel caso di resistenza caratteristica ottenuta tramite metodi di calcolo analitici, la vigente normativa prevede di calcolare la resistenza caratteristica  $R_k$  a partire dalle resistenze di calcolo ottenute considerando i parametri geotecnici medi e minimi dei terreni, opportunamente fattorizzate:

$$R_{c,k} = \min \left( \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}; \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right)$$

I coefficienti  $\xi$  assumono i valori riportati Tabella 28 in funzione del numero di verticali indagate.

numero verticali indagate	1	2	3	4	5	7	>10
$\xi_3$	1.7	1.65	1.60	1.55	1.50	1.45	1.40
$\xi_4$	1.7	1.55	1.48	1.42	1.34	1.28	1.21

Tabella 28: Fattore di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate (NTC 2008).

La resistenza di calcolo  $R_{c,cal}$  è valutata mediante la seguente formula:

$$R_{c,cal} = \sum_i \tau_{lim\ i} \cdot \pi \cdot \alpha_i \cdot \phi_{perf} \cdot L_i$$

dove:

$\tau_{lim\ i}$  aderenza tra l'i-esimo strato di terreno e il micropalo

$\alpha_i$  coefficiente empirico funzione del terreno e delle modalità esecutive

$\phi_{perf}$  diametro di perforazione del micropalo

$L_i$  lunghezza del tratto di micropalo nell'i-esimo strato di terreno

## 12.4 Verifica di resistenza nei confronti di carichi trasversali

Per la procedura metodologica relativa alla verifica di resistenza dei micropali nei confronti di carichi trasversali si possono seguire le disposizioni presentate al paragrafo 11.5.2 nel quale è riportato il calcolo della capacità portante orizzontale per pali di grande diametro.

## 12.5 Verifiche agli Stati Limite di Esercizio

Per i micropali di fondazione è stata considerata la verifica SLE di limitazione delle tensioni in esercizio esclusivamente lato acciaio già trattata al precedente paragrafo 9.3.1 al quale si rimanda.

**RTI di progettazione:**



**Mandataria**

Via G.B. Sammartini n°5  
20125 - Milano  
Tel. 02 6787911  
email: mail@proiter.it



**Mandante**

Via Artemide n°3  
92100 Agrigento  
Tel. 0922 421007  
email: deltaingegneria@pec.it

## 13 APPENDICE 1 – TABULATI DI CALCOLO DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ DI RILEVATI E TRINCEE

### 13.1 S20 – Sezione SS131 sud 23

## *Slide Analysis Information*

## *SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

### *Project Summary*

- 
- File Name: S20\_Sezione SS131 sud\_23.slim
  - Slide Modeler Version: 6.008
  - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

### *General Settings*

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

### *Analysis Options*

#### **Analysis Methods Used**

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

### *Groundwater Analysis*

- 
- Groundwater Method: Water Surfaces

- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2

## Loading

- 3 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

### Distributed Load 3

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

## Material Properties

Property	r	ec-BPL2	BPL2 frat	BPL2
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		19	20	22
Saturated Unit Weight [kN/m3]		20	21	23
Cohesion [kPa]	0	4	0	40
Friction Angle [deg]	29.3	21.7	28.4	33.9
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.182010
- Center: 45.567, 292.508
- Radius: 8.563
- Left Slip Surface Endpoint: 38.629, 287.488
- Right Slip Surface Endpoint: 46.298, 283.976
- Resisting Moment=925.353 kN-m
- Driving Moment=782.864 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 811
- Number of Invalid Surfaces: 4040

#### Error Codes:

- Error Code -101 reported for 39 surfaces
- Error Code -115 reported for 1647 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2354 surfaces

#### Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.18201

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	0.306769	1.19981	r	0	29.3	8.78537	10.3844	18.5047	0	18.5047
2	0.306769	3.46543	r	0	29.3	10.0578	11.8884	21.185	0	21.185
3	0.306769	5.82662	r	0	29.3	6.03849	7.13755	12.719	0	12.719
4	0.306769	7.72417	r	0	29.3	8.26721	9.77193	17.4134	0	17.4134
5	0.306769	9.32847	r	0	29.3	10.277	12.1475	21.6467	0	21.6467
6	0.306769	10.7787	r	0	29.3	12.1913	14.4102	25.6787	0	25.6787
7	0.306769	12.0914	r	0	29.3	14.0121	16.5624	29.5138	0	29.5138
8	0.306769	12.7435	r	0	29.3	15.1057	17.8551	31.8173	0	31.8173
9	0.306769	12.6478	r	0	29.3	15.3151	18.1026	32.2583	0	32.2583
10	0.306769	12.4458	r	0	29.3	15.378	18.177	32.3912	0	32.3912
11	0.306769	12.1454	r	0	29.3	15.2996	18.0843	32.2258	0	32.2258
12	0.306769	11.7527	r	0	29.3	15.0826	17.8278	31.7688	0	31.7688
13	0.306769	11.2725	r	0	29.3	14.7288	17.4096	31.0234	0	31.0234
14	0.306769	10.7088	r	0	29.3	14.2393	16.831	29.9925	0	29.9925
15	0.306769	10.0652	r	0	29.3	13.6146	16.0926	28.6766	0	28.6766
16	0.306769	9.34446	r	0	29.3	12.8542	15.1938	27.0751	0	27.0751
17	0.306769	8.54909	r	0	29.3	11.9572	14.1335	25.1855	0	25.1855
18	0.306769	7.68105	r	0	29.3	10.9216	12.9094	23.0043	0	23.0043

19	0.30676 g	6.74198	r	0	29.3	9.74493	11.5186	20.526	0	20.526
20	0.30676 g	5.73315	r	0	29.3	8.42396	9.95721	17.7435	0	17.7435
21	0.30676 g	4.65556	r	0	29.3	6.95433	8.22009	14.648	0	14.648
22	0.30676 g	3.48896	r	0	29.3	5.29908	6.26357	11.1615	0	11.1615
23	0.30676 g	1.82088	r	0	29.3	2.74204	3.24112	5.92435	0.14874 6	5.7756
24	0.30676 g	0.286153	r	0	29.3	0.328431	0.388209	0.94320 4	0.25142 3	0.69178 1
25	0.30676 g	0.063698 1	r	0	29.3	0.051892 8	0.061337 8	0.21115 1	0.10184 8	0.10930 3

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.18201

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	38.6293	287.488	0	0	0
2	38.936	287.089	4.68682	0	0
3	39.2428	286.734	9.12713	0	0
4	39.5496	286.415	11.3346	0	0
5	39.8563	286.127	13.8236	0	0
6	40.1631	285.865	16.3409	0	0
7	40.4699	285.627	18.7213	0	0
8	40.7766	285.41	20.8308	0	0
9	41.0834	285.212	22.49	0	0
10	41.3902	285.032	23.5983	0	0
11	41.6969	284.869	24.1754	0	0
12	42.0037	284.721	24.2503	0	0
13	42.3105	284.588	23.8593	0	0
14	42.6172	284.469	23.0463	0	0
15	42.924	284.363	21.8616	0	0
16	43.2308	284.269	20.3626	0	0
17	43.5376	284.188	18.6129	0	0
18	43.8443	284.12	16.6834	0	0
19	44.1511	284.062	14.6518	0	0
20	44.4579	284.017	12.6039	0	0
21	44.7646	283.982	10.6336	0	0
22	45.0714	283.959	8.84376	0	0
23	45.3782	283.947	7.35664	0	0
24	45.6849	283.945	6.52377	0	0



25	45.9917	283.955	6.41394	0	0
26	46.2985	283.976	0	0	0

## List Of Coordinates

### Water Table

X	Y
0.0398527	282.333
12.0399	282.732
16.0399	282.887
16.5399	282.907
19.1716	283.013
20.1722	283.113
26.0399	283.212
28.2899	283.234
36.649	283.472
45.7985	283.976
46.0482	283.976
46.2985	283.976
55.7022	284.493
58.0399	284.579
60.0399	284.523

### Line Load

X	Y
39.1899	287.474
33.7899	287.609
29.5399	287.735

### Line Load

X	Y
17.2899	287.544
17.2916	287.475
27.0399	287.718

### Line Load

X	Y
51.5635	286.869
51.5635	286.804
58.5635	286.624

## External Boundary

X	Y
60.0399	265
60.0399	276.526
60.0399	283.242
60.0399	284.523
60.0399	286.493
59.8135	286.644
58.5663	286.694
58.5635	286.624
51.5635	286.804
51.5635	286.869
50.3135	286.819
46.7985	284.476
46.2985	283.976
46.0482	283.976
45.7985	283.976
45.2989	284.475
40.7899	287.482
39.4399	287.542
39.3399	287.542
39.2899	287.472
39.1899	287.474
33.7899	287.609
29.5399	287.735
29.4899	287.785
29.3899	287.785
28.2899	287.791
27.0899	287.788
27.0399	287.718
17.2916	287.475
17.2899	287.544
16.5399	287.544
16.5399	282.907
16.0399	282.887
12.0399	282.732
0.0398527	282.333
0.0398527	280.946

0.0398527	274.32
0.0398527	265

## Material Boundary

X	Y
0.0398527	274.32
1.02353	274.366
1.69032	274.393
7.64443	274.594
13.0268	274.759
13.0668	274.76
19.5196	275.021
19.5788	275.024
19.638	275.027
19.6971	275.031
19.7563	275.035
19.8153	275.039
19.8744	275.044
19.9334	275.05
19.9678	275.053
20.2869	275.085
20.6384	275.12
25.093	275.195
27.3978	275.234
27.5825	275.234
28.7786	275.234
31.7997	275.194
35.499	275.151
37.3674	275.077
37.9062	275.055
37.9654	275.053
38.0247	275.051
38.0839	275.05
38.1432	275.05
38.2024	275.049
38.2617	275.05
38.3209	275.05
38.3802	275.051
38.4394	275.053
38.4986	275.055
38.5578	275.057
38.617	275.06
38.6762	275.063

38.7353	275.067
38.7944	275.071
38.8338	275.074
43.8505	275.469
43.9068	275.474
43.963	275.479
44.0128	275.484
46.8733	275.785
56.2191	276.509
57.6661	276.584
57.7222	276.585
60.0399	276.526

### Material Boundary

X	Y
0.0398527	280.946
19.4526	281.721
30.0399	281.718
41.2635	281.718
47.0196	282.185
60.0399	283.242

### Material Boundary

X	Y
16.5399	282.907
19.1716	283.013
20.1722	283.113
26.0399	283.212
28.2899	283.234
28.2899	282.749
35.7047	282.749
35.7047	281.949
36.0399	281.936
38.2058	281.849
39.2899	281.935
41.1614	282.082
43.1965	282.242
46.0483	282.542
46.0482	283.742
46.0482	283.976

## Material Boundary

X	Y
46.0482	283.742
52.0399	284.209
55.7022	284.493
58.0399	284.579
60.0399	284.523

**RTI di progettazione:**



**Mandataria**

Via G.B. Sammartini n°5  
20125 - Milano  
Tel. 02 6787911  
email: mail@proiter.it



**Mandante**

Via Artemide n°3  
92100 Agrigento  
Tel. 0922 421007  
email: deltaingegneria@pec.it

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

---

- File Name: S20\_Sezione SS131 sud\_23\_sisma.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### General Settings

---

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

#### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $\alpha < 0.2$ : 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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.019
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.01
- 3 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





### Distributed Load 3

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

## Material Properties

Property	r	ec-BPL2	BPL2 frat	BPL2
----------	---	---------	-----------	------



Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		19	20	22
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		20	21	23
Cohesion [kPa]	0	4	0	40
Friction Angle [deg]	29.3	21.7	28.4	33.9
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.196820
- Center: 45.567, 292.508
- Radius: 8.563
- Left Slip Surface Endpoint: 38.629, 287.488
- Right Slip Surface Endpoint: 46.298, 283.976
- Resisting Moment=876.509 kN-m
- Driving Moment=732.367 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 811
- Number of Invalid Surfaces: 4040

#### Error Codes:

- Error Code -101 reported for 39 surfaces
- Error Code -115 reported for 1647 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2354 surfaces

#### Error Codes

*The following errors were encountered during the computation:*

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.

- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.19682

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	0.306769	1.19981	r	0	29.3	2.31707	2.77311	4.94163	0	4.94163
2	0.306769	3.46543	r	0	29.3	4.47543	5.35629	9.54481	0	9.54481
3	0.306769	5.82662	r	0	29.3	6.04819	7.23859	12.899	0	12.899
4	0.306769	7.72417	r	0	29.3	8.27824	9.90756	17.6551	0	17.6551
5	0.306769	9.32847	r	0	29.3	10.2881	12.313	21.9416	0	21.9416
6	0.306769	10.7787	r	0	29.3	12.2016	14.6031	26.0223	0	26.0223
7	0.306769	12.0914	r	0	29.3	14.0207	16.7803	29.9021	0	29.9021
8	0.306769	12.7435	r	0	29.3	15.1119	18.0862	32.2292	0	32.2292
9	0.306769	12.6478	r	0	29.3	15.3182	18.3331	32.6692	0	32.6692
10	0.306769	12.4458	r	0	29.3	15.3781	18.4048	32.7969	0	32.7969
11	0.306769	12.1454	r	0	29.3	15.2967	18.3074	32.6234	0	32.6234
12	0.306769	11.7527	r	0	29.3	15.0769	18.0443	32.1545	0	32.1545
13	0.306769	11.2725	r	0	29.3	14.7204	17.6177	31.3943	0	31.3943
14	0.306769	10.7088	r	0	29.3	14.2286	17.0291	30.3455	0	30.3455
15	0.306769	10.0652	r	0	29.3	13.6018	16.2789	29.0088	0	29.0088
16	0.306769	9.34446	r	0	29.3	12.8398	15.3669	27.3836	0	27.3836
17	0.306769	8.54909	r	0	29.3	11.9416	14.2919	25.4678	0	25.4678
18	0.306769	7.68105	r	0	29.3	10.9053	13.0517	23.2578	0	23.2578
19	0.306769	6.74198	r	0	29.3	9.72861	11.6434	20.7483	0	20.7483

20	0.30676 9	5.73315	r	0	29.3	8.4082	10.0631	17.9322	0	17.9322
21	0.30676 9	4.65556	r	0	29.3	6.93996	8.30588	14.8009	0	14.8009
22	0.30676 9	3.48896	r	0	29.3	5.28707	6.32767	11.2758	0	11.2758
23	0.30676 9	1.82088	r	0	29.3	2.73595	3.27444	5.98374	0.14874 6	5.83499
24	0.30676 9	0.286153	r	0	29.3	0.328745	0.39344 9	0.95254 2	0.25142 3	0.70111 9
25	0.30676 9	0.063698 1	r	0	29.3	0.052235 1	0.06251 6	0.21325 1	0.10184 8	0.11140 3

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.19682

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	38.6293	287.488	0	0	0
2	38.936	287.089	1.28332	0	0
3	39.2428	286.734	3.36696	0	0
4	39.5496	286.415	5.73971	0	0
5	39.8563	286.127	8.44181	0	0
6	40.1631	285.865	11.2103	0	0
7	40.4699	285.627	13.8743	0	0
8	40.7766	285.41	16.2953	0	0
9	41.0834	285.212	18.2763	0	0
10	41.3902	285.032	19.698	0	0
11	41.6969	284.869	20.5781	0	0
12	42.0037	284.721	20.9435	0	0
13	42.3105	284.588	20.8291	0	0
14	42.6172	284.469	20.2772	0	0
15	42.924	284.363	19.3369	0	0
16	43.2308	284.269	18.0641	0	0
17	43.5376	284.188	16.5215	0	0
18	43.8443	284.12	14.7787	0	0
19	44.1511	284.062	12.9127	0	0
20	44.4579	284.017	11.0082	0	0
21	44.7646	283.982	9.15821	0	0
22	45.0714	283.959	7.4649	0	0
23	45.3782	283.947	6.04921	0	0
24	45.6849	283.945	5.2529	0	0
25	45.9917	283.955	5.14832	0	0

26	46.2985	283.976	0	0	0
----	---------	---------	---	---	---

## List Of Coordinates

### Water Table

X	Y
0.0398527	282.333
12.0399	282.732
16.0399	282.887
16.5399	282.907
19.1716	283.013
20.1722	283.113
26.0399	283.212
28.2899	283.234
36.649	283.472
45.7985	283.976
46.0482	283.976
46.2985	283.976
55.7022	284.493
58.0399	284.579
60.0399	284.523

### Line Load

X	Y
39.1899	287.474
33.7899	287.609
29.5399	287.735

### Line Load

X	Y
17.2899	287.544
17.2916	287.475
27.0399	287.718

### Line Load

X	Y
51.5635	286.869
51.5635	286.804
58.5635	286.624

## External Boundary

X	Y
60.0399	265
60.0399	276.526
60.0399	283.242
60.0399	284.523
60.0399	286.493
59.8135	286.644
58.5663	286.694
58.5635	286.624
51.5635	286.804
51.5635	286.869
50.3135	286.819
46.7985	284.476
46.2985	283.976
46.0482	283.976
45.7985	283.976
45.2989	284.475
40.7899	287.482
39.4399	287.542
39.3399	287.542
39.2899	287.472
39.1899	287.474
33.7899	287.609
29.5399	287.735
29.4899	287.785
29.3899	287.785
28.2899	287.791
27.0899	287.788
27.0399	287.718
17.2916	287.475
17.2899	287.544
16.5399	287.544
16.5399	282.907
16.0399	282.887
12.0399	282.732
0.0398527	282.333
0.0398527	280.946

0.0398527	274.32
0.0398527	265

## Material Boundary

X	Y
0.0398527	274.32
1.02353	274.366
1.69032	274.393
7.64443	274.594
13.0268	274.759
13.0668	274.76
19.5196	275.021
19.5788	275.024
19.638	275.027
19.6971	275.031
19.7563	275.035
19.8153	275.039
19.8744	275.044
19.9334	275.05
19.9678	275.053
20.2869	275.085
20.6384	275.12
25.093	275.195
27.3978	275.234
27.5825	275.234
28.7786	275.234
31.7997	275.194
35.499	275.151
37.3674	275.077
37.9062	275.055
37.9654	275.053
38.0247	275.051
38.0839	275.05
38.1432	275.05
38.2024	275.049
38.2617	275.05
38.3209	275.05
38.3802	275.051
38.4394	275.053
38.4986	275.055
38.5578	275.057
38.617	275.06
38.6762	275.063

38.7353	275.067
38.7944	275.071
38.8338	275.074
43.8505	275.469
43.9068	275.474
43.963	275.479
44.0128	275.484
46.8733	275.785
56.2191	276.509
57.6661	276.584
57.7222	276.585
60.0399	276.526

### Material Boundary

X	Y
0.0398527	280.946
19.4526	281.721
30.0399	281.718
41.2635	281.718
47.0196	282.185
60.0399	283.242

### Material Boundary

X	Y
16.5399	282.907
19.1716	283.013
20.1722	283.113
26.0399	283.212
28.2899	283.234
28.2899	282.749
35.7047	282.749
35.7047	281.949
36.0399	281.936
38.2058	281.849
39.2899	281.935
41.1614	282.082
43.1965	282.242
46.0483	282.542
46.0482	283.742
46.0482	283.976



## Material Boundary

X	Y
46.0482	283.742
52.0399	284.209
55.7022	284.493
58.0399	284.579
60.0399	284.523

**RTI di progettazione:**



**Mandataria**

Via G.B. Sammartini n°5  
20125 - Milano  
Tel. 02 6787911  
email: mail@proiter.it



**Mandante**

Via Artemide n°3  
92100 Agrigento  
Tel. 0922 421007  
email: deltaingegneria@pec.it

## 13.2 S20 – Sezione SS131 sud 32

### **Slide Analysis Information**

## **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

### **Project Summary**

- 
- File Name: S20\_Sezione SS131 sud\_32.slim
  - Slide Modeler Version: 6.008
  - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

### **General Settings**

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

### **Analysis Options**

#### **Analysis Methods Used**

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

### **Groundwater Analysis**

- 
- Groundwater Method: Water Surfaces
  - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2

## Loading

---

- 4 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

### Distributed Load 3





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

### Distributed Load 4

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

- Orientation: Vertical

## Material Properties

Property	r	ec-BPL2	BPL2 frat	BPL2
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		19	20	22
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		20	21	23
Cohesion [kPa]	0	4	0	40
Friction Angle [deg]	29.3	21.7	28.4	33.9
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.125450
- Center: 46.905, 292.430
- Radius: 11.169
- Left Slip Surface Endpoint: 38.395, 285.196
- Right Slip Surface Endpoint: 46.369, 281.274
- Resisting Moment=1332.09 kN-m
- Driving Moment=1183.6 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1649
- Number of Invalid Surfaces: 3202

#### Error Codes:

- Error Code -101 reported for 57 surfaces
- Error Code -115 reported for 1198 surfaces
- Error Code -1000 reported for 1947 surfaces

## Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.12545

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	0.318953	1.11835	r	0	29.3	9.42503	10.6074	18.9022	0	18.9022
2	0.318953	3.2623	r	0	29.3	11.9195	13.4148	23.9047	0	23.9047
3	0.318953	5.34274	r	0	29.3	11.6321	13.0914	23.3285	0	23.3285
4	0.318953	7.50621	r	0	29.3	8.14737	9.16946	16.3398	0	16.3398
5	0.318953	9.14849	r	0	29.3	10.1573	11.4315	20.3706	0	20.3706
6	0.318953	10.6639	r	0	29.3	12.0925	13.6095	24.2518	0	24.2518
7	0.318953	12.0639	r	0	29.3	13.9544	15.705	27.9861	0	27.9861
8	0.318953	13.1159	r	0	29.3	15.4592	17.3986	31.0039	0	31.0039
9	0.318953	13.1363	r	0	29.3	15.7631	17.7406	31.6134	0	31.6134
10	0.318953	12.9708	r	0	29.3	15.8337	17.82	31.7547	0	31.7547
11	0.318953	12.7173	r	0	29.3	15.7824	17.7623	31.6521	0	31.6521
12	0.318953	12.3804	r	0	29.3	15.6112	17.5696	31.3088	0	31.3088
13	0.318953	11.964	r	0	29.3	15.3212	17.2433	30.7271	0	30.7271
14	0.318953	11.4714	r	0	29.3	14.9135	16.7844	29.9094	0	29.9094
15	0.318953	10.9058	r	0	29.3	14.3885	16.1935	28.8564	0	28.8564
16	0.318953	10.2695	r	0	29.3	13.7461	15.4706	27.5683	0	27.5683
17	0.318953	9.56492	r	0	29.3	12.9863	14.6154	26.0444	0	26.0444
18	0.318953	8.79395	r	0	29.3	12.1082	13.6272	24.2834	0	24.2834
19	0.318953	7.95828	r	0	29.3	11.1108	12.5047	22.283	0	22.283
20	0.318953	7.05936	r	0	29.3	9.99263	11.2462	20.0404	0	20.0404
21	0.318953	6.09842	r	0	29.3	8.75164	9.84953	17.5517	0	17.5517
22	0.318953	5.07652	r	0	29.3	7.3856	8.31212	14.812	0	14.812
23	0.318953	3.99453	r	0	29.3	5.89163	6.63074	11.8158	0	11.8158
24	0.318953	2.7576	r	0	29.3	4.12357	4.64087	8.26992	0	8.26992
25	0.318953	0.953854	r	0	29.3	1.44621	1.62764	2.90042	0	2.90042

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.12545

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	38.3953	285.196	0	0	0
2	38.7142	284.837	3.78617	0	0
3	39.0332	284.506	7.87931	0	0
4	39.3521	284.202	11.2771	0	0
5	39.6711	283.92	13.2841	0	0
6	39.99	283.659	15.3658	0	0
7	40.309	283.417	17.3875	0	0
8	40.6279	283.192	19.2348	0	0
9	40.9469	282.983	20.7819	0	0
10	41.2658	282.789	21.883	0	0
11	41.5848	282.609	22.539	0	0
12	41.9038	282.443	22.7685	0	0
13	42.2227	282.29	22.5963	0	0
14	42.5417	282.148	22.0532	0	0
15	42.8606	282.019	21.175	0	0
16	43.1796	281.9	20.0031	0	0
17	43.4985	281.793	18.5838	0	0
18	43.8175	281.696	16.9681	0	0
19	44.1364	281.609	15.2124	0	0
20	44.4554	281.533	13.3781	0	0
21	44.7743	281.466	11.5317	0	0
22	45.0933	281.409	9.74561	0	0
23	45.4122	281.361	8.09785	0	0
24	45.7312	281.323	6.67279	0	0
25	46.0501	281.294	5.59878	0	0
26	46.3691	281.274	0	0	0

## List Of Coordinates

### Water Table

X	Y
-3.9155e-006	279.721
12.8187	281.036
16.5	281.397
20.2007	281.763
28.25	281.924
46.3808	281.262

46.8808	281.262
60	281.262

### Line Load

X	Y
4.33369	282.701
4.33369	282.631
9.33366	282.506

### Line Load

X	Y
17.2517	285.176
27	285.419
27.05	285.489

### Line Load

X	Y
29.45	285.486
29.5	285.436
39.25	285.173

### Line Load

X	Y
51.5265	283.67
58.5237	283.496
58.5237	283.56

### External Boundary

X	Y
60	262
60	271.426
60	278.392
60	279.928
60	283.365
59.7737	283.516



58.5237	283.56
58.5237	283.496
51.5265	283.67
51.5237	283.741
50.2737	283.691
47.3809	281.762
46.8808	281.262
46.3808	281.262
45.8808	281.762
40.75	285.183
39.4	285.243
39.3	285.243
39.25	285.173
29.5	285.436
29.45	285.486
28.25	285.492
27.05	285.489
27	285.419
17.2517	285.176
17.25	285.246
16.5	285.246
16.5	281.397
12.8187	281.036
10.5837	282.526
9.33366	282.576
9.33366	282.506
4.33369	282.631
4.33369	282.701
3.08369	282.651
-3.91551e-006	280.595
-3.9155e-006	279.721
-3.91549e-006	278.494
-3.91541e-006	272.187
-3.91528e-006	262

## Material Boundary

X	Y
-3.91541e-006	272.187
2.09831	272.388
2.15017	272.393
7.41942	272.97
19.938	274.199
20.6616	274.271

23.7355	274.353
27.3305	274.424
27.799	274.424
28.6953	274.424
33.1888	274.35
35.5131	274.309
37.2067	274.168
38.1378	273.959
38.1957	273.946
38.2536	273.934
38.3117	273.923
38.3698	273.911
38.4218	273.902
38.4608	273.895
45.6307	272.635
45.6727	272.628
48.3793	272.183
60	271.426

## Material Boundary

X	Y
-3.91549e-006	278.494
2.74818	278.676
22.3571	280.265
30	280.403
36.9677	280.128
49.631	278.409
57.346	278.392
60	278.392

## Material Boundary

X	Y
16.5	281.397
20.2007	281.763
28.25	281.924
28.25	281.386
35.7144	281.407
35.7162	280.807
41.3035	280.807
41.3035	280.007
45.8569	280.007

45.8569	279.829
48	279.829
49.5948	279.584
52	279.676
60	279.928

## Material Boundary

X	Y
-3.9155e-006	279.721
12.8187	281.036

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

---

- File Name: S20\_Sezione SS131 sud\_32\_sisma.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### General Settings

---

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

#### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $\alpha < 0.2$ : 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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.019
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.01
- 4 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





### Distributed Load 3

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

### Distributed Load 4

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

## Material Properties

Property	r	ec-BPL2	BPL2 frat	BPL2
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m3]		19	20	22
Saturated Unit Weight [kN/m3]		20	21	23
Cohesion [kPa]	0	4	0	40
Friction Angle [deg]	29.3	21.7	28.4	33.9
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.122090
- Center: 46.177, 289.726
- Radius: 8.494
- Left Slip Surface Endpoint: 39.002, 285.179
- Right Slip Surface Endpoint: 46.881, 281.262
- Resisting Moment=908.215 kN-m
- Driving Moment=809.397 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1649
- Number of Invalid Surfaces: 3202

#### Error Codes:

- Error Code -101 reported for 57 surfaces
- Error Code -115 reported for 1198 surfaces
- Error Code -1000 reported for 1947 surfaces

#### Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.12209

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	0.31514	1.49213	r	0	29.3	2.28618	2.5653	4.57131	0	4.57131
2	0.31514	4.56836	r	0	29.3	4.45751	5.00173	8.91297	0	8.91297
3	0.31514	6.89357	r	0	29.3	7.03504	7.89395	14.0669	0	14.0669
4	0.31514	8.95469	r	0	29.3	9.49719	10.6567	18.9899	0	18.9899
5	0.31514	10.7979	r	0	29.3	11.8466	13.293	23.6878	0	23.6878
6	0.31514	12.3267	r	0	29.3	13.9413	15.6434	27.8761	0	27.8761
7	0.31514	12.7673	r	0	29.3	14.8452	16.6576	29.6836	0	29.6836
8	0.31514	12.8777	r	0	29.3	15.3617	17.2372	30.7162	0	30.7162
9	0.31514	12.8559	r	0	29.3	15.7065	17.6241	31.4059	0	31.4059
10	0.31514	12.7131	r	0	29.3	15.8858	17.8253	31.7644	0	31.7644
11	0.31514	12.4581	r	0	29.3	15.9043	17.846	31.8012	0	31.8012
12	0.31514	12.0986	r	0	29.3	15.7653	17.6901	31.5233	0	31.5233
13	0.31514	11.6405	r	0	29.3	15.4714	17.3603	30.9357	0	30.9357
14	0.31514	11.0891	r	0	29.3	15.024	16.8583	30.0411	0	30.0411
15	0.31514	10.4485	r	0	29.3	14.4237	16.1847	28.8408	0	28.8408
16	0.31514	9.72228	r	0	29.3	13.67	15.339	27.3338	0	27.3338
17	0.31514	8.91347	r	0	29.3	12.7618	14.3199	25.5178	0	25.5178

18	0.3151 4	8.02446	r	0	29.3	11.697	13.1251	23.3886	0	23.3886
19	0.3151 4	7.05725	r	0	29.3	10.4724	11.751	20.9401	0	20.9401
20	0.3151 4	6.0134	r	0	29.3	9.03689	10.1402	18.1699	0.100376	18.0696
21	0.3151 4	4.89414	r	0	29.3	7.37996	8.28098	15.0631	0.306568	14.7565
22	0.3151 4	3.6904	r	0	29.3	5.58545	6.26738	11.5651	0.396727	11.1683
23	0.3151 4	1.98685	r	0	29.3	2.98401	3.34833	6.33836	0.371703	5.96666
24	0.3151 4	0.324978	r	0	29.3	0.405571	0.455087	1.05259	0.241634	0.81095 6
25	0.3151 4	0.064074 5	r	0	29.3	0.054585 1	0.061249 4	0.20887 4	0.099728 7	0.10914 5

## Interslice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.12209

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	39.0023	285.179	0	0	0
2	39.3175	284.717	1.42357	0	0
3	39.6326	284.311	3.71751	0	0
4	39.9478	283.952	6.69262	0	0
5	40.2629	283.629	9.99209	0	0
6	40.578	283.339	13.3491	0	0
7	40.8932	283.076	16.5237	0	0
8	41.2083	282.837	19.1727	0	0
9	41.5235	282.621	21.2332	0	0
10	41.8386	282.424	22.7059	0	0
11	42.1537	282.246	23.6048	0	0
12	42.4689	282.085	23.9547	0	0
13	42.784	281.94	23.7902	0	0
14	43.0992	281.81	23.1545	0	0
15	43.4143	281.694	22.0991	0	0
16	43.7294	281.593	20.683	0	0
17	44.0446	281.505	18.9733	0	0
18	44.3597	281.429	17.045	0	0
19	44.6749	281.366	14.9814	0	0
20	44.99	281.316	12.8745	0	0
21	45.3051	281.278	10.8411	0	0
22	45.6203	281.251	9.00983	0	0



23	45.9354	281.236	7.49184	0	0
24	46.2506	281.233	6.60928	0	0
25	46.5657	281.242	6.47866	0	0
26	46.8808	281.262	0	0	0

## List Of Coordinates

### Water Table

X	Y
-3.9155e-006	279.721
12.8187	281.036
16.5	281.397
20.2007	281.763
28.25	281.924
46.3808	281.262
46.8808	281.262
60	281.262

### Line Load

X	Y
4.33369	282.701
4.33369	282.631
9.33366	282.506

### Line Load

X	Y
17.2517	285.176
27	285.419
27.05	285.489

### Line Load

X	Y
29.45	285.486
29.5	285.436
39.25	285.173

## Line Load

X	Y
51.5265	283.67
58.5237	283.496
58.5237	283.56

## External Boundary

X	Y
60	262
60	271.426
60	278.392
60	279.928
60	283.365
59.7737	283.516
58.5237	283.56
58.5237	283.496
51.5265	283.67
51.5237	283.741
50.2737	283.691
47.3809	281.762
46.8808	281.262
46.3808	281.262
45.8808	281.762
40.75	285.183
39.4	285.243
39.3	285.243
39.25	285.173
29.5	285.436
29.45	285.486
28.25	285.492
27.05	285.489
27	285.419
17.2517	285.176
17.25	285.246
16.5	285.246
16.5	281.397
12.8187	281.036
10.5837	282.526
9.33366	282.576
9.33366	282.506

4.33369	282.631
4.33369	282.701
3.08369	282.651
-3.91551e-006	280.595
-3.9155e-006	279.721
-3.91549e-006	278.494
-3.91541e-006	272.187
-3.91528e-006	262

## Material Boundary

X	Y
-3.91541e-006	272.187
2.09831	272.388
2.15017	272.393
7.41942	272.97
19.938	274.199
20.6616	274.271
23.7355	274.353
27.3305	274.424
27.799	274.424
28.6953	274.424
33.1888	274.35
35.5131	274.309
37.2067	274.168
38.1378	273.959
38.1957	273.946
38.2536	273.934
38.3117	273.923
38.3698	273.911
38.4218	273.902
38.4608	273.895
45.6307	272.635
45.6727	272.628
48.3793	272.183
60	271.426

## Material Boundary

X	Y
-3.91549e-006	278.494
2.74818	278.676
22.3571	280.265

30	280.403
36.9677	280.128
49.631	278.409
57.346	278.392
60	278.392

## Material Boundary

X	Y
16.5	281.397
20.2007	281.763
28.25	281.924
28.25	281.386
35.7144	281.407
35.7162	280.807
41.3035	280.807
41.3035	280.007
45.8569	280.007
45.8569	279.829
48	279.829
49.5948	279.584
52	279.676
60	279.928

## Material Boundary

X	Y
-3.9155e-006	279.721
12.8187	281.036

## 13.3 S21 – Sezione 50 Viabilità locale A

### *Slide Analysis Information*

## *SLIDE - An Interactive Slope Stability Program*

### *Project Summary*

- 
- File Name: S21\_Sezione Viab. A-50.slim
  - Slide Modeler Version: 6.008
  - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

### *General Settings*

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

### *Analysis Options*

#### **Analysis Methods Used**

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

### *Groundwater Analysis*

- 
- Groundwater Method: Water Surfaces
  - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2

## 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	r	ec-BPL2	BPL2 frat	BPL2
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		19	20	22
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		20	21	23
Cohesion [kPa]	0	4	0	40

Friction Angle [deg]	29.3	21.7	28.4	33.9
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.140330
- Center: 8.501, 334.580
- Radius: 10.854
- Left Slip Surface Endpoint: 7.836, 323.746
- Right Slip Surface Endpoint: 17.218, 328.113
- Resisting Moment=1451.96 kN-m
- Driving Moment=1273.28 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 934
- Number of Invalid Surfaces: 3917

#### Error Codes:

- Error Code -114 reported for 200 surfaces
- Error Code -115 reported for 582 surfaces
- Error Code -1000 reported for 3135 surfaces

#### Error Codes

*The following errors were encountered during the computation:*

- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14033

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	0.392698	0.161488	ec-BPL2	4	21.7	3.63569	4.14588	0.568291	0.201707	0.366584
2	0.392698	0.428601	ec-BPL2	4	21.7	3.71088	4.23162	1.11739	0.535344	0.582045
3	0.392698	0.833627	ec-BPL2	4	21.7	3.95374	4.50857	2.00745	0.729479	1.27797
4	0.392698	2.52617	ec-BPL2	4	21.7	5.3567	6.10841	6.08213	0.783943	5.29819
5	0.371955	4.05328	r	0	29.3	4.80526	5.47958	10.4116	0.647142	9.76449
6	0.371955	5.56975	r	0	29.3	6.75672	7.70489	14.0551	0.325158	13.7299
7	0.371955	6.98868	r	0	29.3	8.52668	9.72323	17.3266	0	17.3266
8	0.371955	8.30849	r	0	29.3	9.97343	11.373	20.2665	0	20.2665
9	0.371955	9.52717	r	0	29.3	11.2509	12.8297	22.8623	0	22.8623
10	0.371955	10.6423	r	0	29.3	12.3619	14.0967	25.1201	0	25.1201
11	0.371955	11.6509	r	0	29.3	13.309	15.1766	27.0443	0	27.0443
12	0.371955	12.5494	r	0	29.3	14.0933	16.071	28.6382	0	28.6382
13	0.371955	13.3337	r	0	29.3	14.7155	16.7805	29.9025	0	29.9025
14	0.371955	13.9989	r	0	29.3	15.1753	17.3049	30.8372	0	30.8372
15	0.371955	14.539	r	0	29.3	15.4721	17.6433	31.44	0	31.44
16	0.371955	14.9473	r	0	29.3	15.6039	17.7936	31.7078	0	31.7078
17	0.371955	15.2154	r	0	29.3	15.568	17.7527	31.6349	0	31.6349
18	0.371955	15.3335	r	0	29.3	15.361	17.5166	31.2142	0	31.2142
19	0.371955	15.2898	r	0	29.3	14.9779	17.0798	30.4358	0	30.4358
20	0.371955	14.996	r	0	29.3	14.3424	16.3551	29.1444	0	29.1444
21	0.371955	13.28	r	0	29.3	12.3768	14.1136	25.1502	0	25.1502
22	0.371955	10.9113	r	0	29.3	9.88573	11.273	20.0882	0	20.0882



23	0.37195 5	8.29682	r	0	29.3	7.2850 4	8.30735	14.8035	0	14.8035
24	0.37195 5	5.02576	r	0	29.3	11.891 8	13.5606	24.1646	0	24.1646
25	0.37195 5	1.73381	r	0	29.3	9.2815 2	10.584	18.8605	0	18.8605

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14033

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	7.83637	323.746	0	0	0
2	8.22907	323.729	1.43649	0	0
3	8.62177	323.727	2.89592	0	0
4	9.01446	323.738	4.42457	0	0
5	9.40716	323.764	6.37038	0	0
6	9.77912	323.801	7.76504	0	0
7	10.1511	323.852	9.56509	0	0
8	10.523	323.916	11.6286	0	0
9	10.895	323.993	13.7698	0	0
10	11.2669	324.084	15.8711	0	0
11	11.6389	324.189	17.8257	0	0
12	12.0108	324.309	19.5369	0	0
13	12.3828	324.444	20.9179	0	0
14	12.7548	324.594	21.8916	0	0
15	13.1267	324.761	22.3907	0	0
16	13.4987	324.945	22.3578	0	0
17	13.8706	325.147	21.7464	0	0
18	14.2426	325.369	20.5215	0	0
19	14.6145	325.611	18.6612	0	0
20	14.9865	325.876	16.1586	0	0
21	15.3584	326.166	13.0406	0	0
22	15.7304	326.484	9.66014	0	0
23	16.1024	326.832	6.34155	0	0
24	16.4743	327.215	3.37554	0	0
25	16.8463	327.639	-2.45628	0	0
26	17.2182	328.113	0	0	0

## List Of Coordinates

## Water Table

X	Y
1.47265e-006	323.87
3.22318	323.504
3.65383	323.504
4	323.51
8.81138	323.806
9.40716	323.843
27.995	324.407
35.3312	325.867
36.8319	325.967
40	326.004

## Line Load

X	Y
32.82	328.317
38.5844	328.461

## Line Load

X	Y
23.5005	328.254
20	328.166
16.5	328.099

## External Boundary

X	Y
27.995	326.11
24.75	328.274
23.65	328.324
23.55	328.324
23.5005	328.254
20	328.166
16.5	328.099
16.45	328.149
16.35	328.141
15.25	328.099
8.81138	323.806
4	323.51

3.52437	323.502
3.22318	323.504
2	323.643
1.47265e-006	323.87
1.47265e-006	322.27
1.47265e-006	317.832
1.47265e-006	308
40	308
40	320.003
40	324.36
40	326.004
40	328.496
32.82	328.317
32.8172	328.387
31.32	328.327

## Material Boundary

X	Y
1.47265e-006	317.832
2.55917	317.541
2.59849	317.537
2.63785	317.533
2.67722	317.529
2.71662	317.526
2.75604	317.522
2.79549	317.52
2.83495	317.517
2.87443	317.514
2.91392	317.512
2.95343	317.51
2.99294	317.509
3.03247	317.507
3.07201	317.506
3.11155	317.505
3.1511	317.505
3.17747	317.504
3.79279	317.5
3.82731	317.5
3.86182	317.5
3.89634	317.5
3.93085	317.501
3.96536	317.501
3.99987	317.502

4.03437	317.503
4.06886	317.505
4.10334	317.506
4.13782	317.508
4.17228	317.51
4.19382	317.511
10.9374	317.926
10.9704	317.928
11.0033	317.93
11.0362	317.933
11.0691	317.936
11.102	317.938
11.1349	317.942
11.1677	317.945
11.2006	317.948
11.2334	317.952
11.2662	317.956
11.299	317.96
11.3194	317.962
13.5826	318.252
16.3705	318.49
16.4101	318.488
16.4497	318.486
16.4893	318.484
16.5289	318.482
16.5685	318.481
16.6081	318.48
16.6478	318.479
16.6874	318.479
16.7271	318.478
16.7667	318.478
16.8064	318.479
16.846	318.479
16.8857	318.48
16.9253	318.481
16.9649	318.482
16.9914	318.483
19.0872	318.567
21.8518	318.481
21.8882	318.48
21.9245	318.48
21.9609	318.479
21.9973	318.479
22.0337	318.479
22.0701	318.479

22.1064	318.479
22.1428	318.48
22.1792	318.481
22.2156	318.482
22.2519	318.483
22.2883	318.484
22.3246	318.486
22.361	318.488
22.3973	318.49
22.4336	318.492
22.4699	318.495
22.5061	318.498
22.5424	318.501
22.5786	318.504
22.6149	318.507
22.6511	318.511
22.6872	318.515
22.7143	318.518
23.3253	318.452
23.3601	318.449
23.395	318.445
23.4299	318.442
23.4648	318.439
23.4997	318.437
23.5346	318.434
23.5696	318.432
23.5899	318.43
26.7908	318.236
26.8249	318.235
26.8591	318.233
26.8932	318.231
26.9273	318.23
26.9615	318.229
26.9957	318.228
27.0298	318.227
27.064	318.226
27.0982	318.226
27.1324	318.226
27.1665	318.226
27.2007	318.226
27.2349	318.226
27.2691	318.227
27.3032	318.227
27.3374	318.228
27.3715	318.229

27.4057	318.231
27.4398	318.232
27.474	318.234
27.5081	318.236
27.5422	318.238
27.5763	318.24
27.6104	318.243
27.6445	318.246
27.6785	318.248
27.7126	318.252
27.7466	318.255
27.7806	318.258
27.8146	318.262
27.8485	318.266
27.8824	318.27
27.9164	318.274
27.9502	318.279
27.9841	318.283
28.0179	318.288
28.0517	318.293
28.0855	318.298
28.1193	318.304
28.153	318.309
28.1867	318.315
28.2203	318.321
28.2539	318.327
28.2875	318.334
28.3211	318.34
28.3546	318.347
28.388	318.354
28.4215	318.361
29.4793	318.59
35.2518	319.341
36.8314	319.61
40	320.003

## Material Boundary

X	Y
8.81138	323.806
9.40716	323.843
9.40716	322.643
10	322.642
10.5568	322.714

12	322.899
12.9435	323.019
16	323.283
16.5	323.326
16.7526	323.278
17	323.288
19.0603	323.37
20	323.341
22	323.28
22.1602	323.325
23	323.318
23.5047	323.268
24.75	323.171
27.1537	323.025
28	323.208
27.995	324.407
35.3312	325.867
36.8319	325.967
40	326.004

### Material Boundary

X	Y
27.995	326.11
27.995	324.407

### Material Boundary

X	Y
1.47265e-006	322.27
3.12611	322.093
7.84932	322.145
20	323.141
21.3118	323.135
25.0634	322.982
27.7602	322.89
29.1388	322.955
32.6338	323.558
36.1423	324.174
40	324.36

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

---

- File Name: S21\_Sezione Viab. A-50\_sisma.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### General Settings

---

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

#### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $\alpha < 0.2$ : 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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 2

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.012
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.006
- 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	r	ec-BPL2	BPL2 frat	BPL2
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		19	20	22
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		20	21	23
Cohesion [kPa]	0	4	0	40
Friction Angle [deg]	29.3	21.7	28.4	33.9

Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.141240
- Center: 9.208, 331.332
- Radius: 7.709
- Left Slip Surface Endpoint: 7.836, 323.746
- Right Slip Surface Endpoint: 16.223, 328.136
- Resisting Moment=881.739 kN-m
- Driving Moment=772.614 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 934
- Number of Invalid Surfaces: 3917

#### Error Codes:

- Error Code -114 reported for 200 surfaces
- Error Code -115 reported for 582 surfaces
- Error Code -1000 reported for 3135 surfaces

#### Error Codes

*The following errors were encountered during the computation:*

- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

- Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14124

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	0.314158	0.21818	ec-BPL2	4	21.7	3.84353	4.38639	1.31161	0.340648	0.970958
2	0.314158	0.613139	ec-BPL2	4	21.7	4.02059	4.58846	2.43603	0.957303	1.47873
3	0.314158	0.925892	ec-BPL2	4	21.7	4.14491	4.73034	3.28088	1.44561	1.83527
4	0.314158	1.6374	ec-BPL2	4	21.7	4.76177	5.43432	5.41138	1.80709	3.60429
5	0.314158	2.97641	ec-BPL2	4	21.7	6.10456	6.96677	9.49777	2.04261	7.45516
6	0.340809	4.65544	r	0	29.3	5.59291	6.38285	13.4736	2.09948	11.3741
7	0.340809	6.04085	r	0	29.3	7.46192	8.51584	17.1411	1.96604	15.1751
8	0.340809	7.32212	r	0	29.3	9.17931	10.4758	20.3504	1.68269	18.6677
9	0.340809	8.4976	r	0	29.3	10.7506	12.269	23.1103	1.24712	21.8632
10	0.340809	9.565	r	0	29.3	12.1796	13.8999	25.4253	0.655984	24.7694
11	0.340809	10.5212	r	0	29.3	13.4278	15.3243	27.3077	0	27.3077
12	0.340809	11.3623	r	0	29.3	14.1914	16.1958	28.8605	0	28.8605
13	0.340809	12.0832	r	0	29.3	14.7615	16.8464	30.0198	0	30.0198
14	0.340809	12.6777	r	0	29.3	15.1379	17.276	30.7855	0	30.7855
15	0.340809	13.1382	r	0	29.3	15.3189	17.4825	31.1534	0	31.1534
16	0.340809	13.455	r	0	29.3	15.3008	17.4619	31.1166	0	31.1166
17	0.340809	13.6161	r	0	29.3	15.0782	17.2079	30.6641	0	30.6641
18	0.340809	13.6063	r	0	29.3	14.6434	16.7116	29.7797	0	29.7797
19	0.340809	13.406	r	0	29.3	13.9859	15.9613	28.4427	0	28.4427
20	0.340809	12.9896	r	0	29.3	13.092	14.9411	26.6249	0	26.6249
21	0.340809	12.3223	r	0	29.3	11.9438	13.6307	24.2895	0	24.2895
22	0.340809	11.3549	r	0	29.3	10.5174	12.0029	21.3889	0	21.3889

23	0.34080 9	9.47998	r	0	29.3	8.3126 9	9.48678	16.905 2	0	16.9052
24	0.34080 9	6.20496	r	0	29.3	5.0750 7	5.79187	10.321	0	10.321
25	0.34080 9	2.20943	r	0	29.3	1.6414 3	1.87327	3.3381 3	0	3.33813

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.14124

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	7.83637	323.746	0	0	0
2	8.15053	323.696	1.26988	0	0
3	8.46469	323.659	2.61488	0	0
4	8.77884	323.635	3.98376	0	0
5	9.093	323.624	5.5192	0	0
6	9.40716	323.626	7.38383	0	0
7	9.74797	323.642	9.01248	0	0
8	10.0888	323.674	10.9408	0	0
9	10.4296	323.721	13.0246	0	0
10	10.7704	323.783	15.138	0	0
11	11.1112	323.862	17.1723	0	0
12	11.452	323.957	19.0197	0	0
13	11.7928	324.07	20.4723	0	0
14	12.1336	324.2	21.4387	0	0
15	12.4744	324.35	21.84	0	0
16	12.8153	324.519	21.6101	0	0
17	13.1561	324.711	20.6962	0	0
18	13.4969	324.926	19.0609	0	0
19	13.8377	325.168	16.6843	0	0
20	14.1785	325.44	13.5688	0	0
21	14.5193	325.745	9.74554	0	0
22	14.8601	326.09	5.28582	0	0
23	15.2009	326.483	0.320505	0	0
24	15.5417	326.938	-4.64447	0	0
25	15.8825	327.475	-8.53482	0	0
26	16.2233	328.136	0	0	0

## List Of Coordinates

## Water Table

X	Y
1.47265e-006	323.87
3.22318	323.504
3.65383	323.504
4	323.51
8.81138	323.806
9.40716	323.843
27.995	324.407
35.3312	325.867
36.8319	325.967
40	326.004

## Line Load

X	Y
32.82	328.317
38.5844	328.461

## Line Load

X	Y
23.5005	328.254
20	328.166
16.5	328.099

## External Boundary

X	Y
27.995	326.11
24.75	328.274
23.65	328.324
23.55	328.324
23.5005	328.254
20	328.166
16.5	328.099
16.45	328.149
16.35	328.141
15.25	328.099
8.81138	323.806
4	323.51

3.52437	323.502
3.22318	323.504
2	323.643
1.47265e-006	323.87
1.47265e-006	322.27
1.47265e-006	317.832
1.47265e-006	308
40	308
40	320.003
40	324.36
40	326.004
40	328.496
32.82	328.317
32.8172	328.387
31.32	328.327

## Material Boundary

X	Y
1.47265e-006	317.832
2.55917	317.541
2.59849	317.537
2.63785	317.533
2.67722	317.529
2.71662	317.526
2.75604	317.522
2.79549	317.52
2.83495	317.517
2.87443	317.514
2.91392	317.512
2.95343	317.51
2.99294	317.509
3.03247	317.507
3.07201	317.506
3.11155	317.505
3.1511	317.505
3.17747	317.504
3.79279	317.5
3.82731	317.5
3.86182	317.5
3.89634	317.5
3.93085	317.501
3.96536	317.501
3.99987	317.502

4.03437	317.503
4.06886	317.505
4.10334	317.506
4.13782	317.508
4.17228	317.51
4.19382	317.511
10.9374	317.926
10.9704	317.928
11.0033	317.93
11.0362	317.933
11.0691	317.936
11.102	317.938
11.1349	317.942
11.1677	317.945
11.2006	317.948
11.2334	317.952
11.2662	317.956
11.299	317.96
11.3194	317.962
13.5826	318.252
16.3705	318.49
16.4101	318.488
16.4497	318.486
16.4893	318.484
16.5289	318.482
16.5685	318.481
16.6081	318.48
16.6478	318.479
16.6874	318.479
16.7271	318.478
16.7667	318.478
16.8064	318.479
16.846	318.479
16.8857	318.48
16.9253	318.481
16.9649	318.482
16.9914	318.483
19.0872	318.567
21.8518	318.481
21.8882	318.48
21.9245	318.48
21.9609	318.479
21.9973	318.479
22.0337	318.479
22.0701	318.479

22.1064	318.479
22.1428	318.48
22.1792	318.481
22.2156	318.482
22.2519	318.483
22.2883	318.484
22.3246	318.486
22.361	318.488
22.3973	318.49
22.4336	318.492
22.4699	318.495
22.5061	318.498
22.5424	318.501
22.5786	318.504
22.6149	318.507
22.6511	318.511
22.6872	318.515
22.7143	318.518
23.3253	318.452
23.3601	318.449
23.395	318.445
23.4299	318.442
23.4648	318.439
23.4997	318.437
23.5346	318.434
23.5696	318.432
23.5899	318.43
26.7908	318.236
26.8249	318.235
26.8591	318.233
26.8932	318.231
26.9273	318.23
26.9615	318.229
26.9957	318.228
27.0298	318.227
27.064	318.226
27.0982	318.226
27.1324	318.226
27.1665	318.226
27.2007	318.226
27.2349	318.226
27.2691	318.227
27.3032	318.227
27.3374	318.228
27.3715	318.229



27.4057	318.231
27.4398	318.232
27.474	318.234
27.5081	318.236
27.5422	318.238
27.5763	318.24
27.6104	318.243
27.6445	318.246
27.6785	318.248
27.7126	318.252
27.7466	318.255
27.7806	318.258
27.8146	318.262
27.8485	318.266
27.8824	318.27
27.9164	318.274
27.9502	318.279
27.9841	318.283
28.0179	318.288
28.0517	318.293
28.0855	318.298
28.1193	318.304
28.153	318.309
28.1867	318.315
28.2203	318.321
28.2539	318.327
28.2875	318.334
28.3211	318.34
28.3546	318.347
28.388	318.354
28.4215	318.361
29.4793	318.59
35.2518	319.341
36.8314	319.61
40	320.003

## Material Boundary

X	Y
8.81138	323.806
9.40716	323.843
9.40716	322.643
10	322.642
10.5568	322.714

12	322.899
12.9435	323.019
16	323.283
16.5	323.326
16.7526	323.278
17	323.288
19.0603	323.37
20	323.341
22	323.28
22.1602	323.325
23	323.318
23.5047	323.268
24.75	323.171
27.1537	323.025
28	323.208
27.995	324.407
35.3312	325.867
36.8319	325.967
40	326.004

### Material Boundary

X	Y
27.995	326.11
27.995	324.407

### Material Boundary

X	Y
1.47265e-006	322.27
3.12611	322.093
7.84932	322.145
20	323.141
21.3118	323.135
25.0634	322.982
27.7602	322.89
29.1388	322.955
32.6338	323.558
36.1423	324.174
40	324.36

## 13.4 S13 – Sezione 80

### **Slide Analysis Information**

## **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

### **Project Summary**

- 
- File Name: S13\_Sezione 80.slim
  - Slide Modeler Version: 6.008
  - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

### **General Settings**

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

### **Analysis Options**

#### **Analysis Methods Used**

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

### **Groundwater Analysis**

- 
- Groundwater Method: Water Surfaces
  - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

## Material Properties

Property	BPL frat	BPL	P frat
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	20	22	19
Cohesion [kPa]	0	40	6
Friction Angle [deg]	28.4	33.9	23.9
Water Surface	None	None	None
Ru Value	0	0	0

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.681500
- Center: 107.066, 714.614
- Radius: 81.382
- Left Slip Surface Endpoint: 117.101, 633.853
- Right Slip Surface Endpoint: 165.342, 657.808
- Resisting Moment=316048 kN-m
- Driving Moment=187956 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1589
- Number of Invalid Surfaces: 3262

#### Error Codes:

- Error Code -109 reported for 1 surface
- Error Code -113 reported for 374 surfaces
- Error Code -114 reported for 38 surfaces
- Error Code -115 reported for 33 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2816 surfaces

#### Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.6815

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	1.89892	17.262	BPL	40	33.9	26.0066	43.7301	5.551	0	5.551
2	1.89892	50.8295	BPL	40	33.9	32.4106	54.4984	21.576	0	21.576
3	1.89892	82.4735	BPL	40	33.9	38.3188	64.4331	36.3602	0	36.3602
4	1.89892	112.17	BPL	40	33.9	43.7374	73.5444	49.9193	0	49.9193
5	1.89892	139.892	BPL	40	33.9	48.6714	81.841	62.2657	0	62.2657
6	1.89892	165.606	BPL	40	33.9	53.1251	89.3298	73.4106	0	73.4106
7	1.89892	189.278	BPL	40	33.9	57.1015	96.0161	83.3609	0	83.3609
8	1.89892	210.866	BPL	40	33.9	60.6027	101.903	92.122	0	92.122
9	1.89892	230.324	BPL	40	33.9	63.63	106.994	99.6976	0	99.6976
10	1.89892	247.601	BPL	40	33.9	66.1836	111.288	106.087	0	106.087
11	1.89892	259.903	BPL	40	33.9	67.7662	113.949	110.048	0	110.048
12	1.89892	263.343	BPL	40	33.9	67.703	113.843	109.889	0	109.889

13	1.89892	264.119	BPL	40	33.9	67.1447	112.904	108.492	0	108.492
14	1.9629	275.999	BPL frat	0	28.4	39.0836	65.7191	121.545	0	121.545
15	1.9629	281.102	BPL frat	0	28.4	39.4347	66.3095	122.637	0	122.637
16	1.9629	283.533	BPL frat	0	28.4	39.3921	66.2379	122.505	0	122.505
17	1.9629	283.172	BPL frat	0	28.4	38.9485	65.4919	121.125	0	121.125
18	1.9629	279.879	BPL frat	0	28.4	38.0951	64.0569	118.471	0	118.471
19	1.9629	273.499	BPL frat	0	28.4	36.8221	61.9163	114.512	0	114.512
20	1.9629	263.85	BPL frat	0	28.4	35.1182	59.0512	109.213	0	109.213
21	1.9629	250.725	BPL frat	0	28.4	32.9706	55.44	102.534	0	102.534
22	1.9629	233.882	BPL frat	0	28.4	30.3648	51.0584	94.4306	0	94.4306
23	1.9629	213.039	BPL frat	0	28.4	27.2846	45.879	84.8515	0	84.8515
24	1.9629	181.701	BPL frat	0	28.4	22.9336	38.5629	71.3205	0	71.3205
25	1.9629	72.0093	BPL frat	0	28.4	8.9466	15.0437	27.8227	0	27.8227

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.6815

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	117.101	633.853	0	0	0
2	119	634.112	47.8977	0	0
3	120.899	634.417	102.81	0	0
4	122.798	634.767	162.745	0	0
5	124.697	635.165	225.86	0	0
6	126.596	635.61	290.458	0	0
7	128.495	636.104	354.986	0	0
8	130.394	636.647	418.028	0	0
9	132.293	637.241	478.311	0	0
10	134.192	637.886	534.699	0	0
11	136.091	638.584	586.198	0	0
12	137.99	639.336	631.954	0	0
13	139.889	640.145	671.555	0	0
14	141.787	641.011	704.95	0	0
15	143.75	641.969	665.101	0	0
16	145.713	642.994	616.728	0	0
17	147.676	644.089	559.893	0	0
18	149.639	645.256	494.882	0	0
19	151.602	646.5	422.23	0	0
20	153.565	647.824	342.753	0	0
21	155.528	649.235	257.593	0	0
22	157.491	650.736	168.27	0	0
23	159.454	652.336	76.7522	0	0

24	161.416	654.042	-14.4561	0	0
25	163.379	655.862	-99.3197	0	0
26	165.342	657.808	0	0	0

## List Of Coordinates

### External Boundary

X	Y
4.13973e-006	580
129.798	580
200	580
200	600.14
200	628.617
186.838	638.95
163.334	659.57
162.551	659.825
136.555	644.97
115	632.653
110	632.653
90	633.153
85	633.153
76.9814	637.735
46.2826	612.609
44.2343	612.596
39.1135	614.564
33.9928	614.032
4.13973e-006	614.426

### Material Boundary

X	Y
136.555	644.97
177.147	614.26
200	600.14

### Material Boundary

X	Y
46.2826	612.609
129.798	580

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

---

- File Name: S13\_Sezione 80\_sisma.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### General Settings

---

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

#### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $\alpha < 0.2$ : 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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.014
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.007

## Material Properties

Property	BPL frat	BPL	P frat
Color			
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]	20	22	19
Cohesion [kPa]	0	40	6
Friction Angle [deg]	28.4	33.9	23.9
Water Surface	None	None	None
Ru Value	0	0	0

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.628890
- Center: 107.066, 714.614
- Radius: 81.382
- Left Slip Surface Endpoint: 117.101, 633.853
- Right Slip Surface Endpoint: 165.342, 657.808
- Resisting Moment=316315 kN-m
- Driving Moment=194191 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1589
- Number of Invalid Surfaces: 3262

#### Error Codes:

- Error Code -109 reported for 1 surface
- Error Code -113 reported for 374 surfaces
- Error Code -114 reported for 38 surfaces
- Error Code -115 reported for 33 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2816 surfaces

#### Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -109 = Soiltype for slice base not located. This error should occur very rarely, if at all. It may occur if a very low number of slices is combined with certain soil geometries, such that the midpoint of a slice base is actually outside the soil region, even though the slip surface is wholly within the soil region.
- -113 = Surface intersects outside slope limits.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.62889

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	1.89892	17.262	BPL	40	33.9	26.8267	43.6977	5.50269	0	5.50269
2	1.89892	50.8295	BPL	40	33.9	33.4649	54.5106	21.594	0	21.594
3	1.89892	82.4735	BPL	40	33.9	39.5852	64.4799	36.4299	0	36.4299
4	1.89892	112.17	BPL	40	33.9	45.1945	73.6168	50.0271	0	50.0271
5	1.89892	139.892	BPL	40	33.9	50.2985	81.9307	62.3996	0	62.3996
6	1.89892	165.606	BPL	40	33.9	54.9019	89.4291	73.5584	0	73.5584
7	1.89892	189.278	BPL	40	33.9	59.0082	96.1179	83.5123	0	83.5123
8	1.89892	210.866	BPL	40	33.9	62.6202	102.001	92.2678	0	92.2678
9	1.89892	230.324	BPL	40	33.9	65.7393	107.082	99.8288	0	99.8288
10	1.89892	247.601	BPL	40	33.9	68.3662	111.361	106.197	0	106.197
11	1.89892	259.903	BPL	40	33.9	69.9866	114	110.124	0	110.124
12	1.89892	263.343	BPL	40	33.9	69.9032	113.865	109.922	0	109.922

13	1.89892	264.119	BPL	40	33.9	69.3073	112.894	108.478	0	108.478
14	1.9629	275.999	BPL frat	0	28.4	40.4507	65.8898	121.861	0	121.861
15	1.9629	281.102	BPL frat	0	28.4	40.8035	66.4644	122.923	0	122.923
16	1.9629	283.533	BPL frat	0	28.4	40.7486	66.375	122.758	0	122.758
17	1.9629	283.172	BPL frat	0	28.4	40.2787	65.6095	121.342	0	121.342
18	1.9629	279.879	BPL frat	0	28.4	39.385	64.1539	118.65	0	118.65
19	1.9629	273.499	BPL frat	0	28.4	38.0578	61.992	114.652	0	114.652
20	1.9629	263.85	BPL frat	0	28.4	36.2858	59.1056	109.313	0	109.313
21	1.9629	250.725	BPL frat	0	28.4	34.0561	55.4737	102.596	0	102.596
22	1.9629	233.882	BPL frat	0	28.4	31.3542	51.0726	94.457	0	94.457
23	1.9629	213.039	BPL frat	0	28.4	28.1639	45.8759	84.8457	0	84.8457
24	1.9629	181.701	BPL frat	0	28.4	23.6642	38.5463	71.2899	0	71.2899
25	1.9629	72.0093	BPL frat	0	28.4	9.228	15.0314	27.8	0	27.8

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.62889

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	117.101	633.853	0	0	0
2	119	634.112	49.2285	0	0
3	120.899	634.417	105.429	0	0
4	122.798	634.767	166.593	0	0
5	124.697	635.165	230.866	0	0
6	126.596	635.61	296.541	0	0
7	128.495	636.104	362.057	0	0
8	130.394	636.647	425.994	0	0
9	132.293	637.241	487.075	0	0
10	134.192	637.886	544.166	0	0
11	136.091	638.584	596.274	0	0
12	137.99	639.336	642.557	0	0
13	139.889	640.145	682.629	0	0
14	141.787	641.011	716.453	0	0
15	143.75	641.969	751.125	0	0
16	145.713	642.994	785.214	0	0
17	147.676	644.089	818.799	0	0
18	149.639	645.256	851.885	0	0
19	151.602	646.5	884.472	0	0
20	153.565	647.824	916.565	0	0
21	155.528	649.235	948.165	0	0
22	157.491	650.736	979.273	0	0
23	159.454	652.336	1009.89	0	0
24	161.416	654.042	-17.9683	0	0

25	163.379	655.862	-103.883	0	0
26	165.342	657.808	0	0	0

## List Of Coordinates

### External Boundary

X	Y
4.13973e-006	580
129.798	580
200	580
200	600.14
200	628.617
186.838	638.95
163.334	659.57
162.551	659.825
136.555	644.97
115	632.653
110	632.653
90	633.153
85	633.153
76.9814	637.735
46.2826	612.609
44.2343	612.596
39.1135	614.564
33.9928	614.032
4.13973e-006	614.426

### Material Boundary

X	Y
136.555	644.97
177.147	614.26
200	600.14

### Material Boundary

X	Y
46.2826	612.609
129.798	580

## 13.5 V02 – Sezione SP62-E-16

### **Slide Analysis Information**

## **SLIDE - An Interactive Slope Stability Program**

### **Project Summary**

- 
- File Name: V02\_Sezione SP62-E-16.slim
  - Slide Modeler Version: 6.008
  - Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

### **General Settings**

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

### **Analysis Options**

#### **Analysis Methods Used**

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

### **Groundwater Analysis**

- 
- Groundwater Method: Water Surfaces
  - Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1



## Loading

- 1 Distributed Load present

### Distributed Load 1

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

## Material Properties

Property	r	P frat
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		19
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		20
Cohesion [kPa]	0	6
Friction Angle [deg]	29.3	23.9
Water Surface	None	Water Table
Hu Value		1
Ru Value	0	

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.231340
- Center: 14.575, 680.382
- Radius: 18.174
- Left Slip Surface Endpoint: 15.073, 662.215
- Right Slip Surface Endpoint: 29.131, 669.500
- Resisting Moment=3471.77 kN-m
- Driving Moment=2819.51 kN-m

### Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1531
- Number of Invalid Surfaces: 3320

#### Error Codes:

- Error Code -114 reported for 328 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2992 surfaces

#### Error Codes

*The following errors were encountered during the computation:*

- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.23134

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	0.562336	1.97253	r	0	29.3	1.56802	1.93077	3.44058	0	3.44058
2	0.562336	5.81921	r	0	29.3	4.5625	5.61799	10.0112	0	10.0112
3	0.562336	9.46848	r	0	29.3	7.32269	9.01672	16.0676	0	16.0676

Progetto Esecutivo

4	0.562336	12.9187	r	0	29.3	9.8556	12.1356	21.6253	0	21.6253
5	0.562336	16.1675	r	0	29.3	12.1671	14.9818	26.6973	0	26.6973
6	0.562336	19.2121	r	0	29.3	14.2621	17.5615	31.2942	0	31.2942
7	0.562336	20.3222	r	0	29.3	14.8803	18.3227	32.6507	0	32.6507
8	0.562336	18.7493	r	0	29.3	13.5397	16.672	29.709	0	29.709
9	0.562336	16.94	r	0	29.3	12.0628	14.8534	26.4684	0	26.4684
10	0.562336	14.9072	r	0	29.3	10.4651	12.8861	22.9628	0	22.9628
11	0.562336	13.0883	r	0	29.3	9.05583	11.1508	19.8705	0	19.8705
12	0.562336	14.1856	r	0	29.3	9.67044	11.9076	21.2191	0	21.2191
13	0.562336	15.6508	r	0	29.3	10.5077	12.9386	23.0563	0	23.0563
14	0.562336	16.856	r	0	29.3	11.1403	13.7175	24.4444	0	24.4444
15	0.562336	17.7883	r	0	29.3	11.5664	14.2422	25.3792	0	25.3792
16	0.562336	18.4323	r	0	29.3	11.7834	14.5094	25.8554	0	25.8554
17	0.562336	18.7701	r	0	29.3	11.788	14.515	25.8654	0	25.8654
18	0.562336	18.7804	r	0	29.3	11.5756	14.2535	25.3993	0	25.3993
19	0.562336	18.4378	r	0	29.3	11.1409	13.7182	24.4457	0	24.4457
20	0.562336	17.7119	r	0	29.3	10.4774	12.9012	22.9897	0	22.9897
21	0.562336	16.5655	r	0	29.3	9.57729	11.7929	21.0148	0	21.0148
22	0.562336	14.9523	r	0	29.3	8.43163	10.3822	18.5008	0	18.5008
23	0.562336	12.8144	r	0	29.3	7.02979	8.65606	15.425	0	15.425
24	0.562336	10.045	r	0	29.3	5.34337	6.5795	11.7245	0	11.7245
25	0.562336	4.01619	r	0	29.3	2.06263	2.5398	4.52587	0	4.52587

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.23134

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	15.0725	662.215	0	0	0
2	15.6349	662.239	0.797588	0	0
3	16.1972	662.281	2.94322	0	0
4	16.7595	662.34	6.10389	0	0
5	17.3219	662.417	9.97315	0	0
6	17.8842	662.512	14.2689	0	0
7	18.4466	662.625	18.7313	0	0
8	19.0089	662.757	22.7779	0	0
9	19.5712	662.909	25.893	0	0
10	20.1336	663.079	28.1499	0	0
11	20.6959	663.27	29.6448	0	0
12	21.2582	663.482	30.524	0	0
13	21.8206	663.715	31.0035	0	0
14	22.3829	663.971	31.0042	0	0



15	22.9452	664.251	30.427	0	0
16	23.5076	664.555	29.1958	0	0
17	24.0699	664.886	27.2598	0	0
18	24.6322	665.245	24.5965	0	0
19	25.1946	665.634	21.2155	0	0
20	25.7569	666.055	17.1646	0	0
21	26.3193	666.513	12.5371	0	0
22	26.8816	667.009	7.48302	0	0
23	27.4439	667.549	2.22372	0	0
24	28.0063	668.139	-2.92568	0	0
25	28.5686	668.786	-7.50949	0	0
26	29.1309	669.5	0	0	0

## List Of Coordinates

### Water Table

X	Y
-2.65846e-005	649.509
7.77783	649.237
34.5	649.237
60.2889	649.449

### Line Load

X	Y
30	669.5
30	669.43
34.5	669.543
39	669.43

### External Boundary

X	Y
-2.65846e-005	661.044
-2.65846e-005	643.6
60.2889	643.6
60.2889	661.257
55.5112	661.158
50.5	664.5

48	664.5
40.5	669.5
39	669.5
39	669.43
34.5	669.543
30	669.43
30	669.5
28.5	669.5
21	664.5
18.5	664.5
13.3165	661.044

## Material Boundary

X	Y
13.3165	661.044
13.821	661.044
13.8105	660.316
14.3897	660.3
18.1	660.181
28.5	660.181
47.7998	660.3
55.0027	660.452
54.988	661.147
55.5112	661.158

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

---

- File Name: V02\_Sezione SP62-E-16\_sisma.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### General Settings

---

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

#### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $\alpha < 0.2$ : 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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 1



## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.018
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.009
- 1 Distributed Load present

## Distributed Load 1

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

## Material Properties

Property	r	P frat
Color		
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		19
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		20
Cohesion [kPa]	0	6
Friction Angle [deg]	29.3	23.9
Water Surface	None	Water Table
Hu Value		1
Ru Value	0	

## Global Minimums

Relazione Geotecnica Generale

148

RTI di progettazione:



Mandataria

Via G.B. Sammartini n°5  
20125 - Milano  
Tel. 02 6787911  
email: mail@proiter.it



Mandante

Via Artemide n°3  
92100 Agrigento  
Tel. 0922 421007  
email: deltaingegneria@pec.it

## Method: bishop simplified

- FS: 1.180100
- Center: 14.575, 680.382
- Radius: 18.174
- Left Slip Surface Endpoint: 15.073, 662.215
- Right Slip Surface Endpoint: 29.131, 669.500
- Resisting Moment=3475.24 kN-m
- Driving Moment=2944.86 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1531
- Number of Invalid Surfaces: 3320

#### Error Codes:

- Error Code -114 reported for 328 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2992 surfaces

#### Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1801

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	0.562336	1.97253	r	0	29.3	1.64944	1.94651	3.46863	0	3.46863
2	0.562336	5.81921	r	0	29.3	4.79659	5.66046	10.0868	0	10.0868
3	0.562336	9.46848	r	0	29.3	7.69395	9.07963	16.1797	0	16.1797
4	0.562336	12.9187	r	0	29.3	10.3494	12.2133	21.7638	0	21.7638
5	0.562336	16.1675	r	0	29.3	12.7696	15.0694	26.8533	0	26.8533

6	0.562336	19.2121	r	0	29.3	14.9601	17.6544	31.4598	0	31.4598
7	0.562336	20.3222	r	0	29.3	15.6	18.4096	32.8055	0	32.8055
8	0.562336	18.7493	r	0	29.3	14.1868	16.7419	29.8337	0	29.8337
9	0.562336	16.94	r	0	29.3	12.6325	14.9076	26.565	0	26.565
10	0.562336	14.9072	r	0	29.3	10.9534	12.9261	23.034	0	23.034
11	0.562336	13.0883	r	0	29.3	9.47318	11.1793	19.9213	0	19.9213
12	0.562336	14.1856	r	0	29.3	10.1106	11.9315	21.2617	0	21.2617
13	0.562336	15.6508	r	0	29.3	10.9799	12.9574	23.0898	0	23.0898
14	0.562336	16.856	r	0	29.3	11.6344	13.7297	24.4661	0	24.4661
15	0.562336	17.7883	r	0	29.3	12.0725	14.2467	25.3872	0	25.3872
16	0.562336	18.4323	r	0	29.3	12.2917	14.5054	25.8484	0	25.8484
17	0.562336	18.7701	r	0	29.3	12.289	14.5022	25.8427	0	25.8427
18	0.562336	18.7804	r	0	29.3	12.0601	14.2321	25.3613	0	25.3613
19	0.562336	18.4378	r	0	29.3	11.5996	13.6887	24.393	0	24.393
20	0.562336	17.7119	r	0	29.3	10.9014	12.8647	22.9247	0	22.9247
21	0.562336	16.5655	r	0	29.3	9.95772	11.7511	20.9403	0	20.9403
22	0.562336	14.9523	r	0	29.3	8.75985	10.3375	18.4211	0	18.4211
23	0.562336	12.8144	r	0	29.3	7.29747	8.61175	15.3459	0	15.3459
24	0.562336	10.045	r	0	29.3	5.5419	6.54	11.6541	0	11.6541
25	0.562336	4.01619	r	0	29.3	2.13717	2.52208	4.49428	0	4.49428

## Interslice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1801

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	15.0725	662.215	0	0	0
2	15.6349	662.239	0.807576	0	0
3	16.1972	662.281	2.97807	0	0
4	16.7595	662.34	6.17224	0	0
5	17.3219	662.417	10.0784	0	0
6	17.8842	662.512	14.4101	0	0
7	18.4466	662.625	18.9039	0	0
8	19.0089	662.757	22.9727	0	0
9	19.5712	662.909	26.0987	0	0
10	20.1336	663.079	28.3576	0	0
11	20.6959	663.27	29.8477	0	0
12	21.2582	663.482	30.7175	0	0
13	21.8206	663.715	31.1817	0	0
14	22.3829	663.971	31.1602	0	0
15	22.9452	664.251	30.5541	0	0
16	23.5076	664.555	29.2877	0	0

17	24.0699	664.886	27.3111	0	0
18	24.6322	665.245	24.6027	0	0
19	25.1946	665.634	21.1739	0	0
20	25.7569	666.055	17.074	0	0
21	26.3193	666.513	12.3985	0	0
22	26.8816	667.009	7.29951	0	0
23	27.4439	667.549	2.00078	0	0
24	28.0063	668.139	-3.18041	0	0
25	28.5686	668.786	-7.78651	0	0
26	29.1309	669.5	0	0	0

## List Of Coordinates

### Water Table

X	Y
-2.65846e-005	649.509
7.77783	649.237
34.5	649.237
60.2889	649.449

### Line Load

X	Y
30	669.5
30	669.43
34.5	669.543
39	669.43

### External Boundary

X	Y
-2.65846e-005	661.044
-2.65846e-005	643.6
60.2889	643.6
60.2889	661.257
55.5112	661.158
50.5	664.5
48	664.5
40.5	669.5

39	669.5
39	669.43
34.5	669.543
30	669.43
30	669.5
28.5	669.5
21	664.5
18.5	664.5
13.3165	661.044

## Material Boundary

X	Y
13.3165	661.044
13.821	661.044
13.8105	660.316
14.3897	660.3
18.1	660.181
28.5	660.181
47.7998	660.3
55.0027	660.452
54.988	661.147
55.5112	661.158



## 13.6 S17 – Sezione 119

# Slide Analysis Information

## SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

### Project Summary

---

- File Name: S17\_Sezione 119.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

### General Settings

---

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

### Analysis Options

---

#### Analysis Methods Used

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

### Groundwater Analysis

---

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- 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	r	ec-BPL	BPL frat	BPL
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		19	20	22
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		20	21	23
Cohesion [kPa]	0	4	0	40

Friction Angle [deg]	29.3	21.7	28.4	33.9
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.107050
- Center: 219.408, 790.481
- Radius: 61.809
- Left Slip Surface Endpoint: 170.292, 752.959
- Right Slip Surface Endpoint: 232.535, 730.083
- Resisting Moment=118246 kN-m
- Driving Moment=106811 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1248
- Number of Invalid Surfaces: 3603

#### Error Codes:

- Error Code -101 reported for 56 surfaces
- Error Code -114 reported for 48 surfaces
- Error Code -115 reported for 1 surface
- Error Code -1000 reported for 3498 surfaces

#### Error Codes

*The following errors were encountered during the computation:*

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10705

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	2.56779	80.674	r	0	29.3	9.8309	10.8833	19.3938	0	19.3938
2	2.56779	213.553	r	0	29.3	27.2778	30.1979	53.812	0	53.812
3	2.56779	264.902	r	0	29.3	35.2275	38.9986	69.4948	0	69.4948
4	2.56779	296.305	r	0	29.3	40.8244	45.1946	80.5358	0	80.5358
5	2.56779	315.147	r	0	29.3	44.8241	49.6225	88.4263	0	88.4263
6	2.56779	322.977	r	0	29.3	47.2925	52.3552	93.2957	0	93.2957
7	2.56779	320.973	r	0	29.3	48.2817	53.4503	95.2472	0	95.2472
8	2.56779	310.052	r	0	29.3	47.8312	52.9515	94.3587	0	94.3587
9	2.56779	290.941	r	0	29.3	45.9689	50.8899	90.6848	0	90.6848
10	2.56779	264.222	r	0	29.3	42.7123	47.2847	84.2604	0	84.2604
11	2.56779	230.37	r	0	29.3	38.069	42.1443	75.1002	0	75.1002
12	2.56779	189.769	r	0	29.3	32.0372	35.4668	63.2012	0	63.2012
13	2.56779	142.736	r	0	29.3	24.6057	27.2397	48.5406	0	48.5406
14	2.56779	89.5262	r	0	29.3	15.7535	17.4399	31.0775	0	31.0775
15	2.39037	32.7093	ec-BPL	4	21.7	7.19098	7.96077	12.2644	2.31141	9.95299
16	2.39037	31.4772	ec-BPL	4	21.7	5.70334	6.31388	12.2736	6.45908	5.81452
17	2.39037	47.1015	ec-BPL	4	21.7	6.93035	7.67224	18.8931	9.66517	9.22793
18	2.39037	58.2104	ec-BPL	4	21.7	7.85339	8.69409	23.7404	11.9447	11.7957
19	2.39037	64.8553	ec-BPL	4	21.7	8.46368	9.36972	26.8017	13.3082	13.4935
20	2.39037	67.0663	ec-BPL	4	21.7	8.75079	9.68756	28.0541	13.7619	14.2922
21	2.39037	64.8536	ec-BPL	4	21.7	8.70231	9.63389	27.4652	13.3079	14.1573
22	2.39037	58.2076	ec-BPL	4	21.7	8.3036	9.1925	24.9923	11.9441	13.0482
23	2.39037	47.098	ec-BPL	4	21.7	7.53738	8.34426	20.5811	9.66445	10.9166
24	2.39037	31.4741	ec-BPL	4	21.7	6.38319	7.06651	14.1643	6.45845	7.7058
25	2.39037	11.2629	ec-BPL	4	21.7	4.81677	5.33241	5.65932	2.31114	3.34818

**Interslice Data**

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.10705

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	170.292	752.959	0	0	0
2	172.86	749.817	35.6968	0	0
3	175.428	747.053	114.432	0	0
4	177.996	744.597	194.626	0	0
5	180.563	742.404	266.476	0	0
6	183.131	740.438	325.26	0	0

7	185.699	738.674	368.485	0	0
8	188.267	737.091	395.326	0	0
9	190.834	735.674	406.274	0	0
10	193.402	734.41	402.903	0	0
11	195.97	733.289	387.719	0	0
12	198.538	732.303	364.063	0	0
13	201.106	731.444	336.065	0	0
14	203.673	730.709	308.614	0	0
15	206.241	730.091	287.371	0	0
16	208.632	729.619	275.978	0	0
17	211.022	729.244	266.954	0	0
18	213.412	728.964	255.686	0	0
19	215.803	728.778	241.342	0	0
20	218.193	728.684	223.619	0	0
21	220.583	728.684	202.731	0	0
22	222.974	728.775	179.416	0	0
23	225.364	728.96	154.959	0	0
24	227.755	729.239	131.217	0	0
25	230.145	729.612	110.673	0	0
26	232.535	730.083	0	0	0

## List Of Coordinates

### Water Table

X	Y
-4.71342e-005	731.246
89.879	731.246
93.1646	731.246
96.276	731.56
205.925	730.091
247.415	730.078
251.311	730.277
256.311	730.277

### Line Load

X	Y
132.5	752.609
150	753.046
167.491	752.609

## Line Load

X	Y
38.3046	741.996
-4.71342e-005	742.321

## External Boundary

X	Y
93.1646	731.246
92.3603	731.216
58.0163	739.456
39.4107	741.995
38.3046	741.996
-4.71342e-005	742.321
-4.71342e-005	731.246
-4.71342e-005	729.576
-4.71342e-005	716.709
-4.71342e-005	618
256.311	618
256.311	716.295
256.311	725.3
256.311	730.277
251.311	730.277
247.415	730.078
208.035	730.091
173.75	752.959
167.5	752.959
167.491	752.609
150	753.046
132.5	752.609
132.5	752.959
126.25	752.959
95.9814	732.737

## Material Boundary

X	Y
-4.71342e-005	716.709
99.2054	716.709
117.718	715.988

150	716.34
156.144	716.34
193.413	716.31
211.594	716.295
256.311	716.295

### Material Boundary

X	Y
-4.71342e-005	729.576
10.2212	729.442
68.3842	728.675
100.842	728.247
151.467	727.364
189.638	725.3
203.976	725.3
236.448	725.3
256.311	725.3

### Material Boundary

X	Y
-4.71342e-005	731.246
92.3603	731.216

### Material Boundary

X	Y
93.1646	731.246
96.276	731.56
96.276	729.56
96.3621	729.215
106.812	728.959
114.066	728.481
150	729.34
150.241	729.345
194.776	728.047
205.925	728.084
205.925	730.091
208.035	730.091

## Slide Analysis Information

### SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### Project Summary

---

- File Name: S17\_Sezione 119\_sisma.slim
- Slide Modeler Version: 6.008
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

#### General Settings

---

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

#### Analysis Options

---

##### Analysis Methods Used

- Bishop simplified
- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check  $\alpha < 0.2$ : 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: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Invalid Surfaces
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: 3

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.012
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.006
- 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	r	ec-BPL	BPL frat	BPL
Color				
Strength Type	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Unsaturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		19	20	22
Saturated Unit Weight [kN/m <sup>3</sup> ]		20	21	23
Cohesion [kPa]	0	4	0	40
Friction Angle [deg]	29.3	21.7	28.4	33.9

Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

---

### Method: bishop simplified

- FS: 1.117900
- Center: 219.408, 790.481
- Radius: 62.490
- Left Slip Surface Endpoint: 169.438, 752.959
- Right Slip Surface Endpoint: 235.435, 730.082
- Resisting Moment=145222 kN-m
- Driving Moment=129906 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

---

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1191
- Number of Invalid Surfaces: 3660

#### Error Codes:

- Error Code -101 reported for 56 surfaces
- Error Code -114 reported for 39 surfaces
- Error Code -115 reported for 1 surface
- Error Code -1000 reported for 3564 surfaces

#### Error Codes

*The following errors were encountered during the computation:*

- -101 = Only one (or zero) surface / slope intersections.
- -114 = Surface with Reverse Curvature.
- -115 = Surface too shallow, below the minimum depth.
- -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

## Slice Data

---

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1179

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	2.60623	84.4517	r	0	29.3	10.0771	11.2652	20.0744	0	20.0744
2	2.60623	237.659	r	0	29.3	29.751	33.2586	59.2662	0	59.2662
3	2.60623	306.402	r	0	29.3	39.9548	44.6655	79.593	0	79.593
4	2.60623	340.282	r	0	29.3	45.9894	51.4115	91.6141	0	91.6141
5	2.60623	360.97	r	0	29.3	50.3744	56.3135	100.35	0	100.35
6	2.60623	370.124	r	0	29.3	53.1832	59.4535	105.945	0	105.945
7	2.60623	369	r	0	29.3	54.4737	60.8962	108.516	0	108.516
8	2.60623	358.573	r	0	29.3	54.2903	60.6911	108.15	0	108.15
9	2.60623	339.613	r	0	29.3	52.6646	58.8738	104.912	0	104.912
10	2.60623	312.739	r	0	29.3	49.6176	55.4675	98.8417	0	98.8417
11	2.60623	278.449	r	0	29.3	45.1594	50.4837	89.961	0	89.961
12	2.60623	237.151	r	0	29.3	39.2907	43.9231	78.2699	0	78.2699
13	2.60623	189.179	r	0	29.3	32.0022	35.7753	63.751	0	63.751
14	2.60623	134.801	r	0	29.3	21.836	24.4105	46.7161	3.21712	43.499
15	2.6827	77.5971	ec-BPL	4	21.7	10.105	11.2963	27.0974	8.76254	18.3349
16	2.6827	73.1598	ec-BPL	4	21.7	8.13897	9.09855	26.1885	13.3764	12.8121
17	2.6827	91.9883	ec-BPL	4	21.7	9.50162	10.6219	33.459	16.819	16.64
18	2.6827	104.519	ec-BPL	4	21.7	10.4827	11.7186	38.5062	19.1101	19.3961
19	2.6827	110.823	ec-BPL	4	21.7	11.0699	12.3751	41.3083	20.2627	21.0456
20	2.6827	110.936	ec-BPL	4	21.7	11.2481	12.5743	41.8295	20.2834	21.5461
21	2.6827	104.859	ec-BPL	4	21.7	10.9991	12.2959	40.0192	19.1723	20.8469
22	2.6827	92.5578	ec-BPL	4	21.7	10.3011	11.5156	35.8089	16.9231	18.8858
23	2.6827	73.9635	ec-BPL	4	21.7	9.12752	10.2037	29.1125	13.5234	15.5891
24	2.6827	48.9695	ec-BPL	4	21.7	7.44657	8.32452	19.8205	8.9535	10.867
25	2.6827	17.4284	ec-BPL	4	21.7	5.21946	5.83483	7.7973	3.18658	4.61072

**Interslice Data**

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.1179

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	169.438	752.959	0	0	0
2	172.044	749.718	39.81	0	0
3	174.65	746.873	133.806	0	0
4	177.257	744.349	234.287	0	0
5	179.863	742.096	324.942	0	0
6	182.469	740.078	400.528	0	0
7	185.075	738.268	458.196	0	0

8	187.681	736.645	496.882	0	0
9	190.288	735.191	516.915	0	0
10	192.894	733.895	519.763	0	0
11	195.5	732.746	507.873	0	0
12	198.106	731.734	484.568	0	0
13	200.713	730.854	453.981	0	0
14	203.319	730.098	421.039	0	0
15	205.925	729.463	395.429	0	0
16	208.608	728.932	383.666	0	0
17	211.29	728.521	373.479	0	0
18	213.973	728.228	358.898	0	0
19	216.656	728.052	338.825	0	0
20	219.339	727.992	312.973	0	0
21	222.021	728.046	281.857	0	0
22	224.704	728.216	246.811	0	0
23	227.387	728.503	210.034	0	0
24	230.069	728.908	174.663	0	0
25	232.752	729.433	144.873	0	0
26	235.435	730.082	0	0	0

## List Of Coordinates

## Water Table

X	Y
-4.71342e-005	731.246
89.879	731.246
93.1646	731.246
96.276	731.56
205.925	730.091
247.415	730.078
251.311	730.277
256.311	730.277

## Line Load

X	Y
132.5	752.609
150	753.046
167.491	752.609

## Line Load

X	Y
38.3046	741.996
-4.71342e-005	742.321

## External Boundary

X	Y
93.1646	731.246
92.3603	731.216
58.0163	739.456
39.4107	741.995
38.3046	741.996
-4.71342e-005	742.321
-4.71342e-005	731.246
-4.71342e-005	729.576
-4.71342e-005	716.709
-4.71342e-005	618
256.311	618
256.311	716.295
256.311	725.3
256.311	730.277
251.311	730.277
247.415	730.078
208.035	730.091
173.75	752.959
167.5	752.959
167.491	752.609
150	753.046
132.5	752.609
132.5	752.959
126.25	752.959
95.9814	732.737

## Material Boundary

X	Y
-4.71342e-005	716.709
99.2054	716.709
117.718	715.988
150	716.34
156.144	716.34
193.413	716.31

211.594	716.295
256.311	716.295

### Material Boundary

X	Y
-4.71342e-005	729.576
10.2212	729.442
68.3842	728.675
100.842	728.247
151.467	727.364
186.608	725.151
198.331	724.408
236.448	725.3
256.311	725.3

### Material Boundary

X	Y
-4.71342e-005	731.246
92.3603	731.216

### Material Boundary

X	Y
93.1646	731.246
96.276	731.56
96.276	729.56
96.3621	729.215
106.812	728.959
114.066	728.481
150	729.34
150.241	729.345
194.776	728.047
205.925	728.084
205.925	730.091
208.035	730.091