

**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 Mezzanatica - 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**

Dott. Ing. Salvatore FRASCA



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**  
T00GE00GETRE01B .pdf

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

**REVISIONE**

**SCALA:**

**B**

D					
C					
B	Revisione per istruttoria, verifica e controlli D.LGS.35/11	APRILE 2021	VITIELLO	MEZZANATICA	FORMICHI
A	Emissione	MARZO 2020	VITIELLO	MEZZANATICA	FORMICHI
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	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.....	7
3.2.1	Opera S02 – Ponticello idraulico PO07, al km 115+505 .....	7
3.2.2	Opera S13 – Ponticello idraulico PO05, al km 155+950 .....	7
<b>4</b>	<b>QUADRO STRATIGRAFICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE .....</b>	<b>9</b>
5.1	Caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione delle opere principali: riepilogo.....	9
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE .....</b>	<b>10</b>
6.1	Caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere principali: riepilogo.....	10
<b>7</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE SEZIONI IN RILEVATO E TRINCEA.....</b>	<b>12</b>
7.1	Premessa .....	12
7.2	Generalità sulle verifiche di stabilità globale.....	13
7.2.1	Verifiche di stabilità in condizioni statiche.....	14
7.2.2	Verifiche di stabilità in condizioni sismiche .....	14
7.2.3	Software di calcolo.....	15
7.3	Condizioni di falda .....	15
7.4	Risultati.....	15
7.4.1	S20 - Sezione SS131 sud 23 – Rilevato alla p.k. 0+380 (h=4.6 m) .....	17
7.4.2	S20 - Sezione SS131 sud 32 – Rilevato alla p.k. 0+560 (h=4.0 m) .....	19
7.4.3	S21 - Sezione 50 Viabilità locale A – Rilevato alla p.k. 0+820 (h=4.0 m) .....	21
7.4.4	S13 - Sezione 80 – Trincea alla p.k. 1+180 (h=6.0 m).....	23
7.4.5	V02 – Sezione SP62-E-16 – Rilevato alla p.k. 0+212 (h=9.0 m) .....	25
7.4.6	S17 – Sezione 119 – Rilevato alla p.k. 2+340 (h=4.4 m).....	27
7.5	Valutazione dei potenziali fenomeni di sifonamento dei rilevati .....	29
<b>8</b>	<b>ANALISI DI CADUTA MASSI .....</b>	<b>30</b>
<b>9</b>	<b>MURI DI SOSTEGNO .....</b>	<b>36</b>
9.1	Metodologia di calcolo .....	36
9.2	Verifiche agli Stati Limite Ultimi .....	36
9.2.1	Verifica a ribaltamento .....	37
9.2.2	Verifica a scivolamento.....	38
9.2.3	Verifica di capacità portante della fondazione .....	38
9.3	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio .....	38
9.3.1	Verifiche di limitazione delle tensioni in esercizio .....	38
9.3.2	Verifiche a fessurazione .....	39
9.4	Azioni sismiche .....	39
9.5	Analisi dei carichi .....	40
9.6	Spinta delle terre in fase statica.....	41
9.6.1	Coefficienti di spinta.....	41
9.6.2	Spinta del terreno .....	42
9.6.3	Spinta dei sovraccarichi permanenti.....	42
9.6.4	Spinta dei sovraccarichi accidentali.....	43
9.7	Spinta delle terre in fase sismica.....	43
9.7.1	Coefficienti di spinta.....	43
9.7.2	Spinta del terreno .....	44
9.7.3	Spinta dei sovraccarichi permanenti .....	45
9.7.4	Spinta dei sovraccarichi accidentali.....	45
<b>10</b>	<b>PARATIE.....</b>	<b>46</b>

10.1	Metodologia di calcolo: condizioni statiche.....	46
10.1.1	Stato limite ultimo (SLU).....	46
10.1.2	Stato Limite di Esercizio (SLE).....	48
10.2	Metodologia di calcolo: condizioni sismiche.....	48
10.3	Spinta delle terre.....	51
10.3.1	Coefficiente di spinta a riposo.....	51
10.3.2	Coefficiente di spinta attiva in fase statica.....	51
10.3.3	Coefficiente di spinta passiva in fase statica.....	53
10.3.4	Coefficiente di spinta attiva in fase sismica.....	54
10.3.5	Coefficiente di spinta passiva in fase sismica.....	56
<b>11</b>	<b>FONDAZIONI SU PALI.....</b>	<b>58</b>
11.1	Verifica agli stati limite ultimi (SLU).....	58
11.2	Resistenze di pali soggetti a carichi assiali.....	59
11.3	Resistenze di pali soggetti a carichi trasversali.....	59
11.4	Condizioni sismiche.....	60
11.5	Curve di capacità portante dei pali di fondazione.....	60
11.5.1	Capacità portante verticale.....	60
11.5.2	Capacità portante orizzontale.....	62
11.6	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio.....	65
<b>12</b>	<b>FONDAZIONI SU MICROPALI.....</b>	<b>66</b>
12.1	Verifiche agli Stati Limite Ultimi.....	66
12.2	Condizioni sismiche.....	67
12.3	Verifica di resistenza nei confronti dei carichi assiali.....	67
12.4	Verifica di resistenza nei confronti di carichi trasversali.....	68
12.5	Verifiche agli Stati Limite di Esercizio.....	69
<b>13</b>	<b>APPENDICE 1 – TABULATI DI CALCOLO DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ DI RILEVATI E TRINCEE.....</b>	<b>70</b>
13.1	S20 – Sezione SS131 sud 23.....	70
13.2	S20 – Sezione SS131 sud 32.....	90
13.3	S21 – Sezione 50 Viabilità locale A.....	108
13.4	S13 – Sezione 80.....	130
13.5	V02 – Sezione SP62-E-16.....	142
13.6	S17 – Sezione 119.....	154

## 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 **3** 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. 17.01.2018** "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.42 del 20.02.2018).
- **Circ. 21.01.2019, n.7 C.S.LL.PP.** "Istruzione per l'applicazione dell'Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.35 del 11.02.2019).
- **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"
- **T00GE00GEORE08A** - "Documentazione indagini geognostiche e geofisiche – 2019"
- **T00GE00GEOCO01A** - "Corografia ubicazione cave e siti di conferimento – Tav. 1/3"
- **T00GE00GEOCO02A** - "Corografia ubicazione cave e siti di conferimento – Tav. 2/3"
- **T00GE00GEOCO03A** - "Corografia ubicazione cave e siti di conferimento – Tav. 3/3"
- **T00GE00GEORE10A** - "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 e geomorfologica generale – Tav. 1/8"
- **T00GE00GEOCG02B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 2/8"
- **T00GE00GEOCG03B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 3/8"
- **T00GE00GEOCG04B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 4/8"
- **T00GE00GEOCG05B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 5/8"
- **T00GE00GEOCG06B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 6/8"
- **T00GE00GEOCG07B** - "Carta geologica e geomorfologica generale – Tav. 7/8"
- **T00GE00GEOCG08B** - "Carta geologica e 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"
- **T00GE00GETRE01B** - "Relazione geotecnica generale"
- **T00GE00GETRE02A** - "Relazione sismica"
- **T00GE00GETCS01A** - "Planimetria con classificazione sismica del territorio"

## SVINCOLI E OPERE PRINCIPALI

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

- **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

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 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.

##### 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 e prelievo di campioni rimaneggiati e indisturbati per l'esecuzione di prove geotecniche (da 0.0 a 2.30 m) e spezzoni di carota lapidea per le prove geomeccaniche (da 3.0 a 30.0 m). In corrispondenza del sondaggio S1 è stata eseguita una prospezione geofisica di tipo down-hole denominata **S1-DH** (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), con esecuzione di n° 8 prove SPT e prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio e di identificazione.

Per dettagli sulla campagna geognostica integrativa si rimanda all'elaborato **T00GE00GEORE08A** - "Documentazione indagini geognostiche e geofisiche - 2019".

## 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"	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$						
		$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$	$c' = 0 - 10 \text{ KPa}$					
		$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$	$\phi' = 25 - 28^\circ$					
		$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$	$E' = 15 - 20 \text{ MPa}$					
	Basalti alterati "BA"	$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$				$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$					
		$c' = 0 \text{ KPa}$				$c' = 0 \text{ KPa}$					
		$\phi' = 34^\circ$				$\phi' = 34^\circ$					
		$\tau = 180 - 200 \text{ KPa}$				$\tau = 180 - 200 \text{ KPa}$					
	Basalti non alterati "B"	$\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$				$\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$					
		$c' = 50 \text{ KPa}$				$c' = 50 \text{ KPa}$					
		$\phi' = 40^\circ$				$\phi' = 40^\circ$					
		$\tau = 200 - 250 \text{ KPa}$				$\tau = 200 - 250 \text{ KPa}$					
	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:

- D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (Supplemento ordinario alla "Gazzetta Ufficiale", n.42 del 20.02.2018).
- Circ. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018

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

$$E_d \leq R_d$$

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

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

- A2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali  $\gamma_F$  da applicare alle azioni o all'effetto delle azioni (Tabella 6.2.I DM 17/01/2018);
- M2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali  $\gamma_M$  da applicare ai parametri del terreno (Tabella 6.2.II DM 17/01/2018);
- R2 rappresenta il gruppo di coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche di sicurezza (Tabella 6.8.I DM 17/01/2018).

CARICHI	EFFETTO	COEFFICIENTE PARZIALE ( $\gamma_F$ )	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0.0	0.8
	Sfavorevole		1.5	1.3
Variabili	Favorevole	$\gamma_Q$	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.3

**Tabella 1 - DM 17.01.2018: Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto di azioni**

PARAMETRO	GRANDEZZA	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	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1.0	1.0

**Tabella 2 - DM 17.01.2018: 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. 17.01.2018 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 PARZIALE ( $\gamma_R$ )	R2
$\gamma_R$	1.1

**Tabella 3** - DM 17.01.2018: Tabella 6.8.1 - 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 2018, 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 (SLU) 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:**  $k_h = \beta_s a_{max}/g = 0.023$ ;  $k_v = \pm 0.5 k_h = 0.011$ .
- **Categoria B+T1:**  $k_h = \beta_s a_{max}/g = 0.027$ ;  $k_v = \pm 0.5 k_h = 0.014$ .
- **Categoria C+T1:**  $k_h = \beta_s a_{max}/g = 0.034$ ;  $k_v = \pm 0.5 k_h = 0.017$ .
- **Categoria E+T1:**  $k_h = \beta_s a_{max}/g = 0.096$ ;  $k_v = \pm 0.5 k_h = 0.048$ .

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 in condizioni sismiche (cfr. **Tabella 4**).

COEFFICIENTE PARZIALE ( $\gamma_R$ )	R2
$\gamma_R$	1.2

**Tabella 4** - DM 17.01.2018: Coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo in condizioni sismiche

### 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 concii, 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 concii 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 5**) 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 $k_v \uparrow$
S20	SS131 sud 23	1,32	1,43	1,40
S20	SS131 sud 32	1,25	1,35	1,33
S21	50 Viab. A	1,26	1,54	1,54
S13	80	1,68	1,98	1,99
V02	SP62-E-16	1,37	1,55	1,55
S17	119	1,13	1,34	1,34

**Tabella 5** – 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)

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	32	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

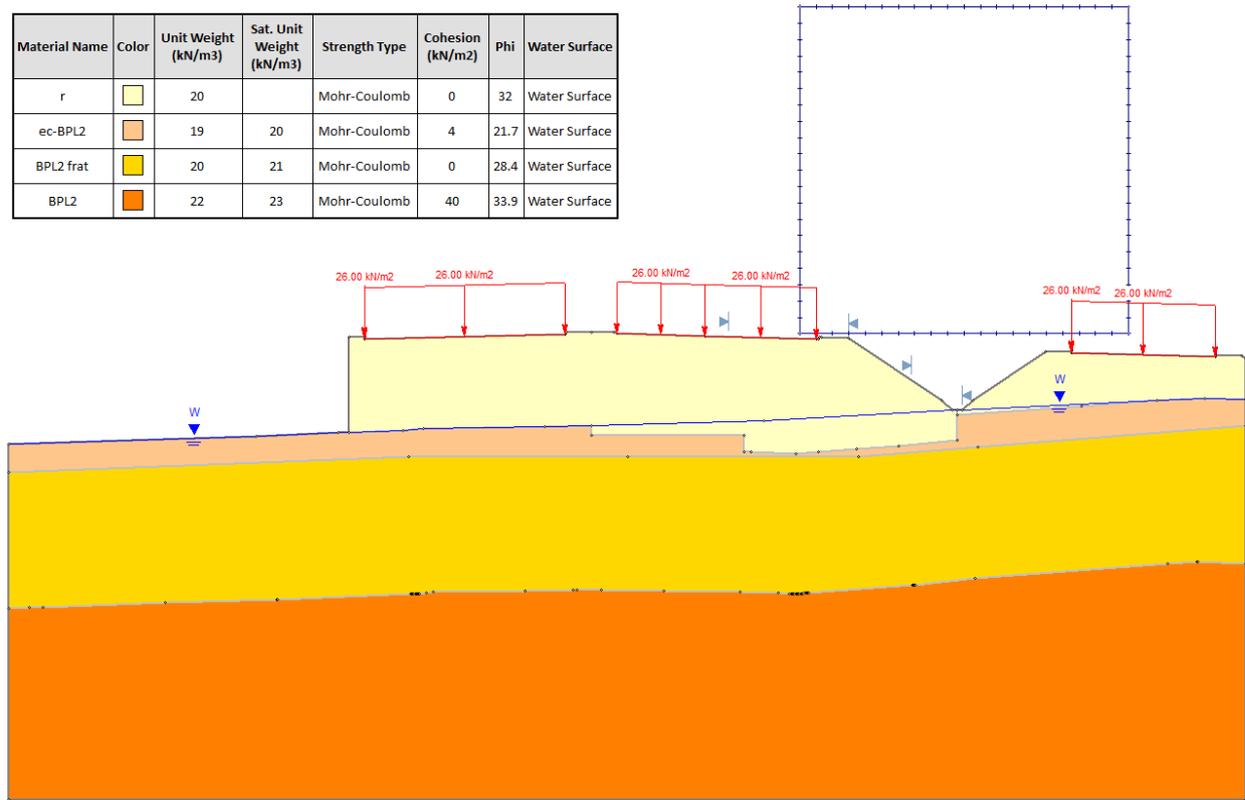


Figura 1 - Rilevato alla p.k. 0+380 - Modello di calcolo

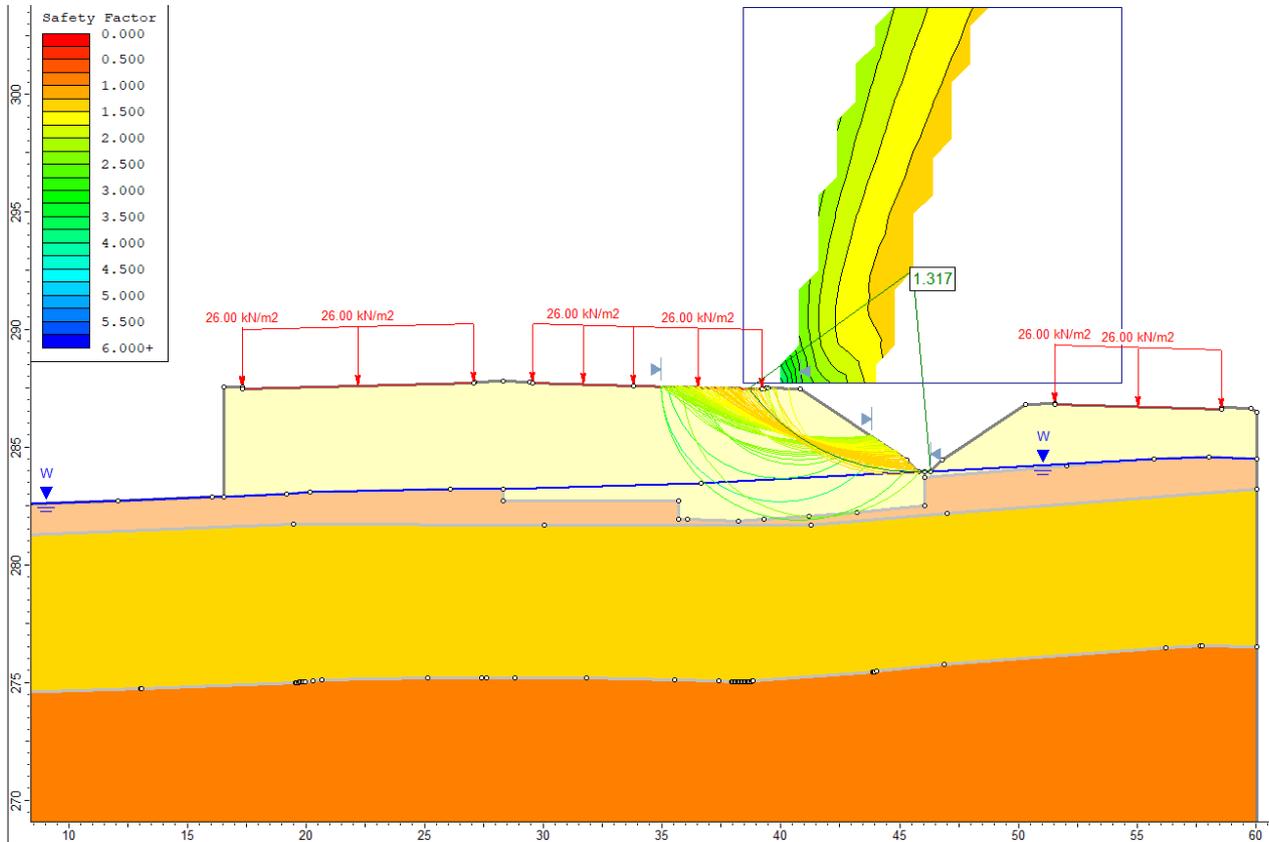


Figura 2 – Rilevato alla p.k. 0+380- Verifica in condizioni statiche: risultati

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	38	Water Surface
ec-BPL2		19	20	Mohr-Coulomb	5	26.5	Water Surface
BPL2 frat		20	21	Mohr-Coulomb	0	34	Water Surface
BPL2		22	23	Mohr-Coulomb	50	40	Water Surface

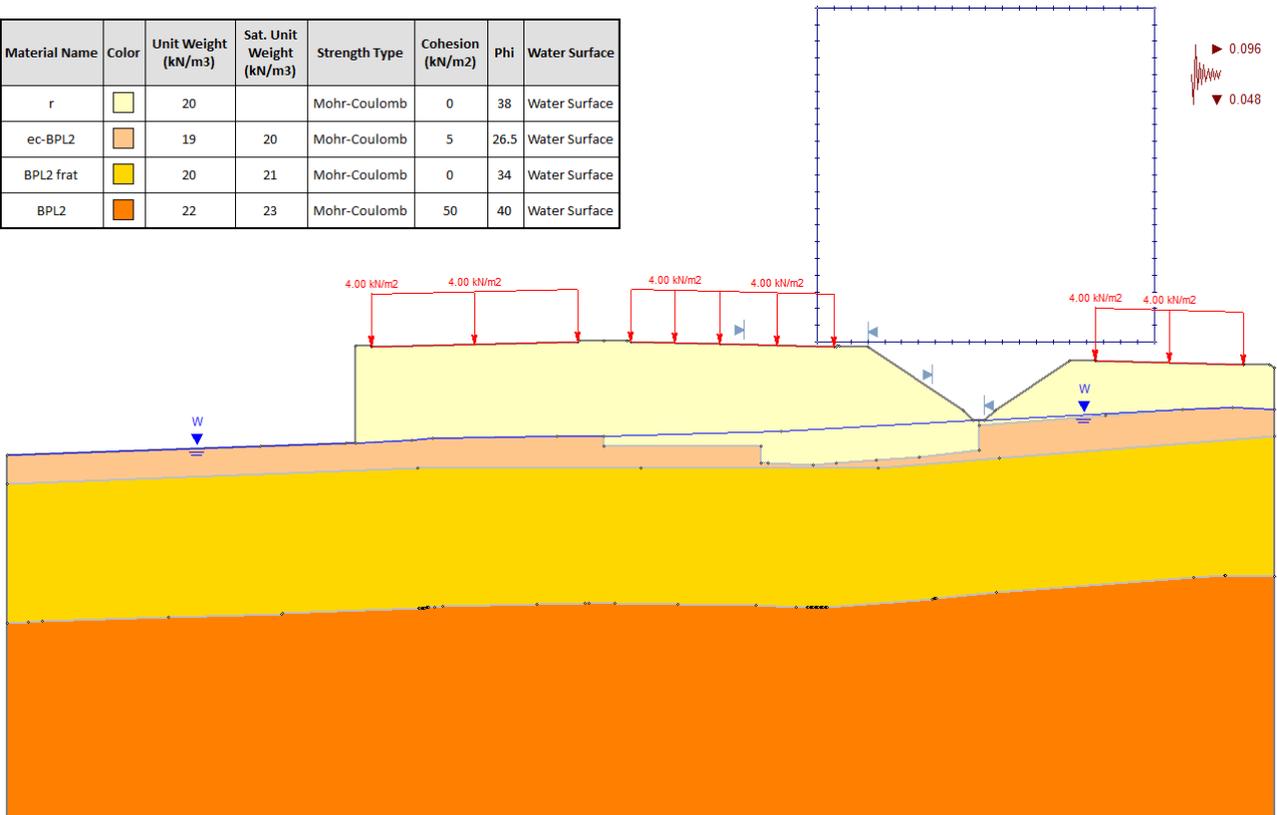


Figura 3 – Rilevato alla p.k. 0+380- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): modello di calcolo

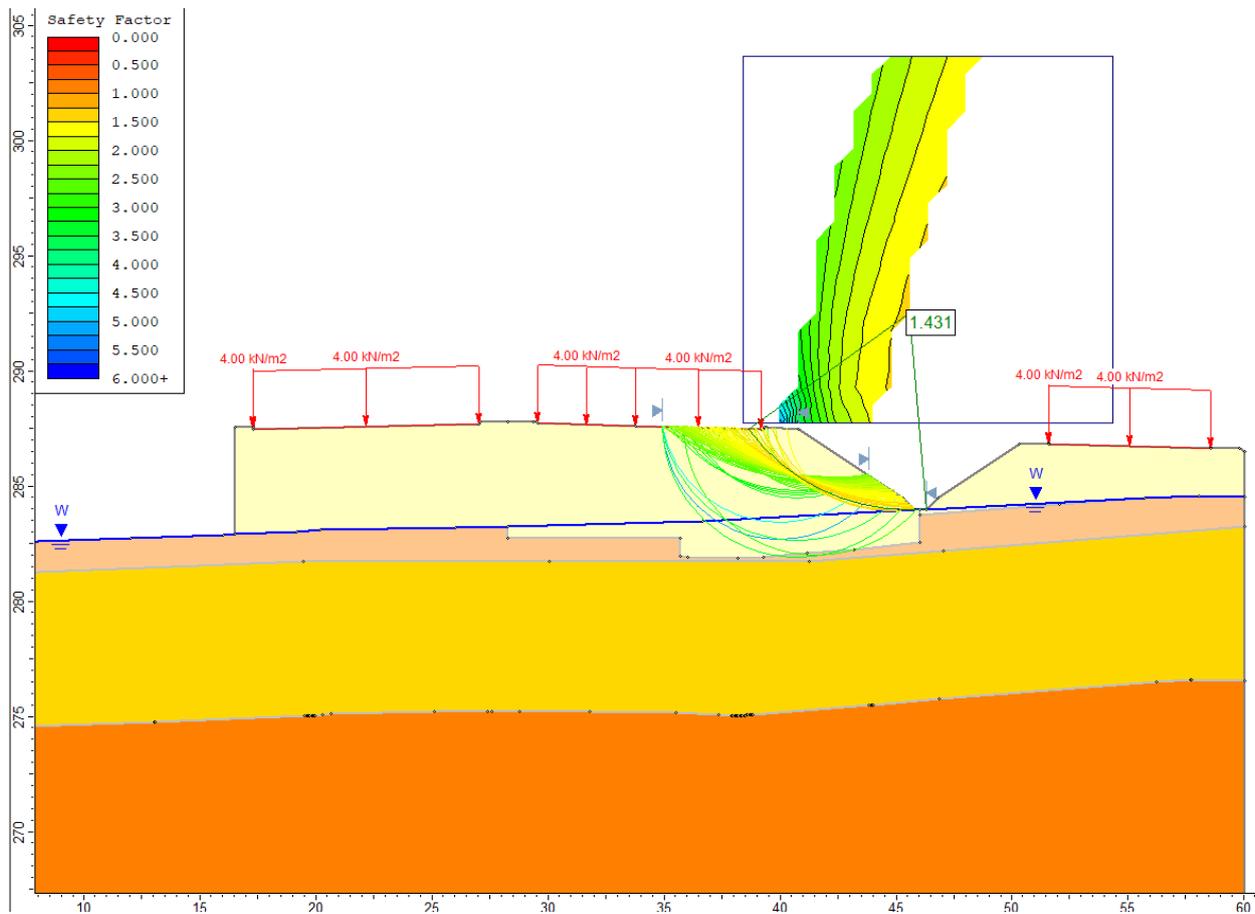


Figura 4 – Rilevato alla p.k. 0+380- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): risultati

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

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	32	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

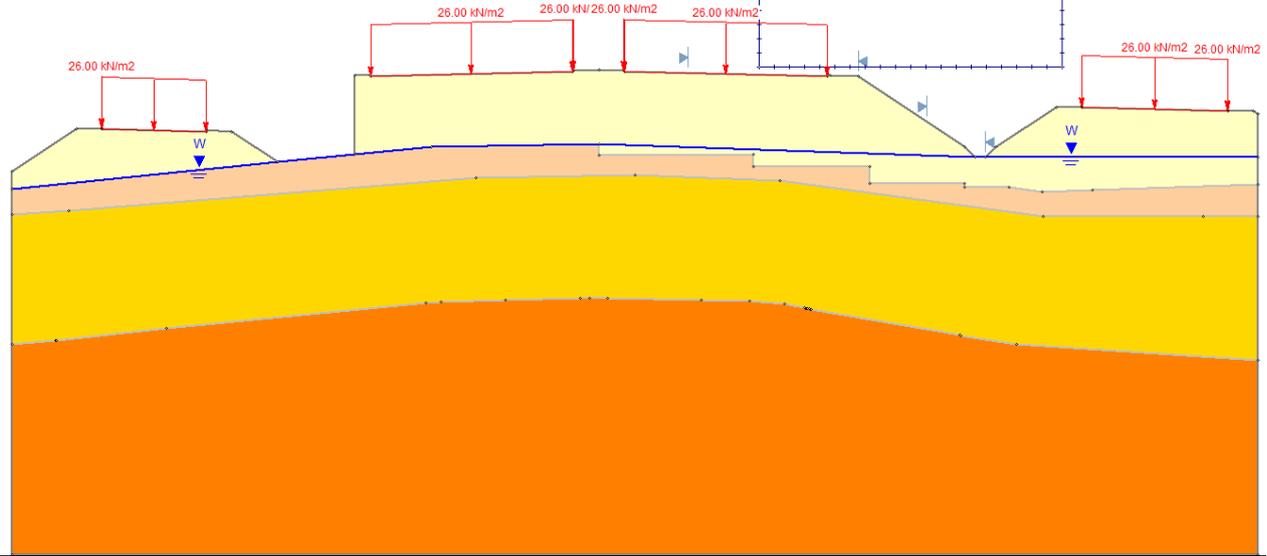


Figura 5 – Rilevato alla p.k. 0+560 - Modello di calcolo

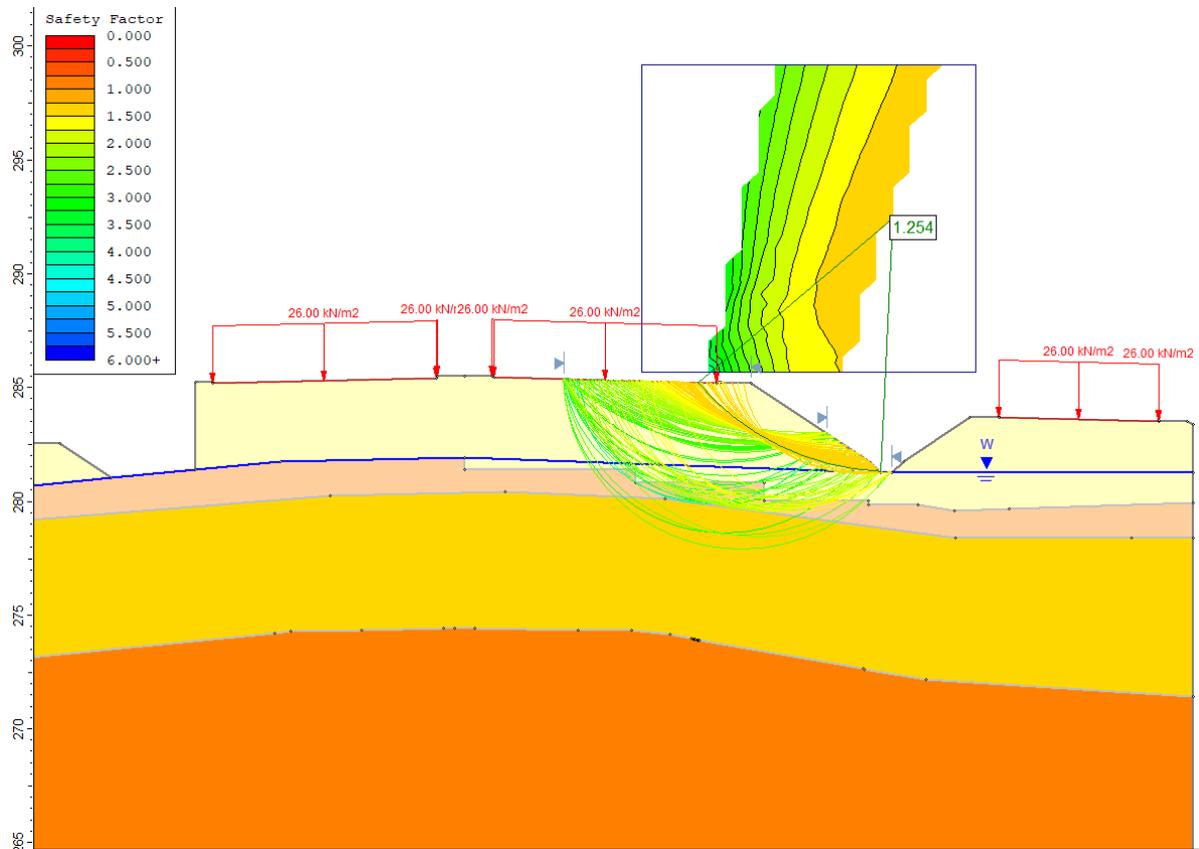


Figura 6 - Rilevato alla p.k. 0+560 - Verifica in condizioni statiche: risultati

Progetto Esecutivo

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	38	Water Surface
ec-BPL2		19	20	Mohr-Coulomb	5	26.5	Water Surface
BPL2 frat		20	21	Mohr-Coulomb	0	34	Water Surface
BPL2		22	23	Mohr-Coulomb	50	40	Water Surface

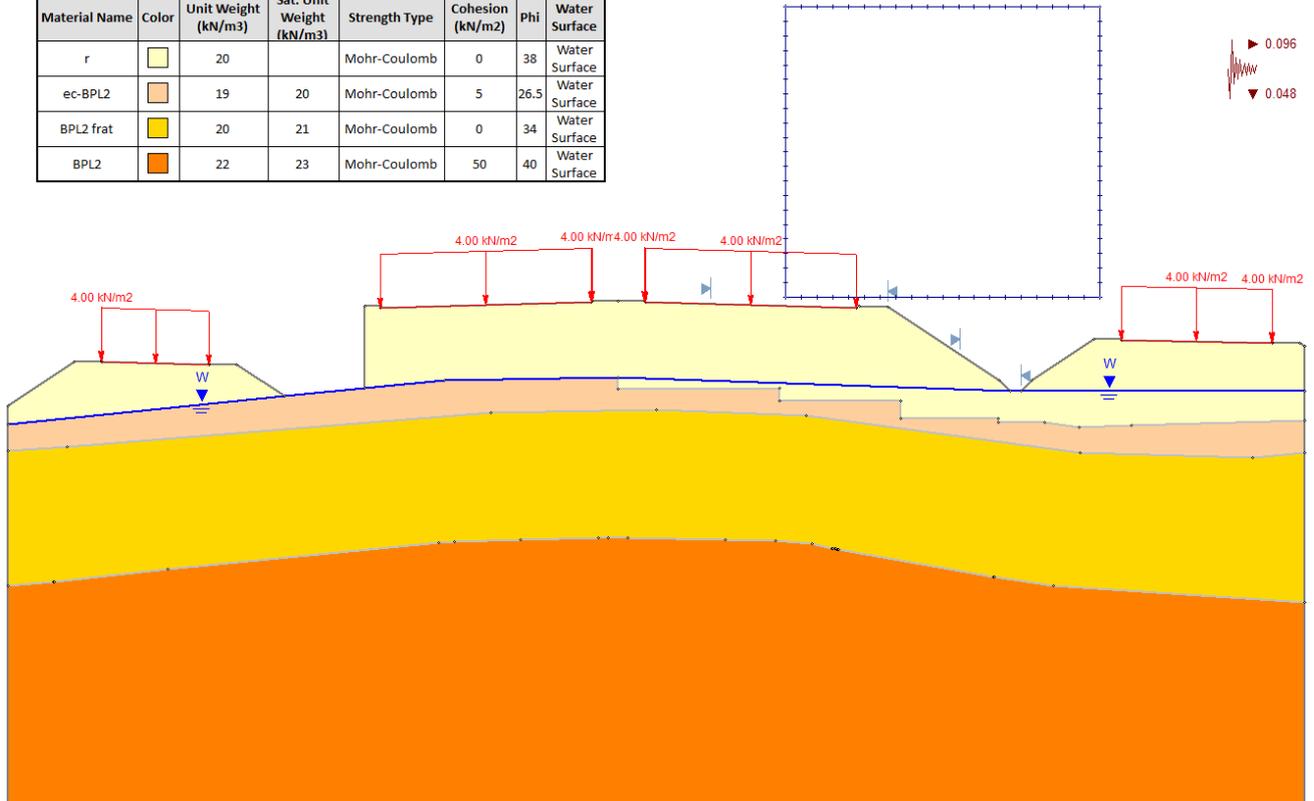


Figura 7 - Rilevato alla p.k. 0+560- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): modello di calcolo

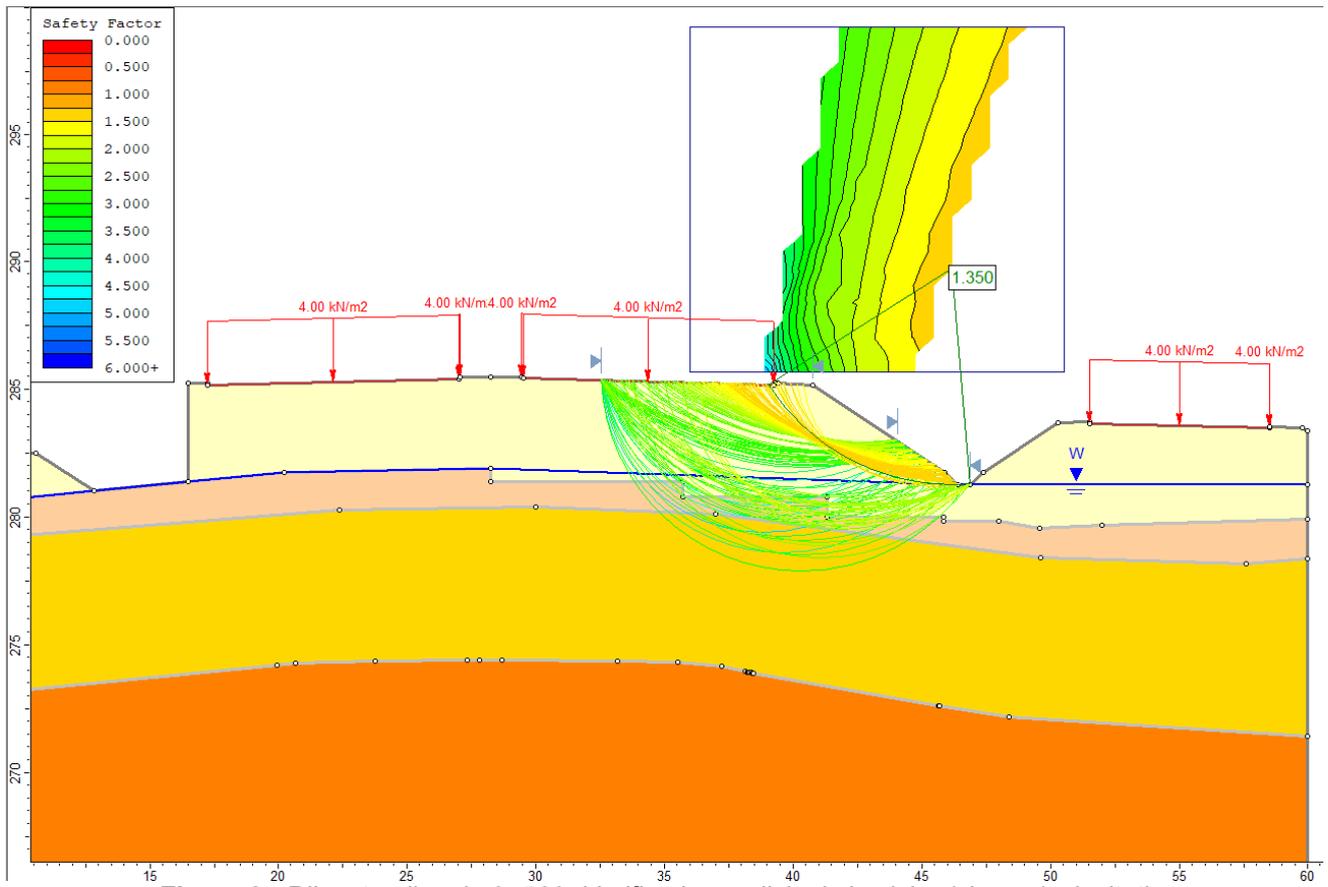


Figura 8 - Rilevato alla p.k. 0+560- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): risultati

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

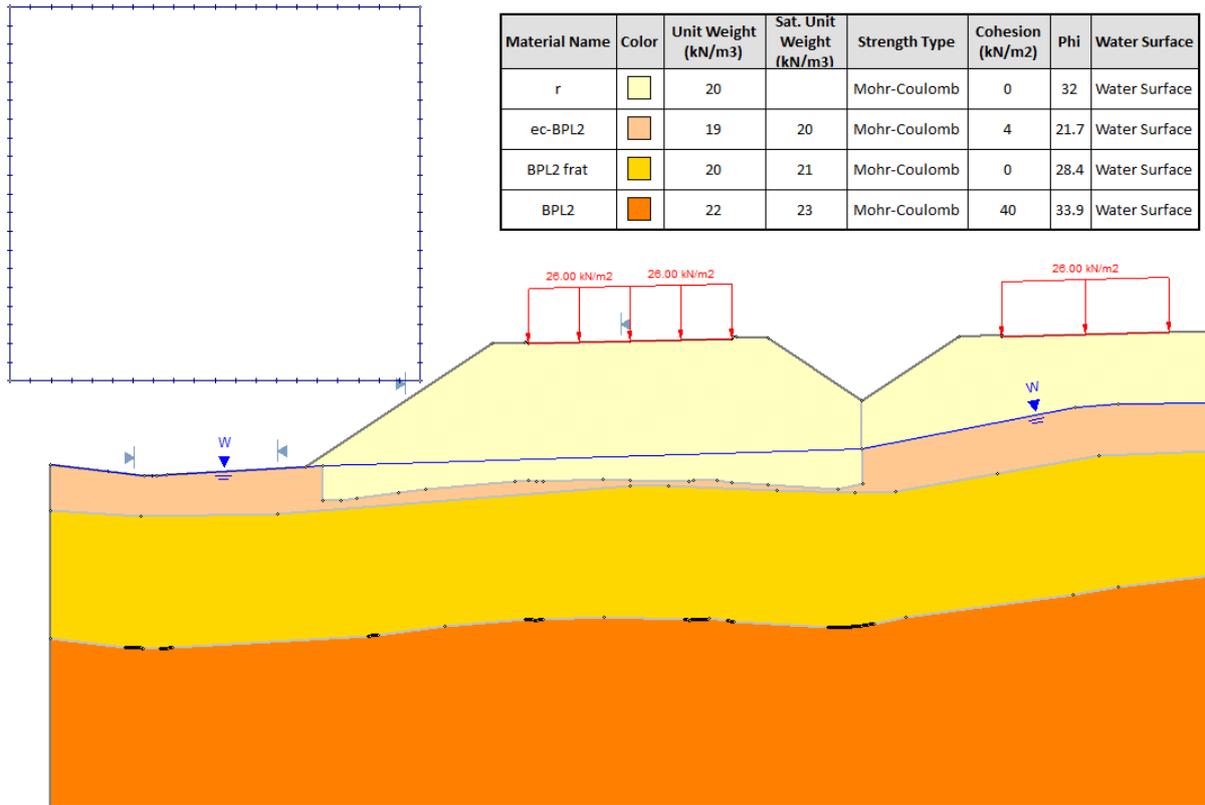


Figura 9 – Rilevato alla p.k. 0+820 - Modello di calcolo

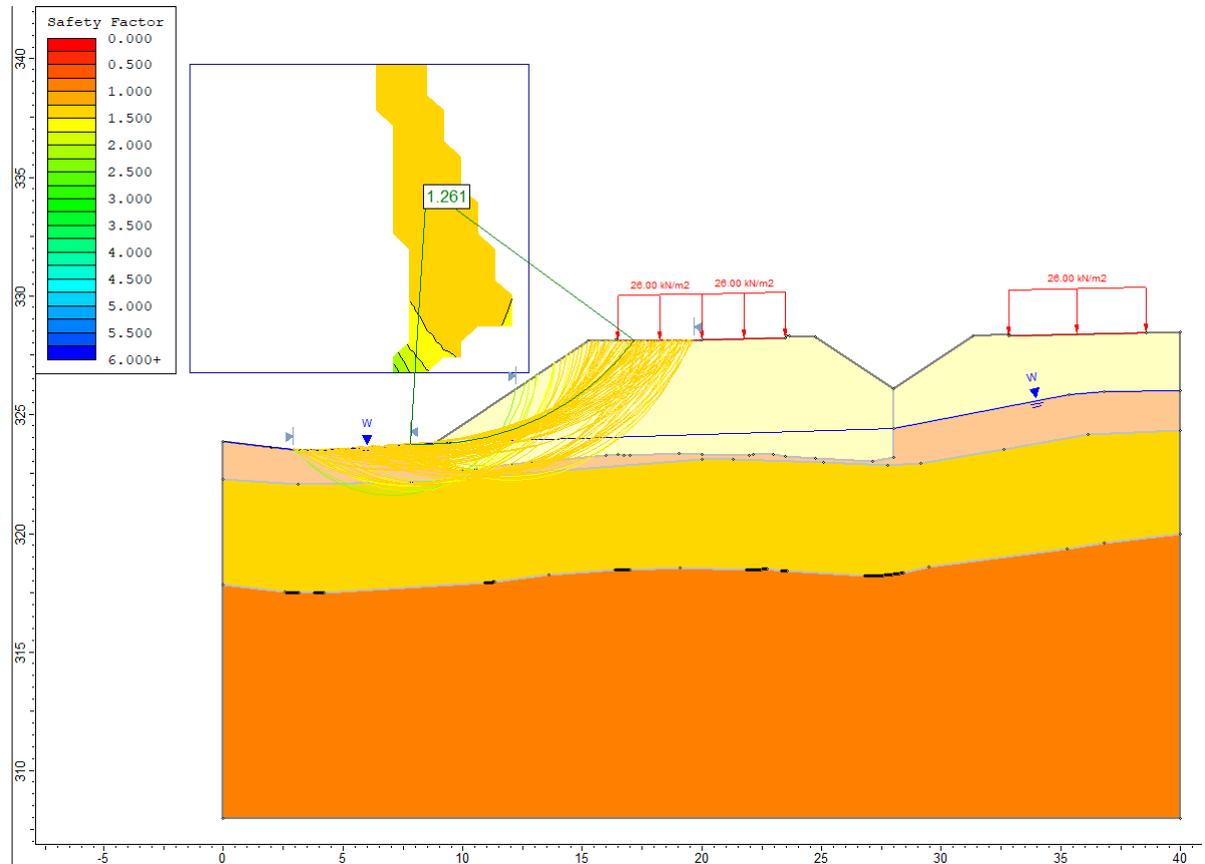


Figura 10 – Rilevato alla p.k. 0+820 - Verifiche in condizioni statiche: risultati

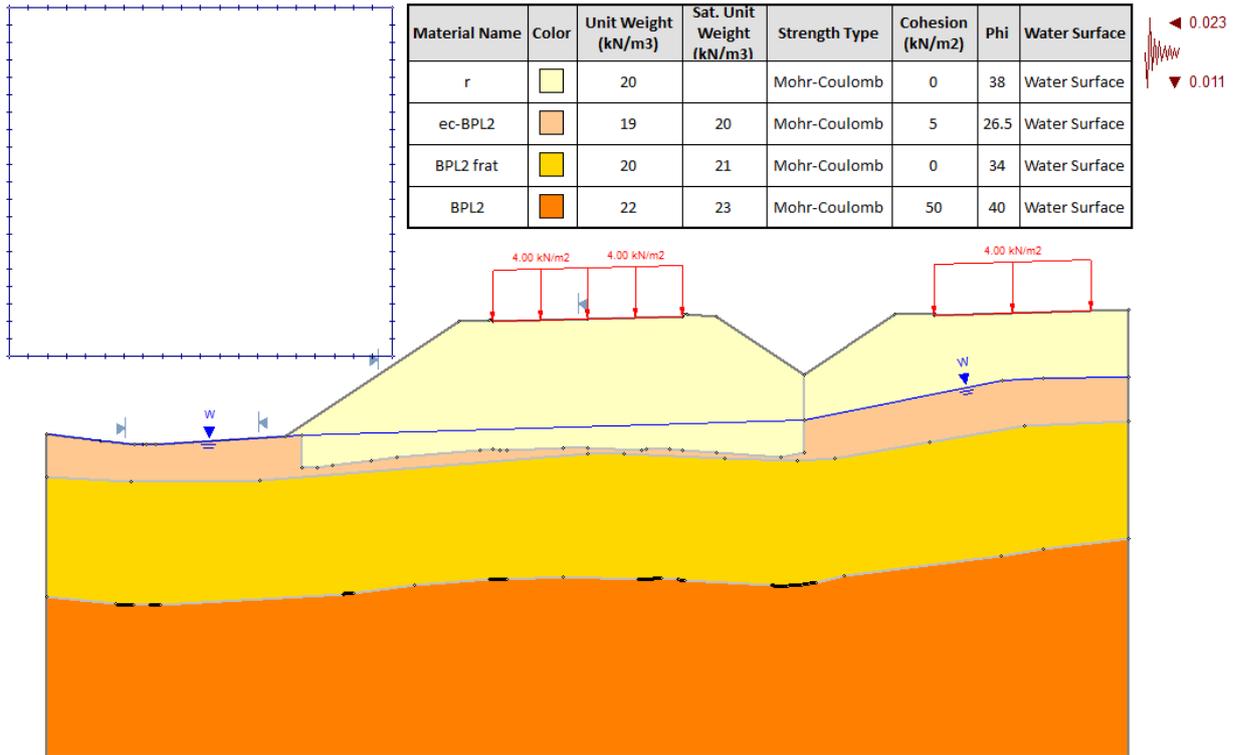


Figura 11 - Rilevato alla p.k. 0+820 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): modello calcolo

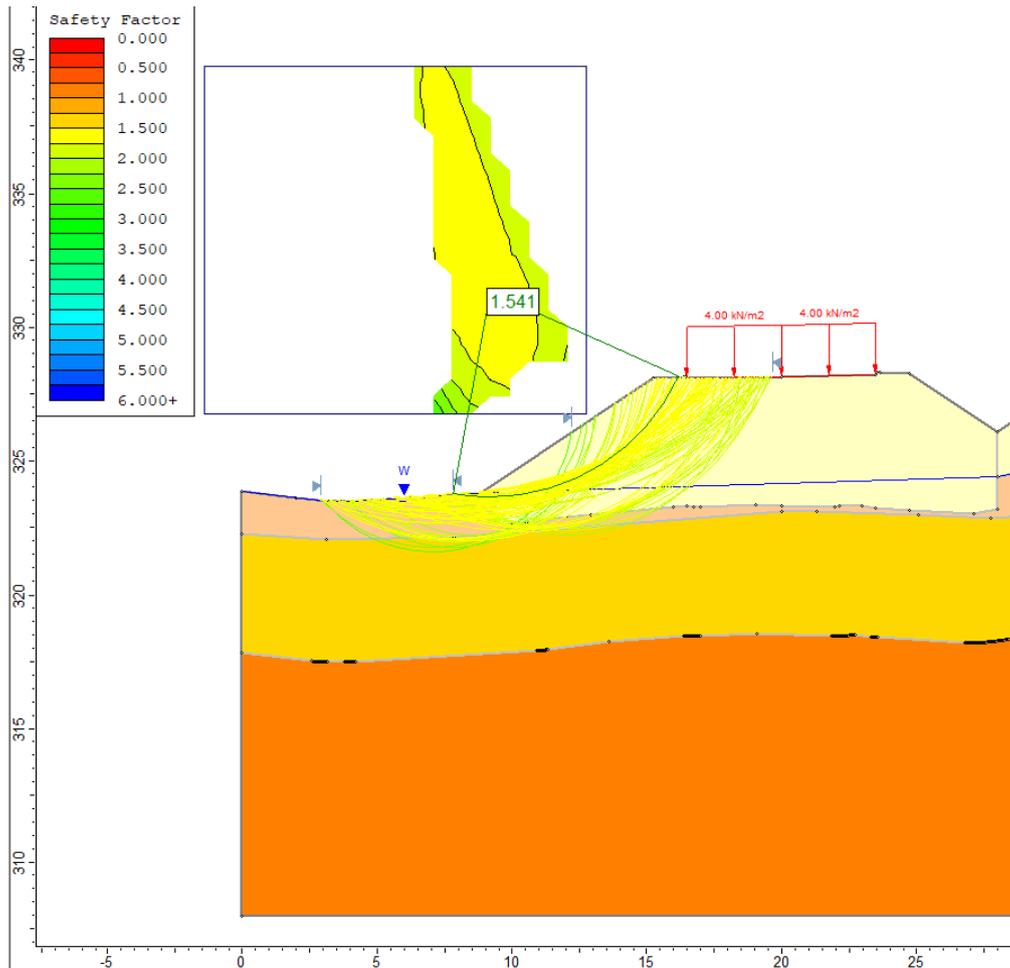


Figura 12 - Rilevato alla p.k. 0+820 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): risultati

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

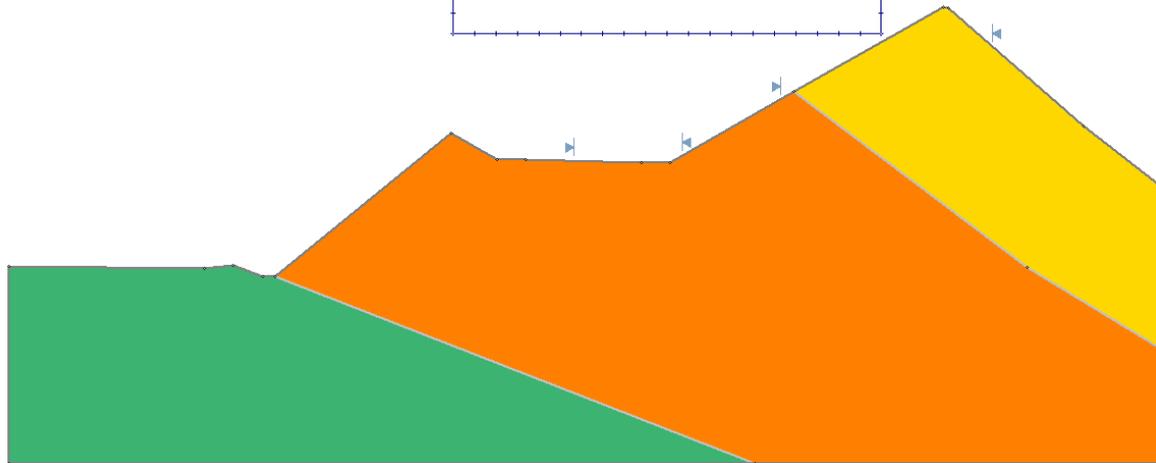


Figura 13 – Trincea alla p.k. 1+180 - Modello di calcolo

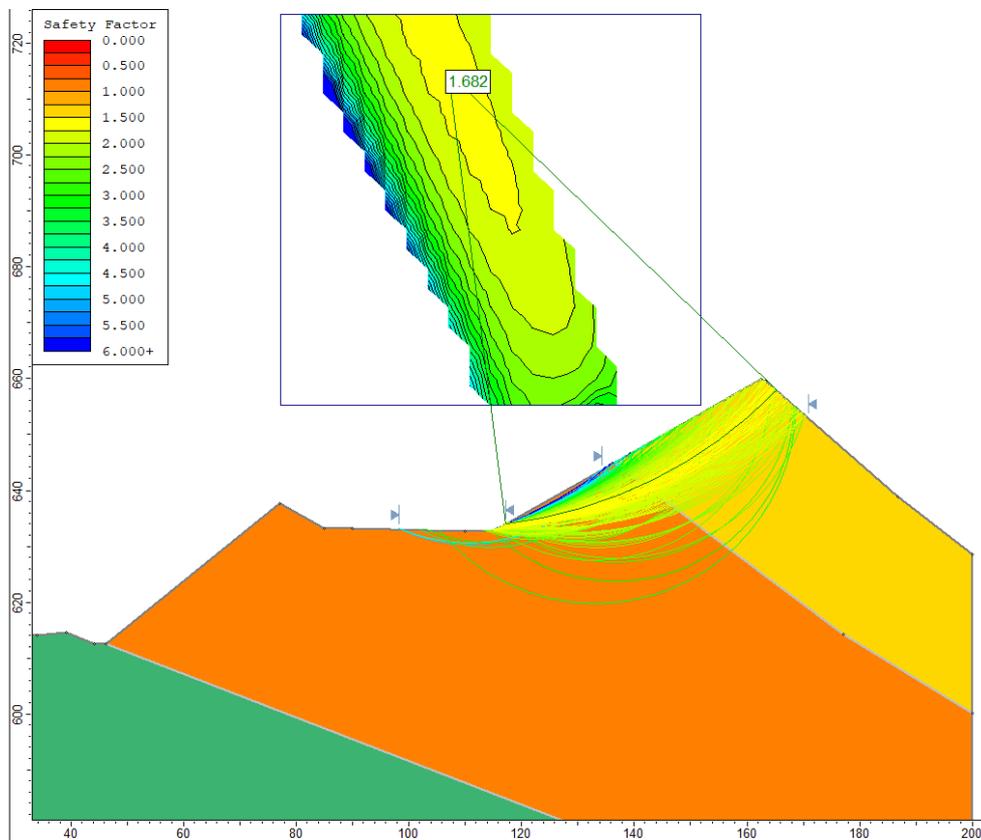


Figura 14 – Trincea alla p.k. 1+180 - Verifica in condizioni statiche: risultati

Progetto Esecutivo

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kN/m <sup>2</sup> )	Phi	Water Surface
BPL frat	Yellow	20	Mohr-Coulomb	0	34	None
BPL	Orange	22	Mohr-Coulomb	50	40	None
P frat	Green	19	Mohr-Coulomb	8	29	None

◀ 0.027  
 ▼ 0.014

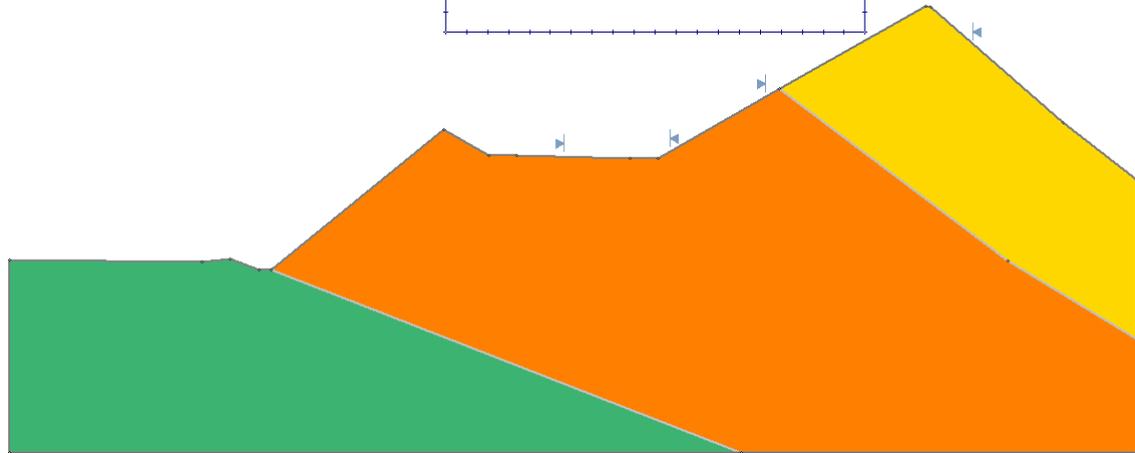


Figura 15 - Trincea alla p.k. 1+180- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): modello di calcolo

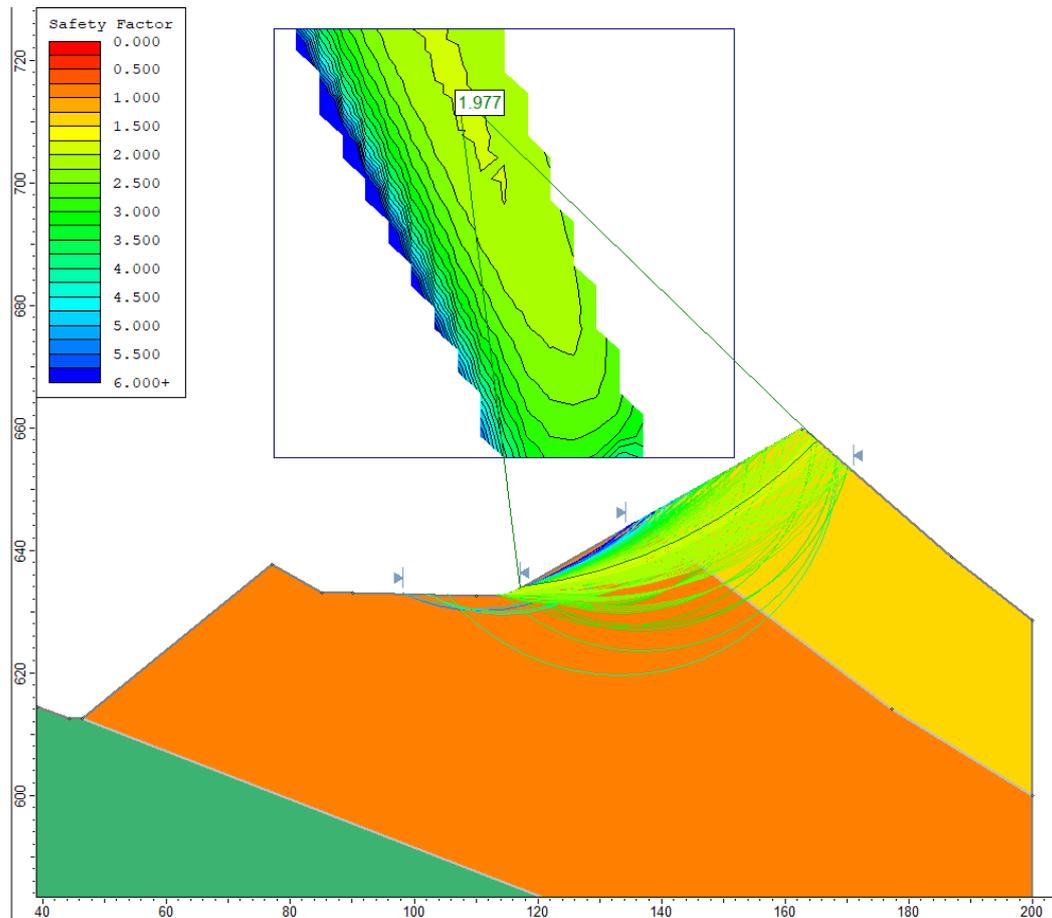


Figura 16 - Trincea alla p.k. 1+180- Verifica in condizioni sismiche (sisma+): risultati

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

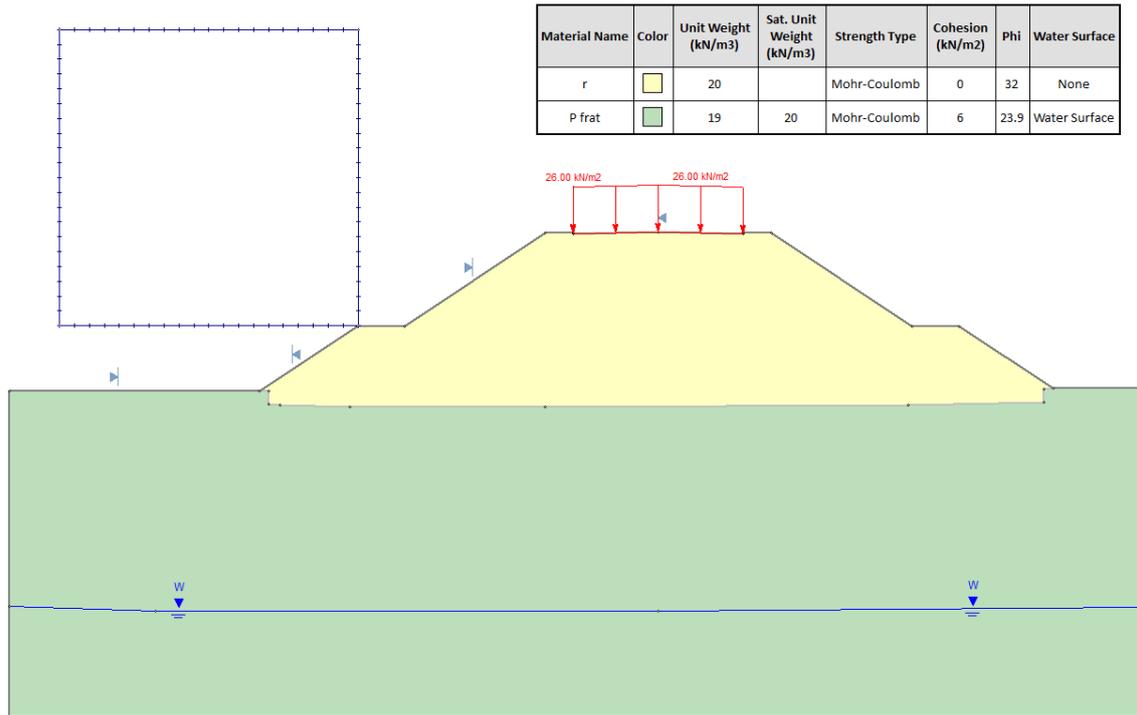


Figura 17 – Rilevato alla p.k. 0+212 - Modello di calcolo

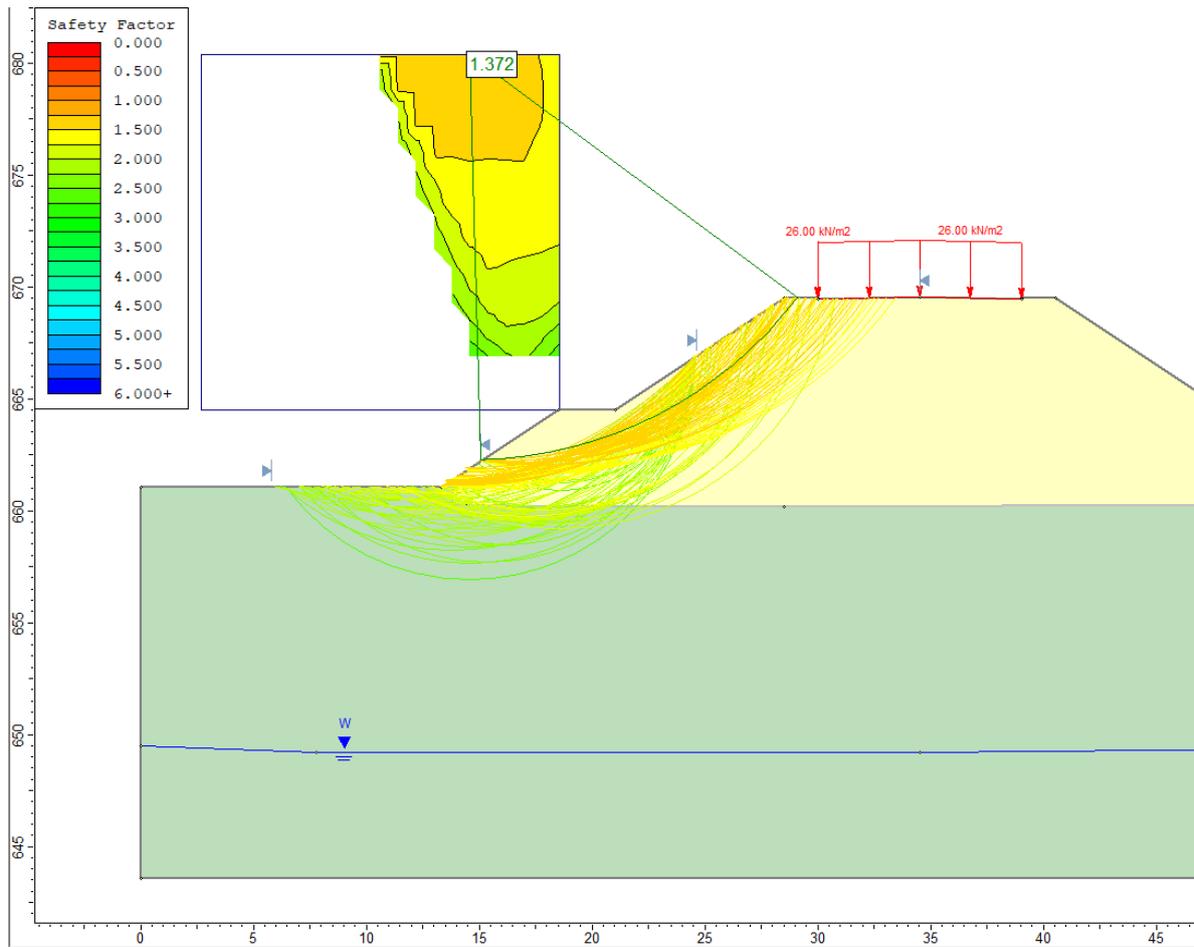


Figura 18 – Rilevato alla p.k. 0+212- Verifiche in condizioni statiche: risultati

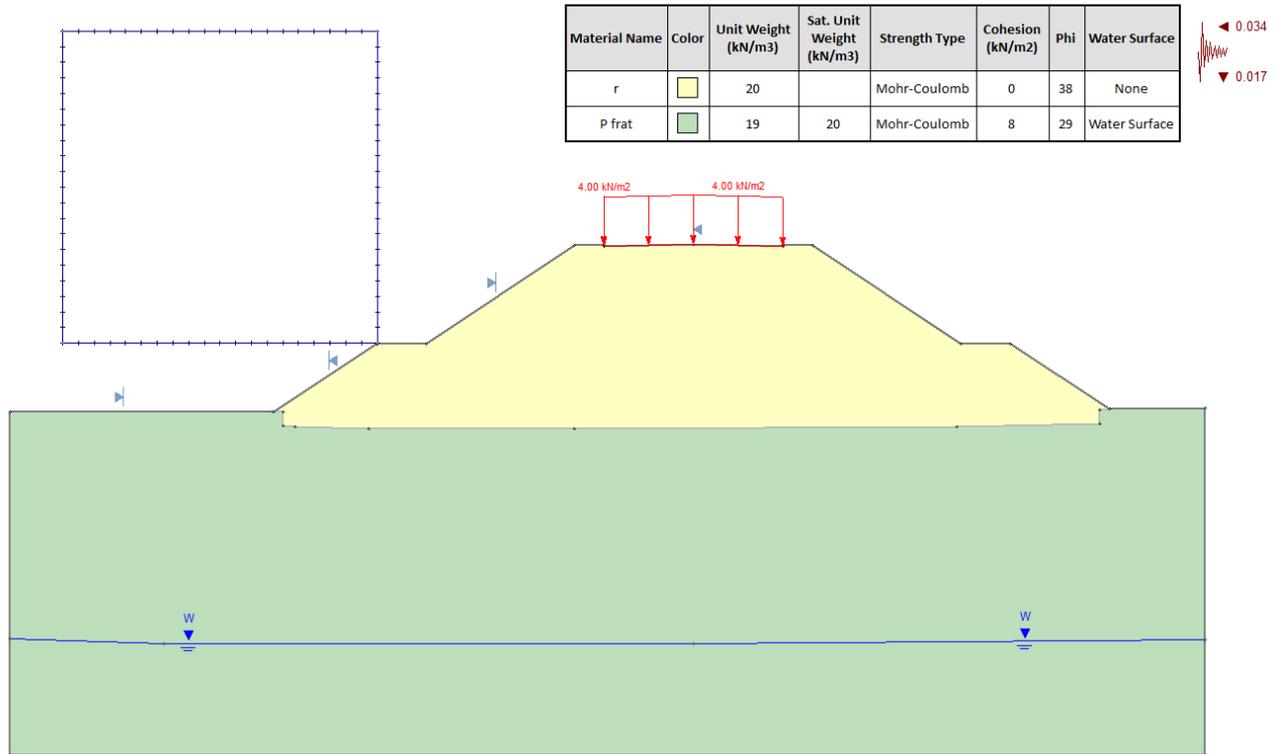


Figura 19 - Rilevato alla p.k. 0+212- Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): modello calcolo

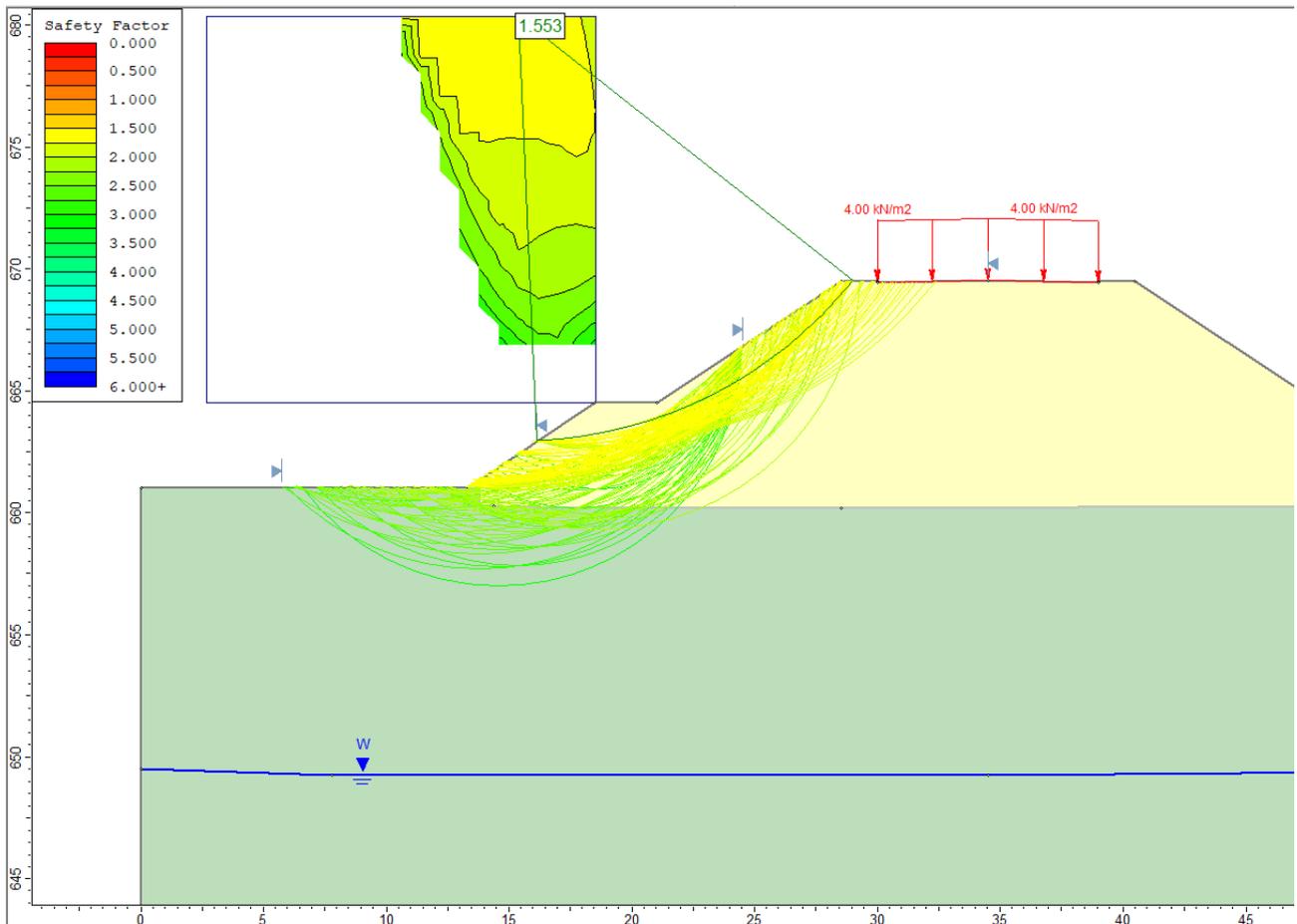


Figura 20 - Rilevato alla p.k. 0+212 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): risultati

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	32	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

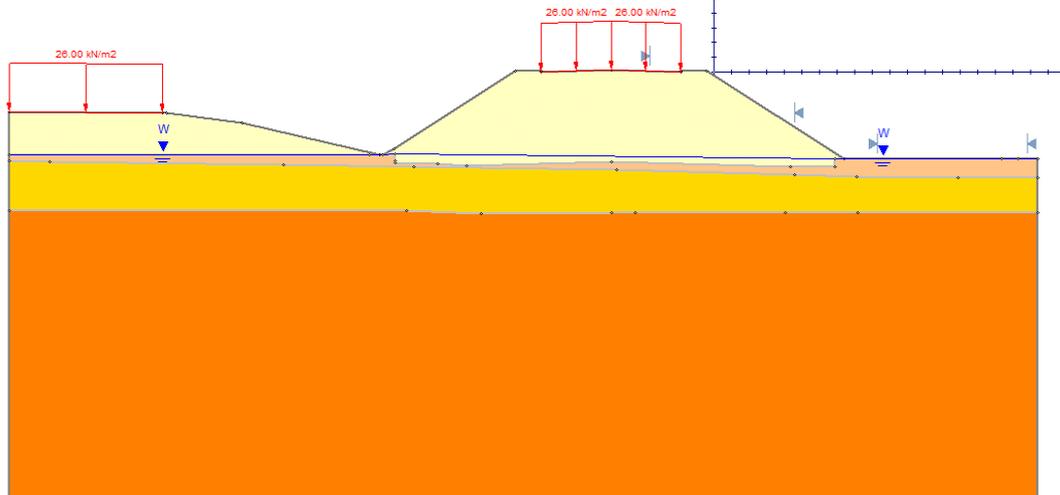


Figura 21 – Rilevato alla p.k. 2+340 - Modello di calcolo

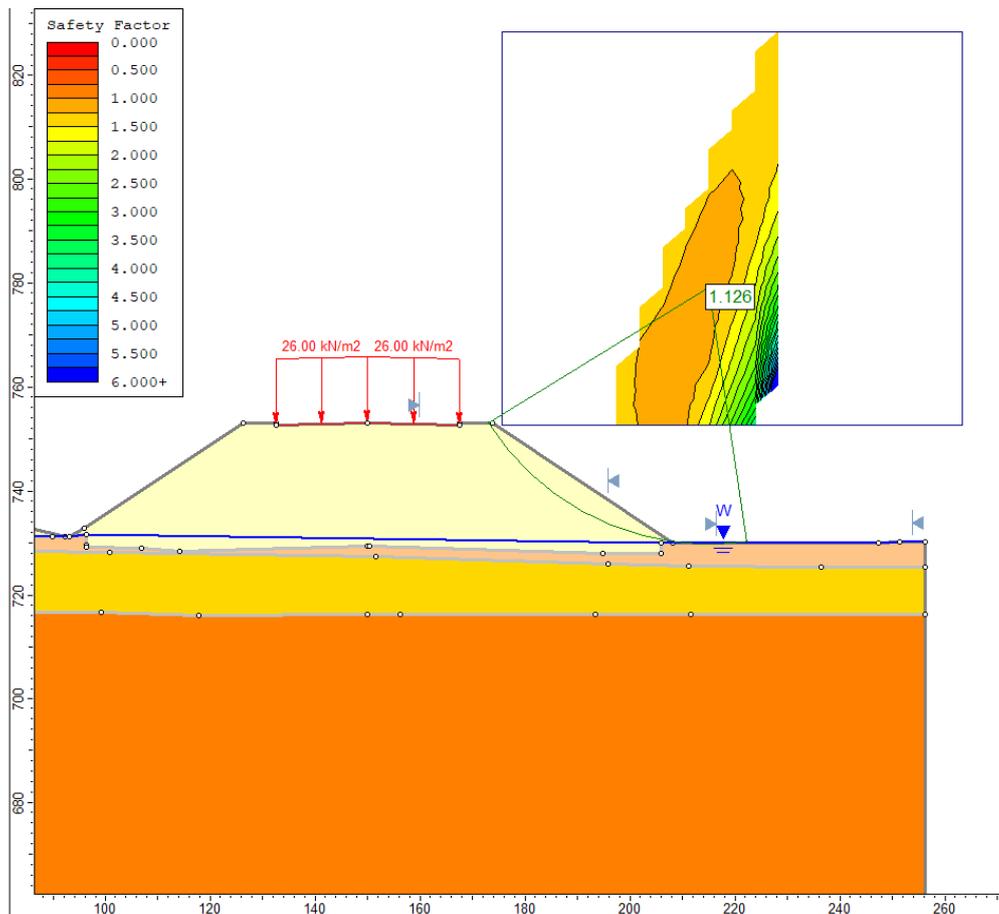


Figura 22 – Rilevato alla p.k. 2+340 - Verifiche in condizioni statiche: risultati

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	38	Water Surface
ec-BPL		19	20	Mohr-Coulomb	5	26.5	Water Surface
BPL frat		20	21	Mohr-Coulomb	0	34	Water Surface
BPL		22	23	Mohr-Coulomb	50	40	Water Surface

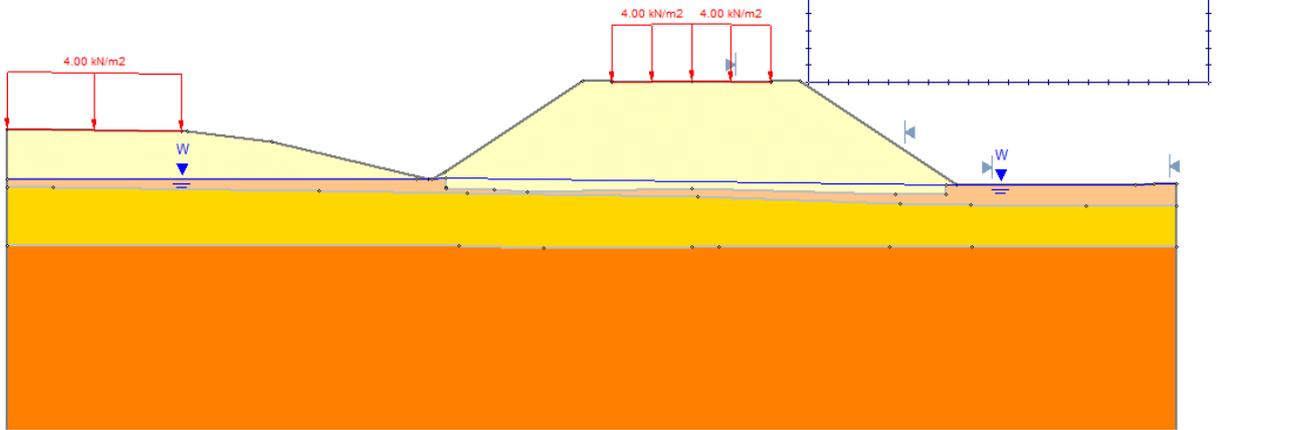


Figura 23 - Rilevato alla p.k. 2+340 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): modello calcolo

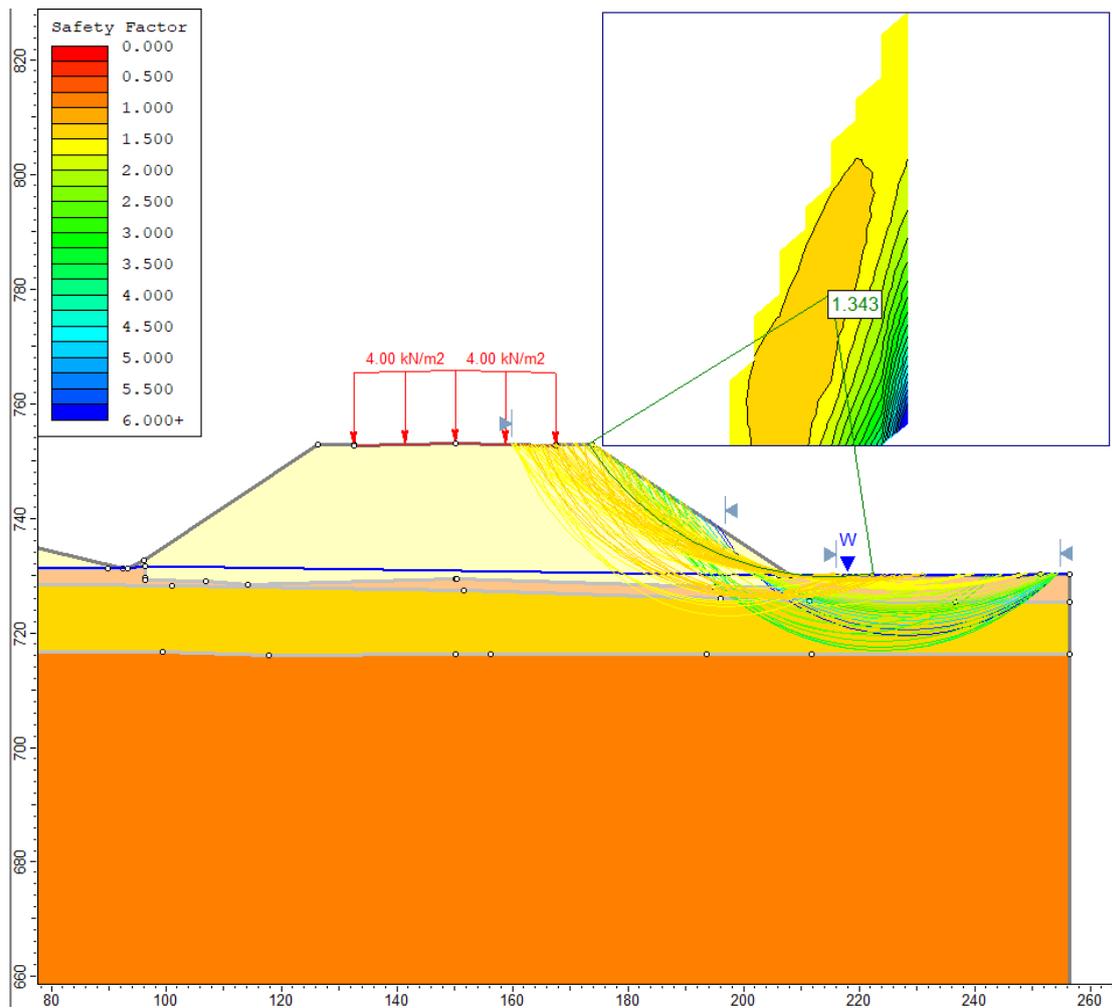


Figura 24 - Rilevato alla p.k. 2+340 - Verifiche in condizioni sismiche (sisma+): risultati

## 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;
- $\varphi' = 28^\circ$  - 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

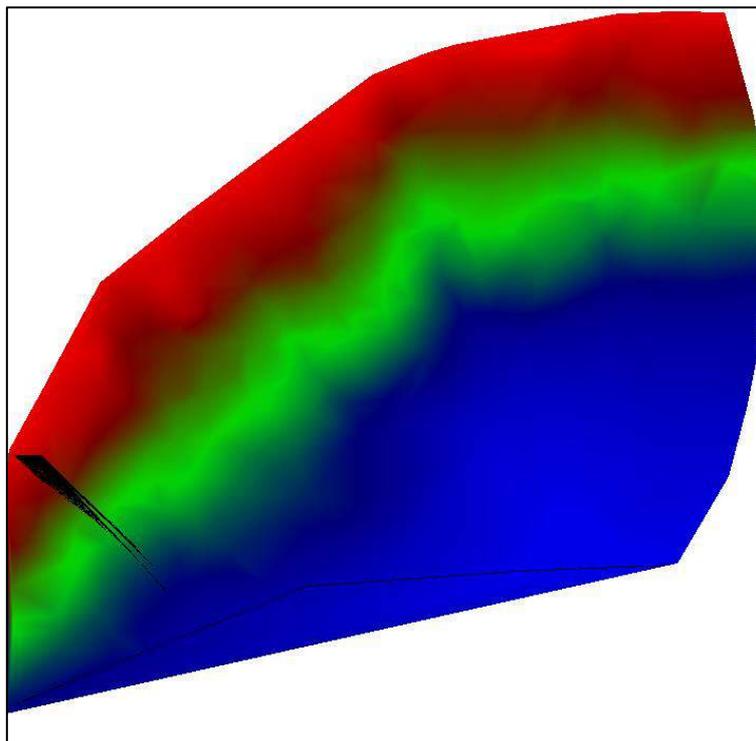


Figura B - Tratto1 di potenziale distacco ( $x=15\pm 70m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

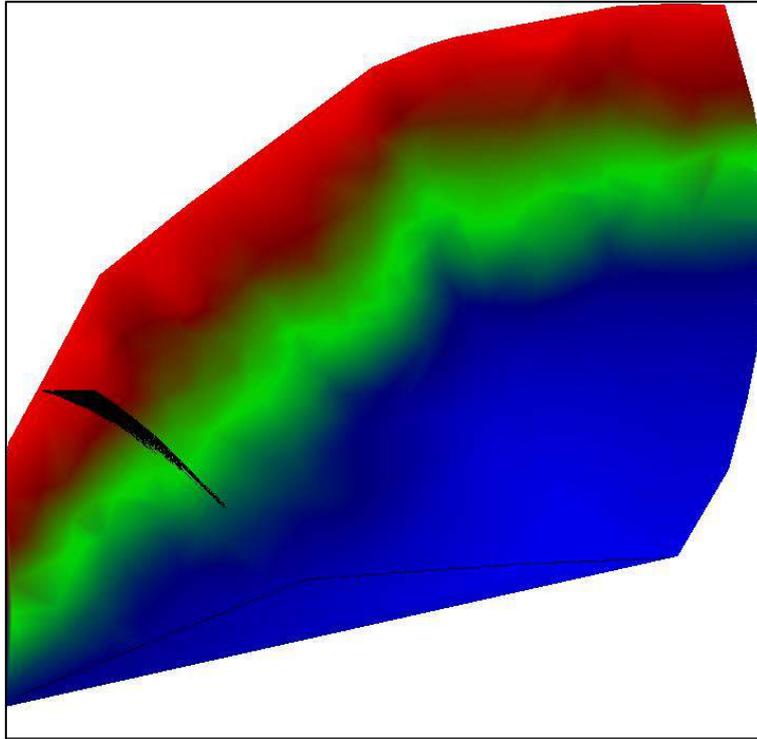


Figura C - Tratto2 di potenziale distacco ( $x=70\div 170m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

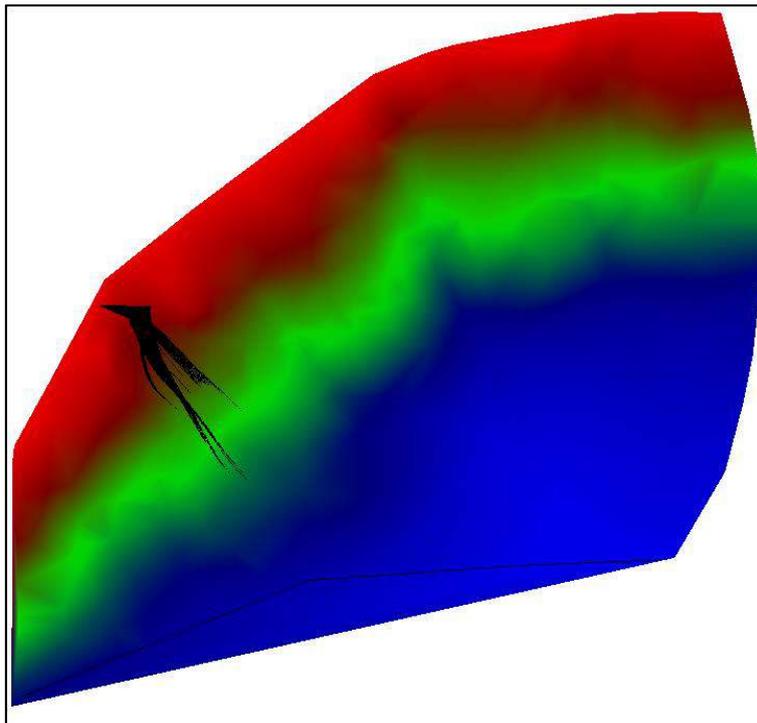


Figura D - Tratto3 di potenziale distacco ( $x=170\div 270m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s).

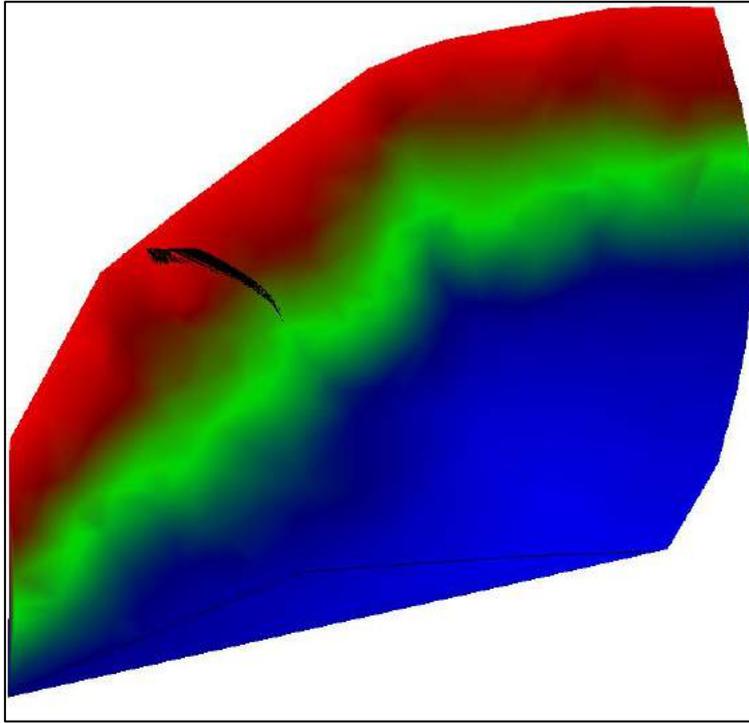


Figura E - Tratto4 di potenziale distacco ( $x=270\div370m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

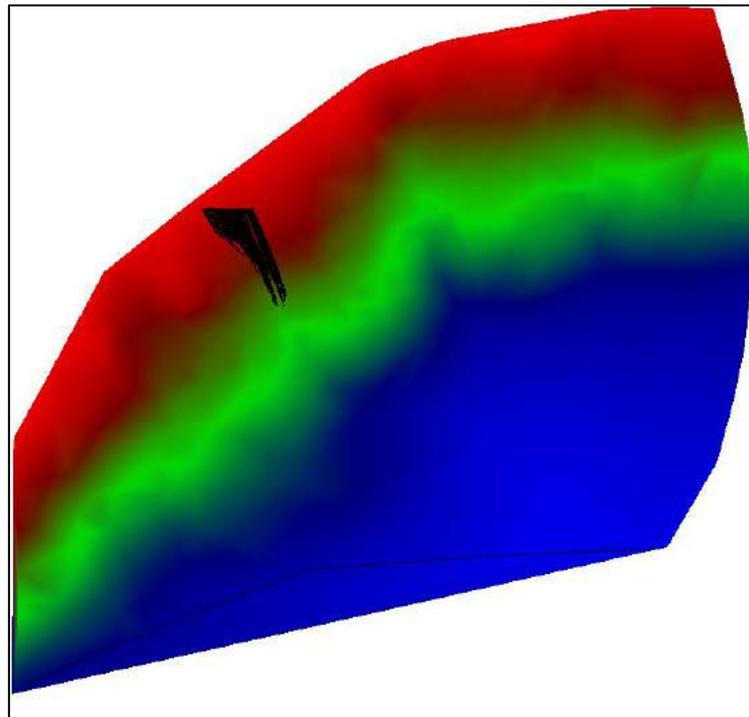


Figura F - Tratto5 di potenziale distacco ( $x=370\div470m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

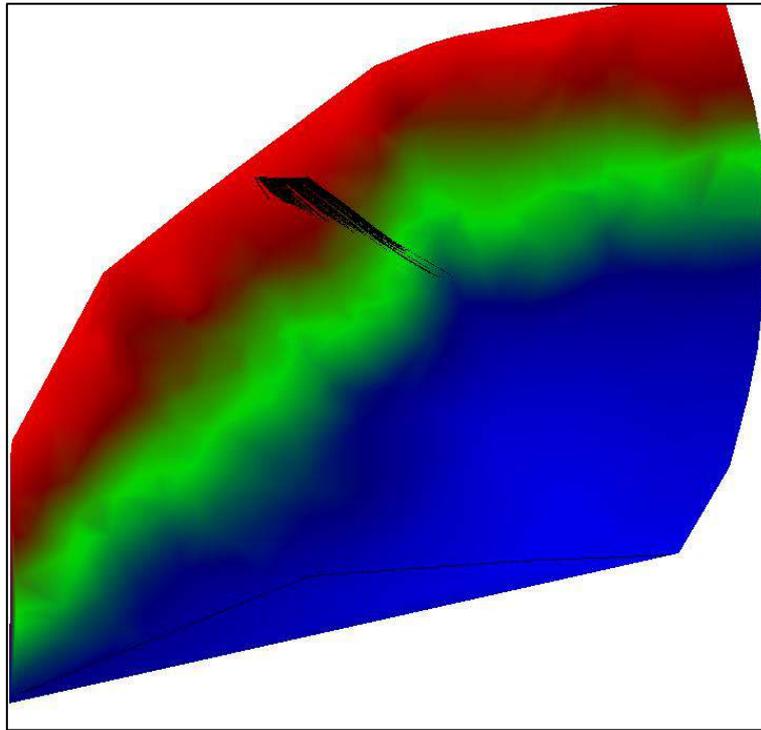


Figura G - Tratto6 di potenziale distacco ( $x=470\div570m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

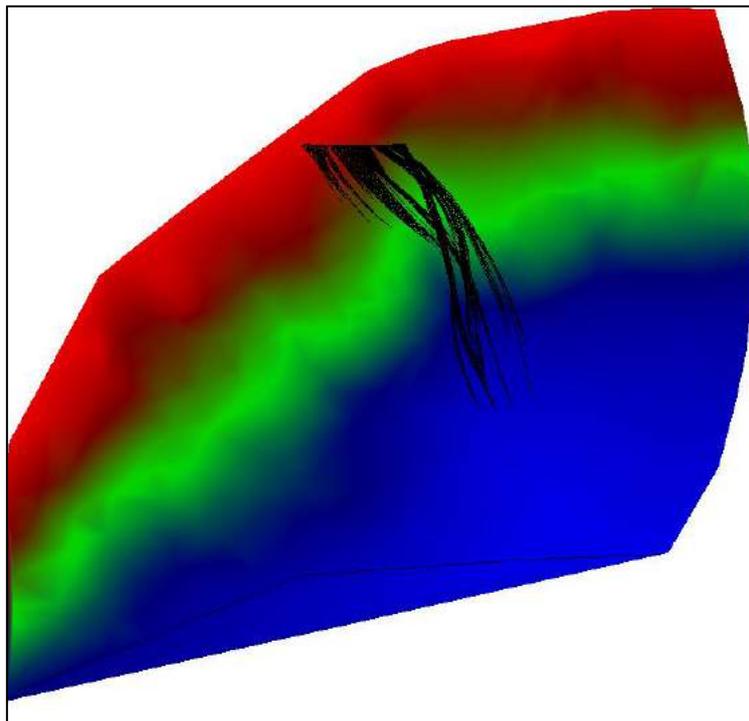


Figura H - Tratto7 di potenziale distacco ( $x=570\div770m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

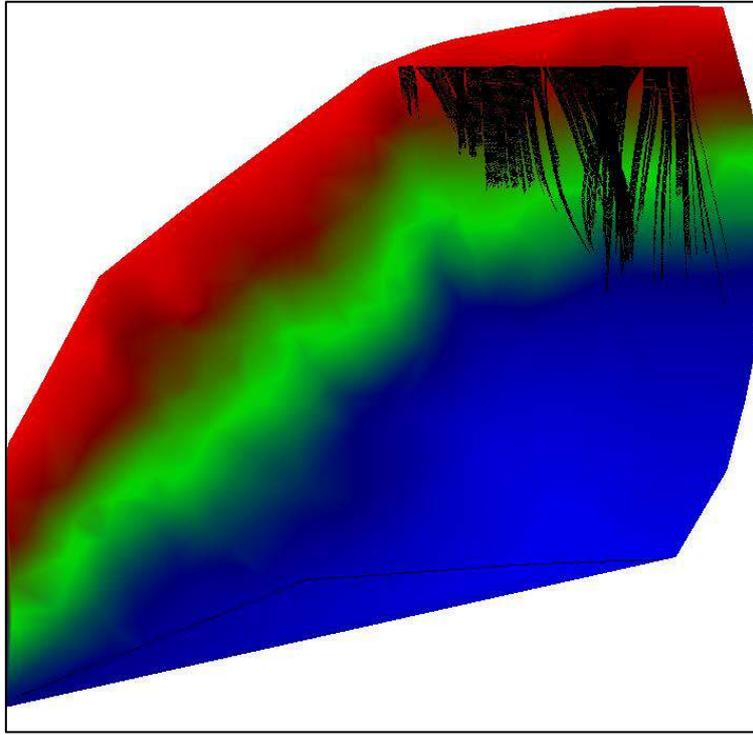


Figura I - Tratto8 di potenziale distacco ( $x=750\div 1300m$ ,  $z=730$  m.s.l.m.,  $V_y=0,1$  m/s)

## 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 "Nuove norme tecniche sulle costruzioni" del 17 gennaio 2018.

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

### 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 2018 le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) delle opere in oggetto sono effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione A1 + M1 + R3 (dove il segno '+' in ossequio alla normativa ha il significato di 'combinato con').

I fattori di sicurezza parziali sulle azioni (A1), sui parametri geotecnici (M1) e sulle resistenze (R3) sono riportati rispettivamente in Tabella 6, Tabella 7 e Tabella 8.

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 6: Coefficienti parziali  $\gamma_F$  e  $\gamma_E$  per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tabella 6.2.1 NTC 18).

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 7: Coefficienti parziali  $\gamma_M$  per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II NTC 18).

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

Tabella 8: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di muri di sostegno (Tabella 6.5.I NTC 18).

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

$$A2+M2+R2$$

Il coefficiente parziale sulla resistenza R2 è pari a 1.1 (come riportato nella Tabella 6.8.I delle NTC2018), mentre i coefficienti A2 e M2 sono quelli già citati in precedenza.

Le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di **azioni sismiche** devono essere eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto, con i coefficienti parziali  $\gamma_R$  indicati nel Capitolo 7 delle NTC 2018 e riportate in Tabella 9.

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 9: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi in condizioni sismiche di muri di sostegno (Tabella 7.11.III NTC 18).

Anche per le verifiche di stabilità del complesso muro terreno si pongono pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e si impiegano le resistenze di progetto 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 8) e  $\gamma_R = 1.0$  per le combinazioni sismiche (Tabella 9):

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

dove:  $\alpha_i$  = coefficiente di combinazione della forza  $N_i$ ;  
 $N_i$  = forza stabilizzante;  
 $b_{i-ORIZ(O)}$  = braccio della forza verticale rispetto al centro di rotazione;  
 $\beta_i$  = coefficiente di combinazione della forza  $V_i$ ;  
 $V_i$  = forza instabilizzante;  
 $b_{i-vert}$  = 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 8) e  $\gamma_R = 1.0$  per le combinazioni sismiche (Tabella 9):

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

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 8) e  $\gamma_R = 1.2$  per le combinazioni sismiche (Tabella 9):

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

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. 17/01/2018).

- Calcestruzzo compresso:

- Combinazione caratteristica o rara  $\sigma_c < 0.60 \cdot f_{ck}$
  - Combinazione quasi permanente  $\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$
- Acciaio teso:
    - Combinazione caratteristica o rara  $\sigma_s < 0.80 \cdot f_{yk}$

### 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 10 riassume le condizioni ambientali previste dalle NTC 2018 in funzione delle classi di esposizione.

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

Tabella 10: Descrizione delle condizioni ambientali (da Tabella 4.1.III NTC 18).

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 11.

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 11: Criteri di scelta dello stato limite di fessurazione (da Tabella 4.1.IV NTC 18).

## 9.4 Azioni sismiche

L'azione sismica di progetto, desunta dal D.M. del 17/01/2018, deriva dalla pericolosità sismica di base del sito; in particolare, viene definita a partire dall'accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale ( $a_g$ ).

Lo stato limite di esercizio indagato è lo Stato Limite di Danno (SLD), lo stato limite ultimo indagato è lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

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

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

I coefficienti sismici di progetto per le verifiche geotecniche e strutturali dei muri si deducono, in accordo con il D.M. del 17/01/2018, sulla base delle relazioni:

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

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 2018. Deve inoltre essere soddisfatta la verifica di stabilità del complesso muro-terreno con i criteri indicati al paragrafo 7.11.4 delle NTC 2018.

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

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

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 2018 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:

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

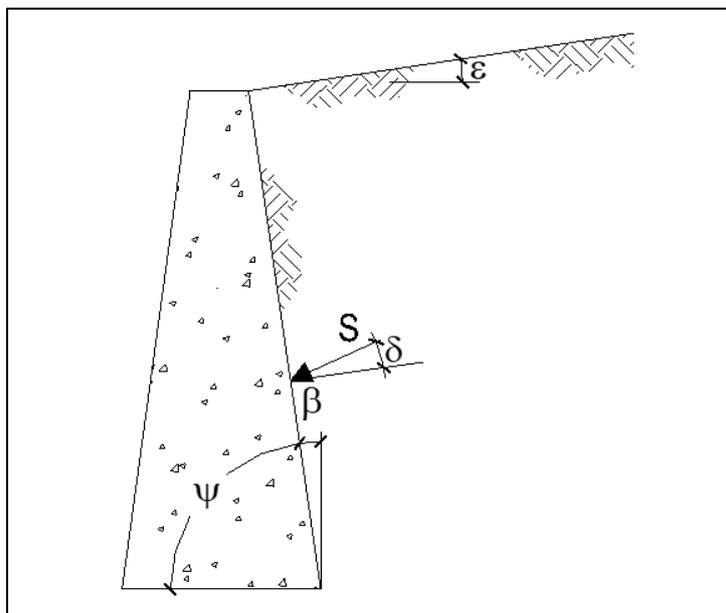


Figura 25: Rappresentazione grafica degli angoli presenti nell'espressione di Coulomb per il calcolo di  $k_a$

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:

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

$$c'_d = \frac{c'_k}{\gamma_{c'}} \quad \text{con } \gamma_{c'} \text{ da Tabella 7}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma} \quad \text{con } \gamma_\gamma \text{ da Tabella 7}$$

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:

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

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma} \quad \text{con } \gamma_\gamma \text{ da Tabella 7}$$

con:

- $\gamma_k$  valore caratteristico del peso del terreno da rilevato per unità di volume
- $k_{o,d}$  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:

$$\beta \leq \phi - \theta : K_{A,E} = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta)\text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta)\text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

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

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:

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

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

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

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

$$c'_d = \frac{c'_k}{\gamma_{c'}} \quad \text{con } \gamma_{c'} \text{ da Tabella 7}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma} \quad \text{con } \gamma_\gamma \text{ da Tabella 7}$$

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 paria 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 paria 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 2018, deve considerare i seguenti stati limite ultimi:

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

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 dell'Approccio 1 – A2+M2+R2, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati in Tabella 12 e Tabella 13.

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 12: 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 13: 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 12 e Tabella 13.

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 14.

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

Tabella 14: 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 15 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 15: 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 2018, 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.

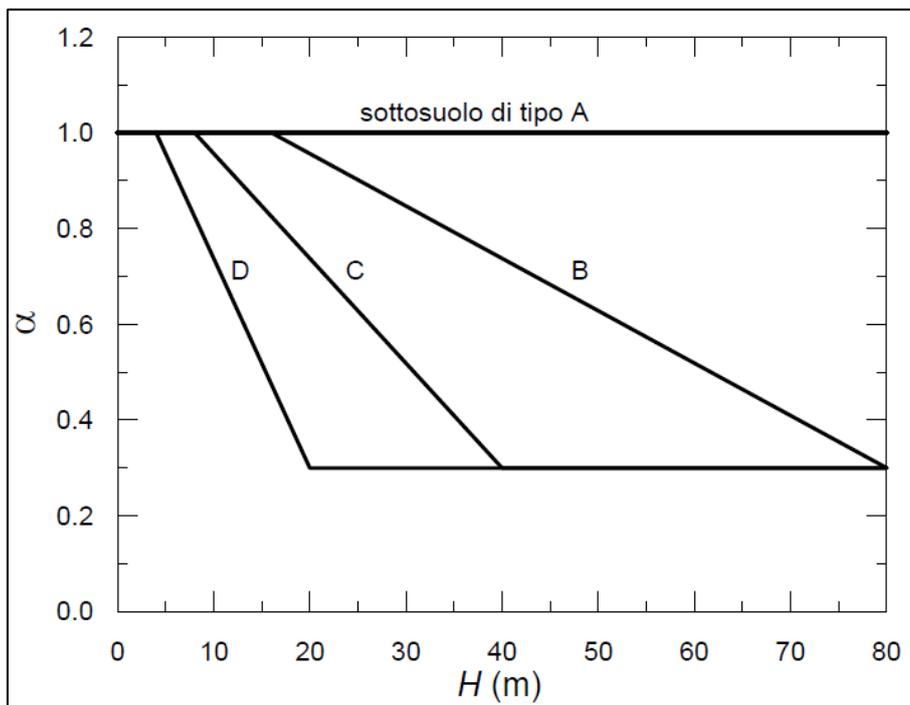


Figura 27: Diagramma per la valutazione del coefficiente di deformabilità  $\alpha$

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.

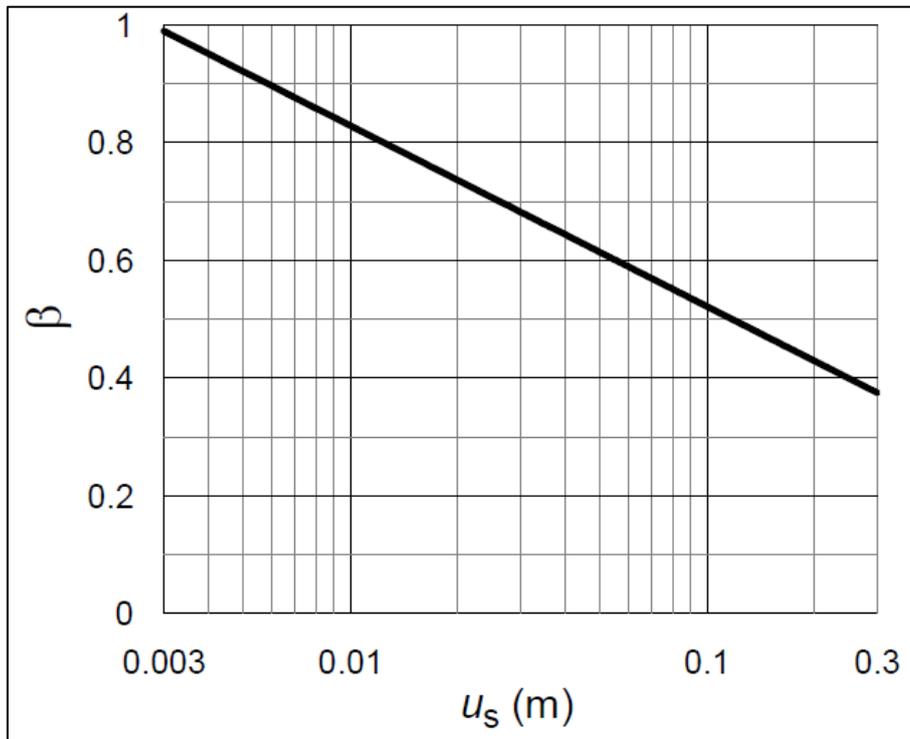


Figura 28: Diagramma per la valutazione del coefficiente di spostamento  $\beta$

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 16 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 16: 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 17).

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

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

In Tabella 17 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 17 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.

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

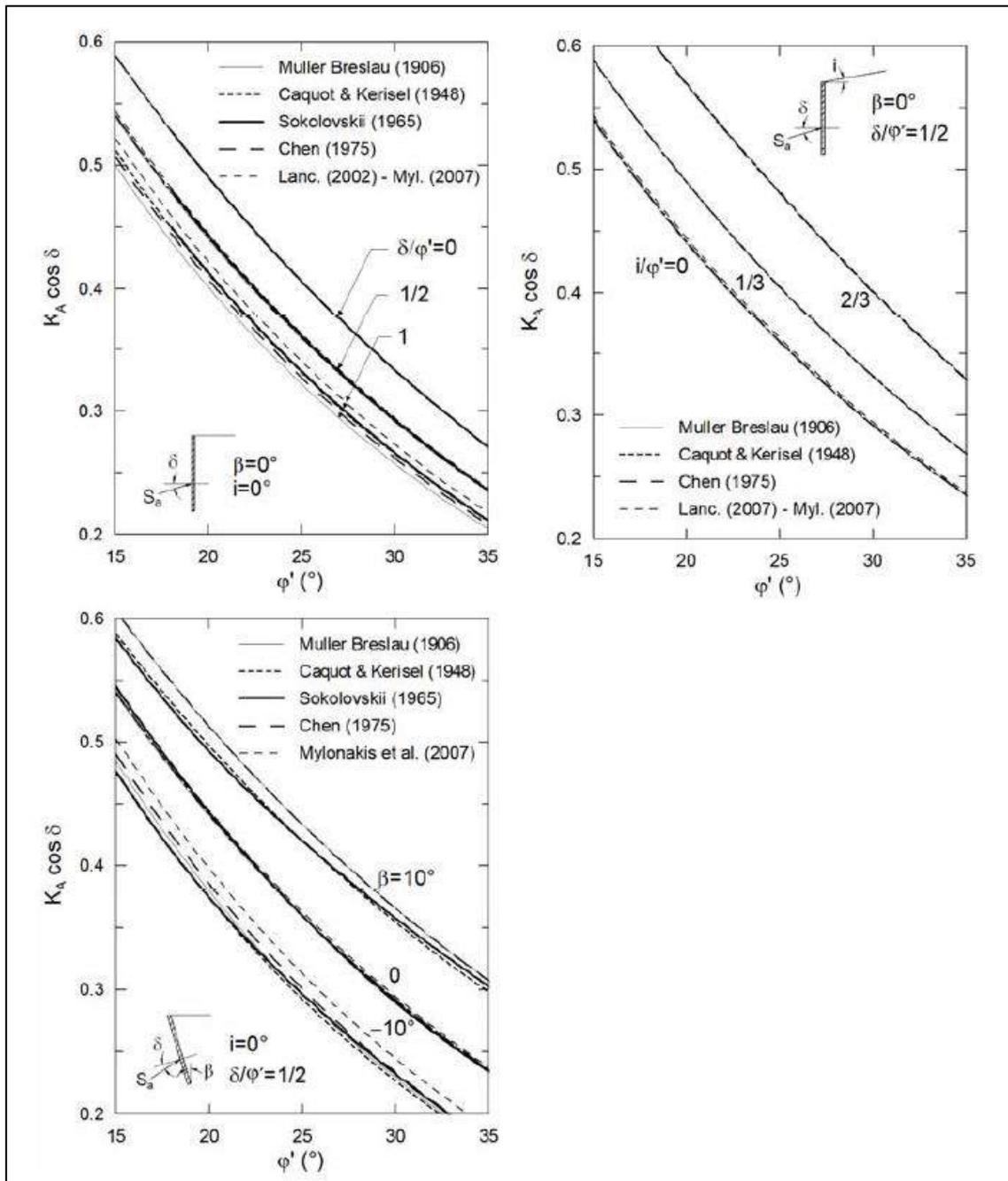


Figura 29: Confronto tra i valori di  $K_a \cdot \cos \delta$  ottenuti in condizioni statiche da alcune soluzioni di letteratura [2]

### 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 17. 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).

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

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

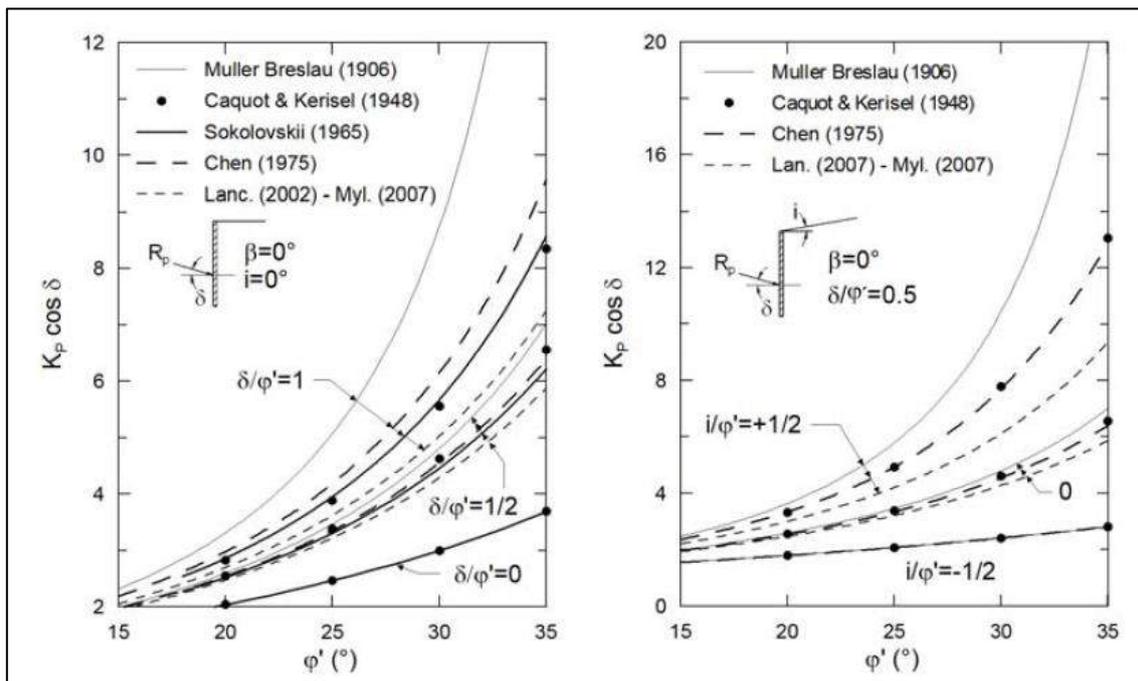


Figura 30: Confronto tra i valori di  $K_p \cdot \cos \delta$  ottenuti in condizioni statiche da alcune soluzioni di letteratura [2]

#### 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 18).

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

Tabella 18: 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.

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

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

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

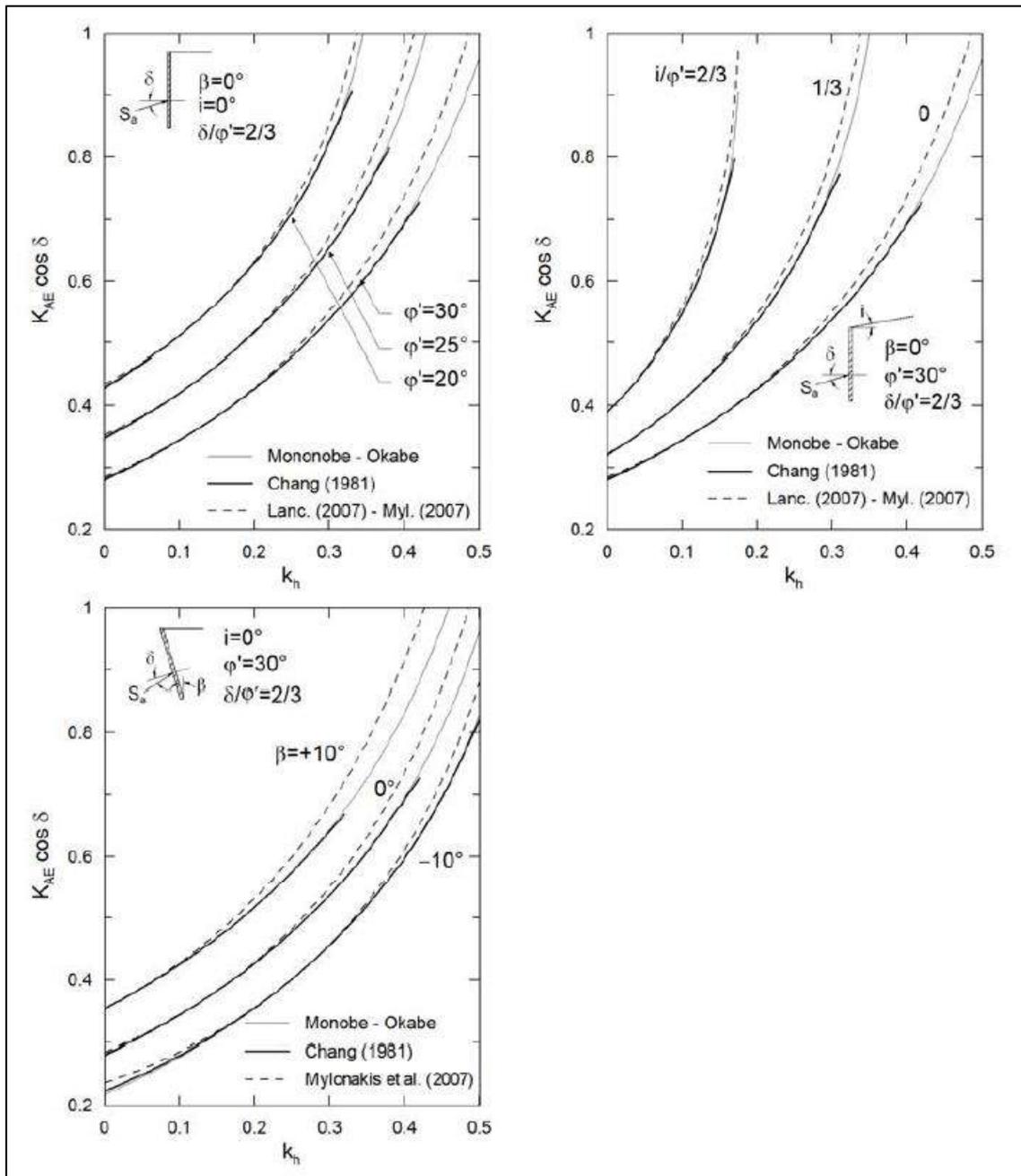


Figura 31: Confronto tra i valori di  $K_{a,sism} \cdot \cos \delta$  ottenuti con  $k_v = 0$  [2]

### 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 18. 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).

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

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

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

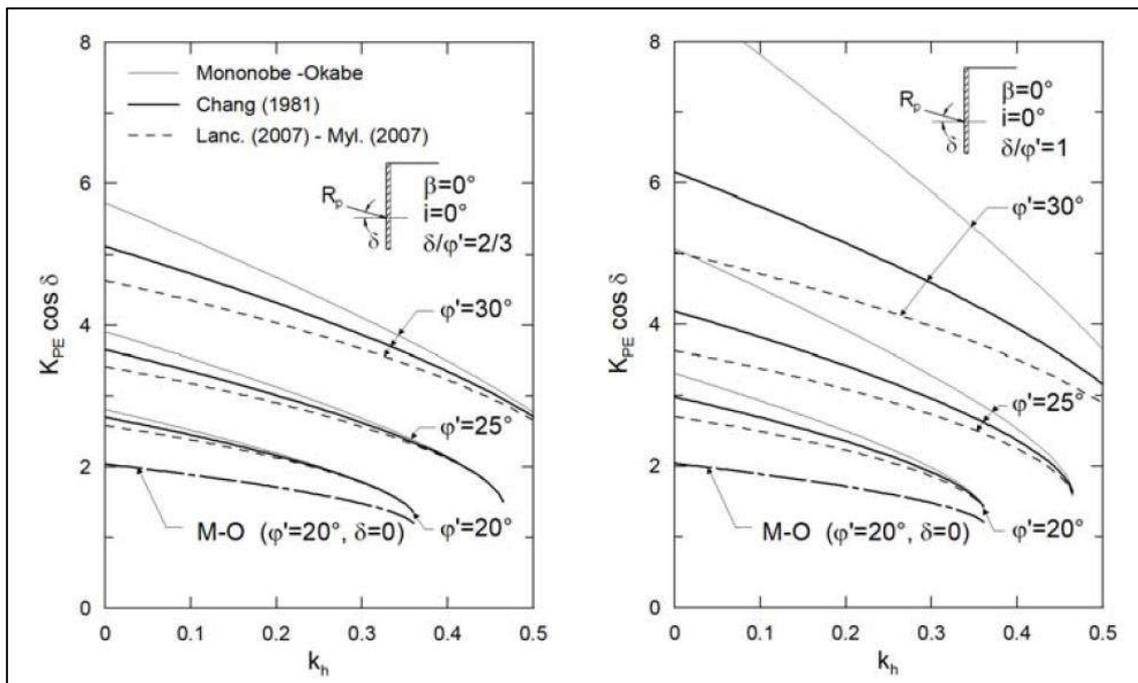


Figura 32: Confronto tra i valori di  $K_{p,sism} \cdot \cos \delta$  ottenuti con  $k_v = 0$  [2]

## 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 19 e Tabella 20 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 19 e Tabella 20, Tabella 26 e Tabella 27.

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 19: 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 20: 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 26.

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 21: 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  $R_{tr,d}$  della resistenza trasversale si ottiene a partire dal valore caratteristico  $R_k$  applicando il coefficiente parziale  $\gamma_R$  riportato in Tabella 27.

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

Tabella 22: 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 2018, 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 23 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 23: 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 21 (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:

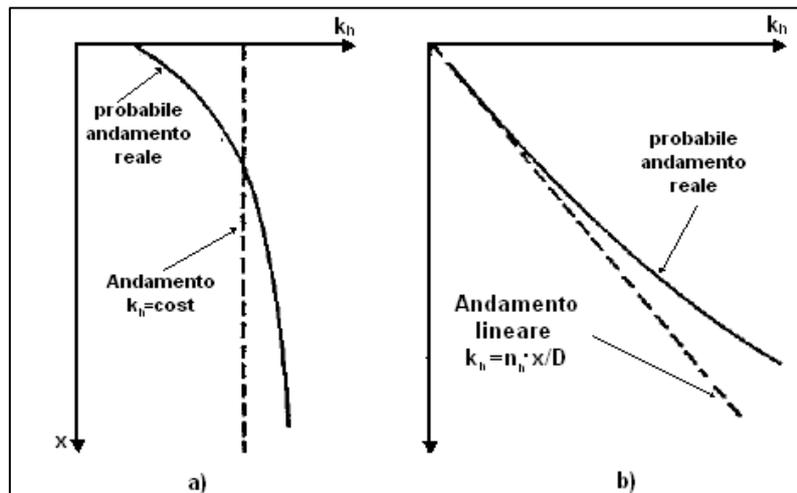


Figura 33: Andamenti del coefficiente di reazione orizzontale del terreno  $k_h$  ( $\text{kN/m}^3$ )  
a) argille sovraconsolidate, b) argille normalmente consolidate (Rossi & Salvi, 1996)

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.

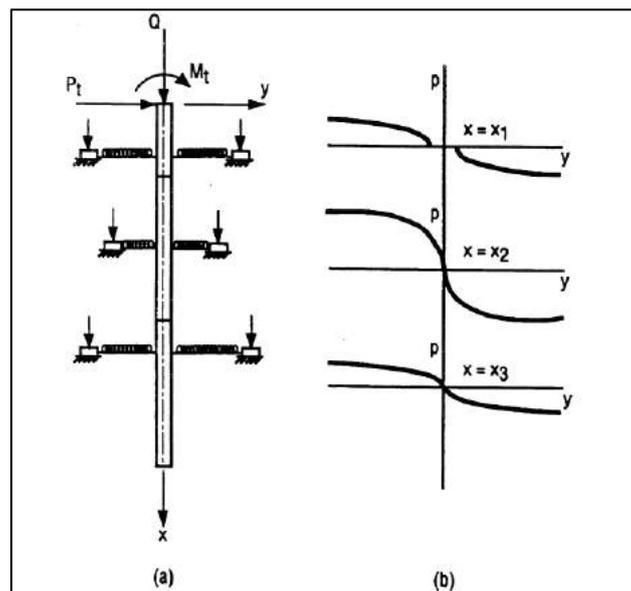


Figura 34: Modellazione di un palo caricato lateralmente usando le curve  $p$ - $y$

### 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 24.

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

Tabella 24: 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.

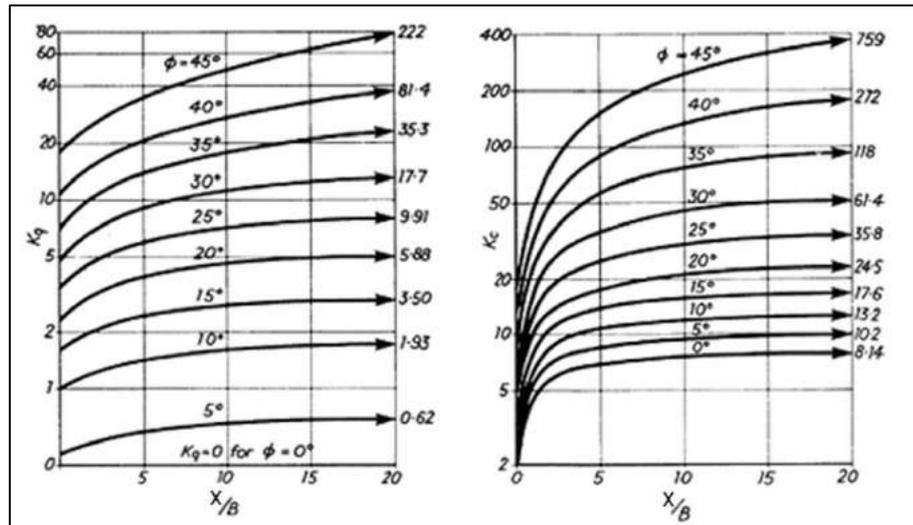


Figura 35: Coefficienti del metodo di Brinch Hansen (Tomlinson, 2004)

- 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 rigidezza 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).

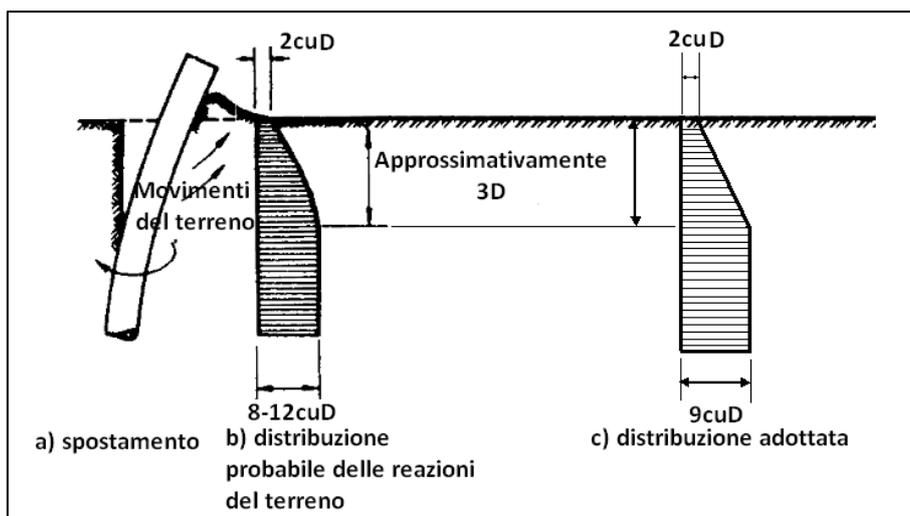


Figura 36: Distribuzione della resistenza laterale lungo il palo da (Poulos & Davis, 2002 [1])

- 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 17 gennaio 2018.

### 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 2018 le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU) delle opere in oggetto sono effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione A1+M1+R3 (dove il segno '+' in ossequio alla normativa ha il significato di 'combinato con').

I fattori di sicurezza parziali sulle azioni (A1), sui parametri geotecnici (M1) e sulle resistenze (R3) sono riportati nelle Tabella 25, Tabella 26, Tabella 27 e Tabella 28.

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 25: Coefficienti parziali  $\gamma_F$  e  $\gamma_E$  per le azioni o per l'effetto delle azioni (Tabella 6.2.1 NTC 18).

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 26: Coefficienti parziali  $\gamma_M$  per i parametri geotecnici del terreno (Tabella 6.2.II NTC 18).

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 27: Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche a carico verticale dei pali (Tabella 6.4.II NTC 18).

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

Tabella 28: Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali (Tabella 6.4.VI NTC 18).

## 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 29 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 29: Fattore di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate (Tabella 6.4.IV NTC 18).

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]	32	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: 1.316780
- 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=1030.86 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: 1.31678

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	32	8.78917	11.5734	18.5213	0	18.5213
2	0.306769	3.46543	r	0	32	10.0615	13.2488	21.2025	0	21.2025
3	0.306769	5.82662	r	0	32	6.04037	7.95384	12.7288	0	12.7288
4	0.306769	7.72417	r	0	32	8.26934	10.8889	17.426	0	17.426
5	0.306769	9.32847	r	0	32	10.2792	13.5355	21.6613	0	21.6613
6	0.306769	10.7787	r	0	32	12.1934	16.056	25.6949	0	25.6949
7	0.306769	12.0914	r	0	32	14.0138	18.4531	29.5311	0	29.5311
8	0.306769	12.7435	r	0	32	15.107	19.8926	31.8349	0	31.8349
9	0.306769	12.6478	r	0	32	15.3158	20.1675	32.2749	0	32.2749
10	0.306769	12.4458	r	0	32	15.3782	20.2497	32.4064	0	32.4064
11	0.306769	12.1454	r	0	32	15.2992	20.1457	32.2399	0	32.2399
12	0.306769	11.7527	r	0	32	15.0816	19.8592	31.7814	0	31.7814
13	0.306769	11.2725	r	0	32	14.7274	19.3927	31.0349	0	31.0349
14	0.306769	10.7088	r	0	32	14.2375	18.7476	30.0024	0	30.0024
15	0.306769	10.0652	r	0	32	13.6123	17.9244	28.6851	0	28.6851
16	0.306769	9.34446	r	0	32	12.8517	16.9228	27.0821	0	27.0821
17	0.306769	8.54909	r	0	32	11.9543	15.7412	25.1912	0	25.1912
18	0.306769	7.68105	r	0	32	10.9186	14.3774	23.0087	0	23.0087

19	0.30676 9	6.74198	r	0	32	9.74195	12.828	20.5291	0	20.5291
20	0.30676 9	5.73315	r	0	32	8.42107	11.0887	17.7456	0	17.7456
21	0.30676 9	4.65556	r	0	32	6.95169	9.15385	14.6492	0	14.6492
22	0.30676 9	3.48896	r	0	32	5.29688	6.97482	11.162	0	11.162
23	0.30676 9	1.82088	r	0	32	2.74079	3.60902	5.92438	0.14874 6	5.77563
24	0.30676 9	0.286153	r	0	32	0.328268	0.432257	0.94317 8	0.25142 3	0.69175 5
25	0.30676 9	0.063698 1	r	0	32	0.051864 9	0.068294 6	0.21114 3	0.10184 8	0.10929 5

## Interslice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.31678

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	4.69732	0	0
3	39.2428	286.734	9.14854	0	0
4	39.5496	286.415	11.3621	0	0
5	39.8563	286.127	13.8587	0	0
6	40.1631	285.865	16.3852	0	0
7	40.4699	285.627	18.7758	0	0
8	40.7766	285.41	20.8966	0	0
9	41.0834	285.212	22.5676	0	0
10	41.3902	285.032	23.6874	0	0
11	41.6969	284.869	24.2759	0	0
12	42.0037	284.721	24.3617	0	0
13	42.3105	284.588	23.9814	0	0
14	42.6172	284.469	23.1787	0	0
15	42.924	284.363	22.0038	0	0
16	43.2308	284.269	20.5141	0	0
17	43.5376	284.188	18.7732	0	0
18	43.8443	284.12	16.8518	0	0
19	44.1511	284.062	14.8277	0	0
20	44.4579	284.017	12.7865	0	0
21	44.7646	283.982	10.822	0	0
22	45.0714	283.959	9.037	0	0
23	45.3782	283.947	7.55361	0	0
24	45.6849	283.945	6.7227	0	0

25	45.9917	283.955	6.61311	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  $m\alpha < 0.2$ : 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: 2

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.096
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.048
- 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	5	0	50
Friction Angle [deg]	38	26.5	34	40
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.431090
- 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=1229.03 kN-m
- Driving Moment=858.805 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: 1.43109

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	38	2.58751	3.70296	4.73957	0	4.73957
2	0.306769	3.46543	r	0	38	5.07022	7.25594	9.28719	0	9.28719
3	0.306769	5.82662	r	0	38	6.93414	9.92338	12.7014	0	12.7014
4	0.306769	7.72417	r	0	38	9.52323	13.6286	17.4438	0	17.4438
5	0.306769	9.32847	r	0	38	11.8728	16.9911	21.7476	0	21.7476
6	0.306769	10.7787	r	0	38	14.1229	20.2111	25.8691	0	25.8691
7	0.306769	12.0914	r	0	38	16.2741	23.2897	29.8095	0	29.8095
8	0.306769	12.7435	r	0	38	17.5879	25.1698	32.2158	0	32.2158
9	0.306769	12.6478	r	0	38	17.8742	25.5796	32.7403	0	32.7403
10	0.306769	12.4458	r	0	38	17.9894	25.7444	32.9514	0	32.9514
11	0.306769	12.1454	r	0	38	17.9382	25.6712	32.8577	0	32.8577
12	0.306769	11.7527	r	0	38	17.7231	25.3634	32.4637	0	32.4637
13	0.306769	11.2725	r	0	38	17.3455	24.823	31.772	0	31.772
14	0.306769	10.7088	r	0	38	16.8057	24.0505	30.7832	0	30.7832
15	0.306769	10.0652	r	0	38	16.1034	23.0454	29.4968	0	29.4968
16	0.306769	9.34446	r	0	38	15.2373	21.8059	27.9102	0	27.9102
17	0.306769	8.54909	r	0	38	14.205	20.3287	26.0195	0	26.0195
18	0.306769	7.68105	r	0	38	13.0036	18.6093	23.8188	0	23.8188
19	0.306769	6.74198	r	0	38	11.6288	16.6419	21.3007	0	21.3007
20	0.306769	5.73315	r	0	38	10.0755	14.419	18.4555	0	18.4555

Progetto Esecutivo

21	0.30676 9	4.65556	r	0	38	8.33735	11.9315	15.2716	0	15.2716
22	0.30676 9	3.48896	r	0	38	6.36825	9.11354	11.6648	0	11.6648
23	0.30676 9	1.82088	r	0	38	3.30739	4.73317	6.20693	0.14874 6	6.05819
24	0.30676 9	0.286153	r	0	38	0.40340 9	0.577314	0.99035 2	0.25142 3	0.73892 9
25	0.30676 9	0.063698 1	r	0	38	0.06562	0.093908 1	0.22204 5	0.10184 8	0.12019 7

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.43109

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	1.21237	0	0
3	39.2428	286.734	3.28934	0	0
4	39.5496	286.415	5.77649	0	0
5	39.8563	286.127	8.63133	0	0
6	40.1631	285.865	11.5823	0	0
7	40.4699	285.627	14.4515	0	0
8	40.7766	285.41	17.0937	0	0
9	41.0834	285.212	19.2954	0	0
10	41.3902	285.032	20.9212	0	0
11	41.6969	284.869	21.9854	0	0
12	42.0037	284.721	22.512	0	0
13	42.3105	284.588	22.5337	0	0
14	42.6172	284.469	22.0911	0	0
15	42.924	284.363	21.2328	0	0
16	43.2308	284.269	20.0146	0	0
17	43.5376	284.188	18.5001	0	0
18	43.8443	284.12	16.7607	0	0
19	44.1511	284.062	14.8758	0	0
20	44.4579	284.017	12.9339	0	0
21	44.7646	283.982	11.0328	0	0
22	45.0714	283.959	9.28115	0	0
23	45.3782	283.947	7.80784	0	0
24	45.6849	283.945	6.97705	0	0
25	45.9917	283.955	6.87128	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  $m_{\alpha} < 0.2$ : 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: 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/m3]		19	20	22
Saturated Unit Weight [kN/m3]		20	21	23
Cohesion [kPa]	0	4	0	40
Friction Angle [deg]	32	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: 1.253710
- 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=1483.89 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: 1.25371

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	32	9.42786	11.8198	18.9156	0	18.9156
2	0.318953	3.2623	r	0	32	11.9225	14.9474	23.9209	0	23.9209
3	0.318953	5.34274	r	0	32	11.6347	14.5865	23.3435	0	23.3435
4	0.318953	7.50621	r	0	32	8.14893	10.2164	16.3496	0	16.3496
5	0.318953	9.14849	r	0	32	10.1588	12.7362	20.3822	0	20.3822
6	0.318953	10.6639	r	0	32	12.094	15.1624	24.2649	0	24.2649
7	0.318953	12.0639	r	0	32	13.9559	17.4966	28.0002	0	28.0002
8	0.318953	13.1159	r	0	32	15.4604	19.3828	31.0192	0	31.0192
9	0.318953	13.1363	r	0	32	15.7639	19.7633	31.6279	0	31.6279
10	0.318953	12.9708	r	0	32	15.834	19.8512	31.7687	0	31.7687
11	0.318953	12.7173	r	0	32	15.7823	19.7864	31.6649	0	31.6649
12	0.318953	12.3804	r	0	32	15.6107	19.5713	31.3206	0	31.3206
13	0.318953	11.964	r	0	32	15.3204	19.2073	30.738	0	30.738
14	0.318953	11.4714	r	0	32	14.9123	18.6957	29.9193	0	29.9193
15	0.318953	10.9058	r	0	32	14.3869	18.037	28.8653	0	28.8653
16	0.318953	10.2695	r	0	32	13.7443	17.2314	27.576	0	27.576
17	0.318953	9.56492	r	0	32	12.9843	16.2785	26.0511	0	26.0511
18	0.318953	8.79395	r	0	32	12.1061	15.1775	24.2891	0	24.2891
19	0.318953	7.95828	r	0	32	11.1085	13.9269	22.2877	0	22.2877
20	0.318953	7.05936	r	0	32	9.99035	12.525	20.0442	0	20.0442
21	0.318953	6.09842	r	0	32	8.74947	10.9693	17.5545	0	17.5545
22	0.318953	5.07652	r	0	32	7.38356	9.25684	14.814	0	14.814
23	0.318953	3.99453	r	0	32	5.88986	7.38418	11.8171	0	11.8171
24	0.318953	2.7576	r	0	32	4.12222	5.16807	8.27064	0	8.27064
25	0.318953	0.953854	r	0	32	1.4457	1.81249	2.90059	0	2.90059

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.25371

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	3.79476	0	0
3	39.0332	284.506	7.89813	0	0
4	39.3521	284.202	11.3054	0	0
5	39.6711	283.92	13.3187	0	0
6	39.99	283.659	15.408	0	0
7	40.309	283.417	17.4384	0	0
8	40.6279	283.192	19.2954	0	0
9	40.9469	282.983	20.8529	0	0
10	41.2658	282.789	21.9644	0	0
11	41.5848	282.609	22.6306	0	0
12	41.9038	282.443	22.8701	0	0
13	42.2227	282.29	22.7077	0	0
14	42.5417	282.148	22.1739	0	0
15	42.8606	282.019	21.3049	0	0
16	43.1796	281.9	20.1417	0	0
17	43.4985	281.793	18.7305	0	0
18	43.8175	281.696	17.1226	0	0
19	44.1364	281.609	15.3741	0	0
20	44.4554	281.533	13.5463	0	0
21	44.7743	281.466	11.7059	0	0
22	45.0933	281.409	9.92497	0	0
23	45.4122	281.361	8.28162	0	0
24	45.7312	281.323	6.8601	0	0
25	46.0501	281.294	5.78858	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): 0.096
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.048
- 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	5	0	50
Friction Angle [deg]	38	26.5	34	40
Water Surface	Water Table	Water Table	Water Table	Water Table
Hu Value	1	1	1	1

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.349740
- 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=1271.28 kN-m
- Driving Moment=941.867 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: 1.34974

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	38	2.5377	3.42523	4.38409	0	4.38409
2	0.31514	4.56836	r	0	38	5.0439	6.80795	8.71377	0	8.71377
3	0.31514	6.89357	r	0	38	7.99347	10.7891	13.8095	0	13.8095
4	0.31514	8.95469	r	0	38	10.8312	14.6193	18.7119	0	18.7119
5	0.31514	10.7979	r	0	38	13.5568	18.2981	23.4205	0	23.4205
6	0.31514	12.3267	r	0	38	16.0043	21.6016	27.6488	0	27.6488
7	0.31514	12.7673	r	0	38	17.0927	23.0707	29.5291	0	29.5291
8	0.31514	12.8777	r	0	38	17.7375	23.941	30.643	0	30.643
9	0.31514	12.8559	r	0	38	18.1851	24.5451	31.4164	0	31.4164
10	0.31514	12.7131	r	0	38	18.441	24.8906	31.8585	0	31.8585
11	0.31514	12.4581	r	0	38	18.5098	24.9834	31.9772	0	31.9772
12	0.31514	12.0986	r	0	38	18.3942	24.8274	31.7776	0	31.7776
13	0.31514	11.6405	r	0	38	18.0961	24.425	31.2626	0	31.2626
14	0.31514	11.0891	r	0	38	17.616	23.777	30.4332	0	30.4332
15	0.31514	10.4485	r	0	38	16.9536	22.8829	29.2887	0	29.2887
16	0.31514	9.72228	r	0	38	16.1072	21.7405	27.8265	0	27.8265
17	0.31514	8.91347	r	0	38	15.0742	20.3463	26.042	0	26.042

18	0.3151 4	8.02446	r	0	38	13.851	18.6952	23.9287	0	23.9287
19	0.3151 4	7.05725	r	0	38	12.4324	16.7805	21.4781	0	21.4781
20	0.3151 4	6.0134	r	0	38	10.758	14.5205	18.6858	0.100376	18.5854
21	0.3151 4	4.89414	r	0	38	8.81355	11.896	15.5328	0.306568	15.2262
22	0.3151 4	3.6904	r	0	38	6.69228	9.03284	11.9582	0.396727	11.5615
23	0.3151 4	1.98685	r	0	38	3.58899	4.84421	6.57199	0.371703	6.20029
24	0.3151 4	0.324978	r	0	38	0.493481	0.666071	1.09417	0.241634	0.85253 1
25	0.3151 4	0.064074 5	r	0	38	0.068155 1	0.091991 7	0.21747 3	0.099728 7	0.11774 4

## Interslice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.34974

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	1.37303	0	0
3	39.6326	284.311	3.75418	0	0
4	39.9478	283.952	6.86695	0	0
5	40.2629	283.629	10.3479	0	0
6	40.578	283.339	13.9223	0	0
7	40.8932	283.076	17.3392	0	0
8	41.2083	282.837	20.2294	0	0
9	41.5235	282.621	22.5202	0	0
10	41.8386	282.424	24.2072	0	0
11	42.1537	282.246	25.3	0	0
12	42.4689	282.085	25.82	0	0
13	42.784	281.94	25.799	0	0
14	43.0992	281.81	25.2784	0	0
15	43.4143	281.694	24.3085	0	0
16	43.7294	281.593	22.9485	0	0
17	44.0446	281.505	21.2659	0	0
18	44.3597	281.429	19.3376	0	0
19	44.6749	281.366	17.2496	0	0
20	44.99	281.316	15.098	0	0
21	45.3051	281.278	13.0072	0	0
22	45.6203	281.251	11.1152	0	0

23	45.9354	281.236	9.53967	0	0
24	46.2506	281.233	8.62087	0	0
25	46.5657	281.242	8.4873	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
57.5882	278.186
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  $m_{\alpha} < 0.2$ : 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: 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]	32	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: 1.261190
- 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=1605.85 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: 1.26119

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	3.28239	4.13972	0.55281	0.201707	0.351103
2	0.392698	0.428601	ec-BPL2	4	21.7	3.35446	4.23062	1.11486	0.535344	0.579516
3	0.392698	0.833627	ec-BPL2	4	21.7	3.57836	4.51299	2.01857	0.729479	1.28909
4	0.392698	2.52617	ec-BPL2	4	21.7	4.85391	6.1217	6.11555	0.783943	5.3316
5	0.371955	4.05328	r	0	32	4.83672	6.10002	10.4092	0.647142	9.76206
6	0.371955	5.56975	r	0	32	6.80041	8.57661	14.0506	0.325158	13.7254
7	0.371955	6.98868	r	0	32	8.5811	10.8224	17.3195	0	17.3195
8	0.371955	8.30849	r	0	32	10.0363	12.6577	20.2566	0	20.2566
9	0.371955	9.52717	r	0	32	11.321	14.2779	22.8494	0	22.8494
10	0.371955	10.6423	r	0	32	12.438	15.6867	25.104	0	25.104
11	0.371955	11.6509	r	0	32	13.3898	16.8871	27.0251	0	27.0251
12	0.371955	12.5494	r	0	32	14.1778	17.8809	28.6154	0	28.6154
13	0.371955	13.3337	r	0	32	14.8026	18.6689	29.8764	0	29.8764
14	0.371955	13.9989	r	0	32	15.2641	19.2509	30.808	0	30.808
15	0.371955	14.539	r	0	32	15.5613	19.6258	31.4077	0	31.4077
16	0.371955	14.9473	r	0	32	15.6926	19.7913	31.6728	0	31.6728
17	0.371955	15.2154	r	0	32	15.6553	19.7443	31.5975	0	31.5975
18	0.371955	15.3335	r	0	32	15.4457	19.48	31.1744	0	31.1744
19	0.371955	15.2898	r	0	32	15.0593	18.9926	30.3944	0	30.3944
20	0.371955	14.996	r	0	32	14.4189	18.185	29.1022	0	29.1022
21	0.371955	13.28	r	0	32	12.4417	15.6913	25.1113	0	25.1113
22	0.371955	10.9113	r	0	32	9.93649	12.5318	20.055	0	20.055

Progetto Esecutivo

23	0.37195 5	8.29682	r	0	32	7.3216 4	9.23398	14.777 5	0	14.7775
24	0.37195 5	5.02576	r	0	32	11.950 1	15.0713	24.119 3	0	24.1193
25	0.37195 5	1.73381	r	0	32	9.3258	11.7616	18.822 5	0	18.8225

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.26119

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	1.29559	0	0
3	8.62177	323.727	2.61311	0	0
4	9.01446	323.738	3.99214	0	0
5	9.40716	323.764	5.73682	0	0
6	9.77912	323.801	7.1405	0	0
7	10.1511	323.852	8.95312	0	0
8	10.523	323.916	11.0324	0	0
9	10.895	323.993	13.192	0	0
10	11.2669	324.084	15.3141	0	0
11	11.6389	324.189	17.2915	0	0
12	12.0108	324.309	19.0273	0	0
13	12.3828	324.444	20.4347	0	0
14	12.7548	324.594	21.4362	0	0
15	13.1267	324.761	21.9644	0	0
16	13.4987	324.945	21.9617	0	0
17	13.8706	325.147	21.3814	0	0
18	14.2426	325.369	20.1882	0	0
19	14.6145	325.611	18.3601	0	0
20	14.9865	325.876	15.8902	0	0
21	15.3584	326.166	12.8045	0	0
22	15.7304	326.484	9.45341	0	0
23	16.1024	326.832	6.15953	0	0
24	16.4743	327.215	3.21292	0	0
25	16.8463	327.639	-2.5848	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): 0.023
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.011
- 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	5	0	50
Friction Angle [deg]	38	26.5	34	40

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

## Global Minimums

---

### Method: bishop simplified

- FS: 1.540820
- 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=1216.65 kN-m
- Driving Moment=789.613 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: 1.54082**

Progetto Esecutivo

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	5	26.5	3.54468	5.46171	1.2667	0.340648	0.926049
2	0.314158	0.613139	ec-BPL2	5	26.5	3.71486	5.72393	2.40929	0.957303	1.45199
3	0.314158	0.925892	ec-BPL2	5	26.5	3.83591	5.91045	3.27168	1.44561	1.82607
4	0.314158	1.6374	ec-BPL2	5	26.5	4.41573	6.80384	5.42503	1.80709	3.61794
5	0.314158	2.97641	ec-BPL2	5	26.5	5.67349	8.74182	9.54753	2.04261	7.50492
6	0.340809	4.65544	r	0	38	5.79718	8.93241	13.5324	2.09948	11.4329
7	0.340809	6.04085	r	0	38	7.72757	11.9068	17.206	1.96604	15.24
8	0.340809	7.32212	r	0	38	9.49864	14.6357	20.4155	1.68269	18.7328
9	0.340809	8.4976	r	0	38	11.1164	17.1284	23.1704	1.24712	21.9233
10	0.340809	9.565	r	0	38	12.5851	19.3914	25.4759	0.655984	24.8199
11	0.340809	10.5212	r	0	38	13.8654	21.3641	27.3448	0	27.3448
12	0.340809	11.3623	r	0	38	14.6457	22.5664	28.8837	0	28.8837
13	0.340809	12.0832	r	0	38	15.2255	23.4598	30.0272	0	30.0272
14	0.340809	12.6777	r	0	38	15.6049	24.0444	30.7755	0	30.7755
15	0.340809	13.1382	r	0	38	15.7824	24.3179	31.1255	0	31.1255
16	0.340809	13.455	r	0	38	15.7545	24.2749	31.0704	0	31.0704
17	0.340809	13.6161	r	0	38	15.5159	23.9072	30.5998	0	30.5998
18	0.340809	13.6063	r	0	38	15.0588	23.2029	29.6985	0	29.6985
19	0.340809	13.406	r	0	38	14.373	22.1462	28.3459	0	28.3459
20	0.340809	12.9896	r	0	38	13.4447	20.7159	26.5151	0	26.5151
21	0.340809	12.3223	r	0	38	12.2559	18.8841	24.1705	0	24.1705
22	0.340809	11.3549	r	0	38	10.7828	16.6143	21.2654	0	21.2654

Progetto Esecutivo

23	0.34080 9	9.47998	r	0	38	8.5139 1	13.1184	16.790 7	0	16.7907
24	0.34080 9	6.20496	r	0	38	5.1916 7	7.99943	10.238 8	0	10.2388
25	0.34080 9	2.20943	r	0	38	1.6765 9	2.58333	3.3065 1	0	3.30651

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.54082

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	1.16997	0	0
3	8.46469	323.659	2.40976	0	0
4	8.77884	323.635	3.66968	0	0
5	9.093	323.624	5.07684	0	0
6	9.40716	323.626	6.77102	0	0
7	9.74797	323.642	8.41455	0	0
8	10.0888	323.674	10.3615	0	0
9	10.4296	323.721	12.4663	0	0
10	10.7704	323.783	14.6022	0	0
11	11.1112	323.862	16.6599	0	0
12	11.452	323.957	18.5311	0	0
13	11.7928	324.07	20.0045	0	0
14	12.1336	324.2	20.9884	0	0
15	12.4744	324.35	21.4041	0	0
16	12.8153	324.519	21.1853	0	0
17	13.1561	324.711	20.28	0	0
18	13.4969	324.926	18.651	0	0
19	13.8377	325.168	16.2794	0	0
20	14.1785	325.44	13.1683	0	0
21	14.5193	325.745	9.34987	0	0
22	14.8601	326.09	4.89667	0	0
23	15.2009	326.483	-0.0592916	0	0
24	15.5417	326.938	-5.01169	0	0
25	15.8825	327.475	-8.8887	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  $m_{\alpha} < 0.2$ : 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: 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

Progetto Esecutivo

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

**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: 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): 0.027
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.014

## 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	50	8
Friction Angle [deg]	34	40	29
Water Surface	None	None	None
Ru Value	0	0	0

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.976790
- 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=395506 kN-m
- Driving Moment=200074 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: 1.97679

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	50	40	27.6132	54.5855	5.4648	0	5.4648
2	1.89892	50.8295	BPL	50	40	34.474	68.1479	21.6278	0	21.6278
3	1.89892	82.4735	BPL	50	40	40.796	80.6452	36.5215	0	36.5215
4	1.89892	112.17	BPL	50	40	46.5868	92.0923	50.1636	0	50.1636
5	1.89892	139.892	BPL	50	40	51.8525	102.501	62.5688	0	62.5688
6	1.89892	165.606	BPL	50	40	56.5984	111.883	73.7495	0	73.7495
7	1.89892	189.278	BPL	50	40	60.8287	120.246	83.7153	0	83.7153

Progetto Esecutivo

8	1.89892	210.866	BPL	50	40	64.5462	127.594	92.4734	0	92.4734
9	1.89892	230.324	BPL	50	40	67.7531	133.934	100.028	0	100.028
10	1.89892	247.601	BPL	50	40	70.4502	139.265	106.382	0	106.382
11	1.89892	259.903	BPL	50	40	72.1069	142.54	110.285	0	110.285
12	1.89892	263.343	BPL	50	40	72.0046	142.338	110.044	0	110.044
13	1.89892	264.119	BPL	50	40	71.3736	141.091	108.557	0	108.557
14	1.9629	275.999	BPL frat	0	34	41.7161	82.4639	122.258	0	122.258
15	1.9629	281.102	BPL frat	0	34	42.0707	83.1649	123.297	0	123.297
16	1.9629	283.533	BPL frat	0	34	42.0048	83.0346	123.104	0	123.104
17	1.9629	283.172	BPL frat	0	34	41.5108	82.0582	121.656	0	121.656
18	1.9629	279.879	BPL frat	0	34	40.5804	80.2189	118.929	0	118.929
19	1.9629	273.499	BPL frat	0	34	39.2034	77.4969	114.894	0	114.894
20	1.9629	263.85	BPL frat	0	34	37.3686	73.8699	109.516	0	109.516
21	1.9629	250.725	BPL frat	0	34	35.0632	69.3126	102.76	0	102.76
22	1.9629	233.882	BPL frat	0	34	32.2727	63.7963	94.5818	0	94.5818
23	1.9629	213.039	BPL frat	0	34	28.9806	57.2885	84.9338	0	84.9338
24	1.9629	181.701	BPL frat	0	34	24.3429	48.1208	71.3422	0	71.3422
25	1.9629	72.0093	BPL frat	0	34	9.48963	18.759	27.8114	0	27.8114

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.97679

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	50.429	0	0
3	120.899	634.417	107.777	0	0
4	122.798	634.767	170.02	0	0
5	124.697	635.165	235.292	0	0
6	126.596	635.61	301.876	0	0
7	128.495	636.104	368.205	0	0
8	130.394	636.647	432.855	0	0
9	132.293	637.241	494.547	0	0
10	134.192	637.886	552.145	0	0
11	136.091	638.584	604.662	0	0
12	137.99	639.336	651.266	0	0
13	139.889	640.145	691.602	0	0
14	141.787	641.011	725.644	0	0
15	143.75	641.969	682.708	0	0
16	145.713	642.994	631.123	0	0
17	147.676	644.089	570.986	0	0
18	149.639	645.256	502.62	0	0

Progetto Esecutivo

19	151.602	646.5	426.604	0	0
20	153.565	647.824	343.799	0	0
21	155.528	649.235	255.398	0	0
22	157.491	650.736	162.974	0	0
23	159.454	652.336	68.5528	0	0
24	161.416	654.042	-25.3009	0	0
25	163.379	655.862	-112.412	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

**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

## 13.5 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  $m_{\alpha} < 0.2$ : 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: 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]	32	23.9
Water Surface	None	Water Table
Hu Value		1
Ru Value	0	

## Global Minimums

### Method: bishop simplified

- FS: 1.371740
- 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=3867.63 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: 1.37174

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	32	1.56737	2.15002	3.44076	0	3.44076
2	0.562336	5.81921	r	0	32	4.56076	6.25618	10.012	0	10.012
3	0.562336	9.46848	r	0	32	7.32012	10.0413	16.0695	0	16.0695

Progetto Esecutivo

4	0.562336	12.9187	r	0	32	9.85245	13.515	21.6285	0	21.6285
5	0.562336	16.1675	r	0	32	12.1637	16.6854	26.7022	0	26.7022
6	0.562336	19.2121	r	0	32	14.2585	19.559	31.3008	0	31.3008
7	0.562336	20.3222	r	0	32	14.877	20.4074	32.6587	0	32.6587
8	0.562336	18.7493	r	0	32	13.5372	18.5695	29.7174	0	29.7174
9	0.562336	16.94	r	0	32	12.0609	16.5444	26.4766	0	26.4766
10	0.562336	14.9072	r	0	32	10.4638	14.3536	22.9705	0	22.9705
11	0.562336	13.0883	r	0	32	9.055	12.4211	19.8778	0	19.8778
12	0.562336	14.1856	r	0	32	9.66984	13.2645	21.2277	0	21.2277
13	0.562336	15.6508	r	0	32	10.5075	14.4135	23.0664	0	23.0664
14	0.562336	16.856	r	0	32	11.1404	15.2817	24.4559	0	24.4559
15	0.562336	17.7883	r	0	32	11.5669	15.8668	25.3921	0	25.3921
16	0.562336	18.4323	r	0	32	11.7843	16.165	25.8694	0	25.8694
17	0.562336	18.7701	r	0	32	11.7893	16.1718	25.8802	0	25.8802
18	0.562336	18.7804	r	0	32	11.5773	15.881	25.415	0	25.415
19	0.562336	18.4378	r	0	32	11.143	15.2853	24.4615	0	24.4615
20	0.562336	17.7119	r	0	32	10.4798	14.3755	23.0056	0	23.0056
21	0.562336	16.5655	r	0	32	9.57988	13.1411	21.0303	0	21.0303
22	0.562336	14.9523	r	0	32	8.43425	11.5696	18.5153	0	18.5153
23	0.562336	12.8144	r	0	32	7.03233	9.64653	15.4377	0	15.4377
24	0.562336	10.045	r	0	32	5.34558	7.33274	11.7348	0	11.7348
25	0.562336	4.01619	r	0	32	2.0636	2.83072	4.5301	0	4.5301

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.37174

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	0.795376	0	0
3	16.1972	662.281	2.93464	0	0
4	16.7595	662.34	6.08516	0	0
5	17.3219	662.417	9.94085	0	0
6	17.8842	662.512	14.2199	0	0
7	18.4466	662.625	18.6628	0	0
8	19.0089	662.757	22.689	0	0
9	19.5712	662.909	25.7855	0	0
10	20.1336	663.079	28.0258	0	0
11	20.6959	663.27	29.5062	0	0
12	21.2582	663.482	30.3727	0	0
13	21.8206	663.715	30.8386	0	0
14	22.3829	663.971	30.8242	0	0

Progetto Esecutivo

15	22.9452	664.251	30.2306	0	0
16	23.5076	664.555	28.9822	0	0
17	24.0699	664.886	27.0283	0	0
18	24.6322	665.245	24.3465	0	0
19	25.1946	665.634	20.9468	0	0
20	25.7569	666.055	16.8772	0	0
21	26.3193	666.513	12.2315	0	0
22	26.8816	667.009	7.1599	0	0
23	27.4439	667.549	1.88439	0	0
24	28.0063	668.139	-3.27937	0	0
25	28.5686	668.786	-7.87489	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): 0.034
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.017
- 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	8
Friction Angle [deg]	38	29
Water Surface	None	Water Table
Hu Value		1
Ru Value	0	

## Global Minimums

Relazione Geotecnica Generale

149

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: 1.552900
- Center: 15.368, 680.382
- Radius: 17.491
- Left Slip Surface Endpoint: 16.111, 662.907
- Right Slip Surface Endpoint: 29.061, 669.500
- Resisting Moment=3312.79 kN-m
- Driving Moment=2133.3 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1558
- Number of Invalid Surfaces: 3293

#### Error Codes:

- Error Code -114 reported for 323 surfaces
- Error Code -1000 reported for 2970 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: 1.5529

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	0.51802	1.63498	r	0	38	1.56969	2.43757	3.11994	0	3.11994
2	0.51802	4.82482	r	0	38	4.56561	7.08993	9.0747	0	9.0747
3	0.51802	7.85381	r	0	38	7.32578	11.3762	14.5609	0	14.5609
4	0.51802	10.7205	r	0	38	9.85756	15.3078	19.5931	0	19.5931
5	0.51802	13.1541	r	0	38	11.9236	18.5161	23.6996	0	23.6996

Progetto Esecutivo

6	0.51802	12.7829	r	0	38	11.4222	17.7375	22.703	0	22.703
7	0.51802	11.5709	r	0	38	10.1914	15.8263	20.2566	0	20.2566
8	0.51802	10.1857	r	0	38	8.84217	13.731	17.5749	0	17.5749
9	0.51802	8.62318	r	0	38	7.37678	11.4554	14.6622	0	14.6622
10	0.51802	7.4424	r	0	38	6.27268	9.74084	12.4677	0	12.4677
11	0.51802	8.74368	r	0	38	7.25881	11.2722	14.4277	0	14.4277
12	0.51802	10.1946	r	0	38	8.33357	12.9412	16.564	0	16.564
13	0.51802	11.4436	r	0	38	9.20774	14.2987	18.3014	0	18.3014
14	0.51802	12.482	r	0	38	9.88113	15.3444	19.6398	0	19.6398
15	0.51802	13.2997	r	0	38	10.3529	16.077	20.5776	0	20.5776
16	0.51802	13.8851	r	0	38	10.6217	16.4944	21.1119	0	21.1119
17	0.51802	14.2246	r	0	38	10.6852	16.593	21.2382	0	21.2382
18	0.51802	14.3021	r	0	38	10.5405	16.3683	20.9504	0	20.9504
19	0.51802	14.0988	r	0	38	10.1838	15.8144	20.2415	0	20.2415
20	0.51802	13.5924	r	0	38	9.61047	14.9241	19.102	0	19.102
21	0.51802	12.7556	r	0	38	8.81506	13.6889	17.5209	0	17.5209
22	0.51802	11.5555	r	0	38	7.79104	12.0987	15.4857	0	15.4857
23	0.51802	9.95118	r	0	38	6.53126	10.1424	12.9816	0	12.9816
24	0.51802	7.87848	r	0	38	5.0195	7.79478	9.97685	0	9.97685
25	0.51802	3.22076	r	0	38	1.9848	3.0822	3.94505	0	3.94505

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.5529

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	16.1106	662.907	0	0	0
2	16.6287	662.937	0.663389	0	0
3	17.1467	662.982	2.45022	0	0
4	17.6647	663.043	5.08654	0	0
5	18.1827	663.119	8.32015	0	0
6	18.7007	663.212	11.8468	0	0
7	19.2188	663.321	14.8508	0	0
8	19.7368	663.446	17.1905	0	0
9	20.2548	663.588	18.9184	0	0
10	20.7728	663.748	20.1014	0	0
11	21.2908	663.925	20.8812	0	0
12	21.8089	664.121	21.5134	0	0
13	22.3269	664.335	21.9174	0	0
14	22.8449	664.57	21.9939	0	0
15	23.3629	664.826	21.6611	0	0
16	23.8809	665.103	20.8559	0	0

17	24.399	665.403	19.5354	0	0
18	24.917	665.728	17.679	0	0
19	25.435	666.079	15.2915	0	0
20	25.953	666.458	12.4067	0	0
21	26.471	666.868	9.09294	0	0
22	26.9891	667.31	5.45998	0	0
23	27.5071	667.79	1.6692	0	0
24	28.0251	668.311	-2.05259	0	0
25	28.5431	668.878	-5.38777	0	0
26	29.0611	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: 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-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]	32	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: 1.125540
- Center: 215.020, 779.155
- Radius: 49.609
- Left Slip Surface Endpoint: 172.892, 752.959
- Right Slip Surface Endpoint: 222.317, 730.086
- Resisting Moment=82394.8 kN-m
- Driving Moment=73204.9 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1120
- Number of Invalid Surfaces: 3731

#### Error Codes:

- Error Code -114 reported for 32 surfaces
- Error Code -115 reported for 3 surfaces
- Error Code -1000 reported for 3696 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: 1.12554

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	1.93326	47.9549	r	0	32	7.5404	8.48702	13.5821	0	13.5821
2	1.93326	107.02	r	0	32	17.8923	20.1385	32.2282	0	32.2282
3	1.93326	148.16	r	0	32	26.0522	29.3228	46.9262	0	46.9262
4	1.93326	178.971	r	0	32	32.8548	36.9794	59.1795	0	59.1795
5	1.93326	201.235	r	0	32	38.3648	43.1811	69.104	0	69.104
6	1.93326	216.211	r	0	32	42.6399	47.9929	76.8049	0	76.8049
7	1.93326	224.827	r	0	32	45.729	51.4698	82.369	0	82.369
8	1.93326	227.787	r	0	32	47.6715	53.6562	85.8678	0	85.8678
9	1.93326	225.639	r	0	32	48.4984	54.5869	87.3573	0	87.3573
10	1.93326	218.821	r	0	32	48.2325	54.2876	86.8784	0	86.8784
11	1.93326	207.682	r	0	32	46.8891	52.7756	84.4588	0	84.4588
12	1.93326	192.51	r	0	32	44.4771	50.0607	80.1139	0	80.1139
13	1.93326	173.541	r	0	32	40.9981	46.145	73.8476	0	73.8476
14	1.93326	150.967	r	0	32	36.4477	41.0233	65.6508	0	65.6508
15	1.93326	124.952	r	0	32	30.8146	34.6831	55.5047	0	55.5047
16	1.93326	95.6256	r	0	32	24.0813	27.1045	43.3763	0	43.3763
17	1.93326	63.0985	r	0	32	16.2229	18.2595	29.2214	0	29.2214
18	1.93326	27.4585	r	0	32	7.20691	8.11166	12.9814	0	12.9814
19	2.08951	6.35238	ec-BPL	4	21.7	3.98706	4.4876	2.53116	1.30588	1.22528
20	2.08951	14.8179	ec-BPL	4	21.7	4.69064	5.2795	6.69362	3.4784	3.21522
21	2.08951	20.3507	ec-BPL	4	21.7	5.2298	5.88635	9.51737	4.7772	4.74017
22	2.08951	22.1914	ec-BPL	4	21.7	5.46638	6.15263	10.6186	5.2093	5.4093
23	2.08951	20.3501	ec-BPL	4	21.7	5.38792	6.06432	9.96447	4.77707	5.1874
24	2.08951	14.8171	ec-BPL	4	21.7	4.97945	5.60457	7.51033	3.47822	4.03211
25	2.08951	5.56259	ec-BPL	4	21.7	4.22302	4.75318	3.19845	1.30578	1.89267

## Interslice Data

• Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.12554

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	172.892	752.959	0	0	0
2	174.825	750.079	24.5406	0	0
3	176.758	747.578	70.5682	0	0
4	178.692	745.372	123.769	0	0
5	180.625	743.406	176.664	0	0
6	182.558	741.642	224.46	0	0
7	184.492	740.052	264.157	0	0

Progetto Esecutivo

8	186.425	738.617	294.027	0	0
9	188.358	737.32	313.286	0	0
10	190.291	736.149	321.887	0	0
11	192.225	735.094	320.381	0	0
12	194.158	734.146	309.825	0	0
13	196.091	733.3	291.722	0	0
14	198.024	732.548	267.985	0	0
15	199.958	731.888	240.913	0	0
16	201.891	731.315	213.188	0	0
17	203.824	730.826	187.875	0	0
18	205.757	730.419	168.44	0	0
19	207.691	730.091	158.774	0	0
20	209.78	729.824	151.124	0	0
21	211.87	729.646	142.517	0	0
22	213.959	729.558	132.441	0	0
23	216.049	729.557	121.034	0	0
24	218.138	729.644	108.912	0	0
25	220.228	729.82	97.193	0	0
26	222.317	730.086	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
195.864	726.02
211.172	725.631
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: 2

## Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.023
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.011
- 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	5	0	50
Friction Angle [deg]	38	26.5	34	40

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

## Global Minimums

---

### Method: bishop simplified

- FS: 1.342530
- Center: 215.020, 779.155
- Radius: 49.609
- Left Slip Surface Endpoint: 172.892, 752.959
- Right Slip Surface Endpoint: 222.317, 730.086
- Resisting Moment=102919 kN-m
- Driving Moment=76660.3 kN-m

## Valid / Invalid Surfaces

---

### Method: bishop simplified

- Number of Valid Surfaces: 1129
- Number of Invalid Surfaces: 3722

#### Error Codes:

- Error Code -114 reported for 34 surfaces
- Error Code -115 reported for 3 surfaces
- Error Code -1000 reported for 3685 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: 1.34253**

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	1.93326	47.9549	r	0	38	7.82277	10.5023	13.4423	0	13.4423
2	1.93326	107.02	r	0	38	18.5922	24.9606	31.9483	0	31.9483
3	1.93326	148.16	r	0	38	27.1094	36.3952	46.5839	0	46.5839
4	1.93326	178.971	r	0	38	34.2312	45.9564	58.8216	0	58.8216
5	1.93326	201.235	r	0	38	40.018	53.7254	68.7655	0	68.7655
6	1.93326	216.211	r	0	38	44.525	59.7762	76.51	0	76.51
7	1.93326	224.827	r	0	38	47.7989	64.1715	82.1356	0	82.1356
8	1.93326	227.787	r	0	38	49.8773	66.9618	85.7072	0	85.7072
9	1.93326	225.639	r	0	38	50.7894	68.1863	87.2746	0	87.2746
10	1.93326	218.821	r	0	38	50.5563	67.8733	86.8739	0	86.8739
11	1.93326	207.682	r	0	38	49.1914	66.0409	84.5285	0	84.5285
12	1.93326	192.51	r	0	38	46.7012	62.6977	80.2494	0	80.2494
13	1.93326	173.541	r	0	38	43.085	57.8429	74.0356	0	74.0356
14	1.93326	150.967	r	0	38	38.3355	51.4666	65.8745	0	65.8745
15	1.93326	124.952	r	0	38	32.4384	43.5495	55.7408	0	55.7408
16	1.93326	95.6256	r	0	38	25.3721	34.0628	43.5984	0	43.5984
17	1.93326	63.0985	r	0	38	17.1073	22.9671	29.3965	0	29.3965
18	1.93326	27.4585	r	0	38	7.60646	10.2119	13.0707	0	13.0707
19	2.08951	6.35238	ec-BPL	5	26.5	4.18263	5.6153	2.53998	1.30588	1.2341
20	2.08951	14.8179	ec-BPL	5	26.5	4.9396	6.63156	6.7508	3.4784	3.2724
21	2.08951	20.3507	ec-BPL	5	26.5	5.51996	7.41071	9.61233	4.7772	4.83513
22	2.08951	22.1914	ec-BPL	5	26.5	5.77655	7.75519	10.7353	5.2093	5.52603
23	2.08951	20.3501	ec-BPL	5	26.5	5.69528	7.64609	10.0843	4.77707	5.30723
24	2.08951	14.8171	ec-BPL	5	26.5	5.25935	7.06083	7.61162	3.47822	4.1334
25	2.08951	5.56259	ec-BPL	5	26.5	4.44857	5.97234	3.256	1.30578	1.95022

## Interslice Data

### • Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.34253

Slice Number	X coordinate [m]	Y coordinate - Bottom [m]	Interslice Normal Force [kN]	Interslice Shear Force [kN]	Interslice Force Angle [degrees]
1	172.892	752.959	0	0	0
2	174.825	750.079	24.7055	0	0
3	176.758	747.578	71.1653	0	0
4	178.692	745.372	125.01	0	0
5	180.625	743.406	178.702	0	0
6	182.558	741.642	227.385	0	0
7	184.492	740.052	268.001	0	0
8	186.425	738.617	298.769	0	0

Progetto Esecutivo

9	188.358	737.32	318.861	0	0
10	190.291	736.149	328.193	0	0
11	192.225	735.094	327.289	0	0
12	194.158	734.146	317.191	0	0
13	196.091	733.3	299.393	0	0
14	198.024	732.548	275.811	0	0
15	199.958	731.888	248.76	0	0
16	201.891	731.315	220.948	0	0
17	203.824	730.826	195.482	0	0
18	205.757	730.419	175.882	0	0
19	207.691	730.091	166.115	0	0
20	209.78	729.824	158.211	0	0
21	211.87	729.646	149.441	0	0
22	213.959	729.558	139.244	0	0
23	216.049	729.557	127.708	0	0
24	218.138	729.644	115.41	0	0
25	220.228	729.82	103.436	0	0
26	222.317	730.086	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
195.864	726.02
211.172	725.631
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